

ISSN 2949-4958

ИННОВАЦИОННАЯ СВЕТОТЕХНИКА

Журнал РНК МКО

1 / 2025



The City of Vienna and the International Commission on Illumination (CIE) celebrate the science and beauty of light!

The renewed façade lighting of the City Hall, awarded the German Lighting Design Award 2024, is on show today, presented on the occasion of Vienna hosting the CIE 2025 conference and meetings.

Vienna welcomes the global light and lighting community!



cie

International Commission on Illumination
Commission Internationale de l'Éclairage

1 / 2025

ISSN 2949-4958

**ИННОВАЦИОННАЯ
СВЕТОТЕХНИКА**

**ЖУРНАЛ
РНК МКО**

**LIGHTING ENGINEERING
INNOVATIONS**

**CIE NC RU
JOURNAL**

Инновационная светотехника:

журнал РНК МКО

№ 1 / 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 № 0409/25-1-И

144 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!

Перед вами — журнал «Инновационная светотехника», в основу которого традиционно легли статьи участников ежегодного Международного конкурса «Молодые светотехники», организованного Российским национальным комитетом Международной комиссии по освещению (МКО).

Трудно не заметить, что многие из этих статей гармонично вписываются в основные мировые светотехнические тренды, озвученные в июле этого года на главном событии в светотехнике — конференции МКО-2025 в Вене.

Ключевые из них — интегративное освещение, экология света и цифровая трансформация светотехники. Особое внимание уделяется применению искусственного интеллекта, который становится мощнейшим инструментом будущего искусственного освещения: способствует оптимизации энергопотребления, автоматизации проектирования, анализу влияния света на человека и созданию персонализированных световых сценариев, а также повышению точности измерительных технологий.

Работы молодых исследователей в этом выпуске наглядно демонстрируют, как эти тренды реализуются на практике — от динамического освещения, влияющего на состояние человека, до инновационных технологий ультрафиолетовой дезинфекции и адаптивных систем управления светом с применением нейронных сетей.

СОДЕРЖАНИЕ

Приветствия	7
Приветствие от генерального секретаря МКО Д. Верниш	8
Приветствие от руководителя Росстандарта А.П. Шалаева	9
Приветствие от первого зам. руководителя Департамента жилищно-коммунального хозяйства Москвы А.А. Кондратенко	10
Приветствие от директора ГУП «Моссвет» Д.В. Фаустова	11
Ключевая статья	13
<i>Федорищев П.А., Рыбина В.А.</i> МКО-2025 в Вене: главные тренды в науке о свете	14
Светотехника	19
<i>Щачнева П.В., Туранов С.Б.</i> Влияние динамического освещения на когнитивные функции	20
<i>Колесникова В.А., Туранов С.Б.</i> Влияние цветовой температуры освещения на психоэмоциональный отклик	27
<i>Гусев А.В., Кистенёва А.В.</i> Исследование влияния условий освещения на зрительную работоспособность и утомление при работе за настольным компьютером	35
<i>Онищук А.В., Фомин А.Г.</i> Влияние освещения с изменяемым спектральным составом на зрительное утомление	42
<i>Грицаенко В.С., Смирнов П.А.</i> Экспериментальные исследования режимов облучения микрозелени в условиях гидропоники	48
<i>Железнов И.И.</i> Перспективы развития технологий УФ-дезинфекции на основе безэлектродных эксимерных ламп	55
<i>Абрамов М.В., Прытков С.В., Тертычный М.С.</i> Измерения характеристик УФ облучателей на спектрогониорадиометре дальнего поля	64
<i>Серикова В.С., Карев А.В., Фомин А.Г.</i> Методика оценки энергоэффективности установок спортивного освещения	71
<i>Крылов А.Э., Макаров Д.Н.</i> Реализация системы адаптивного управления освещением на основе нейронных сетей для автосалонов	77

<i>Сайкова П.А., Гречкина Т.В.</i> Формат сценического освещения в музыкальной школе-студии.....	84
Архитектура и световой дизайн	91
<i>Шачнева П.В., Коржнева Т.Г.</i> Разработка мастер-плана освещения городской среды на примере дворовой территории г. Томск	92
<i>Шпилова Д.Е., Фомин А.Г.</i> Проект освещения салона эстетических услуг.....	98
<i>Ерофеев Е.А., Николенко Н.А.</i> Внедрение комфортного здорового внутреннего освещения в аэропорту Пулково г. Санкт-Петербург, как способ глобальной тенденции развития сервиса в гражданской авиации в современном мире	104
<i>Бондарь Д.С., Посадова О.А., Карпенко В.Е.</i> Психологическое восприятие, символика и образность при моделировании световых инсталляций и арт-форм в VR	111
Доклады на английском языке	117
<i>Dai S.J., Wang T.Y., Wang Y.N., Li J.J., Shao R.D., Hao L.X.</i> A longitudinal study on residential lighting and physico-emotional states of women during the perinatal period	118
<i>Wang T.Y., Hu G., Li J.J., Wang Y.N., Shao R.D., Hao L.X.</i> Evidence-based optimization and health-oriented applications of classroom lighting in colleges.....	124
<i>Wang Y., Fang Q., Sun F.</i> Indoor lighting intelligent control using context-aware-based LLM agent and domain knowledge base.....	130
<i>Nakajima H., Kuramochi K., Takei K., Yamazaki H., Miura R., Miyazawa S., Goto D., Ohba Y., Takao M.</i> Preceding long wavelength light stimulation does not interfere light response of intrinsically photosensitive retinal ganglion cells in human: a pupillary light response study	136

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



ПРИВЕТСТВИЯ

GREETINGS



Диана ВЕРНИШ

Генеральный
секретарь
Международной
комиссии по
освещению
(МКО), Ph.D.

От имени МКО я рада приветствовать вас в новом номере журнала Российского национального комитета МКО! Он демонстрирует выдающиеся работы участников конкурса «Молодые светотехники», посвященного новым талантам, определяющим будущее науки об освещении.

В этом году доклады охватывают широкий круг тем, актуальных для глобальной миссии МКО. Среди них — адаптивные и интеллектуальные системы освещения, влияние света на когнитивные функции, эмоциональный комфорт и физиологическое здоровье, световое загрязнение, устойчивые системы управления зданиями и пространствами. Исследование этих тем способствует достижению целей МКО в области ориентированного на человека, энергоэффективного и экологически ответственного освещения. В ряде статей подчеркивается роль новых технологий, включая управление на основе ИИ и нейросетей, показывая, как инновации стимулируют развитие адаптивных и интеллектуальных световых решений.

Надеюсь, что эти статьи вдохновят читателей на дальнейшее увлечение светом и освещением. Сердечно призываю вас присоединиться к глобальному сообществу МКО, участвовать в наших образовательных мероприятиях и обмениваться идеями через границы. Также я с нетерпением жду возможности приветствовать вас на 31-й четырёхлетней Сессии МКО в Нанкине (Китай) 9–17 июля 2027 г.! Поздравляю всех молодых учёных — ваши работы вдохновляют и движут мировую науку о свете вперёд!



А.П. ШАЛАЕВ

Руководитель
Федерального
агентства по
техническому
регулированию
и метрологии
(Росстандарт)

Дорогие участники и организаторы конкурса «Молодые светотехники»!

Конкурс «Молодые светотехники» — это не просто профессиональная площадка, а пространство, где рождаются идеи будущего, закладывается фундамент инноваций и формируются стандарты, по которым будет работать вся отрасль.

Светотехника — отрасль, обладающая колоссальным влиянием на нашу повседневную жизнь, на безопасность, комфорт, производительность, экологическое воздействие. Развитие новых технологий освещения, энергоэффективных решений, цифровых систем управления — всё это требует современных технических норм и стандартов, обеспечивающих качество, безопасность, совместимость и устойчивое развитие.

Стандартизация в светотехнике — это гарантия того, что инновации доходят до пользователей, промышленности, городов и инфраструктуры, не теряя качества, надежности и безопасности...

Желаю каждому из вас удачи в конкурсе, пусть победят самые достойные! А Росстандарт всегда готов поддержать ваши идеи, инициативы и проекты, чтобы вместе строить будущее современной светотехники — безопасной, эффективной и инновационной!

Спасибо за ваше внимание, за ваш труд и ваше стремление к развитию отрасли. Успехов вам и новых профессиональных достижений!



**Александр
КОНДРАТЕНКО**

Первый
заместитель
руководителя
Департамента
ЖКХ г. Москвы

Дорогие друзья!

От имени Департамента ЖКХ Москвы приветствую вас на страницах журнала «Инновационная светотехника», на страницах которого собраны доклады молодых исследователей и инженеров — участников конкурса «Молодые светотехники».

Именно они определяют будущее светотехнической отрасли и облик завтрашних городов. Отвечая за развитие коммунальной инфраструктуры столицы сегодня, я рассматриваю системы освещения в качестве ключевого элемента современного города — «умного», энергоэффективного, обладающего надёжной и комфортной световой средой.

Конкурс «Молодые светотехники», который проводит Российский национальный комитет МКО, связывает науку и смелые идеи молодых учёных с реальными потребностями города. Видя в участниках конкурса будущих лидеров отрасли, руководителей и инженеров, Департамент ЖКХ Москвы готов поддерживать внедрение перспективных разработок.

Желаю всем участникам профессионального роста и реализации идей в городских проектах!



Дмитрий ФАУСТОВ

Директор
ГУП «Моссвет»

Уважаемые участники Международного конкурса «Молодые светотехники»!

Ваши доклады, представленные на конкурс и теперь публикуемые в этом издании, — результат глубоких исследований, смелых инженерных решений и творческого поиска. Все они выполнены на высоком профессиональном уровне и это лучшее свидетельство того, что будущее российской светотехники в надежных руках!

Участие в конкурсе РНК МКО подчеркивает вашу принадлежность к международному научному сообществу и стремление соответствовать самым высоким стандартам профессии.

Миссия ГУП «Моссвет» заключается в обеспечении безопасности, комфорта и эстетики городской среды через передовые решения в области уличного, архитектурного и функционального освещения. Мы с особым вниманием следим за развитием науки и образования в нашей сфере, и понимаем, что решение сложнейших задач современного городского освещения требует постоянного притока новых знаний, инновационных идей и, главное, талантливых специалистов — таких, как вы.

Желаю всем участникам конкурса дальнейших успехов в научной и практической деятельности, смелости в постановке и решении амбициозных задач, блестящей реализации идей и, конечно же, ярких профессиональных побед!

Пусть ваш путь в светотехнике будет отмечен значимыми открытиями и признанием!



МЫ ДЕЛАЕМ ГОРОДА СВЕТЛЕЕ

Присоединяйся к команде «Брайтэлек»



О НАС

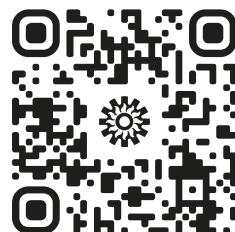
Брайтэлек — производитель светильников и металлоконструкций для наружного освещения. Мы создаём современные решения, которые меняют облик и атмосферу общественных пространств. Наши проекты — это улицы, парки и объекты по всей стране, которые люди видят каждый день.

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



КЛЮЧЕВАЯ СТАТЬЯ

KEY ARTICLE

Конференция МКО 2025 в Вене: главные тренды в науке о свете

Федорищев П.А.; Рыбина В.А., к.т.н.

**Российский национальный комитет Международной комиссии
по освещению**

С 7 по 9 июля 2025 г. в Вене состоялась научная конференция Международной комиссии по освещению (МКО). На три дня столица Австрии стала центром притяжения для исследователей света и освещения со всего мира. 430 человек из 40 стран собрались, чтобы обменяться идеями и перенять опыт ведущих экспертов. Конференция стала «ядром» ещё более масштабного события — Промежуточной встречи МКО, включавшей в себя также заседание генеральной ассамблеи и многочисленные совещания технических комитетов, рабочих групп и отделений МКО.

Программа конференции была насыщенной: три пленарных и более 100 устных докладов в 18 секциях, посвящённых широкому спектру вопросов — от светового дизайна до фотометрии и радиометрии, шесть практических семинаров с участием ведущих экспертов МКО, а также две масштабные постерные сессии.

Особое место в программе заняли три ключевых доклада ведущих международных экспертов, каждый из которых остановился на одной из наиболее животрепещущих проблем светотехники: световом загрязнении, искусственном интеллекте и невизуальных эффектах света.

Световое загрязнение: звёздное небо, которое мы потеряли

Научную программу конференции МКО открыло выступление первого ключевого докладчика — профессора Дитмара Хагера с кафедры Университета прикладных наук Австрии. Его доклад *“The Multifaceted Impacts Of Light-Pollution”* о световом загрязнении стал не просто научной презентацией, но манифестом, который резюмировал все накопившиеся проблемы.

Лектор представил световое загрязнение как целый комплекс проблем. С 1990-х гг. стоимость света, производимого одним ваттом энергии, уменьшилась почти в 10 раз, и мы стали свидетелями лавинообразного роста городского освещения. При этом мировая экономика ежедневно теряет миллиарды — города и предприятия

сжигают энергию на «освещение ночного неба»: по словам Хагера, доля такого «бесполезного света» достигает 50 %!

Световое загрязнение стало одним из самых быстрорастущих экологических загрязнений. Так, более 80 % населения мира живут в условиях «светящегося неба», а площадь неосвещённой поверхности земли ежегодно сокращается на 2 %.

Экологические последствия не менее драматичны: избыточный свет дезориентирует ночных насекомых, птиц и морских животных, нарушает процессы их размножения и миграций, меняет фотопериодические циклы растений, негативно влияя на их продуктивность и рост. Всё это ведёт к неизбежной деградации экосистем в целом.

Напомнил лектор и о влиянии света на здоровье самого человека: «Избыточный свет ночью, особенно в синей области спектра, способен нарушить выработку мелатонина, регулирующего сон и поддерживающего иммунитет».

Особое внимание профессор Хагер уделил культурному значению тёмного неба: «На протяжении тысячелетий человек благоговел перед тёмным небом. Свет звёзд позволял ориентироваться, был источником вдохновения и обретения места человека в мире. Сегодня мы теряем этот опыт, а вместе с ним можем потерять себя».

В заключение своего выступления лектор призвал всех собравшихся к популяризации рационального и ответственного применения искусственного света ночью, отметив, что значим каждый шаг — от выключенного садового светильника-«сферы» до участия в общественных инициативах.

Свет и здоровье: циркадные ритмы на МКС и будущее терапии

Если открывший первый день конференции профессор Хагер живописал опасности неконтролируемого освещения, то ключевой докладчик завершающего дня рассказал о том, как свет способен лечить.

Профессор Джордж К. Брейнард, руководитель программы исследований света и профессор неврологии и нейронауки университета Томаса Джефферсона, в докладе *“Light And Human Health”* подробно рассказал о том, как человеческий глаз преобразует световую энергию в физиологические и поведенческие реакции. Лаборатория профессора Брейнарда много лет изучает, как свет влияет на

циркадные, нейроэндокринные и нейроповеденческие процессы человека.

«Попадая на сетчатку глаза, свет воздействует не только на классические фоторецепторы — палочки и колбочки, — напомнил Брейнарда, — но и передаёт сигналы по двум путям: хорошо известному всем зрительному и ретино-гипоталамическому». Последний ведёт к супрахиазматическому ядру — мозговому центру, расположенному в гипоталамусе и управляющему биологическими часами. Именно это ядро обрабатывает информацию о световом окружении и влияет на физиологические процессы и поведение.

По словам докладчика, можно выделить главные физические параметры света, которые влияют на физиологическую регуляцию: количество света, его спектральные характеристики, длительность воздействия и время суток, когда свет воздействует на организм.

Сегодня доказано: свет влияет не только на синтез мелатонина, но и на температуру тела, уровень кортизола, а также может применяться для регулирования физиологии сна и циркадных ритмов, в терапии сезонных депрессий и ряда других заболеваний.

Профессор Брейнард рассказал о сотрудничестве с NASA, направленном на улучшение сна и циркадной регуляции астронавтов на МКС. Рекомендации NASA о восьми часах сна в сутки на орбите не выполнялись: космонавты спали в среднем около шести часов, что приводило к снижению бдительности и работоспособности. Врачи назначали им препараты, но их эффективность оставалась ограниченной.

Решить проблему удалось Брейнарду и его команде. Они разработали светодиодную систему динамического освещения, которая учитывала нужды персонала МКС и имела три режима работы: «Общее освещение», «Бодрствование/сдвиг фазы» и «Перед сном». 99 % светильников на МКС были заменены на новые — с регулируемым спектром и интенсивностью. Кроме того, на борту станции был установлен специально разработанный портативный фотометр-радиометр, с помощью которого команда Брейнарда собрала более 600 тыс. измерений освещённости разных участков МКС.

Эти измерения подтвердили, что освещение соответствует рекомендуемым параметрам для циркадной регуляции. Новая динамическая установка помогла стабилизировать биоритмы, улучшить сон и повысить бдительность персонала. Этот опыт стал значительным

шагом к созданию нефармакологических методов стабилизации биологических часов в условиях длительных космических полётов.

Такие технологии имеют потенциал применения и в медицине на Земле: например, для помощи пациентам с травмами мозга, инсультами и нарушениями сна и циркадного ритма. При этом профессор Брейнард подчеркнул: внедрять светотерапию в медицинскую практику можно только после всецелого изучения и научно-обоснованного доказательства её эффективности.

«Наука о свете, — заключил профессор, — стоит на пороге новой эры, когда свет становится не только средством освещения, но и мощным инструментом для здоровья человека».

Три президента и новая эра искусственного света

В новый этап вступила и сама МКО: в ходе церемонии закрытия конференции были объявлены важные изменения в составе Руководящего совета комиссии.

В соответствии с уставом покинул совет предыдущий президент МКО (*CIE Past President*) — доктор Питер Блаттнер, удостоенный высшей награды МКО — Золотой булавки Вышецки (*Wyszecki Gold Pin Award*), а также Серебряной булавки МКО, вручённой в честь его ухода из правления. Награда стала признанием его многолетней преданной службы и выдающегося вклада в работу и управление организацией.

Сам Блаттнер признался, что 25 лет работы в МКО и четыре года в качестве её президента были большой честью и удовольствием для него.

На той же сцене действующий президент Дженнифер Вейтч объявила, что в результате голосования национальных комитетов, новым избранным президентом МКО стал доктор Энтони Берген (Австралия). Хорошо известный в профессиональной среде как Технический вице-президент и экс-глава Отделения 2 «Фотометрия и радиометрия», он возглавит комиссию в 2027–2031 гг.

Именно ему предстоит провести организацию через эпоху перемен: цифровизацию, внедрение искусственного интеллекта, развитие концепции интегративного освещения, учитывающего влияние света на здоровье, экологию и энергетику.

МКО остаётся авторитетной глобальной научной организацией в сфере стандартизации. В 2023–2025 гг. были приняты новые стандарты ИСО/МКО, активно развивалось сотрудничество с ИСО¹ и МЭК², а также

¹ Международная организация по стандартизации, *ISO*

² Международная электротехническая комиссия, *IEC*

совместные инициативы с МБМВ³ и другими международными организациями. Эта деятельность позволяет разрабатывать международные стандарты, основанные на результатах фундаментальных исследований МКО.

МКО стала уделять всё больше внимания образованию, работе с молодыми учёными и популяризации знаний о свете. Создана Постоянная группа по образованию (*Standing Panel on Education*), поддерживаются инициативы национальных комитетов, в частности — международный конкурс РНК МКО «Молодые светотехники», развиваются онлайн программы и профессиональные тренинги.

Кроме того, публикации МКО теперь будут включены в научные базы данных *Scopus* и *Google Scholar*, что значительно увеличит узнаваемость и цитируемость трудов организации.

Таким образом, конференция в Вене стала не только площадкой для обмена исследовательским опытом и дискуссий, но и поворотным рубежом в развитии самой МКО. Организация вышла на новый уровень научной и образовательной работы, укрепив свой статус глобального экспертного центра науки о свете.

³ Международное бюро мер и весов, *BIMP*

СВЕТОТЕХНИКА

LIGHTING ENGINEERING

ВЛИЯНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ОСВЕЩЕНИЯ НА КОГНИТИВНЫЕ ФУНКЦИИ

*Шачнева П.В., магистрант; Туранов С.Б., к.т.н., доцент
Национальный исследовательский Томский политехнический
университет, г. Томск*

THE EFFECT OF DYNAMIC LIGHTING ON COGNITIVE FUNCTION

*Shachneva P. V., Master's student; Turanov S.B., Ph.D., Associate Professor
National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk*

Аннотация

Настоящее исследование посвящено изучению влияния динамического освещения с переменной цветовой температурой на когнитивные функции человека. В эксперименте приняли участие испытуемые в возрасте 18–24 лет, выполнявшие серию стандартизированных нейропсихологических тестов при различных режимах освещения (3000, 4000, 5000, 6000 К). Полученные данные свидетельствуют о влиянии цветовой температуры на показатели когнитивной деятельности: холодный свет (6000 К) способствовал повышению скорости обработки информации и увеличивал концентрацию, тогда как теплый свет (3000 К) улучшал точность выполнения сложных когнитивных операций и способствовал расслаблению.

На основании выявленных закономерностей был сформирован сценарий изменения цветовой температуры в соответствии с типом выполняемой когнитивной задачи. Сравнительный анализ показал, что такой подход обеспечивает сокращение времени выполнения тестов на 5 % и 25 % по сравнению со статическими режимами 4000 К и 5000 К соответственно, а также способствует снижению субъективных показателей усталости.

Результаты исследования подтверждают перспективность применения адаптивных систем освещения в образовательных и профессиональных средах, однако требуют дальнейшего изучения вопросов оптимизации параметров световой среды для минимизации потенциального зрительного дискомфорта.

Abstract

This study examines the effect of dynamic lighting (3000–6000 K) on cognitive functions. The experimental results show that cold light (6000 K)

increases data processing speed, while warm light (3000 K) increases accuracy. Based on the revealed patterns, a scenario for changing the color temperature was formed in accordance with the type of cognitive task performed. A comparative analysis showed that this approach reduces the test execution time by 5 % and 25 % compared to the static modes of 4000 K and 5000 K, respectively, and also helps to reduce subjective fatigue indicators.

Ключевые слова: биодинамическое освещение, цветовая температура, когнитивные функции, человеко-ориентированное освещение

Keywords: *biodynamic lighting, color temperature, cognitive functions, human centric lighting*

Введение

Современную жизнь сложно представить без искусственного освещения, которое необходимо не только в тёмное время суток, но и в пасмурную погоду. Свет сопровождает человека во всех сферах деятельности: в работе, учёбе, отдыхе и повседневной жизни. Особенно зависимы от искусственного освещения жители городов, которые по данным на 2021 год составляют уже около трети населения России [1]. Многочисленные исследования подтверждают, что параметры света напрямую влияют на организм человека, включая его нервную систему, регулируя выработку гормонов, отвечающих за бодрствование и сон [2]. При этом естественное освещение считается наиболее благоприятным: солнечный свет не только улучшает когнитивные функции, но и снижает уровень стресса [3]. В течение дня его параметры меняются, что формирует естественные циркадные ритмы.

Поскольку люди, особенно в зимний период, проводят большую часть времени при искусственном освещении, возникает задача адаптировать его так, чтобы оно максимально приближалось по воздействию к солнечному свету, но при этом не усиливало негативные эффекты. Уже известно, например, что цветовая температура света влияет на состояние человека: при 6000 К (холодный свет) повышается концентрация, внимательность и скорость реакции, а при 3000 К (тёплый свет) снижается уровень стресса и усиливается чувство комфорта [4]. Может показаться, что холодный свет идеально подходит для повышения продуктивности, однако он же приводит к ускоренной утомляемости, зрительному дискомфорту и повышенному стрессу. Поэтому использование только одной цветовой температуры

нерационально. Необходима динамическая система освещения, которая сможет повышать эффективность работы, не жертвуя при этом комфортом и здоровьем человека.

Метод исследования

Для разработки оптимальной системы освещения необходимо определить наиболее эффективные параметры осветительной установки. В первой серии экспериментов приняли участие 20 испытуемых в возрасте от 18 до 24 лет, жителей Томска (14 женщин и 6 мужчин). Целью исследования было выявление влияния цветовой температуры на выполнение различных задач. Эксперименты проводились на специальной установке, позволяющей регулировать интенсивность и цветовую температуру освещения [5]. Освещённость для всех тестов поддерживалась в пределах 500–550 лк.

Ход эксперимента:

1. Перед началом тестирования проверяющий включал систему компьютерного зрения и закреплял на испытуемом нагрудный пульсометр.

2. Испытуемый находился в полностью затемнённой комнате в течение 3 минут для адаптации зрения.

3. Затем включалось освещение с первой заданной цветовой температурой ($S_1 - 4000\text{ K}$).

4. Испытуемый сперва заполнял опросник оценки эмоционального состояния и затем выполнял серию из шести тестов для оценки когнитивных функций. Тесты взяты из архива клинической нейропсихологии:

- Символьно-цифровой тест — мышление и восприятие;
- Тест слежения типа А (рис. 1а) — зрительное слежение;
- Тест слежения типа Б — зрительное слежение и мышление;
- Тест Струпа — цветовое восприятие;
- Тест на различие (рис. 1б) — мышление и внимание;
- Задача на классификацию — восприятие и внимание.

Время решения каждого теста фиксировалось проверяющим на бумаге.

5. По завершении тестов испытуемый повторно заполнял опросник оценки эмоционального состояния (п. 4) для оценки изменений.

6. Вся процедура (п. 1–6) повторялась для трёх других режимов освещения: $S_2 - 6000\text{ K}$, $S_3 - 3000\text{ K}$, $S_4 - 5000\text{ K}$.

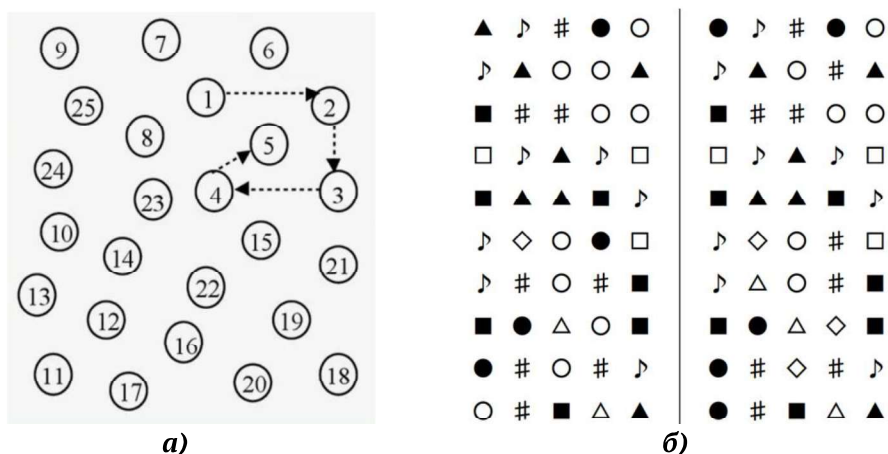


Рис. 1. Тест слежения типа А — соединить цифры в порядке возрастания (а), тест на различие — обвести в круг символы, отличающиеся в левом и правом столбцах (б)

В результате экспериментов были собраны следующие данные:

- время выполнения каждого теста при разных цветовых температурах;
- количество допущенных ошибок;
- субъективные оценки состояния до и после тестирования;

На основании полученных результатов первой серии экспериментов (рис. 2), были определены оптимальные режимы освещения для различных типов когнитивных задач (табл. 1). Оптимальная цветовая температура определялась исходя из среднего времени решения теста, количества ошибок и эмоциональных изменений. При обработке данных были использованы методы описательной статистики и дисперсионный анализ (ANOVA) для оценки значимых различий ($p < 0,05$).

Таблица 1. Сценарий изменения цветовой температуры

Тест 1	Символьно-цифровой тест	S2 – 6500 K
Тест 2	Тест слежения типа А	S1 – 4000 K
Тест 3	Тест слежения типа Б	S2 – 6500 K
Тест 4	Тест Струпа	S3 – 3000 K
Тест 5	Тест на различие	S2 – 6500 K
Тест 6	Задача на классификацию	S2 – 6500 K

Вторая серия экспериментов была направлена на проверку гипотезы о преимуществе динамического освещения перед статическим. Методика проведения тестов сохранилась аналогичной первой серии, но в данном случае проверяющий изменял цветовую

температуру в реальном времени в соответствии с типом выполняемого теста, следуя сценарию оптимальных режимов (табл. 1).

Результаты

Проанализируем итоги первой и второй серии экспериментов (рис. 2).

Основным результатом двух серий тестов является зависимость времени прохождения каждого теста от цветовой температуры и суммарного прохождения блока тестов для статических и динамического режимов. Оценивая суммарное время, получили, что динамический режим действительно позволяет улучшить когнитивные функции. Обработка результатов субъективных анкет состояния показала, что большинство участников отметили снижение сонливости, снижение тревоги и увеличение интереса к задачам.

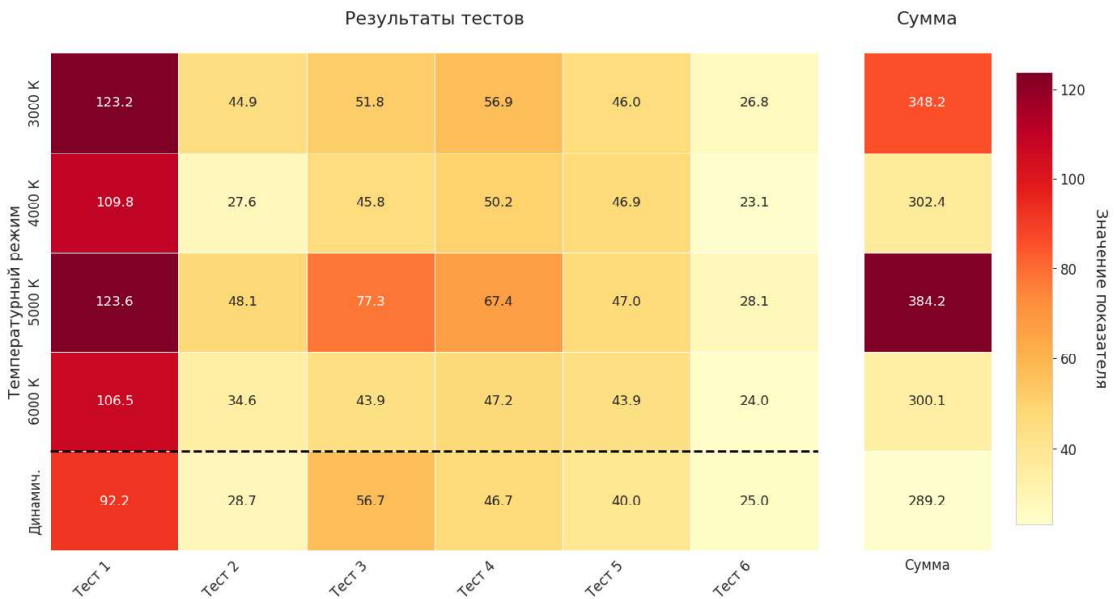


Рис. 2. Тепловая карта результатов измерения времени прохождения всех тестов

Обсуждение

Для статических режимов, установлено, что высокая цветовая температура (6000–6500 K, «холодный» свет) способствует повышению бдительности и концентрации внимания, за счет подавления секреции мелатонина. В частности, при выполнении символично-цифрового теста, требующего повышенного внимания, освещение 6000 K потенциально активизирует ретино-гипоталамический тракт, стимулируя выработку дофамина и норадреналина, что положительно влияет на скорость реакции.

Напротив, для задач, связанных с когнитивным контролем (например, тест Струпа), предпочтительнее оказался теплый свет (3000 K), который способствует снижению уровня стресса и тревожности, что особенно важно для точного выполнения сложных когнитивных заданий.

В традиционном подходе к освещению внутренних пространств чаще всего применяются статичные режимы — 4000 и 5000 K. Однако динамическая система, использующая освещение оптимальной цветовой температуры для разных типов задач, показала более высокую эффективность. В ходе тестирования участники выполняли задания на 5 % быстрее по сравнению с режимом 4000 K и на 25 % быстрее при сравнении с 5000 K. Такой результат объясняется комплексным влиянием динамического света на ключевые физиологические и психологические процессы, включая концентрацию внимания и скорость реакции.

Во-первых, переменная цветовая температура влияет на нейрофизиологические механизмы, регулируя выработку мелатонина и серотонина, а также стимулируя нейронную активность. Это особенно важно при выполнении кратковременных задач (от 30 секунд до 2 минут), где статичное освещение снижает эффективность [4].

Во-вторых, динамическое освещение оптимизирует баланс между активацией и расслаблением. Холодный свет (6000–6500 K) повышает концентрацию, а тёплый (3000 K) снижает стресс. Ключевое преимущество — адаптивность. Смена параметров света предотвращает привыкание и поддерживает вовлеченность.

Даже незначительные изменения освещения могут усиливать интерес к задаче. Например, резкий переход с 3000 на 6500 K во время тестов улучшает внимание [6]. Однако важно соблюдать баланс — слишком частые или резкие изменения могут вызвать визуальный дискомфорт и преждевременную усталость.

Выводы

Динамические режимы освещения способствуют улучшению когнитивных функций и снижению утомляемости при одновременном повышении концентрации. Предложенный сценарий изменения цветовой температуры в процессе выполнения тестов, показал свою эффективность. Однако, важно набирать статистические данные и исследовать другие комбинации для различных задач. Это позволит выявлять наиболее оптимальные цветоцветовые алгоритмы, которые в

последующем станут основой человеко-ориентированных систем освещения.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 25-28-20162, <https://rscf.ru/project/25-28-20162/> и гранта в форме субсидии, выделяемого Департаментом по научно-технологическому развитию и инновационной деятельности Томской области (Соглашение №02/7/2025).

Список литературы

1. ТАСС. Росстат назвал число россиян, проживающих в городах [Электронный ресурс]. – URL: <https://tass.ru/obschestvo/14764801> (дата обращения: 01.06.2025).
2. *Chen S., Wei M., Dai Q., Huang Y.* Estimation of possible suppression of melatonin production caused by exterior lighting in commercial business districts in metropolises // LEUKOS. – 2020. – Vol. 16. – P. 137–144. – DOI: 10.1080/15502724.2018.1523013.
3. *Mahmoud N.S.A., Samanoudy G.E., Jung C.* Simulating the natural lighting for a physical and mental well-being in residential building in Dubai, UAE // Ain Shams Engineering Journal. – 2023. – Vol. 14, № 1. – Art. 101810. – ISSN 2090–4479. – DOI: 10.1016/j.asej.2022.101810.
4. *Afifi M.B., Krumrei-Mancuso E.J., Trammell J.* Effects of Color and Lighting Temperature on Mood and Cognitive Performance // Psi Chi Journal of Psychological Research. – 2024. – Vol. 29, № 3. – P. 169–180. – DOI: 10.24839/2325-7342.JN29.3.169.
5. *Шачнева П. В., Колесникова В. А.* Осветительная установка для улучшения условий труда работников офиса // Наука. Технологии. Инновации: сборник научных трудов: в 8 ч. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2025. – Ч. 3. – С. 111.
6. *Wang T., Rong X., Hu D., Xu J., Wang Z., Shao R., Liu W., Lan D., Wu H., Hao L., Jin L.* The impact of dynamic lighting at nurses' stations on shift work performance, nurses' sleep and well-being // Journal of Building Engineering. – 2025. – Vol. 106. – Art. 112575. – DOI: 10.1016/j.jobee.2025.112575.

ВЛИЯНИЕ ЦВЕТОВОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ОСВЕЩЕНИЯ НА ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНЫЙ ОТКЛИК

*Колесникова В.А., студент; Туранов С.Б., к.т.н., доцент
Национальный исследовательский Томский Политехнический
Университет*

INFLUENCE OF COLOR TEMPERATURE OF LIGHTING ON PSYCHOEMOTIONAL RESPONSE

*Kolesnikova V.A., student; Turanov S.B., Ph.D., Associate Professor
National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk*

Аннотация

В работе представлены результаты исследования влияния цветовой температуры освещения (2700, 4000, 5000, 6000 К) на психоэмоциональное состояние человека. Экспериментальная группа состояла из 20 участников, выполнявших тесты на внимание, скорость реакции и память в рандомизированном порядке, чтобы исключить влияние порядковых эффектов и условиях стандартной освещённости (500 лк). Оценивались, параметры шкалы *NASA-TLX* (умственная нагрузка, фрустрация, эффективность), а также субъективные показатели зрительного дискомфорта (сонливость, усталость глаз).

Анализ данных (*ANOVA*, описательная статистика) выявил, что 4000 К обеспечивает оптимальный баланс: минимальную умственную нагрузку и фрустрацию, что связано с приближением к естественному дневному свету и снижением стрессовых реакций. Температура 5000 К, несмотря на активизацию бодрствования, повышает фрустрацию, вероятно, из-за избыточной «холодности» спектра, негативно влияющей на длительную концентрацию. 6000 К снижает субъективные ощущения грусти, однако ухудшает внимание, что может быть обусловлено чрезмерной яркостью и спектральным дисбалансом.

Полученные данные подчеркивают нелинейную зависимость между цветовой температурой и психологическими показателями, требуя учета контекста использования света. Практическая реализация результатов возможна в проектировании адаптивных систем освещения для офисов, учебных аудиторий и медицинских учреждений, где динамическая регулировка параметров света (с учетом времени суток, типа задачи и индивидуальных особенностей)

позволит минимизировать усталость, повысить продуктивность и сохранить эмоциональный комфорт. Это особенно актуально в условиях гибридной работы и цифровизации образовательных процессов, где зрительная нагрузка достигает критических значений.

Abstract

This study presents findings on the impact of lighting color temperature (2700, 4000, 5000, 6000 K) on human psychoemotional state. The experimental group comprised 20 participants who completed attention, reaction speed, and memory tests under standardized illuminance (500 lux) in a randomized sequence to mitigate order effects. Assessed parameters included NASA-TLX scale metrics (mental workload, frustration, and perceived performance efficiency), as well as subjective visual discomfort indicators (sleepiness, eye fatigue).

Data analysis using ANOVA and descriptive statistics revealed that 4000 K provided an optimal balance, characterized by minimal mental workload and frustration, likely due to its proximity to natural daylight and reduced stress responses. While 5000 K promoted wakefulness, it increased frustration, possibly due to excessive spectral "coolness" negatively affecting sustained concentration. Although 6000 K reduced subjective feelings of sadness, it impaired attention performance, potentially linked to excessive brightness and spectral imbalance.

These findings underscore a nonlinear relationship between color temperature and psychological outcomes, emphasizing the need for context-sensitive lighting design. Practical implementation of these results could inform the development of adaptive lighting systems for offices, classrooms, and healthcare facilities, where dynamic adjustment of lighting parameters accounting for time of day, task type, and individual physiological traits may reduce visual fatigue, enhance productivity, and maintain emotional comfort. This is particularly relevant in hybrid work environments and digitized educational settings, where visual strain frequently reaches critical levels, necessitating personalized lighting solutions to support cognitive performance and well-being.

Ключевые слова: цветовая температура, психоэмоциональное состояние, зрительный дискомфорт, светодиоды

Keywords: color temperature, psychoemotional state, visual discomfort, LED

Введение

Исследования показывают, что определенные цветовые температуры (2700–3700 К), могут способствовать расслаблению и физической стабильности во время отдыха и чтения [1]. Кроме того, более высокая цветовая температура (например, 6000 К) в офисных помещениях связана с улучшением настроения, что позволяет предположить, что освещение может оптимизировать когнитивные способности [2]. Утреннее воздействие света при температуре 8500 К оказало заметное положительное влияние на настроение и бдительность, хотя уровень комфорта может меняться в зависимости от температур [3]. Таким образом, существующие работы подчеркивают сложную взаимосвязь между цветовой температурой, освещённостью и психологическими реакциями [1–5].

Существующие исследования рассматривают, как цветовая температура освещения влияет на физическое состояние, эмоциональное восприятие и когнитивные функции человека. Однако большинство из них сосредоточены на крайних значениях (например, 2700 и 6000 К), тогда как популярные в офисных помещениях температуры (4000–5000 К) остаются недостаточно изученными. Кроме того, отсутствуют данные о влиянии этих промежуточных температур на специфические когнитивные задачи и эмоциональный комфорт в условиях стандартной освещённости.

Методика исследования

Изучение влияния цветовой температуры освещения на психофизиологический отклик человека проводилось в звуко- и светоизолированной комнате в стандартных условиях офисной освещённости 500 лк, что соответствует нормативным требованиям согласно СП 52.13330.2016 [6].

Для проведения экспериментов было выбрано четыре цветовые температуры, наиболее популярные и активно используемые в рабочей среде: 2700, 4000, 5000 и 6000 К (рис. 1).

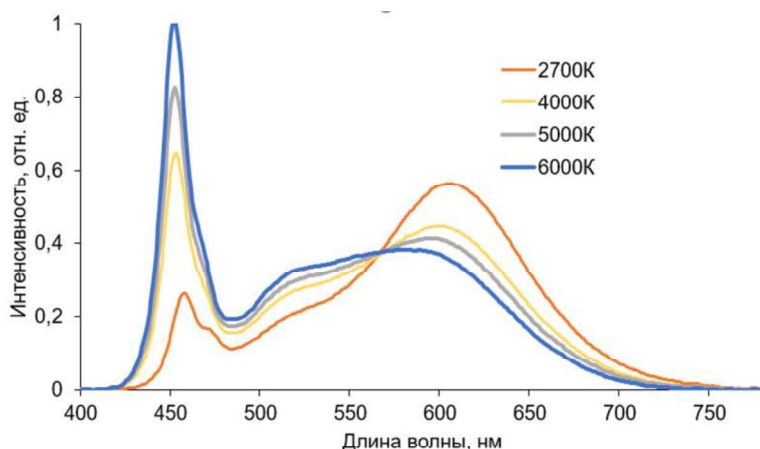


Рис. 1. Спектральные характеристики экспериментальных источников света

Освещённость поддерживалась постоянной с помощью специально разработанной светодиодной установки [7]. Параметры освещения контролировались спектрофотометром *PST-SVM OHSP350LFA* перед каждым экспериментальным сеансом, что обеспечивало точность воспроизведения условий.

В исследовании приняли участие 20 человек в возрасте 18–26 лет. Участники в утренние часы (с 9:00 до 12:00) выполняли серию тестов: тест символьных цифр, тесты слежения, тест Струпа, задания на различение символов и классификацию визуальной информации. После каждого экспериментального блока участники заполняли опросники эмоционального состояния.

Для анализа влияния цветовой температуры освещения на уровень сонливости и эмоциональное состояние использовались методы количественной и качественной обработки данных. Уровень сонливости и эмоциональные параметры оценивались по 10-балльным шкалам до и после воздействия освещения, после чего проводился дисперсионный анализ (ANOVA) для выявления статистически значимых различий между группами ($p < 0,05$). Для визуализации изменений применялись гистограммы и тепловые карты, отражающие динамику параметров до и после освещения.

Результаты

Результаты исследования влияния цветовой температуры на уровень сонливости (до/после освещения) представлен на рис. 2:



Рис. 2. Гистограмма зависимости уровня сонливости от цветовой температуры

Исследования влияния цветовой температуры освещения на уровень счастья, грусти, тревоги, спокойствия, энергии, уверенности, раздражения, удовлетворенности интереса и сосредоточенности (разница до/после освещения) представлены на рисунках 3 и 4:

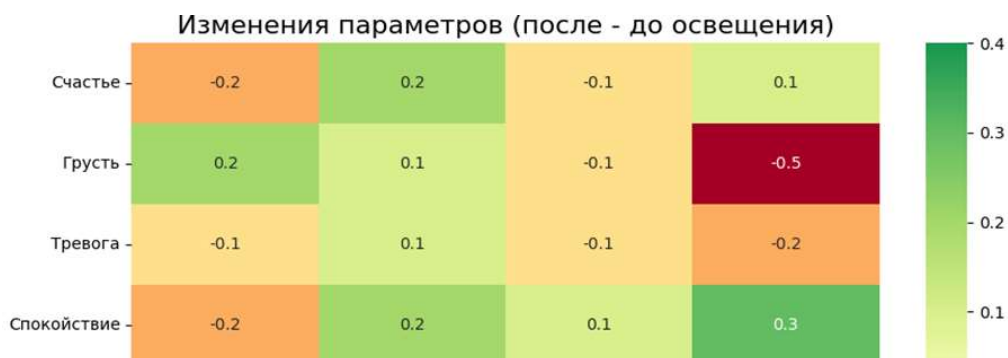


Рис. 3. Тепловая карта разницы до и после освещения

Цветовая температура 5000 K изначально связана с высоким уровнем сонливости (5,2 балла), который снижается после освещения. При 4000 K сонливость уменьшается с 4,3 до 4,0, указывая на положительный эффект. Температуры 3000 и 6000 K демонстрируют стабильность уровня сонливости.

Цветовая температура 5000 K повышала удовлетворенность участников на 0,4 единицы, что превышало показатели других режимов, но одновременно вызывала максимальное увеличение раздраженности. Режим 6000 K снижал грусть и раздражение, однако стимуляция энергии в этом случае была минимальной. Температура 4000 K обеспечивала умеренные положительные изменения: повышение спокойствия и удовлетворенности при незначительном снижении раздражения.

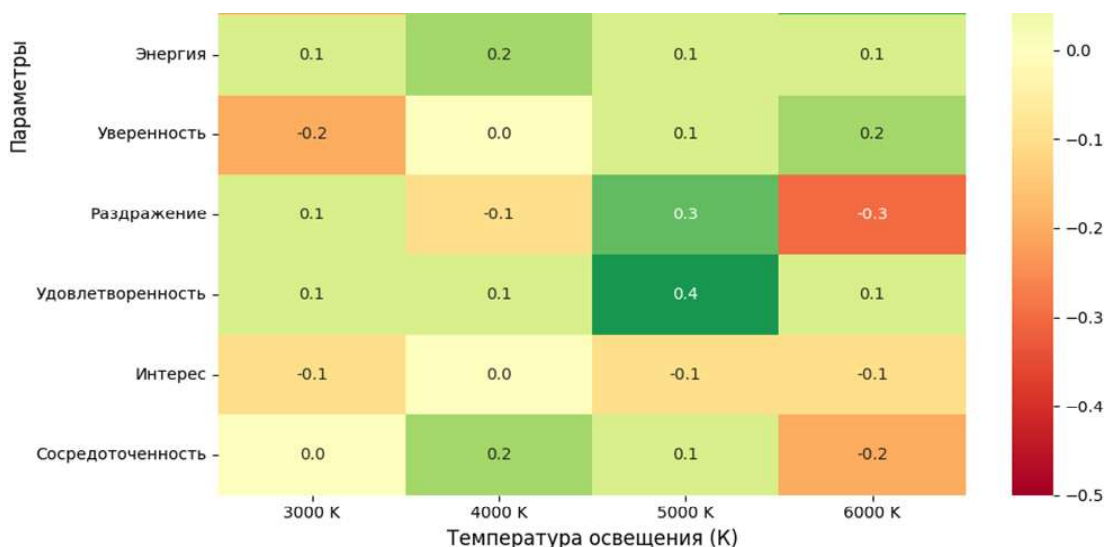


Рис. 4. Тепловая карта разницы до и после освещения (продолжение)

Обсуждение

При 2700 K зафиксировано снижение счастья, уверенности и спокойствия на 0,2, что согласуется с данными [1, 8], связывающими тёплый свет с расслабленностью, но не продуктивностью. 4000 K продемонстрировала умеренный рост счастья и спокойствия (+0,2), отсутствие влияния на уверенность и снижение сонливости на 9 %, подтверждая концепцию нейтрального света как баланса комфорта и бодрствования [4, 5]. 5000 K обеспечила наибольший рост удовлетворённости (+0,4), уверенности (+0,1) и спокойствия (+0,1). Однако увеличение раздражения (+0,3) указывает на возможный дискомфорт, что согласуется с исследованиями стимуляции холодным светом [2, 8].

Снижение сонливости на 17 % соответствует эффекту подавления мелатонина [8]. 6000 K снизила грусть (-0,5) и раздражение (-0,3), но ухудшила сосредоточенность (-0,2) при росте сонливости (+3 %), что противоречит ряду работ [4, 8] и требует изучения нелинейных реакций на высокие цветовые температуры.

Выводы

Анализ выявил дифференцированное влияние цветовой температуры на эмоциональное состояние, зависящее от типа реакции и диапазона. В зоне 5000–6000 K наблюдается нелинейность: сочетание позитивных эмоций (снижение грусти, раздражения) с когнитивным дисбалансом (ухудшение внимания), что исключает универсальную оптимальную температуру. Эффективность

освещения определяется взаимодействием когнитивной активации, эмоционального состояния и индивидуальных предпочтений. Проектирование световых сред должно учитывать не только физиологические показатели (уровень сонливости), но и субъективный комфорт, а также специфику задач. Комплексный подход, балансирующий стимуляцию внимания, эмоциональное благополучие и персонализацию, создает основу для разработки динамических адаптивных систем, способных минимизировать усталость и поддерживать продуктивность в зависимости от контекста использования.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-28-20162, <https://rscf.ru/project/25-28-20162/> и гранта в форме субсидии, выделяемого Департаментом по научно-технологическому развитию и инновационной деятельности Томской области (Соглашение №02/7/2025).

Список литературы

1. *Pak, H.* The Effects of Lighting Color Temperature and Illuminance on Psychophysiological Responses in Vehicle Passengers during Various Activities / Hyensou Pak, Chan-Su Lee // Journal of The Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers. – 2018. – Vol. 32, № 1. – P. 31.
2. *Hadji, S.* The Effects of Light Correlated Color Temperature and Illuminance Level on Mood States in Offices / Sarra Hadji, Lulu Xia, Li Lan [et al.] // Advances in Intelligent Systems and Computing. – Springer, 2019. – P. 1023–1030.
3. *Chen, M.* The Effect of the Colour Temperature of Morning Light Exposure on Wellbeing / Mengyuan Chen, Stephen Westland // Proceedings of the 12th International Symposium on Light in Architecture. – 2019. – P. 45–50.
4. *Khanh, T. Q.* Colour Quality and Psychophysical–Emotional Aspects: Laboratory Experiments / Tran Quoc Khanh, Peter Zsolt Bodrogi, Trinh Quang Vinh // Human-Centric Lighting: Principles and Applications. – Wiley, 2023. – P. 123–145.
5. *Chen, R.-X.* Effect of Color Temperature and Illuminance on Psychology, Physiology, and Productivity: An Experimental Study / Rui-xiang Chen, Meng-Chun Tsai, Yaw-Shyan Tsay // Energies. – 2022. – Vol. 15, № 12. – P. 4477.

6. СП 52.13330.2016. Освещение зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 / Минстрой России. – М., 2016. – 57 с.
7. Шачнева П. В., Колесникова В. А. Осветительная установка для улучшения условий труда работников офиса // Наука. Технологии. Инновации: сборник научных трудов в 8 ч. Часть 3. – Новосибирск: Изд-во НГТУ. – 2025. – С. 111–114
8. Souman J.L., Tinga A.M., Te Pas S.F., van Ee R., Vlaskamp B.N.S. Acute alerting effects of light: A systematic literature review // Behavioural Brain Research. – 2018. – Vol. 337. – № 1. – P. 228–239.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ ОСВЕЩЕНИЯ НА ЗРИТЕЛЬНУЮ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ И УТОМЛЕНИЕ ПРИ РАБОТЕ ЗА НАСТОЛЬНЫМ КОМПЬЮТЕРОМ

*Гусев А.В., студент; Кистенёва А.В., ст. преподаватель
Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва*

STUDY OF THE INFLUENCE OF LIGHTING CONDITIONS ON VISUAL PERFORMANCE AND FATIGUE WHEN WORKING AT A DESKTOP COMPUTER

*Guseev A. V., student; Kisteneva A. V., Senior Lecturer
National Research University «Moscow Power Engineering Institute»,
Moscow*

Аннотация

Проведено экспериментальное исследование, позволяющее оценить влияние соотношения яркости экрана ноутбука и яркости фона за экраном на зрительную работоспособность (ЗРС) и утомление (ЗУ) в условиях, имитирующих домашнюю рабочую среду. В эксперименте использовалась программа *Test Vision* для оценки ЗРС и ЗУ у 14 испытуемых при трех режимах освещения: 1) отсутствие освещения (яркость фона 0 кд/м²); 2) равенство яркостей экрана и фона (238 кд/м²); 3) повышенная яркость фона (432 кд/м²) [1–3]. Для создания освещения фона использовался настольный светильник с возможностью изменения положения в пространстве, коррелированной цветовой температуры (КЦТ) и светового потока. При проведении исследования коррелированная цветовая температура составляла 4200 К. Результаты показали, что при выполнении лёгких зрительных задач, таких как поиск и просмотр информации в интернете, за небольшой промежуток времени (не более 30 минут) зрительное утомление снижается, а зрительная работоспособность увеличивается. Наибольшее снижение зрительного утомления зафиксировано в режимах 2 и 3 (у 71 % испытуемых). Максимальный прирост ЗРС (93 % участников) достигнут при фоновой яркости 432 кд/м². Разработаны рекомендации по использованию регулируемых настольных ламп для оптимизации домашних рабочих мест.

Abstract

An experimental study has been carried out to assess the effect of the ratio of laptop screen brightness and background brightness behind the screen on

visual performance (VD) and fatigue (LW) in conditions simulating a work environment at home. In the experiment, the Test Vision program was used to assess the air defense systems and memory in 14 subjects under three lighting modes: 1) no lighting (background brightness 0 cd/m²); 2) equality of screen and background brightness (238 cd/m²); 3) increased background brightness (432 cd/m²). For background lighting a table lamp with the ability to change position in space, correlated color temperature and luminous flux was used. During the study, the correlated color temperature was 4200 K. The results showed that when performing light visual tasks, such as searching and viewing information on the Internet, in a short period of time (no more than 30 minutes), visual fatigue decreases, and visual performance increases. Maximum VF reduction occurred in conditions 2 and 3 (71 % of subjects). The greatest reduction in visual fatigue was recorded in modes 2 and 3 (in 71 % of the subjects). The maximum increase in the air defense system (93 % of participants) was achieved with a background brightness of 432 cd/m². Recommendations for the use of adjustable desk lamps have been developed to optimize home workspaces.

Ключевые слова: зрительное утомление, зрительная работоспособность, освещение рабочего места, настольные лампы.

Keywords: visual fatigue, visual performance, workplace lighting, desk lamps.

Введение

Рост времени работы человека за экраном компьютера неизбежно приводит к увеличению нагрузки на зрительную систему, что может приводить к повышению зрительного утомления, снижению зрительной работоспособности, что в свою очередь снижает эффективность работы. Систематическая повышенная нагрузка может приводить к постепенному снижению остроты зрения, головным болям и другим нежелательным последствиям [4]. Условия освещения рабочего места непосредственно влияют на эффективность зрительной работы. При проектировании освещения в офисах и учебных аудиториях учитываются нормативные документы (ГОСТ Р 50948-2001, ГОСТ Р ИСО 9241-8-2007) [5–6], которые регламентируют освещенность на рабочем месте. В последнее время все больше людей работают в домашних условиях, при этом условия освещения в большинстве случаев не контролируются и не учитывают физиологию зрительной работы. Цель проведения исследования состояла в оценке влияния

параметров освещения на ЗРС и ЗУ при работе за ноутбуком в условиях, близких к типовым домашним и разработке практических рекомендаций для создания освещения такой среды.

Методы исследования

Для проведения исследования была создана экспериментальная установка с типовыми условиями работы за домашним ноутбуком. При помощи настольного осветительного прибора были созданы два режима освещения, третий режим соответствовал работе без искусственного освещения. С помощью ПО *Test Vision* проводились измерения зрительной работоспособности (точность и скорость реакции при обнаружении изменений в тексте) и зрительное утомление (метод яркостной адиспаропии).



Рис.1. Внешний вид экспериментальной установки

В исследовании приняли участие 14 испытуемых (студенты НИУ «МЭИ») без офтальмологических патологий.

Используемое оборудование:

- ноутбук с фиксированной яркостью экрана (238 кд/м^2);
- светодиодная настольная лампа с регулируемым световым потоком (5 уровней: 20–100 %) и КЦТ (5 значений: 3000–6500 K), а также наличием поворотного механизма;
- спектрогониофотометр *Viso LabSpion*;
- люксметр ТКА-ПКМ 09;
- яркомер *LS-110*.

Процедура тестирования включала данную последовательность:

- адаптация к условиям освещения (5–10 минут) во время проведения инструктажа;
- исходные измерения ЗУ и ЗРС в программе *Test Vision* (7,5 минут);

- выполнение задач, имитирующих ненапряжённую работу за ноутбуком (15 минут);
- контрольные измерения ЗУ и ЗРС после нагрузки (7,5 минут).

Все респонденты подписывали согласие на участие в исследовании. Эксперимент проводился в разные дни и в разное время. В один день участники могли пройти только одну сессию.

Результаты

Результаты эксперимента показали, что условия освещения, при которых яркость фона равна или больше яркости экрана в краткосрочный период времени (не более 30 минут) способствуют улучшению показателей качества зрительной работы. Зрительное утомление снизилось у 71 % участников при режимах освещения 2 и 3. На рис. 2 представлена гистограмма, которая иллюстрирует процентное соотношение участников эксперимента с улучшением ($\uparrow$) или ухудшением ($\downarrow$) показателей ЗУ после работы за ноутбуком в трёх режимах освещения:

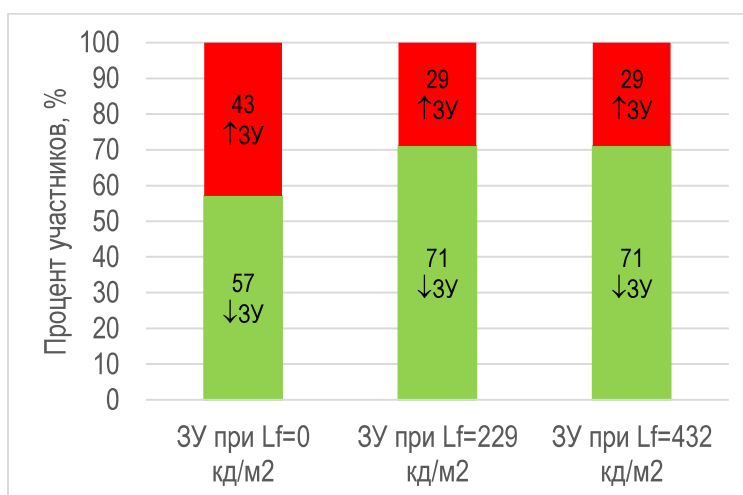


Рис. 2. Распределение участников эксперимента по динамике зрительного утомления (ЗУ) в зависимости от режима освещения ($\uparrow$ ЗУ — зрительное утомление повысилось; $\downarrow$ ЗУ — зрительное утомление понизилось)

Зрительная работоспособность повысилась у 64 % участников при режиме освещения 2 и у 93 % участников при режиме освещения 3. На рис. 3 представлена гистограмма, которая иллюстрирует процентное соотношение участников эксперимента с повышением ($\uparrow$) или снижением ($\downarrow$) показателей ЗРС после работы за ноутбуком в трёх режимах освещения:

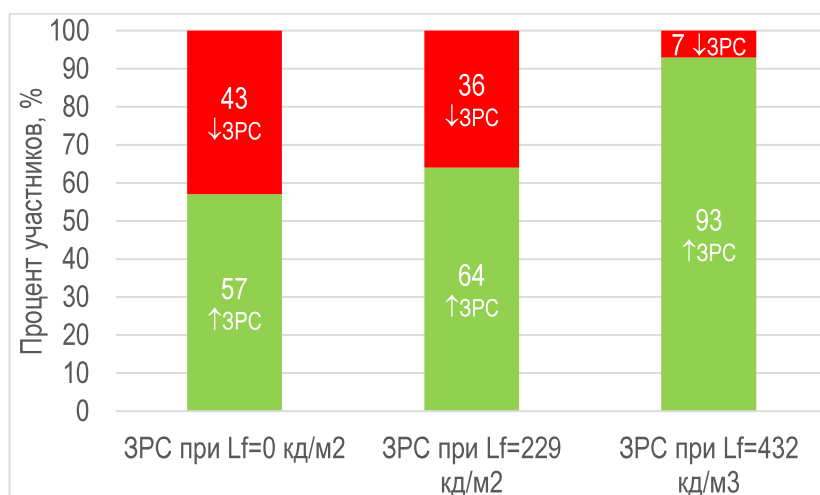


Рис. 3. Распределение участников эксперимента по динамике зрительной работоспособности (ЗРС) в зависимости от режима освещения (↑ЗРС — зрительная работоспособность повысилась; ↓ЗРС — зрительная работоспособность понизилась)

Обсуждение

Снижение процента ошибок в *Test Vision* к концу тестирования свидетельствует об улучшении зрительной работоспособности, что может быть связано как с адаптацией к нагрузке, так и с позитивным влиянием яркого фона на концентрацию внимания. Динамика времени реакции при измерении зрительного утомления для 3 режима, показала, что у большинство испытуемых ЗУ уменьшилось, что говорит о восстановительном эффекте при работе.

Физиологическое обоснование оптимального режима ($L_f=432$ кд/м²): сужение зрачка увеличивает глубину резкости, снижая нагрузку на аккомодационный аппарат и активируя колбочки.

Для создания наиболее комфортных условий освещения, рекомендуется использовать осветительные приборы, имеющие:

- 1) возможность регулировки светового потока, обеспечивающий освещенность на фоне за экраном монитора;
- 2) КЦТ приближенной к 4000 К;
- 3) наличие поворотного механизма с матовым рассеивателем, для направления на стену (фон) и равномерного освещения фона.

Перспективы дальнейших исследований:

- изучение долгосрочных эффектов (более 30 минут) рекомендованных режимов освещения;
- исследование параметров при имитации реальной рабочей нагрузки (интенсивная зрительная работа);

- оценка воздействия на ЗРС и ЗУ смены типа деятельности — переходе от ненапряжённых задач к напряжённой когнитивной работе;
- расширение выборки испытуемых с разделением на группы по возрасту, наличию офтальмологических патологий и профессиональной специализации.

Выводы

1. Наибольшее снижение зрительного утомления достигается при фоновом освещении (режимы 2 и 3; 71 % испытуемых).
2. Максимальный прирост зрительной работоспособности (93 %) зафиксирован при яркости фона 432 кд/м² (в 1,8 раза выше яркости экрана).
3. Для домашних рабочих мест рекомендованы настольные лампы с регулируемым световым потоком и КЦТ, направленные на стену для создания равномерно освещенного фона.
4. Нормативы для офисных помещений (ГОСТ) требуют актуализации с учётом специфики домашней среды и современных дисплеев.

Список литературы

1. Атаев А.Е., Бынина М.В., Снетков В.Ю. Определение визуальных параметров средств отображения информации // Вестник Московского энергетического института. – 2012. – № 2. – С. 122–124. – EDN OXOMZB.
2. Кудрякова С.М., Снетков В.Ю. Исследование зрительной работоспособности при работе с текстом на цветном фоне // Светотехника. – 2016. – № 2. – С. 48–51. – EDN VVWOPV.
3. Лебедкова С.М., Пантелеева Н.С., Степанова И.В. Влияние цветового оформления рабочего места на зрительную работоспособность // Светотехника. – 2015. – № 4. – С. 34–38. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17682699> (дата обращения: 05.03.2025).
4. Соколов И.А. Зрительное утомление в современных условиях и пути его профилактики / И.А. Соколов, Н.Ю. Малькова // Медицина труда и промышленная экология. – 2018. – № 5. – С. 39–43. – URL: <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2018-5-39-43> (дата обращения: 05.03.2025).

5. ГОСТ Р ИСО 9241-8-2007 Эргономические требования к проведению офисных работ с использованием видеодисплейных терминалов. Часть 8. Требования к отображаемым цветам. – Введ. 2009-01-01. – М. : Стандартиформ, 2008. – 20 с.
6. ГОСТ Р 50948-2001 Средства отображения информации индивидуальные. Общие эргономические требования и требования безопасности. – Введ. 2002-07-01. – М. : Стандартиформ, 2001. – 27 с.

ВЛИЯНИЕ ОСВЕЩЕНИЯ С ИЗМЕНЯЕМЫМ СПЕКТРАЛЬНЫМ СОСТАВОМ НА ЗРИТЕЛЬНОЕ УТОМЛЕНИЕ

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

EFFECT OF VARIABLE SPECTRUM LIGHTING ON VISUAL FATIGUE

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

Аннотация

В работе рассмотрено влияние белого освещения с добавлением цветного на зрительное утомление и зрительную работоспособность человека в условиях офисной работы. Исследование выполнено с акцентом на периферийное воздействие цветного света, не изменяющее параметры освещения в зоне выполнения зрительной работы. Создана экспериментальная установка на базе светодиодных RGB лент и разработано программное обеспечение, включающее тесты на зрительную работоспособность и зрительное утомление, а также разработано анкетирование до и после воздействия. Проведён эксперимент с участием 18 человек, результаты которого показали, что внедрение цветных сценариев освещения, основанных на природных явлениях, позволяет повысить зрительную работоспособность на 15 % и снизить уровень зрительного утомления на 30 %. Полученные данные показывают, что данное решение может положительно влиять на человека при воздействии таких сценариев в течение часа, однако при более длительном влиянии необходимо провести дополнительные исследования.

Abstract

The paper examines the effect of white lighting with the addition of color on visual fatigue and visual performance in office work. The study was carried out with an emphasis on the peripheral usage of colored light that does not change the lighting parameters of the visual task area. An experimental setup based on RGB LED strips was created and software was developed that included tests for visual performance and visual fatigue, as well as a questionnaire before and after testing. An experiment was conducted with the participation of 18 people, the results of which showed that the introduction of color lighting scenarios based on natural phenomena can increase visual performance by 15 % and reduce the level

of visual fatigue by 30 %. The data obtained show that this solution can have a positive effect after a one hour exposure, but for longer periods, additional research is necessary.

Ключевые слова: зрительное утомление, зрительная работоспособность, цветное освещение, офисное освещение

Keywords: *visual fatigue, visual performance, colored lighting, office lighting*

Введение

В современном мире множество профессий связаны с постоянной работой в офисе при искусственном освещении, которое влияет не только на выполнение зрительных задач, но и на более тонкие психофизиологические процессы. В условиях отсутствия естественного освещения, особенно в северных регионах или в помещениях без окон, происходит ухудшение самочувствия, снижение продуктивности, рост утомления и дезориентации во времени суток. Наиболее остро это проявляется в ситуациях монотонной зрительной деятельности и длительной работы за компьютером [1].

Одним из решений данной проблемы является моделирование световой среды, имитирующей природные явления [2]. В данной работе исследуются воздействия на состояние зрительной системы человека за счёт добавления цветного света на стены и потолок, имитирующего разные фазы суток, без изменения освещенности и цветовой температуры основного освещения на рабочем месте.

Метод исследования

Эксперимент проводился в условиях специально организованного офисного пространства с возможностью управления освещением. Белое освещение с $T_{\text{ц}} = 3500 \text{ K}$ обеспечивалось подвесным светильником, в то время как *RGB* лента формировала цветную периферию. Общая схема экспериментальной установки представлена на рис. 1. За счёт применения управляемых драйверов и контроллера стандарта *DALI* было реализовано три сценария: утренний, дневной и вечерний, основанные на реальных изображениях неба (рис. 2а–в).

Для объективной оценки влияния использовались разработанные программы:

- тест на зрительное утомление (ЗУ), основанный на эффекте яркостной адиспаропии (рис. 3а);

- тест на зрительную работоспособность (ЗР), основанный на сравнении символьных строк (рис. 3б).

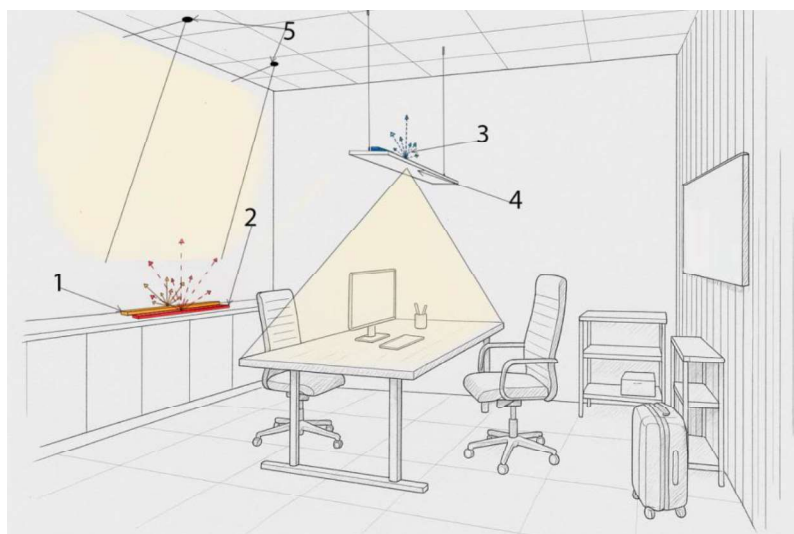


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1–3 — ленты RGB, 4 — подвесной светильник с коррелированной цветовой температурой 3500 К, 5 — светильники встраиваемые типа *WallWasher* с коррелированной цветовой температурой 3000 К для освещения стены



а)



б)



в)

Рис. 2. Сценарии освещения: утренний (а), дневной (б), вечерний (в)

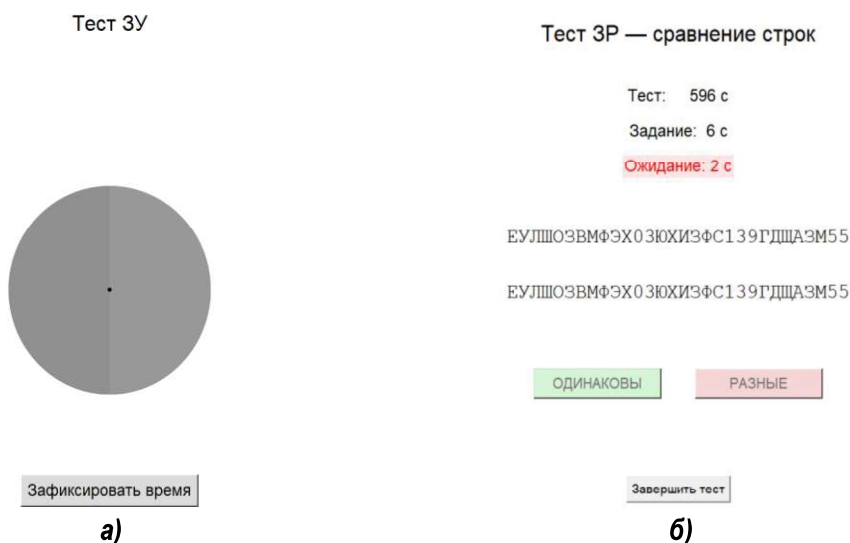


Рис. 3. Тесты а) на ЗУ и б) на ЗР

Для субъективной оценки использовалась анкета с развернутыми ответами и балльной оценкой.

Участников разделили на группы по сценариям. В каждой группе было по 6 участников. Перед тестированием проводился тренировочный режим. Все эксперименты проводились с закрытыми окнами без влияния естественного света.

Вначале испытуемые находились в белом свете, заполняли стартовую анкету со своими данными, затем проходили тренировочный тест. После этого приступали к выполнению теста на ЗУ, далее тест на ЗР и заключительный тест на ЗУ и анкетирование. После этого включался сценарий, соответствующий времени суток. Испытуемые полчаса отдыхали, затем также проходили тест на ЗУ, ЗР, ЗУ и заполняли анкеты по завершению теста.

Результаты

Средний прирост ЗР по утреннему сценарию составил 14 %, по дневному 15 %, а в вечернем наблюдалось увеличение на 16 %, хотя в последнем случае зафиксирован более выраженный разброс значений, вплоть до локального снижения ЗР у отдельных испытуемых (рис. 4). Это свидетельствует об индивидуальной вариативности реакций в конце рабочего дня, связанной с накопленной усталостью и разной степенью нагрузки в течение дня.

Снижение ЗУ оказалось особенно выраженным в утреннем и дневном сценариях — в среднем на 30–40 %, с максимальным

улучшением до 68 %. При этом в вечернем сценарии наблюдается большой разброс результатов, как и для ЗР.

Согласно анкетированию, большинство испытуемых отметили улучшение настроения, повышение комфорта и желания использовать подобное освещение в реальных условиях. Также, можно сказать, что свет не вызывал у людей каких-либо отрицательных эмоций, при этом помогал ориентироваться во времени суток.

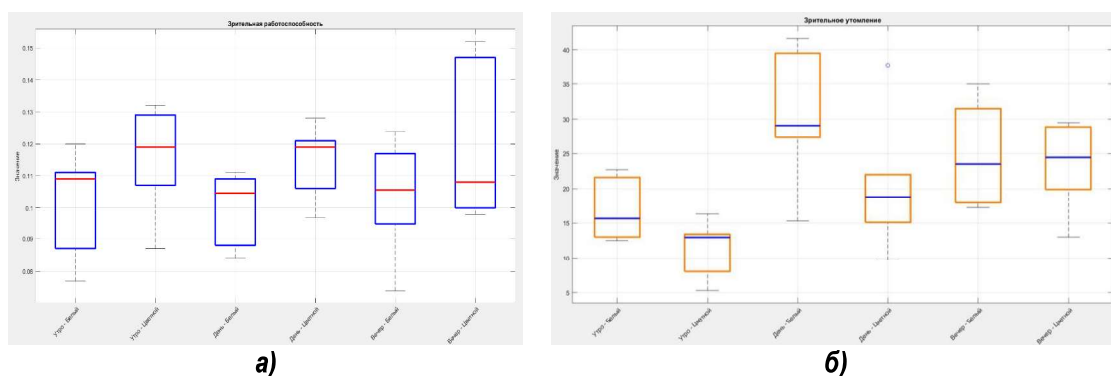


Рис. 4. Результаты тестов: «ящички с усами» а) для ЗР и б) для ЗУ

Из-за малой выборки использован непараметрический критерий Вилкоксона для парных сравнений. Все результаты статистически значимы, кроме показателей на ЗУ в вечернем сценарии.

Обсуждение

В утреннем и дневном сценариях использовалось освещение с выраженным коротковолновым (синим) компонентом спектра, что обеспечило устойчивое улучшение ЗР и снижение утомления. Эти результаты согласуются с положениями стандарта *DIN* [3], согласно которому коротковолновое излучение эффективно активирует внутриглазные фоторецепторы *ipRGCs*, способствует подавлению выработки мелатонина и повышает уровень бодрствования и концентрации.

Полученные данные также подтверждают результаты предыдущих исследований, проведенных на кафедре «Светотехника» МЭИ [4]. Однако важно учитывать, что чрезмерное или продолжительное воздействие насыщенного синего света может вызывать зрительное переутомление и потенциальный дискомфорт. Это подчеркивает необходимость балансировать стимулирующее действие с требованиями зрительного комфорта и зрительной безопасности, особенно при длительном применении световых сценариев.

Выводы

Средний прирост ЗР составил 14 % в утреннем сценарии, 15 % — в дневном и 16 % — в вечернем, при этом вечером отмечался значительный разброс, включая снижение у отдельных испытуемых. Это указывает на индивидуальные различия реакций в конце дня, связанные с усталостью и нагрузкой. Снижение ЗУ было выраженным утром и днем — в среднем на 30–40 %, максимум до 68 %. Вечером также наблюдалась высокая вариативность, как и по работоспособности. При этом статистическая проверка показала, что вечерние изменения уровня утомления незначимы.

Анкетирование подтвердило устойчивые ассоциации световых сценариев с фазами дня: утро — рассвет, день — ясное небо, вечер — закат. Это говорит о потенциальной ориентирующей роли освещения при недостатке естественного света.

Цветное освещение не вызывало негативных реакций, чаще приводило к улучшению работоспособности и снижению утомляемости. Однако из-за ограниченной продолжительности воздействия (около часа) необходимы дополнительные исследования, особенно по длительному влиянию.

Также установлено, что бумажный вариант теста на утомление более надежен и вызывает меньшую нагрузку, чем экранный, что следует учитывать в будущих экспериментах.

Список литературы

1. *Архангельский Д.В., Снетков В.Ю.* Исследование влияния света на зрительную работоспособность и утомление человека с учетом его циркадных ритмов // Вестник МЭИ. – 2012. – №6 – С. 34–38.
2. *Хоу Д., Линь Я., Лу Я., Луо М.Р.* Влияние спектральной настройки белого света на уровень внимания и качества сна // Светотехника. – 2021. – № 3. – С. 52–57.
3. DIN/TS 5031-100:2021-11. Optical radiation physics and illuminating engineering – Part 100: Non-visual Effects of ocular light on human beings. Quantities, symbols and action spectra. – Berlin: Beuth Verlag, 2015.
4. *Иванов Е.Ю.* Исследование зрительной работоспособности, утомления и невизуального действия света освещения: магистерская дис. – Москва, 2015. – 91 с.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ ОБЛУЧЕНИЯ МИКРОЗЕЛЕНИ В УСЛОВИЯХ ГИДРОПОНИКИ

*Грицаенко В.С., студент; Смирнов П.А., к.т.н., доцент
Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва*

EXPERIMENTAL RESEARCH ON IRRADIATION REGIMES OF MICROGREENS UNDER HYDROPONIC CONDITIONS

*Gritsaenko V.S., student; Smirnov P.A., Ph.D., Associate Professor
National Research University «Moscow Power Engineering Institute»,
Moscow*

Аннотация

Исследования влияния параметров облучения на рост и развитие микрозелени дайкона и усовершенствование режимов облучения с целью получения большего числа урожаев в единицу времени и полезной биомассы при минимальных затратах электроэнергии. Было проведено более 50 экспериментов по выращиванию микрозелени дайкона при различных режимах облучения с вариацией фотопериода, времени культивирования, длительности фаз облучения и темноты и отложенным (на 2–3 суток) началом облучения. Эксперименты проводились на гидропонной установке с сине-красными светодиодными облучателями. На основе экспериментальных данных разработана нейросетевая модель для прогнозирования параметров облучения (категориальный тип спектра; время выращивания, фотопериод, ч/сут), обеспечивающих заданную биомассу листьев (средняя абсолютная ошибка: фотопериод — 3,5 ч, время выращивания — 1,2 дня). В результате исследований было установлено: отложенный на 3 дня старт облучения сокращает энергопотребление на 42 % при незначительной потере урожайности (8–10 %). Наилучшие результаты по биомассе листьев микрозелени и энергоэффективности были получены при режиме с чередованием 6 ч облучения/6 ч темноты и отложенном старте облучения на 3 суток. Режимы с длительными непрерывными сеансами облучения (20–24 ч) демонстрируют наилучшие результаты по полезным биомассам и соотношению сухой массы к сырой.

Abstract

Studying the influence of irradiation parameters on the growth and development of daikon radish microgreens, improve lighting regimes to maximize yield frequency and high-quality biomass with minimal energy consumption. Over 50 experiments were conducted with daikon, varying photoperiods, cultivation time, delayed irradiation (by 2–3 days), and light/dark cycles. A neural network model was developed to predict optimal lighting parameters, demonstrating high accuracy. Key findings: Delayed irradiation start (3 days) reduced energy consumption by 42 % with minimal yield loss (8–10 %). The 6 h/6 h light/dark cycle with delayed irradiation showed the best balance of biomass yield and energy efficiency. Extended continuous light exposure (20–24 h) achieved superior biomass productivity and highest dry matter accumulation.

Ключевые слова: светокультура растений, микрозелень, режимы облучения, фотопериод, энергоэффективность, гидропонная установка, фотосинтетически активная радиация (ФАР), фотосинтетическая фотонная облученность (PPFD), светодиодные облучатели

Keywords: light-based cultivation, microgreens, irradiation regimes, photoperiod, energy efficiency, hydroponic system, photosynthetically active radiation (PAR), photosynthetic photon flux density (PPFD), LED grow lights

Введение

Рост численности населения и дефицит сельскохозяйственных ресурсов, особенно в северных широтах, обуславливают актуальность разработки методов растениеводства с применением дополнительного облучения. Одним из преимуществ таких технологий является возможность многоярусных посадок, что повышает продуктивность на единицу площади. Анализ литературы показал, что микрозелень редиса, выращенная при искусственном освещении, отличается более насыщенной окраской и улучшенными органолептическими свойствами. Максимальные сырые и сухие биомассы микрозелени редиса были отмечены при круглосуточном облучении [1]. Комбинация более низкого значения $PPFD$ ($180 \text{ мкмоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$) и длительного фотопериода (24 ч) обеспечивала большую биомассу салата, чем комбинация $PPFD$: $270 \text{ мкмоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ и фотопериод: 16 ч [2]. Таким образом, при усовершенствовании комбинации $PPFD$ и фотопериода стоит отдавать предпочтение увеличению количества часов облучения, а не уровня $PPFD$. При равной вегетационной дозе облучения

продуктивность растений определяется сочетанием *PPFD*, длительности фотопериода и времени вегетации, что требует комплексной оптимизации светового режима [3].

Целью исследований является изучение влияния параметров облучения на рост и развитие микрозелени дайкона и усовершенствование режимов облучения.

Авторы ставили перед собой задачу: на основе экспериментальных данных выявить зависимости между параметрами облучения и характеристиками микрозелени, проанализировать энергоэффективность и сформировать рекомендации по выращиванию микрозелени дайкона.

Методы исследования

Для исследований по выращиванию микрозелени была использована гидропонная установка с рециркуляцией питательного раствора с красными и синими светодиодами (рис. 1а, 1б). Среднее значение *PPFD* установки было рассчитано, исходя из измеряемого спектра и составляло $284 \text{ мкмоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$, значение было одинаковым для всех режимов облучения.

В качестве исследуемой культуры был выбран дайкон. Обусловлено это предварительным анализом, показавшим наивысший процент всхожести и максимальную площадь листьев среди тестируемых образцов, что обеспечивает объективную оценку влияния воздействия облучения на рост растений.



а)



б)

Рис. 1. Гидропонная установка для выращивания микрозелени дайкона: внешний вид (а), спектры установки (б)

При сборе урожая производилось взвешивание каждого растения, а также стеблей (осевой части побега до узла) и листьев с

использованием ювелирных весов с точностью до 0,01 г. Оценка площади листьев производилась по модели листа дайкона и измерениям длины и ширины листьев, также измерялась длина стеблей, сухая и сырая массы урожаев. Каждую неделю проводился контроль освещенности люксметром *LMT POCKET LUX-2* и контроль спектра облучателей портативным спектрометром *UPRtek MK350N* раз в месяц.

Исследовалось влияние фотопериода, режима облучения (длительность светлых и темных циклов, их количество, отложенный до появления всходов старт облучения), времени вегетации.

Результаты

Хотя поиски предпочтительного времени вегетации начинались с 14 дней, наиболее благоприятными были признаны варианты с продолжительностью выращивания не более 7 суток, до появления третьего настоящего листа, тогда первые семядольные листья, обладающие наибольшей питательной ценностью, были наиболее качественными. Масса листьев использовалась как наиболее значимый параметр для оценки качества урожая.

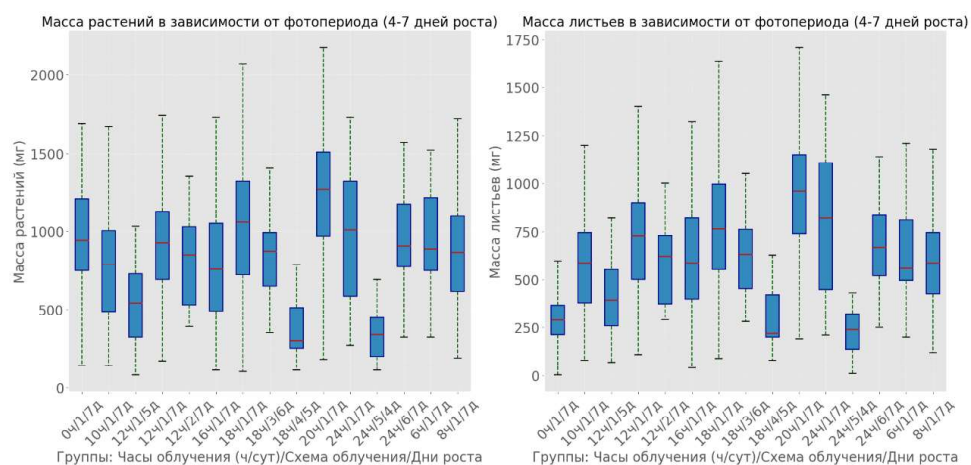


Рис. 2. Зависимость массы растений и массы листьев от фотопериода

Несмотря на то, что наиболее длительные фотопериоды обеспечивали наилучшие результаты по массам растений и листьев (рис. 2), эффективность преобразования световой энергии (выраженная как отношение биомассы листьев к суммарной продолжительности облучения) была существенно ниже по сравнению с другими режимами (рис. 3), поэтому было решено исследовать и нестандартные режимы облучения (рис. 3, 4).



Рис. 3. Зависимости параметров микрозелени от режимов облучения

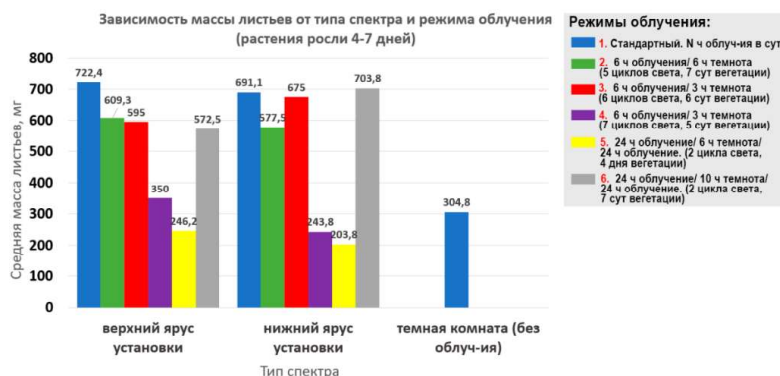


Рис. 4. Зависимость массы листьев от режимов облучения. Для режима 1 фотопериод составлял 16 ч/сут для верхнего и нижнего ярусов установки

На основании значительного объёма экспериментальных данных была разработана нейронная сеть, предназначенная для прогнозирования необходимых значений фотопериода, времени выращивания и типа спектра (категориальный параметр) с целью достижения заданной массы листьев. Тип модели — полносвязная с множественными выходами, функция активации — *ReLU*. Разделение данных: 80 % — обучение, 20 % — тестирование. Средняя абсолютная ошибка (*MAE*) для фотопериода составила 3,5 ч, для времени роста — 1,2 дня, точность определения типа спектра — 92 %. Была произведена оценка экономии электроэнергии при отложенном старте на 3 суток для 7 дней выращивания путём расчёта разницы (в %) между общим количеством часов облучения с 1-го дня и с 3-го. Выгода составила 42 % для стандартных фотопериодов *N* ч/сут.

Обсуждение

Результаты проведенных исследований демонстрируют значительное влияние режимов облучения на рост и развитие микрозелени дайкона, а также подтверждают возможность

усовершенствования энергопотребления без существенного снижения урожайности. Наши данные согласуются с выводами других исследований, посвященных светокультуре микрозелени, но также выявляют уникальные закономерности, требующие дальнейшего изучения. В работе Соболевой О.М. было показано, что круглосуточное облучение (24 ч) обеспечивает максимальную биомассу микрозелени редиса [1], что согласуется с нашими результатами для дайкона. Однако такой режим оказался наименее энергоэффективным. Обзор литературы также показал, что режим с 5 днями без света после прорастания, а затем облучением в течение 7 дней комбинированным спектром (85 % красного: 15 % синего, $PPFD$: $100 \text{ мкмоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$) с фотопериодом 24 часа способствовал росту гипокотыля у микрозелени подсолнечника и руколы, увеличивал продуктивность подсолнечника и снижал продуктивность и размер семядолей у руколы [4]. Недостаточные уровни $PPFD$ ($110 \text{ мкмоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$) могут подавлять нормальный рост микрозелени семейства крестоцветных, $PPFD$ от 330 до $440 \text{ мкмоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ приводила к увеличению площади листьев, а высокий уровень $PPFD$ $545 \text{ мкмоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ не оказал существенного положительного влияния на характеристики микрозелени [5].

Возможно продолжение изучения нестандартных режимов облучения, а также дополнительные эксперименты с непрерывным облучением 24 ч при более низком $PPFD$.

Выводы

Продолжительные фотопериоды (20–24 ч) обеспечивали максимальные показатели биомассы и соотношения сухой массы к сырой, но характеризовались низкой энергоэффективностью. Наилучшие результаты, учитывающие массу листьев и энергоэффективность, показала схема облучения с чередованием 6 часов облучения и 6 часов темноты в течение 7-ми дней культивирования. Применение отложенного старта облучения (на 3 суток) позволило снизить энергопотребление на 42 % при минимальном уменьшении урожайности (8–10 %).

Разработанная нейросеть продемонстрировала высокую точность прогнозирования параметров облучения (MAE : 3,5 ч для фотопериода, 1,2 суток для времени выращивания), что подтверждает её применимость в научных исследованиях.

Список литературы

1. Соболева О.М. Выращивание микрозелени крестоцветных в условиях светокультуры // Аграрный вестник Нечерноземья. – 2024. – №2(14). – С. 28–36.
2. Nathan Kelly, Daegeun Choe, Qingwu Meng, Erik S. Runkle Promotion of lettuce growth under an increasing daily light integral depends on the combination of the photosynthetic photon flux density and photoperiod // Scientia Horticulturae. – 2020. – №272.
3. Боос Г.В., Прикупец Л.Б., Терехов В.Г. Влияние дозы и времени облучения на продуктивность салатно-зеленных растений в условиях светокультуры // Светотехника. – 2022. – №4. – С. 4–9.
4. Kong Y., Zheng Y. Early-Stage Dark Treatment Promotes Hypocotyl Elongation Associated with Varying Effects on Yield and Quality in Sunflower and Arugula Microgreens. Can. J. Plant Sci. 2021, 101, 954–961.
5. Samuoliene G., Brazaityte A., Jankauskiene J., Viršile A., Sirtautas R., Novičkovas A., Sakalauskiene S., Sakalauskaite J., Duchovskis P. LED Irradiance Level Affects Growth and Nutritional Quality of Brassica Microgreens. Cent. Eur. J. Biol. 2013, 8, 1241–1249.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ УФ–ДЕЗИНФЕКЦИИ НА ОСНОВЕ БЕЗЭЛЕКТРОДНЫХ ЭКСИМЕРНЫХ ЛАМП

Железнов И.И., к.т.н., старший преподаватель

Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF UV DISINFECTION TECHNOLOGIES BASED ON ELECTRODELESS EXCIMER LAMPS

Zheleznov I.I., Ph.D., Senior Lecturer

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

Аннотация

В настоящей работе представлены результаты комплексного исследования безэлектродных эксимерных ламп с СВЧ-возбуждением на переходах *KrCl* (222 нм) и *XeBr* (283 нм) для систем обеззараживания воздуха и воды. Разработана оригинальная конструкция коаксиального СВЧ-резонатора с импульсным режимом накачки (2,45 ГГц), обеспечивающая стабильность разряда и КПД преобразования энергии до 9,1 %. Установлено, что *XeBr*-лампы демонстрируют на 30–40 % более высокую бактерицидную эффективность в отношении грамотрицательных микроорганизмов по сравнению с *KrCl*-лампами и традиционными ртутными лампами низкого давления (РЛНД) при сопоставимых энергозатратах. Это обусловлено оптимальным спектральным соответствием излучению *XeBr* (283 нм) пику поглощения ДНК (265 нм) и минимальным уровнем фотореактивации (<8 %). Проведен сравнительный анализ спектрально-энергетических характеристик, ресурса работы (деградация мощности на 12 % после 5000 часов эксплуатации) и экологической безопасности разработанных источников. Результаты подтверждают перспективность применения безэлектродных эксимерных ламп с СВЧ-возбуждением в качестве эффективной и экологически безопасной альтернативы ртутным лампам в системах очистки воздуха и воды.

Abstract

*The present paper presents the results of a comprehensive study of electrodeless excimer lamps with microwave excitation on the *KrCl* (222 nm) and *XeBr* (283 nm) transitions for air and water disinfection systems. An original design of a coaxial microwave resonator with a pulsed pumping mode (2.45 GHz) has been developed, providing discharge stability and an energy conversion*

efficiency of up to 9.1 %. It has been found that XeBr lamps demonstrate 30–40 % higher bactericidal efficiency against gram-negative microorganisms compared to KrCl lamps and traditional low-pressure mercury lamps (LPML) at comparable energy costs. This is due to the optimal spectral match of XeBr radiation (283 nm) to the DNA absorption peak (265 nm) and a minimum level of photoreactivation (<8 %). A comparative analysis of the spectral and energy characteristics, service life (power degradation by 12 % after 5000 hours of operation) and environmental safety of the developed sources was carried out. The results confirm the prospects of using electrodeless excimer lamps with microwave excitation as an effective and environmentally safe alternative to mercury lamps in air and water purification systems.

Ключевые слова: эксимерные лампы, СВЧ-возбуждение, УФ-дезинфекция, бактерицидная эффективность, фотореактивация, экологическая безопасность

Keywords: *excimer lamps, microwave excitation, UV disinfection, bactericidal efficiency, photoreactivation, environmental safety*

Введение

В последние годы вопросы обеззараживания воды и воздуха приобрели особую значимость. Рост населения, климатические изменения и интенсификация промышленной деятельности существенно снизили качество воздушной и водной среды, что повысило угрозу распространения инфекционных заболеваний. В этих условиях особую важность приобретает разработка инновационных решений с использованием бактерицидных ультрафиолетовых (УФ) излучателей. Несмотря на доминирующее положение ртутных ламп низкого давления (РЛНД) на рынке бактерицидных технологий, их применение сопряжено с рядом фундаментальных ограничений, включая наличие токсичной ртути в составе, что создает существенные проблемы утилизации в соответствии с требованиями Минаматской конвенции (2013 г.), а также явление фотореактивации микроорганизмов и ограниченный ресурс работы вследствие электродной деградации. Особый научный и практический интерес представляют безэлектродные эксимерные лампы с СВЧ-возбуждением, генерирующие узкополосное УФ-излучение на переходах эксимерных молекул (*KrCl*, *XeBr*) [1], которые обладают принципиальными преимуществами, такими как отсутствие электродной эрозии, возможность работы в импульсных режимах с высокой плотностью

мощности, быстрый выход ($\sim 3\text{--}5$ с) в рабочий режим и экологическая безопасность. Интерес к данной технологии подтверждается активными международными и отечественными исследованиями, направленными на оптимизацию параметров разряда и конструкций резонаторов [2, 3], а также на изучение их применения в различных областях, включая очистку окружающей среды [4, 5].

Тем не менее, несмотря на очевидный потенциал, в современной научной литературе до сих пор отсутствуют комплексные, статистически строгие сравнительные исследования бактерицидной эффективности различных типов эксимерных ламп (в частности, на переходах $KrCl$ и $XeBr$) в сопоставлении с традиционными РЛНД, особенно в части оценки ключевых для практического применения аспектов: механизмов и уровня фотореактивации поврежденных микроорганизмов, а также долгосрочной стабильности их спектрально-энергетических характеристик в условиях, релевантных для реальных систем обеззараживания воздуха и воды. Восполнение этого пробела является важной научной и практической задачей.

Метод исследования

Проведение экспериментальных исследований осуществлялось при помощи специализированного лабораторного комплекса [6], состоящего из СВЧ-генераторной системы на основе магнетрона с рабочей частотой 2,45 ГГц и регулируемой выходной мощностью в диапазоне 0–1000 Вт, характеризующегося коэффициентом стоячей волны по напряжению (КСВН) $< 1,5$ и возможностью работы в импульсном режиме с регулируемой скважностью от 1 до 100 %. Для возбуждения газового разряда предложен коаксиальный резонатор четвертьволнового типа с внутренним проводником диаметром 12 мм и внешним проводником диаметром 80 мм, оснащенный системой из восьми щелевых излучателей с шагом 25 мм и трехштырьковым тюнером для точной настройки резонансных характеристик (рис. 1).

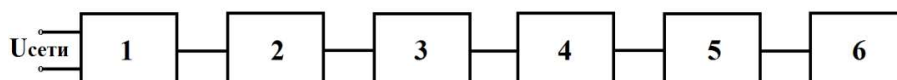


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной облучательной установки на основе эксимерной лампы. 1 – Источник питания, 2 – СВЧ-генератор, 3 – СВЧ-адаптер, 4 – СВЧ-тракт, 5 – СВЧ-возбудитель лампы, 6 – эксимерная лампа.

Газоразрядный модуль состоял из кварцевых колб длиной $200 \pm 0,5$ мм с внутренним диаметром $40 \pm 0,2$ мм и толщиной стенки

1,5±0,1 мм, подключенных к вакуумной системе, обеспечивающей остаточное давление менее 10⁻⁵ Торр. Для *KrCl*-ламп использовалась газовая смесь *Kr/Cl₂* в соотношении 200:1 при рабочем давлении 6,0±0,2 Торр, подготовка которой включала предварительную откачку до 10⁻⁵ Торр с последующим поэтапным введением компонентов и 30-минутной гомогенизацией при вращении колбы. *XeBr*-лампы заполнялись смесью *Xe/Br₂* в соотношении 100:1 при давлении 5,0±0,2 Торр с предварительным подогревом брома до 40°C для стабилизации давления паров и контролем состава масс-спектрометрическим методом. Диагностика параметров разряда осуществлялась с использованием калориметрического метода измерения СВЧ-мощности с погрешностью ±1,5 %, осциллографа *Tektronix DPO4104* (1 ГГц) для контроля параметров разряда, СВЧ-детекторов в диапазоне 1–3 ГГц и метода рефлектометрии для измерения импеданса. Оптические характеристики исследовались при помощи спектрометра *Ocean Insight HDX* с разрешением 0,5 нм в диапазоне 200–400 нм, калиброванного по стандартным источникам *NIST*, и радиометра *ILT1700* с термопарным детектором для измерения мощности УФ-излучения в диапазоне 200–280 нм с погрешностью ±3 % [7]. Оценка бактерицидной эффективности проводилась на тест-культурах *Escherichia coli* ATCC 25922, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 и *Bacillus subtilis* ATCC 6633, подготовленных в виде суспензий с концентрацией 10⁶ КОЕ/мл в физрастворе с контролем исходной концентрации клеток по оптической плотности (*OD*₆₀₀). Облучение осуществлялось в камере объемом 1 м³ при контролируемых условиях (23±1°C, 45±5 % *RH*) с системой аэрации для равномерного распределения аэрозоля и фиксированным расстоянием до источника 50±1 см, при вариации доз от 1 до 500 Дж/м² с контролем экспозиции с шагом 1 с. Анализ выживаемости микроорганизмов включал посев на селективные питательные среды (агар МакКонки для грамотрицательных и маннитол-солевой агар для грамположительных штаммов) с последующей 24-часовой инкубацией при 37°C и подсчетом колониеобразующих единиц (КОЕ) в соответствии с [8]. Исследование фотореактивации проводилось путем разделения облученных образцов на контрольную (инкубация в темноте при 37°C) и экспериментальную (при освещенности 200 лк) группы с последующей 24-часовой инкубацией и контролем в временных точках 0, 6, 12 и 24 ч. Количественная оценка включала подсчет КОЕ через 24 ч и расчет

процента реактивированных клеток, качественная – микроскопию с окрашиванием по Граму и анализ морфологических изменений. Статистическая обработка данных проводилась с использованием однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA), критерия Стьюдента с поправкой Бонферрони при уровне значимости $p < 0,05$, расчета доверительных интервалов (95 %) и построения регрессионных моделей в программном пакете *OriginPro* 9.1. Все эксперименты выполнялись в пяти повторностях с ежедневной калибровкой измерительного оборудования, использованием контрольных образцов в каждой серии, слепым методом оценки микробиологических проб и внешним аудитом методик аккредитованной лабораторией для обеспечения достоверности результатов.

Результаты и их обсуждение

Результаты проведенного исследования продемонстрировали существенные различия в характеристиках исследуемых источников УФ-излучения (табл. 1).

Таблица 1. Сравнение параметров ламп

Параметр	<i>KrCl</i> (222 нм)	<i>XeBr</i> (283 нм)	РЛНД (253,7 нм)
Мощность УФ, Вт	$45,2 \pm 2,3$	$52,1 \pm 2,6$	$58,0 \pm 3,0$
КПД преобразования, %	$8,2 \pm 0,4$	$9,1 \pm 0,5$	$12,5 \pm 0,6$
Давление наполняющей колбы смеси, Торр	6,0	5,0	0,01
Температура колбы, °С	85 ± 5	78 ± 4	40 ± 2

Экцимерная лампа *XeBr* (283 нм) показала максимальную выходную мощность УФ-излучения $52,1 \pm 2,6$ Вт при КПД преобразования СВЧ-энергии $9,1 \pm 0,5$ %, что на 15% превышает аналогичные показатели *KrCl*-лампы ($45,2 \pm 2,3$ Вт при КПД $8,2 \pm 0,4$ %). Превышение мощности *XeBr*-лампы объясняется более высокой эффективностью образования эксиплексов в газовой смеси *Xe/Br₂* (0,3/0,1 Торр) по сравнению с *Kr/Cl₂* (0,2/0,05 Торр), а также меньшими потерями энергии на реабсорбцию излучения с длиной волны 283 нм. Оба типа эксимерных ламп уступали по энергетической эффективности традиционной РЛНД ($58,0 \pm 3,0$ Вт при КПД $12,5 \pm 0,6$ %), что связано с более совершенной технологией преобразования энергии в ртутных лампах, однако при импульсном режиме накачки (скважность 50 %, частота 100 Гц) разница в КПД сокращалась до 1,5–2 %. Термографические исследования показали, что температура кварцевой

колбы в установившемся режиме составляла $78 \pm 4^\circ\text{C}$ для *XeBr*-лампы и $85 \pm 5^\circ\text{C}$ для *KrCl*-лампы, что существенно выше, чем у РЛНД ($40 \pm 2^\circ\text{C}$), но не превышало критических значений для кварцевого стекла. Спектральные измерения подтвердили узкополосный характер излучения эксимерных ламп: полуширина спектральной линии составила 4 нм для *KrCl* (222 ± 2 нм) и 6 нм для *XeBr* (283 ± 3 нм), что в 3–5 раз уже, чем у РЛНД (основная линия 253,7 нм с полушириной 15 нм). Анализ бактерицидной эффективности выявил значительные различия в чувствительности микроорганизмов к разным типам излучения (табл.2).

Таблица 2. Дозы инаktivации $D_{99\%}$ для различных микроорганизмов

Штамм	Доза (Дж/м ²)		
	<i>KrCl</i>	<i>XeBr</i>	РЛНД
<i>E. coli</i>	85	60	55
<i>S. aureus</i>	370	150	130
<i>P. aeruginosa</i>	110	70	65
<i>B. subtilis</i>	190	120	100

Для грамотрицательных бактерий (*Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*) *XeBr*-лампа показала на 30–40 % более высокую эффективность по сравнению с *KrCl*-лампой и РЛНД: доза инаktivации $D_{99\%}$ составила 60 Дж/м² для *E. coli* и 70 Дж/м² для *P. aeruginosa*, тогда как для *KrCl*-лампы соответствующие значения были 85 и 110 Дж/м², а для РЛНД — 55 и 65 Дж/м². Столь высокая эффективность *XeBr*-излучения (283 нм) объясняется его оптимальным спектральным соответствием с пиком поглощения ДНК (265 нм) — перекрытие спектров составило 45 %, в то время как для *KrCl* (222 нм) этот показатель равен 30 %, а для РЛНД (253,7 нм) — 60 %. Парадоксально, но несмотря на «лучшее» спектральное соответствие, РЛНД уступала *XeBr*-лампе по бактерицидной эффективности, что объясняется двумя факторами: во-первых, явлением фотореактивации, которое для РЛНД достигало 18 % через 24 часа инкубации, тогда как для *XeBr*-лампы не превышало 8 %, а во-вторых, более равномерным пространственным распределением УФ-излучения в случае СВЧ-возбуждения. Для грамположительных микроорганизмов (*Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*) требуемые дозы облучения были значительно выше: 150 Дж/м² для *S. aureus* и 120 Дж/м² для *B. subtilis* при использовании *XeBr*-лампы, 370 и 190 Дж/м² для *KrCl*-лампы, 130 и 100 Дж/м² для РЛНД соответственно. Такое различие объясняется наличием толстой

пептидогликановой стенки у грамположительных бактерий, создающей дополнительный барьер для проникновения УФ-излучения. Исследование фотореактивации показало, что после 24-часовой инкубации в условиях освещения (300–500 нм, 200 лк) процент реактивированных клеток для *XeBr*-лампы составил $8 \pm 1,2$ %, для *KrCl*-лампы — менее $5 \pm 0,8$ %, тогда как для РЛНД этот показатель достигал $18 \pm 2,5$ %. Столь существенное различие объясняется тем, что излучение *XeBr* и особенно *KrCl* вызывает более значительные повреждения ДНК (преимущественно димеры тимина), которые труднее репарируются ферментными системами микроорганизмов. Дополнительные эксперименты по определению ресурса работы показали, что после 5000 часов непрерывной эксплуатации мощность УФ-излучения *XeBr*-лампы снизилась на $12 \pm 1,8$ %, *KrCl*-лампы — на $15 \pm 2,1$ %, тогда как у РЛНД аналогичный показатель составил $25 \pm 3,2$ %, что подтверждает преимущество безэлектродной конструкции.

Проведенные исследования демонстрируют, что разработанные безэлектродные эксимерные лампы с СВЧ-возбуждением, особенно *XeBr*-типа, превосходят традиционные РЛНД по совокупности параметров: бактерицидной эффективности (особенно в отношении грамотрицательных микроорганизмов), стабильности характеристик, ресурсу работы и экологической безопасности, что делает их перспективными для использования в современных системах обеззараживания.

Однако, в настоящий момент, для широкого коммерческого внедрения безэлектродных эксимерных ламп с СВЧ-возбуждением, все еще необходимо решение ряда технологических задач. Ключевыми вызовами остаются более высокая стоимость системы по сравнению с традиционными РЛНД, обусловленная необходимостью использования СВЧ-генератора и прецизионного резонатора, а также оптимизация состава и давления газовых смесей, особенно содержащих галогены (Cl_2 , Br_2), что требует тщательного контроля для обеспечения стабильности характеристик и длительного ресурса.

Выводы

Проведенные исследования убедительно демонстрируют, что безэлектродные эксимерные лампы с СВЧ-возбуждением представляют собой перспективную альтернативу традиционным ртутным источникам УФ-излучения в системах обеззараживания. Предложенная конструкция коаксиального СВЧ-резонатора с импульсным режимом

накачки на частоте 2,45 ГГц обеспечивает стабильность газового разряда и эффективность преобразования энергии до 9,1 % для *ХеВr*-ламп (283 нм), что по своим характеристикам приближается к показателям ртутных ламп низкого давления в импульсном режиме работы. Особого внимания заслуживает выявленная высокая бактерицидная эффективность *ХеВr*-ламп, которая на 30–40 % превышает аналогичные показатели *KrCl*-ламп (222 нм) и традиционных РЛНД при сопоставимых энергозатратах. Данный эффект обусловлен тремя ключевыми факторами: оптимальным спектральным соответствием (45 %) излучению *ХеВr* пику поглощения ДНК (265 нм), минимальным уровнем фотореактивации (<8 %) и равномерным пространственным распределением УФ-излучения. Результаты ресурсных испытаний подтвердили преимущества безэлектродной конструкции — после 5000 часов непрерывной эксплуатации деградация мощности УФ-излучения составила всего $12 \pm 1,8$ % для *ХеВr*-ламп и $15 \pm 2,1$ % для *KrCl*-ламп, что существенно ниже аналогичного показателя для РЛНД ($25 \pm 3,2$ %). Важнейшим достоинством разработанных источников является их экологическая безопасность, отсутствие токсичных компонентов и полное соответствие требованиям Минаматской конвенции, что делает их чрезвычайно перспективными для широкого внедрения в системы водо- и воздухоочистки. Полученные результаты открывают новые направления для дальнейших исследований, включая оптимизацию состава и давления рабочих газовых смесей, совершенствование конструкции резонаторных систем, разработку энергоэффективных схем управления и расширение спектра применения в различных технологических процессах. Представленная технология обладает значительным потенциалом для создания современных систем УФ-дезинфекции нового поколения, которые сочетают в себе высокую эффективность, длительный ресурс работы и экологическую безопасность, что особенно актуально в условиях ужесточения экологических норм и требований к системам обеззараживания.

Список литературы

1. Авдеев С.М., Величевская К.Ю., Лаврентьева Л.В. Анализ бактерицидного действия излучения эксимерных и эксиплексных ламп // Светотехника. 2008. № 4. С. 41–45.

2. *Kogelschatz U.* Dielectric-barrier discharges: their history, discharge physics, and industrial applications. // *Plasma Chemistry and Plasma Processing*. – 2003. – Vol. 23, № 1. – P. 1–46.
3. *Sosnin E.A., Oppenländer T., Tarasenko V.F.* Applications of capacitive and barrier discharge excilamps in photoscience. // *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*. – 2006. – Vol. 7, № 4. – P. 145–163.
4. *Gomez-Lopez V.M., Koutchma T., Linden K.* Ultraviolet and Pulsed Light Processing of Fluid Foods // *Novel Thermal and Non-Thermal Technologies for Fluid Foods*. – Academic Press, 2012. – P. 185–223.
5. *Zheleznov I.I., Popov O.A.* Electrodeless source of UV radiation based on low pressure microwave mercury discharge // *Light & Engineering*. 2023. Vol. 31, No. 3. P. 36-42.
6. *Железнов И.И., Попов О.А.* Исследование излучательных и спектральных характеристик источников УФ излучения на основе коаксиальных СВЧ-разрядов в парах ртути низкого давления // *Вестник Московского энергетического института. Вестник МЭИ*. – 2023. – № 2. – С. 137–143.
7. *Киреев С.Г., Архипов В.П., Шашковский С.Г., Козлов Н.П.* Измерение спектрально-энергетических характеристик импульсных источников излучения сплошного спектра // *Фотоника*. 2017. Т. 6, № 8. С. 48–56.
8. ГОСТ Р 56994-2016 «Дезинфектология и дезинфекционная деятельность. Термины и определения»

ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК УФ ОБЛУЧАТЕЛЕЙ НА СПЕКТРОГОНИОРАДИОМЕТРЕ ДАЛЬНОГО ПОЛЯ

*Абрамов М.В., преподаватель кафедры светотехники;
Прытков С.В., к.т.н., доцент, заведующий кафедрой светотехники
ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва», г. Саранск;
Тертычный М.С., инженер-конструктор, АО «АСТЗ», г. Саранск*

MEASUREMENTS OF CHARACTERISTICS OF UV IRRADIATION DEVICES ON A FAR-FIELD SPECTROGONIORADIOMETER

*Abramov M.V., lecturer of the lighting engineering department;
Prytkov S.V., Ph.D., Associate Professor,
Head of the lighting engineering department
National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk;
Tertychny M.S., design engineer, JSC "ASTZ", Saransk*

Аннотация

В данной статье рассматривается конструкция и программное обеспечение разработанного на базе кафедры светотехники ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва» спектрогониорадиометрического измерительного комплекса дальнего поля, позволяющего проводить измерения светотехнических характеристик облучательных приборов различного назначения. С его помощью были произведены измерения облучательных приборов ЭСП02-2×30-001 *HealthyLight* и ЭСП02-1×30-001 *HealthyLight*. Для них было получено спектральное распределение излучения и пространственное распределение силы эритемного излучения. По результатам измерений можно судить о малой эффективности эмали в качестве покрытия для отражателя эритемного облучателя вследствие малого коэффициента отражения в УФ-области спектра. В дальнейшем разработанный комплекс планируется применять для работы с ультрафиолетовыми и тепличными облучательными приборами с целью исследования спектрального состава излучения, проектирования светотехнической арматуры для облучательных приборов. Также данный комплекс позволит положить начало разработке современной методики проектирования облучательных установок как бактерицидного, так и витального действия.

Abstract

This article discusses the design and software of a far-field spectrogonioradiometric measuring complex developed at the Department of Lighting Engineering of the National Research Ogarev Mordovia State University, which allows for measurements of the lighting characteristics of irradiation devices for various purposes. The developed complex is planned to be used for work with ultraviolet and greenhouse irradiation devices for the purpose of studying the spectral composition of radiation, designing lighting fixtures for irradiation devices. This complex will also allow the beginning of the development of a modern methodology for designing irradiation installations of both bactericidal and vital action.

Ключевые слова: гониорадиометр, поток излучения, сила эритемного излучения, эритемный поток, спектрорадиометр, спектральная плотность потока излучения, кривая силы света, кривая силы эритемного излучения, ультрафиолетовое излучение

Keywords: *gonioradiometer, irradiance, erythematous irradiance, erythematous flux, spectroradiometer, spectral irradiance, luminous intensity curve, erythematous intensity curve, ultraviolet radiation*

Введение

При проектировании современных осветительных установок широко применяются специализированные системы автоматизированного проектирования (САПР), позволяющие существенно снизить трудозатраты при выполнении светотехнического расчета, среди которых стоит выделить: *DIALux 4.13*, *DIALux evo* и новую отечественную разработку — «Свет-в-Ночи». Все они производят расчет на основе помещенного в программу файла с фотометрическими данными осветительного прибора (*IES*-файла) [1]. Первые две из перечисленных программ предназначены только для проектирования осветительных установок, тогда как «Свет-в-Ночи» позволяет проектировать тепличные комплексы и производить расчет необходимого количества бактерицидных облучателей. При этом облучательная техника находит широкое применение в современной деятельности человека: проектируются специальные фитооблучатели для оснащения ими теплиц и вертикальных ферм [2], коротковолновое ультрафиолетовое излучение оказывает бактерицидное действие [3], ультрафиолетовое излучение в диапазонах А и В применяется в области животноводства, в соляриях и для компенсации солнечной

недостаточности, что актуально для нашей страны [4]. Также совсем недавно был открыт рецептор УФ-излучения (*UVR8*) положительно влияющий на иммунитет у растений [5]. Несмотря на столь широкое применение облучательной техники проектирование облучательных установок сильно отстает в развитии от осветительных. Данная работа направлена на решение этой проблемы путем проектирования спектрогониорадиометрического комплекса, позволяющего формировать *IES*-файлы в любой системе эффективных величин, после чего они могут быть помещены в любую САПР для проведения дальнейшего светотехнического расчета. Также приведены результаты измерения эритемных облучательных приборов производства ООО «НИИИС имени А. Н. Лодыгина».

Метод исследования

Разработанный спектрогониорадиометрический комплекс состоит из автоматизированного гониометра, трёх оптических цифровых датчиков «ТКА-ДОЦ» для диапазонов ультрафиолетового излучения УФ-А, УФ-В, УФ-С, спектрорадиометра *OceanOptics SR-2XR250-25*, измерителя электрической мощности *GPM-78213*, источника питания переменного и постоянного тока *ASR-72100R*, ноутбука под управлением операционной системы *Windows*. Логика работы прибора реализована на базе микроконтроллера *ATmega168*. Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерения эффективных величин составляет $\pm 10,0 \%$, точность позиционирования составляет $\pm 5,0 \%$ углового шага. В настоящее время разрабатывается модель измерения неопределенности по ГОСТ 34100.3-2017.

На рис. 1 приведена 3D-модель разработанного комплекса. В основании расположен двигатель, осуществляющий вращение рамы гониометра в области меридиональных углов. На поворотной раме расположено две стойки, одна из которых является съемной. Они необходимы для крепления источника излучения или облучательного прибора. К одной из стоек прикреплен двигатель, который осуществляет поворот измеряемого объекта в области экваториальных углов. За счет применения червячной передачи стойки могут перемещаться по раме, вследствие чего могут быть произведены измерения облучательных приборов и источников света с различными габаритами.



Рис. 1. 3-D модель разработанного комплекса

Алгоритм работы комплекса состоит из следующих этапов: измерение спектрального распределения излучения исследуемого образца, измерение пространственного распределения излучения с применением требуемых интегральных приемников, запись полученных данных в массив, переход к необходимой эффективной величине на основе полученных данных о спектральном распределении излучения, формирование итогового *IES*-файла с пространственным распределением излучения в требуемой системе эффективных величин. Более подробно переход к эффективным величинам на примере эритемного излучения представлен в [6]. Для измерения спектрального распределения излучения используется спектрорадиометр *OceanOptics SR-2XR250-25*. Особенности работы с миниспектрорадиометрами приведены в [7]. При обработке результатов измерений использовался фильтр Савицкого-Голея [8].

Для взаимодействия с комплексом было разработано программное обеспечение на языке программирования *Python*. Программа реализует комплексное управление фотометрической установкой, визуализацию данных (КСС, 3D-фотометрическое тело, спектр), работу с *COM*-портами, настройку параметров и взаимодействие с внешними устройствами (рис. 2).

Основными компонентами являются:

- класс *ExampleApp*: главное окно приложения, инициализация интерфейса, загрузка данных, интеграция графиков, обработка событий;
- классы окон настроек: *SettingsWindow*, *PowerSupplySettings*, *StepperControl*, *ConnectSettings* — отдельные окна для настройки параметров, управления устройствами и подключения;
- класс *MeasurementThread*: асинхронный поток для выполнения измерений с шаговыми двигателями.

Визуализация осуществляется с помощью следующих инструментов:

- КСС — интеграция в *graphicsViewCSS* через *matplotlib*;
- 3D-фотометрическое тело — интеграция в *graphicsViewCSS3D* через *plotly* (*WebGL/QWebEngineView*);
- спектральное распределение — интеграция в *graphicsViewSpectrum* через *matplotlib*.

Особенности:

- поддержка асинхронных операций (*asyncio*) для работы с оборудованием;
- автоматическая подгонка графиков под размер виджетов;
- работа с настройками через *settings.ini*.

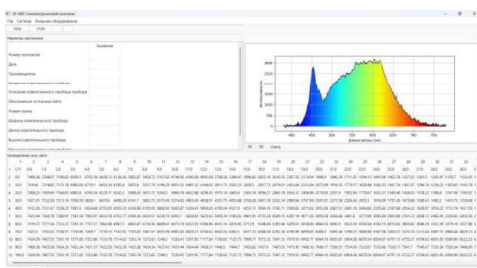


Рис. 2. Главное окно программы

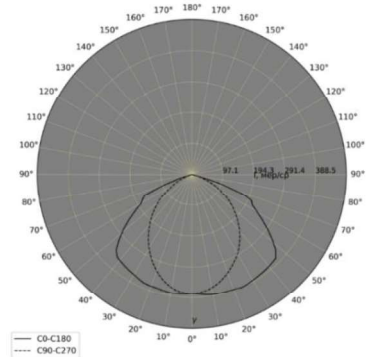
Результаты

С помощью разработанного комплекса были произведены измерения двух облучательных приборов (производитель ООО «НИИИС им. А.Н. Лодыгина»): ЭСП02-2×30-001 *HealthyLight* (рис. 3а) оснащенный 2 лампами ЛЭ 30 *Human* и ЭСП02-1×30-001 *HealthyLight* оснащенный 1 лампой ЛЭ 30 *Human* (рис. 3б).

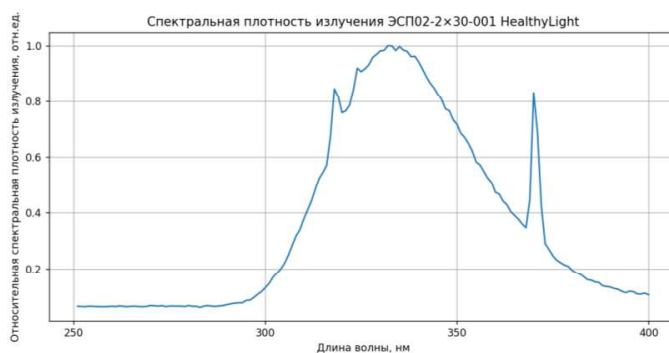


Рис. 3. Облучательный прибор ЭСП02-2×30-001 *HealthyLight* (а), облучательный прибор ЭСП02-2×30-001 *HealthyLight* (б)

На рис. 4а и 4б приведены полученные пространственное распределение эритемной силы излучения облучателя и спектральное распределение излучения для облучателя ЭСП02-2×30-001 *HealthyLight*.



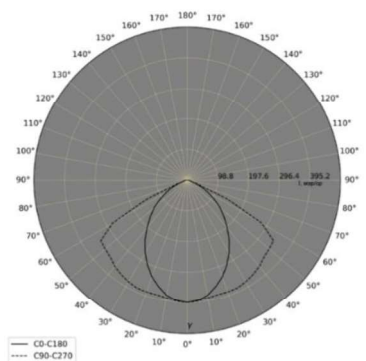
а)



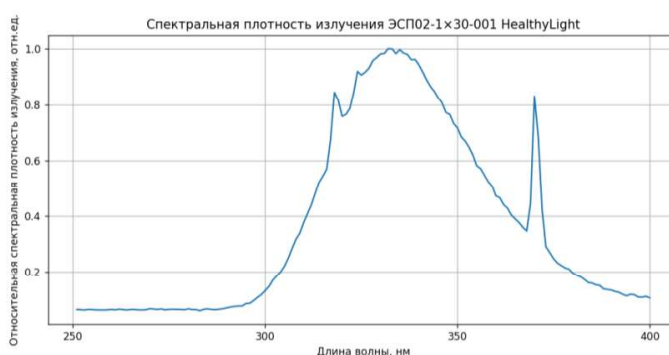
б)

Рис. 4. Пространственное распределение эритемной силы излучения облучателя ЭСП02-2×30-001 *HealthyLight* (а), спектральное распределение излучения облучателя ЭСП02-2×30-001 *HealthyLight* (б)

На рис. 5а и 5б приведены полученные пространственное распределение эритемной силы излучения облучателя и спектральное распределение излучения для облучателя ЭСП02-1×30-001 *HealthyLight*.



а)



б)

Рис. 5. Пространственное распределение эритемной силы излучения облучателя ЭСП02-1×30-001 *HealthyLight* (а), спектральное распределение излучения облучателя ЭСП02-1×30-001 *HealthyLight* (б)

Обсуждение

Измерения облучательных приборов были произведены с целью демонстрации возможностей разработанного спектрогониорадиометрического комплекса. Итогом работы измерительного комплекса является *IES*-файл с пространственным распределением излучения в эффективных единицах. Это позволяет увеличить эффективность проектирования облучательных установок.

Выводы

В результате работы был разработан спектрогониорадиометрический измерительный комплекс дальнего

поля, который позволяет определять поток излучения и поток, выраженный в эффективных единицах для облучательных приборов различного назначения. Также измерительный комплекс позволяет формировать IES-файл пространственного распределения силы излучения, выраженной в эффективных величинах. В данной работе работоспособность комплекса проверена путем измерения эритемных облучателей. В дальнейшем разработанный комплекс планируется применять для работы с ультрафиолетовыми и тепличными облучательными приборами с целью исследования спектрального состава излучения, проектирования светотехнической арматуры для облучательных приборов. Также данный комплекс позволит положить начало разработке современной методики проектирования облучательных установок как бактерицидного, так и витального действия.

Список литературы

1. Committee, I. C. IESNA standard file format for electronic transfer of photometric data / I. C. Committee. – Illuminating Engineering Society of North America, 1995.
2. Терехов В.Г. Система облучения для автоматизированной многоярусной фитоустановки типа «City Farm»: Светотехника, 2019. – №5. – С. 59–63.
3. Вассерман А.Л. Измерение бактерицидного потока ультрафиолетовых трубчатых ртутных ламп низкого давления: Светотехника, 2019. – № 1. – С. 69–71.
4. Вассерман А.Л. Обеззараживание воздушной среды УФ бактерицидным излучением: Светотехника, 2020. – № 2. – С. 6–15.
5. Прикупец Л.Б., Боос Г.В. «Облучательные установки в сельском хозяйстве». Электронная версия – Москва: Редакция журнала «Светотехника», 2023. 136 с.
6. Абрамов М.В., Прытков С.В., Гордин И.И., Котлов И.А. Разработка методики расчета и проектирования облучательных установок, применяемых для борьбы с ультрафиолетовой недостаточностью : Научно-технический вестник Поволжья, 2024. – № 11. – С. 128–131.
7. Столяревская Р.И. Обзор особенностей использования миниспектрорадиометров с ПЗС-матрицами в прикладной фотометрии: Светотехника, 2020. – №6. – С. 12–18.
8. Абрамов М.В., Прытков С.В., Тертыйный М.С., Якубов А.В. Сравнение различных методов фильтрации результатов спектрометрических измерений: Инженерный вестник Дона, 2025. – № 2. – С. 1–8.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ УСТАНОВОК СПОРТИВНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

*Серикова В.С., младший продакт-менеджер; Карев А.В., к.т.н.,
директор по науке, ООО «МГК «Световые Технологии»;*

Фомин А.Г., к.т.н., доцент

Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва

APPROACH TO EVALUATING THE ENERGY EFFICIENCY OF SPORTS LIGHTING SYSTEMS

*Serikova V.S., Junior Product Manager; Karev A.V., Ph.D., Director of
Science, Lighting Technologies IGC LLC; Fomin A.G., Ph.D., Associate
Professor, National Research University «Moscow Power Engineering
Institute», Moscow*

Аннотация

Работа посвящена разработке методики оценки энергоэффективности установок спортивного освещения. Были проанализированы существующие нормативные требования, выявлены недостатки в вопросах энергосбережения и экологической безопасности. Предлагаемый подход позволяет количественно оценить эффективность осветительной системы, разделяя полезный свет, достигающий целевых зон, и паразитные потери, способствующие световому загрязнению.

Методика реализована в программе *DIALux evo* и включает два блока расчетов — для открытых и закрытых спортивных сооружений. Полученные результаты демонстрируют практическую применимость предложенного подхода для оптимизации проектных решений, позволяя достигать значительного снижения энергопотребления при сохранении требуемых нормативных показателей освещенности.

Abstract

*This study focuses on creating an approach to evaluating the energy efficiency of sports lighting systems. We examined the current regulatory standards and identified areas for improvement in terms of energy conservation and environmental sustainability. Our approach allows us to quantify the effectiveness of the lighting system by separating the beneficial light reaching the intended areas from the wasteful losses that contribute to light pollution. The methodology is implemented in the *DIALux evo* software and consists of two calculation modules — for outdoor and indoor sports facilities. The results*

obtained demonstrate the practicality of our approach for optimizing design solutions, enabling substantial energy savings while maintaining the required regulatory illumination standards.

Ключевые слова: спортивное освещение, энергоэффективность, световое загрязнение, энергосбережение, осветительные системы

Keywords: *sports lighting, energy efficiency, light pollution, energy saving, lighting systems*

Введение

Современные российские и европейские стандарты и технические рекомендации по проектированию спортивного освещения основное внимание уделяют достижению нормируемых светотехнических параметров с целью создания зрительного комфорта, высокой зрительной работоспособности и адекватной видимой «атмосферы» [1]. Вместе с этим, требования к энергоэффективности освещения и его экологической безопасности остаются на периферии внимания, ограничиваясь рекомендациями СП 440.1325800.2023 [2] «...применять осветительные приборы (ОП) с наибольшими значениями световой отдачи и срока службы», причём не в ущерб цветопередаче. Приказ Министерства спорта РФ [3], направленный на повышение энергоэффективности объектов спорта, ограничивается рекомендациями по замене источников света и пускорегулирующей аппаратуры, а также по внедрению датчиков присутствия.

Предлагаемая методика оценки энергоэффективности установок спортивного освещения позволяет количественно оценить эффективность доставки света на целевую площадку и минимизировать потери, приводящие к световому загрязнению.

Метод исследования

Группой по изучению твердотельных осветительных систем и технологий *ASSIST (Alliance for Solid-State Illumination Systems and Technologies)* для оценки эффективности освещения парковок и уличного освещения был предложен показатель эффективности применения системы светильников *LSAE* [4]. Он определяется как отношение полезного светового потока $\Phi_{\text{task-conforming}}$, достигшего целевой площадки и соответствующего требованиям решаемой задачи (освещение конкретного объекта), к потребляемой мощности P :

$$LSAE = \frac{\Phi_{\text{task-conforming}}}{P} \quad (1)$$

На основании расчета данного критерия возникла идея разработки методики оценки энергоэффективности установок спортивного освещения. Программа *DIALux evo* обладает набором необходимых инструментов, для сравнения эффективности систем освещения по критерию «Свет на месте».

Критерий «Свет на месте» (коэффициент полезного светового потока) заключается в определении количества света, доставленного непосредственно на расчетную площадку или соотношения «доставленного света» к общему свету, сгенерированному осветительной установкой (ОУ). Свет, «потерявшийся при доставке», является нежелательным и создающим дискомфорт, а также светом, загрязняющим окружающую среду. При этом такой критерий может применяться как к открытым, так и к закрытым спортивным объектам. Расчетная методика включает в себя два блока:

1) Определение критерия «Свет на месте» для открытых спортивных объектов:

- а) Рассчитывается средняя горизонтальная освещенность (E_s) на игровой площадке (S) и условный световой поток, доставленный на нее:

$$\Phi_s = E_s * S \quad (2)$$

- б) Создаются дополнительные вертикальные расчетные поверхности по периметру игровой площадки (A , B , C и D для четырёхугольной площадки). Высота данных поверхностей равна максимальной высоте расположения осветительных приборов (H) (рис. 1).

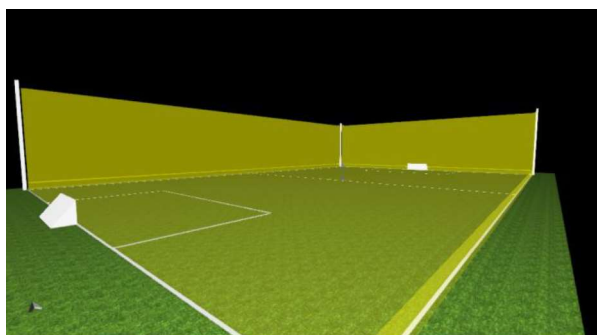


Рис. 1. Расположение расчетных плоскостей для открытых спортивных объектов

- в) На дополнительных поверхностях выделяется нижняя часть высотой 1,5 м. Площадь поверхностей, соответственно, S_{A1} , S_{B1} , S_{C1} и S_{D1} . Данные участки дополнительных вертикальных поверхностей считаем полезными, наряду с поверхностью игровой площадки.

- г) На дополнительных поверхностях выделяется верхняя оставшаяся часть высотой $G = H - 1,5$ м. Площадь поверхностей, соответственно, S_{A2} , S_{B2} , S_{C2} и S_{D2} .
- д) Рассчитывается средняя освещенность на каждой дополнительной расчетной поверхности (нижняя часть) E_{A1} , E_{B1} , E_{C1} , E_{D1} и E_{A2} , E_{B2} , E_{C2} , E_{D2} .
- е) Определяется условный световой поток, доставленный на каждую дополнительную расчетную поверхность, например:

$$\Phi_{A1} = E_{A1} * S_{A1} \quad (3)$$

Соответственно, для нижней части Φ_{A1} , Φ_{B1} , Φ_{C1} , Φ_{D1} и для верхней части Φ_{A2} , Φ_{B2} , Φ_{C2} , Φ_{D2} .

- ж) Рассчитывается условный световой поток, доставленный на игровую площадку и нижние части дополнительных вертикальных расчетных поверхностей:

$$\Phi_{см} = \Phi_S + \Phi_{A1} + \Phi_{B1} + \Phi_{C1} + \Phi_{D1} \quad (4)$$

- з) Рассчитывается условный световой поток, не доставленный (паразитный) на игровую площадку и нижние части дополнительных вертикальных расчетных поверхностей:

$$\Phi_{сп} = \Phi_{A2} + \Phi_{B2} + \Phi_{C2} + \Phi_{D2} \quad (5)$$

- и) Рассчитывается значение коэффициента полезного светового потока:

$$K_{см} = \frac{\Phi_{см}}{\Phi_{см} + \Phi_{сп}} \quad (6)$$

2) Определение критерия «Свет на месте» для закрытых спортивных объектов:

Пункты а) – г) выполняются полностью аналогично открытым объектам. Расположение расчётных плоскостей для закрытых объектов показано на рис. 2.



Рис. 2. Расположение расчетных плоскостей для закрытых спортивных объектов

Расчёты для пункта д) для нижней части вертикальных поверхностей выполняются с учетом многократных отражений в помещении, а для остальных поверхностей – только с учётом прямой составляющей. Пункты е) – и) выполняются аналогично открытым объектам, значение коэффициента полезного светового потока рассчитывается по формуле (6).

Результаты

Данная методика была применена для оценки эффективности различных осветительных установок крытой волейбольной площадки (менялись типы осветительных приборов (ОП), схемы их расположения и количество) и открытого футбольного поля (менялись высота мачты и количество ОП). Результаты приведены в таблицах 1 и 2 соответственно.

В первом случае наибольшее значение коэффициента полезного светового потока $K_{см}=0,624$ зафиксировано для ОУ 4, что свидетельствует о наиболее эффективном распределении света на игровой площадке и прилегающих полезных зонах. Также сравнение показало, что при одинаковой общей мощности P_o эффективность может различаться, что подчеркивает важность правильного размещения ОП.

Таблица 1. Результаты оценки ОУ крытой волейбольной площадки

	ОУ 1	ОУ 2	ОУ 3	ОУ 4	ОУ 5
$K_{см}$	0,538	0,594	0,589	0,624	0,545
$P_{см}, Вт$	3408,8	1069,2	1060,2	1033,3	1008,2
$P_o, Вт$	6336	1800	1800	1656	1850

Во втором случае максимальная эффективность ($K_{см}=0,75$) достигается при высоте мачт 20 и 25 м, что связано с оптимальным углом падения света и минимизацией рассеивания за пределы игровой зоны.

Таблица 2. Результаты оценки ОУ открытого футбольного поля

Высота мачт, м	10	15	20	25	30
$K_{см}$	0,65	0,72	0,75	0,75	0,73
$P_{см}, кВт$	90	91	107	131	153
$P_o, кВт$	138	126	143	174	209

Во всех случаях методика позволила выявить ОУ с наилучшим балансом между энергопотреблением и эффективностью. Это позволяет утверждать, что предложенная методика обеспечивает точную оценку энергоэффективности спортивного освещения и может служить инструментом для оптимизации существующих и проектируемых систем.

Обсуждение и выводы

Предложенная методика оценки энергоэффективности спортивного освещения позволяет количественно определить эффективность доставки света на целевую площадку, а также количество паразитного света, ведущего к световому загрязнению при освещении спортивных объектов.

Предложенная методика расширяет принцип определения ранее введенного показателя *LSAE*, адаптируя его для спортивных объектов и позволяя учесть важные параметры: соответствие мощности осветительного прибора и типа светораспределения решаемой задаче; оптимальность параметров проектирования ОУ и точность позиционирования приборов; характеристики интерьера помещения и вклад отражения света при расчетах и проектировании. Полученные данные могут быть использованы при проектировании и модернизации установок спортивного освещения, что может способствовать повышению их эффективности и безопасности.

Список литературы

1. Постановление Правительства РФ от 13 декабря 2024 г. № 1773. [Электронный документ]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202412160050> (дата обращения 06.07.2025).
2. СП 440 1325800.2023. Спортивные сооружения. Проектирование естественного и искусственного освещения. [Электронный документ]. URL: <https://minstroyrf.gov.ru/docs/362293/> (дата обращения: 06.07.2025).
3. Приказ Министерства спорта РФ от 14 января 2015 г. № 54. [Электронный документ]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70750792/> (дата обращения: 06.07.2025).
4. Alliance for Solid-State Illumination Systems and Technologies (ASSIST). Recommendations for Evaluating Street and Roadway Luminaires / ASSIST. – Vol. 10, Iss. 1. – Troy, NY: Lighting Research Center, 2011. – 13 p.

РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ АВТОСАЛОНОВ

*Крылов А.Э., студент; Макаров Д.Н., к.т.н., доцент
Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва*

IMPLEMENTATION OF ADAPTIVE LIGHTING CONTROL SYSTEM BASED ON NEURAL NETWORKS FOR CAR DEALERSHIPS

*Krylov A.E., student; Makarov D.N., Ph.D., Associate Professor
National Research University «Moscow Power Engineering Institute»,
Moscow*

Аннотация

Разработана и экспериментально подтверждена интеллектуальная система адаптивного управления освещением для зоны выдачи автосалонов. Система автоматически определяет цвет кузова автомобиля с использованием нейронной сети (сверточная сеть *SqueezeNet*, дообученная на датасете из 12 цветов) и устанавливает оптимальную коррелированную цветовую температуру (КЦТ) светового потолка от 2700 до 6500 К. В качестве объекта исследования рассматривается стандартная зона выдачи в автосалоне, представляющая изолированное помещение площадью 51 м² с высотой потолка 3 м с установленным на нём равномерной световой панелью, размером (6×3 м) на основе 50 светодиодных модулей *Samsung LM301B (Tunable White)*, управляемых по протоколу *DALI DT8* через 25 драйверов. При нахождении в помещении автомобиля запускается алгоритм: сегментация автомобиля через вычитание фона, анализ доминирующего оттенка в пространстве *HSV*, классификация цвета нейросетью (точность 94,6 %) и установка необходимой КЦТ свечения световой панели. Результаты визуального тестирования в *DIALux evo* доказали значительное улучшение восприятия цвета автомобиля при адаптивной подсветке по сравнению со статическим светом в 4000 К. Система демонстрирует готовность к внедрению, обеспечивая персонализированный световой сценарий и повышая клиентскую лояльность. Перспективы включают расширение цветовой палитры и применение в музеях и ритейле.

Abstract

An intelligent adaptive lighting control system for vehicle handover areas in car dealerships has been developed and experimentally validated. The system

automatically identifies a vehicle's body color using a neural network (SqueezeNet CNN fine-tuned on a 12-color dataset) and sets the optimal correlated color temperature (CCT: 2700–6500 K) for an overhead luminous ceiling. Key components: a) An isolated room (51 m²) with a luminous ceiling (6×3 m) featuring 50 Samsung LM301B LED modules (Tunable White), controlled via the DALI DT8 protocol through 25 drivers; b) Vehicle segmentation via background subtraction, dominant hue analysis in HSV space, and color classification by the neural network (94.6 % accuracy); c) The recommended CCT is displayed for operator confirmation before sending commands via DALI DT8. Visual testing in DIALux evo confirmed significant improvement in vehicle color perception under adaptive lighting versus static illumination (4000 K). The system demonstrates readiness for deployment, enabling personalized lighting scenarios and enhancing customer experience. Future work includes expanding the color palette and extending applications to museums and retail.

Ключевые слова: адаптивное управление освещением, нейронные сети, распознавание цвета, коррелированная цветовая температура, протокол *DALI DT8*, зона выдачи автосалона, световой потолок.

Keywords: *adaptive lighting control, neural networks, deep learning, vehicle color recognition, correlated color temperature, DALI DT8 protocol, car dealership handover area, luminous ceiling.*

Введение

Интеллектуальные системы управления освещением (СУО) становятся ключевым элементом цифровизации коммерческих пространств. Современные требования выходят за рамки энергоэффективности, включая адаптивность, персонализацию и визуальный комфорт. Особое значение это приобретает в презентационных зонах, таких как автосалоны, где освещение напрямую влияет на восприятие товара и формирует клиентский опыт. Традиционные СУО не способны динамически адаптироваться к визуальным характеристикам объектов, таким как цвет автомобиля, для его оптимального представления. Технологии машинного обучения (МО), в частности нейронные сети (НС), предлагают решение для автоматизации этой задачи [1, 2].

Целью работы является разработка и экспериментальная проверка прототипа системы автоматического управления освещением для зоны выдачи автосалона, способной:

1. Определять цвет кузова автомобиля по изображению с камеры с использованием нейронной сети.
2. Автоматически устанавливать коррелированную цветовую температуру (КЦТ) светового потолка в соответствии с распознанным цветом.
3. Обеспечивать интеграцию алгоритма машинного зрения с промышленным протоколом управления освещением *DALI DT8*.

Работа объединяет современные подходы компьютерного зрения (сегментация объектов, классификация в цветовом пространстве *HSV*) и глубокого обучения (использование предобученной *CNN SqueezeNet*) [3] с практической реализацией на базе стандартизированного светотехнического протокола (*DALI DT8*) [4]. Система предлагает решение для повышения визуальной привлекательности автомобилей в момент их передачи клиенту, потенциально увеличивая удовлетворенность покупателей. Прототип демонстрирует возможность создания экономически жизнеспособных адаптивных световых сред.

Методы

Система состоит из трёх основных компонентов: аппаратной платформы (помещение, световой потолок, управляющая электроника), алгоритма машинного зрения (нейросетевая классификация цвета) и системы управления (протокол *DALI*, интерфейс оператора).

Моделировалась зона выдачи автосалона (51 м², высота 3 м, без окон). Стены (коэф. отражения 0,5) и пол (0,3) выполнены в нейтральных тонах для минимизации фоновых помех. В качестве источника света использовался световой потолок размером 6×3 м над зоной позиционирования авто. Основные элементы светового потолка: светодиодные модули 50 шт. на основе *Samsung LM301B* (*CRI*>90). Каждый модуль (560×280 мм) содержит 14 светодиодов теплого белого (*WW*, 2700 K) и 14 холодного белого (*CW*, 6500 K), объединенных в группы *Tunable White* (*TW*). Световой поток модуля ~1700 лм (ток 50 мА). Управление и питание обеспечивали драйверы: 25 шт. (1 драйвер на 2 модуля) с поддержкой *DALI DT8* (700 мА, 90–150 В на канал).

Рассеиватель светового потолка представляет собой трехслойную светорассеивающую ткань (светопропускание 60–75 %) — армирующий, матирующий, УФ-защитный слои. Выбрана из соображений больших размеров, равномерности света и простоты обслуживания. Управление осуществляется контроллером *DALI DT8*, блок питания шины *DALI* (16 В, 250 мА), роторная панель для ручного управления.

Система захвата изображения представляет собой обычную камеру (*Full HD* 1920x1080) в фиксированном положении с отключённой автообработкой баланса белого.

Обработка данных проводится на компактном компьютере с помощью программного кода, написанного в программе *MATLAB*.

Компьютерное моделирование процессов исследований проводилось в среде *DIALux evo*, в которой были рассчитаны светотехнические параметры (~55 000–60 000 лм для освещённости 1500–1700 лк на капоте автомобиля) и визуализации.

Алгоритм машинного зрения (Определение цвета) проводился в несколько этапов:

1. Загрузка текущего кадра и эталонного изображения пустой зоны.
2. Вычитание фона.
3. Бинаризация, морфологические операции (открытие/закрытие), выделение контуров. Фильтрация областей по площади (>300 пикс.) и соотношению сторон (<4,0).

Анализ цвета объекта:

1. Выделение области автомобиля.
2. Преобразование в HSV.
3. Маскирование пикселей с низкой насыщенностью ($S < 0,2$) и яркостью ($V < 0,2$) для исключения теней и бликов.
4. Построение гистограммы оттенка (H) для маскированных пикселей.
5. Определение доминирующего оттенка.
6. Создание патча сплошного доминирующего цвета.

Систему управления и интерфейс можно так же представить в виде определенных процедур:

1. Стартовая сцена: КЦТ = 4000 К (нейтральный белый).
2. При въезде автомобиля камера делает снимок.
3. Алгоритм определяет доминирующий цвет и рекомендует КЦТ (Красный -> 2700 К, Синий -> 6000 К, и т.д.).
4. При подтверждении ПК отправляет команду по протоколу *DALI DT8* через *USB-DALI* шлюз.
5. Драйверы *DT8* рассчитывают пропорции WW/CW для целевой КЦТ и регулируют ток.

Результаты

После обучения на комбинированном датасете (плашки + автомобили) нейросеть достигла точности 94 % на валидационной

выборке. Функция потерь (*Loss*) стабилизировалась на низком уровне, признаки переобучения отсутствовали.

Система успешно сегментировала автомобили в смоделированной сцене и корректно определила их цвет в 92 % случаев на независимом тестовом наборе. Пример результатов визуализации для 12 цветов представлены на рис. 1. Система корректно обрабатывала различные формы и оттенки в рамках заданных классов.



Рис. 1. Распознавание зеленого цвета:
оригинал изображения (а), результат работы нейросети (б)

Сравнение изображений автомобилей при «нулевом условии» (КЦТ=4000 К) и после применения рекомендованной НС КЦТ, см. рис. 2 демонстрирует значительное улучшение визуального восприятия.

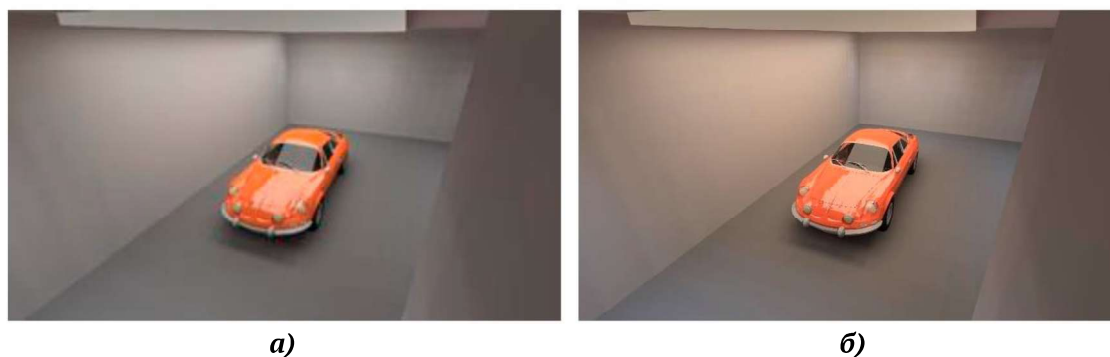


Рис. 2. Оранжевый автомобиль:
стартовая сцена (а), результат работы нейросети — 2800 К (б)



Рис. 3. Фотографии различного визуального восприятия цвета автомобиля (серебро): КТЦ светового потолка 2700 К (а), КТЦ светового потолка 6000 К (б)

Разработанный алгоритм работы и схема интеграции подтвердили работоспособность передачи команд от *MATLAB* через виртуальный *COM*-порт и *USB-DALI* шлюз к драйверам *DT8*. Роль оператора в подтверждении минимизирует риск ошибки автоматического распознавания.

Обсуждение

Работа подтвердила возможность и эффективность применения нейронных сетей для создания адаптивных систем управления освещением в специализированных коммерческих пространствах. Ключевые достижения:

1. Разработан функциональный прототип системы для зоны выдачи автосалона с точностью распознавания цвета ~95 %.
2. Обоснован и реализован выбор светотехнического оборудования (модули *Samsung LM301B*, драйверы *DT8*, тканевый рассеиватель) и протокола управления (*DALI DT8*) как оптимального решения для задач *TW*.
3. Доказано визуальное преимущество адаптации КЦТ освещения под цвет объекта (автомобиля) по сравнению со статическим нейтральным освещением.
4. Реализована практическая интеграция алгоритма МО (*MATLAB*) с промышленной системой освещения (*DALI*).

Преимущества предложенного решения:

1. Адаптивное освещение подчеркивает достоинства цвета автомобиля, создавая усиление визуального впечатления для клиента.

2. Снижение рутинных операций по настройке света персоналом.
3. Использование *DALI DT8* обеспечивает совместимость, надежность и возможность управления большим числом устройств.
4. Подтверждение оператором повышает надежность системы.
5. Конструкция светового потолка и компоненты подобраны с учетом реальных требований и доступности.

Выводы

Разработанная система, интегрирующая нейросетевые технологии, компьютерное зрение и современные протоколы управления освещением (*DALI DT8*), представляет собой эффективное решение для задач адаптивного освещения в коммерческих пространствах.

Доказанная высокая точность классификации и визуальный выигрыш от адаптации КЦТ подтверждают практическую ценность подхода. Дальнейшее развитие системы связано с преодолением текущих ограничений и расширением ее функциональности и областей применения.

Работа вносит вклад в развитие концепции «умных» пространств, способных динамически реагировать на визуальные характеристики объектов для создания оптимальной световой среды и эмоционального опыта.

Список литературы

1. Тен Р., К. Чен Система управления городским освещением по протоколу DMX512 / Тен Р., К. Чен // Светотехника. – 2024. – №2. – С. 52–60.
2. Г. Янг, Ц. Луо, Ц. У. Система управления уличным освещением на основе глубокого машинного обучения / Г. Янг, Ц. Луо, Ц. У. // Светотехника. – 2024. – №4. – С. 22–27.
3. Peixin Fang, Ming Wang, Jingzheng Li, Qianchuan Zhao, Xuehan Zheng and He Gao. A Distributed Intelligent Lighting Control System Based on Deep Reinforcement Learning // Applied Sciences. – 2023. – Vol. 13. № 16. – P. 9057. DOI: <https://doi.org/10.3390/app13169057> (дата обращения: 29.11.2024).
4. IEC 62386-250:2023. Digital addressable lighting interface – Part 250: Particular requirements – Integrated power supply (device type 49).

ФОРМАТ СЦЕНИЧЕСКОГО ОСВЕЩЕНИЯ В МУЗЫКАЛЬНОЙ ШКОЛЕ–СТУДИИ

*Сайкова П.А., студент; Гречкина Т.В., к. ф.–м. н., доцент
Национальный исследовательский Томский политехнический
университет, г. Томск*

THE FORMAT OF STAGE LIGHTING AT THE MUSIC SCHOOL–STUDIO

*Saikova P.A., student; Grechkina T.V., Ph.D., Associate Professor
National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk*

Аннотация

Направления творческих объединений и площадок в настоящее время достаточно многообразны. Музыкальные образовательные заведения расширяются возможностями заниматься вокалом и инструментами, как развитие и постижение этих навыков в любом возрасте. Большой интерес у детей и взрослых сейчас вызывают занятия с возможностью выступать, показывать себя и своё творчество на сцене. Для этого сценическое пространство нуждается в определенном облике, световом оформлении. Целью данного проекта является проработка вопроса постановки сценического света для проведения мероприятий и мини концертов учеников музыкальной школы-студии вокала в большом зале.

В работе проведена оценка состояния освещения большого зала музыкальной школы-студии с учетом зрительных задач и функционирования всех помещений. Далее была создана 3D модель объекта исследования с использованием специализированного программного обеспечения для моделирования распределения света.

Рассмотрены схемы размещения светильников, выбраны оптимальные источники и разработаны сценарии освещения для репетиций и проведения выступлений. Предложены решения с регулируемыми светильниками, акцентным и декоративным освещением, а также режимами управления.

Abstract

The directions of creative associations and venues are currently quite diverse. Musical educational institutions are expanding their opportunities to practice vocals and instruments, as well as to develop and comprehend these skills at any age. Children and adults are now very interested in classes that offer the opportunity to perform and showcase themselves and their creativity on

stage. For this, the stage space requires a specific design and lighting setup. The purpose of this project is to study the issues related to staging stage lighting for events and mini-concerts of students at the vocal music school studio in a large hall.

The work involved an assessment of the lighting conditions in the music school studio, taking into account visual tasks and the functioning of all rooms. Next, a 3D model of the object of study was created using specialized software to model the distribution of light.

Lamp placement schemes were considered, optimal light sources were selected and lighting scenarios for rehearsals and performances were developed. Solutions featuring adjustable luminaires, accent and decorative lighting, as well as control modes, are proposed.

Ключевые слова: сценическое освещение, постановка света, моделирование освещения, проектирование световой среды

Keywords: *stage lighting, lighting arrangement, lighting simulation, lighting design*

Введение

Роль света, безусловно, важный компонент сценического пространства. Создание световой атмосферы в процессе выступления дополнительное впечатление и особая краска в палитре целостного номера и идеи творчества. Освещение пространства в этот момент влияет не только на визуальный комфорт, но и на эмоциональное состояние всех участников, как исполнителя, так и зрителей.

Современные музыкальные учреждения расширяют возможности занятий, уроки проходят в индивидуальном формате, в мини группах и детских коллективах. Сценически это также требует адаптивного светового оформления для подготовки номеров и итоговых выступлений.

Исследования показывают, что применение современных методов проектирования световой среды способствует улучшению функциональности задач сценического плана [1]. В связи с этим, светотехническая задача работы состоит в разработке проекта сценического освещения большого зала музыкальной школы-студии с помощью моделирования и современных технологий.

Метод исследования

В работе проведены анализ и оценка световой среды на основе наблюдений и проведения измерений уровня освещенности с помощью

люксметра «ТКА-ПКМ» и построенной 3D модели помещения большого зала в программе *DIALux evo*.

Помещение большого зала представляет собой пространство прямоугольной формы, отделка стен выполнена в серых и светлых тонах. В зале расположен сценический подиум высотой 20 см, на противоположной стороне — большое зеркало, рядом со сценой с одной стороны — рабочее место преподавателя с музыкальным инструментом, с другой стороны от сцены — большой оконный проем. Общее освещение в помещении осуществляется при помощи четырех светодиодных потолочных светильников с холодным светом свечения.

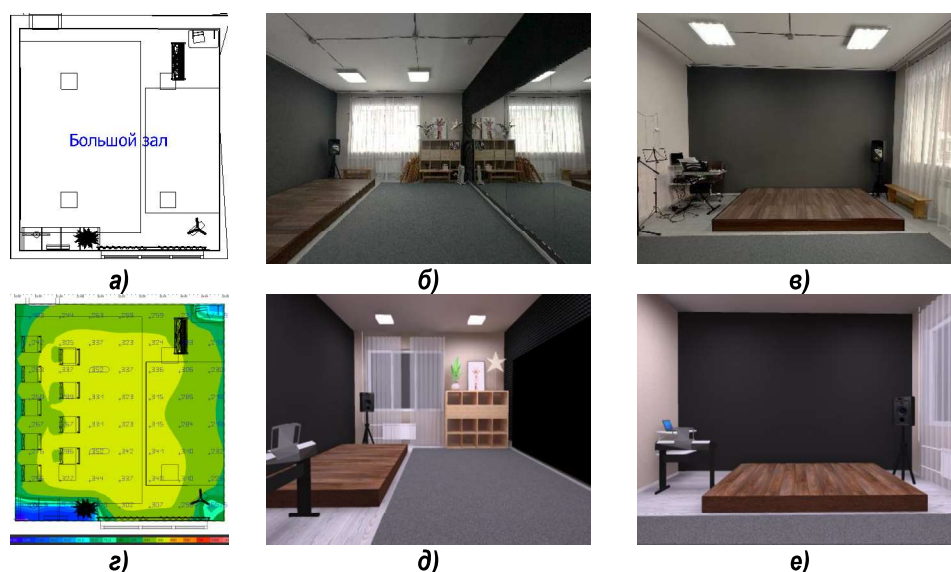


Рис. 1. Изображение большого зала в видах в плане (а), фото объекта (б, в), расчетная визуализация текущего состояния освещения (г) и 3D модель (д,е) в *DIALux evo*

На основе чертежей и визуального осмотра была построена трехмерная модель помещения в программе *DIALux evo* (рис. 1). Модель учитывает геометрию помещения, расположение оконного проема и дверей, мебели, а также типа и исходного расположение светильников. Это позволило провести светотехнический расчет и визуализировать распределение освещенности в реальных условиях (рис. 1г).

Результаты

Одной из задач исследования была задача формирования комплексного подхода в реализации светового решения в помещении музыкальной школы-студии, с учетом сценического пространства. Проектирование велось с учетом нормативных требований к освещенности и особенностей постановки света.

В качестве целевых показателей проектирования были выбраны:

- освещенность сцены — не менее 500 лк (СП 52.13330.2016);
- равномерность освещенности сцены — не менее 0,6 (СП 52.13330.2016);
- индекс цветопередачи светильников $Ra \geq 90$;
- цветовая температура 2700–4000 К.

При формировании сценического освещения были рассмотрены несколько вариантов с использованием разных типов светильников, схем размещения и регулировки освещенности. Каждый вариант оценивался с точки зрения соответствия нормативным требованиям, визуальной выразительности и возможности реализации.

В первом варианте проектного решения применена система на базе магнитных треков (рис. 2). В отличие от *PAR*-прожекторов, она обеспечивает высокую гибкость в размещении и регулировании светильников. Такая система позволяет изменять цветовую температуру и яркость светильников, что даёт возможность создавать разнообразные световые сценарии и адаптировать световую атмосферу под разные режимы работы.

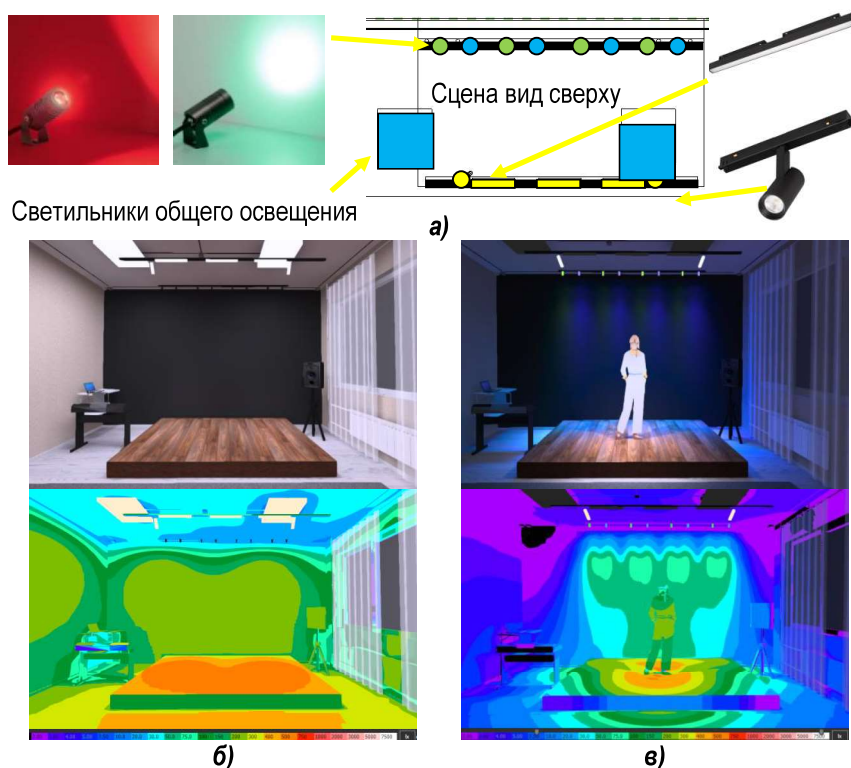


Рис. 2. Сцены освещения при визуализации сценического освещения с использованием магнитного трека и цветных прожекторов: схема расположения светильников (а), режим репетиция (б) и выступление (в)

Таблица 1. Технические характеристики трековых светильников

Название	Мощность, Вт	Световой поток, лм	Угол излучения, град.	Индекс цветопередачи
Mag-orient-flat-L465	16	1200	80	90
Mag-orient-spot-R45	12	730-890	24	94

Таблица 2. Параметры освещения сцены при режимах работы репетиция и выступление

Режим работы	Освещенность сцены, лк	Равномерность освещенности сцены	Примечание
Репетиция	510	0,6	Используются трековые светильники и общий свет
Выступление	266	Не регламентируется для художественного освещения	Общий свет выключен, используются цветные прожекторы и точечные трековые светильники

Управление освещением реализовано по протоколу *TUYA*, интегрированному в экосистему умного дома, что обеспечивает удобный и интуитивно понятный контроль режимов через мобильное приложение. Трековая система способствует постановке света: точечные светильники выделяют выступающего акцентным светом, а линейные светильники обеспечивают равномерное освещение репетиционных зон [2].

Добавление цветных прожекторов значительно расширяет вариативность доступных световых эффектов, позволяя создавать атмосферу, идеально соответствующую настроению музыки или типу мероприятия [3]. Такая комбинация обеспечивает не только функциональность, но и высокую эстетическую ценность, делая световую среду по-настоящему динамичной и выразительной (рис. 2).

Расчетное значение освещенности сцены при общем искусственном освещении достигает 560 лк. В дневное время свет от окна желательно устранять с помощью плотных штор или многоуровневых жалюзи.

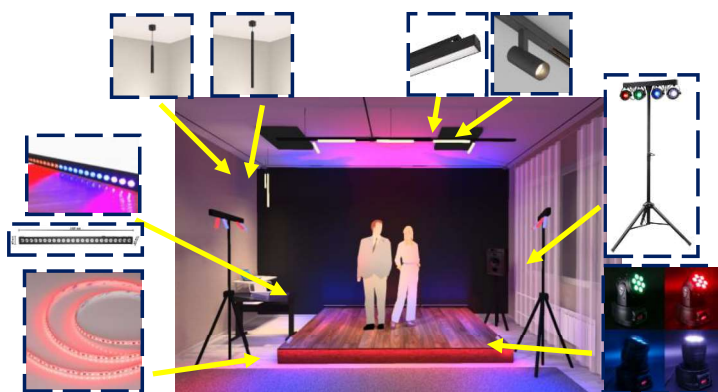


Рис. 3. Вариант проектного решения с использованием профессионального сценического оборудования

На рис. 3 представлен вариант организации световой атмосферы при использовании профессионального сценического оборудования. В проекте сохранён магнитный трек с управляемыми светильниками. Универсальные стойки с прожекторами позволяют свободно менять их расположение, а боковые акцентные прожекторы обеспечивают многофункциональное управление светом. Линейные прожекторы за сценой способны создать световые эффекты, не перегружая задний план.

Обсуждение

Полученные в ходе проекта результаты демонстрируют, как с помощью сценического освещения преобразуется пространство сцены и зала. В частности, применение гибких систем на базе магнитных треков и светодиодных светильников с управлением по протоколу *TUVA* подтверждает тенденцию к внедрению энергоэффективных и адаптивных технологий, что отмечается в современных исследованиях [4].

Выводы

Выполнена разработка системы освещения для большого зала музыкальной школы-студии с добавлением сценического профиля освещения на базе использования магнитных треков, регулируемых светодиодных светильников и современных технологий управления. Комплексный подход, включающий инструментальные замеры, моделирование световой среды и анализ сценариев освещения, позволил выявить оптимальные решения для постановки света, акцентного и декоративного освещения, а также для создания гибкой и

вдохновляющей атмосферы, соответствующей различным видам музыкальной деятельности.

Предложенные проектные решения могут быть использованы для модернизации световой среды в образовательных и культурных учреждениях, а также служат примером интеграции современных технологий управления светом в практику проектирования творческих пространств.

Список литературы

1. *Гудкова Н.* Сценический свет как компонент художественной выразительности спектакля: основные этапы становления // Вопросы театра. – 2010. – № 1–2. – С. 93–133.
2. *Джилетт М.* Игра со светом: Введение в сценическое освещение. – Mountain View: «Mayfield Publishing», 1989.
3. *Мальцева О.* Свет в спектаклях Юрия Любимова // Искусство звука и света: Материалы Второй Международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербург, 2021. – С. 166.
4. *Зорин А.С.* Интегрируемая универсальная экосистема умного дома // Севергеоэкотех-2025: Материалы XXVI Международной молодёжной научной конференции. В 2 ч., Ухта, 27–28 марта 2025 года – Ухта: Ухтинский государственный технический университет, 2025. – С. 267-270. – EDN TSPDSG.

**АРХИТЕКТУРА И
СВЕТОВОЙ ДИЗАЙН**

**ARCHITECTURE &
LIGHTING DESIGN**

РАЗРАБОТКА МАСТЕР-ПЛАНА ОСВЕЩЕНИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ НА ПРИМЕРЕ ДВОРОВОЙ ТЕРРИТОРИИ Г. ТОМСК

*Шачнева П.В., магистрант; Коржнева Т.Г., к.т.н., доцент
Национальный исследовательский Томский политехнический
университет, г. Томск*

DEVELOPMENT OF THE MASTER PLAN OF URBAN ENVIRONMENT LIGHTING ON THE EXAMPLE OF THE YARD AREA OF TOMSK

*Shachneva P. V., Master's student;
Korzhneva T. G., Ph.D., Associate Professor
National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk*

Аннотация

В работе представлен процесс разработки светового мастер-плана для благоустройства дворовой территории по адресу г. Томск, ул. Тверская, 14. Проект включает зонирование пространства с выделением трёх функциональных зон: спортивной площадки, игровой зоны и парковой территории. Особое внимание уделено световому дизайну, который визуальнo разграничивает зоны, повышая комфорт, безопасность и эстетическую привлекательность территории.

Использование различных типов освещения (функционального, декоративного, акцентного) позволило подчеркнуть назначение каждой зоны и создать гармоничную световую среду, адаптированную к потребностям пользователей. В работе проанализированы принципы выбора осветительных приборов, их расположение и цветовые решения, обеспечивающие интуитивную навигацию и комфортное использование пространства в тёмное время суток.

Светотехнический расчет и проектирование светового пространства производилось на основании нормативной документации и пожеланий стейкхолдеров. Последние были определены по средствам визуального наблюдения, с использованием метода персонажей. Таким образом удалось подчеркнуть айденитику дворового пространства, сделав акцентное освещение на водопаде, мостике и смотровой площадке. Кроме того, спроектированное освещение становится инструментом для использования дворовой территории в темное время суток и формирует безопасное пространство.

Abstract

The paper presents the design of a master plan for lighting a courtyard area (Tomsk, Tverskaya St. 14). Zoning has been developed with the allocation of sports, gaming and park areas. Functional, decorative and marking lighting has been applied for safety and comfort. The standards and wishes of the residents are taken into account. Special attention is paid to highlighting key objects (waterfall, bridge, observation deck). The project allows you to use the space around the clock, creating a comfortable and safe environment for all user groups.

Ключевые слова: световой дизайн, мастер-план, освещение, благоустройство, световое зонирование, горизонтальная освещённость.

Keywords: *lighting design, master plan, lighting, landscaping, light zoning.*

Введение

Современные дворовые территории играют важную роль в городской среде, служа не только для транспортного сообщения, но и как пространства для отдыха, общения и досуга. В северных регионах, где темный период года продолжителен, освещение становится ключевым фактором, влияющим на комфорт, безопасность и функциональность этих зон. Несмотря на внимание к благоустройству, многие дворы остаются слабо освещенными, что снижает их использование в темное время и создает ощущение небезопасности.

Актуальной задачей является разработка методов проектирования вечерней среды дворов, обеспечивающих многофункциональность, эмоциональный комфорт и безопасность через продуманный световой дизайн. Это требует учета нормативов, потребностей разных групп населения и сохранения идентичности места.

Метод исследования

Исследование вечерней среды дворовой территории (г. Томск, ул. Тверская, 14) проводилось с использованием комплексного подхода, сочетающего инструментальные замеры освещенности и социологические методы. В целях оценки текущего состояния световой среды были проведены ночные замеры уровня горизонтальной освещенности (E_H) на уровне земли с использованием люксметра ТКА-Люкс. Полученные данные позволили выявить несоответствие фактической E_H нормативным требованиям (проезды — 5 лк, детская площадка — 10 лк, спортивное поле — 50 лк, парковки — 6 лк, зоны

отдыха во дворах — 10 лк, тротуары и проходы — 4 лк [4]), особенно в зонах активного использования пространства, так как территория освещена двумя светильниками на углу жилого дома (рис. 1). Проезды и парковочные места рядом с источниками света имели освещенность не более 6 лк, на других объектах зафиксирована освещенность на уровне погрешности прибора.



Рис. 1. Имеющиеся источники освещения на объекте

Для более точного понимания пользовательских предпочтений и поведенческих моделей применялся метод персонажа (*Personas Method*), заключающийся в создании типизированных образов основных групп посетителей — стейкхолдеров территории. Каждый персонаж характеризовался собственными целями, потребностями и способами взаимодействия с пространством. Такой подход обеспечил учёт разнообразия интересов и позволил сформировать световое решение, максимально отвечающее ожиданиям различных категорий пользователей.

Результаты

К числу ключевых стейкхолдеров отнесены жители дома, родители с детьми, владельцы животных и случайные прохожие, включая туристов, каждый из которых имеет свою специфику использования пространства и ожидания от его освещения. Основными задачами, вытекающими из их потребностей, стали обеспечение возможности использования детской и спортивной площадок, создание безопасного и комфортного пространства для передвижения и отдыха, а также подчеркивание идентичности места через акцентное освещение характерных элементов — водопада, мостика и смотровой площадки. Эти требования легли в основу проекта и нашли отражение в дифференцированном подходе к освещению различных зон двора (рис. 2, 3).

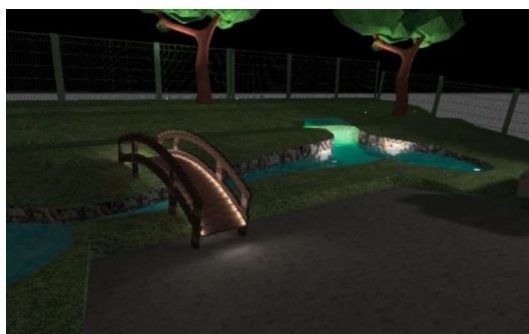


Рис. 2. Парковая зона



Рис. 3. Зона детской игровой площадки

Так, для родителей с детьми было обеспечено равномерное, мягкое освещение игровой зоны с применением светильников с защитой $IP65$ и цветовой температурой 3000 К, способствующих эмоциональному комфорту и безопасности активного детского взаимодействия. Для спортсменов и любителей физической активности предусмотрено более интенсивное нейтральное освещение спортивной площадки (4000 К), обеспечивающее хорошие условия видимости и возможность занятий в вечернее время (рис. 4). Прогулочные маршруты и зоны отдыха получили приглушенное декоративное освещение, создающее атмосферу уюта и ритма, одновременно гарантирующее безопасность перемещения.



Рис. 4. Зона спортивной площадки

Особое внимание уделено подсветке объектов, формирующих уникальность пространства: водопада, мостика и деревянной террасы, что усилило визуальную идентичность двора и помогло сформировать узнаваемую световую среду.

Получена средняя E_T , согласно нормам: проезды — 8,3 лк, детская площадка — 18,6 лк, спортивная площадка — 51,2 лк с равномерностью 0,4, тротуары — 6 лк (рис. 5). Коэффициент эксплуатации при расчете — 0,67.

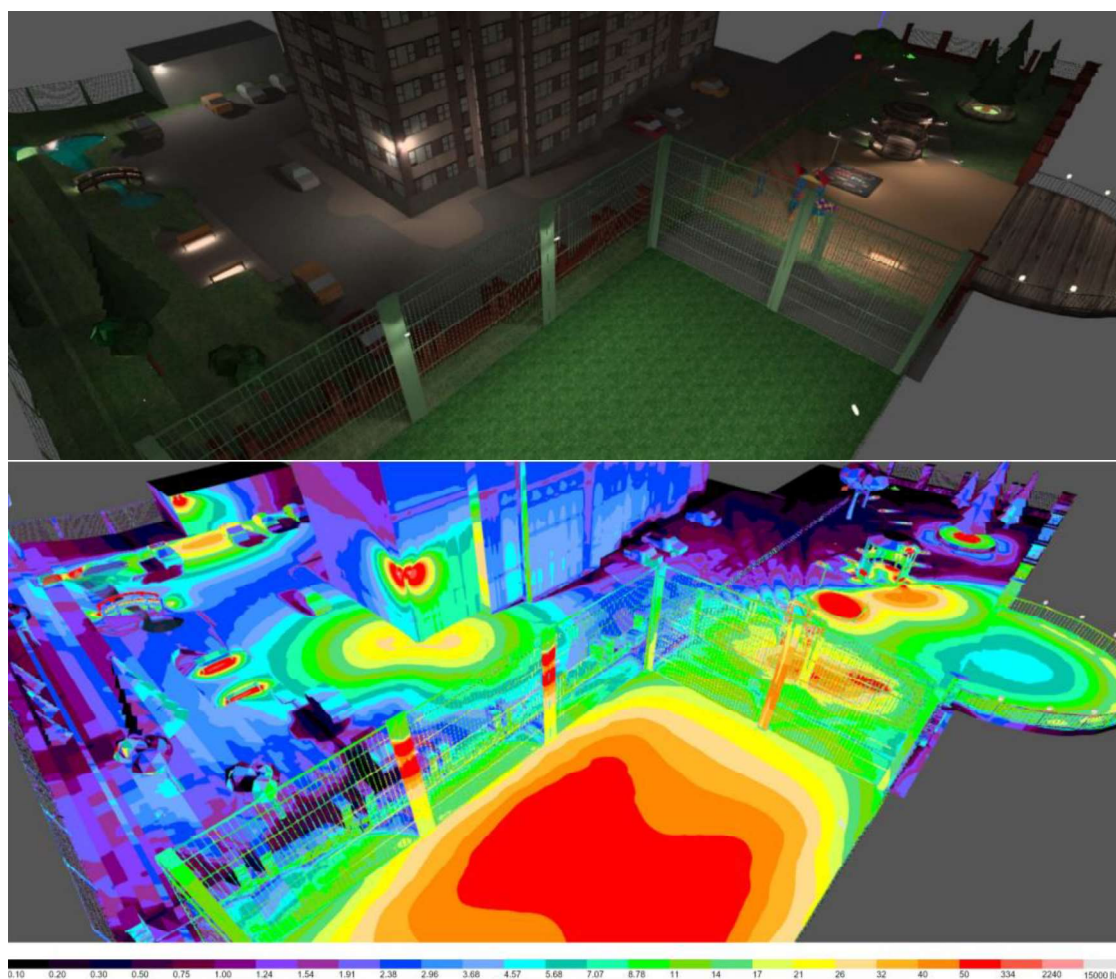


Рис. 5. Дворовая территория

Обсуждение

Особое внимание в проектировании необходимо уделять социально-поведенческим аспектам. Городская среда существует не сама по себе, а через взаимодействие с её пользователями. Современные подходы к формированию пространства все чаще учитывают не только функциональные и эстетические параметры, но и социальные, психологические и поведенческие аспекты взаимодействия человека с окружающей средой. В этом контексте особое значение приобретает грамотное проектирование светового

решения, которое становится важным инструментом организации городского двора как многофункциональной и доступной территории.

Предпроектный анализ представляет собой фундаментальную стадию проектирования, ориентированного на формирование качественной городской среды. Его роль заключается не только в сборе исходных данных, но и в выявлении скрытых закономерностей функционирования пространства, что позволяет сформировать обоснованный, целенаправленный и социально ориентированный проектный подход. Благодаря данному подходу снижается риск некорректного применения светотехнических решений, которые могут привести к дисбалансу между функциональностью, комфортом и энергоэффективностью.

Выводы

При разработке светового мастер-плана дворовой территории удовлетворены все потребности стейкхолдеров и особое внимание уделено сохранению идентичности места: световые акценты деликатно выделяют ключевые элементы — террасу, водопад, мостик и дерево с подиумом. Представленное решение соответствует нормативным требованиям.

Список литературы

1. ГОСТ Р 55707–2013 Освещение наружное утилитарное. Методы измерений нормируемых параметров. Введен 1013-11-03. – Москва: Стандартинформ, 2014. – 12 с.
2. *Natalia Sokol*. Personas for lighting’. Three methods to develop personas for the indoor lighting environment // *Energy and Buildings*. – 2023. – vol. 278.
3. Куц О.К. Оптический расчет световых и облучательных приборов на ЭВМ. – М.: Энергоатомиздат, 1991. 152 с.
4. Щепетков Н.И. Светодизайн города и интерьера: Учебное пособие для высших учебных заведений / Н.И. Щепетков. – Москва: Редакция журнала Светотехника 2021. 456 с.
5. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение» [Электронный ресурс]: свод правил: актуализированная редакция СНиП 23-05-95. – Введ. 2017-05-08. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054197> (дата обращения: 08.07.2025).

ПРОЕКТ ОСВЕЩЕНИЯ САЛОНА ЭСТЕТИЧЕСКИХ УСЛУГ

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

LIGHTING DESIGN FOR A BEAUTY SALON

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

Аннотация

Выявлены основные требования, предъявляемые к освещению современными салонами эстетических услуг. Определён основной функционал осветительных установок, сформулированы требования к управлению освещением. Для одного из существующих салонов разработан проект системы освещения, максимально закрывающий все существующие потребности как клиентов, так и сотрудников.

Abstract

The main requirements for lighting in modern beauty salons have been identified. The main functionality of the lighting installations has been defined, and the requirements for lighting control have been determined. A lighting system project has been developed for one of the existing salons, which maximally covers all the existing needs of both clients and employees.

Ключевые слова: освещение салонов красоты, адаптивное освещение, приёмы освещения, регулируемая цветовая температура, управления освещением

Keywords: *beauty salon lighting, adaptive lighting, lighting techniques, adjustable color temperature, lighting control*

Введение

В настоящее время, с ростом интереса современной молодежи к сфере красоты и ухода за собой, увеличивается спрос на инновационные подходы в салонах красоты, соответствующие развитию технического прогресса и изменениям в обществе. Все большую популярность приобретают салоны, предлагающие уникальные услуги, основанные на современных технологиях, где акцент делается не только на результат, но и на эмоции клиентов, вызванные особой атмосферой, эффектами и персонализированным подходом.

Целью данной работы явился анализ существующих систем освещения салонов красоты и разработка демонстрационного светотехнического проекта для получения наилучших результатов визуального комфорта, с учетом особенностей освещения для разных видов эстетических услуг.

Методы исследования

Проект освещения салона решает целый набор важных задач. Главной из них является влияние света на клиентов, так как освещение напрямую влияет на восприятие ими своего внешнего вида. Правильный выбор цветоцветовых характеристик особенно критичен при выборе оттенков для окрашивания волос, макияжа или маникюра. Возможность клиента оценить результат процедур в освещении, приближенном к естественному, повышает доверие к качеству услуг. Кроме этого, разные зоны салона требуют различных подходов к освещению. Комфортно должно быть как клиенту, так и сотруднику салона. Рабочие зоны мастеров требуют интенсивного акцентного освещения для повышения точности процедур. В то же время, зона отдыха, ресепшн и кабинеты спа-процедур требуют более мягкого света, создающего расслабляющую атмосферу.

В числе светотехнических характеристик важную роль играет цилиндрическая освещенность, играющая ключевую роль в моделирующем действии света и восприятии окружающего пространства. Даже при достаточном уровне горизонтальной освещенности, низкая цилиндрическая освещенность может привести к тому, что лицо человека окажется в тени.

В результате проведенного анализа информации из литературных источников [1–5] были сформулированы следующие основные требования к освещению:

- высокий индекс цветопередачи (*CRI*) для точного отображения цветов кожи, косметики и волос;
- однородное распределение яркости без резких перепадов света и теней, чтобы исключить визуальный дискомфорт;
- возможность регулировки уровня освещенности и цветовой температуры в зависимости от выполняемых процедур;
- исключение бликов на зеркалах, стеклянных поверхностях и коже клиентов;
- комфортные уровни освещенностей, не вызывающие отрицательных эмоций у клиентов и сотрудников.

Было установлено, что общее освещение помещений также помогает подчеркнуть стиль и концепцию интерьера салона. Это обеспечивает клиенту приятное нахождение в салоне, получение эмоционального удовлетворения и расслабления, ощущение атмосферы уюта и профессионализма, что особенно важно бизнесу для удержания клиентов.

В ходе работы был также проведён аудит освещения филиала салона красоты премиального сегмента *MA&MI*, располагающегося по адресу: г. Москва, Нижний Сусальный пер. 5с13. Для его помещений был разработан демонстрационный проект освещения, учитывающий все современные требования для различных видов процедур. Проект охватывает следующие зоны:

1. Маникюрно-педикюрная зона, предполагающая высокоточную зрительную работу. Освещение должно быть интенсивным, но не ослепляющим, с направленным, точечным распределением. Коррелированная цветовая температура (КЦТ) и индекс цветопередачи должны обеспечивать максимально точную передачу цветов покрытий по сравнению с солнечным светом.

2. Зона стилистов, разделённая на две небольшие подзоны: кресло клиента и кресло для мытья головы. В первом случае крайне важна точная цветопередача и отсутствие теней, мешающих мастеру. Во втором случае свет не должен быть ослепляющим и направленным, так как голова клиента запрокинута наверх.

3. Зона визажистов, требующая высокого индекса цветопередачи и равномерного распределения света. От этого зависит подбор декоративной косметики и визуальная оценка цвета кожи клиентов.

4. Массажный кабинет, предполагающий особый подход. Основной задачей является создание мягкой и комфортной атмосферы, в которой клиент сможет почувствовать себя спокойно и расслабленно. Важно учитывать объединенный показатель дискомфорта, чтобы свет не был направлен в глаза.

С учётом вышеперечисленных особенностей каждой зоны, а также нормативных документов [6, 7], были определены характеристики осветительных установок, приведённые в табл. 1.

Результаты

Для разработанного проекта был выполнен поверочный светотехнический расчёт и визуализация освещения всех помещений. Пример визуализации приведён на рис. 1.

Таблица 1. Светотехнические параметры для различных зон салона красоты

Зона	Освещённость, лк	КЦТ, К	Ra	UGR	Тип КСС
Маникюр	500	4000–5000	≥95	21	Косинусная + глубокая
Педикюр	500	4000–5000	≥95	21	Косинусная + глубокая
Стилисты	400	4000–5000	≥95	21	Полуширокая
Макияж и брови	500	4000–5000	≥95	21	Косинусная
Массаж	300	3000	≥80	22	Косинусная
Депиляция	500	4000–5000	≥95	21	Косинусная + глубокая

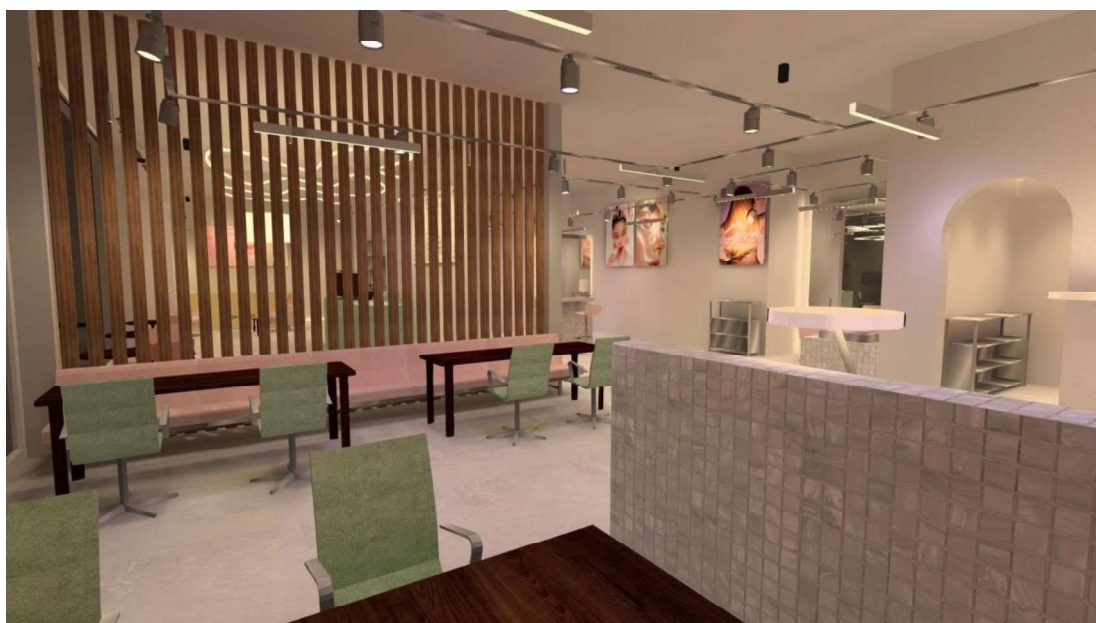


Рис. 1. Визуализация освещения основного зала

Для данного объекта также предусмотрена система управления освещением на базе протокола *DALI*, обеспечивающая работу осветительных установок в следующих режимах (реализованных в виде световых сцен):

1. «Полная посадка»: Включены светильники на шинопроводе, точечные подвесные светильники над маникюрными столами, торшеры для зоны педикюра и подсветка зеркал. Настроена КЦТ 3500 К, все зоны равномерно освещены, минимизируются тени и усиливается внимание к деталям. Возможен учет времени работы мастеров.

2. «Утро выходного дня»: Общий свет задиммирован на 50 %. Выключена декоративная подсветка. Мягкий свет снижает зрительную нагрузку и настраивает клиентов на расслабление.
3. «Демонстрация результата окрашивания»: Режим позволяет клиенту оценить новый цвет волос в условиях освещения, имитирующих естественный дневной свет, пасмурный день и солнце на закате («*Golden hour*»).
4. «Вечерняя атмосфера закрытия салона»: Включена только декоративная подсветка. Уютный сценарий, который снижает уровень стресса перед закрытием салона.

Обсуждение

Важной особенностью разработанного проекта является специальный сценарий демонстрации результатов работы стилистов, включающий в себя несколько этапов.

Первым этапом является имитация солнечного дня. В этом режиме используется свет с КЦТ 4500–5000 К. Такой свет максимально приближен к естественному солнечному освещению, что позволяет клиенту увидеть истинные цвета волос.

Далее происходит переключение на режим пасмурного дня, где КЦТ повышается до 5000–6000 К. В этом режиме свет становится мягче и более нейтральным, имитируя рассеянный дневной свет в облачную погоду.

Завершающим этапом становится атмосфера заката с теплым, насыщенным оранжево-жёлтым оттенком и КЦТ 2700–3000 К. Такое освещение создает уютную и романтическую обстановку, позволяя клиенту представить, как будет выглядеть цвет волос в условиях так называемого «золотого часа» (*Golden hour*).

Активация сценария производится стилистом после завершения окрашивания, при помощи сенсорной панели управления. Данный сценарий позволяет максимально полно продемонстрировать работу мастера и повышает доверие клиента к салону.

Выводы

Разработанный проект освещения учитывает специфику многофункционального зала, в котором расположены зоны маникюра, педикюра, работы стилистов и визажистов. Для каждой зоны были предложены решения, обеспечивающие как общее, так и акцентное

освещение, способствующее точной работе специалистов и комфорту клиентов.

В рамках проекта была разработана концепция освещения салона эстетических услуг с использованием системы управления освещением. Благодаря данной системе стало возможным реализовать световые сцены с автоматическим или ручным управлением, в том числе с изменением КЦТ, диммированием, а также включением и отключением отдельных светильников в зависимости от расписания или активности в помещении. Сформированное решение обеспечивает качественное и гибкое освещение салона красоты с учётом всех функциональных зон.

Список литературы

1. Harmonious distribution of brightness on faces. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ercos.com/en/designing-with-light/mediaassetpool/lighting-technology/good-facial-illumination-6413/> (дата обращения: 06.06.2025).
2. Salon lighting: The Ultimate Guide. [Электронный ресурс]. URL: <https://upwardlighting.com/salon-lighting/> (дата обращения: 06.06.2025).
3. The Best Lighting for a Hair Salon: Elegant & Bright [Электронный ресурс]. URL: <https://ledlightsdirect.com/blogs/news/the-best-lighting-for-a-hair-salon-elegant-bright> (дата обращения: 06.06.2025).
4. Salon Lighting Tips: A Simple Guide to Make Your Clients Look Amazing [Электронный ресурс]. URL: <https://freestylesystems.com/spectralights/salon-lighting-tips/> (дата обращения: 06.06.2025).
5. Best Hair Salon Lighting Fixtures [Электронный ресурс]. URL: <https://www.upshine.com/blog/best-hair-salon-lighting-fixtures.html> (дата обращения: 06.06.2025).
6. СП52.133330.2016 «Естественное и искусственное освещение» [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456054197> (дата обращения: 06.06.2025).
7. СанПиН 2.1.2.2631-10 «Санитарно-эпидемиологические требования к размещению, устройству, оборудованию, содержанию и режиму работы организаций коммунально-бытового назначения, оказывающих парикмахерские и косметические услуги» [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902217202> (дата обращения: 06.06.2025).

ВНЕДРЕНИЕ КОМФОРТНОГО ЗДОРОВОГО ВНУТРЕННЕГО ОСВЕЩЕНИЯ В АЭРОПОРТУ ПУЛКОВО Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ, КАК СПОСОБ ГЛОБАЛЬНОЙ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СЕРВИСА В ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ

*Ерофеев Е.А., ученик 10 класса «В»; Николенко Н.А., учитель
Общеобразовательный архитектурно-технический лицей ФГБОУ ВО
Самарского государственного технического университета г.о. Самара*

THE INTRODUCTION OF COMFORTABLE, HEALTHY INDOOR LIGHTING AT PULKOVO AIRPORT, ST. PETERSBURG, AS A WAY TO GLOBAL TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF CIVIL AVIATION SERVICES IN THE MODERN WORLD

*Erofeev E.A., a student of the 10th grade "B"; Nikolenko N.A., teacher
General Educational Architectural and Technical Lyceum of Samara State
Technical University, Samara*

Аннотация

В статье рассмотрен проект создания визуального макета внутреннего освещения залов ожидания в аэропорту Пулково г. Санкт-Петербург с применением солнцеподобного источника света, как способ глобальной тенденции развития сервиса в гражданской авиации в современном мире. Актуальность данного предложения заключается в снижении стресса пассажиров, в новизне внутреннего вида освещения аэропорта – как для здорового зрения, так и для комфортного восприятия и дополнения к архитектурному облику аэропорта. Стресс возможно исключить посредством встраивания правильного психического состояния с позиции постоянной защиты, а именно сочетания факторов комфортной безопасности и избегания негативных источников зрительной стимуляции. Одним из способов снижения стресса в общественных местах является комфортное здоровое освещение. Цель данного предложения – создание визуального макета залов ожидания аэропорта с использованием комфортного здорового внутреннего освещения, как одного из факторов снижения стресса пассажиров. Результатом данного нового решения будет повышение уровня оказываемых услуг пассажирам за счет технической модернизации аэропорта, направленных на повышение комфортности перевозок, а также, направленной на снижение числа авиадебоширов.

Abstract

The article considers the project of creating a visual model of the interior lighting of waiting rooms at Pulkovo Airport in St. Petersburg using a sun-like light source, as a way of the global trend of service development in civil aviation in the modern world. The relevance of this proposal lies in reducing passenger stress, in the novelty of the interior type of airport lighting — both for healthy vision and for comfortable perception and complementing the architectural appearance of the airport. Stress can be eliminated by embedding the correct mental state from the position of constant protection, namely, a combination of factors of comfortable safety and avoidance of negative sources of visual stimulation. One of the ways to reduce stress in public places is comfortable healthy lighting. The purpose of this proposal is to create a visual model of airport waiting rooms using comfortable healthy interior lighting, as one of the factors reducing passenger stress. The result of this new solution will be an increase in the level of services provided to passengers due to the technical modernization of the airport, aimed at improving the comfort of transportation, as well as aimed at reducing the number of air hooligans.

Ключевые слова: гражданская авиация, безопасность, комфорт, здоровье, стресс, солнцеподобное освещение, неавиационные доходы

Keywords: civil aviation, safety, comfort, health, stress, sun-like lighting, non-aviation income

Введение

Современная жизнь человека имеет очень быстрый темп, который обусловлен меняющимися условиями жизни и высоким темпом развития новых технологий. Одним из самых быстрых способов передвижения человека является авиаперевозки, которые осуществляются из аэропортов. Аэропорт — парадные ворота любого города и экономический драйвер для развития города [1]. Однако, с развитием транспортных маршрутов и ростом числа авиаперевозок в течение последних двух лет растет число авиадебоширов, что несет большую финансовую нагрузку на авиакомпании. По данным СМИ МВД России, в 2023 году с самолетов сняли 1,65 тыс. хулиганов — это на 14 % больше, чем в 2022 году. Статистика за 2024–2025 годы на данный момент пока не опубликована, но, с учетом внешнеполитических событий и достаточно частых переносов или отмены рейсов в целях безопасности полета в условиях «План ковер», скорее всего, число авиадебоширов будет увеличено.

Основной причиной увеличения числа авиадебоширов в России эксперты считают повышенный уровень стресса населения. Среди серьезных факторов стресса стоит отметить длительное пребывание при электрическом освещении, которое нарушает естественные циркадные ритмы сна. Световые рецепторы в глазах реагируют на уровень освещения, запуская определенные гормональные реакции в организме. Наступление сумерек и темноты заставляет человеческий организм вырабатывать гормон мелатонин, способствующий засыпанию. При длительном искусственном освещении замедляется выработка мелатонина, что препятствует переходу в качественный сон. Поэтому в идеальном мире задача хорошего аэропорта — своей архитектурой и инфраструктурой максимально снизить этот стресс. А правильное искусственное освещение в аэропорту может сыграть важную роль в улучшении самочувствия и снижения стресса [2].

Освещение аэропорта должно обеспечивать условия для эффективной работы каждого подразделения и дополнительно способствовать комфорту пассажиров, которым часто приходится проводить в залах ожидания много времени [3].

На данный момент времени наблюдается тенденция перехода к более экономичным осветительным приборам — светодиодным светильникам. Их не только устанавливают во вновь строящихся аэровокзалах, но и используют при модернизации освещения. Однако, светодиодные источники света не являются здоровой системой освещения.

Метод исследования

В результате прихода светодиодной цивилизации опасное световое загрязнение за последние 20 лет уже привело в мире к катастрофическому скачку заболеваний в виде дистрофии макулы — даже более грозному заболеванию, чем глаукома. Учеными отмечено мощное влияние низкоинтенсивного света красного спектра на скорость заживления ран и ожогов в результате гражданских или боевых травм. В ряде стран это является уже узаконенной клинической технологией и особенно широко применяется в Китае. Стало очевидным, что низкоинтенсивный свет красного спектра является естественным природным ускорителем метаболических процессов в живой ткани и жизненно необходим организму и глазам человека.

Результаты

В статье рассматривается проект создания здорового комфортного внутреннего освещения залов ожидания аэропорта, которые предусматривают благоприятное зрительное восприятие и снижение стресса пассажиров с воспроизведением природных условий солнечного света. 90% информации из окружающего нас мира человек получает с помощью зрения, поэтому глаз — самый важный из органов чувств человека.

Большое количество искусственных световых табло и указателей в аэропорту является дополнительной зрительной нагрузкой, что способствует увеличению стресса. Поэтому одной из составляющих снижения стресса пассажиров становится вопрос о комфортной и здоровой зрительной нагрузке в период ожидания в аэропорту.

Обсуждение

По статистике аэропорт Чанги в Сингапуре считается самым комфортным и удобным в мире. Основным критерием комфорта в аэропорту можно назвать создание условий атмосферы, приближенной к природным, помимо сервиса торговли и развлечений.

Самым удачным по сочетанию архитектурного облика и системы внутреннего освещения признан аэропорт Барахас в г. Мадрид (Испания). Идея архитектора состояла в том, чтобы наполнить все внутреннее пространство терминала светом. То есть основная идея комфорта так же состоит в создании условий, близких к естественной природе.

Выводы

В России с ее обширной территорией, климатической особенностью и всеми часовыми поясами возможно создание комфортных условий в аэропорту с помощью внедрения солнцеподобного внутреннего освещения. В России систему освещения с воспроизведением солнечного света могут предложить в компании *LEDWINDOW*. Продукция этой компании производится в дружественной нашей стране Китайской народной республике. В июне 2024 в Московской Торгово-Промышленной палате прошел круглый стол «Комфортное освещение городских объектов». В ходе данной дискуссии озвучена проблема огромного роста заболеваний органов зрения. На данный момент Россия по близорукости среди молодежи из 50 стран мира находится на 3 месте.

В отличие от традиционных источников светодиодного света на синем кристалле, светильники с воспроизведением максимально близкого к солнечному свету имеют полноценный спектр. Данная система освещения обеспечивает в помещении солнцеподобный спектр и возможность изменять цветовую температуру в течении дня.

В природе — это лесной воздух, который повышает иммунитет человека и антибактериальную активность.

Полноценный спектр и возможность изменения цветовой температуры помогают выстроить здоровый циркадный ритм и, как следствие, хороший режим сна и бодрствования, отсутствие стресса. Выразительное и комфортное освещение в сочетании со всеми необходимыми удобствами становятся гарантом того, что даже пассажиры транзитных рейсов, имеющие достаточно времени, предпочитают не покидать здание аэровокзала. Время ожидания, совмещенное с шопингом и развлечениями, позволяет пассажирам получить удовольствие, которое надолго останется в памяти, а самому аэропорту приносит дополнительную прибыль. Затраты на внедрение инновационного внутреннего освещения с целью снижения стресса будут покрыты исключением затрат на устранение авиадебоширства и неавиационными доходами с учетом комфортного размещения пассажиров в залах ожидания.

Самым крупным аэропортом с низким солнечным освещением в России является Пулково г. Санкт-Петербург. Среднегодовое количество солнечных дней в Санкт-Петербурге составляет всего около 62. Это означает, что большая часть года проходит в условиях облачной, пасмурной погоды. Рассеянный свет, мягкие тона — это то, что определяет облик северной столицы в течение многих месяцев. За 2025 год аэропорт Пулково выполнил огромное количество перенаправленных в целях безопасности рейсов, поэтому в целях модернизации в статье именно для этого аэропорта создан визуальный макет внедрения солнцеподобного освещения. Внедрение солнцеподобного источника света создаст более комфортную и менее стрессовую среду. Данная модернизация аэропорта Пулково г. Санкт-Петербург, направленная на здоровое зрение и снижение уровня стресса, возможно будет иметь «Эффект бабочки» в глобальных тенденциях развития сервиса в гражданской авиации в современном мире (рис. 1).



a)



b)



в)



г)



д)



е)

Рис. 1. Визуальный макет освещения аэропорта Пулково: зал ожидания без окон в Пулково (а), визуальный макет зала ожидания без окон в Пулково с применением системы освещения воспроизведения солнечного света (день/вечер) (б), зал ожидания без окон в Пулково (в), визуальный макет зала ожидания без окон в Пулково с применением системы освещения воспроизведения солнечного света (день/вечер) (г), зал ожидания без окон в Пулково (д), визуальный макет зала ожидания без окон в Пулково с применением системы освещения воспроизведения солнечного света (день/вечер) (е)

Список литературы

1. Блохин В.И. Основы проектирования аэропортов / В.И. Блохин. – М.: Транспорт. 2005. 208 с.
2. Богданова О.В., Филатова Ю.Д. Определение роли цвета и света в архитектуре // Международная научно-практическая конференция «Тенденции развития науки и образования». Самара: ИП Иванов, 2016. 8 с.
3. Кроть Ц.И., Мясоедова Е.И., Терешкевич С.Г. Качество промышленного освещения. М.: Энергоатомиздат, 2009. 224 с.
4. Парфенова К.А. Формирование архитектурно-пространственных решений международных аэровокзалов при их реконструкции: дисс. канд. архитектуры / К.А. Парфенова. М., 2005. 104 с.

ПСИХОЛОГИЧЕСКОЕ ВОСПРИЯТИЕ, СИМВОЛИКА И ОБРАЗНОСТЬ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ СВЕТОВЫХ ИНСТАЛЛЯЦИЙ И АРТ-ФОРМ В VR

Бондарь Д.С., студент; Посадова О.А., студентка;

Карпенко В.Е., к. арх., профессор

Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток

PSYCHOLOGICAL PERCEPTION, SYMBOLISM AND IMAGERY IN MODELLING LIGHT INSTALLATIONS AND ART FORMS IN VR

Bondar D.S., student; Posadova O.A., student;

Karpenko V.E., Ph.D., professor

Far Eastern Federal University, Vladivostok

Аннотация

В статье представлена методика виртуального моделирования световой инсталляции и арт-формы с помощью программного обеспечения игровых движков и визуализаторов в реальном времени с помощью VR-очков. При создании художественного освещения световой инсталляции и световой скульптуры использовались способы интерпретации фантастического кинопространства и светового выражения геометрической пластики техническими средствами проекционного, цветного, контурного и заливающего освещения. В данном исследовании при разработке образности освещения использовались графическая символика в различных культурах и образная имитация кинокадров фильма.

Abstract

The article presents a methodology for virtual modeling of a light installation and art form using game engine software and visualizers in real time using VR glasses. When creating artistic lighting for a light installation and a light sculpture, methods of interpreting a fantastic cinematic space and light expression of the geometric plastic were used by technical means of projection, color, contour and flood lighting. In this study, graphic symbols in various cultures and figurative imitation of film frames were used when developing the imagery of lighting.

Ключевые слова: VR, виртуальное моделирование, семантический код, культурная среда, социальное пространство, игровой движок

Keywords: *VR, virtual modeling, semantic code, cultural environment, social space, game engine*

Введение

Актуальность исследования подкреплена разработкой теории предметно-пространственного наполнения архитектурной среды в ночных условиях. При использовании гарнитуры VR могут быть выработаны и проверены теоретические элементарные приемы освещения, которые составляют ряд модульных светокомпозиционных приёмов. В дальнейшем найденные приёмы освещения и их структурное чередование в световых формах или модулях, применённых в реальных объектах световой архитектуры, могут составить гармоничную вечерне-ночную среду и уменьшить световой хаос. В ходе анализа современных исследований с использованием виртуальности обнаруживается интерактивный метод представления идеи искусственного освещения для светодизайнера и пользователя, в результате которого можно оптимизировать визуализацию и зрительную оценку светового проекта в VR [1]. Другая работа посвящена методу моделирования мультимедийных и световых форм городской среды в специальных компьютерных программных и средах виртуальной реальности с акцентом на изучение сенсорно-психологического воздействия архитектурных объектов, мультимедийных и световых форм [2]. Также в исследованиях представлена методика освещения подземных пешеходных пространств средствами цветовой палитры художественного произведения, стрит-арта и светодиодных технологий [3]. В нашей работе ставится цель предварительного VR-моделирования световых эффектов в световых инсталляциях и арт-формах с помощью определенных ИС для последующей возможности реализации в существующей пешеходной среде города. При этом проверяется психологическое воздействие моделируемых световых иллюзий и светокомпозиционных приёмов, основанных на семантической и культурно-художественной интерпретации световой инсталляции и скульптуры через визуально-психологическое восприятие в VR-очках. В результате проведенных экспериментов были проверены и подтверждены достоверность иммерсивных эффектов, вызванных световыми иллюзиями и эффектами.

Методы исследования

В данной работе используются методы виртуального моделирования в современных игровых движках и визуализаторах реального времени *Unreal Engine* и *Twinmotion*. Предварительно в графических редакторах 3D построения были созданы цифровые модели световой инсталляции на основе существующего подземного перехода и абстрактная форма световой скульптуры — арт-формы.

Результаты

Идея проекта световой инсталляции «Лес планеты Пандора» в подземном пространстве пешеходного перехода заключается в том, чтобы передать фантастическую атмосферу планеты из фильма «Аватар». Необычные растения, светящиеся в темноте, «древо душ» создают магическую атмосферу и переносят пешеходов в удивительный мир. Виртуальное моделирование световой инсталляции производилось в *Twinmotion* и *Unreal Engine*. Светильники размещены в разных частях перехода и выполняют разную функцию: свет над входом выполнен в виде направленных светильников на скрытой направляющей, что позволяет детально настроить заливающий свет для каждого объекта отдельно (табл. 1).

Некоторые части инсталляции выполнены в качестве самостоятельных световых объёмных форм. Контурный свет используется в виде лент с цветным светом и расположен за объектами. Большую роль играет несколько световых проекторов, которые позволяют полностью покрыть стены проекцией космоса, что создаёт эффект погружения и свечения звёзд и позволяет выводить не только статичные, но и динамичные сцены. Основной цветоцветовой композиционный эффект заключается в приёме контрового и направленного света (рис. 1).

Виртуальное моделирование светового арт-объекта в *Unreal Engine* тесно связано с символикой сот и формой шестигранника, который ассоциируется с порядком, гармонией, эффективностью, защитой, изобилием и благополучием в различных культурах и традициях. Синий (голубой) цвет создает спокойствие и гармонию. В современных городах с быстрым темпом жизни и повышенной тревожностью у горожан данный арт-объект может формировать чувство безопасности.

Таблица 1. Светотехнический анализ: параметры ИС, световые эффекты и световой поток при достижении художественного освещения

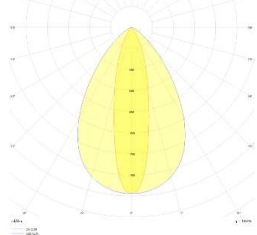
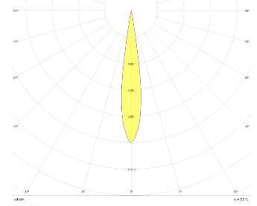
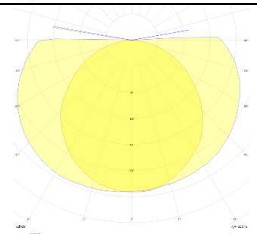
Тип ОУ	КСС	Световой поток, Φ (лм)	Световая формы / световой эффект
		2500	Освещенные конструкции стен и перекрытий / сложное свечение разной интенсивности и цветовых оттенков
		670	Светопроекционные формы (видеомэппинг) / световое проецирование (гобо проектор)
		350	Световой фон / подсвечивание определённой плоскости яркостным градиентом вверх или вниз



Рис. 1. Виртуальное моделирование подземного пешеходного пространства. Виртуальная экспозиция в VR-очках (автор студент ДВФУ Д.С. Бондарь)

Благодаря своему цветовому решению и выбранным формам, заложенной символикой, световая скульптура может положительно влиять на эмоциональное и психологическое состояние человека (рис. 2). Светотехнический анализ в табл. 2 содержит типы используемых светильников, световые эффекты и формы, которые они создают.

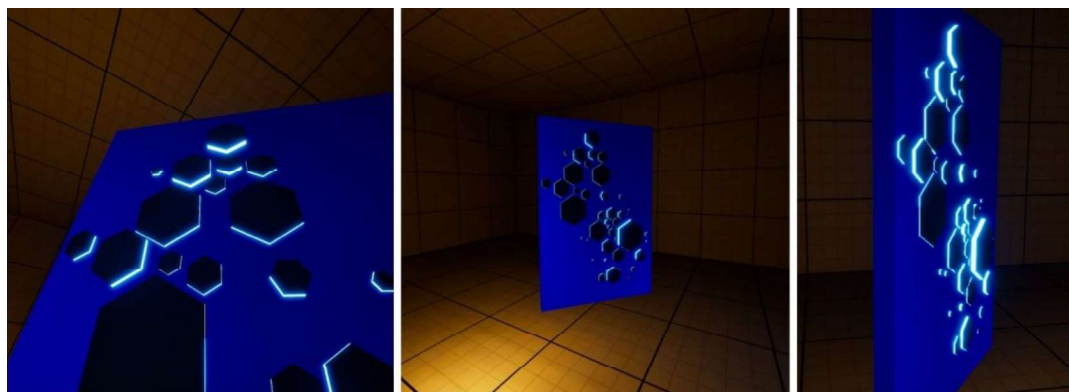
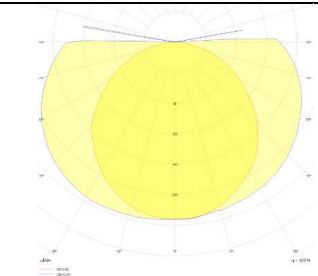
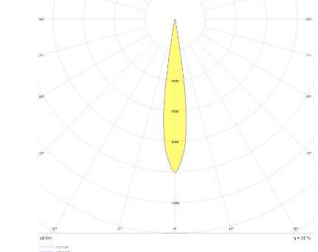


Рис. 2. Виртуальное моделирование световой арт-формы. Виртуальная экспозиция в VR-очках (автор студентка ДВФУ О.А. Посадова)

Таблица 2. Светотехнический анализ: параметры ИС, световые эффекты и световой поток при достижении художественного освещения

Тип ОУ	КСС	Световой поток, Φ (лм)	Световая форма / световой эффект
		350	Светографика / подсвечивание синим светом по периметру шестигранников
		837	Световой фон и атмосфера / ровный теплый свет на небольшой высоте

Обсуждение

Дальнейшие исследования в области моделирования освещения в виртуальной реальности и городской среде могут включать элементы

теории кино, где движение визуальных образов, составляющих повествовательный ряд художественного фильма, могут структурно соответствовать порядку восприятия видеокадров разработанной световой инсталляции. Различное освещение элементов инсталляции оживляет «фильм», который просматривает пешеход, передвигающийся в подземном световом пространстве [4].

Выводы

Основной вывод исследования показывает, что эмоциональная, культурная и семантическая составляющая световой инсталляции и арт-формы может улучшать психологический климат общественного городского вечернего пространства, создавать комфорт и безопасность.

Проявление символики в художественном освещении световой инсталляции и световой скульптуры могут выражаться через эффект свечения разной интенсивности, световое проецирование визуальных образов, яркостной градиент, световую графику, заливающий теплый и свет различных цветовых тонов.

Эксперименты виртуального моделирования продемонстрировали убедительный иммерсивный эффект и возможность ощутить искусственное световое архитектурное пространство в VR с учетом светокомпозиционной и художественной интерпретации видеокадров кинофильма, семантики и символики световых форм.

Список литературы

1. *Иванова А.Е., Макаров Д.Н.* Проектирование наружного освещения с применением виртуальной реальности // Инновационная светотехника: журнал РНК МКО, № 2. 2024. С. 68–74.
2. *Худолеева Е.О.* Проектирование в виртуальной реальности как перспективный метод исследования мультимедийных и световых форм архитектурной среды города / Е.О. Худолеева, О.В. Кононенко, В.Е. Карпенко // Архитектура и дизайн: история, теория, инновации. 2024. № 8. С. 384–388.
3. *Генералова В.Д., Драгунов А.Н., Карпенко В.Е., Пономаренко Н.В.* Изобразительное искусство как средство архитектурного освещения // Инновационная светотехника. Журнал РНК МКО. 2023. №1. С. 74–78.
4. *Делёз Ж.* Кино. М.: Ад Маргинем Пресс, 2016. 560 с.

**ДОКЛАДЫ НА
АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ**

PAPERS IN ENGLISH

A LONGITUDINAL STUDY ON RESIDENTIAL LIGHTING AND PHYSICO-EMOTIONAL STATES OF WOMEN DURING THE PERINATAL PERIOD

Dai S.J., Ph.D., Lecturer

Suzhou University of Science and Technology, Suzhou, China;

Wang T.Y., Ph.D.; Wang Y.N., Ph.D.; Li J.J, student; Shao R.D., Ph.D.;

Hao L.X., Ph.D., professor

Tongji University, Shanghai, China

Abstract

Due to changes in hormones, physiological and behavioral characteristics, women in different perinatal stages experience alterations in their emotional states, sleep, and lighting preferences. This study conducted an 8-to-10-month follow-up survey on lighting illuminance, emotions, sleep, duration of staying at home and exercising of 11 Chinese pregnant and postpartum women using luxmeters, sleep trackers, and self-assessment scales. The results revealed differences in lighting and physico-emotional states of women during different perinatal stages. During the postpartum period, lighting showed a significant increase in nighttime illuminance levels ($P < 0.05$), which may be related to the increased nighttime activities caused by the need to care for newborns. The sleep structure deteriorates significantly during the third trimester of pregnancy and the postpartum period. Regarding emotions, the second trimester of pregnancy showed the best emotional state, while the postpartum period was characterized by both high joy and fatigue indices, suggesting the interactive effect of sudden hormonal changes and parenting pressure.

Keywords: pregnant and postpartum women, home lighting, sleep, mood, follow-up survey

Introduction

During the perinatal period, significant physiological changes in women (e.g., hormonal fluctuations, uterine enlargement) induce adjustments in daily behaviors (e.g., limited activity, altered circadian rhythms), leading to changes in emotional state, sleep quality, and home lighting preferences (Lancaster 2010). These changes affect not only the physical and mental health of pregnant and postpartum women but also potentially impact fetal development. As a key zeitgeber for the human body, light influences the regulation of the circadian rhythm system through non-visual pathways in the eyes, thereby exerting significant effects on

emotions and sleep (Rea 2018). Due to their physiological specificity, perinatal women may show heightened light sensitivity. To systematically explore the characteristics of home lighting behaviors among pregnant and postpartum women during different perinatal periods (including the first, second, and third trimesters of pregnancy, as well as the postpartum stage) and their intrinsic associations with physical and mental conditions (such as sleep and emotions), this study selected 11 Chinese pregnant and postpartum women as research subjects and conducted a longitudinal follow-up survey lasting 8 to 10 months. A total of 308 valid lighting datasets and 308 valid questionnaires, 2,464 valid sleep records, and 1,540 valid emotional data entries were collected.

Method

The pregnant and postpartum women under follow-up were required to complete a one-week self-assessment report covering sleep conditions (bedtime, wake-up time, number of awakenings, wake-after-sleep onset, total sleep duration, sleep quality, etc.), emotions (fatigue, stress, depression, irritability, joy), duration of staying at home and exercising during four key perinatal stages: the first, second, and third trimesters of pregnancy, and the postpartum period (Fig. 1). They also wore a sleep bracelet (HUAWEI Smart Band 8 Pro) while sleeping to monitor objective sleep data. The combination of subjective questionnaires and objective sleep data reflects the real sleep conditions of the participating women. Luxmeters (Qingping, Motion & Ambient Lighting Sensor) fixed on vertical walls at eye level were used to continuously measure vertical eye illuminance data during the daytime (6:00–18:00) and nighttime (18:00–6:00 the next day).

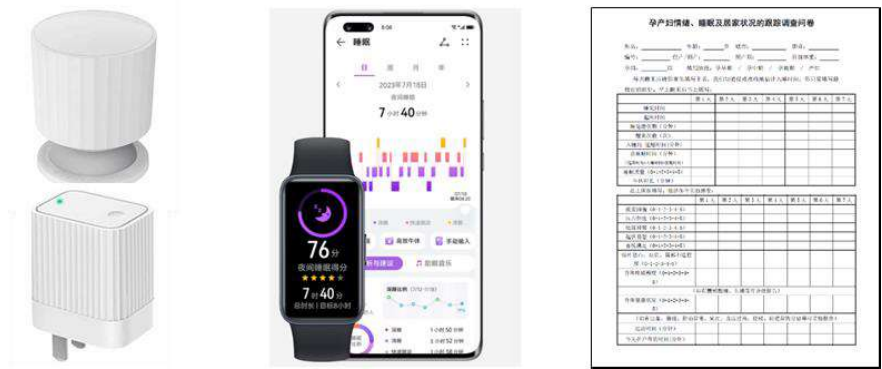


Fig. 1. Experimental methods (Top left: Luxmeter; Bottom left: Gateway for Luxmeter; Middle: Sleep bracelet; Right: Self-assessment report on sleep, emotion and health status)

Results

1. Results of illuminance

From the results of daytime illuminance tracking, there was no significant difference in vertical eye illuminance among the four stages, with the average value ranging from 100 to 150 lx (Fig. 2). In terms of nighttime illuminance distribution, the average vertical eye illuminance in the postpartum stage was significantly higher than that in the first trimester ($P < 0.001$), second trimester ($P < 0.05$), and third trimester ($P < 0.1$) of pregnancy, with a median (25 %-75 % IQR) of 15.30 (9.46–25.8) lx.

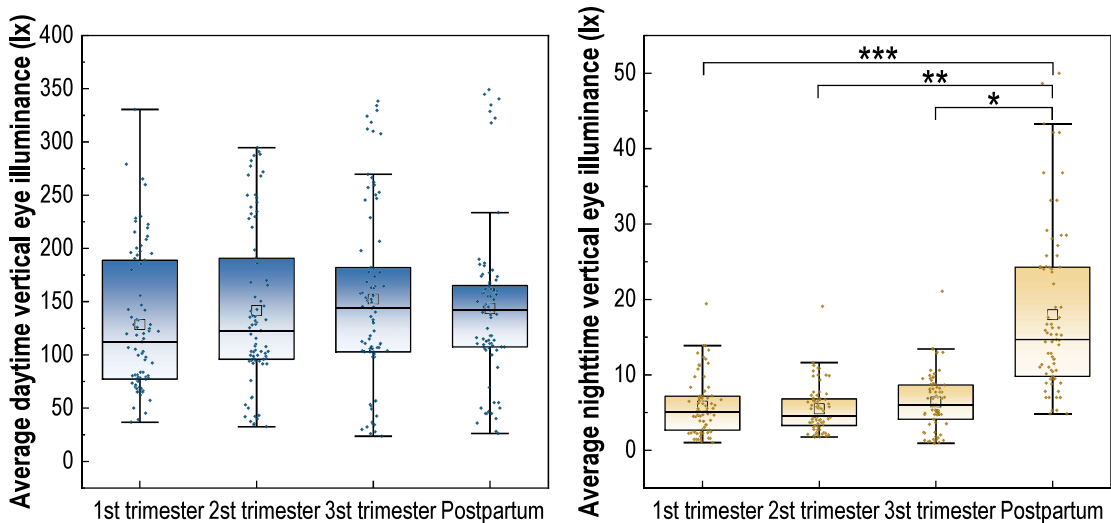


Fig. 2. Tracking results of daytime and nighttime illuminance values

2. Results of emotion

In terms of emotional dimensions (Fig. 3), the period with the lowest mean scores for negative emotions was the second trimester, during which the scores for fatigue, depression, irritability, stress were all the lowest.

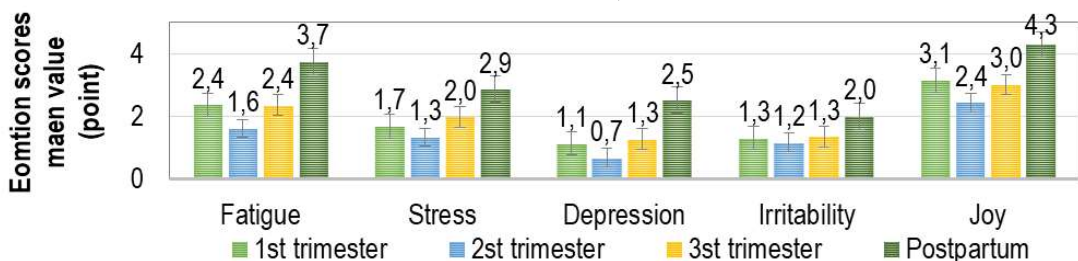


Fig. 3. Tracking results of emotion scores

Interviews with the tracked parturients revealed that in the first trimester, some parturients were mainly worried about the stability of the fetus; in the third trimester about their own physical condition and the delivery process; while in the postpartum period, their main anxieties were

about the care and health status of the newborn. The scores for joy and satisfaction were relatively high in the postpartum period and the first trimester, which were positive emotions generated by the parturients due to the conception and birth of a new life.

3. Results of sleep

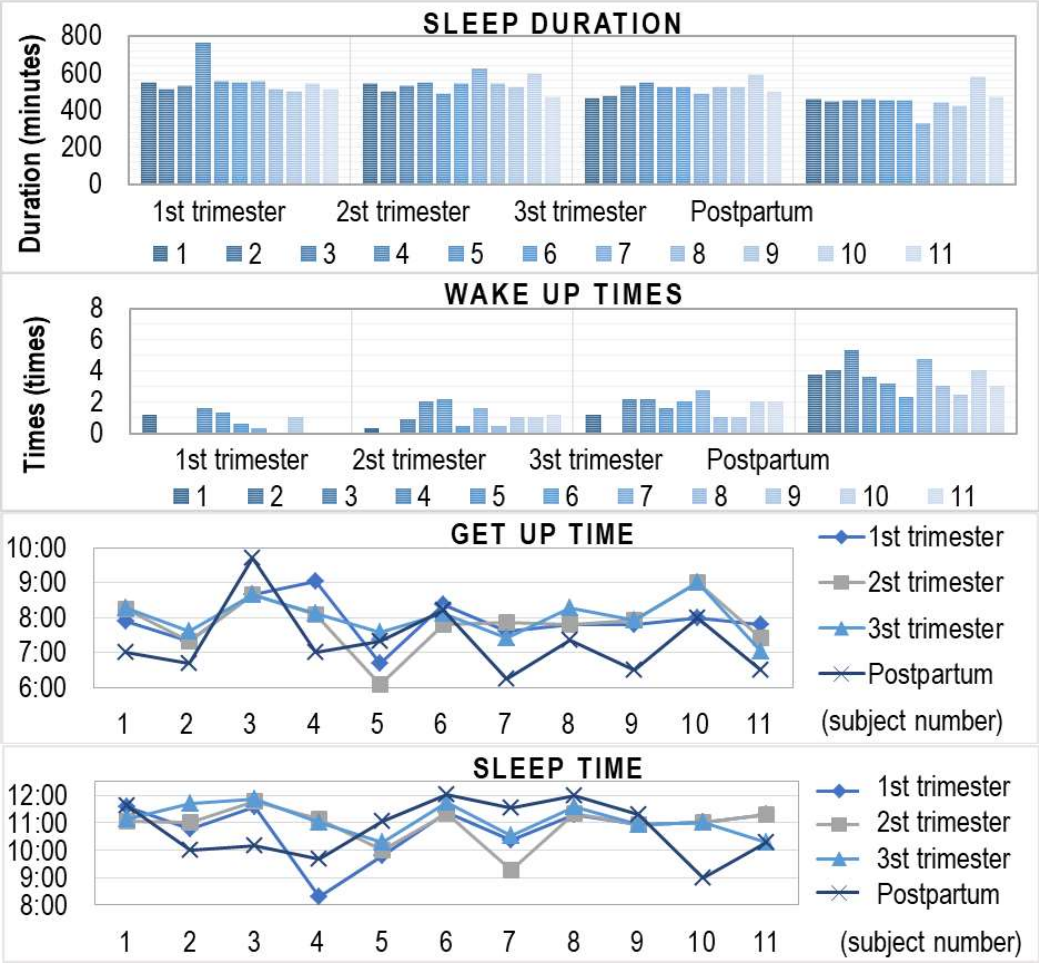


Fig. 4. Tracking results of sleep

The sleep data of the 11 participants across the four research stages showed that their average daily sleep duration in the first trimester, second trimester, third trimester, and postpartum period was 550 minutes, 537 minutes, 470 minutes, and 449 minutes respectively, with the average awake duration being 5.9 minutes, 8.6 minutes, 22.1 minutes, and 76.6 minutes (Fig. 4).It can be seen that as the perinatal period progresses, the sleep duration of pregnant and postpartum women gradually decreases, while the nighttime awake duration gradually increases. Due to the need to get up at night to take care of the newborn, the postpartum sleep duration is

significantly shorter than that during pregnancy, with the most frequent awakenings and the longest total awake duration. Most participants had 3-4 nighttime awakenings, and the time out of bed exceeded half an hour each time. In terms of bedtime and wake-up time, most participants had a relatively regular schedule during the three stages of pregnancy, but significant changes occurred in the postpartum period: half of the participants went to bed earlier, while the other half went to bed later.

4. Duration of home-stay and exercise

Statistical analysis of exercise duration and home-stay time among 11 tracked parturients before and after childbirth reveals obvious patterns of change (Fig. 5). To prevent excessive weight gain, relieve physical discomfort, and facilitate smooth delivery, most pregnant women intensify their exercise during the prenatal period, resulting in peak exercise durations in the second and third trimesters. However, in the postpartum period, exercise duration drops sharply due to factors such as insufficient sleep, the need to care for newborns, and physical recovery. It is worth noting that in this follow-up study, most postpartum questionnaires were collected within one month after delivery, during which all participants were in the postpartum recovery period. As a result, their daily home-stay time was basically 24 hours.

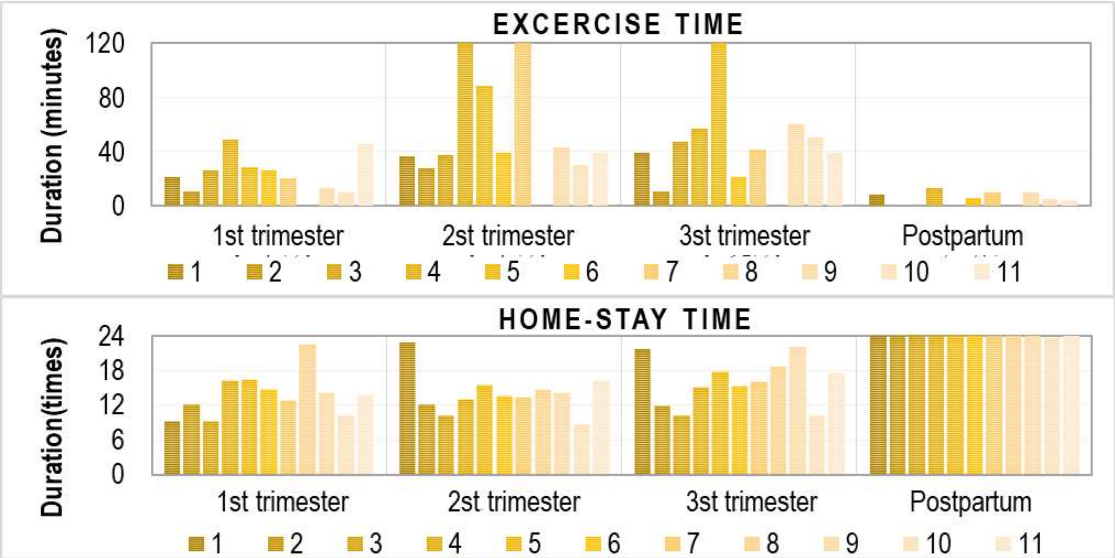


Fig. 5. Tracking results of stay home and exercise duration

Discussion

The long-term longitudinal tracking results of this study show that postpartum women have increased nighttime light use, abnormal sleep, and emotional fluctuations. Multiple studies have confirmed that sleep

abnormalities during pregnancy and childbirth—such as insufficient sleep, poor sleep quality, and increased awakenings—can worsen postpartum emotional issues, affecting physical recovery and mother-infant relationships. The National Sleep Foundation (NSF) recommends 7–9 hours of daily sleep for adult women aged 18–64, but some participants in this study only had 5–6 hours of nighttime rest.

Additionally, the position statement by CIE suggests that: the eyes should be exposed to at least 250 lx of mEDI (melanopic equivalent daylight illuminance) during the day; the maximum light exposure to the eyes should be 10 lx of mEDI within 3 hours before bedtime (Brown,2022). However, this study found that the average daytime eye illuminance for the participants was only about 130 lx, while nighttime illuminance in the postpartum period exceeded 10 lx. The lighting imbalance—caused by increased rhythmic light stimulation to the eyes from nighttime infant care and insufficient daytime rhythmic stimulation due to long-term home confinement—may increase the physical and mental burden of postpartum women.

Conclusion

Affected by infant care behaviors, there are significant differences in maternal behaviors and lighting preferences during different periods. Therefore, the lighting design of mother-infant rooms should be differentiated according to the needs of different stages. For postpartum women, staying outdoors as much as possible during the day to ensure sufficient exposure to natural light is beneficial for reducing the risk of postpartum depression and improving sleep quality. At night, the selection of lighting equipment in mother-infant rooms should be cautious, and warm yellow, low-brightness lights are advisable.

List of reference

1. *Lancaster C.A., Gold K.J., Flynn H.A., et al.* Risk factors for depressive symptoms during pregnancy: a systematic review // American Journal of Obstetrics and Gynecology, 2010, 202(1). – p. 5–14.
2. *Rea M.S., Figueiro M.G.* Light as a circadian stimulus for architectural lighting // Lighting Research and Technology, 2018, 50(4). – p. 497–510.
3. *Brown T., Brainard G., Cajochen C., et al.* Recommendations for daytime, evening, and nighttime indoor light exposure to best support physiology, sleep, and wakefulness in healthy adults // PLoS Biology, 2022, 20.

EVIDENCE-BASED OPTIMIZATION AND HEALTH-ORIENTED APPLICATIONS OF CLASSROOM LIGHTING IN COLLEGES

*Wang T., Shanghai Yangzhi Rehabilitation Hospital (Shanghai Sunshine
Rehabilitation Center), Tongji University, Shanghai, China;*

*Hu G., Li J., Wang Y., Shao R., Hao L.X.
Tongji University, China*

Abstract

This study presents an evidence-based lighting optimization approach to address classroom illumination deficiencies and meet students' visual health needs. Preliminary investigations involved lighting measurements in representative classrooms and subjective assessments through questionnaires (n=41) and interviews with long-term users. The analysis revealed insufficient desktop illuminance, uneven light distribution, and inappropriate correlated color temperature (CCT). To resolve these issues, a novel dual-lighting system was developed featuring indirect upper emission for ambient illumination and direct lower beams for task lighting. Post-intervention evaluations conducted 12 months later demonstrated significant improvements: desktop horizontal illuminance increased to 607.4 lx with enhanced uniformity (0.9), while 90.24 % of users perceived optimal brightness levels. Subjective assessments revealed multidimensional benefits beyond visual performance. Although sleep duration remained unchanged, they reported improved sleep quality. Psychological evaluations showed notable reductions in depressive symptoms, with Self-Rating Depression Scale (SDS) scores decreasing from 34.66 (pre-intervention) to 29.28 (post-intervention). These findings suggest that human-centric lighting design can enhance visual ergonomics, emotional well-being, and neurophysiological regulation in educational environments.

Keywords: evidence-based research, classroom, integrative lighting, post-occupancy evaluation

Introduction

The classroom is the "main site" for the implementation of myopia prevention and control among children and adolescents, and a poor light environment can affect the working condition and development of the visual system of students, causing not only instantaneous hazards such as fatigue and cognitive decline [1], but also long-term cumulative effects such as poor visual acuity, sleep disorders and reduced academic performance [2]. Existing

classroom lighting mainly has insufficient illumination, low uniformity and color rendering index, lamp glare, and other problems, it should be based on meeting the visual efficacy, pay more attention to the effective use of daylight, reduce glare, and improve the quality of the classroom light environment [3]. In order to meet the learning needs and physical health of students, the study carried out research-based design of lighting products to improve visual efficacy and adapt to the health needs of adolescents, developed classroom lamps with up and down light output to make the light distribution in the classroom more reasonable, and proposed intelligent control modes that consider teaching activities, rhythmic health and daylight supplementation. Eventually, the classroom lighting in the Tongji University were renovated in the field to improve students' learning efficiency and visual comfort, improve sleep quality, alleviate negative emotions, and promote students' physical and mental health.

Light environment of university classrooms

Through the data of the lighting status of classrooms and lecture halls in Building D (Fig. 1), the desktop illuminance values are lower than the lighting standard, the average uniformity is only 0.5, the average color rendering index is only 74, the CCT of the LED lamps is high (7000 K), and there are some problems such as lamp glare and individual lamp damage (Table 1), where the color rendering index R_9 of the saturated red is far below the requirement of WELL building standard of not less than 50. Among them, the art classroom color rendering index and illuminance value requirements higher than ordinary classrooms, we should make full use of daylighting with good color rendering, and avoid direct light. It is appropriate to use the north-facing skylight lighting. Electrical lighting should choose a light source with good color rendering, use indirect lighting to realistically represent the shadows of objects, and also locally increase the floodlights as accent lighting.



Fig. 1. Classroom lighting status

Table 1. Classroom light environment measurement data in Building D (before renovation)

Current Status	Illuminance (Ev, lx)	CCT (K)	Average CRI /Ra	R9	Uniformity
Classroom	273.7	6868.9	73.9	-17.8	0.5
Lecture hall	197.5	6022.9	74.9	-45.5	0.6

On-site interviews and questionnaires were conducted with students before the classroom lighting renovation, 35 valid questionnaires were collected, and it was found that 54.3 % of students thought the classroom light environment was too dark, 60.1 % thought the classroom light color was cold white, 54.29 % wanted yellow-white light but not warm yellow light (8.57 %), and 51.43 % thought the classroom light environment is more uneven. Therefore, there is a need to use lower CCT and change the number and arrangement of lamps to improve the illumination and uniformity level of the work surface.

Design study of classroom lighting luminaires

Based on the behavior patterns and lighting needs of students, a research-based design of lighting products was used to improve visual efficacy and health needs of youth (Fig. 2).

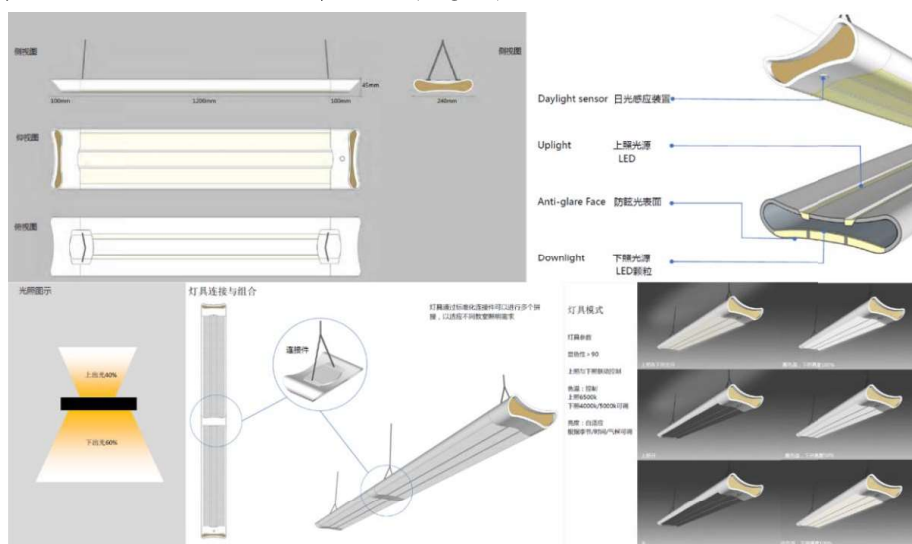


Fig. 2. Health lighting lamps design scheme of classroom

The new LED luminaire adopts a streamlined line design, breaking the traditional impression of straight and angular classroom luminaires, with a softer image. It adopts an up-and-down light distribution, making the light more reasonable and improving visual comfort. Through its own shape design and microcrystalline anti-glare surface, it plays an anti-glare role to protect students' eyesight. The luminaire can be loaded with daylight sensing

device to adapt to changes in time, and can dynamically adjust the illuminance and CCT through the control system. In addition, the modular design of the luminaire can be combined and spliced according to the actual situation.

The intelligent control system can intelligently control the lighting from the following four aspects to achieve different effects. (1) Teaching activities: according to different teaching activities such as class, morning and evening study, projection playback and other different teaching purposes, it can set different lighting modes. (2) Circadian health: according to the human rhythm, the illuminance and spectrum can be intelligently controlled. (3) Daylight fill light: according to the different daylight sensed, the classroom illumination can maintain uniformity and achieve the effects of energy saving. (4) Climate adaptation: according to different seasons and climate, the intelligent adjustment of CCT, illuminance, and light patterns can meet the requirements of students' visual work and psychological needs.

Post-Occupancy Evaluation (POE) of new classroom lighting luminaires

The newly developed LED lighting luminaires were selected for field renovation, with a CCT of 5000 K and an up-and-down light output to improve the uniformity of the desktop, taking into account that the classroom in Building D is an art classroom, with high requirements for color rendering. Six months after the completion of the renovation, the classroom light environment was measured and interviewed on site again, and 41 valid questionnaires were collected (Fig. 3). The average desktop illuminance of the renovated classroom was significantly improved to 607.4 lx, the CCT was reduced to 5376 K, the average CRI and the special R_9 were significantly improved, and the illuminance uniformity of the desktop was significantly improved after adopting the lamps with up and down light output.

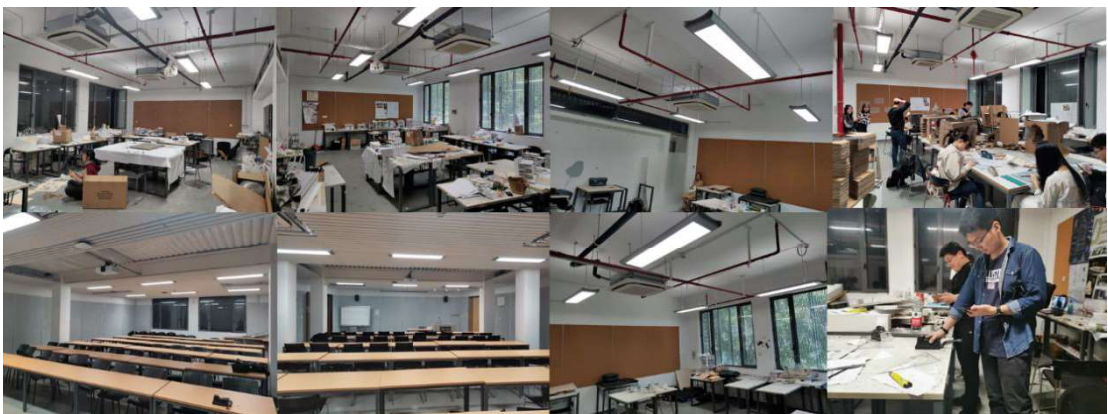


Fig. 3. Classroom health lighting luminaires after the renovation

Table 2. Classroom light environment measurement data in Building D (after renovation)

Current Status	Illuminance (Ev, lx)	CCT (K)	Average CRI /Ra	R9	Uniformity
Classroom	607.4	5376.6	93.4	73.5	0.9
Lecture hall	397.2	4817.1	94.5	80.7	0.7

The group conducted a preliminary use evaluation of the classroom lighting before and after the renovation. The students' evaluation of the brightness of the classroom shifted from 48.57 % slightly dark before the renovation to 90.24 % moderate after the renovation, and the illuminance of the working surface improved significantly. The evaluation of the lighting color shifted from 17.14 % too cold white and 42.86 % slightly cold white before the renovation to 73.17 % moderate. Evaluation of desktop uniformity from 51.43 % more uneven before the transformation to 7.32 % more uneven, the overall lighting satisfaction improved significantly. On the basis of visual function evaluation, students' sleep and mood were evaluated subjectively respectively. The overall self-evaluation of sleep quality became better, and the change of sleep duration was not significant, but students' depression self-rating scale (SDS) score was significantly lower and depression was alleviated.

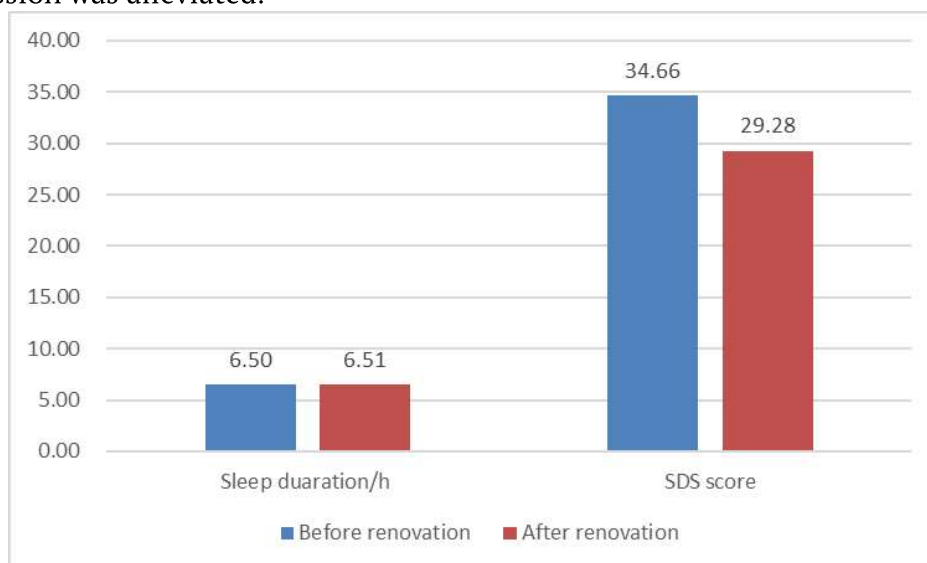


Fig. 4. Comparison of students' sleep duration and SDS scores before and after renovation

Conclusion

This study developed classroom lighting luminaires with upper and lower light output through the design of new classroom lighting luminaires, resulting in a more rational distribution of light in the classroom. The changes in students' visual comfort, subjective satisfaction, sleep quality, and emotional state were evaluated through field modifications in university

classrooms. Changing the CCT and lighting method of the luminaires to improve the illuminance and uniformity of the working surface is significant to improve the visual efficacy of students with meeting the visual and mental health needs of adolescents. In addition, it is necessary to further optimize the lighting parameters such as spectrum and illuminance, and to study appropriate dynamic lighting patterns in different behavioral scenarios according to the characteristics of seasons, regions and students' ages and professions.

List of reference

1. *Baeza Moyano D, San Juan Fernandez M.* Towards a sustainable indoor lighting design: Effects of artificial light on the emotional state of adolescents in the classroom. *Sustainability*, 2020, 12(10): 4263.
2. *Dang R, Liu Y, Chang S.* The impact patterns of classroom lighting parameters on visual fatigue and a mathematical model. *Building and environment*, 2023, 234: 110193.
3. *Safranek S, Collier J M, Wilkerson A, et al.* Energy impact of human health and wellness lighting recommendations for office and classroom applications. *Energy and Buildings*, 2020, 226: 110365.

INDOOR LIGHTING INTELLIGENT CONTROL USING CONTEXT-AWARE-BASED LLM AGENT AND DOMAIN KNOWLEDGE BASE

*Wang Y., master student;
Fang Q., professor; Sun F., associate professor
Anhui Jianzhu University, Hefei China*

Abstract

Aiming to realize the demand of healthy, comfortable, biorhythms, personalized and adaptive lighting environments, human-centric lighting has become hot-spots issue. Fortunately, Large Model technology have already presented its prominent advantages and great application prospect in many fields. This paper proposes a novel indoor lighting control framework with context-aware-based Large Language Model (LLM) and domain knowledge base. The multi-source information perception, fusion and decision-making mechanism is established, which collects occupant behavior and environment parameter, and enable dynamic modeling of lighting environment and indoor lighting intelligent control. The domain knowledge base is constructed by integrating national standard files in the field of lighting, and also Building Information Model (BIM). The context-aware prompting strategy is developed to achieve indoor lighting dynamic control with domain knowledge base. An experiment was implemented in an office scenario, which employed to validate the feasibility and effectiveness of the proposed ideas. This research can provide new ideas to improve human-centric lighting system.

Keywords: indoor lighting intelligent control; large language model; agent; context-aware prompt; domain knowledge base

Introduction

In recent years, intelligent building technologies have advanced rapidly, and human-centric lighting has gained increasing attention. Therefore, indoor lighting control is evolving toward greater intelligence and personalization. A number of researchers have explored novel methods to enhance contextual awareness and user adaptability in lighting systems.

Large Language Models (LLMs), as an emerging AI technology, have demonstrated remarkable capabilities in language understanding, contextual reasoning, and knowledge-intensive tasks, etc. Recent studies have promoted their integration into domains, such as smart home systems, semantic perception, and behavior modeling. For instance, Yonekura et al. [1]

proposed a novel approach to smart home simulation by integrating Large Language Models (LLMs) for generating human daily schedules and activities of smart home simulator agents. Yonekura et al. [2] also contributed to the creation of human-centered digital twins that closely mimic real-world human cognition and interactions by leveraging the reasoning capabilities of LLMs. Chen et al. [3] proposed an automatic modeling method for smart home devices that utilizes a Large Language Model (LLM) to assist end users in modeling their devices. These efforts suggest that LLMs have the abilities of human-like cognitive expression and semantic understanding, making them a promising foundation for developing intelligent control systems with human-centric awareness.

Up to now, little research has focused on the application of LLMs in the field of indoor lighting control. To address this gap, this study proposes a novel indoor lighting control framework that integrates context-aware LLM agents with a domain-specific knowledge base. The proposed approach exploits the contextual reasoning and natural language inference capabilities of LLMs to process real-time environmental data, invoke a pre-constructed lighting knowledge base, and generate semantically informed control strategies that align more closely with human factors. The main contributions of this study are as follows:

- (1) A novel LLM-driven intelligent lighting control framework is proposed.
- (2) A domain knowledge base is constructed, integrating national lighting standards and BIM-based environmental models.
- (3) A context-aware prompt engineering is developed to generate lighting control strategies with LLMs on Cloud platform.

The Proposed method

This study proposes a lighting control approach that integrates a context-aware large language model (LLM) with a domain knowledge base. The overall system architecture, as illustrated in Fig. 1a, comprises three main modules: the perception unit, the cognition unit, and the control unit.

In the perception unit, a multimodal sensing system is set up to collect real-time indoor and outdoor lighting environment parameters and constructing a digital twin model. This system captures contextual information such as environment illuminance (E), human activities (H), and working status (W). The collected data are uniformly formatted by the lighting environment perception module and then passed to the cognition layer as input for semantic reasoning.

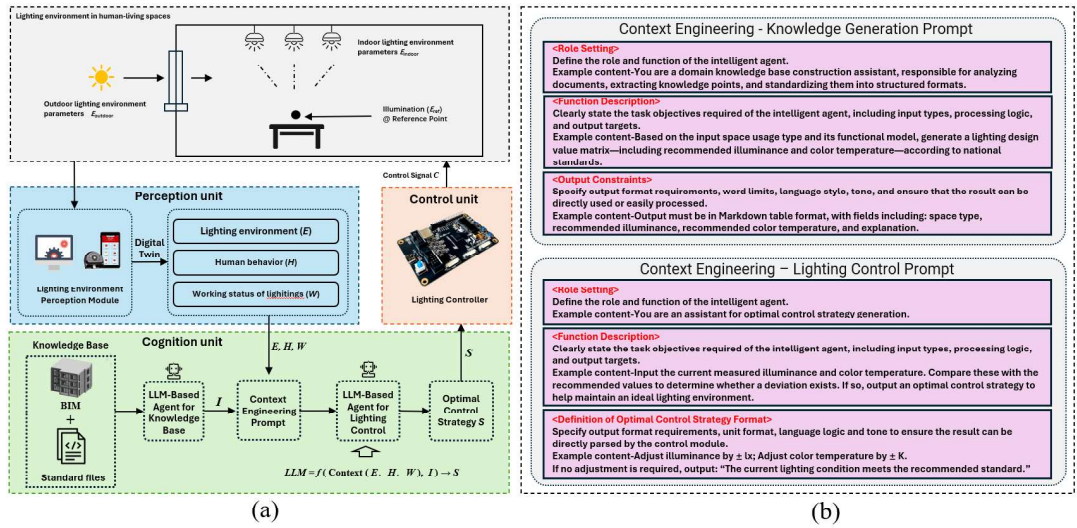


Fig. 1. The Proposed Method. (a) The proposed indoor lighting intelligent control framework; (b) Context engineering template

In the cognition unit, the prompt engineering process (as shown in Fig. 2b) encompasses role setting, functional description, and standardized output formatting to ensure that the generated results are directly executable. Moreover, two types of LLM-based agents are designed:

- (1) A knowledge generation agent parses building information models (BIM) and lighting standard documents. Guided by the three elements—<Role Setting>, <Function Description>, and <Output Constraints>—it generates a structured lighting knowledge matrix containing recommended illuminance values, color temperature ranges, and scene characteristics;
- (2) A lighting control agent constructs context-aware prompts based on the current perceptual inputs and the previously generated lighting knowledge. It then generates optimal control strategies through natural language reasoning mechanisms.

The control unit executes the lighting strategy output by the LLM, driving the physical lighting controller to perform specific actions such as dynamic adjustment of illuminance ($\pm x$ lx) or color temperature ($\pm x$ K), thus forming a closed-loop control mechanism. The overall control flow can be expressed as:

$$LLM = f(\text{Context}(E, H, W), I) \rightarrow S$$

where S denotes the final optimal lighting control strategy, while E , H , and W represent the sensed environmental illuminance, human behavior features, and device status, respectively.

This method not only leverages the structural advantages of BIM and standardized knowledge bases, but also fully exploits the semantic understanding and contextual reasoning capabilities of large language models. It creates a complete semantic closed-loop mechanism for lighting control, from data perception to intelligent strategy generation. Experimental results demonstrate that, compared with traditional rule-based control approaches, the proposed method exhibits superior performance in adaptability, personalization, and response speed, indicating its strong potential for widespread application.

Results

This study validated the proposed LLM-based lighting control method in a laboratory setting, and the experimental results are presented in Fig. 2. As shown in Fig. 2a, a lighting knowledge base was first constructed. This knowledge base was generated by integrating the national standard GB/T 50034-2024 with BIM information from the laboratory and meeting room, yielding a recommended lighting design matrix. According to the standard, the recommended illuminance for laboratories is 500–750 lx with a correlated color temperature (CCT) of 4000–5000 K, whereas for meeting rooms the recommended ranges are 300–500 lx and 3500–4500 K, respectively.

Subsequently, the lighting state was assessed, and an optimal control strategy was derived from the knowledge base (Fig. 2b). In the laboratory scenario, the initial state was 450 lx and 3000 K, both below the recommended ranges. The system generated an optimal adjustment strategy, suggesting an increase of 50–300 lx in illuminance and 1000–2000 K in correlated color temperature (CCT), so as to gradually reach the target range.

As shown in Fig. 2c, the experimental platform consisted of light sensors, lighting control terminals, a digital twin model, and an LLM-based inference module. The sensors continuously collected illuminance and CCT data, which were coupled with the BIM model to form the digital twin input. The LLM then parsed this input and produced control commands to drive the luminaires. The lighting state progressively converged toward the recommended values through continuous iterations.

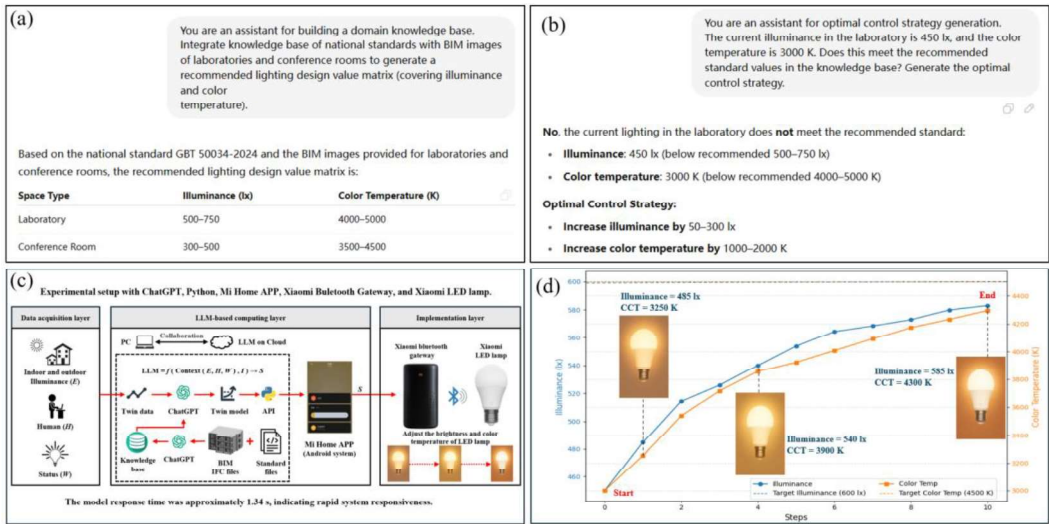


Fig. 2. Experiment and results. (a) Knowledge base construction; (b) Optimal control strategy generation; (c) Experiment setup; (d) Experimental results

The results are depicted in Fig. 2d. During continuous regulation, both illuminance and CCT exhibited stable upward trends and eventually approached the target values of 600 lx and 4500 K. The adjustment process was smooth, and the system exhibited satisfactory convergence performance. The model response time was approximately 1.34 s, indicating rapid system responsiveness.

To further assess the advantages of the proposed approach, a comparative analysis was conducted with conventional control methods. The results indicate that rule-based control often requires more adjustment steps to reach the target when the initial deviation is large, and is prone to over- or under-regulation. PID control, in contrast, suffers from limited response speed and limited accuracy in multi-parameter coupling scenarios. By comparison, the LLM-based method simultaneously incorporates standard constraints and environmental semantic information, demonstrating faster convergence and smaller steady-state errors in dual-parameter regulation of illuminance and CCT. These findings highlight the superior capability of the proposed approach in meeting lighting standards, enhancing regulation efficiency, and maintaining visual comfort. Moreover, the experimental evidence confirms that the LLM-based controller achieves both rapid responsiveness and reliable stability, underscoring its potential for real-time deployment in intelligent lighting systems.

Conclusion

The results demonstrate that the proposed control strategy achieves rapid adjustment of target lighting parameters while maintaining strong

stability and convergence. The entire process relies on LLM-generated semantic instructions, eliminating the complexity and inflexibility of conventional rule-based systems. Compared to traditional approaches, the proposed framework demonstrates clear advantages in adaptability, generalization, and semantic reasoning, offering a promising pathway toward personalized, knowledge-driven indoor lighting control.

List of references

1. *Yonekura H., Tanaka F., Mizumoto T., Yamaguchi H.* Generating Human Daily Activities with LLM for Smart Home Simulator Agents // Proc. of the 2024 Int. Conf. on Intelligent Environments (IE), 17-20.06.2024, Ljubljana. – Ljubljana: IEEE, 2024. – p. 93–96.
2. *Yonekura H., Yamaguchi H.* LLM as Personable Decision-Making Model for Smart Home Simulation // Proc. of the IEEE Int. Conf. on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops), 10 - 14.03.2025, Austin, TX. – Austin: IEEE, 2025. – p. 624–625.
3. *Chen S., Chen X., Jin Z.* Building Device Models Using LLMs for Requirements Simulation in Smart Homes // Proc. of the 2024 IEEE 32nd Int. Requirements Engineering Conf. Workshops (REW), 19 - 23.08.2024, Reykjavik. – Reykjavik: IEEE, 2024. – p. 176–183.
4. *Peña de Loza F., Ibarra Villegas F.J.* Implementation of IoT technologies to reduce energy consumption in smart offices by controlling lighting // Revista de Ciencias Tecnológicas (RECIT). – Hermosillo, 2024. – Vol. 7, No. 3. – e332.
5. *Wen J., et al.* Grid-Interactive Multi-Zone Building Control Using Reinforcement Learning with Global-Local Policy Search // Proc. of the 4th ACM Int. Conf. on Systems for Energy-Efficient Built Environments (BuildSys), 2017, Delft. – New York: ACM, 2017. – p. 1–10.
6. *Ahn M., Brohan A., Brown N., et al.* Do As I Can, Not As I Say: Grounding Language in Robotic Affordances // Proc. of the 6th Conf. on Robot Learning (CoRL 2022), 14-18.12.2022, Auckland. – PMLR, 2023. – Vol. 205. – p. 287–318.

PRECEDING LONG WAVELENGTH LIGHT STIMULATION DOES NOT INTERFERE LIGHT RESPONSE OF INTRINSICALLY PHOTOSENSITIVE RETINAL GANGLION CELLS IN HUMAN: A PUPILLARY LIGHT RESPONSE STUDY

*Nakajima H., Graduate student; Kuramochi K., Takei K., Yamazaki H., Miura R., Miyazawa S., Goto D., Ohba Y., Undergraduate students; Takao M., Professor
Tokai University, Hiratsuka*

Abstract

The discovery of intrinsically photosensitive retinal ganglion cells (*ipRGCs*) inaugurated a new era in human-centric lighting. These cells primarily respond to short-wavelength light ($\lambda_{\text{max}} \approx 480$ nm), mediating non-image-forming visual functions such as circadian rhythm regulation, pupillary light responses, and modulation of emotional states. While *ipRGCs* possess intrinsic photosensitivity, they also receive significant synaptic input from classical photoreceptors (rods and cones). This study investigated whether preceding synaptic inputs from cone photoreceptors influence the intrinsic light responses of *ipRGCs*, as assessed by pupillary light photometry in humans. Pupillary light responses were recorded during intermittent stimulation with short-wavelength (454 nm) and long-wavelength (627 nm) light, with the latter being spectrally distant from the peak sensitivity of *ipRGCs*. Our results indicate that the intrinsic light responses of *ipRGCs* are largely independent of preceding synaptic inputs from cone photoreceptors under the tested conditions.

Keywords: retina, human, wavelength, pupillary light response, human-centric lighting design

Introduction

In 2002, Berson's team made a seminal discovery, identifying a novel type of retinal ganglion cell in the rat retina capable of intrinsically responding to light [1, 2]. These cells, termed intrinsically photosensitive retinal ganglion cells (*ipRGCs*), contain melanopsin, a photopigment responsible for converting photons into an electrical signal through a G-protein-coupled cascade. In both humans and rodents, *ipRGCs* exhibit peak spectral sensitivity to short-wavelength light ($\lambda_{\text{max}} \approx 480$ nm) [2, 3]. Although *ipRGCs* are intrinsically photosensitive, they also receive substantial synaptic input from classical photoreceptors (rods and cones) via

bipolar and amacrine cells within the retina [4], suggesting that their activity is also modulated by these conventional visual pathways [5].

Cone photoreceptors are categorized into three classes based on their distinct spectral sensitivities. A notable spectral divergence exists between *ipRGCs* ($\lambda_{\max} \approx 480$ nm) and long-wavelength-sensitive (L) cones ($\lambda_{\max} \approx 563$ nm) [3, 6]. Consequently, long-wavelength light can elicit robust responses in L-cones while having minimal direct impact on *ipRGCs*. In humans, it is feasible to differentiate light responses originating from classical photoreceptors versus *ipRGCs* using pupillary light responses [3, 7, 8]. Specifically, pupillary constriction during light exposure is largely driven by classical photoreceptors, whereas the subsequent post-illumination pupillary redilation are significantly influenced by *ipRGC* activity. Building on this established methodology, our study aimed to investigate whether preceding synaptic inputs from cone photoreceptors modulate the intrinsic light responses of *ipRGCs*, utilizing pupillary light photometry in human participants.

Research method

The experimental protocol for this study largely adhered to methodologies reported in our previous work [7, 8]. Briefly, adult college students ($n=11$, mean age 20.9 years, range 20-22 years) were recruited as participants in this study. Each participant was seated in a chair positioned at 56 cm in front of a tangential whitish diffuser. This diffuser was back-projected by independently controlled blue and red LED lamps (Solar 2-ETZ, Yanjian inc., Guangzhou, China). The spectral distributions of the blue LED lamp ($\lambda_{\max}$ 454 nm, half bandwidth 21nm) and the red LED lamp ($\lambda_{\max}$ 633 nm, half bandwidth 18 nm) are depicted in Fig. 1. After dark adaptation for 15 minutes, the red and blue lights were projected alternately for 0.5 seconds each for 10 seconds, with 18 seconds of darkness after the light stimulation. Light luminance intensity of red light was set at 118.5, 212.7, 313.2 cd/m^2 , while light luminance intensity of blue light was same in all experiments (213.0 cd/m^2). Each participant experienced three sessions, in each of which red light intensity was different.

Pupil area was recorded using a custom-built eye goggle (T.K.K. 2960, Sanka inc., Niigata, Japan) equipped with a small infrared LED light source and an infrared camera. Pupil images were sampled at 30 Hz and analyzed online with a computer. Two-way ANOVA with repeated measures was performed using SPSS 19.0 (IBM Japan ltd., Tokyo, Japan). The study protocol was approved by the institutional ethical committee.

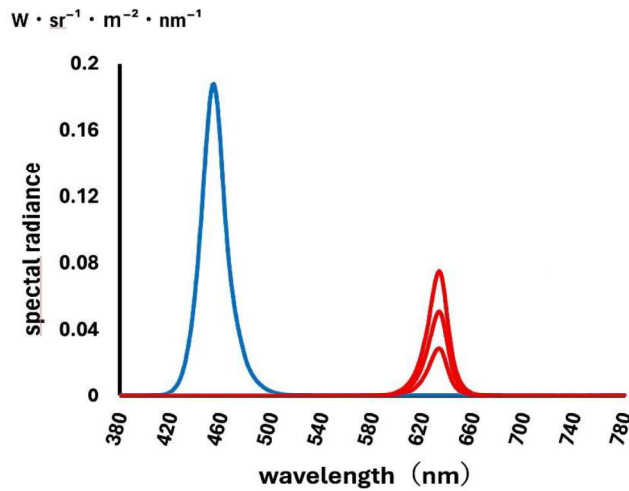


Fig. 1. The spectral distributions of the blue LED lamp ($\lambda_{\max}$ 454 nm) and the red LED lamp ($\lambda_{\max}$ 633 nm). Radiance intensities of the red LED lamp were set at 118.5, 212.7, 313.2 cd/m^2

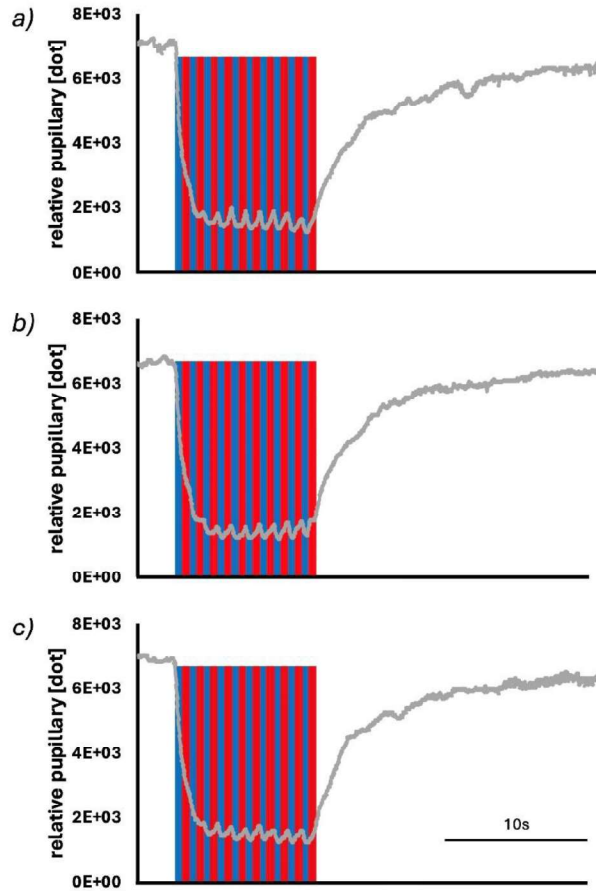


Fig. 2. Pupillary Light Responses. Blue and red lines represent light stimulation by blue and red LED lamps, respectively. Panels (a), (b), and (c) depict pupillary light responses to the red LED lamp at 118.5, 212.7, and 313.2 cd/m^2 , respectively

Result and Discussion

As illustrated in Fig. 2, the pupil exhibited a prominent constriction during light exposure, followed by a gradual redilation upon light offset ($F_{(5, 50)}=172.2480$, $p=0.000$). Crucially, both the pupillary area and the time course of pupillary redilation remained consistent, irrespective of the luminance intensity of the preceding red LED light (Fig. 3; $F_{(2, 20)}=0.299$, $p>0.05$, n.s.). There is also no statistically significant interaction between the pupillary redilation and the luminance intensity ($F_{(10, 100)}=1.878$, $p>0.05$, n.s.).

These findings indicate that the intrinsic light responses of *ipRGCs*, as reflected by the pupillary redilation response, are independent of preceding synaptic inputs from cone photoreceptors under the conditions tested. This independence suggests that, for human-centric lighting designs, it may not be necessary to extensively account for preceding light exposure, particularly when the preceding light wavelength is sufficiently far from the *ipRGC* action spectrum so as not to directly stimulate melanopsin. This simplification could streamline lighting design principles aimed at optimizing non-image-forming responses [9, 10].

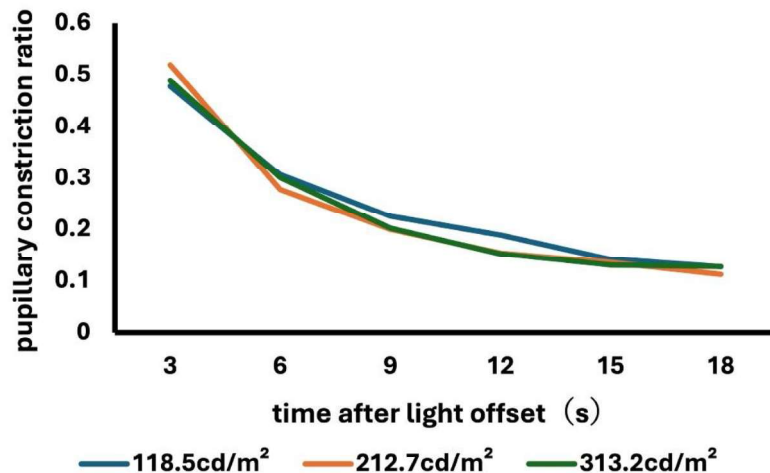


Fig. 3. Pupillary constriction ratio after light exposure. Each line corresponds with the radiance intensities of the red LED lamp

Conclusion

This study demonstrated that the intrinsic light responses of *ipRGCs* are largely independent of preceding synaptic inputs from cone photoreceptors under the tested conditions. This finding indicates that red light does not stimulate *ipRGCs* when its spectral distribution is sufficiently distant from the *ipRGC* action spectrum.

List of references

1. *Hattar, S., Liao, H.W., Takao, M., Berson, D.M., Yau, K-Y.* Melanopsin-containing retinal ganglion cells: architecture, projections, and intrinsic photosensitivity. *Science*. 295(5557), 2002, p.1065-1070 .
2. *Berson, D.M., Dunn, F.A., Takao, M.* Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. *Science*. 295(5557), 2002, p. 1070-1073.
3. *Gamlin, P.D., McDougal, D.H., Joel Pokorny, J., Smith, V.C., Yau, K-W, Dacey, D.M.* Human and macaque pupil responses driven by melanopsin-containing retinal ganglion cells. *Vision Res*. 47(7), 2007, P. 946-954.
4. *Østergaard, J., Hannibal, J., Fahrenkrug, J.* Synaptic contact between melanopsin-containing retinal ganglion cells and rod bipolar cells. *J. Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, 48(8), 2007, p. 3812-3820.
5. *Lee, S.K., Sonoda, T., Schmidt T.M.* M1 intrinsically photosensitive retinal ganglion cells integrate rod and melanopsin inputs to signal in low light. *Cell Rep*. 29, 2019, p.3349-3355.
6. *Bowmaker, J.K., Dartnall, H.J.* Visual pigments of rods and cones in human retina. *J. Physiol*. 298, 1980, p. 501-511.
7. *Semba, R., Maruyama, Y., Takao, M.* Diurnal modulation of pupillary light reflex. *Light Eng*, 31(6), 2023, p. 118-120.
8. *Semba, R., Maruyama, Y., Nakajima, H., Kuroha, M., Matsukawa, S., Tsuchihashi, G., Takao, M.* Pupillary response changes to flickering light stimuli in human. *Light Eng* 33(1), 2025, p. 56-60.
9. *Lucas, R.J., Peirson, S.N., Berson, D.M., Brown, T.M., Cooper, H.M., Czeisler, C.A.; Figueiro, M.G., Gamlin, P.D., Lockley, S.D., O'Hagan, J.B., Price, L.L.A., Provencio, I., Skene, D.J., Brainard, G.C.* Measuring and using light in the melanopsin age. *Trends Neurosci*, 37(1), 2014, p. 1-9.
10. *Wirz-Justice, A., Skene, D.J., Münch, M.* The relevance of daylight for humans. *Biochem Pharmacol*. 191, 2021, 114304.

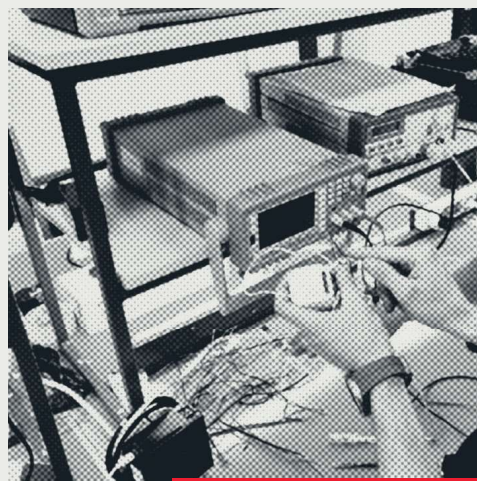
Построй карьеру в Arlight!

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

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

**ГАГАРИНСКИЙ
СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЙ ЗАВОД**
С 1912 ГОДА



industriya-gstz.ru

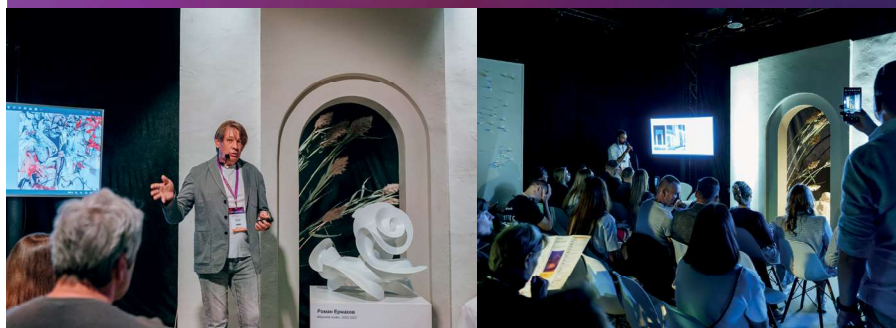
AWADA



awada.ru

INTERLIGHT SMART CITY & HOME

Международная выставка освещения, автоматизации
зданий, электротехники и систем безопасности



450+ компаний-экспонентов
24 000+ посетителей

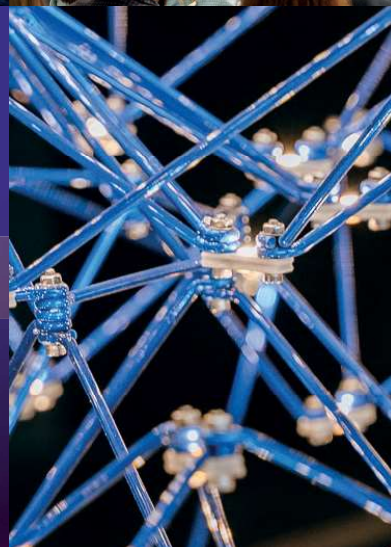
Среди мероприятий деловой программы

- 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

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

 GEFERA MEDIA

«На правах рекламы»



Будьте в курсе событий



Подписано в печать 08.10.2025. Формат 70x100/16

Печать цифровая. Тираж 500 экз.

Заказ № 0409/25-1-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