

ISSN 2949-4958

ИННОВАЦИОННАЯ СВЕТОТЕХНИКА

Журнал РНК МКО

2 / 2025



УЧРЕДИТЕЛЬ



Российский национальный комитет
Международной комиссии по освещению
(РНК МКО)

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ



ДЕПАРТАМЕНТ ЖИЛИЩНО-
КОММУНАЛЬНОГО
ХОЗЯЙСТВА
ГОРОДА МОСКВЫ



МОССВЕТ



Брайтэлек



arlight



GEFERA MEDIA

VARTON

Издание выполнено при финансовой поддержке Департамента жилищно-коммунального хозяйства города Москвы, ГУП «Моссвет», ООО «Брайтэлек», ООО «Светогор», ООО «Вартон», ООО «Арлайт РУС», ООО «Гефера Медиа»

2 / 2025

ISSN 2949-4958

**ИННОВАЦИОННАЯ
СВЕТОТЕХНИКА**

**ЖУРНАЛ
РНК МКО**

**LIGHTING ENGINEERING
INNOVATIONS**

**CIE NC RU
JOURNAL**

Инновационная светотехника:

журнал РНК МКО

№ 2 / 2025

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: 04.09.2025.
Подписано в печать 08.10.2025.
Формат: 70x100/16. Усл. п. л. 9.
Печать цифровая. Тираж 500 экз.
Заказ № 0409/25-2-И

146 с.

Отпечатано с готовых диапозитивов.
Издательство Ниц Арт: 198095,
г. Санкт-Петербург, ул. Маршала
Говорова, 29а, 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.
Редакторы — В.А. Рыбина, С.Ю. Косовова.
Редактор иностранной секции — Ю.А. Глорио.
Корректор — М.В. Сачков.

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 статей.

© ООО «РНК МКО», 2025.
© Издательство «НИЦ АРТ», 2025.



Павел ФЕДОРИЩЕВ

Главный редактор,
исполнительный директор
РНК МКО

Дорогие читатели!

Вы держите в руках второй номер журнала «Инновационная светотехника», основой которого стали доклады участников Международного конкурса «Молодые светотехники». Конкурс проводится по трём направлениям, соответствующим разделам этого журнала: «Светотехника», «Архитектура и светодизайн» и «Доклады на иностранном языке». Сейчас, когда я пишу эти строки, мы ещё не знаем, как распределятся призовые места: финал конкурса состоится только через месяц на выставке Interlight.

Исключением стала номинация докладов на иностранном языке: международное жюри выбрало победителя дистанционно буквально несколько дней назад. Им стала аспирантка университета Яшар (Турция) Нурефшан Сонмез.

Уже на этапе подготовки публикации доклад Нурефшан вызвал интерес у одного из университетов-партнёров конкурса, что лишний раз доказывает: участие в «Молодых светотехниках» даёт не только опыт подготовки публикации и публичного выступления, но и реальную возможность заявить о себе будущим работодателям и спонсорам.

Благодарю наших авторов, рецензентов и партнёров, благодаря которым вышли очередные два номера «Инновационной светотехники». Уверен, что и журнал, и конкурс помогут ещё многим талантам заявить о себе и изменить светотехническую отрасль к лучшему!

СОДЕРЖАНИЕ

Светотехника	7
<i>Евдокимова О.С., Фомин А.Г. Разработка уличного светового прибора в соответствии с требованиями световой экологии</i>	8
<i>Бенуни Г.А. Поиск оптимальной кривой силы света для освещения автомагистралей с целью экономии капитальных и эксплуатационных затрат</i>	14
<i>Цветков Н.Э., Толкачева К.П. Модернизация световой среды площади Кирова.....</i>	22
<i>Сыч Н.В., Снетков В.Ю. Применение модели сумеречной фотометрии для расчёта уличного освещения</i>	28
<i>Сурков И.В., Рыбина В.А., Вершинин А.А., Григорьев А.А. Разработка компьютерной установки для исследования пороговых характеристик цветового зрения</i>	35
<i>Турчанинов Н.В., Кистенёва А.В. Проектирование освещения для слабовидящих посетителей в зале музея</i>	42
<i>Федь Д.К., Рыбина В.А., Григорьев А.А. Определение яркостных коэффициентов наблюдателей по результатам экспериментальных исследований</i>	49
<i>Феник М.А., Рыбина В.А., Григорьев А.А. Исследование эффективных коэффициентов отражения картин с диффузным характером отражения.....</i>	56
<i>Иванова А.Е., Егошин П.Д., Ильина Е.И. Исследование влияния габаритов и цвета профиля на КПД</i>	63
<i>Калаева А.Т., Будак В.П. Сравнительный анализ цветовых моделей в задачах согласования цветового восприятия.....</i>	70
Архитектура и световой дизайн	77
<i>Гузенко Е.В., Сердюк А.А., Карпенко В.Е., Пономаренко Н.В. Архитектурно-художественное освещение Петропавловской мортирной батареи во Владивостоке</i>	79
<i>Михайлова Д.Д., Фомин А.Г. Проект модернизации системы сценического освещения ДК МЭИ.....</i>	85

<i>Никандров Д.Ф., Вуль О.А. Светографическая коммуникация в городской среде исторического центра Санкт-Петербурга.....</i>	<i>91</i>
<i>Топоркова А.А., Зварыгина А.А., Гречкина Т.В. Проработка светового решения для фитоконструкции</i>	<i>97</i>
<i>Ларкина Е.С., Разговорова В.И., Худолева Е.О. Архитектура света и звука в городском пространстве Владивостока: мультимедийное оформление (3D-мэппинг) фестиваля Автозвук.....</i>	<i>103</i>
<i>Илюхин А.Е., Фомин А.Г. Реконструкция системы освещения станции «Планерная» московского метрополитена.....</i>	<i>110</i>
Доклады на английском языке	117
<i>Kızılörenli E., Cilasun Kunduraci A., Çetin Ç. Comparative analysis of luminaire beam configurations for glass facade illumination.....</i>	<i>118</i>
<i>Xu L.K., Shen Y., Feng S.Z., Zhu H.H. Framework for green lighting in tunnel: balancing energy performance with ecological requirements</i>	<i>124</i>
<i>Sönmez N., Cilasun Kunduraci A., Ugurlu C., Erkan Y. An integrated optimization model using machine learning for daylighting, thermal comfort, and energy efficiency in historic townhouses</i>	<i>131</i>
<i>Fenik M.A., Rybina V.A., Grigoryev A.A. Spectral reflection factors of paintings.....</i>	<i>139</i>

МЫ ДЕЛАЕМ ГОРОДА СВЕТЛЕЕ

Присоединяйся к команде «Брайтэлек»



О НАС

Брайтэлек — производитель светильников и металлоконструкций для наружного освещения. Мы создаём современные решения, которые меняют облик и атмосферу общественных пространств. Наши проекты — это улицы, парки и объекты по всей стране, которые люди видят каждый день.

Для реализации таких масштабных задач нам нужны новые идеи и свежий взгляд. Поэтому мы приглашаем специалистов, готовых развиваться в динамичной отрасли и применять свои знания на практике.

СТАНЬ ЧАСТЬЮ НАШЕЙ КОМАНДЫ!

Напиши нам на career@brightelec.ru с подписью «Хочу в команду!» и прикрепи ссылку на свое резюме или портфолио.

Наши проекты здесь brightelec.ru/portfolio



СВЕТОТЕХНИКА

LIGHTING ENGINEERING

РАЗРАБОТКА УЛИЧНОГО СВЕТОВОГО ПРИБОРА В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ СВЕТОВОЙ ЭКОЛОГИИ

*Евдокимова О.С., магистр; Фомин А.Г., к.т.н., доцент
Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва*

DESIGN OF A STREET LIGHTING FIXTURE IN ACCORDANCE WITH THE LIGHT ECOLOGY REQUIREMENTS

*Yevdokimova O. S., M.Sc.; Fomin A.G., Ph.D., Associate Professor
National Research University «Moscow Power Engineering Institute»,
Moscow*

Аннотация

Проанализированы актуальные требования и зарубежные нормативные документы, затрагивающие вопросы световой экологии. Определены критерии, которым должен отвечать световой прибор для городских парковых и зелёных зон. Произведён выбор оптической системы, предварительная проработка конструкции и расчёт теплоотводящего радиатора для концепта паркового светильника консольной или венчающей установки, произведена его оценка по BUG-рейтингу, показателю ULR и модели OSP.

Abstract

The current requirements and foreign regulations concerning the light ecology issues have been analyzed. The requirements for a lighting fixture for urban parks and green areas have been defined. The optical system has been chosen, the general design has been preliminary prepared and the heat-dissipating radiator has been calculated for the console or post-top mounted park luminaire concept, it has been also evaluated according to the BUG rating, ULR, and OSP model.

Ключевые слова: световая экология, парковое освещение, оптическая система, светодиодный модуль, теплоотводящий радиатор, световое загрязнение, экологичное освещение

Keywords: *light ecology, park lighting, optical system, led module, heat sink, light pollution, eco-friendly lighting*

Введение

В работе рассматривается проблема светового загрязнения, влияние искусственного освещения в вечернее время на людей и

животных, характеристики световых приборов, которые влияют на степень светового загрязнения. В настоящее время в России не существует нормативно-правовой базы, регулирующей выполнение требований, касающихся светового загрязнения. В связи с отсутствием требований ответственные организации не могут адекватно оценивать данную проблему. Низкий уровень осведомленности участников светотехнического рынка о вопросах светового загрязнения также препятствует предложению адекватных световых решений.

В работе рассматривается проблема светового загрязнения, влияние искусственного освещения в вечернее время на людей и животных, характеристики световых приборов, которые влияют на степень светового загрязнения. Актуальность данной работы обусловлена необходимостью создания светильника, сочетающего в себе принципы световой экологии, энергоэффективность и функциональную адаптивность. Такой прибор должен обеспечивать комфортную и безопасную световую среду, не нарушая биологические ритмы и не создавая визуального дискомфорта.

Методы исследования

Официальное определение светового загрязнения от МКО звучит следующим образом: «Световое загрязнение — это увеличение яркости ночного неба из-за рассеивания искусственного света по загрязняющим веществам и парам воды и пыли, которые содержатся в атмосфере» [1]. Особенно данная проблема актуальна для мировых мегаполисов, которые за период с 2012 по 2024 годы продемонстрировали существенное расширение и одновременно увеличение средней яркости зон светового загрязнения [2].

Особое значение придаётся классификации территорий по степени допустимого светового воздействия. Согласно *CIE* и *IDA/IESNA*, зоны варьируются от полностью тёмных заповедных территорий (*E0/LZ0*) до городских зон с высокой активностью (*E4/LZ4*). Определение класса экологических зон по *CIE*: *E0* — тёмная, *E1* — естественно-тёмная, *E2* — местность с низкой яркостью, *E3* — местность со средней яркостью, *E4* — местность с высокой яркостью [3]. Для каждой зоны устанавливаются ограничения по:

- доле светового потока, направленного вверх (*Upward Light Ratio*);
- уровню освещённости на фасадах жилых зданий;
- яркости светильников;

- коррелированной цветовой температуре света (предпочтительно ≤ 3000 K).

Для оценки экологических свойств световых приборов с точки зрения светового загрязнения существует ряд стандартизованных систем:

1. *BUG*-рейтинг – оценка степени светового загрязнения, обусловленного экранированием и перераспределением света источника в ОП [4]. Для реализации данного подхода пространство вокруг светильника разделено на зоны «задней подсветки» (*Backlight*), «верхнего света» (*Uplight*) и «блеска» (*Glare*), определенные в соответствии с ожидаемым воздействием на окружающую среду.

2. Показатель *ULR* (*Upward Light Ratio*) — отношение светового потока, направленного вверх, ко всему излучаемому световому потоку. Этот показатель также широко используется в европейских нормах (например, *EN 12464-2:2014*) и нормируется по категориям зон окружающей среды.

3. Модель *OSP* (*Outdoor Site-lighting Performance*) разработанная Дженифер Бронс и соавт. [5], представляет собой метод пространственного анализа рассеивания света с использованием виртуального «светового короба», окружающего объект освещения. Модель позволяет количественно оценить световые потери как прямого, так и отражённого света. Например, для зоны *E2* рекомендовано ограничивать освещённость на гранях до 3 лк, а для зоны *E1* — не более 1 лк. Преимуществом модели *OSP* является то, что она не требует точных данных о соседних объектах и может применяться на ранних стадиях проектирования.

Для выполнения всех требований вышеперечисленных методик необходимо, чтобы КСС разрабатываемого светового прибора имела строго определённую форму, обеспечивающую правильное распределение светового потока источника света по различным зонам вокруг светильника.

Результаты

Для формирования функционального и биологически безопасного освещения в проектируемом светильнике был выбран светодиодный модуль *Luminus CDM-6-3018-90-36-DWZX-F3-3*. Указанный источник представляет собой *COB*-модуль с функцией динамического изменения цветовой температуры (*Dim-to-Warm*), позволяющей автоматически изменять спектральный состав излучения в зависимости от времени

суток: в вечернее время использовать нейтральный тёплый свет (3000 K), а в ночной период — переходить к янтарному свечению (1800 K), минимизирующему воздействие на биоценозы.

В качестве основного оптического элемента используется линза *LEDiL STRADA-2X2-A-T*, обеспечивающая светораспределение типа *Type II* согласно *IESNA* [6]. Этот тип КСС характеризуется вытянутым пучком вдоль дорожного полотна с ограниченным углом излучения в стороны и вверх, что делает его предпочтительным при освещении пешеходных маршрутов в чувствительных к свету природных зонах. Линза представляет собой модуль из четырёх линз (формат 2×2) с габаритами 50×50 мм, выполненных из оптического *PMMA* с УФ-стабилизатором.

В качестве источника питания для четырёх светодиодов *Luminus CDM-6-3018-90-36-DWZX-F3-3* выбран драйвер постоянного тока *Mean Well ELG-100-C350DA-3Y*, поддерживающий протокол управления *DALI-2*, который обеспечивает интеграцию с интеллектуальными системами наружного освещения. Для надежной работы светодиодного модуля был произведён расчёт эффективной площади теплоотвода, которая составила 1260 см². В соответствии с этим в качестве радиатора была выбрана модель *Fischer Elektronik SK 572* диаметром 160 мм и высотой рёбер 63,5 мм, изготовленная из алюминиевого сплава.

Внешний вид светильника и его КСС показаны соответственно на рис. 1а и 1б.

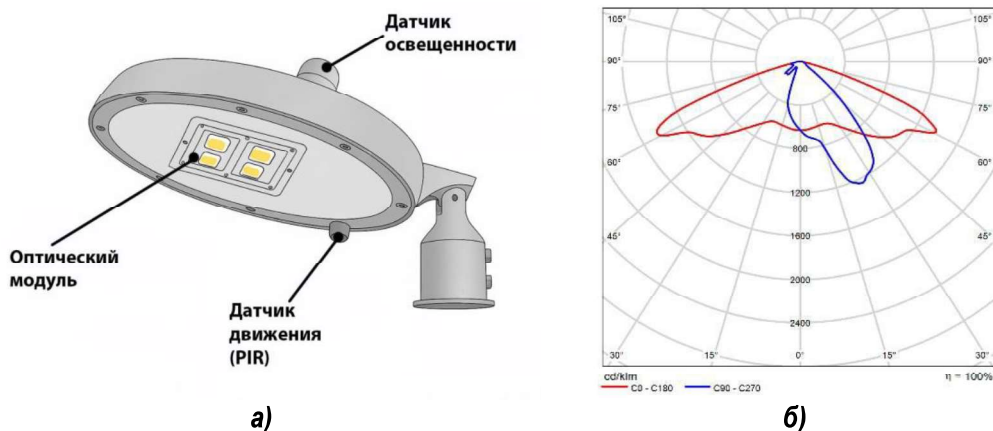


Рис. 1. Внешний вид разработанного светильника (а) и его КСС (б)

Для реализации адаптивного освещения корпус оснащается встроенным инфракрасным датчиком движения, ориентированным вниз и датчиком естественной освещённости, направленным вверх, что

исключает влияние на него собственного светового потока. Основные характеристики разработанного светового прибора приведены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристики разработанного светильника для парковых зон

Параметр	Значение
Напряжение питания, В	100...305 В переменного тока
Потребляемая мощность, Вт, не более	47
Коррелированная цветовая температура, К	3000...1800
Световой поток, лм	3400 (3000 К), 160 (1800 К)
Степень защиты	IP65
Габаритные размеры, мм	Ø300×120

Обсуждение

Модель разработанного светового прибора была оценена по трём перечисленным выше методикам определения соответствия требованиям световой экологии. Кроме этого, был также отобран ряд аналогичных моделей, выпускающихся различными фирмами, для проведения сравнительного анализа. Результаты приведены в табл. 2.

Результаты оценки демонстрируют, что светильник обеспечивает высокий уровень экологичности и визуального комфорта, наряду с лучшими существующими моделями. Например, показатель *Glare* по шкале *De Boer* равен 9, что говорит об отсутствии слепящего действия и максимальном визуальном комфорте.

Таблица 2. Оценка световых приборов по требованиям световой экологии

Производитель, модель	ULR, %	Uplight	Glare	Backlight	DB
Ledvisor LV-PARK ROUND	0	U0	G1	B1	5
Световые технологии KROON	0	U0	G0	B1	5
GALAD Факел LED	0	U0	G1	B3	6
GROSSLUX AMBRA.18	0	U0	G1	B2	6
Сарос ЭЛЬФ S	0	U0	G1	B1	9
iGuzzini Lavinia	0	U0	G1	B2	7
Platek Font	0	U0	G0	B0	9
Bega LED Pole-Top	0	U0	G0	B0	4
Разработанный концепт	0	U0	G0	B0	9

Результаты оценки демонстрируют, что светильник обеспечивает высокий уровень экологичности и визуального комфорта, наряду с лучшими известными моделями. Например, показатель *Glare* по шкале *De Boer* равен 9, что говорит об отсутствии слепящего действия и максимальном визуальном комфорте.

Выводы

На основании выявленных требований и экологических ограничений была разработана концепция светильника, предназначенного для использования в парковых зонах. В конструкции применены светодиоды, обеспечивающие динамическое смещение спектра излучения в диапазон длин волн 580-620 нм, соответствующий желто-оранжевой части спектра. Также используется *TIR*-оптика *Type II*, гарантирующая контролируемое светораспределение без излучения вверх. Конструкция светильника включает эффективный радиатор и драйвер с поддержкой *DALI-2*, что обеспечивает полную интеграцию в интеллектуальные системы управления. Светильник также оборудован датчиками движения и освещённости, что позволяет реализовать плавную смену цветовой температуры и уровня светового потока в зависимости от времени суток и активности на объекте.

Список литературы

1. ILP Guidance Note for the Reduction of Obtrusive Light, 2020. — URL: <https://www.brighton-hove.gov.uk/sites/default/files/202105/OD65%20LP-Guidance%20Note%201%202020.pdf> (дата обращения: 16.07.2025)
2. Интерактивная карта Light Pollution Map. — URL: <https://www.lightpollutionmap.info/s/LdWXmiSTUillnAK4ZorbA> (дата обращения: 16.07.2025).
3. CIE 150:2017. Guide on the Limitation of the Effects of Obtrusive Light from Outdoor Lighting Installations. — 2nd ed. — Vienna: International Commission on Illumination, 2017. — 50 p..
4. BUG Rating System & Nighttime LED Lighting. // Take 3 Lighting [сайт]. — URL: <https://www.takethreelighting.com/bug-rating.html> (дата обращения: 16.07.2025).
5. Brons J.A., Bullough J.D., Donnell E.T., Rea M.S. Outdoor site-lighting performance: A comprehensive method for assessing environmental impacts of outdoor lighting // Lighting Research & Technology. 2008. Vol. 40, No. 3. P. 201–216.
6. Illuminating Engineering Society (IES). RP-8-18: Recommended Practice for Design and Maintenance of Roadway and Parking Facility Lighting. — New York: IES, 2018. — 120 p.

ПОИСК ОПТИМАЛЬНОЙ КРИВОЙ СИЛЫ СВЕТА ДЛЯ ОСВЕЩЕНИЯ АВТОМАГИСТРАЛЕЙ С ЦЕЛЬЮ ЭКОНОМИИ КАПИТАЛЬНЫХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАТРАТ

*Бенуни Г.А., руководитель направления улично-дорожного освещения
ООО МСК «БЛ ГРУПП» г. Москва*

SEARCHING FOR AN OPTIMAL LIGHTING CURVE FOR HIGHWAY LIGHTING TO SAVE CAPEX AND OPERATING COSTS

*Benuni G.A. International Lighting Engineering Corporation «BOOS
LIGHTING GROUP» Limited liability company*

Аннотация

Решается задача оптимизация расходов при строительстве наружного освещения за счет применения инновационного подхода. Рассматривается метод решения вопроса оптимизации — поиск оптимальной кривой силы света, позволяющего снизить капитальные и эксплуатационные затраты при строительстве наружного освещения дорог. В качестве основного элемента для решения задачи выбирается оптика светильника. Необходимость оптимизации затрат при строительстве автомагистралей имеет высокую актуальность ввиду постоянно растущих объемов строительства наружного освещения дорог.

Abstract

The problem of optimizing expenses during construction of outdoor lighting is solved by using an innovative approach. The method of solving the optimization issue is considered — finding the optimal luminous intensity curve, which allows reducing capital and operating costs during construction of outdoor road lighting. The optics of the lamp are selected as the main element for solving the problem. The need to optimize costs during construction of highways is highly relevant due to the constantly growing volumes of construction of outdoor road lighting.

Ключевые слова: оптика, освещение дорог, магистрали

Keywords: *optics, road lighting, highways*

Введение

Обеспечение безопасного окружающего пространства является одной из самых основных потребностей человека, основанной на

инстинктах самосохранения. Безопасность движения на дорогах и улицах, а также на прилегающих к ним территориях влияет не только на жизнь и комфорт каждого в отдельности, но и на общие макроэкономические показатели. Безопасность дорожного движения складывается из различных факторов, таких как качество покрытия, качество самих транспортных средств, ПДД, культура водителей и пешеходов. Освещение автомобильных дорог является одним из первостепенных факторов. От 30 до 60 % времени суток в России, в зависимости от времени года и географических особенностей, приходится на условия полной или частичной темноты, при том, что ритм жизни современного общества (и движение транспорта) в этих условиях только возрастает [1–3]. Под безопасностью дорожного движения мы понимаем количество ДТП в единицу времени [4]. Качество искусственного освещения автомобильных дорог напрямую влияет на эти факторы. Уровень освещенности дорожного покрытия и средняя яркость полос движения в направлении движения автомобилей воздействуют на способность водителей своевременно увидеть и различить препятствия.

Если внешнее освещение в городе создано должным образом, повышается уровень комфорта граждан, снижается уровень преступности и риск ДТП.

За последние 10 лет в РФ и в мире идет постоянное увеличение объемов строительства и реконструкций автомобильных дорог. Протяженность линий освещения на дорогах федерального значения и искусственных сооружениях [5] в РФ показана на рис. 1.

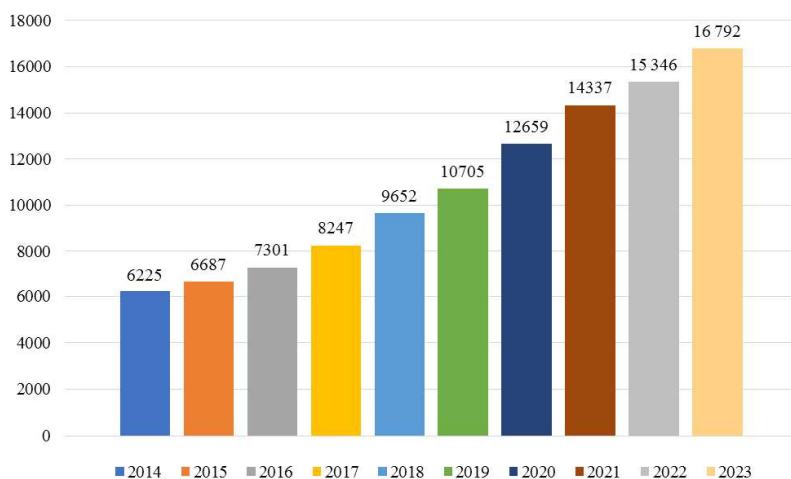


Рис. 1. Протяженность линий освещения на дорогах федерального значения и искусственных сооружениях в Российской Федерации

Согласно [6] понятно, что темпы роста строительства и реконструкций будут увеличиваться. На практике, при строительстве часто возникают потребности в дополнительных работах, ранее не учтённых в проекте стадии П, на основании которого выделяются государственные средства. Это приводит к следующим последствиям:

- 1) по просьбе генерального подрядчика увеличение сметы проекта и, при ее удовлетворении, повторное прохождение государственной экспертизы проекта;
- 2) заморозка строительства;
- 3) увеличение сроков строительства;
- 4) убытки или банкротство генерального подрядчика или подрядчика, с дальнейшим аннулированием контракта и новым тендером на строительство с потерей денежных средств государственными компаниями.

В этой связи актуальным является удешевление стоимости строительства дорог за 1 км, что позволит сэкономить выделяемый бюджет на основании проекта стадии П и удешевить строительство на этапе реализации стадии РД проекта. Актуальность этого вопроса также подчеркивает разрабатываемый [7], где приоритет отдается СД светильникам, позволяющим удешевить стоимость за 1 км.

Метод исследования

Основным заказчиком строительства автодорог является Минтранс России в лице подведомственной организации ГК «Автодор» и органа власти — Федерального дорожного агентства (Росавтодор).

Проанализировав основные тендеры этих двух заказчиков на общедоступном сайте [8] можно сделать вывод, что основным техническим заданием (ТЗ) на строительство дороги является следующее – табл. 1.

Таблица 1. Техническое задание

№пп	Наименование	Параметр
1	Количество полос	4
2	Категория дороги	I
3	Монтажная высота светильника, м.	12
4	Расстояние от светильника до проезжей части, м.	2–4
5	Расположение опор	По обочине или по центру
6	Расстояние между опорами, м	до 45

В результате анализа объектов строительства, в качестве рекомендаций по разработке светильников для освещения магистралей и дорог оптимальное соотношение по ТЗ необходимо принять:

- 1) количество световых точек на 1 км (расстояние между световыми точками);
- 2) цена одной световой точки.

На рис. 2 показана имитация освещения автомагистрали согласно ТЗ для наблюдателя.

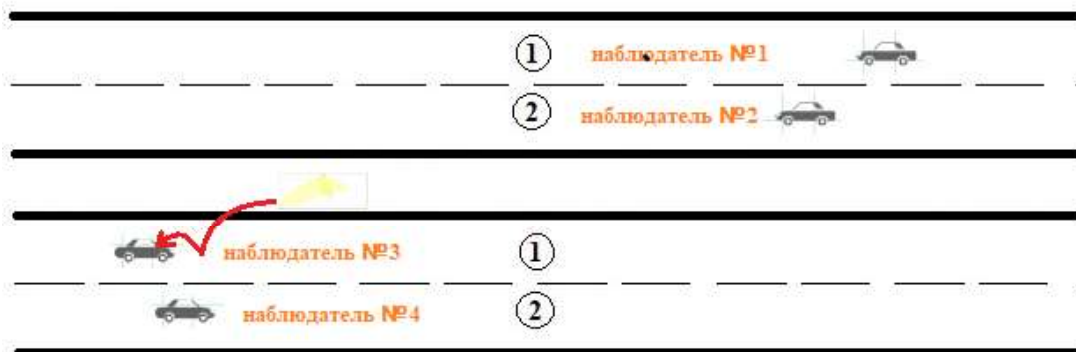


Рис. 2. Имитация освещения автомагистрали для наблюдателя

Если смотреть на стандартную магистраль согласно ТЗ, и для соблюдения нормативов по средней яркости для наблюдателя нет необходимости иметь симметричную КСС относительно плоскости перпендикулярной дороге ввиду того, что он наблюдает яркость только одного «лепестка» КСС светильника.

В качестве анализа полученных результатов произвели технико-экономическое обоснование (ТЭО) для двух вариантов расположения.

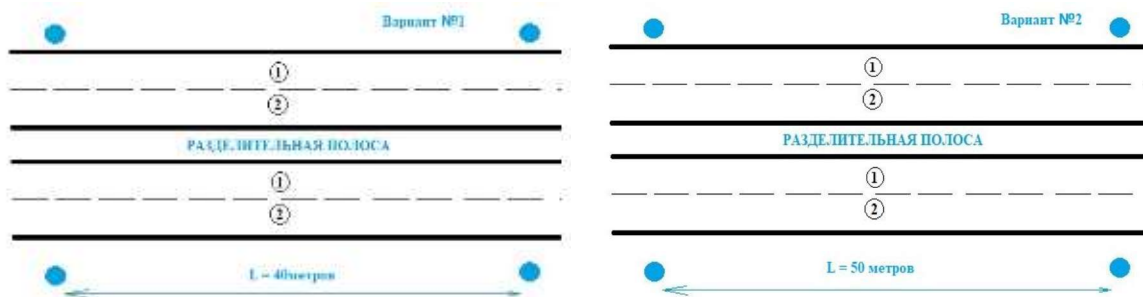


Рисунок 3. Вариант №1 и вариант №2 для ТЭО

Далее, в табл. 2 рассчитали стоимость освещения на 1 километр дороги без учета кабельной продукции для двух вариантов.

Таблица 2 Стоимость освещения на 1 км дороги ТЭО

Наименование	Вариант №1, 40 м		Вариант №2, 50 м	
	За единицу, руб. с НДС	На 1 км, руб. с НДС	За единицу, руб. с НДС	На 1 км, руб. с НДС
Стоимость светильников (2 светильника на двух опорах, расположенных с двух сторон дороги)	$52\,890 \cdot 2 = 105\,780$	2 644 500	$58\,000 \cdot 2 = 116\,000$	2 320 000
Стоимость комплекта металлоконструкций	$142\,498 \cdot 2 = 284\,996$	7 124 900	$142\,498 \cdot 2 = 284\,996$	5 699 920
Сметная стоимость монтажа ОУ	$30\,721 \cdot 2 = 61\,441$	1 536 043	$32\,912 \cdot 2 = 65\,824$	1 306 845
Стоимость эксплуатации ОУ в год, включая расходы на электроэнергию (при тарифе 4,5 руб./(кВт*ч))	8 610	430 500	9 319	372 750

Увеличение шага между опорами до 50 м с увеличением цены светильника на 10 % приводит к снижению и *CAPEX* и *OPEX* (согласно данным из табл. 2) при неизменной или уменьшенной общей потребляемой мощности на освещение объекта:

- стоимости комплектов металлоконструкций (около 20 % на 1 км);
- стоимости монтажа ОУ (около 15 % на 1 км);
- капитальных вложений (около 15–18 % на 1 км).

В качестве оптимальной КСС можно рассмотреть два варианта, симметричную относительно плоскости перпендикулярной дороги или полностью ассиметричную КСС.

Этапы поиска оптимальной КСС:

- 1) моделирование кривой силы света, согласно ТЗ из табл. 1. (математический расчет), с использованием программного обеспечения *ELID*.
- 2) проверка полученной кривой силы света в программе Свет-в-ночи.
- 3) разработка единичной линзы в программном обеспечении *Lighttools*.
- 4) получение обновленной кривой силы света на конкретной линзе.
- 5) проверка в проекте в программе Свет-в-ночи.

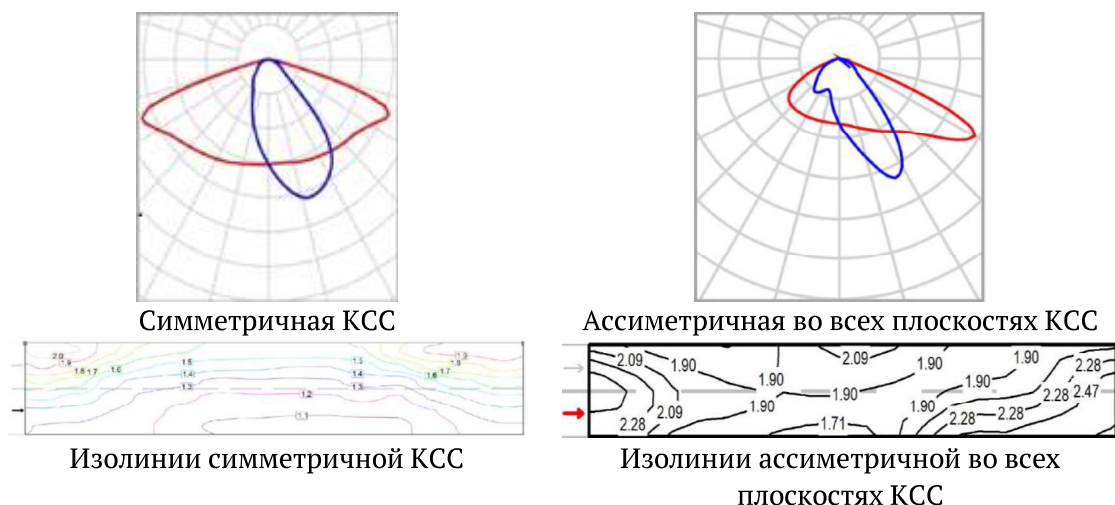


Рисунок 4. Примеры смоделированной ассиметричной КСС в программе

Результаты

Получив оптимальное соотношение на конкретном ТЗ можно существенно снизить себестоимость строительства магистралей и дорог, сохранив при этом соответствие нормам освещенности [9]. Также, необходимо соответствовать нормам заказчиков [7], [10] и [11].

На текущий момент компании производители светодиодных светильников применяют симметричные кривые силы света относительно плоскости, перпендикулярной дороге, типа ШБ (широкая боковая) для достижения необходимой равномерности. Для увеличения шага между световыми точками также можно рассмотреть возможность применения ассиметричной кривой силы света.

Обсуждение

Кривые силы света основных производителей России — симметричные относительно плоскости, перпендикулярной дороги, таким образом, они универсальны, а значит, хорошо применимы для различных расчетных сцен, а также для реверсивных движений.

Применение ассиметричной КСС может дать преимущество в уменьшении потребления электроэнергии, уменьшить ослепление водителя.

Применение ассиметричной кривой силы света на дорогах и магистралях имеет свои ограничения, а именно:

- 1) при освещении дороги с односторонним движением и односторонним расположением светильников, КСС светильников, расположенных справа и слева от дороги, должны быть разными, симметричными относительно направления движения.

- 2) в разных направлениях движения необходимо применять разные асимметричные кривые силы света (зеркально симметричные);
- 3) асимметричная КСС менее универсальна для применения на дорогах чем симметричная и должна быть рассчитана под конкретное ТЗ;
- 4) рассчитанная асимметричная КСС с большей вероятностью будет эффективно применима только при конкретной расчетной сцене, допустим при ТЗ, которое указано в пункте выше.

Возможности применения и производства светодиодных светильников с асимметричной кривой силы света — это предмет отдельного исследования.

Выводы

В работе исследуется вопрос поиска оптимальной КСС для снижения капитальных и эксплуатационных затрат. Анализируются:

- 1) текущие и будущие проекты по строительству автомагистралей;
- 2) текущие кривые силы света основных Российских производителей, применяемых для освещения автомагистралей.

Исходя из анализа можно сделать вывод, что ТЗ для оптимальной КСС будет табл. 1, а в качестве оптимальной КСС можно рассмотреть не только симметричные КСС под табл. 1, но асимметричные во всех плоскостях КСС, предположительно дающие преимущества как в энергоэффективности, так и в уменьшении количества световых точек на 1 км освещения.

Список литературы

1. Методические рекомендации по разработке и реализации мероприятий по организации дорожного движения. – М.: Министерство транспорта РФ, 2018. – 32 с.
2. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга и Г.В. Бооса. 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Редакция журнала «Светотехника», 2019. – 892 с.
3. Коробко А.А. Утилитарное наружное освещение: Учебное пособие для выс. учеб. зав. – М.: Редакция журнала «Светотехника», 2020. – 124 с.
4. Справочник по безопасности дорожного движения. – Oslo-Москва-Хельсинки: МАДИ (ТУ), 2001. – 774 с.
5. Сайт <https://www.fedstat.ru>

6. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 20 июня 2022 г. № 1601-р, Москва. – 60 с.
7. СТО Автодор 2.36-2022. «Требования к устройству стационарного наружного освещения и электроснабжения на автомобильных дорогах Государственной компании «Автодор». – М.: Автодор, 2022. – 16 с.
8. Сайт <https://zakupki.gov.ru>
9. ГОСТ Р 58107.1-2018. Освещение автомобильных дорог общего пользования. Нормы и методы расчета. М.: Стандартифо, 2018. – 12 с.
10. ОДМ 218.8.006–2016 Росавтодор. Осветительные приборы для автомобильных дорог. Классификация. Общие требования и методы испытания. – М.: Росавтодор, 2015. – 27с.
11. СП 52.13330.2016. "Естественное и искусственное освещение". Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 7 ноября 2016 г. N 777/пр
12. Сайт <https://bl-g.ru/>

МОДЕРНИЗАЦИЯ СВЕТОВОЙ СРЕДЫ ПЛОЩАДИ КИРОВА

*Цветков Н.Э., студент; Толкачева К.П., к.т.н., доцент
Национальный исследовательский Томский политехнический
университет, г. Томск*

MODERNIZATION OF THE LIGHT ENVIRONMENT OF KIROV SQUARE

*Tsvetkov N.E., student; Tolkacheva K.P., Ph.D., Associate Professor
National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk*

Аннотация

Световая среда города определяет комфортность, безопасность и эстетику улиц, в тёмное время суток. Качественная осветительная установка транспортных и пешеходных зон повышает читаемость местности, видимость пешеходов. Архитектурное освещение позволяет как повторить дневной облик здания, путем заливающего освещения, так и полностью преобразить его, предоставив новый визуальный опыт.

Актуальность настоящей работы заключается в модернизации существующей светотехнической установки площади Кирова, с целью повышения её качественных и эстетических характеристик. Преобразование установки приведёт к повышению равномерности, освещённости, созданию общего концепта осветительной установки площади. Данные изменения должны положительно повлиять на безопасность и комфорт пешеходов и водителей. Для этого будут использованы светодиодные светильники с высокой энергоэффективностью и цветопередачей.

Задача проекта — спроектировать светотехническую установку, удовлетворяющую эстетическим и нормативным требованиям, для освещения пл. Кирова (г. Томск). Для решения данной задачи был проведён опрос качества освещения пл. Кирова. Также проведён количественный анализ существующей светотехнической установки, путём проведения замеров освещённости тротуаров и парковой зоны. При рассмотрении качественных характеристик были изучены архитектурные решения на пл. Кирова.

Abstract

An important criterion for a comfortable urban environment is street lighting. It is necessary to analyze the existing lighting system and propose its modernization.

The objective of the project is to design a lighting installation that meets aesthetic and regulatory requirements for lighting Kirov Square (Tomsk).

Ключевые слова: освещение, освещение дорог, парковое освещение, архитектурное освещение, яркость

Keywords: *lighting, road lighting, park lighting, architectural lighting, brightness*

Введение

Грамотная разработка концепции наружного освещения позволяет создать комфортную, эстетичную и безопасную среду для общественного пространства.

На сегодняшний день преобладает концептуальный подход к формированию световой среды. Требованием современного общества, предъявляемым к освещению, является не только выполнение функциональных задач, но и соответствие современным представлениям о гармоничном световом окружении. В последнее время в научных работах выявлено комплексное воздействие света на организм человека, которое включает, помимо визуального, также биологическое и психологическое воздействие. Сегодня это необходимо учитывать при составлении концепции освещения.

Метод исследования

В рамках исследования проведена комплексная оценка осветительной установки с применением двух методик. Первая методика — социологический опрос респондентов. Анкета включала 7 вопросов, направленных на анализ субъективного восприятия параметров освещения: уровень освещённости, равномерность распределения, цветовая температура источников света, безопасность освещения в тёмное время суток.

Анализ анкетирования выявил несоответствие освещения ожиданиям жителей: 59 % респондентов отметили недостаточную освещённость пешеходных зон, а 82 % — дискомфорт из-за низкой равномерности освещения. Также 61 % опрошенных склонялись к неудовлетворительной оценке чувства безопасности в исследуемой зоне.

Вторая методика включает измерения светотехнических характеристик, выполненных в соответствии с ГОСТ 34919-2022 [1].

Особый акцент измерений сделан для пешеходной зоны на участке проспекта Кирова так как помимо утилитарного освещения

имеется существующее архитектурное освещение здания Томского электротехнического завода (рис. 1). Для повышения энергоэффективности необходимо учесть существующую установку в модернизации освещения.



Рис. 1. Томский электротехнический завод, архитектурное освещение

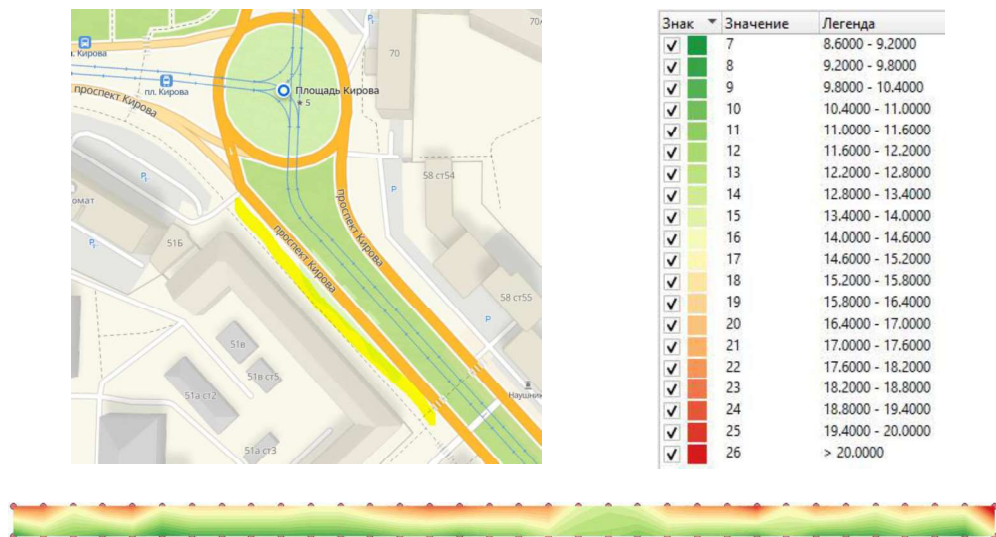


Рис. 2. Результаты замеров освещённости пешеходной зоны

Также был проведён качественный анализ освещения. На рис. 3 представлены недостатки в освещении парковой зоны.



Рис. 3. Освещение парковой зоны

Анализ существующей световой установки выявил следующие проблемы освещения парковой зоны: высокая контрастность света (снижает комфорт и безопасность пространства), освещение только центральной части парка, низкая высота монтажа световых приборов и значительный наклон приводят к ослепляющему эффекту.

Для решения данных проблем был проведен светотехнический расчет (рис. 4).

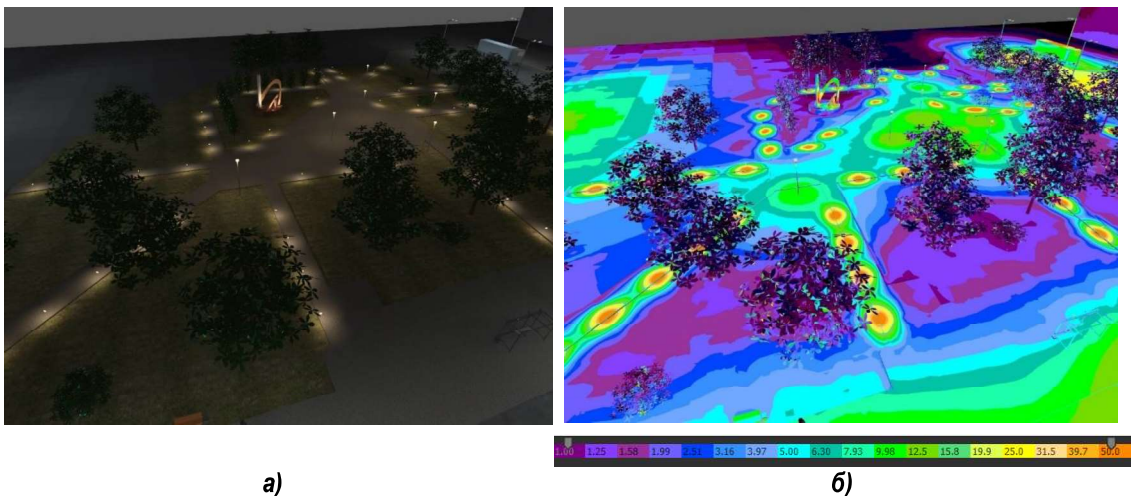


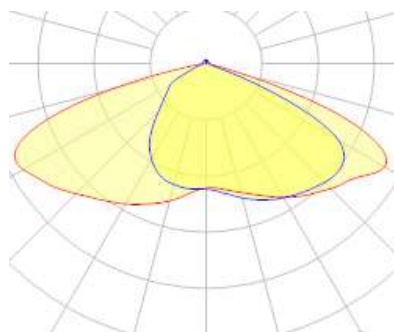
Рис. 4. Освещение парковой зоны (а), освещение парковой зоны в фиктивных цветах (б)

При проектировании концепта паркового освещения особое внимание уделялось минимизации светового загрязнения, в связи с этим основное освещение выполнено с боллардов. Также учитывалось влияние пространства и глубина поля зрения [2]. Для удовлетворения чувства безопасности в парковой зоне в новом проекте предлагается повышение равномерности освещения, создание необходимой освещённости на протяжении всего пешеходного пути [3].

Основное освещение парка реализовано с помощью светильника *Diora Kengo* в специальном исполнении. Светильник позволяет добиться зонирования и построения маршрутов. Характеристики прибора: цветовая температура 3000 К; мощность 4 Вт; световой поток 500 лм; цветопередача *Ra80*. Мощность новой светотехнической установки для парка составила 352 Вт.



а)



б)

Рис. 5. Светильник *Diora Kengo* (а), КСС светильника (б)

Обсуждение

В рамках светотехнического расчёта были применены следующие принципы [4]:

1. Принцип функциональной светопланировки: каждый участок рассматривается как отдельный светотехнический проект.
2. Принцип согласованного решения элементов городской среды — *urban*-дизайна и светодизайна: утилитарное освещение должно вписываться в художественную задумку, не разрушая общей концепции.
3. Принцип комплексности разработки и программирования управления системами наружного освещения: мы должны учитывать все осветительные приборы в ходе проектирования.
4. Принцип масштабного, стилевого и экологического соответствия установок наружного освещения: опоры осветительных приборов следует рассматривать как малые архитектурные формы.

Данные принципы согласуются с работой Г.С. Матовникова по модернизации осветительной установки [4].

Выводы

В работе изучены основные принципы и приемы архитектурного и утилитарного освещения улиц. Рассмотрено влияние света на облик города, а также на ощущение безопасности и комфорта прохожих.

Проведена оценка существующей светотехнической установки, выявлены недостатки в освещенности, равномерности и комфорте освещения. Согласно результатам замеров средняя освещенность парка составила 1 лк, средняя освещённость тротуаров варьируется от 3 до 12 лк.

Проведён опрос, показавший заинтересованность респондентов в модернизации света на площади Кирова, а также давший оценку уже существующему освещению.

Разработана система наружного освещения с учётом нормативных и эстетических требований. Данная система является эффективной, простой в монтаже, эксплуатации и возможна в реализации. Средняя освещённость парка выросла до 15 лк, средняя освещённость тротуаров составила 10 лк, средняя освещённость проездов — 20 лк.

Список литературы

1. ГОСТ 34919-2022 освещение наружное утилитарное методы измерений нормируемых параметров – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1301918434> (дата обращения: 06.06.2025). – Текст: электронный.
2. Lis A. et al. Park lighting after dark—is it a route or a place? How people feel in park nightscapes (experiment) //Landscape and Urban Planning. – 2024. – Т. 248. – С. 105098.
3. Lis A. et al. How to light up the night? The impact of city park lighting on visitors' sense of safety and preferences //Urban forestry & urban greening. – 2023. – Т. 89. – С. 128124.
4. Матовников Г.С. Концептуальные принципы освещения пешеходных улиц (на примере Москвы) //Architecture and Modern Information Technologies. – 2016. – №. 2 (35). – С. 16.

ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ СУМЕРЕЧНОЙ ФОТОМЕТРИИ ДЛЯ РАСЧЁТА УЛИЧНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

*Сыч Н.В., магистрант; Снетков В.Ю., к.т.н., доцент
Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва*

APPLICATION OF THE MESOPIC PHOTOMETRY MODEL FOR CALCULATING STREET LIGHTING

*Sych N. V., master's student; Snetkov V. Yu., Ph.D., Associate Professor
National Research University «Moscow Power Engineering Institute»,
Moscow*

Аннотация

В работах, опубликованных год назад [1, 2], было проведено исследование актуальных математических моделей сумеречной или мезопической фотометрии. В развитии этих работ мы использовали результаты расчёта мезопических величин в программе «Свет в ночи». Эта новая версия отечественной программы предлагает математический аппарат на основе решения уравнения глобального освещения с поддержкой фотонных карт и локальных оценок, что обеспечивает высокую точность расчётов светотехнических параметров. Сравнение результатов расчёта с предыдущей версией программы *Light-in-night road (LIN)* показало близкое соответствие данных уличного освещения, которые различаются не более чем на 1,5 %. Кроме того, использование более простых аппроксимаций Ханта [3] для нахождения мезопической яркости дало отличие всего в 3 % от данных расчёта по модели МКО *MES2*, поэтому эту простую формулу вполне можно использовать во многих инженерных применениях. Другой подход определения мезопических величин основан на измерении скотопических (ночных) величин. Мы выбрали стеклянный светофильтр СЗС8 [4] и рассчитали его толщину для исправления спектральной чувствительности кремниевого фотодиода под относительную спектральную световую эффективность ночного зрения.

Abstract

In papers published a year ago [1, 2], a study of current mathematical models of twilight or mesopic photometry was conducted. In the development of these works, we used the results of the calculation of mesopic quantities in the program "Light at Night". This new version of the Russian program offers a mathematical apparatus based on solving the global lighting equation with

support for photonic maps and local estimates, which ensures high accuracy in calculating lighting parameters. A comparison of the calculation results with the previous version of the Light-in-the-night road (LIN) program showed a close match between the street lighting data, which differ by no more than 1.5 %. In addition, the use of simpler Hunt approximations [3] to find the mesopic brightness resulted in a difference of only 3 % from the calculation data for the CIE MES2 model, so this simple formula can be used in many engineering applications. Another approach to determining mesopic quantities is based on measuring scotopic (nocturnal) quantities. We selected the SZS8 glass light filter [4] and calculated its thickness to correct the spectral sensitivity of the silicon photodiode for the relative spectral light efficiency of night vision.

Ключевые слова: мезопическое (сумеречное) зрение, относительная спектральная световая эффективность, яркомер для измерения скотопических величин, уличное освещение

Keywords: *mesopic vision, spectral luminous efficiency, brightness meter for measuring scotopic quantities, outdoor lighting*

Введение

Новая Российская программа «Свет в ночи» предназначена для расчёта и моделирования осветительных установок внутреннего и наружного (дорожного, архитектурного, офисного, промышленного, спортивного, музейного и тепличного) освещения. Она базируется на действующих российских нормах; имеет отечественный математический аппарат моделирования 3D сцен и расчёта светотехнических параметров, основанный на решении уравнения глобального освещения с учётом многократного отражения света. Использование фотонных карт поставило её в один ряд с известными программами расчёта освещения. Реализация локальных оценок позволит сделать «Свет в ночи» лидером светотехнических расчётов. Метод позволит правильно оценивать зеркальные отражения, блики для качественной оценки объединённого показателя дискомфорта *UGR*.

Методы исследования

Для проектирования освещения со светильником *GALAD* Галеон *XS LED* 40 Вт была выбрана дорога категории В, класс объекта В2, 4 полосная дорога жилой застройки в центре города (ширина полосы 3,75 м, покрытие мелкозернистое, высота светового центра над полосой — 10 м). Система *MES2* описана в [1, 2] и рассчитывает мезопическую яркость:

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

где $M(m)$ — нормирующая функция;

$V_{mes}(\lambda), V(\lambda), V'(\lambda)$ — относительная спектральная световая эффективность зрительной системы человека при сумеречном, дневном и ночном освещении соответственно;

m — параметр, принимающий значения от 0 до 1.

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

где $L_{e,\lambda}$ — спектральная плотность энергетической яркости;

длина волны $\lambda_0 = 555$ нм.

Методика МКО предлагает определять S/P фактор по формуле:

$$S/P = L_s/L_p = \frac{1699 \int_{380}^{780} L_{e,\lambda}(\lambda) V'(\lambda) d\lambda}{683 \int_{380}^{780} L_{e,\lambda}(\lambda) V(\lambda) d\lambda} \quad (3)$$

где L_p, L_s — фотопическая и скотопическая яркости соответственно.

Иной расчётный подход касался применения простых практических аппроксимаций вместо сложных моделей определения мезопических величин через скотопические значения L_s из формулы (3). Мы предложили скотопическую яркость осветителя (L_{AS}) получить из его фотопической яркости (L_A) и коррелированной цветовой температуры (T) по уравнению из модели восприятия Ханта [3]:

$$L_{AS} = 2,26 \cdot L_A \left[\left(\frac{T}{4000} \right) - 0,4 \right]^{1/3} \quad (4)$$

Затем $V_{mes}(\lambda)$ можно получить как среднее арифметическое значение:

$$V_{mes}(\lambda) = \frac{V(\lambda) + V'(\lambda)}{2} \quad (5)$$

Другой подход определения мезопических величин основан на измерении скотопических величин. Из-за отсутствия отечественного измерительного прибора мы предлагаем расчёт корректирующих светофильтров для приёмника излучения ФД-9К [5], исправленного под $V'(\lambda)$. По [4] выбираем светофильтры, которые могут в совокупности с учётом спектральной чувствительности приёмника дать максимально приближенный график к $V'(\lambda)$. Был выбран светофильтр СЗС8 (с показателем преломления $n_1=1,517$). Данные для стёкол взяты из ГОСТ 9411-91 [4] — рис. 1. При расчёте коэффициента пропускания необходимо учесть френелевские потери на отражение:

$$\tau = \left(1 - \left(\frac{n_1 - 1}{n_1 + 1} \right)^2 \right)^2 \cdot \tau_{СЗС8} \quad (6)$$

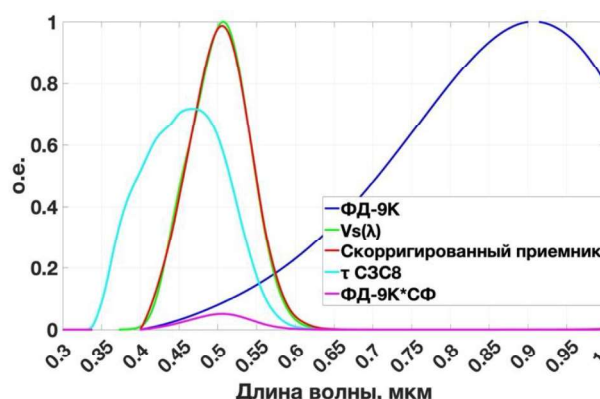


Рис. 1. Спектральная чувствительность ФД-9К ($S_{\text{приб}}(\lambda)$), относительные спектральные световая эффективности для ночных условий ($V_s(\lambda)$), скорригированный приёмник; спектральный коэффициент пропускания СФ СЗС8 ($\tau_{\text{СЗС8}}$); ФД-9К*СФ

Корригированная кривая строилась по формуле:

$$S_s(\lambda) = S_{\text{приб}}(\lambda) \cdot \tau(\lambda) \cdot c(\lambda), \quad (7)$$

где $c(\lambda)$ — нормирующий коэффициент

$$c(\lambda) = \frac{\int_{0.8}^{0.38} V'(\lambda) d\lambda}{\int_{0.8}^{0.38} S_{\text{приб}} \cdot \tau d\lambda} \quad (8)$$

$S_{\text{приб}}(\lambda)$ — спектральная относительная чувствительность приёмника оптического излучения.

Погрешность коррекции оценивалась по критерию разности площадей.

Результаты

В табл. 1 и рис. 2 приведены результаты расчёта в программах.

Таблица 1. Нормируемые и расчётные характеристики

	Нормируемые показатели	Расчёт в LIN	Расчёт в «Свет в ночи»
$L_{\text{ср}}$, кД/м ² , не менее	0,6	0,61	0,62
Общая равномерность яркости дорожного покрытия U_0 , не менее	0,4	0,45	0,45
$E_{\text{ср}}$, лк, не менее	10	10,2	10,28
Равномерность освещённости дорожного покрытия U_n , не менее	0,25	0,39	0,39

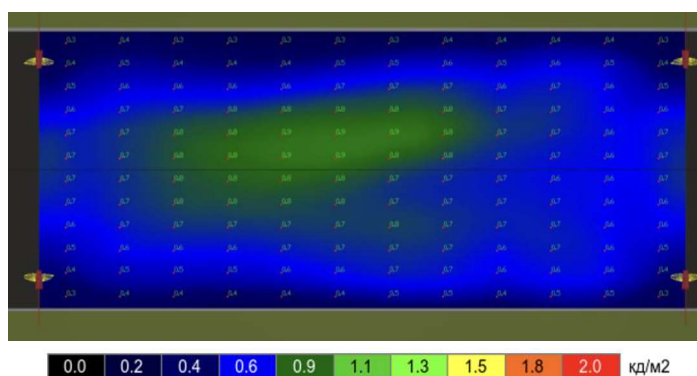


Рис. 2. Распределение яркости в кд/м^2 на дороге класса В2 в Свет-в-ночи

Основные расчётные параметры отличаются не более чем на 1,5 %, т.е. для уличного освещения отличия новой и прежней программы не выявлены. Рассматриваем наш расчёт, прежде всего, как один из первых примеров применения программы «Свет в ночи». Что касается более простых аппроксимаций $V_{mes}(\lambda)$, то на рис. 3 представлены эти зависимости. Последующий расчёт мезопической яркости с использованием аппроксимации скотопической яркости осветителя по модели Ханта (0,676) отличается от модели МКО $MES2$ (0,695) всего на 3 %.

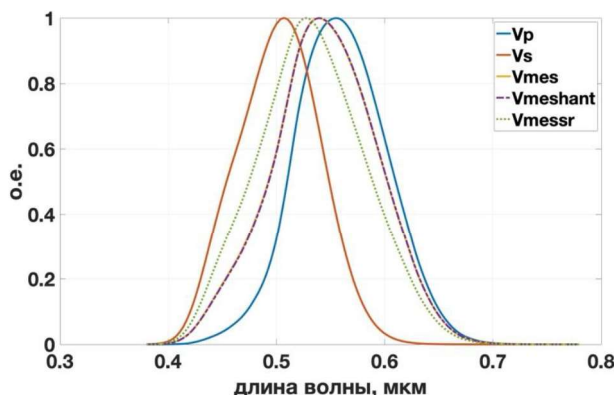


Рис. 3. Относительные спектральные световые эффективности для дневных (V_p), ночных (V_s) и мезопических условий освещения по методике МКО (V_{mes}), по методике Ханта ($V_{meshant}$), по среднему арифметическому (V_{messr})

Использование расчёта L_s из формулы (3), а затем среднего арифметического $V(\lambda)$ и $V'(\lambda)$ является грубым вычислением и для серьёзных исследований не подходит, так как мезопическая яркость отличается на 23 %.

Результаты расчёта корректирующих светофильтров для кремниевого фотодиода ФД-9К, исправленного под $V'(\lambda)$, таковы:

толщина светофильтра СЗС8 — 20 мм, погрешность корригирования — 4 %, ослабление сигнала — 5 %.

Обсуждение

Применение новой программы «Свет в ночи» даёт возможность рассчитывать дневную яркость дорожного покрытия как для российских дорог, так и для зарубежных. Поэтому разработанный ранее метод нахождения мезопической яркости становится универсальным. Мы рекомендуем использовать математическую модель МКО *MES2* [6, 1 и 2] для серьёзных научных работ, где важна точность. Использование формулы (4), взятой из модели Ханта, можно считать вполне удобной и приемлемой для инженерной практики. Предложенный пример спектральной коррекции приёмника излучения под функцию $V'(\lambda)$ — шаг в деле создания отечественного прибора для измерения скотопических, а значит и определения мезопических величин.

Выводы

Проведённая апробация показала, что универсальная отечественная программа «Свет в ночи» вполне пригодна для расчёта и проектирования уличного освещения, заменяя старую версию. Расчёт мезопической яркости через простую аппроксимацию по модели Ханта позволяет её использовать во многих инженерных применениях, т.к. отличие от точного расчёта по модели МКО *MES2* составило всего 3 %. С 96 % точностью нами осуществлён пример расчёта корригирующих светофильтров для возможного отечественного прибора, измеряющего скотопическую яркость, что в последующем позволит по ней и фотопической яркости определить мезопическую яркость.

Список литературы

1. Сыч Н.В., Снетков В.Ю. Применение актуальной системы сумеречного зрения МКО для уличного освещения // Светотехника. – 2025. – №1. – С. 55–59
2. Сыч Н.В., Снетков В.Ю. Исследования особенностей зрения человека в условиях сумеречного освещения // Инновационная светотехника. – 2025. – Т.1. – С. 86–92
3. Фершильд М.Д. Модели цветового восприятия / М.Д. Фершильд; пер. с англ. 2004. – 247–249 с. (M.D. Fairchild. Color Appearance Models / Munsell Color Science Laboratory, 2004).
4. ГОСТ 9411-91 Стекло оптическое цветное. Технические условия.

5. Аксененко М.Д. Приёмники оптического излучения / М.Д. Аксененко, М.Л. Бараночников // «Радио и связь». – 1987. – 53–71 с.
6. ED/TR JTC 01: Recommendations for Practical Application of the CIE System for Mesopic Photometry in Outdoor Lighting.

РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОРОГОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦВЕТОВОГО ЗРЕНИЯ

*Сурков И.В., магистр; Рыбина В.А., к.т.н., доцент;
Вершинин А.А., бакалавр; Григорьев А.А., д.т.н., профессор
Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва*

DEVELOPMENT OF A COMPUTER SETUP FOR INVESTIGATING THRESHOLD CHARACTERISTICS OF COLOR VISION

*Surkov I.V., Master's degree; Rybina V.A., Ph.D., Associate Professor
Vershinin A.A., Bachelor's degree; Grigoriev A.A., D.Sc., Professor
National Research University «Moscow Power Engineering Institute»,
Moscow*

Аннотация

В статье представлена компьютерная установка для исследования пороговых характеристик цветового зрения, включающая специализированное программное обеспечение и 10-битный монитор с технологией *FRC* (*Frame Rate Control*). Проведены калибровка оборудования, оценка погрешностей и экспериментальные исследования влияния параметров изображений на вероятность опознавания объектов. Установка демонстрирует высокую точность измерений (суммарная погрешность $\leq 10\%$) и может использоваться в светотехнике, медицине и разработке визуальных интерфейсов. Результаты показывают, что технология *FRC* эффективно имитирует 10-битный цвет, обеспечивая минимальный контраст 0,0027 при яркости 20 кд/м². Эксперименты с участием пяти наблюдателей подтвердили воспроизводимость данных и соответствие классическим исследованиям Блэкуэлла. Особое внимание уделено анализу влияния формы объектов на вероятность их опознавания, что расширяет понимание механизмов зрительного восприятия. Разработанная система предлагает экономичную альтернативу традиционным аналоговым установкам без потери точности измерений.

Abstract

The article presents a computer-based setup for studying the threshold characteristics of color vision, which includes specialized software and a 10-bit monitor with Frame Rate Control (FRC) technology. The equipment was calibrated, measurement errors were assessed, and experimental studies were conducted on the influence of image parameters on object recognition

probability. The setup demonstrates high measurement accuracy (total error $\leq 10\%$) and can be used in lighting engineering, medicine, and visual interface development. The results show that FRC technology effectively simulates 10-bit color, providing a minimum contrast of 0.0027 at a luminance of 20 cd/m². Experiments involving five observers confirmed data reproducibility and consistency with Blackwell's classical studies. Special attention is given to analyzing the influence of object shape on recognition probability, expanding the understanding of visual perception mechanisms. The developed system offers a cost-effective alternative to traditional analog setups without compromising measurement accuracy.

Ключевые слова: пороговые характеристики зрения, цветовое зрение, калибровка монитора, метод постоянных стимулов, FRC.

Keywords: *vision threshold characteristics, color vision, monitor calibration, method of constant stimuli, FRC.*

Введение

Исследование пороговых характеристик зрительного восприятия играет ключевую роль в таких областях, как светотехника, медицина, авиация и разработка визуальных интерфейсов. Традиционные аналоговые установки, основанные на оптико-механических компонентах, требуют сложной настройки, дорогостоящего оборудования и специализированных условий эксплуатации [1]. В данной работе предложена цифровая альтернатива на базе персонального компьютера (рис. 1), сочетающая точность измерений с простотой использования.



Рис. 1. Установка на базе персонального компьютера

Актуальность исследования обусловлена необходимостью разработки доступных и точных методов измерения пороговых характеристик зрения, особенно в условиях роста требований к визуальным технологиям. Цель работы — создание экспериментальной установки для изучения пороговых характеристик цветового зрения с

использованием современных компьютерных технологий, включая 10-битные мониторы и специализированное программное обеспечение.

Методы исследования

Экспериментальная установка включала монитор *Acer VG271UPbitpx* с 10-битным цветом (*8-bit + FRC*), разрешением 2560×1440 и пиковой яркостью 350 кд/м^2 . В качестве управляющего компьютера использовался ноутбук *ASUS TUF Gaming A15* с графическим ускорителем *NVIDIA GeForce RTX 2050*, обеспечивающий стабильный вывод 10-битного сигнала [2]. Для измерений применялись профессиональные приборы: яркомер *LS-100* для калибровки установки по яркости и определения контраста объекта с фоном.

Погрешность измерений включала следующие компоненты: погрешность яркомера *LS-100* $\pm 5 \%$ (по данным производителя), погрешность интерполяции данных $\leq 1 \%$, неравномерность яркости экрана в центральной зоне $\leq 3 \%$. Суммарная погрешность не превышала 10% , что подтверждается экспериментальными данными.

Для управления установкой было разработано специализированное программное обеспечение на *Python*. Программа использует библиотеки *OpenGL* и *GLFW* для точного управления выводом изображений, *OpenCV* для обработки масок стимулов, а также *Matplotlib* и *NumPy* для анализа экспериментальных данных [3, 4]. Программное обеспечение поддерживает два основных метода психофизических исследований: метод постоянных стимулов для определения вероятности обнаружения и опознавания объектов и метод минимальных изменений для измерения пороговых значений контраста объекта с фоном.

Методика экспериментов включала несколько этапов. На первом этапе проводилась калибровка монитора, включавшая измерение яркости экрана монитора в режимах градаций серого и отдельных *RGB*-каналов, а также оценку неравномерности яркости экрана, которая не превышала 3% в центральной зоне. На втором этапе проводились эксперименты с участием пяти наблюдателей с нормальным зрением. В исследованиях использовались стимулы с угловыми размерами от 2 до 18 минут, что позволило измерить вероятность опознавания объектов при различных значениях контраста объекта с фоном (рис. 2). Все наблюдатели перед основными экспериментами прошли специальную тренировку по методике принудительного выбора для минимизации влияния субъективных факторов.

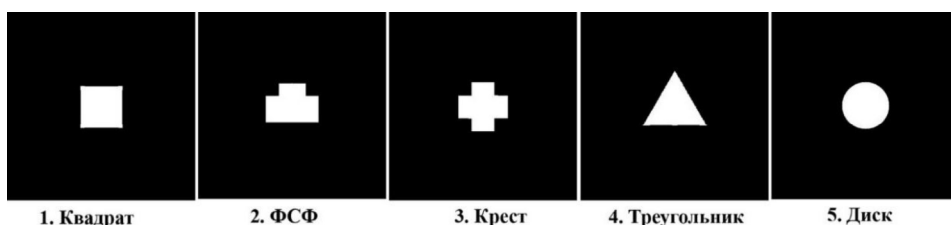


Рис. 2. Примеры стимулов

Результаты

Калибровка оборудования показала высокую точность измерений. Минимальный контраст, достижимый на установке, составил 0,0027 при яркости 20 кд/м^2 , что соответствует требованиям для исследования пороговых характеристик зрения. Погрешность измерения яркости не превышала 5 %, обеспечивая достоверность экспериментальных данных. Для подтверждения точности измерений был проведён расчёт погрешностей: при контрасте 0,0027 погрешность составила 0,0003 (11 %), а для порогового контраста 0,008 — не более 0,001 (12,5 %). Эти значения полностью соответствуют требованиям психофизических исследований. Важным аспектом калибровки стало измерение спектральных характеристик монитора. Были получены спектральные плотности энергетической светимости для каждого *RGB*-канала, что позволило точно настроить цветопередачу установки. Особое внимание уделялось стабильности координат цветности «белого цвета», которые оставались неизменными при варьировании яркости экрана.

Экспериментальные исследования продемонстрировали высокую эффективность разработанной установки. При контрасте 0,15 и угловом размере стимулов 18 минут наблюдатели демонстрировали вероятность правильного опознавания объектов в диапазоне 85–91 %. Пороговый контраст, соответствующий 50 %-ной вероятности обнаружения, для круглого стимула (диска) составил $0,008 \pm 0,001$, что хорошо согласуется с классическими данными Блэкуэлла [5]. Интересные результаты были получены при анализе влияния формы объектов на вероятность их опознавания. Наблюдатели значительно лучше распознавали простые геометрические формы, такие как квадрат и диск, по сравнению с более сложными фигурами — крестом и треугольником. Это подтверждает известные в психофизике закономерности о зависимости опознавания от сложности зрительного стимула (рис. 3–5).

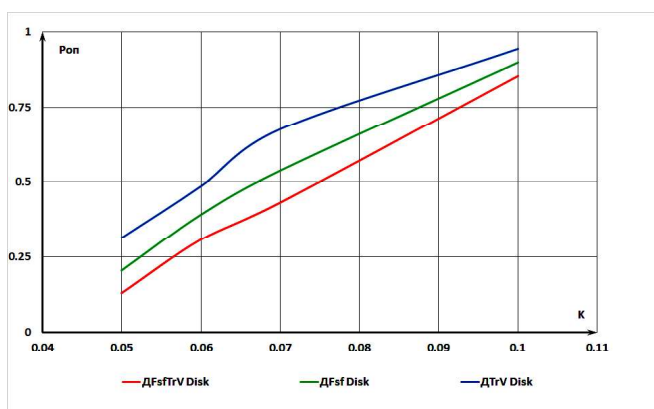


Рис. 3. Зависимость средних по пяти наблюдателям вероятностей опознавания диска в паре с другими объектами (ДФsf Disr, ДTrV Disr; ДFsf Fsf, FsfTrV Fsf; FsfTrV TrV, ДTrV TrV) и в совместном наборе (ДФsfTrV Disr, ДFsfTrV Fsf, ДFsfTrV TrV) от контраста объектов с фоном

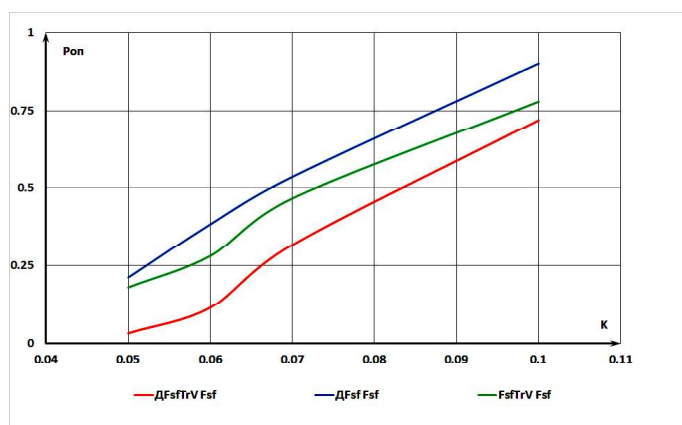


Рис. 4. Зависимость средних по пяти наблюдателям вероятностей опознавания Fsf в паре с другими объектами (ДФsf Disr, ДTrV Disr; ДFsf Fsf, FsfTrV Fsf; FsfTrV TrV, ДTrV TrV) и в совместном наборе (ДФsfTrV Disr, ДFsfTrV Fsf, ДFsfTrV TrV) от контраста объектов с фоном

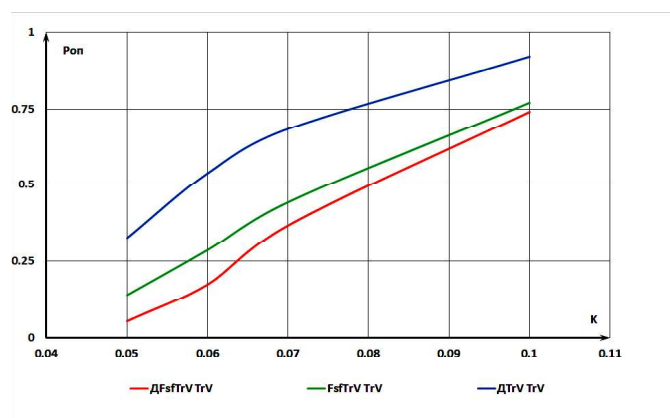


Рис. 5. Зависимость средних по пяти наблюдателям вероятностей опознавания TreugV в паре с другими объектами (ДФsf Disr, ДTrV Disr; ДFsf Fsf, FsfTrV Fsf; FsfTrV TrV, ДTrV TrV) и в совместном наборе (ДФsfTrV Disr, ДFsfTrV Fsf, ДFsfTrV TrV) от контраста объектов с фоном

Все измерения проводились в строго контролируемых условиях. Яркость фона поддерживалась на уровне 20 кд/м^2 , что соответствует условиям дневного зрения. Каждый наблюдатель выполнил не менее 200 предъявлений для каждого типа стимулов, что обеспечило статистическую значимость результатов. Особое внимание уделялось равномерности освещения тестовой зоны — измерения показали, что в центральной области экрана (диаметром около 30 см) неравномерность яркости не превышала 3 %. Это гарантировало, что все наблюдатели работали в одинаковых условиях визуализации стимулов.

Обсуждение

Исследование простых геометрических форм является фундаментальным для понимания базовых механизмов зрительного восприятия. Эти стимулы позволяют исключить влияние когнитивных факторов, связанных с опознаванием сложных объектов (например, букв), и сосредоточиться на пороговых характеристиках зрения. Результаты служат основой для дальнейших исследований с более сложными стимулами.

Разработанная установка обеспечивает точность измерений, сопоставимую с аналоговыми системами, благодаря применению технологии *FRC* для имитации 10-битного цвета. Это позволяет исследовать пороговые характеристики зрения с минимальным контрастом 0,0027.

Основные ограничения включают неравномерность яркости экрана (до 30 % по краям) и индивидуальные различия между наблюдателями. Для получения достоверных результатов эксперименты проводились только в центральной зоне экрана с участием пяти испытуемых.

Перспективы развития системы включают проведение исследований по опознаванию цветных объектов на цветных фонах и расширение набора опознаваемых стимулов. Эти усовершенствования позволят изучать не только пороговые характеристики, но и механизмы зрительного восприятия в условиях, приближенных к реальным.

Выводы

Компьютерная установка обеспечивает высокую точность исследований пороговых характеристик цветового зрения (погрешность $\leq 10 \%$) и превосходит традиционные аналоговые системы по простоте

использования и стоимости. Результаты работы могут быть применены в светотехнике и разработке визуальных интерфейсов.

Список литературы

1. Айзенберг Ю.Б. (ред.). Справочная книга по светотехнике. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Знак, 1974. – 972 с.
2. 10 and 12-Bit Grayscale Technology / NVIDIA Corporation. – Technical Brief TB-04631-001_v04. – April 2013.
3. PyOpenGL Developers. PyOpenGL [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pyopengl.sourceforge.net/>
4. GLFW Developers. GLFW [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.glfw.org/>
5. *Blackwell H.R.* Contrast thresholds of the human eye // Journal of the Optical Society of America. – 1946. – Vol. 36, № 11. – P. 624–643.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОСВЕЩЕНИЯ ДЛЯ СЛАБОВИДЯЩИХ ПОСЕТИТЕЛЕЙ В ЗАЛЕ МУЗЕЯ

*Турчанинов Н.В., студент; Кистенёва А.В., старший преподаватель
Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва*

DESIGN OF LIGHTING FOR VISUALLY IMPAIRED VISITORS IN A MUSEUM HALL

*Turchaninov N.V., student; Kisteneva A.V., senior lecturer
National Research University «Moscow Power Engineering Institute»,
Moscow*

Аннотация

В работе представлены особенности проектирования освещения для слабовидящих посетителей в зале музея «Огни Москвы». Проведён анализ литературных данных, позволяющий выделить несколько ключевых особенностей и рекомендаций, которые могут быть полезны для создания комфортной и доступной среды для посетителей с нарушениями зрения. С учётом нормативных требований и практического опыта были предложены рекомендации по созданию освещения для слабовидящих. Проект освещения выполнен с учётом архитектурных особенностей здания и требований к слабовидящим посетителям. С помощью системы управления предложены управляемые с переносного планшета или телефона световые сценарии, обеспечивающие комфортное и приятное пребывание в музее.

Актуальность данной темы заключается в необходимости создания более доступной среды, способствующей культурному обмену и интеграции людей с разными потребностями в общественную жизнь.

Abstract

The paper presents the features of designing lighting for visually impaired visitors in the Moscow Lights Museum Hall. A large number of literary articles and electronic resources have been analyzed. An analysis of literature data is carried out, which allows us to identify several key features and recommendations that can be useful for creating a comfortable and accessible environment for visitors with visual impairments. Taking into account regulatory requirements and practical experience, recommendations for creating lighting for the visually impaired were proposed. The lighting project was made considering the architectural features of the building and the requirements for visually impaired visitors. The use of a lighting control system made it possible to use

scenarios controlled from a portable tablet or phone, ensuring a comfortable and pleasant stay in the museum.

The relevance of this topic lies in the need to create a more accessible environment, promoting cultural exchange and integration of people with different needs into public life.

Ключевые слова: слабовидящие, музей «Огни Москвы», инклюзивное освещение, система управления освещением

Keywords: *for the visually impaired, the Moscow Lights Museum, inclusive lighting, lighting control system*

Введение

В современном обществе всё больше внимания уделяется созданию инклюзивной среды, которая обеспечивает равные возможности для всех людей, включая тех, кто имеет ограничения по здоровью. По данным ВОЗ в мире к слабовидящим можно отнести примерно 124 миллиона человек [1]. Слабовидящие люди сталкиваются с трудностями при посещении музеев, которые традиционно ориентированы на визуальное восприятие. Проектирование освещения, учитывающего их потребности, способствует их включению в культурную жизнь и делает музеи более доступными.

Музей «Огни Москвы», посвящённый истории освещения Москвы, разрабатывает проекты по адаптации освещения для слабовидящих, чтобы сделать свои экспозиции доступными для всех посетителей [2]. Для этого музей использует комбинацию естественного и искусственного света, создавая комфортную среду, которая минимизирует блики и тени, затрудняющие восприятие для слабовидящих. Освещение играет ключевую роль в создании атмосферы музея. Для слабовидящих посетителей важно, чтобы свет не только обеспечивал видимость, но и создавал комфортную эмоциональную среду, способствуя лучшему восприятию экспонатов.



Рис. 1. Фотографии трёх залов музея «Огни Москвы»: а — зал № 1 «История от лучины до керосинового фонаря»; б — зал № 2 «Газовые фонари»; в — зал № 3 «История электрического освещения»

Целью данной работы является разработка системы освещения, которая не только соответствует нормативным требованиям, но и учитывает особенности зрительного восприятия слабовидящих посетителей.

Методы

Для достижения поставленной цели был применён комплексный подход, включающий аналитический, экспериментальный и проектный этапы. На аналитическом этапе проводилось изучение международных и российских нормативных документов. В ходе нашей работы был проведён сравнительный анализ ГОСТов и СП [3–5] с целью определения рекомендаций по созданию освещения для слабовидящих.

Таблица 1. Нормируемые значения параметров общего освещения различных помещений музеев

Наименование помещения	E_n , не менее, лк	U_0 , не менее	UGR, не более	R_a , не менее	K_n , не более, %
Экспозиционные залы	30	0,50	22	85	5
Лестницы	50	0,40	—	80	—

Согласно ГОСТ Р 59602–2021 «Тактильно-визуальные средства информирования и навигации для инвалидов по зрению» п.5.3.2.3 [5]. Уровень освещённости для тактильно-визуальной схемы должен находиться в диапазоне от 100 до 300 лк. Для информационных стендов от 150 до 300 лк. Освещение должно быть равномерным и исключать образование бликов.

Требования по освещению в музеях, исходя из таблицы 1, не подходит для слабовидящих, поэтому учитывая требования для них и повышая среднее значение для освещения витрин и табличек в два раза, было принято решение в качестве целевых показателей выбрать горизонтальную освещённость на уровне пола при общем освещении около 150–200 лк, на ступенях лестниц 250–300 лк для безопасного передвижения. Акцентное освещение в витринах и на отдельно стоящих табличках рассчитывается на вертикальную освещённость 150–200 лк для чёткой читаемости текста и визуального выделения важных элементов экспозиции. Коррелированная цветовая температура выбрана 4000 К, так как исследования показывают [2], что большинство слабовидящих посетителей предпочитают освещение с коррелированной цветовой температурой 4000 К. Индекс цветопередачи CRI источников света для музейных экспозиций должен быть не менее 85, исходя из ГОСТ Р 70835–2023 «Нормируемые значения параметров общего освещения различных помещений музеев» [3].

Анализ литературных источников и изучение успешных практик музеев «Гараж», «Огни Москвы», «Лувр» и «Виктории и Альберта» показали эффективность таких решений, как интеграция тактильных элементов с продуманными световыми решениями и применение интеллектуальных систем управления освещением [6, 7].

Экспериментальный этап включал в себя проведение светового аудита с измерением освещённости в ключевых точках трёх залов музея. В настоящий момент витрины освещены с большой неравномерностью от 40 до 1000 лк. Общее освещение как таковое отсутствует и создаётся только за счёт света от некоторых включаемых экспонатов и частично от светильников, установленных в витринах. Это создает большие контрасты объектов с фоном, ухудшает восприятие и создает зрительный дискомфорт.

В рамках проектного этапа была разработана концепция динамического общего освещения и акцентного освещения, основанная на архитектурных особенностях объекта и требованиях к условиям освещения для слабовидящих посетителей. Суть концепции состояла в том, чтобы реализовать различные световые сценарии, обеспечивающие комфортное пребывание посетителей в зале музея на протяжении всего времени экскурсии. В первые минуты для световой и пространственной адаптации в зале создается освещённость на уровне 200 лк. В это время посетители могут осмотреть помещение, понять его геометрию и расположение объектов. В этот момент экскурсовод даёт

общую информацию о зале и его экспонатах. Далее общее освещение плавно уменьшается до 150 лк, что достаточно для ориентации в пространстве и безопасного передвижения в пределах зала. По мере обращения внимания к различным стендам и экспонатам экскурсовод включает акцентное освещение различных зон. Вертикальная освещённость экспонатов при этом составляет 150–200 лк, что является достаточным для привлечения внимания и более детального изучения экспонатов. Для обеспечения основного равномерного освещения была выбрана система отражённого света, которая была реализована с помощью линейных светильников с широкой КСС 120 градусов. Такое освещение является наиболее комфортным для восприятия, так как позволяет создать световую среду с большой долей отражённой составляющей, хорошей цилиндрической освещённостью, повысить насыщенность помещения светом, избежать появления резких теней и контрастов [2]. Для акцентного освещения стендов и экспонатов используется система прожекторов, расположенных на шинопроводе по периметру зала. Дополнительно были использованы встроенные в перила светодиодные ленты для навигационного освещения.

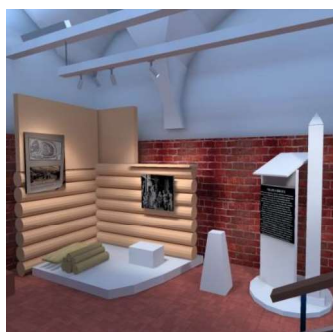
Моделирование осветительной установки проводилось в программе *DIALux evo*.

Результаты

Была достигнута рекомендуемая освещённость и равномерность:

- средняя горизонтальная освещённость на полу во время адаптации в зале 1, 2 и 3 соответствует нормам и изначальной цели 200 лк.
- средняя освещённость во время экскурсии в зале 1, 2 и 3 соответствует нормам и изначальной цели 150 лк.
- вертикальная освещённость витрин и экспонатов в режиме экскурсии соответствует нормам и изначальной цели 150–200 лк.
- высокая равномерность освещения с коэффициентом 0,5–0,9.

Система управления освещения реализована на платформе *Casambi* для управления гибридной системой освещения *DALI*+ШИМ. Приложение *Casambi* работает на любом мобильном устройстве, что является существенным преимуществом для экскурсовода, который может управлять включением различных зон по ходу рассказа. Система *Casambi* имеет возможность плавной регулировки яркости в диапазоне от 0 до 100 %.



а)



б)

Рис. 2. Визуализации в зале №1: а — акцентное освещение экспонатов с помощью микротрековой системы; б — общее освещение и акцентное освещение витрин

Пример реализации системы управления освещением представлен на рис. 3.



а)



б)

Рис. 3. Реализация системы управления: а — левая витрина включена, правая выключена; б — правая витрина включена, левая выключена

Обсуждение

Полученные результаты демонстрируют эффективность предложенного подхода к созданию инклюзивной световой среды. Особого внимания заслуживают аспекты физиологической адаптации: постепенное увеличение освещённости при входе в музей способствует комфортной адаптации, а отсутствие резких световых переходов снижает зрительное утомление.

Технологические преимущества включают использование светодиодных технологий, которые обеспечивают высокую энергоэффективность, экологическую безопасность, точную цветопередачу ($CRI > 90$) и долгий срок службы оборудования.

Выводы

Выполненный проект демонстрирует, что современные светотехнические решения позволяют создать в музее комфортную и

доступную среду для всех категорий посетителей, включая слабовидящих. Реализация предложенных мер не только повышает инклюзивность культурного пространства, но и способствует более полному восприятию экспозиции, делая музейное посещение приятным и информативным для каждого гостя.

Список литературы

1. *Нероев В.В.* Заболеваемость глаз в условиях изменяющейся инсоляции: анализ данных за 2020–2024 гг. // Доклад на конференции «Белые ночи – 2024». – СПб.: Институт глазных болезней. – 2024. URL: <https://igb.ru/docs/Доклад%20Нероев%20В.В.%20Белые%20ночи%202024%20Заболеваемость.pdf>
2. *Потанова Н.В.* Увидеть невидимое. Методическое пособие по адаптации музеев для слабовидящих посетителей. –2021.
3. ГОСТ Р 70835–2023. Музейное освещение. Освещение светодиодами. Нормы. –2023. – URL: ГОСТ Р 70835–2023. Музейное освещение. Освещение светодиодами. Нормы
4. СП 52.13330.2016 "Естественное и искусственное освещение".
5. ГОСТ Р 59602–2021 "Тактильно–визуальные средства информирования и навигации для инвалидов по зрению" [Электронный ресурс]. – URL: <https://tiflocentre.ru/download/gost-r-59602-2021.pdf>
6. *Лукьянова С.А.* Программы для незрячих и слабовидящих посетителей музея «Гараж». –2022.
7. *Вревская Н.А.* Особенности построения экспозиции в музеях Великобритании для слепых и слабовидящих людей [Электронный ресурс] // Молодой ученый. URL: <https://moluch.ru/archive/148/41498/>

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЯРКОСТНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ НАБЛЮДАТЕЛЕЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Федь Д.К., магистр; Рыбина В.А., к.т.н., доцент;

Григорьев А.А., д.т.н., профессор

Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва

DETERMINATION OF OBSERVER LUMINOUS COEFFICIENTS BASED ON EXPERIMENTAL STUDY RESULTS

Fed D.K., Master's degree; Rybina V.A., Ph.D., Associate Professor;

Grigoriev A.A., D.Sc., Professor

*National Research University «Moscow Power Engineering Institute»,
Moscow*

Аннотация

Функция относительной спектральной световой эффективности $V(\lambda)$, принятая МКО в 1924 году, является основополагающей в вопросах фото- и колориметрии, однако отражает лишь усреднённую чувствительность человеческого глаза и не учитывает индивидуальные особенности зрительной системы. Между тем, различия в спектральной чувствительности могут быть обусловлены физиологическими, генетическими и возрастными факторами, что делает актуальной задачу учёта персональных зрительных характеристик. В данной работе представлена методика определения индивидуальных яркостных коэффициентов, связывающих чувствительности L , M и S колбочек с функцией $V(\lambda)$. Исследования проведены при участии группы из 7 наблюдателей с нормальным цветовым зрением. Разработано программное обеспечение в среде *MATLAB*, позволяющее производить аппроксимацию экспериментальных данных, вычисление индивидуальных яркостных коэффициентов, а также построение соответствующих функций световой эффективности $V_{\text{набл}}(\lambda)$ на основе полученных коэффициентов. Также произведено сравнение индивидуальных функций $V_{\text{набл}}(\lambda)$ со стандартной функцией $V(\lambda)$ и выполнена оценка их влияния на расчёт светового потока от различных источников. Установлено, что индивидуальные особенности зрительного восприятия могут вызывать статистически значимые отклонения.

Abstract

The relative spectral luminous efficiency function $V(\lambda)$, adopted by the CIE in 1924, is fundamental in photometry and colorimetry. However, it represents only the averaged sensitivity of the human eye and does not account for individual characteristics of the visual system. Spectral sensitivity may vary significantly due to physiological, genetic, and age-related factors, which highlights the importance of considering personal visual characteristics. This paper presents a methodology for determining individual luminous coefficients that link the sensitivities of L, M, and S cones to the standard $V(\lambda)$ function. Experimental studies were conducted with a group of 7 observers with normal color vision. Software was developed in MATLAB to approximate experimental data, calculate individual luminous coefficients, and construct the corresponding personalized luminous efficiency functions $V_{obs}(\lambda)$ based on the obtained values. A comparison was carried out between the resulting individual functions $V_{obs}(\lambda)$ and the standard $V(\lambda)$, and $V_{obs}(\lambda)$ influence on the calculation of luminous flux from various light sources was evaluated. The results show that individual differences in visual perception can lead to statistically significant deviations in luminous flux estimates.

Ключевые слова: яркостные коэффициенты, функции сложения, функция относительной световой эффективности

Keywords: luminous coefficients, colour-matching functions, luminous efficiency function

Введение

Функция $V(\lambda)$ является основополагающей в вопросах фото- и колориметрии, однако она основана на данных начала XX века и не отражает вариативность чувствительности глаз разных наблюдателей. Современные исследования свидетельствуют о значительных индивидуальных различиях в спектральной чувствительности, обусловленных генетическими, физиологическими и возрастными факторами [1, 2]. Цель данной работы — экспериментально определить индивидуальные яркостные коэффициенты наблюдателей (коэффициенты, определяющие вклад каждого из типов колбочек в результирующее восприятие), разработать соответствующее программное обеспечение и оценить влияние индивидуальных функций $V_{набл}(\lambda)$ на светотехнические расчёты.

Метод исследования

Методика получения спектральных чувствительностей L , M , S колбочек наблюдателей основана на математической модели порогового цветового зрения [3] с помощью которой было получено выражение:

$$L_{\text{eo}}^{\text{th.dif}}(\lambda) = \frac{C_1}{\sqrt{C_2 \left(\frac{\bar{l}(\lambda)}{\int_{380}^{780} L_{\text{e\lambda b}}(\lambda) \bar{l}(\lambda) d\lambda} \right)^2 + C_3 \left(\frac{\bar{m}(\lambda)}{\int_{380}^{780} L_{\text{e\lambda b}}(\lambda) \bar{m}(\lambda) d\lambda} \right)^2 + \left(\frac{\bar{s}(\lambda)}{\int_{380}^{780} L_{\text{e\lambda b}}(\lambda) \bar{s}(\lambda) d\lambda} \right)^2}}, \quad (1)$$

где

$L_{\text{eo}}^{\text{th.dif}}(\lambda)$ — пороговое значение энергетического перепада яркости объект – фон, $C_1 - C_3$ — постоянные коэффициенты, $L_{\text{e\lambda b}}(\lambda)$ — спектральная плотность энергетической яркости фона, $\bar{l}(\lambda), \bar{m}(\lambda), \bar{s}(\lambda)$ — спектральные чувствительности L, M, S рецепторов.

Методика получения $\bar{l}(\lambda), \bar{m}(\lambda), \bar{s}(\lambda)$ включает в себя два этапа:

- 1) получение пороговых значений перепада энергетической яркости монохроматического объекта $L_{\text{eo}}^{\text{th.dif}}(\lambda_i)$;
- 2) решение обратной задачи методом наименьших квадратов [4] по нахождению $\bar{l}(\lambda), \bar{m}(\lambda), \bar{s}(\lambda)$ с использованием формулы (1).

Экспериментальные исследования были выполнены на установке [5], включающей каналы формирования фона и объекта. Эксперименты проводились методом едва заметного отличия при участии наблюдателей с нормальным цветовым зрением.

Для более точного анализа и удобства дальнейшего использования, полученные данные спектральных чувствительностей колбочек наблюдателей были аппроксимированы следующими выражениями:

$$\begin{aligned} \bar{l}(\lambda) &= f_l(\lambda) \exp \left\{ - \left[\frac{(\lambda - \lambda_{lm})}{\sigma_l} \right]^2 \right\} + (1 - f_l(\lambda)) \exp \left\{ - \left[\frac{(\lambda - \lambda_{lm})}{C_l \sigma_l} \right]^2 \right\}, \\ \bar{m}(\lambda) &= \exp \left\{ - \left[\frac{(\lambda - \lambda_{mm})}{\sigma_m} \right]^2 \right\}, \\ \bar{s}(\lambda) &= f_s(\lambda) \exp \left\{ - \left[\frac{(\lambda - \lambda_{sm})}{\sigma_s} \right]^2 \right\} + (1 - f_s(\lambda)) \exp \left\{ - \left[\frac{(\lambda - \lambda_{sm})}{C_s \sigma_s} \right]^2 \right\}, \end{aligned} \quad (2)$$

где λ_{lm} , λ_{mm} , λ_{sm} – длина волны, на которой функция принимает максимальное значение; σ_l , σ_m , σ_s – параметры, определяющие полуширину функций; $f_l(\lambda)$ и $f_s(\lambda)$ – функции, равные единице, если $\lambda < \lambda_{lm}$ или $\lambda < \lambda_{sm}$, соответственно, и нулю в противоположном случае.

Далее для расчета яркостных коэффициентов было разработано программное обеспечение (ПО) в среде *MATLAB*. Программа решает систему линейных уравнений методом наименьших квадратов с использованием псевдообратной матрицы с целью найти коэффициенты β_l , β_m и β_s , которые минимизируют расхождение между линейной комбинацией чувствительностей колбочек и эталонной $V(\lambda)$:

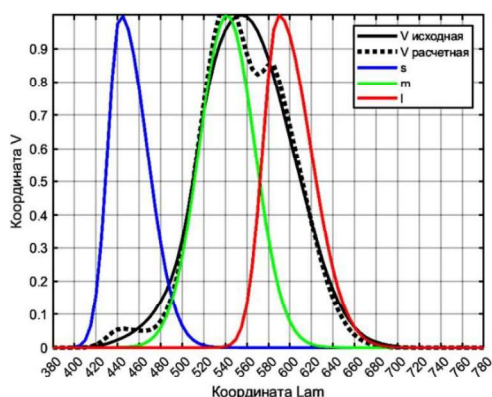
$$V(\lambda) = \beta_l \cdot l(\lambda) + \beta_m \cdot m(\lambda) + \beta_s \cdot s(\lambda). \quad (3)$$

После чего на основе найденных яркостных коэффициентов были получены персональные функции $V_{\text{набл}}(\lambda)$ для каждого из наблюдателей. Интерфейс программы и результаты расчета для двух наблюдателей представлены на рис. 1.

Расчет яркостных коэффициентов и $V(\lambda)$

LamL	LamM	
380	780	
Beta L	Beta M	Beta S
0.442626	0.544856	0.00415427
Сумма Beta		
0.991636		

а)



б)

Рис. 1. Графический интерфейс и результаты работы ПО

Для некоторых наблюдателей наблюдается явная немонотонная зависимость $V_{\text{набл}}(\lambda)$ от длины волны. Усредненная по группе наблюдателей эта функция имеет более привычную форму, но показывает смещение максимума к 548 нм (рис. 3).

Результаты

В результате эксперимента по определению спектральных чувствительностей L , M , S колбочек, L -колбочки показали наибольший разброс максимумов λ_{lm} (от 571 до 610 нм). M - и S -колбочки были стабильнее, но отличались по полуширинам. Средние значения: $\lambda_{lm} \approx 595$ нм, $\lambda_{mm} \approx 547$ нм, $\lambda_{sm} \approx 441$ нм (рис. 2).

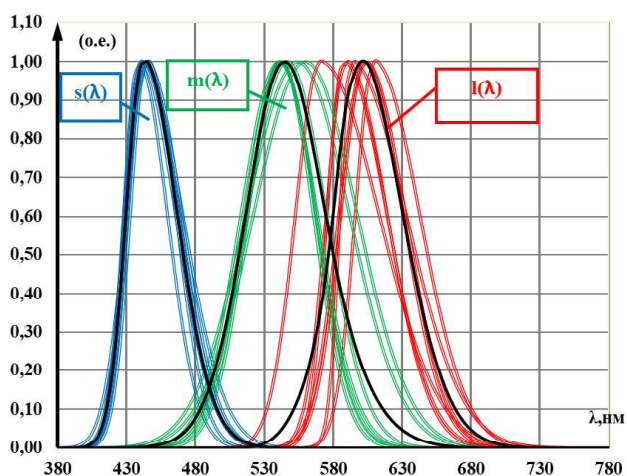


Рис. 2. $\bar{l}(\lambda)$, $\bar{m}(\lambda)$, $\bar{s}(\lambda)$ 7 наблюдателей и усредненные значения (черные линии)

Расчёт яркостных коэффициентов показал значительный разброс значений между наблюдателями. Средние значения по группе составили $\beta_m \approx 0.72$, $\beta_l \approx 0.24$ и $\beta_s \approx 0.02$. Однако у отдельных испытуемых наблюдались резкие отклонения (табл. 1).

Таблица 1. Результаты расчета яркостных коэффициентов для набора наблюдателей

	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7
β_l	0,089	0,339	0,345	0,334	0,036	0,174	0,377
β_m	0,880	0,656	0,667	0,633	0,890	0,852	0,473
β_s	0,005	0,032	0,025	0,029	0,013	0,002	0,019
Σ	0,974	1,027	1,036	0,996	0,939	1,028	0,869

Полученные кривые $V_{\text{набл}}(\lambda)$ для разных наблюдателей отличаются как по положению максимума, так и по форме и ширине.

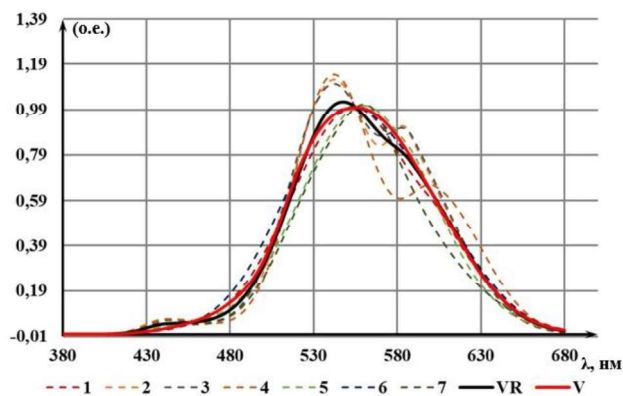


Рис. 3. Результаты расчета $V(\lambda)$ для набора наблюдателей

Для оценки практического влияния полученных функций $V_{\text{набл}}(\lambda)$ для каждого наблюдателя была проведена серия расчетов «светового» потока 20 световых приборов.

Расчет «светового» потока для каждого наблюдателя проводился по стандартному выражению:

$$\Phi_v = K_{\text{max}} \int_{380}^{780} V_{\text{набл}}(\lambda) \Phi_{e\lambda}(\lambda) d\lambda . \quad (4)$$

На рис. 4 графически отображено изменения потоков 20 СП в процентах для 7 наблюдателей.

Вычисления показали, что для разных наблюдателей эффективный световой поток может отличаться от номинального значения на $\pm 12\%$. При использовании усреднённой функции разброс составлял до 4% . Анализ показал, что светильники с более широким спектром демонстрируют меньшую чувствительность к вариативности зрительного восприятия.

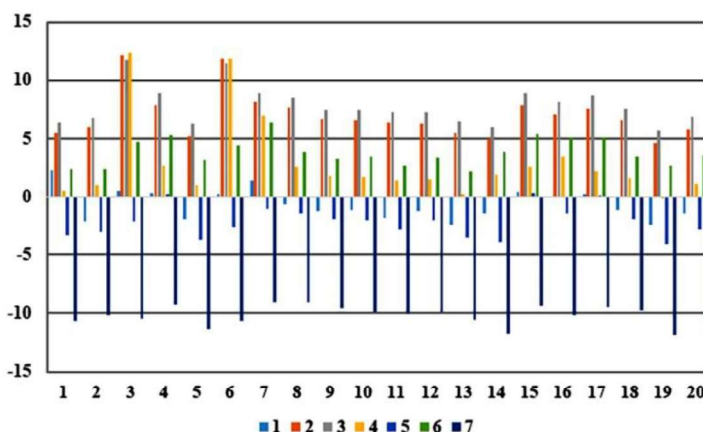


Рис. 4. Результаты расчета отличий «световых» потоков 7 наблюдателей от стандартного светового потока 20 световых приборов

Обсуждение

Полученные результаты указывают на то, что использование усреднённой функции $V(\lambda)$ в ряде задач может приводить к некорректной оценке светового потока, особенно в случае узкополосных или спектрально нестандартных источников. Применение индивидуализированных функций $V_{\text{набл}}(\lambda)$ позволяет существенно повысить точность расчётов и адаптировать светотехнические решения под реальные физиологические особенности зрительной системы.

Выводы

Использованная методика и разработанное программное обеспечение показали эффективность в определении индивидуальных яркостных коэффициентов и функций $\bar{l}(\lambda)$, $\bar{m}(\lambda)$, $\bar{s}(\lambda)$.

Дальнейшая работа планируется в направлении расширения выборки наблюдателей, исследовании возрастной и гендерной зависимости яркостных коэффициентов, а также разработку рекомендаций для применения индивидуальных моделей в профессиональной практике.

Список литературы

1. Столяревская Р.И. Сто лет относительной спектральной световой эффективности – функции $V(\lambda)$ МКО // Светотехника. – 2024. – №2. – С. 4–10.
2. Foutch BK. Luminous Efficiency as a Function of Age and Gender // JSM Ophthalmol. – 2018. – №6 (1).
3. Боос Г.В., Григорьев А.А., Рыбина В.А. Исследование монохроматических порогов цветового зрения и определение удельных координат цвета трихромата // Светотехника. – 2022. – №2. – С. 28–38.
4. Линник Ю.В. Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки наблюдений Л.: Физматгиз. – 1962. – 352 с.
5. Боос Г.В., Григорьев А.А., Рыбина В.А. Установка для экспериментальных исследований монохроматических порогов зрительной системы человека // Светотехника. – 2021. – №4. – С. 5–11.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ОТРАЖЕНИЯ КАРТИН С ДИФфуЗНЫМ ХАРАКТЕРОМ ОТРАЖЕНИЯ

Феник М.А., студент; Рыбина В.А., к.т.н., доцент;

Григорьев А.А., д.т.н., профессор

Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва

INVESTIGATION OF EFFECTIVE REFLECTION COEFFICIENTS OF PAINTINGS WITH DIFFUSE REFLECTION

Fenik M.A., student; Rybina V.A., Ph.D., Associate Professor;

Grigoriev A.A., D.Sc., Professor

*National Research University «Moscow Power Engineering Institute»,
Moscow*

Аннотация

Современные исследования музейного освещения сосредоточены на параметрах источников света и осветительных установок, тогда как сами произведения искусства остаются недостаточно охарактеризованными. В работе представлена методика определения спектральных коэффициентов отражения картин с использованием яркомера LMK5 и интерференционных фильтров. Исследованы оптические характеристики шести картин, выполненных в различных художественных техниках, в спектральном диапазоне от 450 до 690 нм. Отдельные фрагменты картин исследовались с применением методики выделения областей при помощи программных масок. Определены области возможного применения полученных результатов.

Abstract

Modern research in museum lighting focuses on light source parameters, while artworks themselves remain insufficiently characterized. This work develops a methodology for determining spectral reflection coefficients of paintings using LMK5 luminance meter and interference filters. Six paintings of various techniques were studied in the 450–690 nm range. Average and spatial reflection characteristics were obtained, software for automated data analysis was created.

Ключевые слова: музейное освещение, спектральный коэффициент отражения, яркомер, интерференционные фильтры, произведения искусства.

Keywords: *museum lighting, spectral reflection coefficient, luminance meter, interference filters, artworks.*

Введение

Последние исследования в области музейного освещения анализируют параметры освещения: контраст экспонатов и окружающего пространства, цветовую температуру источников света (КЦТ), индекс цветопередачи и другие характеристики. Однако произведения искусства обозначаются лишь как «Картина 1» или «Пейзаж» без анализа их спектральных характеристик отражения [1, 2, 3].

Исследования показывают, что зрители предпочитают КЦТ в диапазоне 4600–5100 К для просмотра живописи, при этом культурные, а возможно, и какие-то иные различия влияют на предпочтения: португальские участники выбирают ~5000 К, японские ~7000 К [2, 3]. Однако все эти исследования не учитывают объективные параметры самих произведений искусства.

Современные спектральные методы позволяют точно определять состав пигментов в живописи, и успешно применяются как характеристики крупных объектов культурного наследия [4], однако они не учитывают индивидуальные особенности распределения пигментов по поверхности картин.

Цель исследования — разработать методику определения эффективных коэффициентов отражения картин с диффузным характером отражения для дополнения характеристиками объектов светотехнических проектов музейного освещения и формирования технических паспортов произведений искусства.

Методы исследования

Эффективный коэффициент отражения произвольного пиксела картины в световой системе величин определяется по формуле:

$$\rho_v(\lambda_i) = L_v(\lambda_i) \times \rho_r(\lambda_i) / L_{vr}(\lambda_i), \quad (1)$$

где $L_v(\lambda_i)$ — измеренная яркомером яркость пиксела картины;

$L_{vr}(\lambda_i)$ — измеренная яркость эталона при совпадающих условиях освещения;

$$\rho_r(\lambda_i) = \frac{\int_{\Delta\lambda_i} L_{e\lambda o}^s(\lambda) \rho_r(\lambda) \tau_i(\lambda) V(\lambda) d\lambda}{\int_{\Delta\lambda_i} L_{e\lambda o}^s(\lambda) \tau_i(\lambda) V(\lambda) d\lambda} \quad \text{— эффективный в пределах } \Delta\lambda_i$$

коэффициент отражения эталона;

$L_{e\lambda o}^s(\lambda)$ — относительная спектральная плотность энергетической яркости источника освещения;

$\rho_r(\lambda)$ — спектральный коэффициент отражения эталона;

$\tau_i(\lambda)$ — спектральный коэффициент пропускания интерференционного фильтра, определяющего $\Delta\lambda_i$.

Установка состоит из следующих элементов (рис. 1):

1. Камера-яркомер *LMK5* — диапазон измерения яркости 100–10000 кд/м², пределы погрешности $\pm 4\%$, разрешение 2448×2050 пикселей.
2. Комплект интерференционных фильтров — 19 фильтров в диапазоне 450–690 нм с полушириной полосы пропускания 8–15 нм, максимальное пропускание 70–91 %.
3. Музейный светодиодный светильник — мощность 20 Вт, КЦТ 4000 К.
4. Эталонный отражатель — элемент фотометрической сферы, покрытой BaSO₄, с коэффициентом отражения 0,84.

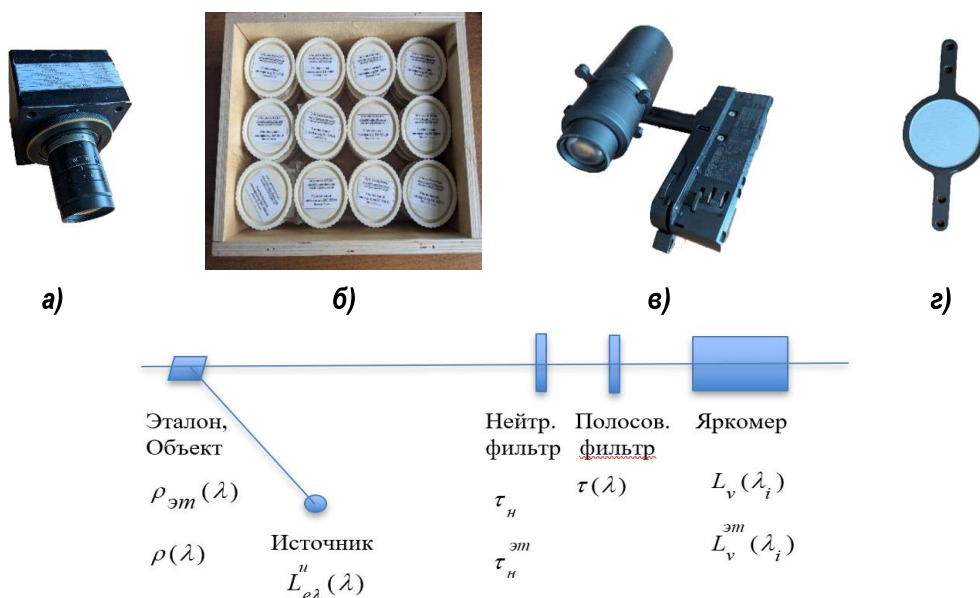


Рис. 1. Элементы и схема экспериментальной установки: камера яркомер (а), интерференционные фильтры (б), источник света (в), эталонный образец (г)

Объекты исследования

Были исследованы 6 объектов, в данной работе приведены 3 из них, созданные в различных техниках:

- «Маяк» — акварель, размер 210×297 мм, драматичный морской пейзаж;
- «Полевые маки» — пастель, размер 300×400 мм, красные маки на светлом фоне;
- «Дом у моря» — матовый акрил, размер 400×420 мм, яркий средиземноморский пейзаж.

Исследуемые картины обладали диффузным характером отражения.

Программное обеспечение

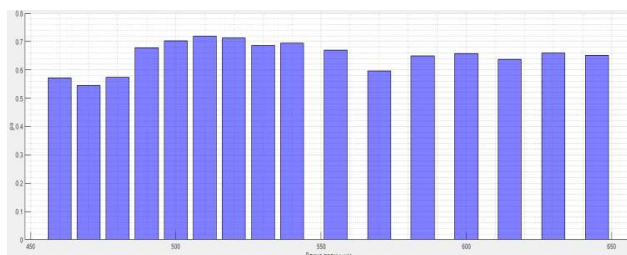
Разработана программа в *MATLAB App Designer*, реализующая следующие функции:

- Загрузку и отображение яркостных изображений, снятых яркомером на экспериментальной установке;
- Интерактивное выделение пользователем произвольных областей в изображении картины;
- Вычисление эффективных коэффициентов отражения по формуле (1) как для всего объекта, так и для произвольной области.

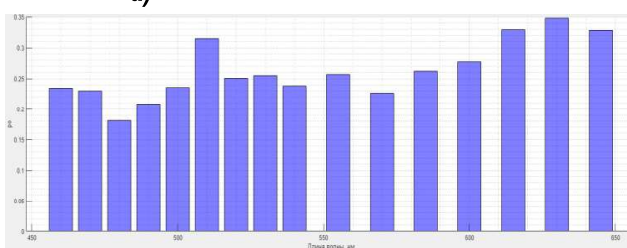
Результаты. Усреднённые спектральные характеристики объектов

На рис. 2 мы видим, что «Маяк» имеет максимальный коэффициент отражения, равный 0,71, что объясняется наличием белых областей. «Полевые маки» отличаются сниженными значениями коэффициента отражения от 0,17 на 450 нм до 0,35 на 630 нм поскольку нарисованы на темной подложке. «Дом у моря» имеет похожее распределение с двумя максимумами, но с большими значениями: 0,48 на 530 нм и 0,6 на 630 нм.

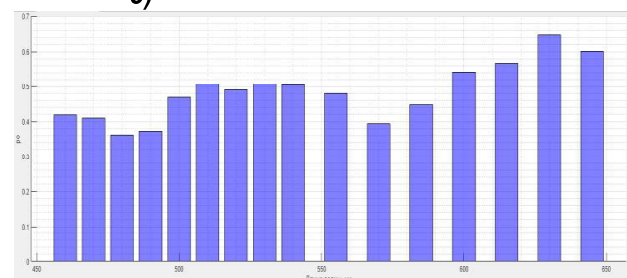
В качестве примера локального анализа композиционных элементов приведен фрагмент неба в картине «Маяк», который характеризуется локальным максимумом коэффициента отражения в диапазоне 570–615 нм, как видно на рис. 3.



а)



б)



в)

Рис. 2. Результаты обработки программы усредненных коэффициентов отражения картин: «Маяк» (а), «Полевые маки» (б), «Дом у моря» (в)

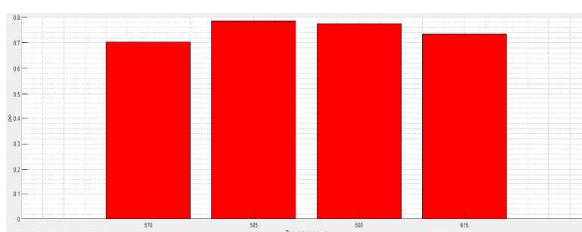


Рис. 3. Результаты обработки программы коэффициента отражения части картины

Обсуждение

Полученные результаты демонстрируют количественную связь между цветовой палитрой картин и их спектральными характеристиками отражения.

Разработанная методика позволяет:

1. Создать технические паспорта картин с указанием спектральных характеристик для архивных целей. Мониторинг состояния картины и сравнение текущего паспорта с архивным позволит при превышении отличий диаграмм порога отправлять ее на реставрацию;
2. Оптимизировать параметры общего освещения под конкретные произведения искусства, учитывая их отражательные свойства. Проводить сортировку и распределение картин с близкими паспортными диаграммами по выставочным залам;
3. Проводить оптимизацию осветительных приборов локального освещения с целью уменьшения вредного воздействия света на картины. При отсутствии в паспортных диаграммах отражения на каких-либо длинах волн все излучение источника будет поглощаться краской, что может приводить к ее разрушению.

Ограничения методики (помимо выбора объектов по характеру отражения) связаны с необходимостью создания нужных условий измерений и использования специализированного оборудования. Весь процесс работы с одним объектом, начиная от установки оборудования на скамью и юстировки всех требуемых элементов вплоть до обработки результатов, занимал не более 1 часа. Наибольшие временные затраты относились к этапу перестановки интерференционных фильтров, который в дальнейшем можно автоматизировать.

Перспективы развития включают дальнейшее измерение большего количества картин, написанных различными техниками и материалами, исследованием влияния на субъективные оценки наблюдателей спектров осветительных приборов при наблюдении картин с неизменным паспортом, а также оптимизация программного обеспечения для ускорения его работы с большими массивами яркостных изображений картин.

Выводы

Разработана и экспериментально проверена методика определения эффективных коэффициентов отражения картин с

использованием яркомера *LMK5* и интерференционных фильтров в диапазоне 450–690 нм. Создано программное обеспечение для автоматизации работы. Получены спектральные характеристики картин различных техник (акварель, пастель, акрил). Определены области возможного применения технического паспорта картин.

Список литературы

1. Кезина Н.В. Этика освещения экспозиционно-выставочных пространств художественных музеев // Светотехника. 2022. №6. С. 42–48.
2. Nascimento S.M.C., Masuda O. Best lighting for visual appreciation of artistic paintings-experiments with real paintings and real illumination // Journal of the Optical Society of America A. 2014. Vol. 31. P. A214–A220.
3. Nascimento S.M.C., Herdeiro C.F.M., Gomes A.E. et al. The Best CCT for Appreciation of Paintings under Daylight Illuminants is Different for Occidental and Oriental Viewers // Leukos. 2020. Vol. 16, №2. P. 1–9.
4. Павиотти А., Ратти Ф., Полетто Л., Кортелаццо Г.М. Многоспектральная съемка графических поверхностей большого размера // Журнал EURASIP по обработке изображений и видео. 2009. №793756. С. 1–22.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГАБАРИТОВ И ЦВЕТА ПРОФИЛЯ НА КПД

Иванова А.Е., студент; Егосин П.Д., студент;

Ильина Е.И., к.т.н., ассистент

Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва

STUDY OF THE INFLUENCE OF DIMENSIONS AND COLOR OF PROFILE ON EFFICIENCY

*Ivanova A.E., student; Egoshin P.D., student; Ilyina E.I., Ph.D., assistant
National Research University «Moscow Power Engineering Institute»,
Moscow*

Аннотация

В работе исследовано влияние геометрических параметров (ширина, высота) и цвета внутренней поверхности алюминиевых профилей на КПД светодиодных светильников. Актуальность исследования обусловлена широким применением таких профилей в архитектурном, интерьерном и промышленном освещении, при этом их оптические свойства часто не учитываются при проектировании.

Проведен сравнительный анализ отражательной способности профилей с белой, серой и черной внутренней поверхностью. Выполнены экспериментальные измерения КПД для различных комбинаций геометрических параметров. Разработан расчетный коэффициент для прогнозирования эффективности светильников. Дополнительно оценены кривые силы света для исследуемых конфигураций.

Результаты показали значительную зависимость световой отдачи от конструктивных особенностей профиля. Полученные данные позволяют оптимизировать проектирование светильников, учитывая влияние геометрических и цветовых параметров. Практическая значимость работы заключается в возможности создания более эффективных осветительных систем. Результаты представляют интерес для производителей светотехники, проектировщиков освещения и специалистов в области светодиодных технологий.

Abstract

This study investigates the influence of geometric parameters (width, height) and internal surface color of aluminum profiles on the luminous efficacy of LED luminaires. The research is motivated by the widespread use of such

profiles in architectural, interior, and industrial lighting applications, where their optical properties are often overlooked during design.

A comparative analysis was conducted of the reflective properties of profiles with white, gray, and black internal surfaces. Experimental measurements of system efficacy were performed for various geometric parameter combinations. A predictive coefficient was developed to estimate luminaire efficiency, with additional evaluation of light distribution curves for different profile configurations.

Results demonstrate significant dependence of energy efficiency on profile design characteristics. The findings enable optimized luminaire design through consideration of geometric and color parameters. The practical significance lies in developing more efficient lighting systems, with applications for luminaire manufacturers, lighting designers, and LED technology specialists.

Ключевые слова: светодиодный профиль, коэффициент полезного действия, светоотражение, цвет внутренней поверхности, геометрические параметры профиля, кривая силы света, энергоэффективность, светотехнические характеристики.

Keywords: *LED profile, luminous efficacy, light reflection, internal surface color, profile geometric parameters, luminous intensity distribution curve, energy efficiency, photometric characteristics.*

Введение

Современные светодиодные технологии требуют комплексного изучения алюминиевых профилей, которые традиционно считались лишь механическими элементами. Исследования [1, 2] подтверждают, что оптимизация профилей повышает световую отдачу на 12–18 % [3, 4], но их параметры изучены недостаточно. Актуальность работы обусловлена невниманием к конструктивным элементам [5, 6], их влиянием на эффективность (15–20 %) [7] и необходимостью учета российских условий [8]. Цель — установить зависимости между параметрами профилей и характеристиками светильников через лабораторные испытания, моделирование в *TracePro* и статистический анализ. Результаты показывают экономический эффект [9] и соответствуют мировым тенденциям энергосбережения [10], что важно для обновления нормативной базы.

Метод исследования

Самый простой светодиодный светильник состоит из светодиодной ленты, алюминиевого профиля и рассеивателя. Таким

образом, светодиодная лента — это источник света, а оптической системой такого светильника является алюминиевый профиль и рассеиватель. КПД светильника будет зависеть от геометрии оптической ниши: от высоты и ширины профиля и от коэффициента пропускания рассеивателя и может быть рассчитан по формуле:

$$\eta_{\text{св}} = \eta_{\text{ниш}} \times \tau_{\text{р}}, \quad (1)$$

где: $\eta_{\text{св}}$ — КПД светильника, $\eta_{\text{ниш}}$ — КПД ниши, $\tau_{\text{р}}$ — КСП (коэффициент светопропускания рассеивателя).

В CAD-системах *SolidWorks* и *3D Interactive Optimizer TracePro* созданы 5 базовых моделей профилей (см. рис.1) длиной 100 мм с фиксированной высотой 6 мм, но с разной внутренней шириной: от 10,55 до 18,55 мм с шагом 2 мм, а также 5 базовых моделей с постоянной шириной 11,2 мм, с диапазоном высот от 6 до 14 мм с шагом 2 мм.



Рис. 1. Проектирование профилей в SolidWorks

Модели из *SolidWorks* и *3D Interactive Optimizer* импортированы в *TracePro*. К каждому профилю добавлены: алюминиевая светодиодная плата (9×100×0,8 мм), три светодиода *LUXEON 3030 2D Square* (коорд.: -25, 0, 25 мм), алюминиевые боковые стенки. Расчеты проводились на 3-х миллионах лучей, по одному миллиону лучей на каждый светодиод.

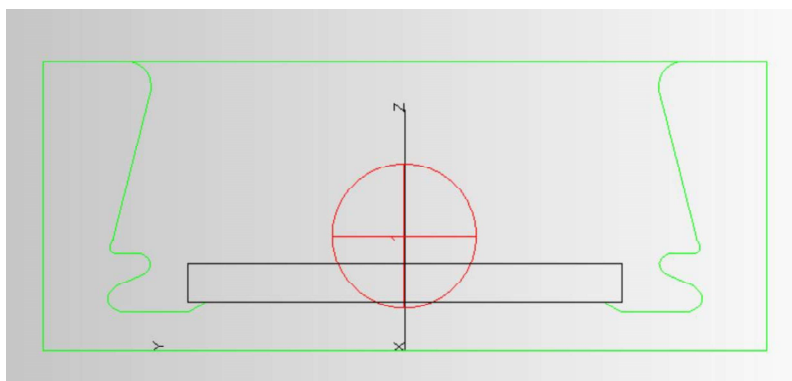


Рис. 2. Проектирование в TracePro

Исследованы 10 профилей (5 по ширине, 5 по высоте) со стандартными параметрами и фиксированным положением светодиодов (2,46 мм). КПД рассчитан для трёх вариантов окраски (белая/серая/черная с соответствующими коэффициентами отражения 90%/65%/10%) — 30 тестов, оценивающих влияние геометрии и отражающих свойств. Условия моделирования стандартизированы (см. рис. 3).

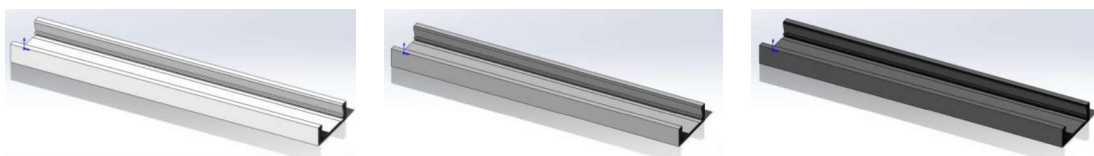


Рис. 3. Цвета профилей

Результаты

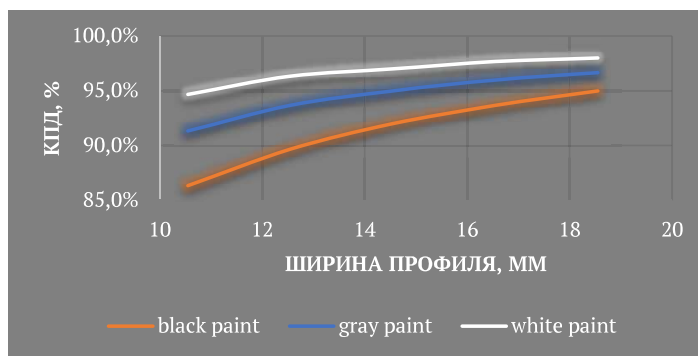


Рис. 4. Зависимость КПД от ширины профиля и цвета

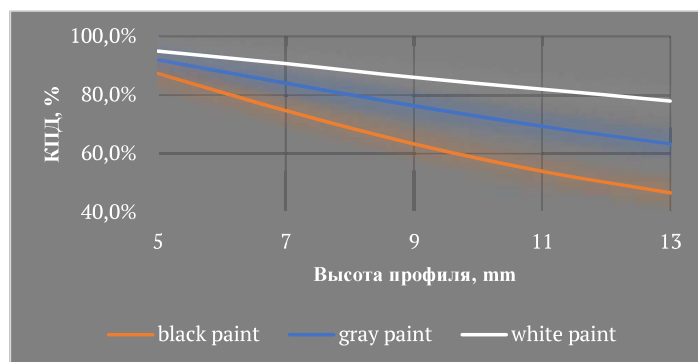


Рис. 5. Зависимость КПД от высоты профиля и цвета

Из графиков видно, что ширина и высота профиля оказывает влияние на $\eta_{\text{ниш}}$. Введем геометрическое отношение ширины к высоте d/h , и пересчитаем $\eta_{\text{ниш}}$ в зависимости от d/h (см. рис. 6). Из графиков видно, что значение КПД резко падает при отношении менее $d/h < 2$ для всех вариантов цвета ниш.

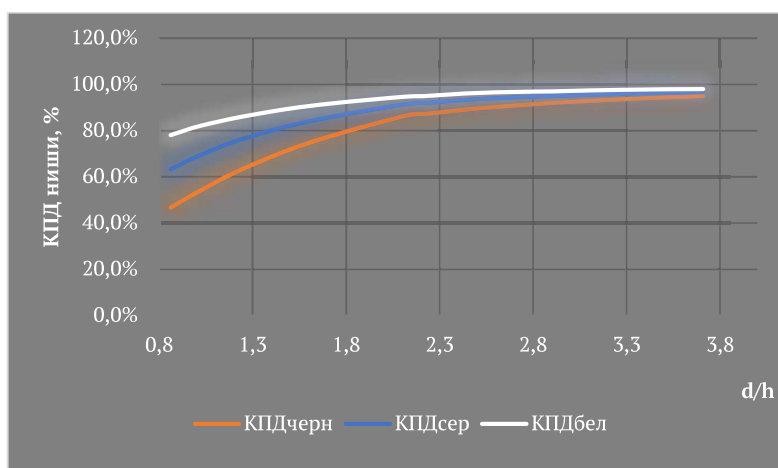


Рис. 6. Зависимость КПДниши от d/h

Так как КПД светильника будет зависеть не только от геометрии, но и от КСП светильника, дополнительно исследованы пять профилей разной ширины и единой высоты с серым покрытием и ламбертовским РММА-рассеивателем с КСП = 70 %.

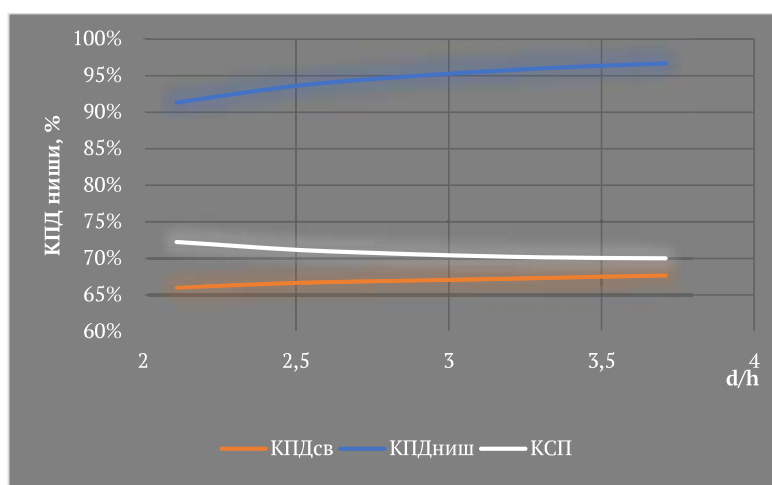


Рис. 7. Зависимость КПДсер от d/h

Из графиков видно, что при $d/h > 2$ КСП изменяется в диапазоне от 70 до 72 %, а $\eta_{\text{ниш}}$ от 97 до 91 %, а $\eta_{\text{св}}$ меняется с 68 до 66 % (что незначительно). Но из рис. 6 можно заметить, что для ниш $d/h < 2$ $\eta_{\text{ниш}}$ серого цвета падает с 88 до 63 %. Что, согласно формуле (1), приводит к изменению $\eta_{\text{св}}$ с 61 до 44 %.

Таким образом, полученные результаты демонстрируют что для низких профилей ($d/h > 2$) геометрия ниши оказывает небольшое влияние на КПД и большее влияние оказывает КСП рассеивателя. Для высоких профилей ($d/h < 2$) геометрия ниши оказывает

существенное влияние на КПД, сопоставимое с влиянием КСП рассеивателя.

Обсуждение

Полученные данные демонстрируют хорошую согласованность с результатами предыдущих исследований, но при этом вносят уточнения. В частности, выявленная зависимость КПД от геометрических параметров профиля (12–18 %) подтверждает данные *Zhang et al.* [3], однако наше исследование дополнительно показало значительное влияние цвета внутренней поверхности (до 15 % вариации эффективности), что выходит за рамки рассмотрения, представленного в работах *Chen* и *Liu* [5], где основной акцент сделан на вторичной оптике.

Выводы

Исследование показало важность комплексного подхода к проектированию светодиодных светильников, учитывающего как геометрические, так и оптические параметры профилей. Ширина и высота профиля оказывают существенное влияние на КПД светильника.

Для достижения максимального КПД светильника цвет ниши должен быть белым (иметь высокий коэффициент отражения).

Для снижения потерь из-за геометрии светильника рекомендуется выбирать соотношения $d/h > 2$. Так как для $d/h > 2$ больший вклад в КПД светильника вносит КСП рассеивателя, то снижение световых потерь возможно только за счет замены рассеивателя, изменение геометрии ниши не окажут заметного влияния на КПД светильника.

При геометрии корпуса $d/h < 2$ нужно учитывать как влияние корпуса, так и влияние рассеивателя.

Список литературы

1. *Smith J. et al.* LED housing materials // *Materials Today*. 2022. Vol. 35. P. 78-92.
2. *Lee S.H., Kim J.W.* Geometrical optimization of LED housing // *Applied Optics*. 2020. Vol. 59. No 22. P. 6542-6550.
3. *Zhang Y. et al.* Impact of aluminum profile design // *Optics Express*. 2020. Vol. 28. No 3. P. 2876-2889.
4. *Петров А.В. и др.* Оптимизация параметров светильников // *Светотехника*. 2021. № 4. С. 34-41.
5. *Chen X., Liu S.* Secondary optics design // *IEEE Photonics Journal*. 2019. Vol. 11. No 3. P. 8200912.

6. *Иванов А.А.* Современные светотехнические решения. СПб.: Политехника, 2021. 245 с.
7. *Müller G. et al.* Thermal performance // *Energy and Buildings*. 2021. Vol. 231. P. 110603.
8. *Васильев К.Л. и др.* Энергоэффективное освещение. М.: Энергия, 2022. 198 с.
9. *Российская ассоциация светотехников.* Технический отчет. 2023. 87 с.
10. *Anderson L.* Sustainable lighting // *Renewable Energy Reviews*. 2023. Vol. 158. P. 112067.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЦВЕТОВЫХ МОДЕЛЕЙ В ЗАДАЧАХ СОГЛАСОВАНИЯ ЦВЕТОВОГО ВОСПРИЯТИЯ

*Калаева А.Т., студент; Будак В.П., д.т.н., профессор
Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва*

COMPARATIVE ANALYSIS OF COLOR MODELS FOR COLOR PERCEPTION MATCHING

*Kalaeva A.T., student; Budak V.P., D.Sc., Professor
National Research University «Moscow Power Engineering Institute»,
Moscow*

Аннотация

Цифровые изображения, благодаря многообразию устройств вывода и выполняемых задач воспроизводятся на различных устройствах — мониторах, телевизорах, принтерах — и при этом должны сохранять минимальные визуальные различия. Это делает задачу оценки и воспроизведения изображения с минимальными цветовыми отличиями особенно актуальной в условиях массового использования цифровых медиа [1]. Целью данной работы является сравнительный анализ двух моделей цветового восприятия — *CIE Lab* [2] и *CIE CAM16* [3].

Работа включает численную обработку цифрового изображения в обеих моделях, перевод цветовых координат в соответствующие пространства, а также вычисление цветовых отличий с помощью евклидовых расстояний. Оценка проводилась как на уровне отдельных пикселей (включая самые тёмные и самые светлые), так и по усреднённым участкам изображения.

Полученные результаты с задействованной моделью *CIE CAM16* демонстрируют улучшение в точности преобразований благодаря усовершенствованной матрице хроматической адаптации [4]. Исследование подчеркивает важность применения современных моделей цветопередачи при подготовке изображений для отображения и намечает перспективы дальнейшего совершенствования алгоритмов с учетом специфики ICC-профилей и повышения качества цветовой репродукции. Это делает её предпочтительной в задачах визуальной экспертизы, цветокоррекции и кросс-медийной передачи изображений.

Abstract

Due to the diversity of output devices and applications, digital images are reproduced across various media—monitors, TVs, printers—while requiring minimal visual discrepancies. This makes the evaluation and reproduction of images with minimal color differences critically important in the era of widespread digital media [1]. This study conducts a comparative analysis of two the color perception models: CIE Lab [2] and CIE CAM16 [3].

The methodology involves: numerical processing of digital images in both models, conversion of color coordinates into their respective spaces, calculation of color differences using Euclidean metrics.

Evaluations were performed both at the pixel level (including darkest and lightest pixels) and image averaged across regions.

Results demonstrate that the CIE CAM16 model improves transformation accuracy through its enhanced chromatic adaptation matrix [4]. The study underscores the importance of modern color models for image display preparation and identifies future optimization avenues, including ICC profile customization and advanced color reproduction techniques. These advantages make CIE CAM16 preferable for visual assessment, color grading, and cross-media image transmission.

Ключевые слова: Изображение, цветопередача, точка белого, цветокоррекция, цветовые пространства, ICC-профили, цветовые различия

Keywords: Image, color rendering, white point, color correction, color spaces, ICC profiles, color differences

Введение

Цветовые различия в изображении должны быть минимальными при его воспроизведении на разных устройствах, что требует точного учета характеристик устройства и особенностей зрительного восприятия человека. В 2022 году Международная комиссия по освещению (CIE) утвердила модель цветового восприятия CIE CAM16, как актуальный стандарт в задачах визуальной оценки и обработки изображений, тем самым подтвердив её актуальность [5]. В свою очередь, CIE Lab является исторической основой цифровой колориметрии, рекомендованной в 1976 году и имеющаяся в большинстве современного ПО.

Задача настоящей работы заключается в выявлении и количественном анализе различий в оценке цветовых отличий между

моделями *CIE Lab* и *CIE CAM16* на примере цифрового изображения, с целью определения применимости каждой модели для задач, требующих точной визуальной передачи цвета.

Метод исследования

В рамках работы было сделано экспериментальное цифровое изображение, на котором была также запечатлена цветовая мишень, показанная на рис. 1. Изображение было преобразовано и подготовлено для обработки программами с *CIE Lab* и *CIE CAM16*.

Для анализа обеих моделей использовалась измерения цветового отличия (ΔE), рассчитанная в пространствах *CIE Lab* и *CAM16-UCS* [6]. Расчёты производились как усреднённая по изображению, по выделенным участкам изображения, так и по выбранным характерным пикселям (светлым, тёмным, насыщенным).

Были вычислены средние, максимальные и минимальные значения ΔE для обеих моделей на выбранных участках изображения [7]. Это позволило выявить закономерности и различия в оценке цветовых отклонений.

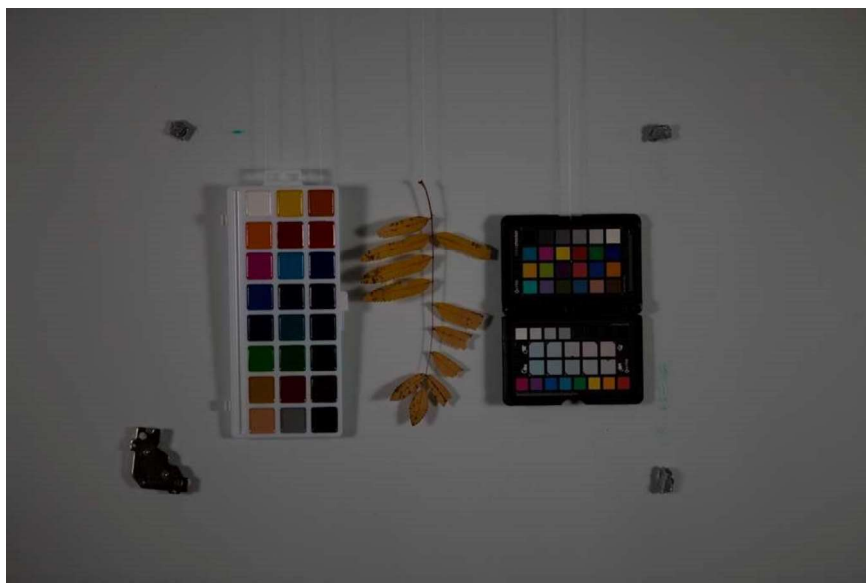


Рис. 1. Необработанное экспериментальное изображение

Результаты

Приведенные изображения после обработки *CIE Lab* представлены на рис. 2. и после *CIE CAM16* на рис. 3.

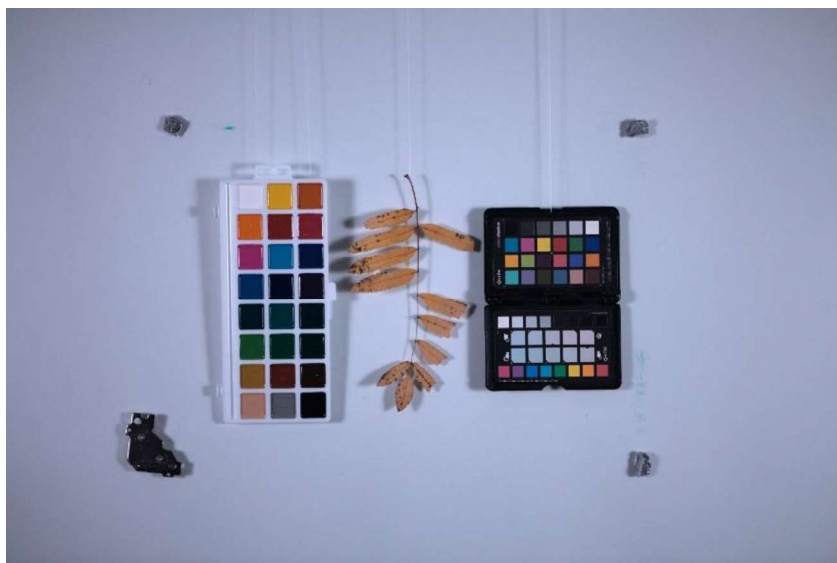


Рис. 2. Изображение, обработанное программой задействующую *CIE Lab*

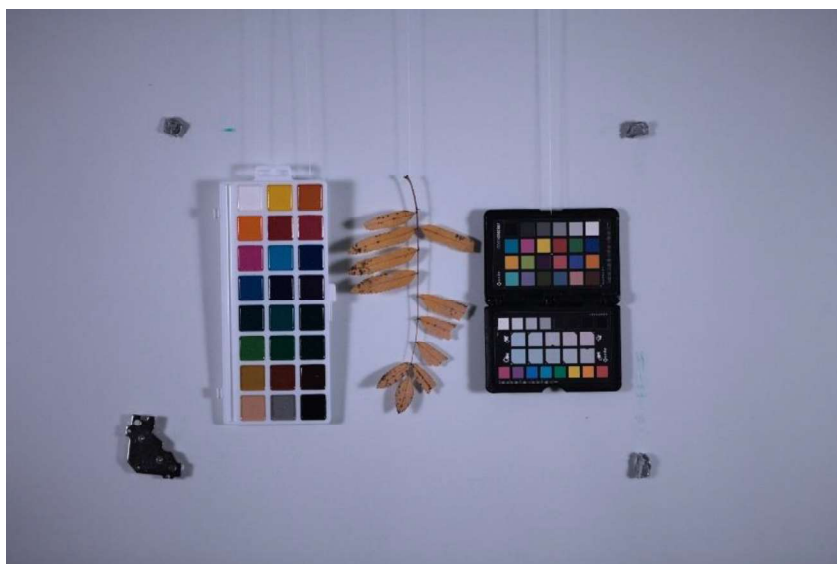


Рис. 3. Изображение, обработанное программой задействующую *CIE CAM16*

В рамках проведённой работы были реализованы алгоритмы преобразований в моделях *CIE CAM16* и *CIE Lab* с использованием программной среды *MATLAB*. Были проведены преобразование цветовых координат каждого пикселя изображения, что обеспечило высокую точность анализа, но одновременно потребовало значительных вычислительных ресурсов. Для повышения производительности алгоритмы были оптимизированы по времени за счёт вычислений с использованием графического процессора (*GPU*).

Рассчитанные значения приведены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты обработки изображения

Цветовые различия в <i>CIE Lab</i>					
Объект	Координаты пикселей [x, y]	Среднее ΔE	CO	Мин ΔE	Макс ΔE
Общее по изображению	—	34,056	7,472	0,551	48,269
Самый темный пиксель	[1982, 2597]	—	—	0,551	—
Самый светлый пиксель	[913, 2888]	—	—	—	16.658
Участок RED	[3678, 1543]	27,119	1,214	17,288	30,807
Участок GREEN	[3787, 1545]	21.576	0,680	17.414	24,561
Участок BLUE	[3898, 1543]	23,697	0,981	19,919	27,814
Цветовые различия в <i>CIE CAM16</i>					
Общее по изображению	—	31,694	6,027	2,026	87,344
Самый темный пиксель	[1982, 2597]	—	—	3,352	—
Самый светлый пиксель	[1036, 3030]	—	—	—	38,562
Участок RED	[3678, 1543]	19,376	9.831	4,752	33,990
Участок GREEN	[3787, 1545]	16,550	9,745	5,776	36,388
Участок BLUE	[3898, 1543]	18,451	9,976	5,502	37,018

Чем ниже CO (стандартное отклонение) тем более однородны участки и меньше расхождение цвета. Таким образом, чтобы находить локальные пики, которые могут быть важны для качества изображения, на основе данных табл. 1 следует использовать *CAM16*.

Обсуждение

Человеческое зрение адаптируется к доминирующему освещению в сцене *CIE CAM16* учитывает этот эффект с помощью модели *CAT16*, она корректирует цветовое восприятие с учётом адаптации зрителя к источнику света, *CIE Lab* не учитывает данную адаптацию — она

предполагает фиксированную стандартную освещённость (обычно *D65*), поэтому её расчёты менее точны в переменных условиях.

Статистики по всему изображению показывает, что для обеих моделей среднее ΔE сопоставимо (*CIE Lab* чуть выше), но у *CIE Lab* больше минимальные и меньшие максимальные значения, тогда как у *CAM16* отмечается существенно более высокий максимум. Высокий максимум в *CAM16* (≈ 87) указывает на то, что *CAM16* «выявляет» участки с экстремально большими перцептивными расхождениями, которые в *CIE Lab* могли быть «смазаны» или недооценены. Это согласуется с тем, что *CAM16* специально разработана учитывать контекст наблюдения и адаптацию.

Выводы

Модель *CIE Lab* остаётся широко применяемым стандартом для оценки цветовых различий, обеспечивая простоту вычислений и приемлемую точность в условиях стандартного наблюдения. Применение *CIE CAM16* позволяет более точно учитывать влияние условий наблюдения, фонового освещения и адаптации наблюдателя, что делает её особенно ценной в современных мультимедийных и печатных системах, где требуется цветовое соответствие между различными устройствами вывода.

На основании расчетов можно озвучить, что модели *CIE Lab* и *CIECAM16* дают схожие средние ΔE по изображению, но существенно различаются по СО на участках. *CIE Lab* демонстрирует более однородный, «усреднённый» профиль; *CAM16* — более выраженные различия. Наблюдения согласуются с замечаниями *Zhihui Liao* и *Lihao Xu* [8] о необходимости учитывать эффект Гельмгольца–Кольрауша при моделировании светлоты и яркости — именно этот эффект может усилить перцептивное значение хроматической насыщенности в светлых областях и объясняет высокие пики ΔE в *CAM16*.

Список литературы

1. Commission Internationale de l'Éclairage (CIE). CIE Research Strategy. Version 2023–09. – Vienna: CIE, 2023. – 27 с. – URL: <https://doi.org/10.25039/vudfg44z> (дата обращения: 14.06.2025).
2. Commission Internationale de l'Éclairage. CIE 15:2004. Colorimetry. 3rd ed. Vienna: CIE, 2004. 79 p. ISBN 3–901–906–33–9.

3. The CIE 2016 Colour Appearance Model for Colour Management Systems: CIECAM16: CIE 248:2022 Division 1. Division 8. ISB 978–3–902842–94–7.
4. *Nico Schlömer* Algorithmic improvements for the CIECAM02 and CAM16 color appearance models*/ arXiv:1802.06067v1 [eess.IV] 16 Feb 2018
5. *Gao C., Xiao K., Pointer M., Li C.* The development of the CIECAM16 and visualization of its domain and range // Color Research & Application. – 2023. – Vol. 48, № 1. – P. 74–85.
6. *Li C., Li Z., Wang Z., Xu Y., Luo M. R., Cui G., Melgosa M., Brill M. H., Pointer M.* Comprehensive color solutions: CAM16, CAT16, and CAM16–UCS // Color Research & Application. – 2017. – P. 1–16.
7. *Hellwig L., Fairchild M.D.* Revising CAM16–UCS // 30th Color and Imaging Conference Final Program and Proceedings. — Springfield, VA: Society for Imaging Science and Technology, 2022. — P. 277–279. — DOI: 10.2352/CIC.2022.30.1.48.
8. *ZHIHUI LIAO AND LIHAO XU* «Lightness modifications of the CIECAM16 and CIELAB based on the Helmholtz–Kohlrausch effect», Vol. 32, No. 25 / 2 Dec 2024 / Optics Express 44918.

**АРХИТЕКТУРА И
СВЕТОВОЙ ДИЗАЙН**

**ARCHITECTURE &
LIGHTING DESIGN**



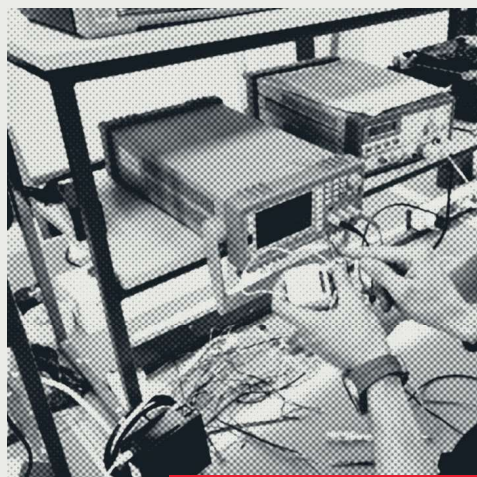
Построй карьеру в Arlight!

МЫ ПРЕДЛАГАЕМ:

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

Arlight — один из лидеров в области производства светодиодного оборудования.

* На правах рекламы.



Карьера в Arlight

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

Контакты для связи с нами:

hr@arlight.ru

arlight.ru

[@arlight_rus](https://www.instagram.com/arlight_rus) |   

+7 (903) 291 6830 |  



Смотри наши видео

АРХИТЕКТУРНО-ХУДОЖЕСТВЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ ПЕТРОПАВЛОВСКОЙ МОРТИРНОЙ БАТАРЕИ ВО ВЛАДИВОСТОКЕ

*Гузенко Е.В., студент; Сердюк А.А., студент;
Карпенко В.Е., к. арх., профессор; Пономаренко Н.В., доцент
Дальневосточный Федеральный университет, г. Владивосток*

ARCHITECTURAL AND ARTISTIC LIGHTING OF THE PETROPAVLOVSKAYA MORTAR BATTERY IN VLADIVOSTOK

*Guzenko E. V., student; Serdyuk A. A., student; Karpenko V. E., Ph.D.,
Professor; Ponomarenko N. V., Associate Professor
Far Eastern Federal University, Vladivostok*

Аннотация

В работе исследуются принципы и методы архитектурного освещения Петропавловской мортирной батареи как исторического объекта культурного наследия. Проводится анализ световых решений, выявляются их достоинства и недостатки с точки зрения сохранения исторического облика и создания визуально привлекательного образа в ночное время. Предлагаются рекомендации по разработке концепции освещения, учитывающей архитектурные особенности объекта, его роль в городской среде и современные тенденции светового дизайна. Особое внимание уделяется выбору светотехнического оборудования, обеспечивающего энергоэффективность, долговечность и минимальное воздействие на окружающую среду.

Abstract

The paper examines the principles and methods of architectural lighting of the Petropavlovsk mortar battery as a historical cultural heritage site. The analysis of lighting solutions is carried out, their advantages and disadvantages are revealed in terms of preserving the historical appearance and creating a visually attractive image at night. Recommendations on the development of a lighting concept are offered, taking into account the architectural features of the object, its role in the urban environment and current trends in lighting design. Particular attention is paid to the selection of lighting equipment that ensures energy efficiency, durability and minimal environmental impact.

Ключевые слова: архитектурное освещение, мортирная батарея, крепость, историческая ценность

Keywords: architectural lighting, mortar battery, fortress, historical value

Введение

Батарея расположена на полуострове Муравьёва-Амурского, на мысу Назимова (Иродова), и относится к Уссурийскому фронту берегового фронта Северного отдела обороны Владивостокской крепости. Изначально она возводилась в 1888–1889 годах В.И. Жигалковским как Иродовская мортирная батарея, названная по мысу Иродова. Батарея представляет собой пять расположенных в одну линию прикрытых бетонными брустверными стенками и разделённых бетонными казематированными траверсами широких орудийных дворики, где попарно на бетонных основаниях установлены десять девятидюймовых береговых мортир образца 1867 года на модернизированных станках Кокорина. Батарея получила название Петропавловской в память о героической обороне Петропавловска-Камчатского российскими войсками и флотом в 1854 году во время Крымской войны 1853–1856 годов [1, 2]. На данный момент конструкции и сооружение батареи воспринимаются только при дневном свете. Однако, вечером архитектурная пластика конструкции может меняться при искусственном свете, создавая образ загадочной исторической крепости.

Актуальность исследования обусловлена использованием художественных методов при искусственном освещении сооружений исторического наследия [3]. В процессе светового моделирования применялись светокомпозиционное и цветное освещение, которое использовалось для создания акцентной подсветки деревьев, усиливая их текстуру в ночное время. Всё это способствует усилению эстетической привлекательности объекта, созданию нового интересного объекта в городе и привлечению новых посетителей, которые могли бы прикоснуться к истории города Владивостока. Научная задача работы состоит в разработке образного и технически обоснованного решения искусственного освещения, в нахождении светотехнических параметров при создании архитектурно-художественного освещения и привлекательного светового образа объекта крепости [4, 5].

Метод исследования

В основу концепции положен принцип деликатного подхода к освещению, подразумевающий минимальное вмешательство в аутентичный облик объекта. Световые акценты расставляются на ключевых архитектурных элементах: крепостных стенах, бастionaх и

артиллерийских орудиях, подчеркивая их объем и фактуру. Использование теплого спектра света имитирует историческое освещение и создает атмосферу уюта и гостеприимства. В результате исследования предлагается концепция архитектурного освещения, направленная на подчеркивание исторической ценности Петропавловской мортирной батареи и формирование комфортной световой среды в ночное время с двумя видами освещения: повседневного и праздничного для горожан и туристов.

Комплексное моделирование освещения мортирной батареи заключается в учёте исторического контекста и создании туристически привлекательной ночной световой среды и создании благоустройства территории, применении современных ИС и световых технологий. Проектное решение заключается в превращении заброшенной мортирной батареи в пространство, где каждый посетитель сможет соприкоснуться с историей Владивостока.

Разработанное освещение помогает создать безопасное пространство. Освещены грани мортирной батареи, а также установлены светильники над мортирами. Светодиодная лента, установленная в бетонную платформу для мортир, создает акцент и модернизирует пространство. Также осветительные приборы установлены в дуле мортир, сами мортиры не фиксированы и подвижны, поэтому направление потока света также можно менять.

Также спроектированы уличные фонари, которые подсвечивают пешеходные направления у мортирной батареи, что создает безопасность и эстетически привлекательный вид в вечернее время. Уличные прожекторы прикреплены к деревянным стойкам, а поток их света направлен вверх.

Цветное освещение помогает преобразить территорию, добавить ей яркости (рис. 1).

Основные светотехнические параметры, формирующие различные световые эффекты и формы, представлены в табл. 1.

Ситуационный план

Фотография местности

Историческая справка

Батарея расположена на мысу Мурашова-Амурского, на мысу Назимова (Исодова), и относится к Уссурийскому форсу берегового фронта Северного отдела обороны Владивостокской крепости. Являлась она возводилась в 1888-1889 годах В.И. Жигалковским как Исодовская мортирная батарея, названная по мысу Исоды. Батарея представляет собой пять расположенных в одну линию прикрытых бетонными брустверами стоек и разведенных бетонными казематированными траверсами широким орудийным лабиринтом, где попарно на бетонных основаниях устанавливались десять 3-калиберных береговых мортир образца 1867 года на модернизированных станиках Коковина. Батарея получила название Петропавловской в память о героической обороне Петропавловска и Камчатки от японских наземными войсками и флотом в 1854 году во время Крымской войны 1853-1856 годов.

План

Видовой кадр 1. Вид сверху

Видовой кадр 2. Основное освещение

Фиктивные цвета (схема освещенности Е, люкс)

Шкала фиктивных цветов

0 100000 200000 300000 400000 500000 600000 700000 800000 900000 1000000

Фиктивные цвета (схема распределения яркости L, кд/м²)

Фрагмент 1

Видовой кадр 3. Фрагмент

Фрагмент 2

Видовой кадр 4. Проведение мероприятий

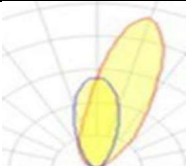
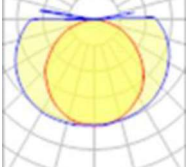
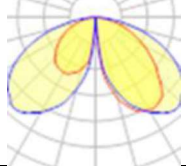
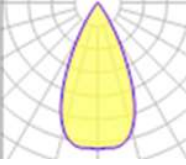
Ведомость светильников

Кол-во	Характеристики	Внешний вид	Дизайн
12	Полусферический (180-90°) 120-180-170-10-1000000 110-200 Материал: алюминий Светильник: алюминий 147-100 Материал: алюминий 147-100 Материал: алюминий 147-100		
27	Полусферический (180-90°) 120-180-170-10-1000000 110-200 Материал: алюминий Светильник: алюминий 147-100 Материал: алюминий 147-100 Материал: алюминий 147-100		
120	Полусферический (180-90°) 120-180-170-10-1000000 110-200 Материал: алюминий Светильник: алюминий 147-100 Материал: алюминий 147-100 Материал: алюминий 147-100		
50	Полусферический (180-90°) 120-180-170-10-1000000 110-200 Материал: алюминий Светильник: алюминий 147-100 Материал: алюминий 147-100 Материал: алюминий 147-100		

Курсовая работа «Световой дизайн Петропавловской мортирной батареи в г. Владивостоке»
Выполнили: студентки группы Б3122-07.03.04(д) Тугозюк Елизавета, Сергеев Артем
Проверили: преподаватели Наталья Николаевна, Корнеев Владимир Александрович
Подпись в карточке

Рис. 1. Проект освещения, компьютерное моделирование и расчет освещённости мортирной батареи (авторы Е.В. Гузенко, А.А. Сердюк)

Таблица 1. Светотехнический анализ: параметры ИС, световые эффекты, цветовая температура при достижении архитектурного освещения

Тип светильника	КСС светораспределение	Цветовая температура, $T_{\text{цв}}$, К	Световой эффект, световая форма
Грунтовый светильник		3000	Подсвечивание бетонных углов мортирной батареи, световая проекция
Светодиодная лента		2700	Подсвечивание бетонного основания мортир, световая графика
Уличный фонарь		4000	Подсвечивание дороги и зелёной зоны около мортир
Софиты		3000	Подсвечивание потерн

Результаты исследования заключаются в преобразении важного исторического места города с учётом создания образного, детального и привлекательного освещения. Применённые художественные приёмы освещения подчёркивают архитектурную и объемную пластику мортирной батареи, исторический контекст, ландшафтный дизайн средствами цветного и заливающего света, графикой светодиодных лент. Безопасность пространства Петропавловской мортирной батареи в вечернее время достигается средствами декоративного освещения.

Обсуждение

В дальнейшем при разработке световых решений исторических мест могут быть применены яркие акценты. Такое освещение поможет создать уникальность данных территорий, что привлечёт за собой множество новых посетителей, а вместе с этим и повышение интереса к историческим местам города.

Выводы

Результаты комплексной методики освещения показывают, что погружение в определённый контекст, знакомство с историей этого места, личное видение этого места, фотофиксация, анализ световых решений, использование современных световых технологий позволяют разработать необычные, интересные и актуальные приемы освещения и создать уникальное световое пространство.

Список литературы

1. *Аюшин Н.Б., Калинин В.И., Воробьев С.А., Гаврилкин Н.В.* Крепость Владивосток. Санкт–Петербург: Остров, 2001. 264 с.
2. Петропавловская мортирная батарея / Владивостокская крепость. URL: <https://fortressvl.ru/fortress/petropavlovskaya–mortirnaya–batareya/> (дата доступа: 06.07.2025)
3. *Щенетков Н.И.* Светодизайн города и интерьера. Москва, 2021. 456 с.
4. *Справочная книга по светотехнике* / Под ред. Ю.Б. Айзенберга, Г.В. Бооса. 4–е изд. перераб. и доп. М., 2019. 892 с., ил.
5. *Батова А.Г.* Принципы проектирования наружного освещения архитектурных объектов. Автореферат диссертации ... кандидата архитектуры. М., МАРХИ, 2012. 26 с.

ПРОЕКТ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ СЦЕНИЧЕСКОГО ОСВЕЩЕНИЯ ДК МЭИ

*Михайлова Д.Д., магистр; Фомин А.Г., к.т.н., доцент
Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва*

STAGE LIGHTING SYSTEM RENOVATION DESIGN FOR THE MPEI UNIVERSITY CULTURAL CENTER

*Mikhailova D.D., M.Sc.; Fomin A.G., Ph.D., Associate Professor
National Research University «Moscow Power Engineering Institute»,
Moscow*

Аннотация

Произведён аудит действующей системы сценического освещения ДК МЭИ. Выполнен анализ современной практики управления театральным освещением и обзор существующих решений в соответствующем рыночном сегменте. Предмет исследования — методы и технологии автоматизации управления световыми эффектами в сценических постановках. Результатом проделанной работы является разработка эффективной системы сценического освещения для оптимизации процесса реализации световой партитуры с учётом современных требований и возможностей.

Abstract

An audit of the current stage lighting system of the MPEI Cultural Center was conducted. An analysis of the current practice of managing theatrical lighting and a review of existing solutions in the relevant market segment were performed. The subject of the study is methods and technologies for automating of lighting effects management in stage productions. The result of the work performed is the development of an effective stage lighting system to optimize the process of implementing the lighting score, taking into account modern requirements and capabilities.

Ключевые слова: сценическое освещение, театральное освещение, световые эффекты, протоколы управления освещением

Keywords: stage lighting, theatrical lighting, lighting effects, lighting control protocols

Введение

Художник по свету сегодня становится одной из ведущих фигур в формировании концепции театральной сценографии. Современные интеллектуальные приборы и системы управления позволяют реализовывать сложные световые решения, можно интегрировать свет с видео- и звуковыми эффектами, тем самым создавая запоминающиеся постановки. В современном сценическом искусстве свет становится самостоятельным выразительным средством, способным трансформировать сценическое пространство, подчеркивать драматургию, выделять персонажей и декорации. От грамотной организации пространства зависит не только визуальное восприятие спектакля или концерта, но и создание необходимой атмосферы, эмоционального настроения, акцентирование внимания зрителя на ключевых моментах действия [1].

Несмотря на значительные достижения в области сценического освещения, многие площадки продолжают сталкиваться с рядом технических и художественных вызовов, в основном, это устаревшие световые приборы и аналоговые системы управления. Также сложно интегрировать новые цифровые технологии в существующую инфраструктуру. В рамках национального проекта «Культура» в России активно ведется обновление домов культуры [2], что подчёркивает актуальность данной области светового дизайна и светотехники.

Методы исследования

Текущее оборудование (*PAR64*, *PAR56*, *PAR36*, *Robe 575 XT*, *PAR184*, *Wash PL540*, пушка *Anzhee 350 Pro*) в основном устарело и частично не используется. Тем не менее, преимущества имеющейся системы заключаются в разнообразии световых эффектов: при наличии сканеров *Robe 575 XT* и пушки *Anzhee 350 Pro* можно создавать динамические световые эффекты, что важно для концертов и шоу. *PAR184* обеспечивают основное освещение сцены, без чего не обходится любое представление. Светильники *Wash PL540* могут использоваться для создания мягкого, равномерного освещения, что полезно для театральных постановок. Потенциалом для динамического освещения является наличие рабочего парка приборов *LEDBar 1044*.

Недостатки системы прежде всего заключаются в значительном количестве неиспользуемого оборудования. Функционирование лишь половины сканеров *Robe 575 XT* ограничивает возможности по созданию сложных световых эффектов, а неиспользование ламп *PAR64*

и *PAR56* может быть связано с их устареванием, что указывает на необходимость модернизации системы освещения для соответствия современным стандартам. В итоге, основная нагрузка ложится на лампы *PAR184* и часть сканеров, что может привести к быстрому износу этих устройств.

Действующая система освещения была смоделирована в программе *Dialux evo* (рис. 1). Расчётные данные показали хорошее соответствие данным проведённого светового аудита (измерений E_v и E_z в различных точках сцены). Вместе с тем, было выявлено расхождение полученных результатов со значениями, нормируемыми в СП 309.1325800.2017 [3]. Был также проведён опрос о субъективной оценке качества существующего освещения среди групп артистов и зрителей, показавший преобладание негативных оценок.

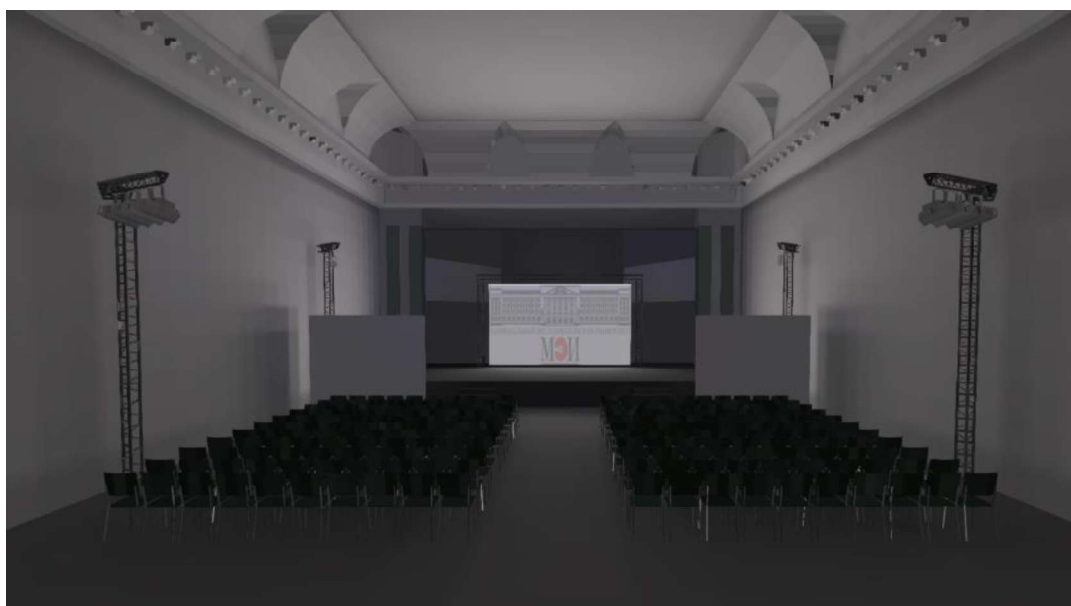


Рис. 1. Модель действующей системы сценического освещения в программе *Dialux*

Результаты

В соответствии с полученной информацией нами был разработан проект модернизации системы освещения с использованием современного светодиодного сценического оборудования. При этом были подобраны как современные аналоги для успешно функционирующих приборов, так и предложены новые виды прожекторов и светильников для получения дополнительных эффектов и режимов освещения. Данные о подобранном оборудовании приведены в табл. 1. Внешний вид некоторых световых приборов приведён на рис. 2.

Таблица 1. Характеристики выбранного светотехнического оборудования

Тип имеющегося прибора	Назначение	Основные недостатки	Предлагаемый тип (преимущества замены)
<i>PAR64, PAR56, PAR36</i>	Заливающий свет, акценты	Неэкономичность, сильный нагрев, нет смены цвета	<i>LED PAR RX350HP, Chauvet SlimPAR, Showtec LED PAR (RGBW, DMX, низкое энергопотребление, долговечность, смена цвета)</i>
<i>Robe 575 XT (сканер)</i>	Заливка сцены	Морально устарел, шум, ограниченный функционал	<i>Involight Ventus R33, Martin MAC Quantum, Robe Pointe, Clay Paky Mythos (LED-источник, ниже шум, выше яркость, больше эффектов, меньше энергопотребление)</i>
<i>PAR184, Wash PL540</i>	Заливка сцены	Ограниченная цветовая палитра, нет спецэффектов	<i>WASH 12x40W RGBW LED (RGBW, плавная смена цвета, DMX, высокая равномерность освещения, энергоэффективность)</i>
<i>Anzhee 350 Pro (пушка)</i>	Акцентный свет	Ручное управление, ограниченная мобильность, нет DMX	<i>PST 300 RGBW (DMX-управление, автоматизация слежения за персонажем на сцене, высокая точность, энергоэффективность)</i>
<i>LEDBar 1044</i>	Декоративное, контурное освещение	Нет белого (W), ограниченный угол, недостаточная однородность цвета	<i>LEDBar RGBW. Chauvet COLOR-band T3 BT, Euro-lite LED Bar-12 QCL, PixBa (RGBW, пиксельное управление, более равномерная заливка, расширенный набор эффектов)</i>



Рис. 2. Внешний вид световых приборов: а) LED BAR, б) PST 300, в) PL 200, г) WASH

Кроме этого, для данного объекта была также спроектирована система управления сценическим светом на базе протокола *DMX512* с расширением через *Art-Net/sACN* [4], содержащая:

- основную консоль управления (пульт) типа *GRAND MA 2*, с 2 ЖК мониторами;
- конверторы *Artnet-DMX* типа *ArtGate 8* (2 шт.);
- сплиттеры (разветвители сигнала) *SPL WALL4* (4 шт.).

Визуализация проектного решения на базе данного оборудования была выполнена в специализированной программе *Capture* [5] (рис. 3).



Рис. 3. Визуализация сценического освещения в режиме «концерт»

Обсуждение

Для оценки разработанного проектного решения было выполнено его светотехническое моделирование в программе *Dialux evo* и сравнение полученных результатов с действующей осветительной установкой. Расчёты показали, что использование более эффективных световых приборов совместно с улучшенной схемой их размещения позволяет добиться значительно лучшего восприятия объектов на

сцене, например E_c на фигурах артистов в различных точках сцены возросла от 25 до 89 %, что особенно улучшает восприятие пластических композиций.

Расчёты также показали, что внедрение предлагаемой системы освещения позволит сократить общую установленную мощность оборудования на 37% — с 52,3 кВт (существующий вариант) до 32,9 кВт.

Выводы

Была проведена комплексная работа по анализу предметной области и существующих технологий управления светом на сцене. В результате был создан проект современной системы сценического освещения с цифровой системой управления, учитывающий специфику протокола *DMX* и современные требования к гибкости и точности управления. Предложенное решение позволяет эффективно интегрировать разнородные световые приборы в единую сеть, обеспечивая синхронизацию эффектов и удобство программирования световых сценариев, при существенной экономии электроэнергии.

Список литературы

1. Заева-Бурдонская Е.А., Назаров Ю.В. Сцена в свете софитов. Парадоксы профессии: художник, свет, театр // Светотехника. – 2019. – № 5. – С. 76–83.
2. Ольга Любимова: с 2019 года на обновление домов культуры выделено свыше 24 млрд рублей [Электронный ресурс] // Министерство культуры Российской Федерации – URL: https://culture.gov.ru/press/news/olga_lyubimova_s_2019_goda_na_obnovlenie_domov_kultury_vydeleno_svyshe_24_mlrdrubley/ (дата обращения: 09.02.2025).
3. СП 309.1325800.2017 Здания театрально–зрелищные. Правила проектирования [Электронный ресурс] / Минстрой России. – Введ. 2017–07–01. – Москва: Стандартинформ, 2017. – 54 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293739/4293739242.pdf> (дата обращения: 01.05.2025).
4. Specification for the Art-Net 4 Ethernet Communication Protocol [Электронный ресурс]: Artistic Licence. – URL: <https://art-net.org.uk/downloads/art-net.pdf> (дата обращения: 10.02.2025).
5. Capture [Электронный ресурс] / Capture Sweden AB. – Режим доступа: <https://www.capture.se/Products/Capture/Overview> (дата обращения: 10.03.2025).

СВЕТОГРАФИЧЕСКАЯ КОММУНИКАЦИЯ В ГОРОДСКОЙ СРЕДЕ ИСТОРИЧЕСКОГО ЦЕНТРА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

*Никандров Д.Ф., студент; Вуль О.А., к.пед.н., доцент
СПБПУ Петра Великого, г. Санкт-Петербург*

LIGHT-GRAPHIC COMMUNICATION IN THE URBAN ENVIRONMENT OF THE HISTORICAL CENTER OF SAINT PETERSBURG

*Nikandrov D.F., student; Vul O.A., Ph.D., Associate Professor
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg*

Аннотация

Статья посвящена разработке светографического путеводителя «Проводник», направленного на создание системы пешеходной навигации в историческом центре Санкт-Петербурга. Проект выполнен в качестве выпускной квалификационной работы по направлению магистратуры «Коммуникативный дизайн» в СПбПУ Петра Великого. В ходе исследования был проведён анализ визуально-коммуникативной среды города, изучен отечественный и зарубежный опыт реализации световых маршрутов. Разработаны три тематических световых маршрута «Адмиралтейский канал», «Петербург Достоевского» и «Культурная Коломна», объединённые в единый путеводитель. Результатом выпускной квалификационной работы стала типологическая модель светографического дизайна и концепция мобильного приложения — светографического путеводителя «Проводник».

Abstract

The article is devoted to the development of light-graphic guide 'Provodnik (Light Guide)' aimed at creating a system of pedestrian navigation in the historical center of St. Petersburg. The project was carried out in as a graduate work in the direction of Master's programme 'Communication design' in SPbPU. In the course of the research the analysis of visual and communicative environment of the city was carried out, domestic and foreign experience of implementation of light routes was studied. Three thematic light routes were developed, united in a single guide. The result of the final qualification work was typological model of light-graphic design and the concept of a mobile application — a light graphic guide 'Provodnik (Light Guide)'.

Ключевые слова: светографический дизайн, световая навигация, визуальная коммуникация, пешеходные световые маршруты, световая графика, светографическая коммуникация

Keywords: *light-graphic design, light navigation, visual communication, pedestrian light routes, light graphics, light-graphic communication*

Введение

Цель данного исследования заключается в разработке системы взаимосвязанного применения световых и графических средств для создания туристических маршрутов в городской среде, на примере исторического центра Санкт-Петербурга.

Актуальность исследования продиктована необходимостью модернизации пешеходных туристических маршрутов исторического центра Санкт-Петербурга и обеспечения их доступности в вечернее и ночное время. Гипотеза работы состоит в том, что система светографической пешеходной навигации может стать действенным компонентом информационной среды города и способствовать раскрытию его туристического потенциала, а синтез света и графики не только облегчает информирование и ориентацию в тёмное время суток, но и формирует выразительное визуально-коммуникативное пространство городской среды [1].

Методы

С помощью аналитического метода дифференцированы характерные особенности использования света и графики в городской среде, что заложило основу для формулирования типологии светографического дизайна — нововывявленного направления светодизайна. Метод синтеза позволил объединить выявленные световые и графические средства в единое направление — светографический дизайн [1]. Метод анализа также применён для категоризации существующих российских и зарубежных световых маршрутов пешеходных световых маршрутов и определения критериев для их проектирования [2].

В рамках предпроектного исследования с помощью метода натурного наблюдения была выявлена проблематика светографического дизайна городской навигации, изучены локации для размещения световых маршрутов, а также существующая туристическая пешеходная инфраструктура. Были изучены реализованные пешеходные маршруты в Санкт-Петербурге, такие как «Путь Петра» [3], официальные

экскурсионные маршруты портала *Visit Petersburg* [4]; «Прогулки по вечернему Петербургу», созданные СПб ГБУ «Ленсвет» [5].

Результаты

Предварительный обзор туристической инфраструктуры показал отсутствие в Санкт-Петербурге цельной системы пешеходной навигации, адаптированной для темного времени суток. Существующие маршруты разрознены и не обеспечены едиными заметными указателями. Оставшиеся с прошлых лет информационные стенды воспринимаются устаревшими и малоэффективными. Муниципальные туристические маршруты неудобны для самостоятельного прохождения (нет наглядных карт, нет средовых носителей, не учитывается использование маршрутов в тёмное время суток) [3].

В качестве территории для проектирования световых маршрутов был выбран исторический Адмиралтейский район, сочетающий высокую концентрацию знаковых объектов с благоприятной и спокойной средой для пешеходов. При этом в районе ранее практически отсутствовала туристическая навигация, а многие его ценные, но малоизвестные локации оставались «в тени». На основе анализа здесь разработаны три тематических пешеходных световых маршрута — каждый со своей концепцией и набором решений:

1. «Адмиралтейский канал» — маршрут-реконструкция, посвящённый одноимённой утраченной водной артерии, ныне Конногвардейского бульвара (рис. 1).



Рис. 1. Световой маршрут «Адмиралтейский канал»

Его аллея превращается в «световой канал»: динамические проекции и мерцающее голубое освещение имитируют течения и отблески воды на деревьях и мостовой. С помощью технологий дополненной реальности в световых контурах предполагается

«восстановление» утраченных исторических зданий, например, здания бывшей Немецкой реформатской церкви, в советское время перестроенной в ДК работников Связи.

2. «Петербург Достоевского» — литературный маршрут по местам романа «Преступление и наказание», охватывающий исторический Сенной округ (рис. 2). На Сенной площади светографический стенд воспроизводит силуэт утраченного храма Спаса-на-Сенной, что служит заметным ориентиром и сакральным символом. Ключевые точки маршрута сопровождаются световыми QR-кодами, а также светопроекциями персонажей и цитат Достоевского на фасадах и брендмауэрах.



Рис. 2. Световой маршрут «Петербург Достоевского»

3. «Культурная Коломна» — краеведческий маршрут по тихому историческому району Коломны, раскрывающий его многокультурное наследие. Здесь пересекались литература, театр, музыка, архитектура, православие, католицизм, лютеранство и иудаизм. Маршрут соединяет знаковые точки района, существующие и утраченные храмы разных конфессий. Световые объекты подчёркивают вклад каждой из сфер в культуру Петербурга.

Все три маршрута объединены в единый светографический путеводитель «Проводник», который представляет собой приложение для навигации по вечернему Санкт-Петербургу (рис. 3). В нём представлены интерактивные карты маршрутов, описания объектов и встроены функции дополненной реальности. Приложение через камеру позволяет считывать QR-коды на местности, открывая доступ к мультимедийному контенту и активируя дополненную реальность.

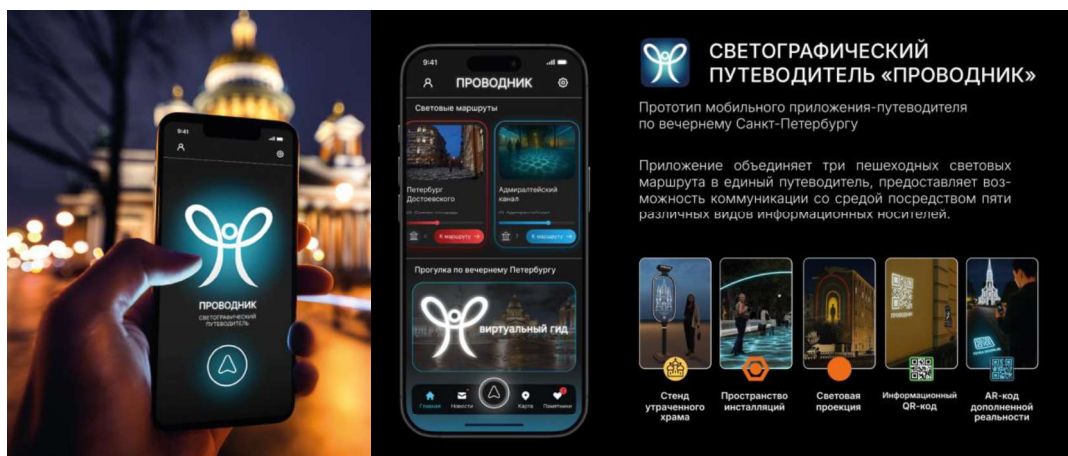


Рис. 3. Светографический путеводитель «Проводник»

Средовые навигационные носители — реальные световые объекты и инсталляции, обеспечивающие наглядную ориентацию и художественное восприятие. На основе предпроектного исследования, был разработан ряд светографических носителей, как стационарные световые стенды (прозрачные панели с подсветкой), на которых контурным светом изображены утраченные здания, храмы, интерактивные световые маркеры и указатели, интегрированные в пространство маршрутов (QR-коды и коды для считывания дополненной реальности), светопроекционные инсталляции малого и крупного размера [6], а также масштабные светопространства, составленные из различных типов носителей.

Обсуждение

В качестве научной новизны, работа закладывает основы нового направления дизайн-исследований — светографического дизайна, что было подкреплено публикациями в научных журналах «Светотехника» и «*Light&Engineering*» в 2025 году [1].

Высокая оценка и рекомендация к внедрению ВКР, полученные от Государственной экзаменационной комиссии, свидетельствуют о практической ценности и актуальности проекта для развития городской среды. Автором планируется пилотная реализация маршрутов на территории Санкт-Петербурга в сотрудничестве с муниципальными органами и светотехническими компаниями, детальная проработка мобильного приложения с расширением функционала, добавлением новых световых маршрутов и перспективной интеграцией в туристическую инфраструктуру города.

Выводы

Выполненный в качестве выпускной квалификационной работы магистра проект приложения «Проводник», продемонстрировал способы применения светографической навигации в историческом центре Санкт-Петербурга при помощи организации трёх уникальных пешеходных световых маршрутов. Каждый маршрут по-своему обогащает опыт прогулки в городе, облегчает ориентирование в тёмное время, усиливает визуальную привлекательность среды и делает знакомство с историко-культурными объектами более увлекательным. Практические результаты ВКР могут быть использованы для дальнейшего развития городской туристической навигации не только в Санкт-Петербурге, но и в других исторических городах.

Список литературы

1. *Никандров Д.Ф.* Светографический дизайн в навигационной системе исторического центра Санкт-Петербурга / О. А. Вуль, Д. Ф. Никандров, // Светотехника. – 2025. – № 3. – С. 46–51.
2. *Никандров Д.Ф., Вуль О.А.* Основные критерии проектирования пешеходных световых маршрутов в городской среде, Неделя науки ИСИ 2025: сборник материалов Всеросс. конф., 1–4 апреля 2025 г. В 4 ч. Ч. 4. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2025. – 395 с.
3. Экскурсионный маршрут «Путь Петра». [Электронный ресурс]. – URL: <https://petr.spb.ru/> (дата обращения: 5.05.2025)
4. Экскурсионные маршруты / Visit Petersburg [Электронный ресурс]. URL: <https://visit-petersburg.ru/route/> (дата обращения: 30.04.2025)
5. Зажигаем огни Санкт-Петербурга. / СПб ГБУ «Ленсвет». – Красноярск: Платина-профи, 2024. – 96 с.
6. *Никандров Д.Ф., Вуль О.А.* Особенности применения световых проекций в системе навигации современного мегаполиса. / Д.Ф. Никандров, О.А. Вуль. // Неделя науки ИСИ: сборник материалов Всероссийской конференции, 1–4 апреля 2024 г. В 4 ч. Ч. 4. – СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. – 271 с.

ПРОРАБОТКА СВЕТОВОГО РЕШЕНИЯ ДЛЯ ФИТОКОНСТРУКЦИИ

Топоркова А.А., студент; Зварыгина А.А., студент;

Гречкина Т.В., к.ф.-м.н., доцент

*Национальный исследовательский Томский политехнический
университет, г. Томск*

DEVELOPMENT OF A LIGHTING SOLUTION FOR PHYTOCONSTRUCTION

Toporkova A.A. student; Zvarygina A.A. student;

Grechkina T.V., Ph.D., Associate Professor

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk

Аннотация

На сегодняшний день фитостены и другие формы вертикального озеленения становятся важным элементом интерьера, сочетающим эстетику, экологичность и функциональность. Их популярность обусловлена стремлением человека к природе, особенно в условиях мегаполисов, где зелёные зоны ограничены. Фитостены не только украшают пространство, но и улучшают микроклимат: очищают воздух, регулируют влажность и снижают уровень шума.

В условиях естественного света произрастание растений видится наиболее комфортным и сбалансированным. Роль же света искусственного крайне необходима для целей освещения внутренних пространств, где важен свет для всех живых организмов. В таких случаях необходимо грамотное проектирование искусственного освещения, которое должно учитывать физиологические потребности растений (спектр, интенсивность, продолжительность светового воздействия) и визуальную гармонию (подчёркивать фактуры и цвета растений, интеграцию в интерьер).

Данная работа посвящена исследованию и разработке оптимальных приёмов организации освещения фитоконструкции на примере вертикальной растительной композиции. Проведена совместная работа с представителями Агрономии по обновлению растительного состава для фитокомпозиции. На базе исходных данных выполнено 3D моделирование помещения и фитомодулей в программной комплексе *DIALux evo*. Результатом работы является разработка светотехнического решения общего осветительного климата для фитоконструкции.

Abstract

Today, phyto-wall and other forms of vertical landscaping are becoming an important element of the interior, combining aesthetics, environmental friendliness and functionality. Their popularity is due to the human desire for nature, especially in megacities where green areas are limited. Phyto-wall not only decorate the space, but also improve the microclimate: they purify the air, regulate humidity and reduce noise.

In conditions of natural light, the growth of plants is seen as the most comfortable and balanced. The role of artificial light is extremely necessary for the purpose of lighting interior spaces, where light is important for all living organisms. In such cases, it is necessary to design artificial lighting correctly, which should take into account the physiological needs of plants (spectrum, intensity, duration of light exposure) and visual harmony (emphasize the textures and colors of plants, integration into the interior).

This work is devoted to the study and development of optimal methods for organizing lighting of a phytoconstruction using the example of a vertical plant composition. Joint work has been done with representatives of Agronomy to update the plant composition for the phytocomposition. Based on the initial data, 3D modeling of the room and phytomodules was performed in the DIALux evo software package. The result of the work is the development of a lighting solution for a common lighting climate for phytoconstruction.

Ключевые слова: озеленение интерьеров, фитоконструкция, свет для растений, фитосветильники

Keywords: interior greening, phytoconstruction, light for plants, phytolamps

Введение

Объектом исследования настоящей работы стала фитоконструкция (рис. 1), расположенная в Научной библиотеке Томского Государственного университета (НБ ТГУ). Здание библиотеки – это многоэтажное строение, общий подъём по которому осуществляется по лестнице. В одном из таких пролётов между первым и вторым этажами на лестничной площадке расположен объект исследования настоящей работы. В настоящее время растительная схема фитостены представляет собой комбинацию трех видов живых (хлорофитум, папоротник и вьюн) и искусственных растений, без явной композиции и спланированного декоративного оформления.

Данная конструкция состоит из трёх растительных блоков с областью насаждения 220×80 см, расположенных на стене в вертикальном положении, где с позицией нижней точки размещения от пола равной 182 см. Высота каждого блока 280 см, ширина 80 см, глубина 20 см. Расстояние между модулями 35 см.

Согласно [1] для теневыносливых растений значения освещённости находятся в диапазоне от 500 до 700 лк. При этом для оценки эффективности освещения используется параметр фотосинтетический фотонный поток плотности (*PPFD*), значения которого для текущего состава растений варьируются от 80 до 120 мкмоль/м²/с [2]. Также важно учитывать формат освещения для межлестничного пролёта, которые приведены в [3].

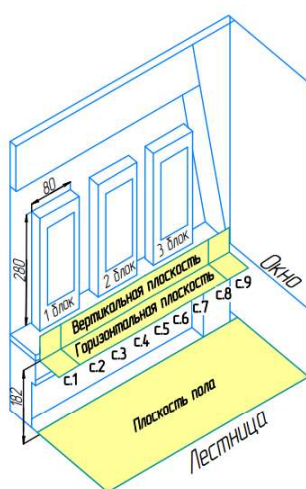


Рис. 1. Фотохроника объекта в НБ ТГУ: а — 2016 г., б — 2022 г., в — 2023 г.

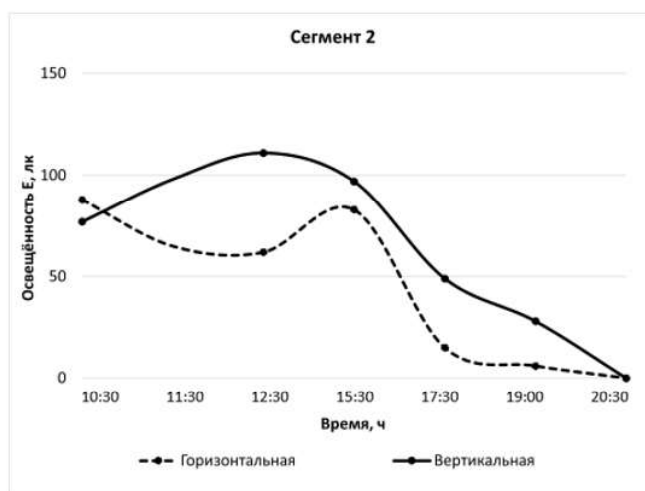
Метод исследования

В ходе работы проведён анализ действующей осветительной установки на предмет освещаемого объекта – фитоконструкции. Измерительный процесс был связан с оценкой состояния освещения в трёх доступных для измерения позициях на высоте 182 см, на высоте 150 см и в плоскости пола ($h=0$).

На рис. 2а схематически представлен объект исследования с обозначением всех элементов и положением плоскостей, которые были включены в текущий измерительный анализ. Каждая позиция была разделена на 9 сегментов (С1–С9), в которых проводились замеры с помощью люксметра ТКА-Люкс, при чем С1–С3, это данные в плоскости растительного блока 1, С4–С6 – блока 2 и С7–С9 – 3, соответственно.



а)



б)

Рис. 2. Схематическое представление объекта исследования (а) и результат фона естественной освещённости для сектора С2 (б) в двух плоскостях наблюдения

В ходе выполнения работы был проведен комплексный анализ состояния освещения фитоконструкции, включавший три этапа наблюдений. Во-первых, зафиксированы ожидаемые сезонные колебания, характеризующиеся увеличением освещенности в весенний период и снижением в осенне-зимний. Во-вторых, наблюдается суточная динамика с пиком в полуденные часы, однако интенсивность естественного света варьируется в зависимости от расположения сегмента. В-третьих, выявлена значительная неравномерность распределения света по отдельным участкам, при этом сегменты С1–С3 характеризуются наиболее низким уровнем освещенности (рис. 2б).

На основании полученных данных обоснована необходимость дифференцированного подхода к организации освещения, предполагающего использование искусственных источников в затененных зонах (сегменты С1–С3) и возможность преимущественного использования естественного света в сегментах, расположенных вблизи оконных проемов (сегменты С7–С9).

Результаты

В настоящей работе был проведён анализ освещения и выполнена работа по обновлению растительного состава фитоконструкции. Новые виды растений были подобраны с учётом их световых потребностей и декоративной совместимости (рис. 3а), что позволило создать более устойчивую и эстетически гармоничную композицию.

Проработкой проектного решения стали 2 варианта освещения фитокомпозиции.

Для первого светового решения (рис. 3б) использовалась трековая система со светодиодными фитопржекторами полноспектрального состава. Световые приборы размещены в направлении каждого модуля, в результате чего освещение равномерно охватывает растения, подчёркивая их структуру.

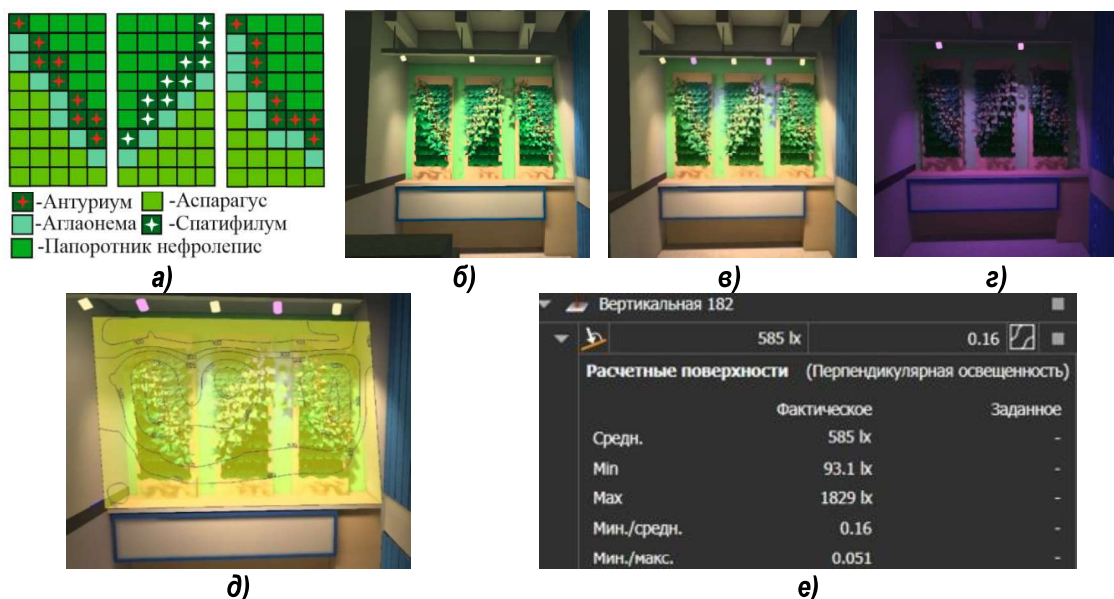


Рис. 3. Растительная композиция (а), пример светового решения 1 (б), сцены освещения по варианту 2 (в, г) с примером расчетных данных (д, е)

Во втором — используются 2 группы светильников (белого и фиолетового свечения), для комплексного светового баланса и координации вопроса развития растений (рис. 3, в-е). Данное проектное решение представляет собой адаптивную систему освещения, автоматически регулирующую работу фитопржекторов в зависимости от времени суток и уровня естественной освещенности.

Обсуждение

В ходе работы выполнено исследование фитосистемы и текущего состояния освещения в пространстве расположения объекта. Анализ данных показал, что общее состояние растительного состава и характер освещения нуждается в пересмотре.

Решением координации данного вопроса послужило исследование в настоящей работе и проработка светового решения. В связи с этим предложены два варианта освещения: трековая система с фитопржекторами для равномерной подсветки и адаптивная схема с регулируемым спектром. Результаты расчетных данных освещённости

являются допустимыми и согласуются с нормируемыми параметрами для межлестничного пролёта [3]. Разработанная система фитоосвещения предусматривает управление параметрами работы светильников, обеспечивающее точную регулировку интенсивности светового потока в соответствии с технологическими требованиями и биологическими потребностями растений. При этом баланс света для растений интегрирован таким образом, чтобы не нарушать рекомендуемых параметров освещения основного объекта — лестничного пространства.

Отдельным разделом работы стало взаимодействие двух образовательных программ по направлению «Оптотехника» ТПУ и направлению «Агрономия» ТГУ на предмет проработки и согласования растительного состава для фитокомпозиции, что позволило создать комплексное решение, которое учитывает не только технические аспекты освещения, но и биологические особенности растений, обеспечивая их долгосрочную жизнеспособность в интерьерных условиях.

Выводы

Совместный подбор растительного состава и системы освещения позволил создать функциональную и эстетичную фитокомпозицию, пригодную для использования в общественных интерьерах. Полученные результаты могут быть применены для проектирования вертикального озеленения с учётом биологических потребностей растений и визуальной гармонии пространства.

Список литературы

1. Бочкова И.Ю., Бобылева О.Н. К вопросу подбора комнатных растений для фитокомпозиций // Лесной вестник / Forestly Bulltein, 2018. Т. 22. №2. С.55–60.
2. JUST|GROW. Сколько света нужно растениям. [Электронный ресурс]. [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые данные. URL: <https://just-grow.ru/blog/dli-plants>
3. СП 52.13330.2016. Свод правил. Естественное и искусственное освещение. Дата введения 08.05.2017. [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые данные. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054197> (дата обращения 14.10.2024).

АРХИТЕКТУРА СВЕТА И ЗВУКА В ГОРОДСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ ВЛАДИВОСТОКА: МУЛЬТИМЕДИЙНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ (3D-МЭППИНГ) ФЕСТИВАЛЯ АВТОЗВУК

*Ларкина Е.С., студент; Разговорова В.И., студент;
Худолеева Е.О., магистр, ассистент
Дальневосточный Федеральный университет, г. Владивосток*

THE ARCHITECTURE OF LIGHT AND SOUND IN THE URBAN SPACE OF VLADIVOSTOK: MULTIMEDIA DESIGN (3D MAPPING) AVTOZVUK FESTIVAL

*Larkina E.S., student; Razgovorova V.I., student;
Khudoleeva E.O., MSc, Assistant Lecturer
Far Eastern Federal university, Vladivostok*

Аннотация

Статья посвящена анализу опыта применения в праздничном световом оформлении мультимедийных технологий, а именно архитектурного 3D-мэппинга и аудиовизуальных генеративных систем, для трансформации городского пространства Владивостока. На основе проведенного анализа предложен проект мультимедийного оформления фестиваля «Автозвук», где проекционный мэппинг выступает медиатором общественного мероприятия и инструментом создания временного светового образа архитектурного пространства. Исследуется процесс интеграции динамического света и звука для формирования иммерсивной светозвуковой среды, синхронизированной с тематикой фестиваля.

В работе рассматриваются как художественные аспекты мультимедийного оформления фестиваля: разработка светодинамических сценариев и световая драматургия через абстрактные кинетические композиции, ритмические паттерны и динамические трансформации, визуализирующие энергию звука, так и технические аспекты реализации 3D-мэппинга: выбор проекционного оборудования, методы калибровки, и управление яркостью в условиях открытого пространства. Особое внимание уделяется генеративным технологиям и взаимодействию световых решений со звуковой составляющей фестиваля.

Abstract

The article is devoted to the analysis of the experience of using multimedia technologies in festive lighting design, namely 3D architectural mapping and audiovisual generative systems, to transform the urban space of Vladivostok. Based on the analysis, a multimedia design project for the Avtozvuk festival is proposed, where projection mapping acts as a mediator of a public event and a tool for creating a temporary light image of an architectural space. The process of integrating dynamic light and sound to form an immersive light and sound environment synchronized with the theme of the festival is investigated.

The paper examines both the artistic aspects of the multimedia design of the festival: the development of light-dynamic scenarios and light drama through abstract kinetic compositions, rhythmic patterns and dynamic transformations that visualize sound energy, as well as the technical aspects of 3D mapping: the choice of projection equipment, calibration methods, and brightness control in an open space. Special attention is paid to generative technologies and the interaction of lighting solutions with the sound component of the festival.

Ключевые слова: 3D-мэппинг, архитектурный видеомэппинг, генеративные технологии, светодинамика, светозвуковая среда, иммерсивная среда, мультимедийные технологии, проекционное оборудование

Keywords: 3D-mapping, architectural video mapping, generative technologies, light dynamics, light and sound environment, immersive environment, multimedia technologies, projection equipment

Введение

Мультимедиа технологии, 3D-мэппинг и генеративные светозвуковые системы сегодня перестают быть исключительно инструментом развлечения, превращаясь в средство художественного высказывания и модернизации городской среды. Исследования в области теории медиа и урбанистики подчеркивают возрастающую роль иммерсивных аудиовизуальных практик в создании духа места и формировании эмоциональной атмосферы городских событий [1, 3–4].

В нормативно-правовой базе благоустройства территории Владивостокского городского округа предусмотрено использование мультимедийных и проекционных элементов оформления городской среды в рамках праздничного освещения [5]. Однако существует пробел в нормировании и понимании яркостных характеристик, так как данные технологии устанавливаются без функции создания

определенного уровня освещенности, и того, как мультимедийные проекции, интегрированные в локальные городские практики (на примере крупных фестивалей), влияют на восприятие идентичности места и динамику социальных взаимодействий.

Научная задача данной работы заключается в исследовании практики оформления общественных пространств средствами мультимедийного освещения и определении их комфортных яркостных параметров и разработке решения по мультимедийному оформлению Владивостока, учитывающего выявленные параметры.

Метод исследования

Для достижения поставленной задачи были использованы следующие методы: анализ научной литературы, реализованных проектных решений и электронных источников для формирования комплексного представления о специфике применения 3D-мэппинга и генеративных систем в рамках праздничного оформления во Владивостоке; графическое, геометрическое и 3D компьютерное моделирование для разработки и оформления проектного решения.

Результаты

Анализ практического применения мультимедийных технологий в городской среде Владивостока выявил их значительную распространенность: не менее 17 медиафасадов и гобо-проекторов, доминирующими технологическими решениями являются светоцветовые формы, скульптуры и инсталляции [8]. Регулярное проведение мероприятий в общественных пространствах, сопровождаемых мультимедийными проектами (табл. 1), подтверждает востребованность данного формата городской коммуникации. Однако критическая оценка реализованных проектов мультимедийного освещения городских событий выявляет существенные ограничения: дефицит иммерсивности — существующие решения не обеспечивают глубокого погружения зрителя за счет отсутствия непрерывного аудиовизуального синтеза, многомодального взаимодействия и динамической адаптивности; технологический консерватизм — в арсенале городских проектов отсутствуют современные инструменты (голографические дисплеи, генеративные системы, интерактивные проекционные поверхности).

Таблица 1. Примеры практического применения мультимедийных технологий в городской среде Владивостока

Мероприятие	Проект	Светотехническое решение
Мультимедийное шоу «Крылья Востока» от «Sila Sveta», 2018		лазеры, водные проекции, освещенный мост и фрегат «Паллада»; в качестве экрана для проецирования был использован док Дальзавода
Мультимедийное шоу от компании «Орион Арт» в бухте Золотой Рог, 2012		виртуальные лучи, прожекторы направленного излучения, лазеры; продолжительность 20 мин., источники света установлены на 12 баржах
3D-мэппинг-шоу фестиваля «V-ROX»		Архитектурный 3D-мэппинг-шоу, прожекторы RGB 10000
3D-мэппинг-шоу на фасаде администрации к разным праздникам		Архитектурный 3D-мэппинг-шоу, прожекторы RGB 10000
Световое шоу на день ВМФ, 2020		световое шоу с различными световыми эффектами: контурная подсветка, неоновые фигуры морских обитателей

На основе проведенного исследования разработано решение по современному мультимедийному оформлению фестиваля «Автозвук» — масштабного события Владивостока. Проект представляет собой комплексную иммерсивную мультимедийную систему, объединяющую передовые технологии визуализации, генеративного искусства и обработки сигналов в реальном времени для создания синтетического аудиовизуального ландшафта мероприятия (рис. 1). Система состоит из трех взаимосвязанных модулей:

1. *Архитектурный 3D-мэппинг с генеративной звуковой синхронизацией*: цель — трансформация архитектурных поверхностей (фасад Дальрыбвтуза и здания краевой администрации) в динамичные холсты виртуального искусства, напрямую связанного с акустическим полем фестиваля. *Технологическая основа* — точное 3D-моделирование фасадов для корректного проецирования с учетом их архитектурных особенностей. *Светотехническое решение*: проекционная система высокой яркости ($\geq 30\,000$ ANSI lm), использование кластеров лазерных прожекторов с широким динамическим диапазоном (HDR) для

обеспечения видимости в условиях городской засветки и дневного света. *Генеративная аудиовизуальная система:* массивы высокочувствительных микрофонов (частотный диапазон 20 Гц–20 кГц, динамический диапазон >120 дБ) и датчиков вибрации в зоне звуковых систем автомобилей производят аудиоаналитику в режиме реального времени алгоритмами *FFT* (Быстрое Преобразование Фурье), выделяя ритмические паттерны (*Beat Detection*), частотные характеристики (спектральный анализ), уровень звукового давления (*SPL*), и передавая данные в систему визуализации данных. *Светодизайнерская концепция:* каждый из собранных звуковых параметров (бас, мид, высокие, темп, громкость) управляет отдельным визуальным слоем (форма, цвет, текстура, движение), имитируя движения звуковых вол, динамику, скорость, иллюзии.

2. *Предметный 3D-мэппинг на автомобилях:* цель — создание динамичного цифрового слоя на автомобилях-участниках, усиливающего их визуальную презентацию и взаимодействующего с общей аудиовизуальной средой. *Технологическая основа:* предметный 3D-мэппинг с алгоритмами искажения проекций и компенсации сложной кривизны кузова автомобиля на основе данных трекинга и предварительной калибровки. *Светотехническое решение:* лазерные проекторы (*VLT RGB 17 000 PRO MAPPING*) в комбинации с оптическими трекерами и *IMU*-датчиками (*Inertial Measurement Units*) на автомобилях для точного позиционирования в пространстве с частотой обновления ≥ 60 Гц. *Светодизайнерская концепция:* создание анимированных шаблонов (текстур, абстрактных форм, эффектов текучего металла, огня, электрических разрядов), параметрически управляемых как централизованно (синхронизация с общим шоу), так и локально (реакция на звук конкретного автомобиля, считанный с его аудиосистемы или внешними датчиками).

3. *Водяная голографическая проекция на сухой фонтан:* цель — формирование устойчивых объемных изображений в воздушно-водном пространстве, создаваемом матрицей сухого фонтана, для демонстрации логотипов, анимации, связанной с тематикой фестиваля и автозвуком [2]. *Технологическая основа:* лазерный свет рассеивается на микрочастицах воды, создавая видимое свечение в воздухе. *Светотехническое решение:* лазерная проекционная система проекторов (*RGB*, мощность ≥ 10 Вт) с высокоскоростными гальванометрическими сканаторами, лазерный луч фокусируется строго в плоскости водяной завесы, быстрая сканация луча позволяет «рисовать» изображение с

высокой частотой кадров (>30 Гц), компенсируя движение частиц, система синхронизации фазы работы фонтана и сканаторов обеспечивает стабильность изображения. *Светодизайнерская концепция*: специально разработанная 2D/псевдо-3D анимация, оптимизированная для визуализации на водяном экране (высокая контрастность, четкие контуры, избегание мелких деталей).

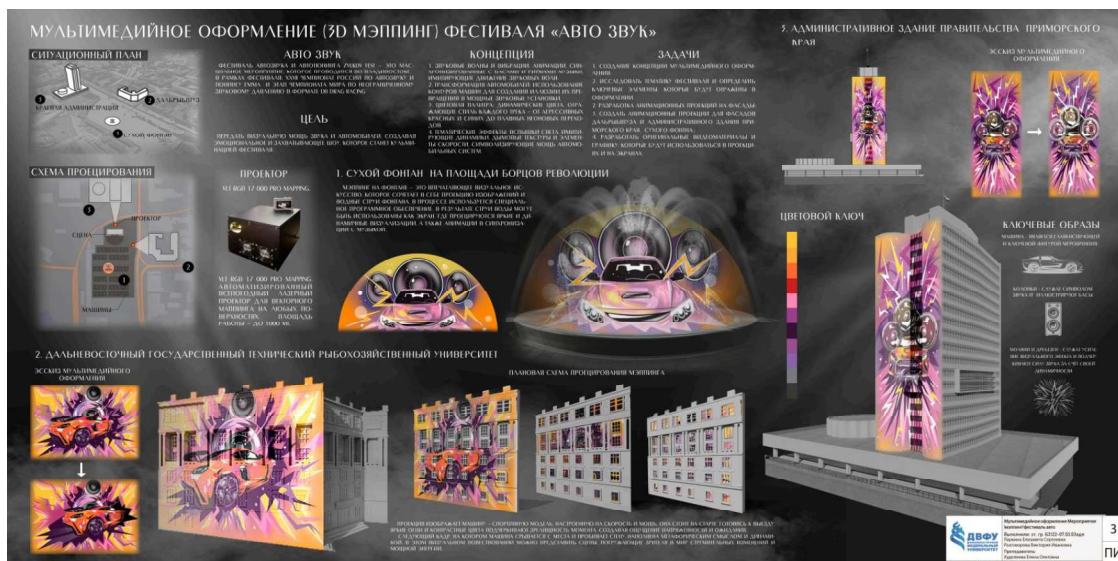


Рис. 1. Проект мультимедийного оформления фестиваля «Автозвук» во Владивостоке (авторы Е.С. Ларкина и В.И. Разговорова)

Обсуждение

Работа устанавливает связь между техническими параметрами мультимедийных систем (яркость, частота обновления, динамический диапазон) и их способностью формировать иммерсивную среду, предлагая конкретные инженерно-художественные решения для модернизации городских событий, но требует междисциплинарного уточнения в сфере звуковых технологий. Проект служит основой для дальнейших исследований в области нормирования яркостных характеристик и оценки социокультурного воздействия подобных практик на идентичность места.

Выводы

Анализ опыта и разработка на его основе комплексной иммерсивной мультимедийной системы для фестиваля «Автозвук» во Владивостоке доказала возможность интеграции 3D-мэппинга и генеративных аудиовизуальных технологий в единую синхронизированную среду. Исследование выявило критическую

потребность в нормировании яркостных параметров (проекторов $\geq 30\,000$ ANSI lm для архитектурного мэппинга) и стандартизации технологических решений (FFT-анализ звука, трекинг с IMU-датчиками, HDR-проекция) для обеспечения видимости в условиях городской засветки и художественной целостности. Полученные данные формируют основу для разработки нормативов применения мультимедийного освещения в общественных пространствах и оценки его влияния на социокультурную идентичность места.

Список литературы

4. Карпенко В.Е., Щепетков Н.И. Световые формы в городской среде // Светотехника. – 2022. – № 1. – С. 4–10.
5. Кириллов И.Е., Снетков В.Ю. Исследование цветового оформления музыкального фонтана по видеофрагментам // Светотехника. – 2025. – № 2. – С. 42–46.
6. Маккуайр С. Медийный город: медиа, архитектура и городское пространство. – STRELKA PRESS. 2014. – 388 с.
7. Манович Л. Язык новых медиа. – М.: АД МАРГИНЕМ ПРЕСС, 2018. – 400 с.
8. Муниципальный правовой акт города Владивостока от 15.08.2018 № 45-МПА [Электронный ресурс] // Официальный сайт администрации города Владивостока. – URL: <https://www.vlc.ru/documents/nap-heads-and-administration-of-Vladivostok/43165/> (дата обращения 10.06.2025)
9. Новикова Я.В. Возможности световых проекций в городской среде // Инновации в технике и технологиях: Сборник научных статей Политехнического института НГУ имени Ярослава Мудрого. – Великий Новгород, 2025. – С. 63–68.
10. Панкратов В.М. Особенности процесса создания трехмерного архитектурного видеомэппинга // КОГРАФ – 2020: сборник материалов 30-й Всероссийской научно-практической конференции по графическим информационным технологиям и системам, Нижний Новгород, 13–16 апреля 2020 года. – Нижний Новгород, 2020. – С. 84–88.
11. Худолеева Е.О., Карпенко В.Е. Современные светоцветовые формы в архитектурной среде (на примере Г. Владивосток) // Архитектура и дизайн: история, теория, инновации. – 2022. – № 6. – С. 247–252.

РЕКОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ СТАНЦИИ «ПЛАНЕРНАЯ» МОСКОВСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

*Илюхин А.Е., бакалавр; Фомин А.Г., к.т.н., доцент
Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва*

LIGHTING SYSTEM RENOVATION OF MOSCOW SUBWAY PLANERNAYA STATION

*Ilyukhin A. E., B.S.E.; Fomin A.G., Ph.D., Associate Professor
National Research University «Moscow Power Engineering Institute»,
Moscow*

Аннотация

Разработан проект модернизации освещения станции неглубокого заложения «Планерная» московского метрополитена, с использованием ряда современных тенденций и технологий. Было проведено обследование действующих осветительных установок и проанализированы требования к освещению станции. Предлагаемый вариант модернизации предусматривает цифровую систему управления для гармонизации световой среды в кассовых залах при одновременной экономии электроэнергии и увеличении срока службы световых приборов. Кроме этого, для декоративного оформления осветительных установок, была разработана конструкция металлического подвесного потолка, световая конструкция в форме планера и особый светильник для эскалаторов. Проведен сравнительный анализ действующего и разработанных вариантов как по светотехническим характеристикам, так и по энергопотреблению.

Abstract

A project has been developed to renovate the lighting of the shallow-level Planernaya station of the Moscow metro, using a number of modern trends and technologies. An inspection of the existing lighting installations was conducted and the requirements for the station lighting were analyzed. The proposed modernization option provides for a digital control system to harmonize the lighting environment in the ticket halls while simultaneously saving electricity and increasing the service life of the lighting devices. In addition, a metal suspended ceiling structure, a glider-shaped lighting structure, and a special escalator lamp were developed for the decorative design of the lighting installations. A comparative analysis of the existing and developed options was carried out both in terms of lighting characteristics and energy consumption.

Ключевые слова: Реконструкция освещения, освещение метрополитена, проект освещения, разработка светового прибора, совмещённое освещение

Keywords: *Lighting renovation, subway lighting, lighting design, lighting fixture development, mixed lighting*

Введение

Для метрополитенов городов бывшего СССР, помимо функциональной роли, также характерна ярко выраженная архитектура, создающая запоминающийся облик станций и являющаяся произведением искусства [1]. В последние годы особую актуальность приобретает модернизация систем освещения станций старой постройки. К основным проблемам существующих осветительных установок можно отнести моральное и физическое устаревание оборудования, завышенное энергопотребление и высокую потребность в текущем обслуживании. Кроме этого, на старых станциях, как правило, используются различные виды ртутьсодержащих ламп, попадающие под законодательные запреты на закупку.

Задача реновации осветительных систем станций метрополитенов заключается не только в применении современного светодиодного оборудования и строгом соблюдении норм освещения, но и в сохранении уникальных архитектурных образов, имеющих культурную и историческую ценность [2]. Настоящая работа посвящена проектированию осветительных установок станции московского метро «Планерная», которые учитывают недостатки действующего освещения на станции и обеспечивают комфортное пребывание пассажиров.

Методы исследования

В данной работе для оценки действующего освещения на каждом участке станции метро «Планерная» был проведён световой аудит. В результате проведённых измерений удалось выявить множество недостатков действующей системы освещения. К ним относятся: превышение E_z почти в 2 раза в платформенном и кассовых залах, значений объединённого показателя дискомфорта и неравномерности освещённости на эскалаторных зонах из-за неверного выбора светового оборудования и его расположения.

Была предложена концепция освещения, предполагающая использование светодиодных светильников с функцией диммирования, применение разработанных в программе *SOLIDWORKS* экранирующих

прямой свет светильников подвесных потолков типа «грильято» (рис. 1а), специально разработанного светильника для освещения эскалаторных зон (рис. 1б), а также функционально-декоративных световых конструкций для вестибюлей, смонтированных из серийно выпускаемых элементов (рис. 2).

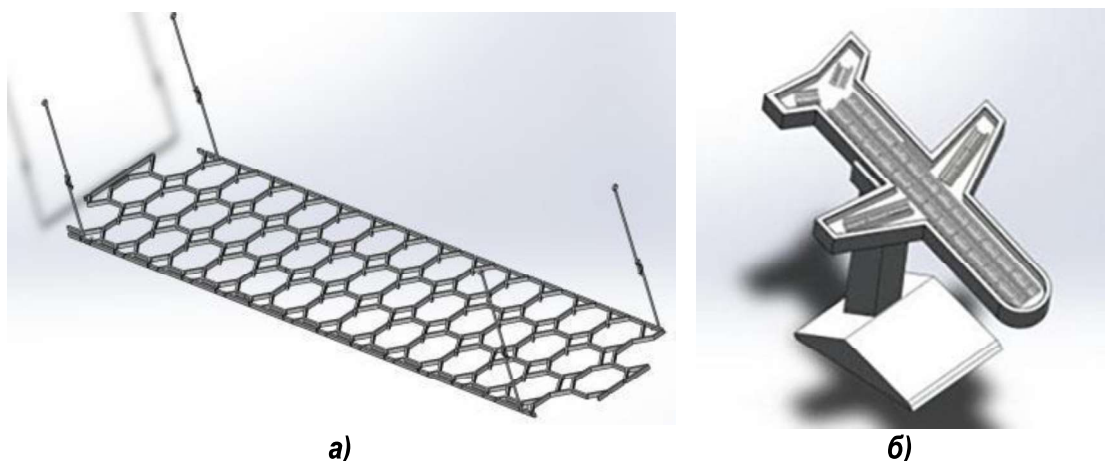


Рис. 1. Элемент декоративного подвесного потолка (а) и светильник для эскалаторов (б)

В ходе проведённых светотехнических расчетов для существующего и предлагаемого вариантов освещения было проверено соответствие количественных и качественных характеристик значениям, регламентируемым согласно СП 120.13330.2012 [3]. Соблюдение норм способствует созданию комфортной и безопасной световой среды на станции метро.

Для реализации световых сцен была выбрана отечественная система управления освещением *AWADA*, сертифицированная в нашей стране и поддерживающая интерфейсы управления *DALI* и *DALI 2*. Система обеспечивает работу осветительных установок во всех режимах, а также управление подсветкой названий станции на боковых стенах платформенного зала по сигналам путевой автоматики метрополитена. Благодаря этому при прибытии поезда на станцию подсветка названий поочерёдно выключается, а при его отходе вновь набирает полную яркость.

Общий вид платформенного зала станции показан на рис. 3.



Рис. 2. Подвесная функционально-декоративная световая конструкция в форме планера

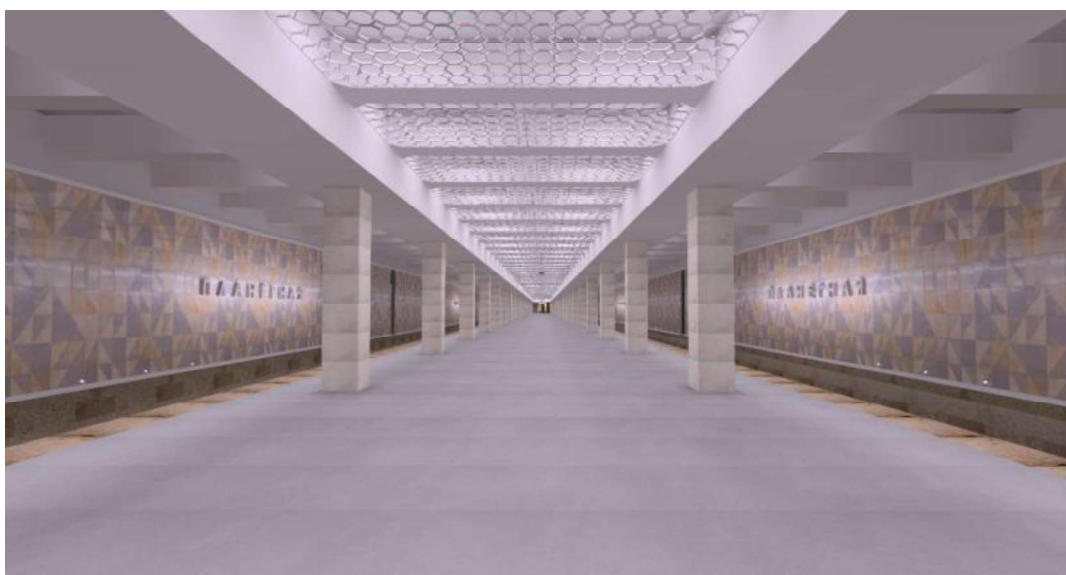


Рис. 3. Визуализация освещения в платформенном зале

Результаты

В работе был проведён сравнительный анализ основных светотехнических характеристик действующей системы освещения и предложенного варианта. Результаты приведены в табл. 1. Кроме значений E_z , для каждой зоны также оценивалась равномерность её распределения и показатель дискомфорта UGR .

Таблица 1. Сравнение вариантов освещения по освещённости в каждой зоне

Уровень горизонтальной освещённости E_g , лк	Норма согласно [1]	Вариант системы освещения	
		Действующая	Предложенная
Платформенный зал	200	313	225
Предэскалаторные зоны: Юг/Север	100	150/148	107/110
Эскалаторные зоны: Юг/Север	100	114/112	103/102
Южный вестибюль	200	342	220
Северный вестибюль	200	317	223

Помимо этого, нами было также проведено стоимостное сравнение ежегодного потребления электроэнергии для действующей и предложенной систем освещения за календарный год. При проведении расчётов учитывались особые тарифы для муниципальных абонентов сетей высокого напряжения ПАО «Мосэнергосбыт» [4], действующие на первое полугодие 2025 года. Результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2. Годовая стоимость электроэнергии для вариантов освещения

Вариант системы освещения	Стоимость, руб.
Действующий	1 119 591,42
Предлагаемый	241 166,56

Обсуждение

Разработанные осветительные установки не только обеспечивают основные нормируемые показатели освещения, но и обладают расширенной функциональностью за счёт реализации нескольких дополнительных режимов освещения. В их числе: снижение искусственной освещённости в кассовых залах при наличии достаточного естественного освещения; регулирование цветовой температуры светильников по календарному/суточному алгоритму; режим дежурного освещения, активируемый в часы «технологического окна» в графике движения поездов.

Хотя разработанный вариант с системой управления и является более дорогостоящим, он обладает рядом преимуществ, таких как значительно сниженное энергопотребление и количество единиц светового оборудования, а также позволяет реализовать разные режимы освещения, подчеркнуть архитектурные элементы станции и создать более благоприятные условия освещения с учётом циркадных ритмов сотрудников станции и пассажиров [5].

Выводы

В данной работе был предложен вариант модернизации освещения станции метро «Планерная», устраняющий все выявленные недостатки действующих осветительных установок. В соответствии с современными тенденциями и приёмам освещения были разработаны специальные конструкции подвесных потолков, световые фигуры для вестибюлей и светильники для эскалаторов, что позволило связать архитектурный облик станции с её историческим названием.

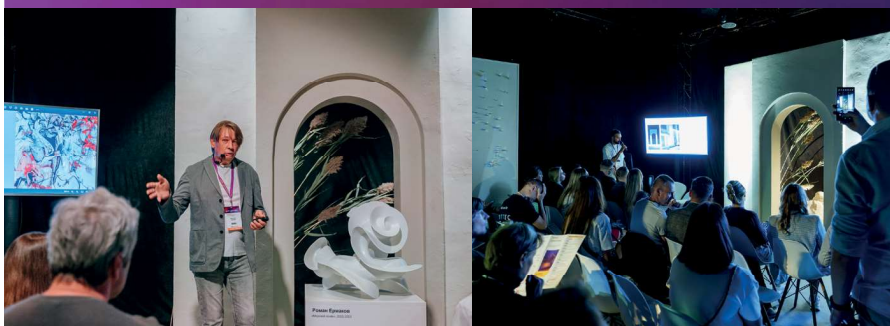
Применение системы управления освещением позволило создать комфортную световую среду в кассовых залах и учесть влияние естественного света в дневное время суток. Также были разработаны световые сценарии, обеспечивающие основной и дежурный режимы работы станции и подчеркнуть такие архитектурные элементы, как названия станции на путевых стенах. Разработанная система освещения полностью удовлетворяет действующим нормам [3] для станций метрополитена.

Список литературы

1. Конструкции станций метрополитенов. // metro.ru [сайт]. — URL: https://www.metro.ru/library/stroitelstvo_metropolitenov/541/ (дата обращения: 02.06.2025).
2. Шурыгина Н.В. Освещение новых станций московского метро / Н.В. Шурыгина // Светотехника. — 2015. — № 3. — С. 14–22.
3. СП 120.13330.2012. Свод правил. Метрополитены. Актуализированная редакция СНиП 32-02-2003. // minstroyrf.gov.ru [сайт]. — URL: <https://minstroyrf.gov.ru/upload/iblock/8b5/SP-120.pdf> (дата обращения: 02.06.2025).
4. ПАО «Мосэнергосбыт». Тарифы на электроэнергию для потребителей с максимальной мощностью энергопринимающих устройств до 670 кВт. // mosenergosbyt.ru [сайт]. — URL: <https://www.mosenergosbyt.ru/legals/tariffs-n-prices/less-670kW.php> (дата обращения: 04.06.2025).
5. Архангельский Д.В., Снетков В.Ю. Исследование влияния света на зрительную работоспособность и утомление человека с учетом его циркадных ритмов // Вестник московского энергетического института / Экология и охрана труда. — 2012. — № 6. — С. 219–224.

INTERLIGHT SMART CITY & HOME

Международная выставка освещения, автоматизации
зданий, электротехники и систем безопасности

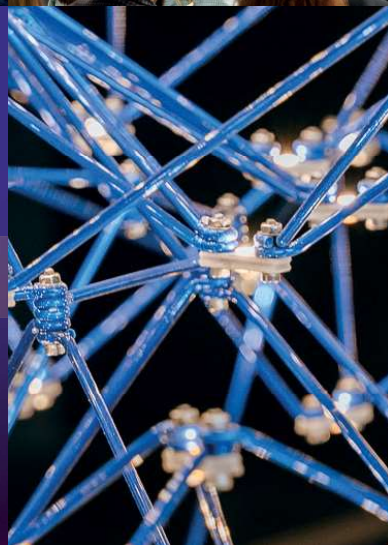


450+ компаний-экспонентов

24 000+ посетителей

Среди мероприятий деловой программы

- Конференции, лекции, панельные дискуссии с участием мировых экспертов
- Выступления представителей региональных и муниципальных властей
- Деловой завтрак с девелоперами
- Практические мастер-классы для архитекторов, дизайнеров, светодизайнеров, интеграторов и электромонтажников
- Тематические туры по выставке для девелоперов, архитекторов, дизайнеров и электромонтажников



Будьте в курсе событий

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

ИА ГЕФЕРА MEDIA

«На правах рекламы»



**ДОКЛАДЫ НА
АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ**

PAPERS IN ENGLISH

COMPARATIVE ANALYSIS OF LUMINAIRE BEAM CONFIGURATIONS FOR GLASS FACADE ILLUMINATION

*Kızılörenli E., Cilasun Kunduraci A., Department of Architecture;
Çetin Ç., Department of Interior Architecture and Environmental Design
Yaşar University, Türkiye*

Abstract

Excessive and misdirected electrical light at night (ALAN), including facade lighting, contributes significantly to light pollution and compromises visual comfort. This study investigates the influence of beam angle on light distribution, luminance, and uniformity of high-rise building facades. Significant variations in luminance distribution were observed when simulating wide, medium, and narrow beam configurations, despite compliance with EN 12464-2 standards. The findings of the study highlight the need to consider factors beyond luminance and illuminance, such as contrast and uniformity, in facade lighting design. This research contributes to developing easy to adapt lighting strategies that balance visual and architectural quality, energy, and environmental objectives while mitigating light pollution.

Keywords: light pollution, beam angle, facade illumination, simulation, high-rise building

Introduction

While electrical lighting offers significant advantages in terms of functionality and comfort, it also has certain severe drawbacks that negatively impact astronomical observations, the environment, and living organisms. Light pollution (LP) is the term used to describe problems that can occur during operation of electrical lighting due to excessive light output, improperly directed light, reflections from nearby surfaces, and flicker. The International Commission on Illumination (CIE) (2020) defined it simply as "the sum total of all adverse effects of electrical light" (Mander et al., 2023).

Cities contain a wide range of electrical light, including streetlights, traffic lights, advertising boards, media screens, light leak from residential and commercial buildings, decorative lights, landmark illumination and facade lighting. Collectively, these sources are referred to as electrical light at night (ALAN) in the literature and high intensity of ALAN is a major cause of light pollution. (Esposito & Radetsky, 2023; Ścieżor, 2021; Sung, 2022).

The extent of light pollution (LP) caused by ALAN is alarming; recent studies indicate that 99 % of the population in the USA and Europe live under polluted skies where the Milky Way is no longer visible. Although LP is not a recent problem, its rapid increase makes it one of the most quickly escalating alterations to the natural environment, with night sky brightness increasing at rates above 2 % per year and is predicted to double within 23 years (Jin et al., 2017). Urbanization is the primary cause of LP, which has impacts on economic system, ecosystem, and social systems. The usage of electrical lighting enabled human beings to extend daily activities to the night; however, this also brings intensities and wavelengths at the times when they do not occur naturally. This kind of shift also disrupts the entire ecological balance such as disorientation which is linked to the deaths of migrating birds and sea turtle hatchlings and also lead to biological changes, hampers the view of the dark sky, and disrupts astronomical observations (Kyuchukov, 2019). Besides, melatonin hormone secretion peaks between midnight and four in the morning, exposure to excessive lights at night suppresses this hormone's release. Inhibiting melatonin production causes circadian rhythm abnormalities, which may result in insomnia, obesity, cardiovascular disease, depression, and cancer (Sung, 2022; Tong et al., 2022).

Facade lighting is one of the components of ALAN and serves multiple purposes, including enhancing orientation, improving the aesthetic appeal of buildings, and contributing to safety. However, excessive facade lighting, both in terms of brightness and the number of light sources, exacerbates the growing problem of light pollution. Given that facade lighting is not the primary source for ensuring safety and orientation, more judicious and subdued lighting applications can significantly contribute to reducing light pollution.

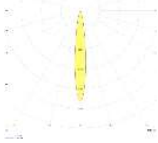
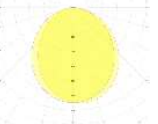
With the increasing awareness of light pollution, it has become well-established that the upward light ratio is a significant contributor to skyglow and overall light pollution. To mitigate this issue, the use of fully cut-off fixtures is recommended, not only in protected sites and rural areas (zones E1-E2), but also in urban centers and commercial districts (zone E4). Fortunately, these fixtures are now more readily available, facilitating their implementation across various settings. According to the EN 12464-2 standard, the luminance on facades should not exceed 25 cd/m², and illuminance levels should be limited to 25 lx (pre-curfew) and 5 lx (post-curfew) in E4 zones. These standards can be achieved through various light distribution patterns, which may affect uniformity and visual comfort. Poor lighting uniformity can lead to under- or over-illuminated areas, negatively

impacting the visual quality and functionality of the space. In facade lighting, for instance, this may result in inconsistent highlighting of architectural features. However, there is a lack of studies examining the impact of different beam angles on facade illumination concerning appearance and uniformity. This study investigates lighting solutions that adhere to these standards by utilizing different luminaire beam configurations to reduce light pollution and enhance uniformity in facade lighting for high-rise buildings.

Research method

Three different beam angle configurations — narrow (12°), symmetric medium (25°), and wide (60°) — were used to model the facade of a hypothetical 15-story high-rise building in this study using DIALux Evo 12.1. To ensure comparability across scenarios, luminaires were selected to achieve the closest possible match in light output, wattage, and dimensions, thereby minimizing the influence of any residual differences on the analysis. On each floor, six fully cut-off luminaires were placed 20 cm from the glass facade, evenly spaced six meters apart to direct light downward. The optical and photometric properties of the luminaires are detailed in Table 1.

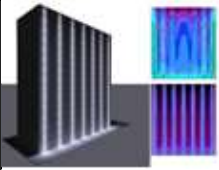
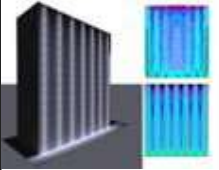
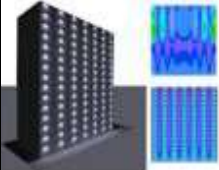
Table 1. Simulated luminaires and their technical specifications

Product Name	Lamp Type	Luminaire Image	Nominal Lamp Power, W	Total Flux, lm	Light Distribution	Mounting Mode
1-NOTTURNO 500 S/I 12° 20W 840 GR-11 DALI 3107538	LED		20	1619	Narrow 12° 	Wall Mounted
2-OMBRA 500 CL ELL 20W 840 GR-11 305836	LED		20	1064	Medium 25° 	Wall Mounted
3-QUASAR 60 M A7/EW 19W 840 AN-96 EM3H MAIN 3100846_MAIN	LED		19	1655	Wide 60° 	Wall Mounted

Results

All three simulated configurations achieved the recommended illuminance (25 lx) and luminance (5 cd/m²) values according to EN 12464-2 standards. However, the uniformity of both luminance and illuminance across the facade varied significantly. This variation is evident in the 3D views and false color renderings, with the top images representing illuminance and the bottom ones representing luminance, as well as in the numerical values provided in Table 2.

Table 2. Simulation results of the three options

Beam Type	Analysis Results	Ave. Illum. (lx)	Min & Max Illum. (lx)	Min/Ave. (lx)	Ave Lum. (cd/m ²)	Min & Max Lum. (cd/m ²)	Min/Ave. (cd/m ²)
Narrow		15.5	0.23 & 81.1	0.015	5.78	0.025 & 54.6	0.004
Medium		24.7	0.32 & 98.7	0.013	5.55	0.021 & 30.8	0.004
Wide		18.8	4.08 & 136	0.22	5.54	0.091 & 124	0.016

Discussion

Employing three distinct luminaires inevitably results in differences in distribution characteristics, spectral output, and overall visual perception. However, the imagery and numerical data reveal that light reflection on the facade differs significantly depending on the beam configuration. Narrow and medium beam angles tend to produce high contrast, which increases the potential risk of glare and compromises lighting uniformity. While the difference in illuminance uniformity between the wide beam and the narrow and medium beams is relatively modest (46 % and 69 %, respectively), the difference in luminance uniformity is significantly more pronounced, with the wide beam configuration producing four times more luminance uniformity.

When comparing efficiency, the narrow beam delivers the highest façade luminance per watt, making it the most effective option if the design goal is visual brightness. The medium beam provides higher average illuminance but lower luminance efficiency, suiting cases where uniform lighting is prioritized. On the other hand, the wide beam balances illuminance and luminance with better uniformity, but requires more power per lux or cd/m^2 compared to the narrow option. For applications where specific architectural features, such as linear elements, need to be highlighted, narrow beam luminaires may be preferred. However, it is crucial to consider that these significant differences in light distribution can result in reduced visual comfort and increased glare potential. The medium beam distribution achieves the highest illuminance levels without contributing to light pollution, despite having the lowest light output among the three alternatives. While the wide beam distribution achieves the highest uniformity, it may be insufficient to provide the emphasis required on the facade due to the reduced contrast.

Conclusions

Light pollution evaluation based solely on quantitative metrics such as luminance and illuminance fail to account for the complexities of lighting design. A more comprehensive approach is necessary, as the selection of beam angles in facade illumination has a significant influence on visual comfort, uniformity, and glare. This study employed simulations of a high-rise building to explore the impact of three distinct beam angle options while adhering to EN-12464 standards. The findings show that narrow beam angles effectively highlight architectural elements, but they may reduce visual comfort and exacerbate glare. Conversely, wide beam angles yield a more uniform illumination but may diminish visual interest. In order to provide adequate illumination while reducing discomfort and glare, medium beam angles offer a balanced compromise between these two extremes. Future research should investigate a broader spectrum of beam angles, consider the influence of diverse facade materials, and assess the long-term energy implications and maintenance requirements of various lighting configurations.

List of references

1. *International Commission on Illumination (CIE)*. 2020. Light Pollution.
2. *Esposito, T., & Radetsky, L. C.* Specifying Non-White Light Sources in Outdoor Applications to Reduce Light Pollution. LEUKOS - Journal of

- Illuminating Engineering Society of North America, 2023. 19, (3), pp. 269–293.
3. *International Dark-Sky Association*. 2022. Artificial Light at Night: State of the Science 2022.
 4. *Jin, X., Li, Y., Zhang, J., Zheng, J., & Liu, H.* An approach to evaluating light pollution in residential zones: A case study of Beijing. *Sustainability* (Switzerland), 2017. 9, (4), pp. 652.
 5. *Kyuchukov, T.* Light Pollution// Proc. of. Conf. "Borders of Lighting Design" at the Second Balkan Junior Conference on Lighting, 19-21 September 2019, Bulgaria, 2019.- p. 1-5.
 6. *Mander, S., Alam, F., Lovreglio, R., & Ooi, M.* How to measure light pollution—A systematic review of methods and applications. 2023. *Sustainable Cities and Society*, p. 92.
 7. *Ścieżor, T.* Effect of street lighting on the urban and rural night-time radiance and the brightness of the night sky. 2021. *Remote Sensing*, 13(9).
 8. *Sung, C. Y.* (2022). Examining the effects of vertical outdoor built environment characteristics on indoor light pollution. 2022. *Building and Environment*, 210.
 9. *Tong, J. C. K., Lau, E. S. L., Hui, M. C. Y., Kwong, E., White, M. E., & Lau, A. P. S.* Light pollution spatial impact assessment in Hong Kong: Measurement and numerical modelling on commercial lights at street level. 2022. *Science of the Total Environment*, 837.

FRAMEWORK FOR GREEN LIGHTING IN TUNNEL: BALANCING ENERGY PERFORMANCE WITH ECOLOGICAL REQUIREMENTS

Xu L.K., Ph.D., student;

*Shen Y., Ph.D.; Feng S.Z., Ph.D., professor; Zhu H.H., Ph.D., professor
College of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai, China*

Abstract

With the popularization of ecological concepts in urban development, roadside greening has become an important measure to alleviate visual fatigue, improve environmental quality and enhance a city's image. However, there has been little research on implementing greenery inside road tunnels. The primary difference between tunnel interiors and outdoor roads lies in lighting conditions. Tunnel light is significantly lower than outdoors, but continuous lighting throughout the day still leads to high energy consumption. Balancing energy efficiency with the lighting needs of greenery is thus a critical challenge in creating ecological tunnels. Additionally, the lighting design in tunnels is based on human-centric illuminance (or luminance) standards, which differ from the lighting evaluation criteria required for plant growth. This study evaluates the efficiency of several tunnel LEDs with different correlated color temperatures (CCT), for horticulture lighting applications. Taking Shenzhen-Zhongshan Tunnel in Guangdong Province as a case study, we analyze the light conditions that influence plant viability in different tunnel sections, and recommend suitable plant species accordingly. The potential benefits of implementing tunnel interior greening as part of the multidimensional tunnel lighting environment are also examined.

Keywords: tunnel lighting, tunnel interior greening, horticulture lighting, ecological tunnel, lighting efficiency

Introduction

Tunnels play a significant role in alleviating traffic congestion and shortening transportation distances, which leads to a rapid expansion of road tunnel in China. By the end of 2024, there are 28724 road tunnels in China, with a total length of 32597 kilometers.

By relieving visual fatigue, purifying the air, and dampening noise, roadside greening generates outstanding ecological value. However, existing studies on the tunnel interior landscape design mainly focus on painting and colored lighting [1], and there is no research or practice on greening yet. The

primary difference between tunnel interiors and outdoor roads lies in lighting conditions. Tunnel light is significantly lower than outdoors, especially in interior zone where it falls even below typical indoor environments like offices and shopping malls. Although improving tunnel lighting can create better conditions for plant survival, the continuous lighting of existing tunnels throughout the day has already imposed a high energy consumption burden, accounting for more than 50 % of the tunnel operation energy consumption [2].

Therefore, balancing energy efficiency with the lighting needs of greenery is a critical challenge in creating ecological tunnels. Additionally, the lighting design in tunnels is based on human-centric illuminance (or luminance) standards, which differ from the lighting evaluation criteria required for plant growth.

This study aims to accurately quantify the plant lighting conditions of the existing tunnels in order to scientifically select suitable plants. We also analyzed the horticulture lighting efficiency of different tunnel LEDs.

Research method

1. Basic theories and evaluation indicators

The primary objective of road tunnel lighting is to ensure driving safety. JTG/T D70/2-01-2014 [3] has set requirements for the tunnel illuminance. These indicators are from a human perspective and are used to describe human visual perception. The equation for illuminance (E , unit: lx) is as follows:

$$E = \int_{400}^{780} P(\lambda) V(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

Where, λ : Wavelength (nm); $P(\lambda)$: Spectral irradiance ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{nm})$); $V(\lambda)$: Photopic vision optical efficiency (lm/W).

For the photosynthesis of plants, photosynthetic photon flux density ($PPFD$, unit: $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$) within the 400–700 nm is more relevant than irradiance or illuminance. In other words, plants care more about the number of photons. The formula for calculating $PPFD$ is as follows:

$$PPFD = \frac{10^{-3}}{N_A} \int_{400}^{700} P(\lambda) \frac{\lambda}{hc} d\lambda \quad (2)$$

Where, N_A : Avogadro constant, $6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$; h : Planck constant, $6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$; c : speed of light, $2.998 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

This study defines a conversion factor ($Factor$, unit: $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{lx})$) from illuminance to $PPFD$ as follows, to evaluate the efficiency of tunnel lighting with the same illuminance when used for plant lighting:

$$Factor = PPFD / E \quad (3)$$

Plants have different absorption capabilities for photons of different wavelengths. GB/T44941-2024 [4] further classifies 400–700 nm range into blue radiation (400nm–500nm), green radiation (500nm–600nm), and red radiation (600nm–700nm). The ratio of *PPFD* within the three radiation ranges is also an important parameter for horticulture lighting.

2. Case Tunnel and LED Spectrum

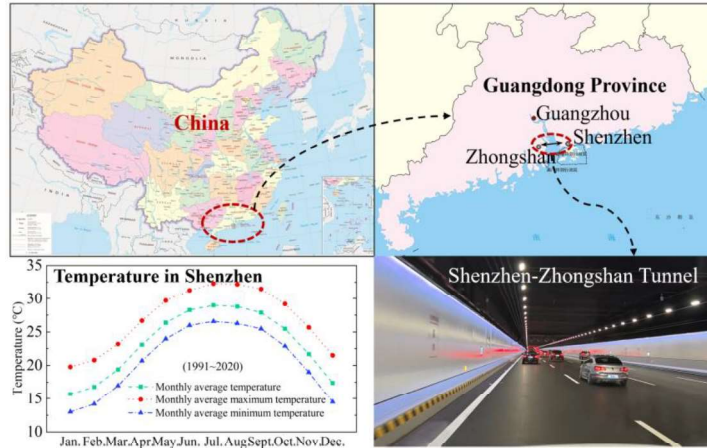


Fig. 1. Location, temperature and light conditions of the Shenzhen-Zhongshan Tunnel

As shown in Fig. 1, the Shenzhen-Zhongshan Tunnel is located in Guangdong Province and has a total length of 6,845 meters. The lengths and illuminance design value for each zone are given in Table 1.

Table 1. Lighting conditions of the Shenzhen–Zhongshan Tunnel

Tunnel section		Th1	Th2	Tr1	Tr2	In	Ex1	Ex2
Length/m		84	84	108	120	6389	30	30
Sidewall illuminance/lx	Day	1550	770	232	77	34.1	102	171
	Night	34.1						

As shown in the Fig. 2, LED sources with three correlated color temperatures (CCT) are selected to evaluate their effectiveness for horticulture lighting in this study.

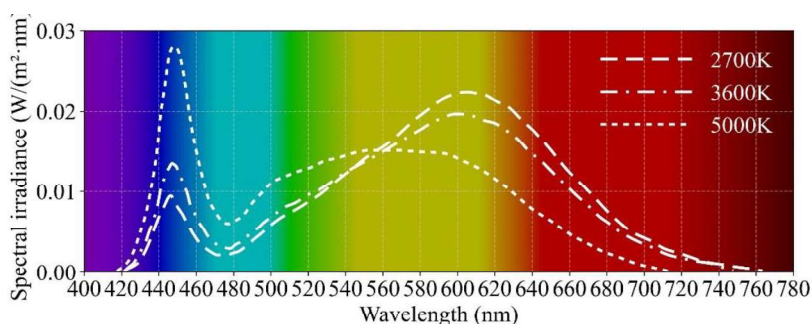


Fig. 2. Tunnel LED spectrum

Results

Efficiency analysis result for horticulture lighting is presented in the Fig. 3. The conversion factor for the 2700, 3600, and 5000 K LEDs are 0.01442, 0.01436, and 0.01393 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s}\cdot\text{lx})$, respectively. This indicates that, at the same tunnel illuminance, the *PPFD* of 2700 K is 3.5 % higher than that of 5000 K. Moreover, the green radiation proportion of the 5000 K LED is the highest, which is the least efficiently utilized by most plants for photosynthesis. Consequently, the 2700 K tunnel LED offers the highest horticulture lighting efficiency, while the 5000 K LED offers the lowest. It should be noted that LEDs of identical CCT can still differ in spectral distribution, so the *PPFD* may vary accordingly.

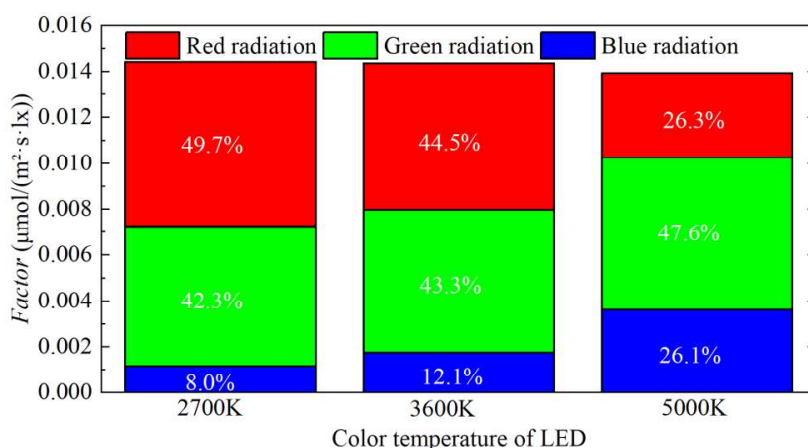


Fig. 3. The conversion factor for horticulture lighting and radiation proportion of LED with different CCTs

Taking the 3600 K LED as an example, the *PPFD* on the sidewalls of each section in Shenzhen-Zhongshan Tunnel is shown in Fig. 4. In daylight, the lighting conditions vary greatly among different tunnel sections. The *PPFD* on sidewalls in all sections at night is 0.49 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$.

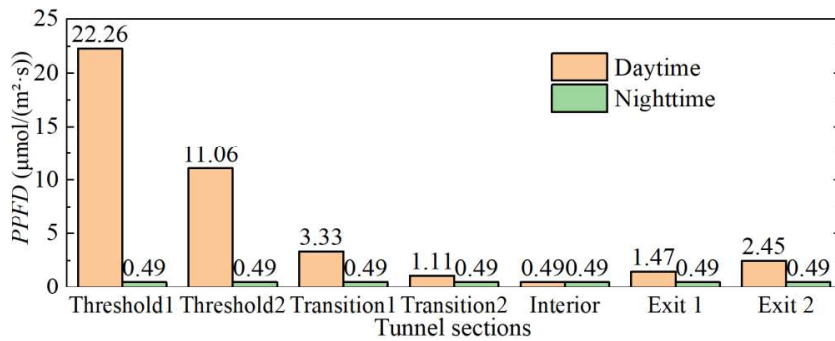


Fig. 4. The *PPFD* on the sidewalls in Shenzhen-Zhongshan Tunnel

Discussion

We identified some shade-tolerant ground covers that might be suitable for planting in road tunnels through a literature review, as shown in **Table 2**. For 24-hour continuous lighting, *PPFD* should be greater than the light compensation point (*LCP*) of the plant. While for half-day lighting, the light intensity should be 20 % higher than the *LCP* [5].

Table 2. Recommended ground covers for planting in tunnels

Category	Species	LCP $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$	Recommended PPFD $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$		Sources
			$\times 24 \text{ h}$	$\times 12 \text{ h}$	
Angiospermae	<i>Chlorophytum comosum</i>	10	>10	>12	[5]
	<i>Epipremnum aureum</i>	10	>10	>12	
	<i>Heuchera americana</i>	5.0	>5.0	>6.0	
Pteridophyta	<i>Neottopteris nidus</i>	3.9	>3.9	>4.7	[6]
	<i>Microsorium punctatum</i>	6.4	>6.4	>7.7	
	<i>Asplenium finlaysonianum</i>	2.8	>2.8	>3.4	
	<i>Paraleptochilus decurrens</i>	1.7	>1.7	>2.1	
Bryophytes	<i>Homaliodendron flabellatum</i>	3.6	>3.6	>4.3	[7]
	<i>Plagiochila arbuscula</i>	4.2	>4.2	>5.1	
	<i>Schistostega pennata</i>	No data available			[8]

All the plants listed in Table 2 can be planted in threshold 1 zone, but the light conditions in threshold 2 zone can no longer support the growth of *C. comosum* and *E. aureum*. Among the plants with accurate *LCP* data in Table 2, only *P. decurrens* can grow in transition 1 zone and exit 2 zone, but it cannot survive in other sections with lower light. Fortunately, botanists have discovered *Sch. Pennata* [8], an endangered plant that grows in the dark and humid cave. Although there are no research data on the *LCP* of this plant at

present, the light in its habitat is far lower than those of common bryophytes, and it may be suitable for growth in the interior zone of tunnels.

Greening in tunnels can improve air quality and form carbon sinks. The green light that the human eye is most sensitive to happens to be the least utilized by plants, hence both humans and plants can selectively utilize what they need. The tunnel sidewalls, as an important part of the multi-dimensional tunnel lighting environment, can relieve driving fatigue and enhance visual comfort with appropriate greening. In addition, if the planting of plants such as *Sch. pennata* can be promoted in tunnels with stable environments, it can also play an important role in protecting endangered species.

Conclusions

This study proposed a framework for quantifying the lighting conditions and the luminaire efficiency for plant growth inside tunnels, and conducted a case analysis in the Shenzhen-Zhongshan Tunnel. The results show that a higher CCT of LED may reduce the lighting efficiency of plants. Under the current lighting conditions, various plants can be planted in the threshold zone, and *P. decurrens* can survive in transition 1 zone and exit 2 zone. *Sch. Pennata* has the potential to survive in other darker tunnel sections.

List of references

1. Qin P., Wang M., Chen Z., Yan G., Yan T., Han C., Bao Y., Wang X. Characteristics of driver fatigue and fatigue-relieving effect of special light belt in extra-long highway tunnel: A real-road driving study, Tunneling and Underground Space Technology 114 (2021) 103990.
2. Xu L., Zhu H., Shen Y., Ling J., Feng S. Lighting environment design evaluation with digital workflow: A life cycle framework for integrating carbon and cost reduction strategies in tunnels, Tunnelling and Underground Space Technology 157 (2025) 106363.
3. Guidelines for design of lighting of highway tunnels (JTG/T D70/2-01-2014), 2014.
4. Terminology for horticulture lighting (GB/T44941—2024), 2024.
5. Francini A., Toscano S., Ferrante A., Romano D. Method for selecting ornamental species for different shading intensity in urban green spaces, Frontiers in Plant Science 14 (2023).

6. Zhang Q., Chen J.-W., Li B.-G., Cao K.-F. Epiphytes and hemiepiphytes have slower photosynthetic response to lightflecks than terrestrial plants: evidence from ferns and figs, *Journal of Tropical Ecology* 25 (2009) 465–472.
7. Song L., Zhang Y.-J., Chen X., Li S., Lu H.-Z., Wu C.-S., Tan Z.-H., Liu W.-Y., Shi X.-M. Water relations and gas exchange of fan bryophytes and their adaptations to microhabitats in an Asian subtropical montane cloud forest, *Journal of Plant Research* 128 (2015) 573–584.
8. Robla J., González-García V., Santamarina S., Artazkoz M., Unravelling the ecological drivers of *Schistostega pennata* (Hedw.) F.Weber & D.Mohr on the Iberian Peninsula: distribution and conservation, *Journal of Bryology* 45 (2023) 192–207.

AN INTEGRATED OPTIMIZATION MODEL USING MACHINE LEARNING FOR DAYLIGHTING, THERMAL COMFORT, AND ENERGY EFFICIENCY IN HISTORIC TOWNHOUSES

Sönmez N.^{1,2} Joint Ph.D. Student, Cilasun Kunduraci A.¹ Ph.D., Assoc. Prof.

Ugurlu C.³ Ph.D., Assist. Prof.; Erkan Y.² Ph.D., Prof.

¹ Department of Architecture, Yaşar University, Izmir, Turkey;

² Antwerp Cultural Heritage Sciences (ARCHES), Faculty of Design Sciences, University of Antwerp, Belgium;

³ Department of Interior Architecture and Environmental Design, Faculty of Architecture, Yaşar University, Izmir, Turkey

Abstract

Historic buildings pose challenges for daylighting improvements due to preservation constraints, however, improving their performance is essential for climate goals. This study seeks to improve daylighting performance, thermal comfort, and energy efficiency in historic buildings while maintaining their historic value through various design strategies, including glass upgrades, shading elements, and light tube integration, using a multi-objective optimization model. To analyze the performance of the model, two case studies from distinct climates, Mediterranean and Temperate Oceanic, were evaluated through Grasshopper plug-ins, Ladybug and Honeybee, and optimized via Octopus plug-in. A machine learning tool, Dodo plug-in was integrated to speed up the evaluation process and estimate simulation results while exploring a larger number of design alternatives. The optimization results reveal that daylighting strategies improved UDI up to 83.6 % and reduced ASE to 0 %, while energy use decreased by up to 8.81 % with shading and light tubes proving most effective in warm climates and roof windows in colder ones. The study confirms that performance-based design can enhance environmental efficiency without compromising buildings' historic values.

Keywords: historic buildings, daylighting, thermal comfort, energy, optimization, machine learning

Introduction

Daylighting, thermal comfort and energy efficiency are increasingly prioritized goals in the construction of modern buildings; however, many historic buildings still fail to meet contemporary standards for energy efficiency and occupant comfort. Constraints, including legal regulations and

the necessity to preserve the historic value of these buildings, often give rise to these challenges [1], [2]. Nearly 40 % of the building stock of Europe was built before 1960, and around 40 % of total primary energy consumption comes from European building stock [3], so that buildings of historical value contribute to a dominant proportion of today's energy usage. However, their cultural significance makes them ineligible for easy demolition and reconstruction. Improving the energy efficiency and comfort of these buildings serves two primary purposes: it supports climate-neutrality goals promoted by initiatives such as the European Green Deal and the New European Bauhaus [3], as well as national regulations. Additionally, it ensures their long-term use, which is essential for preserving their historic value. Among various available strategies, the effective use of daylighting stands out as a particularly successful approach for such renovations [4], with the potential to reduce overall energy use by 50–80 % [5], and improve visual and thermal comfort [6]. Recent studies address aspects like energy retrofitting or daylighting in historic buildings, however, comprehensive approaches integrating multiple performance goals under different climates remain limited. This study investigates performance-based design interventions and aims to fill the gap in literature using a model based on Multi-Objective Evolutionary Algorithm (MOEA) to optimize daylight, thermal comfort, and energy use in historic buildings.

Research Method

To achieve the study's goals, an optimization-based evaluation was conducted to assess how façade and roof design variables influence daylight availability, comfort levels, and energy use in (unlisted) historic townhouses. By using Rhinoceros, 3D models were created, and the simulations were conducted using Grasshopper (GH) with its Ladybug and Honeybee plug-ins for daylight, thermal and energy performance. Two representative cases from distinct climatic regions were analyzed to assess variations in design parameter selection and ranges: Townhouse 1 (T1) in Balıkesir, Turkey, characterized by a Mediterranean climate with high solar availability, and Townhouse 2 (T2) in Antwerp, Belgium, featuring a temperate oceanic climate with comparatively lower solar exposure. Fig. 1 displays case study façades, zone models, and floor plans. Simulations used actual material properties, with occupancy set at two people per room (8 pm–6 am) and lighting schedules of 8 pm–12 am (4 hours daily), applied every day including weekends. 3 watts per square meter is defined for artificial lighting of each room, assuming that LED lighting is provided, since no lighting information

was available in the restoration drawings. Defined glass has 77 % Visible Transmittance (VT), 60 % Solar Heat Gain Coefficient (SHGC), and 2 W/m²K (U-Value). Calculation surfaces are positioned 80 cm above the floor and 50 cm from the edges. The weather data for the locations is chosen from the Ladybug EPW Map.

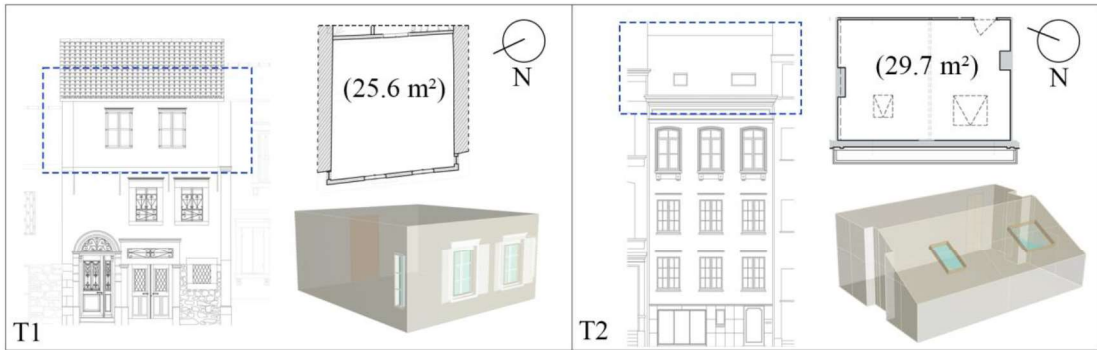


Fig.1. Evaluated Rooms. Balikesir, Turkey-T1 (left), Antwerp, Belgium-T2 (right)

These simulations evaluated key performance metrics such as Useful Daylight Illuminance (UDI) and Annual Sunlight Exposure (ASE), Thermal Comfort Percent (TCP), and energy consumption (kWh/m²). According to the standards, UDI should be at least 50 % [7], while ASE should not exceed 10 % [8]. The objective of this study is to increase UDI and TCP levels while decreasing ASE levels and energy consumption. Fig.2 shows the constructed model for daylight, thermal comfort and energy consumption (for heating-cooling-lighting), including the design parameters with ranges.

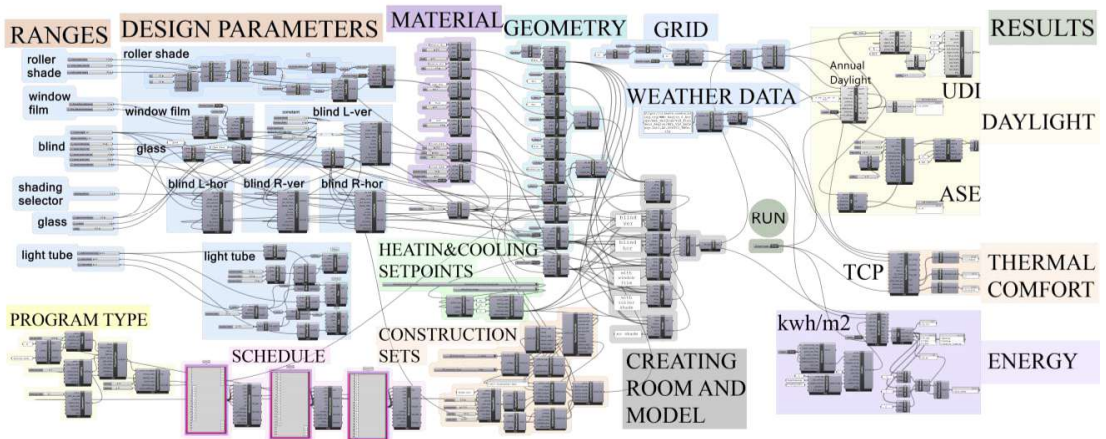


Fig. 2. Construction of the Models and Design Parameters

The design parameters defined for optimization are detailed in Table 1. Three different shading elements (window film, blind, and roller shade) are evaluated by defining a shading selector, including non-shade option. The light tube is included only in the Turkish case T1, as daylight from windows cannot penetrate deeper areas in T1. In contrast, the Belgian case T2 already features roof windows.

Table 1. Design Parameters for the Optimization Models

Parameters	Ranges	Visuals
Glass	VT: 40-90 % (inc.: 5 %); SHGC: 20-70 % (inc.: 5 %); U-value: 0.5-2 W/m ² K (inc: 0.5)	
Window film	VT: 20-60 % (inc.:10 %); R: 10-30 % (inc.: 10 %)	
Blind	Length: 25 %-100 % (inc. 25 %) Orientation: vertical or horizontal; Angle: 0-90° (inc.: 30°); R: 40-90 % (inc.: 10 %)	
Roller shade	Length: 25-100 % (inc.: 25 %); VT: 20-60 % (inc.: 10 %); R: 10-30 % (inc.: 10 %)	
Light tube	Diameter: 250-350 mm (inc: 50 mm); Collector & Diffuser VT: 80-90 % (inc.: 5 %) Tube/pipe Reflectance: 80-100 % (inc. 5 %);	

Inc: Increment; *R:* Reflectance; *SHGC:* Solar Heat Gain Coefficient; *VT:* Visible Transmittance

To speed up the evaluation process and estimate simulation results while exploring a larger number of design alternatives, a surrogate model with one of the Machine Learning (ML) methods, namely *Supervised Training* [9], was integrated (Fig. 3). After obtaining existing results, design parameters were included in the model, and then 1000 data samples were collected through the Latin Hypercube sampling method. The Machine Learning tool, *Dodo plug-in of GH*, was trained with the obtained samples. After all, the *Octopus* plug-in was used for the optimization process with 100 generation number (Fig. 4) using the trained values.

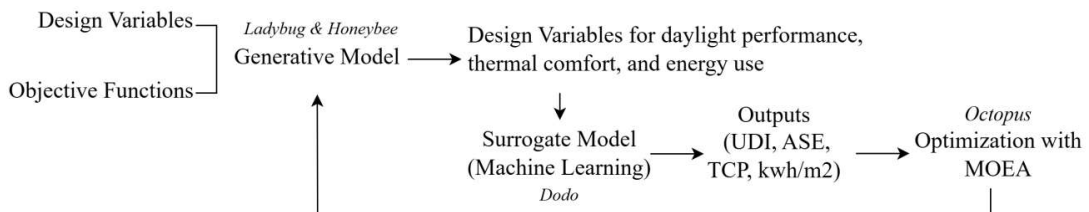


Fig. 3. Overview of Machine Learning and Optimization Process

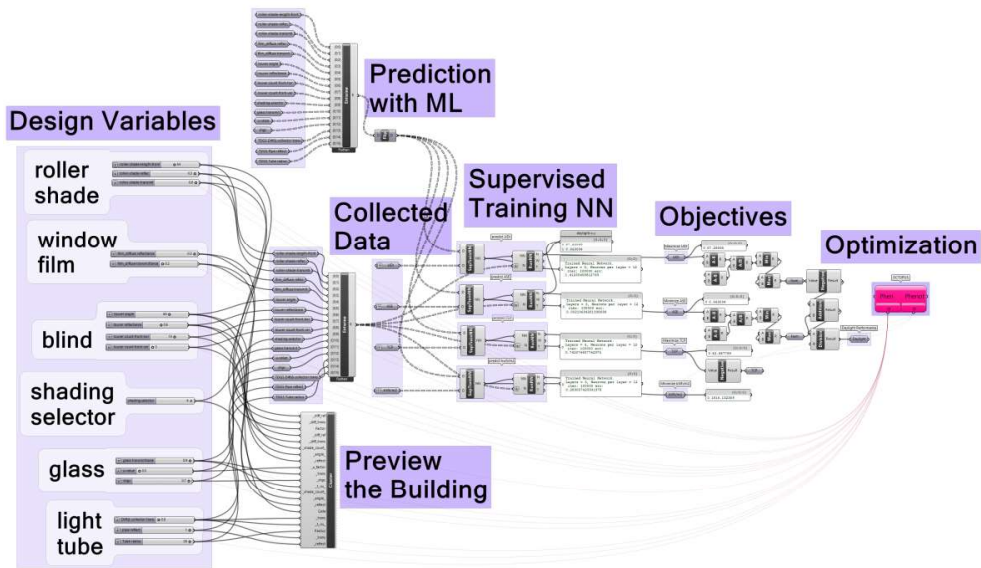
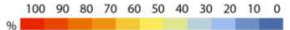
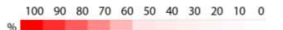


Fig. 4. Construction of ML and Optimization Process

Results

Table 2 presents the selected optimal results for both case buildings, derived from the Pareto Front graphs generated in Octopus. The base models, which lacked both shading elements and light tubes, served as the reference for comparison. For the Turkish townhouse, the integration of the widest light tube (280 mm) significantly increased UDI levels compared to the base model and other design alternatives, without elevating the ASE levels. The addition of shading elements further reduced ASE to 0 in all scenarios. Notably, the configuration combining the narrower light tube (120 mm) with a roller shade resulted in the lowest energy consumption (1816 kWh/m²). While the lowest U-value (0.5 W/m²K), and the highest SHGC (70 %) remained consistent across all alternatives, the lowest VT (40 %), when combined with a window film, resulted in an increased TCP value (44 %). In the Belgian townhouse, optimal results were achieved through horizontal blinds with varying lengths, reflectance values, and VT levels. A 0° slat angle combined with the longest blind length led to the highest TCP alongside the lowest ASE. Moreover, configurations blending different angles and lengths (as seen in the first and third alternatives) minimized energy consumption, while a 90° angle provided the highest UDI levels.

Table 2. Optimal Results for Daylighting, Thermal Comfort and Energy Use

T	Design Parameters		Results			
			UDI (%)	ASE (%)	TCP (%)	kWh/m ²
T1 - TR	Base Model	Glass VT: 77 %, U-value: 2, SHGC: 60 %, no shading, no light tube	 37.83	 1.19	42.57	1961
	1	Roller shade Length: 25 %, R: 10 %, VT: 60 %; Glass VT: 90 %, U-value:0.5, SHGC: 70 %, Light Tube Rad: 280 mm, VT: 90 %, R: 95 %	 69.48	 0	43.73	1827
	2	Window film R: 20 %, VT: 50 %, Glass VT: 40 %, U-value:0.5, SHGC: 70 %, Light Tube Rad: 200 mm, VT: 90 %, R: 85 %	 11.11	 0	44	1825
	3	Roller shade Length: 25 %, R: 30 %, VT: 60 %; Glass VT: 90 %, U-value:0.5, SHGC: 70 %, Light Tube Rad: 120 mm, VT: 90 %, R: 95 %	 43.94	 0	43.79	1816
T2 - BE	Base Model	Glass VT: 77 %, U-value: 2, SHGC: 60 %, no shading, no light tube	 49.79	 8.49	15.73	2813
	1	Blind horizontal, Length: 25 % (left window) 75 % (right), Angle: 90° R:40 %, Glass VT: 90 %, U-value:0.5, SHGC: 70 %	 42.25	 4.09	16.64	2567
	2	Blind horizontal, Length: 50 % (left window) 100 % (right), Angle: 0° R:90 %, Glass VT: 85 %, U-value:0.5, SHGC: 70 %	 14.29	 0	16.79	2593
	3	Blind horizontal, Length: 50 % (left window) 50 % (right), Angle: 30° R:40 %, Glass VT: 90 %, U-value:0.5, SHGC: 70 %	 39.28	 3.73	16.47	2565
Legend			 			

Discussion

The studied historic townhouses, while not subject to conservation regulations due to their unlisted status, were designed with a strong emphasis on protecting their historical integrity alongside improving daylighting, thermal comfort, and energy efficiency. Daylighting strategies improved UDI up to 83.6 % (T1) and reduced ASE to 0 %. The use of shading elements in T2 kept UDI below 50 %, however achieved a 51.82 % reduction in ASE (T2). TCP improvements were recorded in both cases, up to 3.35 % (T1) and 4.83 % (T2), while energy use decreased by up to 7.39 % (T1) and 8.81 % (T2). These results support previous findings in the literature and

confirm that increased daylight availability contributes to improved thermal comfort and energy efficiency [4], [5], [6].

Conclusion

This study demonstrates that strategically combining various shading elements and integrating light tubes can significantly improve daylight performance and thermal comfort while reducing energy use in historic buildings, even with minimal architectural intervention. The evaluation of townhouses from different climates reveals that their original designs inherently respond to local weather conditions, underscoring the need for annual daylight assessments to optimize passive daylighting strategies. Daylighting strategies directly impact thermal comfort and energy consumption, suggesting that shading, light tubes, and the avoidance of (or minimized) roof openings are more effective in warm climates, whereas roof windows may better suit colder regions. This study contributes to the literature by evaluating daylighting improvement strategies in historic buildings and their integrated effects on thermal comfort and energy efficiency, although its generalizability is constrained by the analysis of two case studies. Future research should expand to encompass a wider variety of climates and building types.

Acknowledgements

This research was funded by the Scientific and Technological Research Council of Türkiye (TÜBİTAK) through the 2214-A International Research Fellowship Programme for PhD Students, which was granted to the main author (1059B142301161). The authors would like to express their sincere gratitude for this support.

List of References

1. *ICOMOS*. The Venice Charter-International charter for the conservation and restoration of monuments and sites, 1964.
2. *ICOMOS*. ICOMOS Charter - Principles for the analysis, conservation and structural restoration of architectural heritage, 2003.
3. *European Commission*. Communication from the commission to the European Parliament, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions, 2020.
4. *Troi A., Bastian Z., Eds.* Energy efficiency solutions for historic buildings. A handbook, Berlin, München, Boston: Birkhäuser, 2015. doi:10.1515/9783038216506

5. *Bodart M., A. De Herde A.* Global energy savings in offices buildings by the use of daylighting, vol. 34, no. 5, pp. 421–429, 2002, doi:10.1016/S0378-7788(01)00117-7.
6. *Bakmohammadi P., Noorzai E.* Optimization of the design of the primary school classrooms in terms of energy and daylight performance considering occupants' thermal and visual comfort, *Energy Reports*, vol. 6, pp. 1590–1607, 2020, doi: 10.1016/J.EGYR.2020.06.008.
7. *Brzezicki M.* An evaluation of useful daylight illuminance in an office room with a light shelf and translucent ceiling at 51° n, *Buildings*, vol. 11, no. 11, 2021, doi: 10.3390/buildings11110494.
8. *Lo Verso V. R., Fregonara E., Caffaro F., Morisano C., Peiretti M. G.* Daylighting as the driving force of the design process: From the results of a survey to the implementation into an advanced daylighting project,” *Journal of Daylighting*, vol. 1, no. 1, pp. 36–55, 2014, doi: 10.15627/jd.2014.5.
9. *Nasteski V.* An overview of the supervised machine learning methods, *HORIZONS.B*, vol. 4, pp. 51–62, 2017, doi: 10.20544/horizons.b.04.1.17.p05.

SPECTRAL REFLECTION FACTORS OF PAINTINGS

Fenik M.A., student; Rybina V.A., Ph.D., associate professor;

Grigoryev A.A, D.Sc., professor

National Research University "MPEI", Moscow

Abstract

Recent investigations into museum lighting have primarily focused on the parameters of light sources, while the artwork itself remains underexplored. This study introduces a method for determining the spectral reflection factors of paintings utilizing the LMK5 luminance meter and interference filters. Six paintings from diverse artistic styles were analyzed in the wavelength range of 450–690 nm. The study yielded both average and spatial reflection characteristics, and software was developed for automated data analysis. The potential fields of application for the obtained results have been established.

Keywords: museum lighting, spectral reflection factor, luminance meter, interference filters, artworks

Introduction

Recent research in museum lighting analyzes lighting parameters: contrast between exhibits and surrounding space, correlated colour temperature (CCT) of light sources, colour rendering index, and other characteristics. However, artworks are designated merely as "Painting 1" or "Landscape" without analysis of their spectral reflection characteristics [1, 2, 3, 4].

Studies show that viewers prefer CCT in the range of 4600–5100 K for viewing paintings, with cultural differences affecting preferences: Portuguese participants choose ~5000 K, Japanese participants ~7000 K [2, 3]. However, all these studies do not consider objective parameters of the artworks themselves.

Modern spectral methods allow for precise determination of the pigment composition in paintings and have been successfully applied to major works of art [5]. However, these methods fail to take into account the unique spatial distribution of pigments on the painting surface.

Research objective – to develop a methodology for determining effective spectral reflection factors of paintings.

Research methods

The effective reflection factor of an arbitrary pixel in a painting in the photometric system is determined by the formula:

$$\rho_v(\lambda_i) = L_v(\lambda_i) \times \rho_r(\lambda_i) / L_{vr}(\lambda_i), \quad (1)$$

where $L_v(\lambda_i)$ – luminance of the painting pixel measured by the luminance meter; $L_{vr}(\lambda_i)$ – measured luminance of the reference under identical illumination conditions.

$$\rho_r(\lambda_i) = \frac{\int_{\Delta\lambda_i} L_{e\lambda o}^s(\lambda) \rho_r(\lambda) \tau_i(\lambda) V(\lambda) d\lambda}{\int_{\Delta\lambda_i} L_{e\lambda o}^s(\lambda) \tau_i(\lambda) V(\lambda) d\lambda} - \text{effective reflectance factor of the}$$

reference sample within the bandwidth $\Delta\lambda_i$;

$L_{e\lambda o}^s(\lambda)$ – relative spectral radiance of the illumination source;

$\rho_r(\lambda)$ – spectral reflectance factor of reference;

$\tau_i(\lambda)$ – spectral transmittance factor of interference filter defining $\Delta\lambda_i$.

The experimental setup consists of the following elements:

1. LMK5 luminance camera – luminance measurement range 100–10,000 cd/m², error limits ± 4 %, resolution 2448x2050 pixels;
2. Set of interference filters – 19 filters in the 450–690 nm range with half-width of transmission band 8–15 nm, maximum transmission 70–91 %;
3. Museum LED luminaire – power 20 W, CCT 4000 K, with framing capability;
4. Reference standard reflector – an element of an integrating sphere coated with BaSO₄ (barium sulfate), exhibiting a reflectance factor of 0.84.

All elements were mounted on a bench and aligned, and measurements were taken in sequence: first the reference, then the object (Fig. 1).

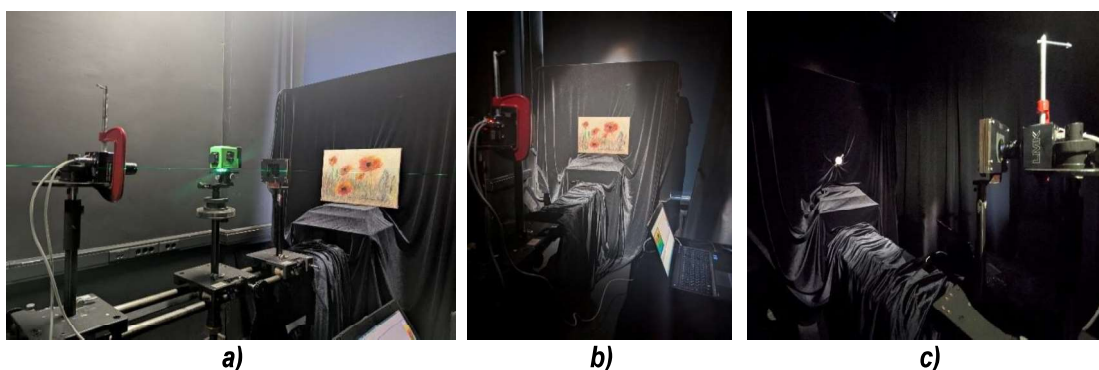


Fig. 1. Painting measurement process: alignment of all elements (a), painting measurement (b), reference measurement (c)

Research Objects

A total of six artifacts were examined in this study. Three representative examples, created using distinct artistic techniques, are presented herein:

1. "Spring Forest"—pastel, size 450×210 mm, misty forest landscape;
2. "Birds"—mixed media, size 210×297 mm, blue birds among flowers;
3. "Cat-Mermaid"—matte acrylic, size 400×300 mm, pop-art style.

Software

A software application was developed in MATLAB App Designer (Fig. 2) implementing the following functions:

- Import and visualization of luminance maps captured by a luminance meter within the experimental setup;
- Interactive user-defined region-of-interest (ROI) selection;
- Calculation of effective reflectance factors for both the entire object and user-selected ROIs;
- Construction of spectral dependencies;
- 3D visualization of spatial luminance distribution.

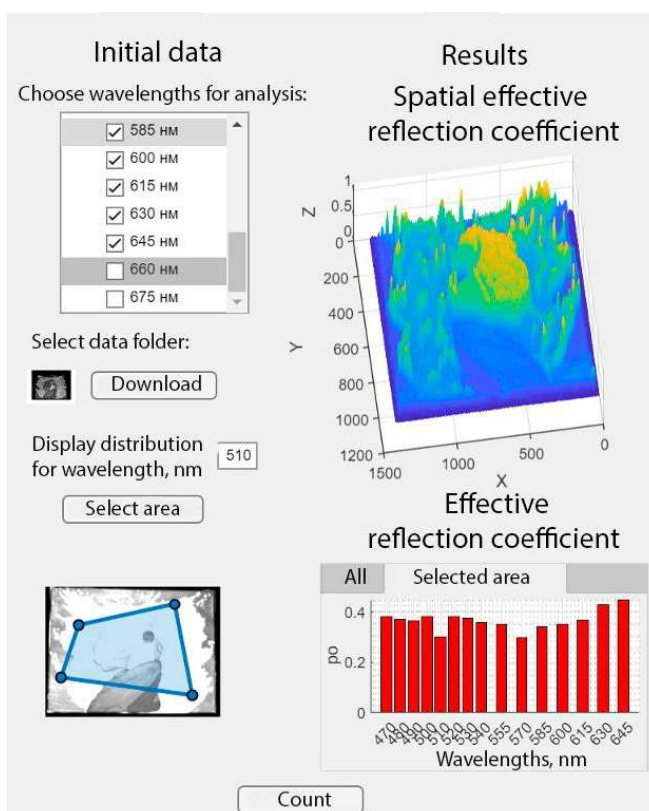


Fig. 2. GUI software application

Results

Spectral characteristics averaged over the object size

The "Spring Forest" image exhibits a gradual increase in reflectance from approximately 0.28 at 530 nm to a maximum of approximately 0.41 at 585 nm. The "Birds" image has a peak reflectance of approximately 0.34 at a wavelength of 520 nm, with a minimum reflectance in the red range (600–650 nm) of approximately 0.22. The "Cat-Mermaid" image shows a peak reflectance value of approximately 0.4 at a wavelength of 460 nm, followed by a decrease to approximately 0.27 nm at 570 nm, before increasing again to a final peak value of approximately 0.35 nm at 630 nm.

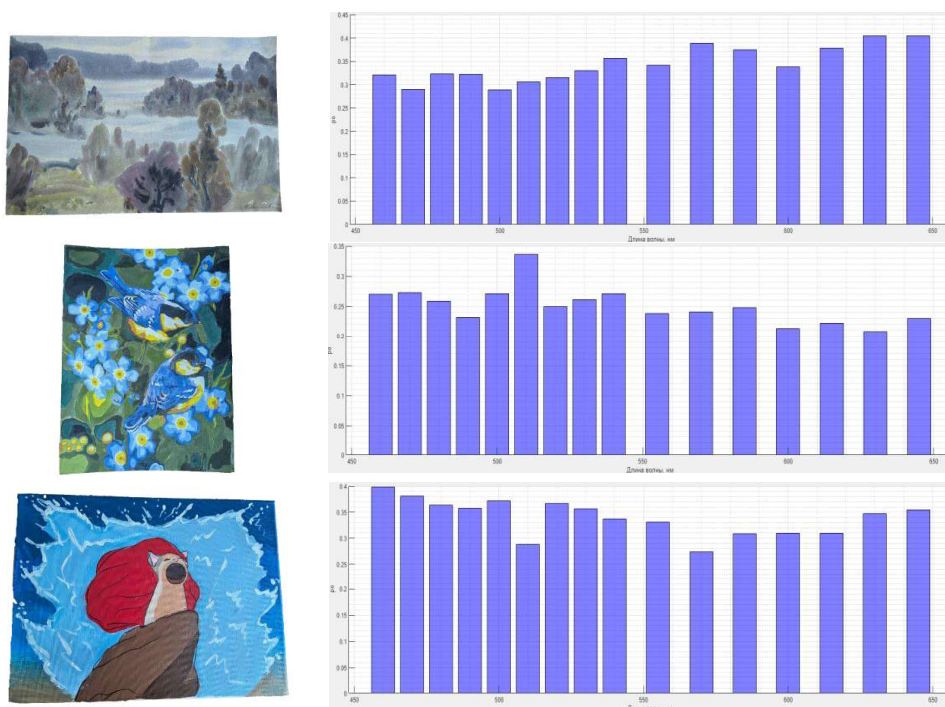


Fig. 3. Results of program processing of average reflection factors of paintings: Spring Forest, Birds, Cat-Mermaid

Spatial Distribution of Reflection Factors at wavelength 510 nm

The 3D reflectance factor maps revealed significant heterogeneity in surface reflectance properties across the paintings. Analysis of the spatial distribution at 510 nm and corresponding cross-sectional profiles showed:

- Gradient transitions in Spring Forest ranging from $\rho = 0.07$ to 0.7;
- Local maxima in Birds reaching $\rho = 0.58$ within floral regions;
- Peak reflectance factors in Cat up to $\rho = 0.8$ in splatter-impact zones.

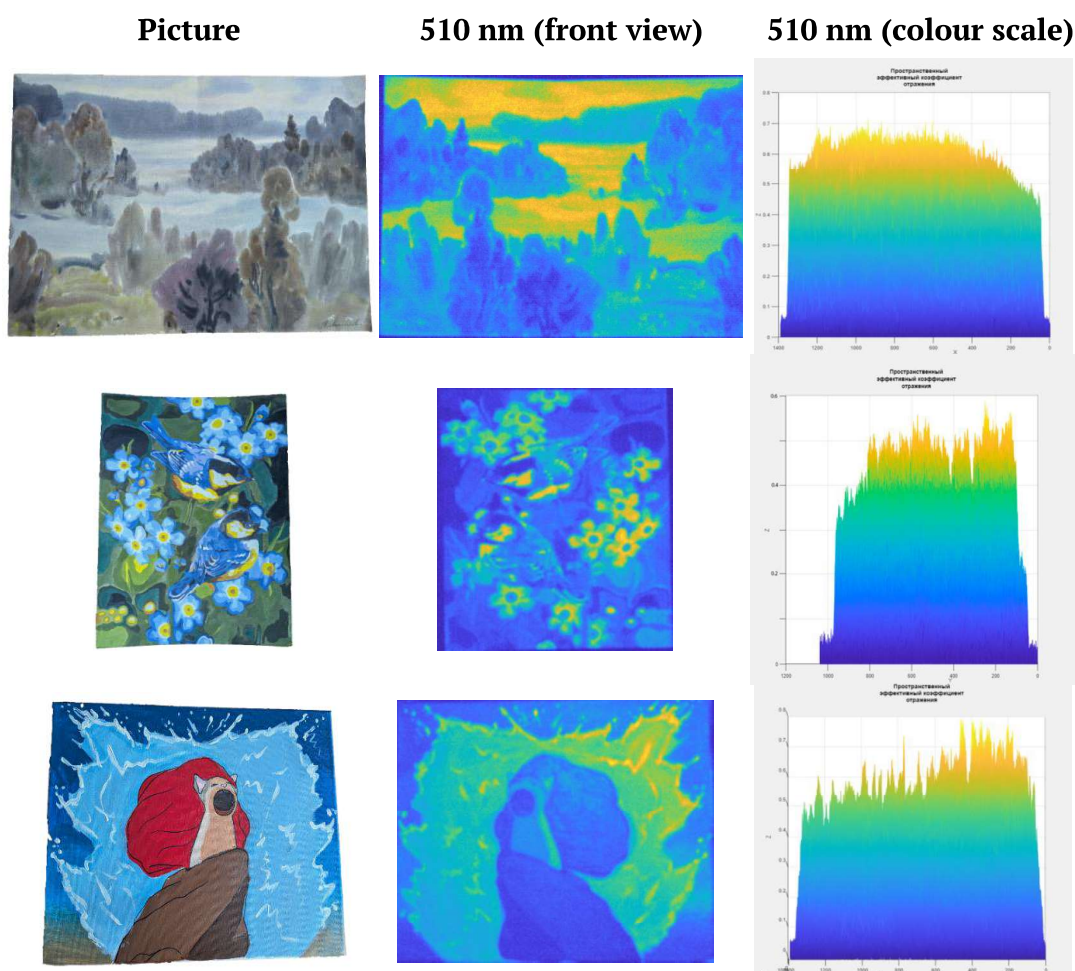


Fig. 4. Results of program processing of spatial reflection factors of paintings

Discussion

The experimental results establish a quantifiable correlation between the chromatic composition of artworks and its spectral reflectance characteristics.

The developed methodology enables:

1. Creation of technical passports for paintings documenting spectral characteristics for archival purposes. Condition monitoring via comparison of current and archival passports triggers restoration when spectral diagram deviations exceed a defined threshold.
2. Optimization of general illumination parameters for specific artworks based on their reflectance properties. Grouping and spatial distribution of paintings with similar passport diagrams in exhibition halls.
3. Optimization of local luminaires to mitigate photodegradation risks. Where passport diagrams indicate zero reflectance at specific

wavelengths, 100 % of source radiation is absorbed by pigments, potentially causing material deterioration.

Future work

Extend measurements to paintings created with diverse techniques/materials. Investigate influence of illuminant spectra on observer assessments for paintings with identical passports. Optimize software for accelerated processing of high-resolution luminance distribution images.

Conclusions

A method for measuring the effective reflectivity of paintings using a LMK5 luminance meter and interference filters within the 450–690 nm range has been developed and validated through experimentation. Software has been created to automate the process. Spectral data has been collected for three paintings executed in different media (mixed, pastel, acrylic). The potential fields of application for the obtained results have been established.

List of references

1. *Kezina N.V.* Ethics of lighting exposition-exhibition spaces of art museums // *Svetotekhnika*. 2022. №6. p. 42–48.
2. *Nascimento S.M.C., Masuda O.* Best lighting for visual appreciation of artistic paintings—experiments with real paintings and real illumination // *Journal of the Optical Society of America A*. 2014. Vol. 31. p. A214–A220.
3. *Nascimento S.M.C., Herdeiro C.F.M., Gomes A.E. et al.* The Best CCT for Appreciation of Paintings under Daylight Illuminants is Different for Occidental and Oriental Viewers // *Leukos*. 2020. Vol. 16, №2. p. 1–9.
4. *Bartseva A.A., Zinicheva A.S., Bartsev A.A., Boos G.V.* Study of oil painting perception depending on artificial lighting colour temperature // *Svetotekhnika*. 2024. №6. p. 76–82.
5. *Paviotti A., Ratti F., Poletto L., Cortelazzo G.M.* Multispectral imaging of large-size pictorial surfaces // *EURASIP Journal on Image and Video Processing*. 2009. №793756. p. 1–22.

СВЕТОГОР

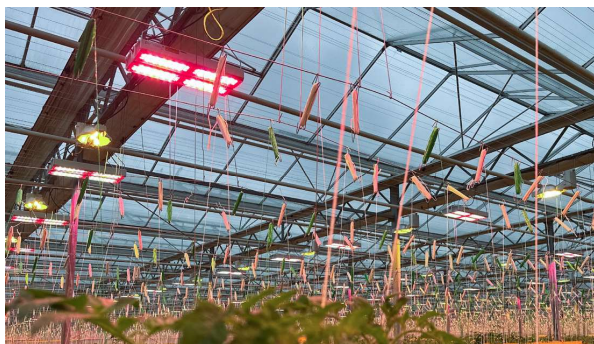


Передовые решения тепличного освещения
на базе инновационных светодиодных
облучателей СВЕТОГОР.

Мы помогаем вырастить Вашу прибыль!



9 лет



> 700+ Га



**> 200.000 LED светильников
на площади 200+ Га**



**> 1+ млн натриевых светильников
на площади 700+ Га**

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

svetogor.info

+7 (495) 788-80-23



Серия парковых
светильников IONIK
от VARTON

VARTON

ОСВЕЩЕНИЕ ДЛЯ КОМФОРТНОЙ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

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

Мы предлагаем энергоэффективные светотехнические решения для комфортной городской среды, которые учитывают современные требования к качеству, безопасности и дизайну.

>20 000

SKU

>17 000

выполненных проектов

AWADA

собственная IoT-система
по управлению освещением

PLUG-IN

DIALux; NanoCad; Revit;
Light-in-Night Road

 МИНПРОМТОРГ
РОССИИ

 СДЕЛАНО
В РОССИИ

VARTON



var-ton.ru

 ТАТАРСКИЙ
СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЙ ЗАВОД
С 1970 ГОДА



industriya-gstz.ru

AWADA



awada.ru

Подписано в печать 08.10.2025. Формат 70x100/16

Печать цифровая. Тираж 500 экз.

Заказ № 0409/25-2-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