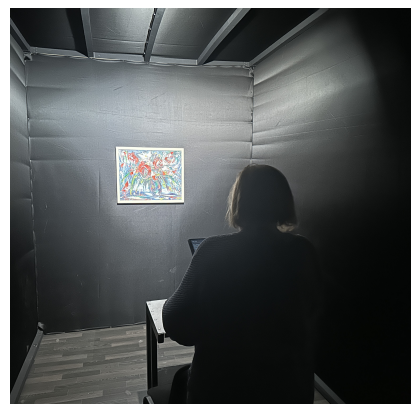
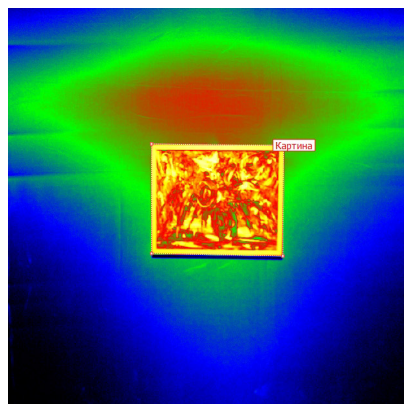


ISSN 2949-4958

# ИННОВАЦИОННАЯ СВЕТОТЕХНИКА

Журнал РНК МКО

1/2024



## УЧРЕДИТЕЛЬ



Российский национальный комитет  
Международной комиссии по освещению  
(РНК МКО)

## ПРИ ПОДДЕРЖКЕ



**VARTON**



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

1 / 2024

ISSN 2949-4958

**ИННОВАЦИОННАЯ  
СВЕТОТЕХНИКА**

ЖУРНАЛ  
РНК МКО

LIGHTING ENGINEERING  
**INNOVATIONS**

CIE NC RU  
JOURNAL

**Инновационная светотехника:  
журнал РНК МКО**

**№ 1 / 2024**

**ISSN 2949-4958**



*Учредитель:*

Российский национальный комитет  
Международной комиссии по  
освещению (РНК МКО)

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

*Главный редактор* – П.А. Федорищев  
Тел.: +7 985 428-20-00  
E-mail: [info@cie-russia.ru](mailto:info@cie-russia.ru)

Сдано в набор: 04.10.2024  
Подписано в печать 10.11.2024  
Формат: 70x100/16. Усл. п. л. 9.  
Печать цифровая. Тираж 500 экз.  
Заказ № 0410/24-1-И

**142 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](mailto:izdat@nic-art.ru)  
<http://www.artnw.ru>

Журнал Российского  
национального комитета  
Международной комиссии по освещению

*Редакция:*

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

*Редакционная коллегия:*

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

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

Р.И. Столяревская –  
доктор технических наук.

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

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

© ООО «РНК МКО, 2024

© Издательство «НИЦ АРТ», 2024





**Павел ФЕДОРИЩЕВ**

Главный редактор,  
исполнительный директор  
Российского национального  
комитета МКО

## От редактора

В номере, который вы держите в руках, собраны доклады, признанные жюри Международного конкурса «Молодые светотехники» лучшими докладами молодых учёных в области света и освещения 2024 года. Этот конкурс, с успехом прошедший минувшей осенью на выставке Interlight | Intelligent building Russia в Москве, лёг в основу содержания этого и следующего номеров нашего издания, главной целью которого мы видим знакомство читателей с молодыми учёными, только ступающими на исследовательскую стезю, и знакомство самих авторов с прекрасным миром научной публицистики и его суровыми правилами.

Ещё одним событием, повлиявшим на содержание этого номера, стала проведённая РНК МКО и Государственным Эрмитажем III научно-практическая конференция «Свет в музее» в Санкт-Петербурге. За два дня она открыла всем участникам новые грани, казалось бы, изученных проблем освещения музеев. Так, один из докладов конференции был посвящён результатам эксперимента ВНИСИ им. С.И. Вавилова по исследованию восприятия масляной живописи в зависимости от цветовой температуры искусственного освещения. Статью, подготовленную авторами на основе этого доклада, мы публикуем в нашем журнале. С ней «рифмуется» и новый, основанный на публикации Международной комиссии по освещению, стандарт определения индекса точности цветопередачи, разработанный РНК МКО и способный стать хорошим подспорьем специалистам, занятым в музейном освещении и других областях, предъявляющих высокие требования к цветоразличению. Материал о новом стандарте читатель также найдёт на страницах этого журнала.

Хочется верить, что материалы, собранные в этом номере, не только будут интересны читателю, но и вызовут вопросы, способные вырасти в научные проблемы, исследования и будущие публикации.

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>Конференция «Инновационная светотехника России» и конкурс «Молодые светотехники».....</b>	<b>7</b>
<b>Приветствия .....</b>	<b>11</b>
Приветствие от генерального секретаря МКО Д. Верниш .....	12
Приветствие от руководителя Росстандарта А.П. Шалаева.....	13
<b>Представление вузов.....</b>	<b>15</b>
Кафедра светотехники НИУ «МЭИ».....	16
Кафедра светотехники МГУ им. Н.П. Огарёва .....	17
Кафедра светотехники ТПУ .....	18
Кафедра «Средовой дизайн» РГХПУ им. С.Г. Строганова .....	19
Политехнический институт (школа) ДВФУ .....	20
<b>Ключевая статья .....</b>	<b>21</b>
<i>Барцева А.А., Зиничева А.С., Барцев А.А.</i> Экспериментальные исследования влияния цветовой температуры на восприятие масляной живописи.....	22
<b>Светотехника.....</b>	<b>37</b>
<i>Абрамов М.В., Прытков С.В.</i> Оценка разбросов в результатах расчётов интегральных значений колориметрических величин светодиодных светильников в зависимости от шага измерительной сетки спектрогониометрического эксперимента .....	38
<i>Гудемчук В.А., Фомин А.Г.</i> Исследование цветопередачи системы освещения с регулируемым спектром .....	44
<i>Даренских В.А., Туркин А.Н.</i> Мобильный метод измерения освещённости покрытия автомобильных дорог и улиц .....	50
<i>Ермолаев А.В., Афонин К.Н., Иванов А.Н.</i> Определение тепловых характеристик источников питания светодиодов .....	57
<i>Кириллов И.Е., Снетков В.Ю.</i> Проектирование освещения и цветового оформления фонтана .....	67
<i>Новиков Е.А., Туркин А.Н.</i> Исследование влияния избыточного света на морфологическое состояние растений .....	74

<i>Однорал О.И., Туркин А.Н., Сергеева Я.Э.</i> Влияние параметров облучения на рост цианобактерии <i>Arthrospira platensis</i> и содержание С-фикоцианина ...	80
<i>Сыч Н.В., Снетков В.Ю.</i> Исследования особенностей зрения человека в условиях сумеречного освещения .....	86
<b>Архитектура и световой дизайн</b> .....	93
<i>Аверкова О.А., Толкачева К.П.</i> Естественный свет в храме во имя святого апостола и евангелиста Иоанна Богослова .....	94
<i>Козьминых В.С., Притулина Д.О., Карпенко В.Е., Пономаренко Н.В.</i> Архитектурное освещение проездной арки как элемента здания и городской среды .....	101
<i>Лисянская А.К., Моница Т.А., Антонов И.И.</i> Принципы модульной системы освещения на примере мобильных госпиталей .....	108
<b>Доклады на английском языке</b> .....	117
<i>Li J.J., Huang Y.F., Wang T.Y., Shao R.D., Hao L.X.</i> A study of healthy lighting for learning performance and visual fatigue in school-aged children with reading and writing tasks .....	118
<i>Sönmez N., Cilasun Kunduraci A.</i> Performance evaluation of interior shading systems for daylight availability, glare and thermal control.....	123
<i>Wang T.Y., He W., Wang Y.N., Li J.J., Liu Y.W.</i> Study on alertness and visual perception of led lighting colour temperature in classroom.....	130
<b>Новости РНК МКО</b> .....	135
Новый стандарт, разработанный РНК МКО.....	136
МКО выпустила новое издание программного заявления по интегративному освещению.....	137
РНК МКО на выставке Interlight   Intelligent building Russia.....	138
Визит делегации МКО в Китай .....	138
Приглашения для экспертов .....	140
Новые публикации МКО .....	140

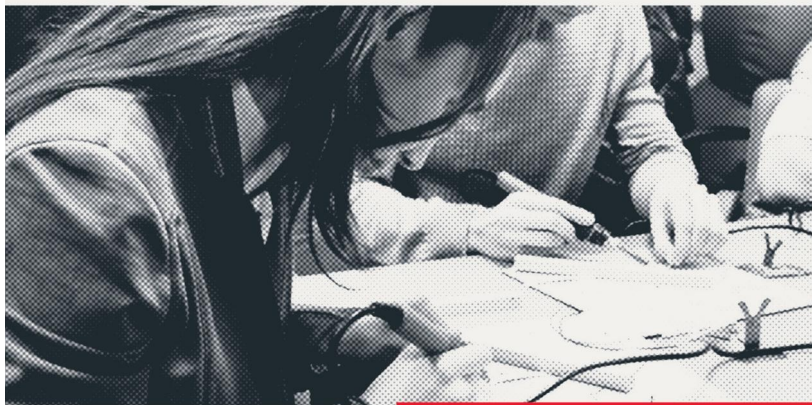
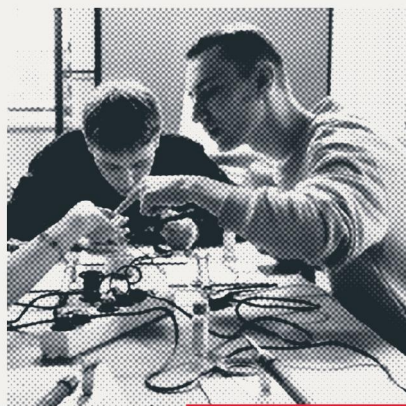


# Построй карьеру в Arlight!

## МЫ ПРЕДЛАГАЕМ

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

\* На правах рекламы.



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


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

### Связаться с нами:

hr@arlight.ru

arlight.ru

@arlight\_rus |   

+7 (903) 291 6830 |  



Смотри наши видео

## КОНФЕРЕНЦИЯ «ИННОВАЦИОННАЯ СВЕТОТЕХНИКА РОССИИ» И МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОНКУРС «МОЛОДЫЕ СВЕТОТЕХНИКИ»



20 сентября 2024 г. на Международной выставке Interlight | Intelligent building Russia в Москве прошло очное заседание конференции «Инновационная светотехника», в рамках которого состоялся финал ежегодного Международного конкурса «Молодые светотехники».

Организатором конференции и конкурса является Российский национальный комитет Международной комиссии по освещению (РНК МКО). Конкурс проводится при поддержке Международной комиссии по освещению (МКО), Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (Росстандарта), ООО «Гефера Медиа», кафедры светотехники НИУ «МЭИ», выставки Interlight Russia | Intelligent building Russia, ВНИСИ им. С.И. Вавилова, редакции научно-технического журнала «Светотехника» и корпоративного члена РНК МКО со статусом «Платиновый» ООО «Брайтэлек», а также компаний Arlight, ВАРТОН и ООО ПТК «СВЕТОГОР».

На открытии заседания с приветствиями к участникам обратились генеральный секретарь МКО Диана Верниш, руководитель Росстандарта Антон Шалаев, председатель оргкомитета конференции и конкурса, президент РНК МКО Анна Шахпарунянц, а также представители компаний-партнёров мероприятия.

Конкурс, учреждённый ВНИСИ им. С.И. Вавилова, кафедрой светотехники НИУ «МЭИ» и выставкой Interlight | Intelligent building Russia более двадцати лет назад, прошёл долгий путь от студенческого семинара до международного конкурса научных работ талантливых молодых исследователей.

Второй год подряд в нём принимают участие студенты и аспиранты не только российских, но и зарубежных вузов: благодаря поддержке Международной

комиссии по освещению организаторам удалось привлечь к участию в конкурсе университеты Китая, Турции и Японии. В этом году на конкурс было подано 40 докладов студентов, аспирантов и молодых учёных из 18 российских и иностранных университетов и организаций. В работе программного комитета и жюри конкурса приняли участие эксперты и преподаватели из НИУ «МЭИ», МГУ им. Н.П. Огарёва, ТПУ и ТУСУР (Томск), Инженерной школы ДВФУ (Владивосток), Люблянского университета (Словения), Университета Яшар (Турция), Университета Тунцзи (Китай) и других российских и зарубежных вузов и организаций.

Принятые на конкурс и конференцию доклады были разделены на 3 секции (направления) – «Светотехника», «Архитектура и световой дизайн» и секция иностранных докладов. Для каждого направления было сформировано отдельное жюри из числа преподавателей технических, архитектурно-художественных вузов, иностранных университетов соответственно. В течение августа и начала сентября проходило заочное голосование членов жюри, по результатам которого были определены победители секций «Архитектура и световой дизайн» и «Доклады на иностранном языке».

В секции «Архитектура и световой дизайн» победителем и призёрами стали:

- 1 место – Лисянская Арина Кирилловна с докладом «Принципы модульной системы освещения на примере мобильных госпиталей» (научные руководители – Моница Т.А, к.иск., профессор, заведующая кафедрой «Промышленный дизайн», Антонов И.И., преподаватель кафедры «Промышленный дизайн», РГХПУ им. С.Г. Строганова, г. Москва);
- 2 место – Аверкова Ольга Александровна с докладом «Естественный свет в храме во имя Святого апостола и евангелиста Иоанна Богослова» (научный руководитель – Толкачева К.П. к.т.н. доцент отделения материаловедения, Томского политехнического университета, г. Томск);
- 3 место – Козьминых Владислава Сергеевна с докладом «Архитектурное освещение проездной арки как элемента здания и городской среды» (научный руководитель – Карпенко В.Е., к. арх., доцент кафедры проектирования архитектурной среды и интерьера ИШ Дальневосточного федерального университета).

Победителем и призёрами секции иностранных докладов стали:

- 1 место – Джуанджи Ли с докладом «A Study of Healthy Lighting for Learning Performance and Visual Fatigue in School-Aged Children with Reading and Writing Tasks» (научный руководитель – Люокси Хао, Ph.D., Университет Тунцзи, Китай).
- 2 место – Тонгье Ван с докладом «Study on alertness and visual perception of led lighting color temperature in classroom» (научный руководитель – Люокси Хао, Ph.D., Университет Тунцзи, Китай).



- 3 место – Нурефшан Сёнмез с докладом «Performance Evaluation of Interior Shading Systems for Daylight Availability, Glare and Thermal Control» (научный руководитель – Арзу Джиласун Кундураджи, Ph.D., Университет Яшар, Турция).

Призёры и победители секции «Светотехника» определялись уже в ходе очного заседания. Восемь участников, набравших наибольшее число баллов после предварительной оценки докладов Программным комитетом конференции, представили свои доклады на суд публике и жюри 20 сентября в Москве. Ими стали студенты и аспиранты из НИУ «МЭИ» (г. Москва), МГУ им. Н.П. Огарева (г. Саранск) и ТУСУР (г. Томск).

Члены жюри, партнёры и слушатели могли оценить содержание доклада, его актуальность, научную и практическую ценность, а также владение темой и ответы на заданные вопросы, а также ораторское мастерство выступающих. Голосование жюри проходило сразу же после выступлений финалистов секции «Светотехника». Голоса тех членов жюри, которые не смогли принять участия в заседании, были учтены с помощью заочного голосования. В итоге победителем и призёрами конкурса 2024 года в секции «Светотехника» стали:

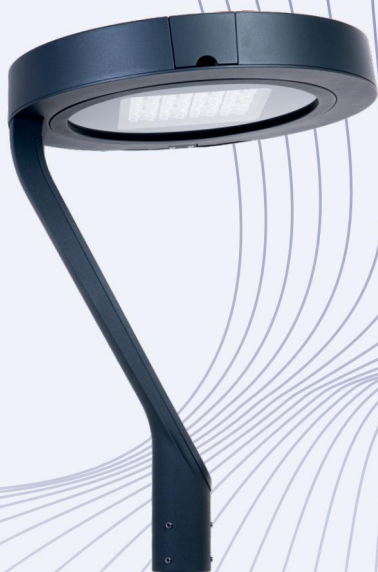
- Победитель – Сыч Никита Владимирович с докладом «Исследования особенностей зрения человека в условиях сумеречного освещения» (научный руководитель – Снетков В.Ю., к.т.н., доцент, НИУ «МЭИ», г. Москва);
- 2 место – Абрамов Михаил Васильевич с докладом «Оценка разбросов в результатах расчётов интегральных значений колориметрических величин светодиодных светильников в зависимости от шага измерительной сетки спектрогониометрического эксперимента» (научный руководитель – Прытков С.В., к.т.н., доцент, и.о. заведующего кафедрой светотехники, МГУ им. Н.П. Огарева, г. Саранск);
- 3 место – Гудемчук Виктория Александровна с докладом «Исследование цветопередачи системы освещения с регулируемым спектром» (научный руководитель – Фомин А.Г., к.т.н., доцент, «НИУ МЭИ», г. Москва).

Победители и призёры конкурса, а также их научные руководители получили памятные дипломы и денежные премии, а также призы от спонсора – уникальные дизайнерские светильники компании Maytoni.



# Брайтэлек

надежные светильники



Российский производитель  
светильников и металлоконструкций  
для наружного освещения



[brightelec.ru](http://brightelec.ru)



+7(495) 514 10 79



[info@brightelec.ru](mailto:info@brightelec.ru)

На правах рекламы

**ПРИВЕТСТВИЯ**

**GREETINGS**



## Диана ВЕРНИШ

Генеральный секретарь  
Международной  
комиссии по освещению  
(МКО), PhD.

## Уважаемые коллеги!

МКО, Международная комиссия по освещению – это организация, способствующая консолидации знаний в области света и освещения и устанавливающая стандарты для измерений и применения света. Около 2 тысяч экспертов со всего мира работают в МКО для достижения этой цели. Молодые и начинающие исследователи являются следующим поколением экспертов, которые будут участвовать в таком партнерстве с целью развития технологий и практики освещения.

Своим участием в конкурсе, который проводит РНК КМО, молодые специалисты продемонстрировали стремление работать по самым высоким научным стандартам, делиться своими знаниями с экспертным сообществом и думать о значении результатов своих исследований. Все эти аспекты являются ключевыми – как в научной работе, так в работе МКО.

Например, в рамках Исследовательских форумов МКО ведущие ученые совместно генерируют новые знания и повышают нашу осведомленность в тех областях, где существуют пробелы в исследованиях. Важна и связь с практикой. Исследовательская стратегия МКО включает в себя 12 из 17 целей устойчивого развития ООН, что свидетельствует о важнейшей роли света и освещения в жизни, здоровье и безопасности людей. В технических отчетах и стандартах МКО эксперты совместно работают над составлением технических отчетов и стандартов. И снова, как и участники конкурса «Молодые светотехники», они не только работают в соответствии с высочайшими научными стандартами, но и представляют свою работу на тщательное рецензирование со стороны коллег.

Эти примеры из практики МКО показывают, как качественные исследования, высокие стандарты и сотрудничество блестящих умов могут привести к реальным результатам в жизни общества. Надеюсь, это поддержит молодых учёных в стремлении продолжать свой путь к научному совершенству и делиться своими работами с профессиональным сообществом.

МКО активно поддерживает будущих лидеров в области освещения и науки о свете. У нас есть инструменты, которые помогают магистрантам и аспирантам воспользоваться опытом и знаниями сообщества МКО. Так, раз в два года МКО проводит конференции, на которых всегда есть специальные предложения для молодых исследователей, в том числе – льготные условия участия с устными и стендовыми докладами и специальные премии для авторов лучшего студенческого доклада.

МКО также проводит специальные сессии для молодых исследователей, где они могут встретиться и установить прочные связи с лидерами МКО. Следующие научные конференции МКО пройдут в Вене (Австрия) в 2025 году и в Нанкине (Китай) в 2027 году.

Наконец, МКО предлагает письма поддержки для исследовательских предложений, которые явно связаны с одной или несколькими темами, изложенными в Исследовательской стратегии МКО.

Надеюсь, что эти возможности помогут начинающим сегодня свой путь светотехникам в их профессиональном росте и успешной научной карьере в области света и освещения!

## Дорогие участники и организаторы конкурса «Молодые светотехники»!

От имени Федерального агентства по техническому регулированию метрологии и от себя лично приветствую всех вас – студентов, аспирантов, молодых специалистов в области светотехники, архитектуры и светового дизайна!

Конкурс проводится уже более четверти века, и каждый год он привлекает множество талантливых молодых учёных. Это прекрасная возможность для всех, кто избрал для себя научную карьеру в области света и освещения заявить о себе профессиональному сообществу. Важно, что конкурс является международным, и благодаря работе Российского национального комитета Международной комиссии по освещению всё больше молодых людей из зарубежных вузов участвует в нём, и знакомятся с нашей страной, своими российскими коллегами и их достижениями.

Нельзя недооценивать важность стандартов для развития светотехники, ведь именно в них закладываются требования к безопасности и качеству. Именно стандарты способствуют устойчивому развитию. Фонд стандартов в области светотехники в России сегодня насчитывает более двухсот документов, при этом более половины из них гармонизированы с международными правилами и требованиями.

Эти стандарты разрабатываются в рамках профильного технического комитета по стандартизации – ТК 332 «Светотехнические изделия, освещение искусственное», и его эксперты активно участвуют в работах по международной и межгосударственной стандартизации.

Для того, чтобы отвечать требованиям времени, стандарты должны обновляться, и хочется верить, что сегодняшние молодые светотехники своей активностью будут участвовать в решении этой задачи. А может быть, некоторые представлены на конкурсе работы лягут в основу будущих новых стандартов, как российских, так и международных. Впереди ещё много важных задач и свершений! Именно за новым поколением специалистов будущее, а конкурс – отличная стартовая площадка для дальнейшей интересной и плодотворной работы.

Желаю всем участникам удачи!



**А.П. ШАЛАЕВ**

Руководитель  
Федерального агентства  
по техническому  
регулированию и  
метрологии  
(Росстандарт)

# СВЕТОГОР

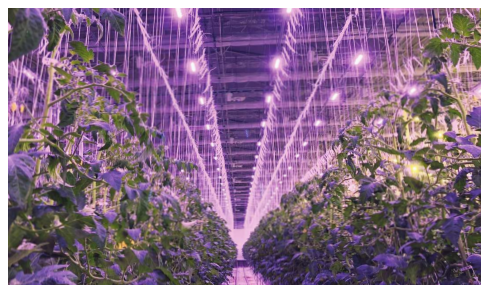


Передовые решения тепличного освещения с классическими натриевыми и инновационными светодиодными облучателями СВЕТОГОР.

Мы помогаем вырастить Вашу прибыль!



**8 лет**



**> 600 Га**



**< 0.5% рекламаций**



**> 700.000 светильников**

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





**ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ВУЗОВ**  
**ABOUT UNIVERSITIES**



# КАФЕДРА СВЕТОТЕХНИКИ НИУ «МЭИ»

## ОСНОВНАЯ ИНФОРМАЦИЯ



**Заведующий кафедрой**  
БООС Георгий Валентинович,  
доцент

111250, Москва,  
ул. Красноказарменная,  
д. 13Е, 5 этаж

E-mail:  
kaf.svetotexnika@yandex.ru  
Тел: +7(925) 010-81-16  
Web: <http://svet.mpei.ru>

Более 90 лет кафедра светотехники НИУ «МЭИ» готовит специалистов-светотехников, способных продумать, спроектировать и реализовать светотехнические решения любой сложности для всех, без исключения, отраслей экономики. Студенты кафедры приобретают технические и инженерные навыки и компетенции в области математического и компьютерного моделирования, что делает их востребованными специалистами на рынке труда в России и за рубежом.

Преподаватели кафедры читают курсы по 22 дисциплинам, ведут исследования по 12 актуальным теоретическим и прикладным направлениям, в числе которых – зрительное и незрительное воздействие света, облучательные технологии для растениеводства, животноводства и медицины, оптические системы для светодиодной аппаратуры, передача информации с помощью светового излучения, вопросы визуального восприятия и сохранности музейных экспонатов и другие.

За годы своей работы кафедра выпустила 6 тысяч инженеров-светотехников, 80 кандидатов и докторов наук. За последние пять лет девять человек успешно защитили научные степени, из них – одну докторскую. В 2024 году прошли 2 защиты и 3 предзащиты. 90% преподавателей кафедры – её выпускники. Руководители, главные инженеры, конструкторы и проектировщики большинства светотехнических компаний в России – также выпускники кафедры.

Кафедра тесно сотрудничает с редакцией научного журнала «Светотехника» и его специального издания для детей и их родителей. Кафедра стала инициатором издания и переиздания серии учебных пособий и 4-го издания Справочной книги по светотехнике, отражающей все последние достижения светотехнической отрасли.

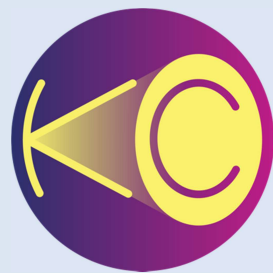
В 2022-2024 гг. преподаватели кафедры выпустили два новых учебника: Будак В.П., Макаров Д.Н. «Компьютерная графика с приложением в светодизайн», Будак В.П., Григорьев А.А., Смирнов П.А., Снетков В.Ю. «Основы светотехники».

Сохраняя накопленный интеллектуальный опыт, кафедра активно привлекает к преподаванию и молодых практикующих специалистов, повышает уровень «остепенённости» и публикационной активности преподавателей. Преподаватели кафедры являются экспертами в ведущих общественных светотехнических организациях – Научно-техническом совете светотехнической отрасли России, Российском национальном комитете МКО, ряде технических комитетов Международной электротехнической комиссии и других организациях.

Кафедра светотехники НИУ «МЭИ» сотрудничает с целым рядом научных, образовательных и промышленных компаний, регулярно работает со школами, популяризируя профессию светотехника, и открыта к научному и индустриальному партнерству.

# КАФЕДРА СВЕТОТЕХНИКИ

## ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. ОГАРЁВА»



### ОСНОВНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Кафедра светотехники и источников света в составе инженерно-технического факультета Мордовского государственного университета имени Н. П. Огарёва была образована по приказу № 538 от 14.07.1960 года Министерства высшего и среднего специального образования РСФСР.

За период существования кафедры защитили кандидатские диссертации свыше 30 преподавателей, аспирантов и соискателей. Ученые кафедры — постоянные участники Международных, Всероссийских научно-технических конференций, форумов в области светотехники. Кафедрой светотехники подготовлено свыше 3000 специалистов для предприятий и научных организаций Республики Мордовия и России.

Кафедра светотехники ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва» располагает квалифицированными научно-педагогическими кадрами, позволяющими обеспечить высокий уровень профессиональной подготовки специалистов. В настоящее время кафедра осуществляет подготовку бакалавров, магистров и аспирантов в области светотехники, способных реализовать себя в различных отраслях производственной и коммерческой деятельности.

При реализации основных профессиональных образовательных программ используется материально-техническая база резидентов АУ «Технопарк-Мордовия»: ООО «НИИИС им. А. Н. Лодыгина», ООО «ССЗ «Лисма», а также предприятий — участников инновационного кластера «Светотехника и оптоэлектронное приборостроение» и промышленного кластера АО «Оптико-волоконные системы», ГК «Оптикэнерго», АУ «Технопарк-Мордовия», ООО «Саранскабель-Оптика», АО «Орбита», ООО «Завод Световых приборов», АО «Ардатовский светотехнический завод», АО «Кадошкинский электротехнический завод», ООО «Рефлак-С».

Кафедра организует работу в соответствии с программой стратегического академического лидерства «Приоритет 2030», Национальным проектом «Наука и университеты», «Государственной программой Российской Федерации «Научно-технологическое развитие Российской Федерации», с важнейшими задачами и программами развития мировой и отечественной науки и потребностями Республики Мордовия.

Ведутся работы по проекту «Разработка Смарт приборов, технологических решений освещения при выращивании растений в условиях светокультуры» в рамках стратегического проекта «Фотоника, функциональная электроника, цифровые решения и искусственный интеллект — драйверы роста экономики региона» программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030».



**И. о. заведующего кафедрой**  
ПРЫТКОВ Сергей Владимирович,  
к.т.н., доцент

430005, Саранск,  
ул. Богдана Хмельницкого,  
д. 39, 3 этаж

E-mail: [svetotehnika@mrsu.org](mailto:svetotehnika@mrsu.org)

Тел: +7(917) 998-80-85

Web:

<https://mrsu.ru/ru/university/chair/kafedra-svetotehniki/>



# КАДРЫ ДЛЯ СВЕТОТЕХНИКИ

## ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

### ОСНОВНАЯ ИНФОРМАЦИЯ



#### Руководитель направления «Опготехника»

ПОЛИСАДОВА Елена Фёдоровна,  
доктор физико-математических  
наук

634050, Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [elp@tpu.ru](mailto:elp@tpu.ru)

Тел: +7(382) 260-63-10

Web: <https://newtechnology.tpu.ru/om/>

Подготовка кадров для светотехнической отрасли ведется в ТПУ с 1967 года. На настоящий момент подготовлено 1850 специалистов (инженеров, бакалавров, магистров), 74 кандидата наук, 16 докторов наук. Выпускники работают на ведущих предприятиях светотехнической промышленности, в научных учреждениях, на переднем крае науки и техники, делают наш мир светлее и ярче. Реализуются образовательные программы уровня бакалавриата «Опτικο-электронные приборы и системы», магистратуры «Фотонные технологии и светотехническая инженерия», аспирантуры «Светотехника». Обучающиеся постигают науки о генерации и распространении света, изучают тонкости фотометрии, учатся проектировать оптимальные системы освещения с учетом современных трендов, разрабатывать источники света и облучательные устройства, создавать инновационные люминесцентные материалы, применять цифровые технологии в светотехнике.

Неразрывно связаны научный и образовательный процесс. Студенты направления становятся победителями научных и инженерных конкурсов, лауреатами стипендий Президента и Правительства, конкурсов выпускных квалификационных работ, результаты своей работы докладывают на конференциях Международного и Всероссийского уровня. Преподаватели кафедры ведут исследования в области моделирования работы опτικο-электронных приборов и светотехнических устройств, разработки программного обеспечения для расчета оптики, оптического материаловедения, взаимодействие излучения с веществом, агробиотоники. Впервые был внедрен опыт использования наземного лазерного сканирования в решении задач светотехнического проектирования.

Силами научного коллектива, 8 докторов наук, 11 кандидатов наук, с участием студентов, выполняются исследования по актуальным тематикам. В разные годы реализовывались проекты в рамках пп. 218, ГЗ Наука, ежегодно научные коллективы получают поддержку со стороны Российского научного фонда. Из наиболее значимых можно отметить: проект ФЦП «Разработка научно-технических основ повышения надежности и долговечности светодиодных световых приборов повышенной мощности для уличного освещения»; совместно с АО НИИПП проект по пп. №218 «Разработка высокоэффективных и надёжных полупроводниковых источников света и светотехнических устройств и организация их серийного производства», по госзаданию «Наука» проекты «Энергоэффективные адаптивные светодиодные световые устройства для тепличного растениеводства на основе автоматизированных систем управления фитопотоками», «Мощные светодиодные светильники для эффективного освещения крупных промышленных и сельскохозяйственных объектов».

Тесное сотрудничество с предприятиями отрасли – ООО «Арлайт РУС», МК «Световые технологии», АО «Физтехэнерго», СП Энерго, АО НИИПП – позволяют реализовывать практико-ориентированный подход в образовательном процессе, обеспечивать индивидуальные треки в подготовке специалистов. Совместно с АО НИИПП создана базовая кафедра «Нанопотоника и оптический инжиниринг» для объединения усилий в решении образовательных, научных, и производственных задач отрасли. Совместно и по запросам предприятий отрасли реализуются программы повышения квалификации по проектированию освещения, расчету оптических систем, расчёту и конструированию источников света.

«Неделя света», которая ежегодно проводится в ТПУ с участием индустриальных партнёров и приуроченная к Международному дню света, акцентирует внимание на роли света в науке, культуре и искусстве, образовании и устойчивом развитии, популяризирует профессию светотехника, привлекает талантливую молодёжь в сложную многоплановую науку «Светотехника».

# КАФЕДРА «СРЕДОВОЙ ДИЗАЙН»

## РГХПУ ИМ. С.Г. СТРОГАНОВА



### ОСНОВНАЯ ИНФОРМАЦИЯ



**Заведующий кафедрой**  
ЗАЕВА-БУРДОНСКАЯ Елена  
Анатольевна, доктор  
искусствоведения, профессор

125080 Москва,  
Волоколамское ш., 9с1  
РГХПУ им. С.Г. Строганова,  
Новый корпус, этаж 7, каб. 710  
E-mail: sreda@mgphu.ru  
Тел: +7 (499) 158-85-91  
Web: <https://sreda-stroganov.ru/>

На кафедре Средового дизайна учащийся получает высшее академическое образование в области проектирования комфортной и эстетически насыщенной среды для современной жизни. С момента основания в 2002 году на кафедре сложился системный творческий подход к преподаванию проектных дисциплин и пропедевтических спецкурсов, основанный на глубоких 200-летних традициях Строгановской проектной школы. Опытные педагоги осуществляют подготовку по четырем Образовательным программам Бакалавриата и Магистратуры и по двум профилям: Дизайн среды и Дизайн мультимедиа.

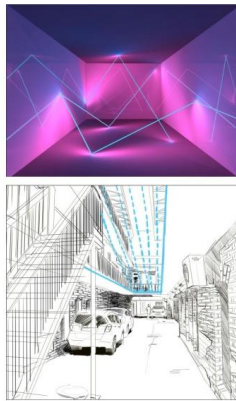
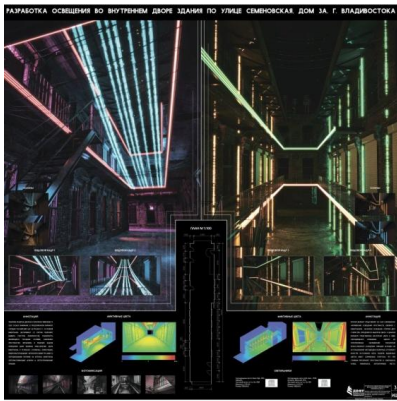
На профиле «Дизайн среды» студенты знакомятся с технологиями экодизайна и светодизайна, методами сценического моделирования концептуального и функционального проектирования, позволяющими полноценное решение задач современной индустрии дизайна от замысла до конечного продукта. Учебный курс охватывает дизайн пространств различного функционального назначения: детских игровых и спортивных зон, парковой, рекреационной и театрализованной сред и т.д. На профиле «Дизайн мультимедиа», открытым в 2017 году, студенты изучают технологии видеомэппинга, AR и VR, проходят курсы анимации персонажей, дизайна интерфейсов, геймдизайна и ивент-дизайна. Кафедру отличает серьезная подготовка в области 2d и 3d графического моделирования, анимации.

Выпускники профиля «Дизайн среды» работают в широкой сфере дизайна: от общественных пространств интерьера, экспо и событийного дизайна до POSM и светодизайна. Профиль «Дизайн мультимедиа» готовит мультимедиа дизайнеров, motion-дизайнеров, UX/UI дизайнеров, CG-художников, дизайнеров AR и VR, 3D-моделлеров. Программы Магистратуры: Системный дизайн средовых объектов и Дизайн мультимедиа осуществляют подготовку руководителей в области дизайн-объединений и ведущих дизайнеров крупных проектов.

Кафедра связывает обучение с реальными задачами дизайн-практики. Сотрудничество с ведущими организациями и объединениями в разных областях индустрии позволяет кафедре оставаться современной, а ее выпускникам - быть востребованными на рынке труда. В области Культуры партнерами кафедры стали: РАХ, МОА Союз Дизайнеров, Музей Космонавтики, Московский театр «Новая Опера» им. Е. В. Колобова, МГК им. П.И. Чайковского, ВХНРЦ им. И.Э. Грабаря и др. В сфере Событийного дизайна – это Лидеры цифровой трансформации и Агентство инноваций Москвы. Среди партнеров в сфере Образования и науки: Университет науки и технологий МИСИС, Образовательный Фонд «Талант и успех» (Сириус), НМИЦ им. Н.Н. Блохина, МЭИ, НИЦ Курчатовский институт, ВДЦ «Орленок».

Кафедра активно практикует выполнение проектов по реальным заданиям Производственных объединений: ООО «МГК «Световые технологии», Arlight, ООО БЛ ГРУПП, ПАО Камаз, и объединений в сфере Цифровых технологий – VR Concept, Гефест-Капитал, Сбер. Работодателями кафедры стали Дизайн-студии: SIMPLA STUDIO, Радугадизайн, ООО «4 ВИДА».

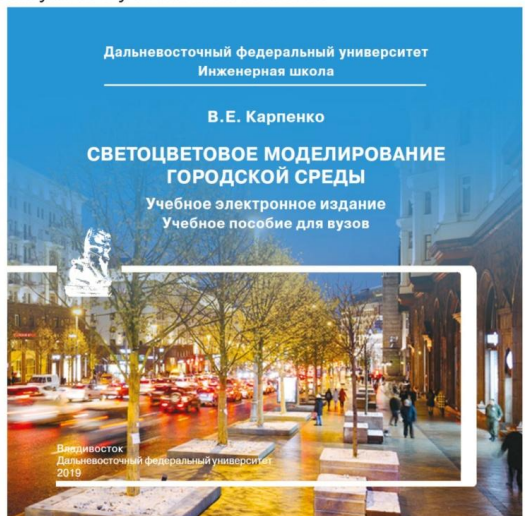




**Департамент архитектуры и дизайна  
Политехнический институт (Школа)  
Дальневосточный федеральный университет, Владивосток  
Дисциплина «Светоцветовая организация в дизайне архитектурной среды»**

В Департаменте архитектуры и дизайна Политехнического институт ДВФУ преподается дисциплина «Светоцветовая организация в дизайне архитектурной среды» (Световой дизайн). Пропедевтика и методика обучения строится на последовательном изучении современного визуального искусства, световых инсталляций и скульптур, медиафасадов и световых поверхностей, новых тенденций в световой архитектуре и вечерней городской среде на примере художественных и проектно-технических работ советских, российских и зарубежных светодизайнеров, инженеров и художников. Выработка умений и навыков заключается в создании новых световых эффектов средствами световой композиции и компьютерного моделирования. Используются возможности VR, как нового метода проверки ощущений и восприятия световых эффектов в ночной городской среде, воздействующих на сенсорную систему человека. В процессе освоения данной дисциплины студенты занимаются светоцветовым моделированием фрагмента городской среды, включающем разработку световых форм и принципов освещения. Создаются макеты из зеркальных, отражающих, преломляющих, пропускающих свет поверхностей и материалов, в которые встраиваются миниатюрные светодиодные ИС. Варианты световых приёмов и концепция освещения предварительно фиксируются в эскизах и рисунках при помощи различных изобразительных средств. Световая композиция проверяется в специальной светотехнической компьютерной программе.

Обучение обеспечивается практикумом и учебным пособием.





**КЛЮЧЕВАЯ СТАТЬЯ**

**KEY ARTICLE**

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ  
ЦВЕТОВОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ВОСПРИЯТИЕ  
МАСЛЯНОЙ ЖИВОПИСИ**

*Барцева А.А., м.н.с., Зиничева А.С., инженер,  
научный руководитель – Барцев А.А., к.т.н., ООО «ВНИСИ», г. Москва*

**EXPERIMENTAL STUDIES OF COLOR TEMPERATURE  
INFLUENCE ON THE OIL PAINTING PERCEPTION**

*Bartseva A.A., junior researcher, Zinicheva A.S., engineer,  
scientific supervisor – Bartsev A.A., Ph.D., LLC "VNISI", Moscow*

**Аннотация**

На протяжении 2023–2024 года на базе Всесоюзного научно-исследовательского светотехнического института им. С.И. Вавилова проводился эксперимент по исследованию восприятия масляной живописи в зависимости от коррелированной цветовой температуры ( $T_{\text{цв}}$ ) искусственного освещения. Главная особенность эксперимента – каждый наблюдатель имел возможность самостоятельно выбирать ту  $T_{\text{цв}}$ , которую он считал наиболее подходящей для освещения картины. Собран большой массив данных, проведена их статистическая обработка. В результате эксперимента было выявлено, что, несмотря на значительные отличия картин по сюжету, стилю живописи и цветовой гамме, большинство наблюдателей выбрало освещение картин с цветовой температурой близкой к 4600 К.

**Abstract**

*During 2023–2024, an experiment was conducted at the Russian lighting research institute named after Sergey Vavilov (VNISI) to study the perception of oil painting depending on the correlated color temperature (CCT) of artificial lighting. The main feature of the experiment was that each observer had the opportunity to choose independently the CCT that he considered most suitable for lighting the painting. A large array of data was collected and statistically processed. As a result of the experiment, it was revealed that despite significant differences in the paintings in plot, style of painting and color scheme, most observers chose to light the paintings with a color temperature close to 4600 K.*

**Ключевые слова:** музейное освещение, светодиодный светильник, эксперимент, коррелированная цветовая температура, зрительное восприятие.

**Keywords:** museum lighting, LED luminaire, experiment, correlated color temperature, visual perception

## Введение

В 2018 г. по заказу Министерства культуры была проведена научно-исследовательская работа (НИР) и сформулирован перечень проблем, которые нуждаются в экспериментальном и аналитическом изучении.

Одним из результатов была формулировка задачи по исследованию связи между зрительным восприятием музейных предметов и коррелированной цветовой температурой освещения при уровнях освещенности, характерных для освещения музейных предметов.

Результаты НИР были рассмотрены и одобрены на состоявшемся 19 сентября 2018 г. расширенном заседании секции «Музейное освещение» ассоциации Отраслевой научно-технический совет «Светотехника» с участием представителей музейного сообщества. В 2019 г. была разработана методика исследования влияния спектрального состава и уровня светодиодного освещения на восприятие музейных предметов.

В начале 2020 г. была начата подготовка к проведению эксперимента в Государственном Эрмитаже. В этой работе участвовали, помимо сотрудников Всесоюзного научно-исследовательского светотехнического института им. Вавилова (ВНИСИ), специалисты Государственного Эрмитажа, сотрудники компании «БЛ ГРУПП» и ООО «Светосервис-Телемеханика». В рамках подготовки к проведению эксперимента был проведен большой объем работ:

- Разработано техническое задание на проведение эксперимента;
- Разработана и согласована конструкция экспериментальных камер и место их установки в Государственном Эрмитаже;
- Разработан экспозиционный светильник **Афродита LED-24-25-По (2700-6500/RAL9016/1.03/70)** с возможностью регулирования  $T_{\text{цв}}$  от 2610 К до 6146 К и диммирования светового потока от 0% до 100%;
- Проведены измерения и калибровка светильника, позволяющая обеспечить постоянство светового потока при изменении  $T_{\text{цв}}$ ;
- Разработана программа для планшета «Samsung Galaxy Tab A», позволяющая в интерактивном режиме изменять  $T_{\text{цв}}$ , диммировать светильник и передавать данные на сервер для хранения и последующей обработки.

Подготовке к проведению эксперимента в Государственном Эрмитаже в 2020 г. помешала эпидемия Ковид-19, тем не менее, в начале 2023 г. работы по проведению эксперимента возобновились на базе ВНИСИ.

### Метод исследования

Для проведения исследования и реализации методики была создана экспериментальная установка. Установка представляет собой крытую выгородку высотой 2,6 м; глубиной 2,45 м, шириной 2,1 м, стены и потолок покрыты темно-серой матовой тканью. Установлен экспозиционный светильник *Афродита LED-24-25-Ило* (2700-6500/RAL9016/1.03/70) на высоте ~2,4 м на удалении 1,96 м (по горизонтали) от картины. Размеры картины не более 50 см x 60 см, центр полотна находится на уровне ~1,6 м от пола, а уровень освещенности в центре полотна картины ~100 лк (рис. 1). При этом наружное освещение выключено, а естественное освещение отсутствует (окна плотно зашторены).

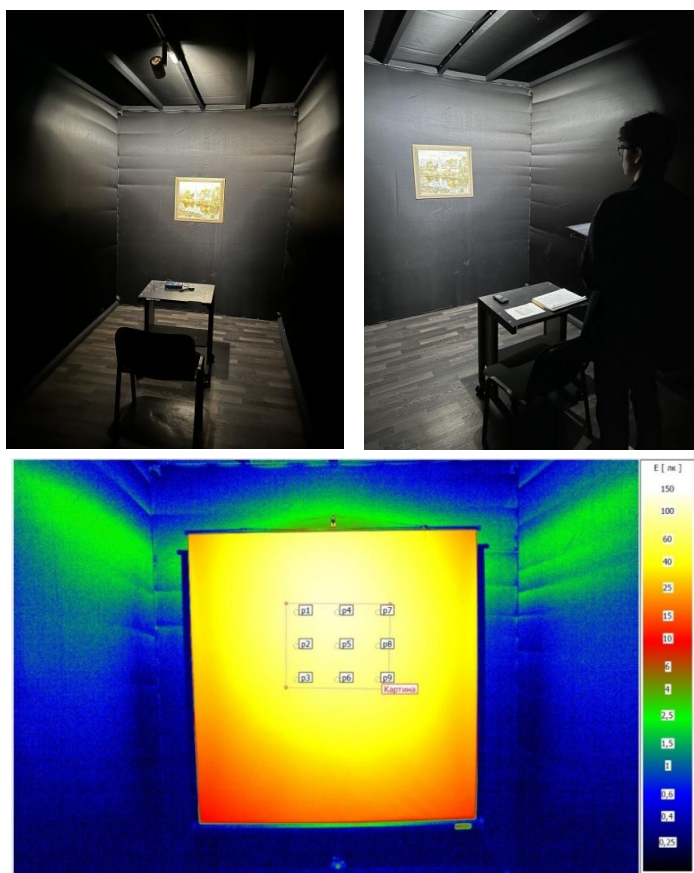


Рис. 1. Экспериментальная установка во ВНИСИ и уровень освещённости в плоскости полотна на картине

Наблюдатель (участник эксперимента) перед началом эксперимента проходит адаптацию к пониженному уровню освещенности в помещении в течение 2–5 минут, а затем приступает к эксперименту. Сначала наблюдатель заполняет короткую анкету (рис. 2) и после этого с помощью ползунка на экране компьютерного планшета выбирает тот цвет освещения картины, который, по мнению участника эксперимента, наилучшим образом подходит для восприятия картины. Уровень освещенности при этом остается постоянным.

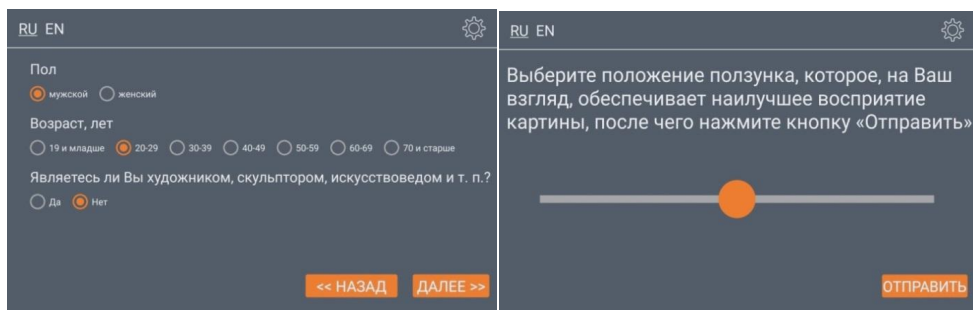


Рис. 2. Интерфейс программы для прохождения эксперимента

По завершению работы, данные отправляются на сервер для последующей обработки.

Важно отметить тот факт, что наблюдатель сам выбирает ту цветовую температуру для освещения картины, которая, по его мнению, наилучшим образом соответствует для восприятия картины. Это наиболее существенное отличие методики данного эксперимента от аналогичных экспериментов, построенных на основе метода экспертных оценок [1–5].

В эксперименте использовалось 6 картин (рис. 3) различных по стилю живописи, жанру и цветовому наполнению. Предполагалось, что на выбор наблюдателем цветовой температуры для освещения картины будут иметь решающее значение сюжет картины и ее преобладающий оттенок.

Количество наблюдателей и их распределение по возрасту и полу менялось от картины к картине. В основном это были сотрудники института, а также некоторое количество посетителей, в том числе профессиональные художники, которые проявили интерес к эксперименту. Так, участниками эксперимента стали группы школьников, студенты Строгановской Академии, сотрудники из находящихся поблизости организаций.



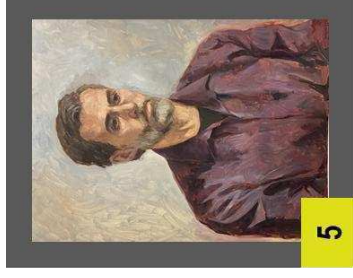
1

Картина «Церковь Сретения» (холст, масло)  
Автор: Макаров Б.М., 2000 г.



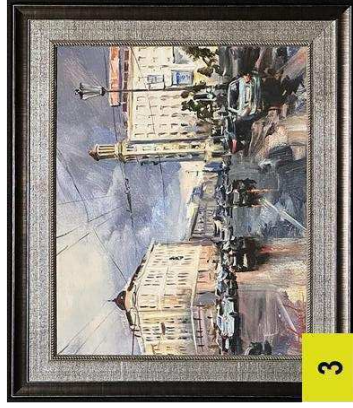
2

Картина «Осенний букет» (холст, масло)  
Автор: Смолин Н.Н., 2004 г.



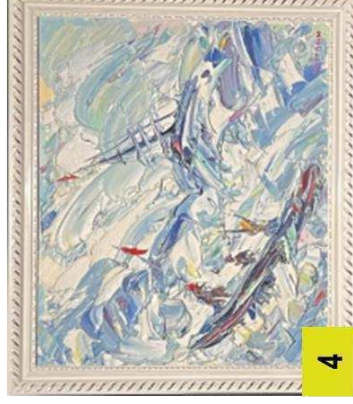
5

Мужской портрет (картон, масло)  
Автор: Аммосова С.Ю.



3

Картина «Пушкинская» (холст на картоне, масло)  
Автор: Королев А.Г., 2023 г.



4

Картина «В море» (холст, масло)  
Автор: Смолин Н.Н., 2001 г.



6

Женский портрет (картон, масло)  
Автор: Аммосова С.Ю.

Рис. 3. Картины, отобранные для участия в эксперименте



Таблица 1. Общие данные участников эксперимента

	Картина № 1	Картина № 2	Картина № 3	Картина № 4	Картина № 5	Картина № 6	
<b>Кол-во участников эксперимента:</b>	91	93	72	93	74	72	
<b>Общее число наблюдений:</b>	431	511	429	432	249	235	
<b>Возраст</b>	<b>Кол-во наблюдателей</b>						
(1) 19 и младше	12	13	12	2	0	0	
(2) 20-29	25	32	22	32	26	26	
(3) 30-39	26	22	15	23	19	17	
(4) 40-49	11	14	9	22	18	18	
(5) 50-59	11	8	7	6	7	7	
(6) 60-69	4	4	3	6	4	4	
(7) 70 и старше	2	0	4	2	0	0	
<b>Пол</b>	<b>м</b>	<b>49</b>	<b>50</b>	<b>38</b>	<b>55</b>	<b>48</b>	<b>45</b>
	<b>ж</b>	<b>42</b>	<b>43</b>	<b>34</b>	<b>38</b>	<b>26</b>	<b>27</b>

Из представленных в табл. 1 данных можно заметить, что общее количество наблюдений больше количества наблюдателей. Объясняется это тем, что часть наблюдателей участвовала в эксперименте по несколько раз, это дало возможность собрать и обработать дополнительные данные по отдельным участникам.

#### **Результаты эксперимента**

В результате исследования были получены экспериментальные данные по каждой картине. На рис. 4 представлены результаты эксперимента для первой картины. Для неё было сделано 431 наблюдение. По оси X отложены значения  $T_{цв.}$ , а по оси Y откладывается количество наблюдателей, которые выбрали данную цветовую температуру. Чем выше столбец на графике, тем больше наблюдателей выбрало эту цветовую температуру.

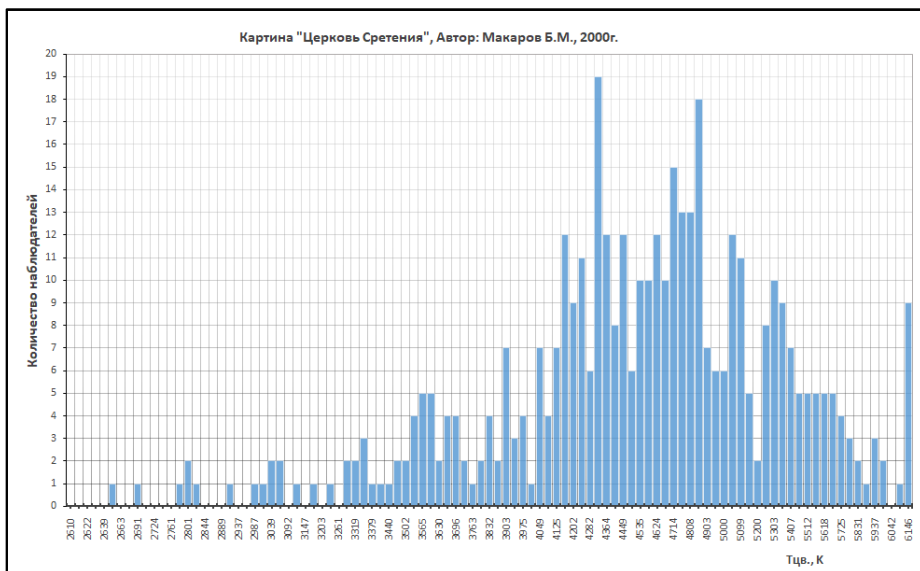


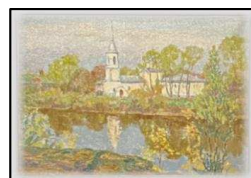
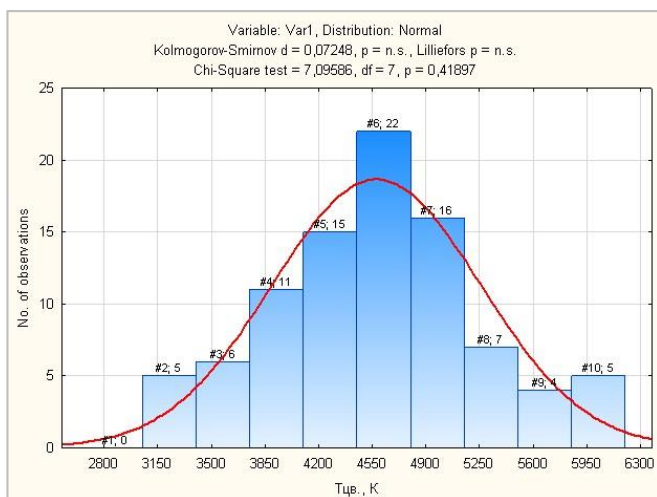
Рис. 4. Гистограмма распределения  $T_{цв}$ , выбранной участниками эксперимента для картины № 1

После достижения достаточно большого количества наблюдений – в данном случае 431 наблюдений – данные передавались для статистической обработки. Статистическая обработка результатов эксперимента необходима для того, чтобы систематизировать данные, попытаться выявить некие закономерности и характеристики собранных данных, проверить предположения (гипотезы) о характере распределения экспериментальных данных. Для этого использовались специализированные программы, такие как Statistica, OriginPro и MS-Excel.

При итоговой статистической обработке результатов эксперимента было замечено, что участники эксперимента, сделавшие достаточно большое количество повторных наблюдений, начинают влиять на общую статистическую картину. Для исключения этого эффекта результаты многократных наблюдений таких наблюдателей были усреднены, таким образом, результаты обрабатывались в соответствии с количеством наблюдателей по каждой картине.

Представленная на рис. 5 гистограмма была получена путем обработки экспериментальных данных в программе Statistica. Синие столбцы – это результаты эксперимента, сгруппированные по интервалам, а непрерывная красная кривая на графике – это функция Гаусса-Лапласа (нормальное распределение), которая построена по данным из описательной статистики с математическим ожиданием  $\mu = T_{цв.сред.} = 4578 K$  и среднеквадратичным отклонением  $\sigma = 682 K$ .

Для подтверждения гипотезы о том, что полученные экспериментальные данные подчиняется нормальному закону распределения, использовался критерий согласия Пирсона  $\chi^2$  (хи-квадрат) для уровня значимости 0,05, а также дополнительно ряд других критериев: Колмогорова-Смирнова, Лиллиефорса, Шапиро-Уилка, Андерсона-Дарлинга. Все проведенные тесты подтвердили «нормальность» полученного распределения.

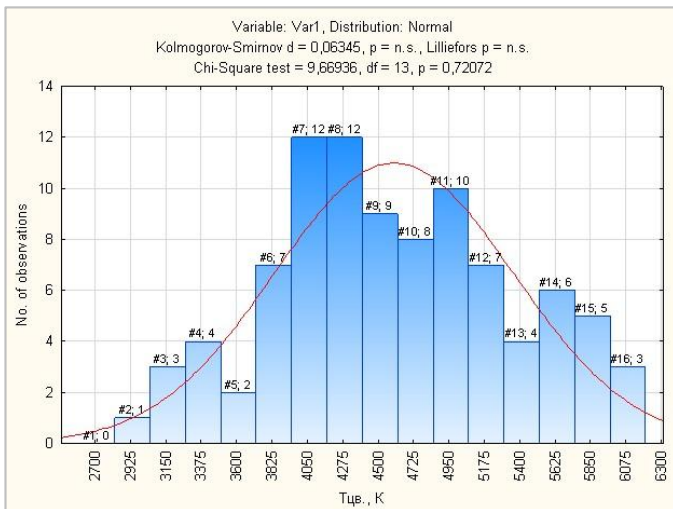


Описательная статистика (Excel)	
Среднее	4578
Стандартная ошибка	71,45
Медиана	4597,19
Мода	6145,53
<b>Стандартное отклонение</b>	<b>682</b>
Дисперсия выборки	464501,36
Экссесс	-0,07
Асимметричность	0,15
Интервал	2906,39
Минимум	3239,14
Максимум	6145,53
Сумма	416628,85
Счет	91

Рис. 5. Результаты статистической обработки экспериментальных данных для картины № 1

Рассмотрим результаты эксперимента для второй картины «Осенний букет». Здесь было сделано самое большое число наблюдений, почти 890 наблюдений, из них 511 наблюдений для основной группы из 93 наблюдателей, и еще дополнительно порядка 379 наблюдений для контрольной группы из 5 наблюдателей.

Статистическая обработка результатов для основной группы наблюдателей картины №2 (с усреднением результатов повторных наблюдений) представлены на рис. 6. Среднее арифметическое значение цветовой температуры составило 4601 градусов Кельвина, стандартное отклонение составило 760 К, статистический анализ подтвердил нормальность полученного распределения.



Описательная статистика (Excel)	
Среднее	4601
Стандартная ошибка	78,803
Медиана	4562,89
Мода	4364,37
Стандартное отклонение	760
Дисперсия выборки	577518,063
Экссесс	-0,590
Асимметрия	0,140
Интервал	3106,553
Минимум	3038,977
Максимум	6145,530
Сумма	427909,626
Счет	93
Уровень надежности (95,0%)	156,509

Рис. 6. Результаты статистической обработки результатов эксперимента для картины № 2

Дополнительно для данной картины была проведена статистическая обработка результатов эксперимента для контрольной группы наблюдателей из 5 человек, каждый из которых сделал не менее 50 наблюдений.

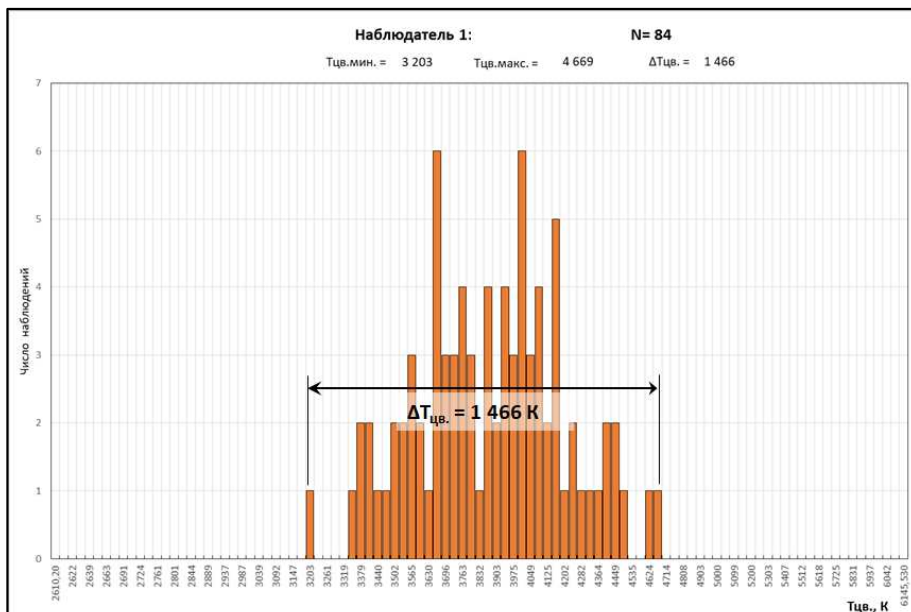


Рис. 7. Результаты выбора цветовой температуры для освещения картины № 2 для наблюдателя № 1

На рис. 7 показаны результаты выбора цветовой температуры для освещения картины, которую один из участников эксперимента наблюдал на протяжении 10 месяцев и в результате провел 84 наблюдения. Из полученных результатов следует, что выбираемая наблюдателем  $T_{цв}$  не была все время одной и той же. Она менялась в зависимости от времени суток и времени года, от физического и эмоционального состояния наблюдателя, возможно, от каких-либо еще факторов.

Полученные результаты позволяют оценить разброс значений цветовой температуры  $\Delta T_{цв}$  между минимальным и максимальным значениями, который составил почти 1460 градусов К. То есть диапазон приемлемых цветовых температур для этого наблюдателя оказался довольно широким, от 3200 К до 4670 К. Подобный разброс значений цветовой температуры  $\Delta T_{цв}$  между минимальным и максимальным значениями был получен по всем картинам для всех наблюдателей, каждый из которых проводил повторные наблюдения картины более 10 раз, результаты приведены в сводке основных результатов эксперимента (Таблица № 2).

Дополнительно для каждого наблюдателя из контрольной группы была проведена статистическая обработка результатов и проверка на нормальность. На рисунке 8 представлены результаты эксперимента для одного из наблюдателей, соответствующие нормальному закону распределения с математическим ожиданием  $\mu = 3892 \text{ K}$  и среднеквадратичным отклонением  $\sigma = 315 \text{ K}$ .

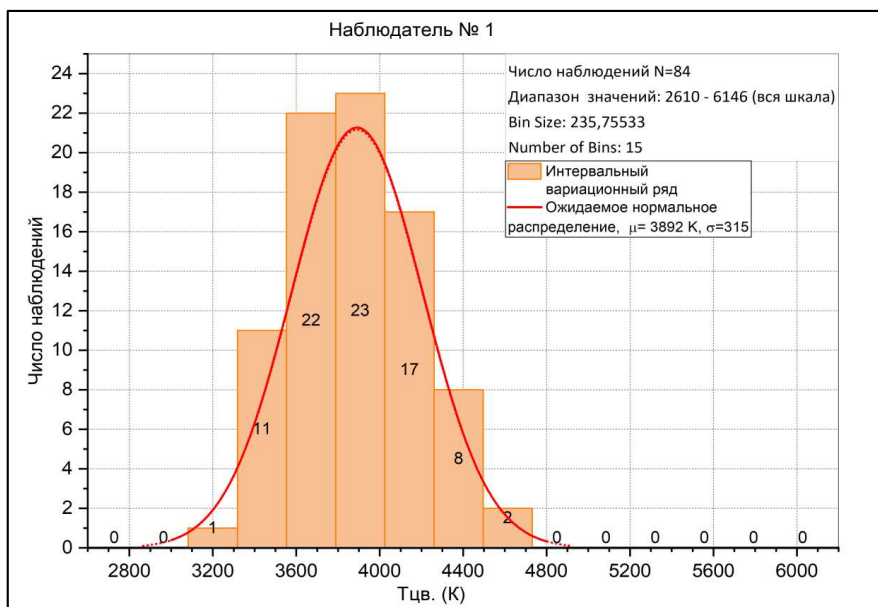
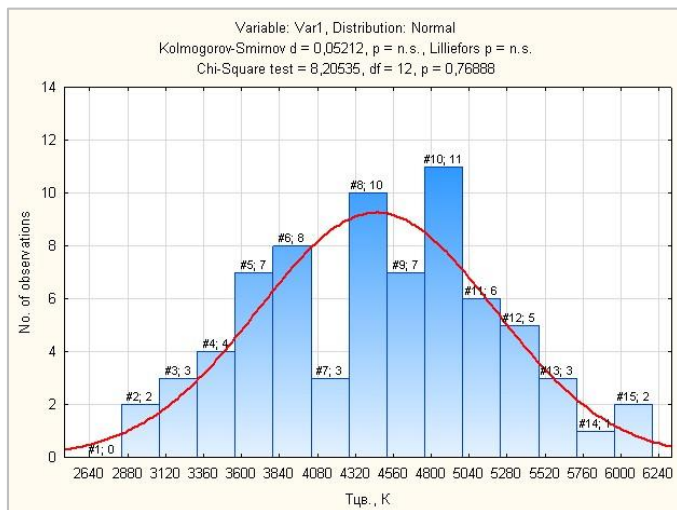


Рис. 8. Статистическая обработка результатов для отдельного наблюдателя

Третьей картиной в эксперименте стала Картина «Пушкинская», рис. 9. Для этой картины было проведено 429 наблюдений, участвовало 72 наблюдателя. Среднее значение цветовой температуры составило 4454 градуса Кельвина, стандартное отклонение 745 К, статистический анализ подтвердил нормальность полученного распределения.

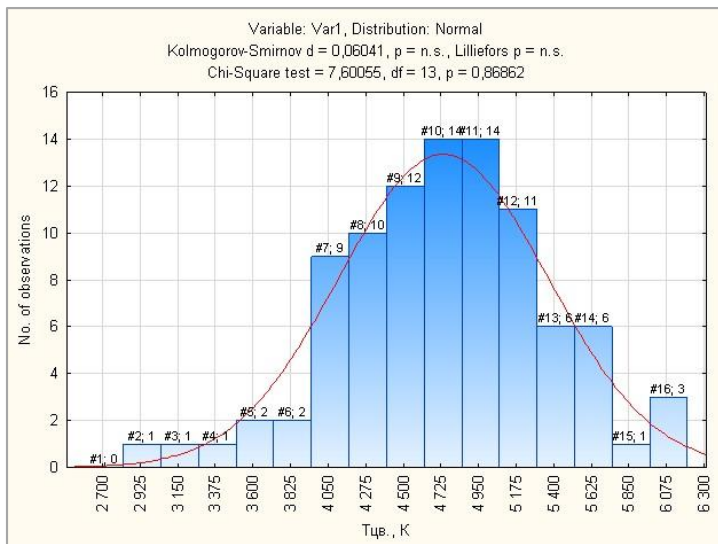


Описательная статистика (Excel)	
Среднее	4454
Стандартная ошибка	87,83
Медиана	4500,65
Мода	4760,75
Стандартное отклонение	745
Дисперсия выборки	555416,56
Экссесс	-0,47
Асимметричность	0,00
Интервал	3265,22
Минимум	2880,31
Максимум	6145,53
Сумма	320659,64
Счет	72
Уровень надежности (95,0%)	175,13

Рис. 9. Статистическая обработка результатов эксперимента для картины № 3

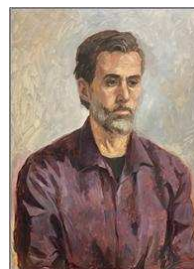
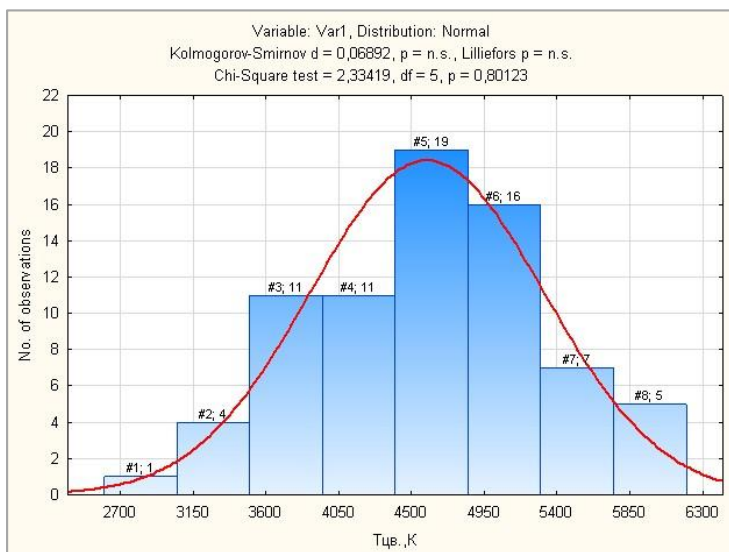
Четвертая картина – морской пейзаж «В море», рис. 10. Было проведено 432 наблюдения, участвовало 93 наблюдателя. Среднее значение цветовой температуры составило 4739 К, стандартное отклонение 625 К. Поскольку картина выполнена с преобладанием светлых сине-голубых и белых цветов, предполагалось, что наблюдатели будут выбирать более холодный свет, то есть с более высокой цветовой температурой. В целом это предположение подтвердилось, однако сдвиг цветовой температуры оказался не такой значительный, как ожидалось, примерно 200 К (относительно средней  $T_{цв} = 4571$  К для всех картин). Статистический анализ подтвердил нормальность полученного распределения.

Для 5-ой картины, «Мужской портрет» (рис. 11) было проведено 249 наблюдения, участвовало 74 наблюдателя. По результатам статистической обработки средняя цветковая температура для этой картины составила примерно 4600 градусов Кельвина, стандартное отклонение составило 721 К, Статистический анализ подтвердил нормальность полученного распределения.



Описательная статистика (Excel)	
Среднее	4739
Стандартная ошибка	64,84
Медиана	4714,67
Мода	4668,77
<b>Стандартное отклонение</b>	<b>625</b>
Дисперсия выборки	391028,55
Экссесс	0,40
Асимметричность	-0,22
Интервал	3232,43
Минимум	2913,10
Максимум	6145,53
Сумма	440769,24
Счет	93
Уровень надежности (95,0%)	128,78

Рис. 10. Статистическая обработка результатов эксперимента для картины № 4



Описательная статистика (Excel)	
Среднее	4597
Стандартная ошибка	83,86
Медиана	4623,62
Мода	6145,53
<b>Стандартное отклонение</b>	<b>721</b>
Дисперсия выборки	520353,02
Экссесс	-0,338
Асимметричность	0,088
Интервал	3115,69
Минимум	3029,84
Максимум	6145,53
Сумма	340167,11
Счет	74
Уровень надежности (95,0%)	167,12

Рис. 11. Статистическая обработка результатов эксперимента для картины № 5



Последней картиной стал «Женский портрет». Для этой картины было проведено 235 наблюдений, участвовало 72 наблюдателя. По результатам статистической обработки (рис. 12) средняя цветовая температура для этой картины составила примерно 4454 К, стандартное отклонение составило 639 К, статистический анализ подтвердил нормальность полученного распределения.

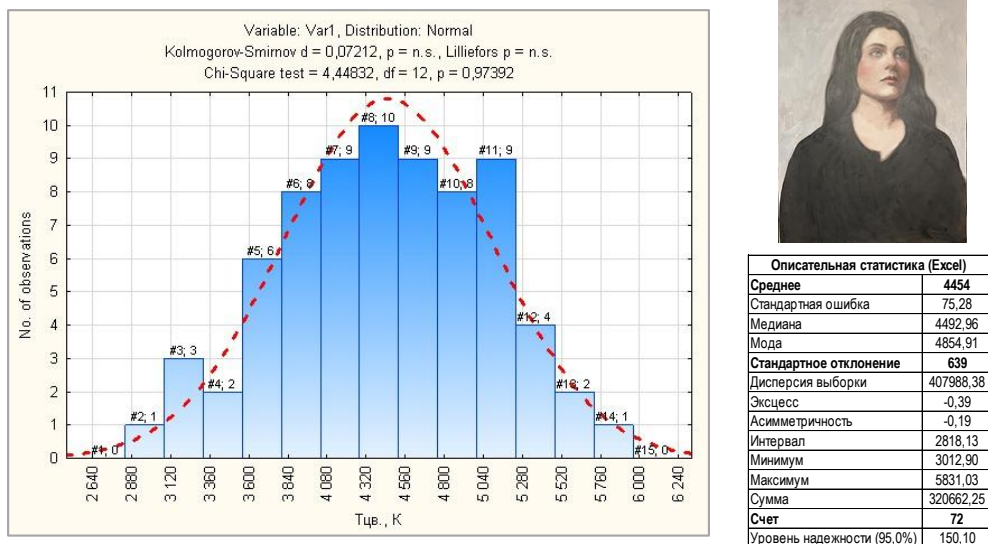








Рис. 12. Статистическая обработка результатов эксперимента для картины № 6

Сводка основных результатов эксперимента по всем картинам представлена в таблице № 2. С учетом нормальности полученных распределений основным результатом является значение средней цветовой температуры  $T_{\text{цв}}$  и стандартное отклонение  $\sigma$ . Цветовая температура  $T_{\text{цв}}$  изменяется от картины к картине от минимальной 4454 К до максимальной 4739 К, то есть в пределах 285 К. Учитывая, что картины значительно отличаются друг от друга по сюжету, стилю и цветовой гамме, а погрешность измерения  $T_{\text{цв}}$  в диапазоне 4000–5000 К обычно составляет 250 К [6], это очень небольшое различие, и мы в данном случае вправе говорить об усредненной цветовой температуре, которая составляет 4571 К, с учетом округления ~4600 К. Аналогичным образом можно говорить о среднем стандартном отклонении равном 700 К.

Таблица 2. Сводка основных результатов эксперимента по картинам № 1 – 6

№ картины	1	2	3	4	5	6	Средние значения
							
Число наблюдений N	431	511	429	432	249	235	-
Кол-во наблюдателей	91	93	72	93	74	72	<b>83</b>
Среднее арифметическое значение $T_{цв}$ (К)	4 578	4 601	4 454	4 739	4 597	4 454	<b>4571</b>
Стандартное отклонение $\sigma$ (К)	682	760	745	625	721	639	<b>695</b>
<b>Для повторных наблюдений</b>							
$\Delta T_{цв.сред.}$ (К)	1 126	901	1 215	942	1 168	1 138	<b>1 082</b>

В последней строке таблицы № 2 приведен параметр  $\Delta T_{цв.сред.}$ , который описывает разброс между максимальным и минимальным значением  $T_{цв}$  для наблюдателей, которые повторно участвовали в эксперименте по каждой картине более 10 раз. В среднем по всем 6 картинам этот разброс составил  $\sim 1100$  К.

### Выводы

Эксперимент, посвящённый исследованию восприятия масляной живописи в зависимости от цветовой температуры, продолжался 10 месяцев. В нём было задействовано 6 картин, в среднем в просмотрах каждой картины участвовало по 83 наблюдателей.

Из полученных на данный момент результатов эксперимента (табл. 2) можно сделать вывод, что несмотря на сильные отличия картин по стилю живописи, жанру и цветовой гамме, большинство наблюдателей предпочло одну и ту же цветовую температуру – в среднем 4600 К. Полученный результат в целом хорошо согласуется с данными ряда зарубежных исследований [1–3].

При этом разброс значений  $T_{цв}$  в случае многократных повторных наблюдений одной и той же картины среднестатистическим наблюдателем составляет в среднем 1100 К, т.е. приемлемая  $T_{цв}$  в этом случае находится в диапазоне 4050 – 5150 К.

## Список литературы

1. *Feltrin F, Leccese F, Hanselaer P & Kevin A. G. Smet.* Impact of Illumination Correlated Color Temperature, Background Lightness, and Painting Color Content on Color Appearance and Appreciation of Paintings, LEUKOS 2020, VOL. 16, NO. 1, 25–44 <https://doi.org/10.1080/15502724.2018.1522261>
2. *Pinto P, Linhares JMM, Nascimento SMC.* 2008. Correlated color temperature preferred by observers for illumination of artistic paintings. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis.* 25:623–30.
3. *Haiwen G; Zhisheng W; Dan Z; Cong Zh; Nianyu Z.* Research on the influence of lighting mode and CCT on the lighting design of art museum based on subjective experiment. *AIP Advances* 10, 125024 (2020); <https://doi.org/10.1063/5.0022997>
4. *Zhai QY, Luo MR, Liu XY.* 2015. The impact of illuminance and colour temperature on viewing fine art paintings under LED lighting. *Light Res Technol.* 47:795–809.
5. *M. Scuello, I. Abramov, J. Gordon, and S. Weintraub,* “Museum lighting: Optimizing the illuminant,” *Color Res. Appl.* 29, 121–127 (2004). <https://doi.org/10.1002/col.10231>
6. ГОСТ 34819-2021. Приборы осветительные. Светотехнические требования и методы испытаний. Москва, Российский институт стандартизации, 2022 г.

**СВЕТОТЕХНИКА**  
**LIGHTING ENGINEERING**

**ОЦЕНКА РАЗБРОСОВ В РЕЗУЛЬТАТАХ РАСЧЁТОВ  
ИНТЕГРАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ КОЛОРИМЕТРИЧЕСКИХ  
ВЕЛИЧИН СВЕТОДИОДНЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ В  
ЗАВИСИМОСТИ ОТ ШАГА ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СЕТКИ  
СПЕКТРОГОНИОМЕТРИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА**

*Абрамов М.В., инженер;  
научный руководитель – Прытков С.В., к.т.н., доцент,  
и.о. заведующего кафедрой светотехники,  
ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва», г. Саранск*

**ASSESSMENT OF THE ERROR OF INTEGRAL VALUES OF  
COLORIMETRIAL VALUES OF LED LUMINAIRES DEPENDING  
ON THE PITCH OF THE MEASUREMENT GRID OF THE  
SPECTROGONIOMETRIC EXPERIMENT**

*Abramov M.V., engineer;  
scientific supervisor – Prytkov S.V., candidate of technical sciences,  
associate professor, acting head of the department of lighting engineering,  
National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk*

**Аннотация**

В данной статье рассматривается вопрос влияния шага измерений и диапазона сетки углов в вертикальной плоскости на расчетное значение коррелированной цветовой температуры. Также затрагиваются вопросы влияния вторичной светодиодной оптики на коррелированную цветовую температуру и пространственную однородность цвета осветительных приборов. Для получения массива данных с пространственным распределением спектральной плотности энергетической освещенности был использован гониофотометр ближнего поля RIGO 801. В итоге исследования было установлено, что величина шага измерений в вертикальной плоскости оказывает малое влияние на разброс результатов расчетов, в то время как диапазон углов в вертикальной плоскости оказывает гораздо более существенное влияние на результаты расчета. Помимо этого, было отмечено, что применение оптики способствует уменьшению значения коррелированной цветовой температуры за счет поглощения коротковолновой составляющей излучения светодиода, а также может приводить к повышению пространственной однородности цвета. Результаты исследования, приведенного в данной статье, послужат для практического применения при разработке и усовершенствовании стандартов, регламентирующих измерение и расчёт колориметрических характеристик источников света и осветительных приборов, конструировании измерительных комплексов и создании проектов освещения.

## Abstract

*This article examines the effect of the measurement step and the range of the vertical plane angle grid on the calculated value of the correlated color temperature. It also addresses the effects of secondary LED optics on the correlated color temperature and spatial color homogeneity of lighting fixtures. A RIGO 801 near-field goniophotometer was used to obtain a data array with the spatial distribution of the spectral density of irradiance. As a result of the study, it was found that the value of the measurement step in the vertical plane has little effect on the spread of the calculation results, while the range of angles in the vertical plane has a much more significant effect on the calculation results. In addition, it was noted that the use of optics helps to reduce the value of the correlated color temperature due to the absorption of the short-wave component of the LED radiation, and can also lead to an increase in the spatial color homogeneity. The results of the research presented in this article will serve for practical application in the development and improvement of standards regulating the measurement and calculation of colorimetric characteristics of light sources and lighting devices, the design of measuring systems and the creation of lighting projects.*

**Ключевые слова:** угловое распределение спектра, пространственное распределение колориметрических характеристик, индекс цветопередачи, координаты цветности, координаты цвета, угловая цветовая однородность, коррелированная цветовая температура

**Keywords:** *angular spectrum distribution, spatial distribution of colorimetric characteristics, color rendering index, chromaticity coordinates, color coordinates, angular color uniformity, correlated color temperature*

## Введение

Значения колориметрических характеристик светодиодных ламп, модулей и осветительных приборов могут иметь сильную угловую неоднородность спектрального распределения излучения, поэтому делать выводы относительно их колориметрических характеристик по данным, полученным в одном конкретном направлении нельзя, несмотря на то что стандарт [1] требует определять коррелированную цветовую температуру только в осевом направлении светильника.

Пространственно-усреднённые результаты измерений получают с использованием следующих метрологических комплексов:

1. Интегрирующая сфера, оснащённая спектрорадиометром [3,6]. В этом случае спектр осветительного прибора и, как следствие, его колориметрические характеристики усредняются поверхностью сферы автоматически в результате многократного отражения излучения.

2. Спектрогониорадиометр [3,7]. В этом случае спектр осветительного прибора и, как следствие, его колориметрические

характеристики усредняются в результате математической обработки данных.

Целью данного исследования являлось оценка погрешности определения интегральных значений колориметрических величин в зависимости от шага сетки, используемой при гониофотометрических измерениях. Погрешность измерения КЦТ, обусловленная методом расчета, исследуется в статьях [4, 5, 9].

### Метод исследования

Для проведения исследования была разработана следующая методика: с помощью гониофотометра ближнего поля RIGO 801 было получено три массива данных с пространственным распределением спектральной плотности энергетической освещенности (СПЭО) осветительного прибора, в конструкции которого применялся светодиод типа OSRAM GW PUSTA1.CM OSCONIQ P 3737 (3W) (рис. 1). Измерения проводились в диапазоне вертикальных углов от  $0^\circ$  до  $70^\circ$  и в диапазоне горизонтальных углов от  $0^\circ$  до  $315^\circ$ . Массивы отличались шагом измерений в вертикальной плотности:  $2,5^\circ$ ;  $5^\circ$ ;  $10^\circ$ . Шаг в горизонтальной плоскости во всех трех случаях составил  $45^\circ$ . Далее в среде JupyterLab [8] было разработано программное обеспечение, реализующее расчет интегральных значений колориметрических характеристик через пространственно-усредненные координаты цвета и расчет интегральных значений колориметрических характеристик через пространственно-усредненный спектр.



Рис. 1. Внешний вид осветительного прибора

### Результаты

В ходе обработки данных, полученных в результате измерения испытуемого образца, была получена кривая силы света (КСС), приведенная на рис. 2.

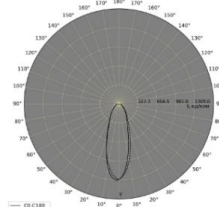


Рис. 2. КСС исследуемого светодиодного светильника

На рис. 3 изображено пространственное распределение КЦТ исследуемого образца, где  $\theta$  – углы в вертикальной плоскости,



$\varphi$  – в горизонтальной. Угловая цветовая однородность для данного светильника составила  $\Delta_{u',v'} = 0,016$ .

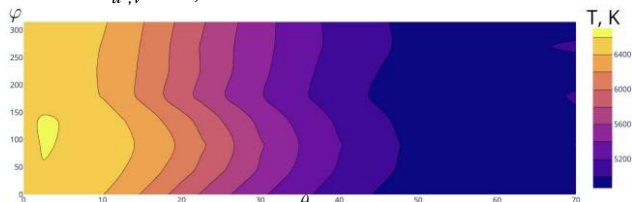


Рис. 3. Пространственное распределение КЦТ исследуемого образца

В таблице 1 представлена зависимость расчетных значений КЦТ от шага измерений в вертикальной плоскости.

Таблица 1. Зависимость расчетных значений КЦТ от шага измерений в вертикальной плоскости. Диапазон углов  $\theta$  от  $0^\circ$  до  $70^\circ$

	$\Delta\theta = 2,5^\circ$	$\Delta\theta = 5^\circ$	$\Delta\theta = 10^\circ$
КЦТ	5567	5558	5533
Разброс данных, %	0	0,16	0,61

В таблице 2 представлена зависимость расчетных КЦТ от диапазона измерений в вертикальной плоскости.

Таблица 2. Зависимость расчетных значений КЦТ от диапазона измерений в вертикальной плоскости

	КЦТ, К	Разброс данных, %
$\theta \in (0^\circ, 70^\circ)$	5567	0,00
$\theta \in (0^\circ, 65^\circ)$	5590	0,41
$\theta \in (0^\circ, 60^\circ)$	5621	0,97
$\theta \in (0^\circ, 55^\circ)$	5662	1,70
$\theta \in (0^\circ, 50^\circ)$	5717	2,70
$\theta \in (0^\circ, 45^\circ)$	5786	3,90
$\theta \in (0^\circ, 40^\circ)$	5870	5,40
$\theta \in (0^\circ, 35^\circ)$	5965	7,10
$\theta \in (0^\circ, 30^\circ)$	6070	9,00
$\theta \in (0^\circ, 25^\circ)$	6181	11,00
$\theta \in (0^\circ, 20^\circ)$	6295	13,10
$\theta \in (0^\circ, 15^\circ)$	6405	15,10
$\theta \in (0^\circ, 10^\circ)$	6499	16,70

На рис. 4 изображено пространственное распределение КЦТ светильника со снятыми линзами. Угловая цветовая однородность для данного светильника составила  $\Delta_{u',v'} = 0,027$ .

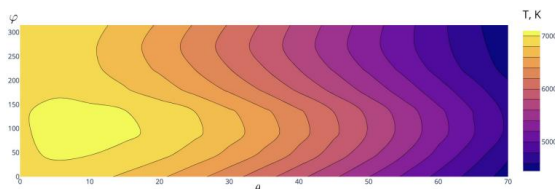


Рис. 4. Пространственное распределение КЦТ исследуемого образца со снятыми линзами

В таблице 3 представлена зависимость расчетных значений КЦТ от шага измерений в вертикальной плоскости.

Таблица 3. Зависимость расчетных значений КЦТ от шага измерений в вертикальной плоскости. Диапазон углов  $\theta$  от  $0^\circ$  до  $70^\circ$

	$\Delta\theta = 5^\circ$	$\Delta\theta = 10^\circ$
КЦТ	5712	5662
Разброс данных, %	0	0,19

В таблице 4 представлена зависимость расчетных КЦТ от диапазона измерений в вертикальной плоскости.

Таблица 4. Зависимость расчетных значений КЦТ от диапазона измерений в вертикальной плоскости

	КЦТ, К	Разброс данных, %
$\theta \in (0^\circ, 70^\circ)$	5712	0,0
$\theta \in (0^\circ, 65^\circ)$	5813	1,8
$\theta \in (0^\circ, 60^\circ)$	5927	3,8
$\theta \in (0^\circ, 55^\circ)$	6047	5,9
$\theta \in (0^\circ, 50^\circ)$	6172	8,1
$\theta \in (0^\circ, 45^\circ)$	6297	10,2
$\theta \in (0^\circ, 40^\circ)$	6420	12,4
$\theta \in (0^\circ, 35^\circ)$	6537	14,4
$\theta \in (0^\circ, 30^\circ)$	6645	16,3
$\theta \in (0^\circ, 25^\circ)$	6743	18,0
$\theta \in (0^\circ, 20^\circ)$	6828	19,5
$\theta \in (0^\circ, 15^\circ)$	6898	20,8
$\theta \in (0^\circ, 10^\circ)$	6952	21,7

### Обсуждение

Обращаясь к стандарту ГОСТ Р 8.971–2019 можно заметить, что координаты цветности измеряют с использованием комплексов гониометр-колориметр или гониометр-спектрорадиометр с интервалом вертикального угла не более  $10^\circ$  (рекомендуется  $2,5^\circ$ ) [2], что согласуется с результатами проводимого эксперимента.

### Выводы

Анализируя зависимость расчетных значений КЦТ от шага измерений в вертикальной плоскости (см. таблицы 1, 3) можно сделать следующий вывод. Шаг измерений в вертикальной плоскости  $\Delta\theta = 10^\circ$  приводит к различию расчета, не превышающему 1% по отношению к сетке измерений с шагом  $\Delta\theta = 2,5^\circ$ . Поэтому для практических измерений шаг  $\Delta\theta = 10^\circ$  достаточен. Гораздо важнее для расчета интегральных значений колориметрических характеристик диапазон углов в вертикальной плоскости. Чем больше сетка измерений покрывает фотометрическое тело, тем достовернее результаты расчета интегральных значений колориметрических величин. Стоит также отметить, что установленная оптика может менять КЦТ. Это стоит

учитывать при разработке светильника. Так, например, в исследуемом образце использовались светодиоды GW PUSTA 1.CM-5700 К производства фирмы Osram, в технической документации которых указано, что КЦТ данных светодиодов составляет 5700 К. Расчет интегрального значения КЦТ для рассматриваемого светильника со снятой оптикой привел к значению 5712 К, что соответствует информации приведенной в технической документации на светодиод, а с оптикой привел к значению 5567 К. Таким образом, оптика уменьшила КЦТ на 145 К, т. е. на 2,5%.

### Список литературы

1. ГОСТ 34819-2021. Приборы осветительные. Светотехнические требования и методы испытаний. Введен 2022-01-20. – Москва: Стандартинформ, 2022. – 58 с.
2. ГОСТ Р 8.971-2019 Лампы, светильники и модули светодиодные. Методы измерения фотометрических и колориметрических характеристик. Введен 2020-04-01. – Москва: Стандартинформ, 2019. – 18 с.
3. ГОСТ Р 55703-2013. Источники света электрические. Методы измерений спектральных и цветовых характеристик. Введен 2014-07-01. – Москва: Стандартинформ, 2015. – 53 с.
4. Железникова О. Е., Прытков С. В., Вилков Е. А. К вопросу выбора оптимального метода расчёта коррелированной цветовой температуры // Автоматизация. Современные Технологии. 2018. № 1 (72). С. 32–36.
5. Железникова О. Е., Прытков С. В., Кокинов А. М. Оценка методов расчёта коррелированной цветовой температуры // Естественные и технические науки. 2017. № 8. С. 80–86.
6. CIE 63 The Spectroradiometric Measurement of Light Sources (E) The International Commission on Illumination (CIE), 1984. 63 с.
7. IESNA Computer Committee Approved Method: Electrical and Photometric Measurements of Solid-State Lighting Products / IESNA Computer Committee, New York: Illuminating Engineering Society of North America, 2008.
8. Johansson R. Numerical python: A practical techniques approach for industry / R. Johansson, New York: Apress, 2015. 503 с.
9. Pрыtkov S. V., Kolyadin M. V. Error estimation for the methods of correlated colour temperature calculation // Light and Engineering. 2021. № 3 (29). С. 70–77.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЦВЕТОПЕРЕДАЧИ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ С РЕГУЛИРУЕМЫМ СПЕКТРОМ

*Гудемчук В.А., магистр, кафедра Светотехники «НИУ МЭИ»,  
г. Москва*

*Научный руководитель - Фомин А.Г., к.т.н., доцент,  
«НИУ МЭИ», г. Москва*

## COLOR RENDERING STUDY OF A LIGHTING SYSTEM WITH AN ADJUSTABLE SPECTRUM

*Victoria A. Gudemchuk, M.Sc.; Alexander G. Fomin, Ph.D. of  
engineering sciences*

*National Research University MPEI, Moscow, Russia*

### **Аннотация**

Статья посвящена исследованию цветопередачи светодиодного источника света с регулируемым спектром, с целью выявления наилучших спектральных составов для освещения овощей и фруктов в супермаркетах. В статье приведены результаты расчета индексов цветопередачи МКО CRI, CQS, TM-30-15, MCRI, анализ зависимостей данных индексов цветопередачи от коррелированной цветовой температуры для различных спектров излучений, воспроизводимых светильником. В работе особое внимание уделяется индексу цветопередачи MCRI, так как в данной методике для оценки цветопередачи используются реальные образцы, которые можно встретить в овощных и фруктовых отделах магазинов. Также было проведено исследование влияния на субъективно воспринимаемую цветопередачу отклонения координат цветности источника белого света от линии абсолютно чёрного тела для нескольких видов спектральных составов и коррелированных цветовых температур. Дополнительно приводятся результаты эксперимента, в котором наблюдатели оценивали естественность и привлекательность выбранных образцов при освещении их различными спектральными составами. На основании проведённого исследования выработаны рекомендации по наилучшим вариантам спектров для освещения различных видов свежих продуктов в супермаркетах.

### **Abstract**

*The article is devoted to the study of variable spectrum LED lamp color rendering, in order to identify the best spectral compositions for lighting of vegetables and fruits in supermarkets. The article presents the results of calculating the color rendering indices CRI, CQS, TM-30-15, MCRI, analysis of the dependences of these color rendering indices on the correlated color temperature for various emission spectra reproduced by the lamp. The work pays special attention to the MCRI color rendering index, since this method*

*uses real samples that can be found in vegetable and fruit departments of stores to evaluate color rendering. A study was also conducted of the influence on subjectively perceived color rendition of the deviation of the chromaticity coordinates of a white light source from the line of an absolutely black body for several types of spectral compositions and correlated color temperatures. Additionally, the results of an experiment are presented in which observers assessed the naturalness and attractiveness of selected samples when illuminated with different spectral compositions. Based on the conducted research, recommendations were made on the best spectral options for illuminating various types of fresh products in supermarkets.*

**Ключевые слова:** светильник с регулируемым спектром, цветопередача, освещение овощей и фруктов, субъективная оценка цветопередачи

**Keywords:** adjustable spectrum lamp, color rendering, vegetable and fruit lighting, subjective color rendering evaluation

### **Введение**

При подборе светового оборудования для супермаркетов чаще всего используют колориметрическую оценку цветопередачи, например, индекс CRI. Однако, если речь идет о выгодной подаче товара, о представлении его наилучших цветовых качеств, что относится к овощам и фруктам, то правильнее оценивать цветопередачу субъективно. Для таких задач эталоном уже является личное представление человека о правильных цветах определенного товара и подбор спектра становится не таким однозначным. Следовательно, имеется необходимость выявить наилучшие спектральные составы на основании различных метрик, сравнить результаты и сделать выводы.

Метрика МКО CRI имеет множество недостатков, среди которых: ненасыщенность образцов, зависимость вида эталонного источника от цветовой температуры, небольшое количество оцениваемых цветовых образцов и т.д. [1]. Поэтому был разработан целый ряд альтернативных метрик, таких как CQS и TM-30-15. В настоящее время существует ряд метрик, основанных на субъективной оценке: индекс предпочитаемого цвета Сандерса  $R_p$ , индекс приукрашивания Джадда  $R_f$ , индекс предпочтений Торнтонна CPI и индекс Смита MCRI. Исследования Лёвенского университета показывают, что с условиями наилучшего восприятия сильнее всего коррелирует индекс Смита  $R_m$ . Индекс Сандерса показал очень плохую эффективность с точки зрения визуального эффекта, индексы Джадда и Торнтонна показали более хорошие результаты, но хуже, чем индекс Смита. [2]

### Метод исследования

Для проведения исследований нами была разработана и изготовлена специальная установка, которая представляет собой светильник, содержащий 36 светодиодов мощностью 1 ватт, объединённых в группы следующих цветов: фиолетового V 395 нм (3 шт), синего B2 420 нм (3 шт), синего B1 445 нм (3 шт), изумрудно-зеленого G1 520 нм (3 шт), жёлто-зеленого G2 555 нм (3 шт.), желтого Y 600 нм (3 шт.), оранжево-красного R1 620 нм (3 шт.), красного R2 660 нм (3 шт.), тепло-белого 3000K/CRI 95 (6 шт.), холодно-белого 7000K/CRI95 (6 шт.). Внешний вид установки представлен на рисунке 1.



Рис. 1 – Внешний вид лампы, используемой для эксперимента с наблюдателями

Каждая из групп имела возможность независимой 255-ступенчатой настройки светового потока в пределах от 0,1 до 100% максимального, обеспечиваемую цифровым блоком питания и управления. Регулирование производилось по технологии ШИМ, что практически исключало возможность сдвига цветности СД при изменении их светового потока. Из групп светодиодов было составлено 17 сочетаний: R1G1B1, R1G2B1, R1G1B2, R1G2B2, R2G1B1, R2G2B1, R2G1B2, R2G2B2, YG1B1, YG2B1, YG1B2, YG2B2, «динамический белый» («tunable white», только тёпло-белые + холодно-белые СД), «белый 4000 К» + R1G1B1, «белый 4000 К» + R1G2B2, «белый 4000 К» + R2G1B1, «белый 4000 К» + R2G2B1.



Для 8 коррелированных цветовых температур (КЦТ) – 2200, 2700, 3000, 3500, 4000, 5000, 6500, 8800К – полученных с помощью приведенных выше цветовых сочетаний, измерялась спектральная энергетическая плотность излучения, на основе которой рассчитывались все индексы цветопередачи.

В работе были рассчитаны индексы цветопередачи: МКО CRI, TM-30-15, CQS, MCRI. По результатам расчётов были построены графики зависимостей индексов цветопередачи от цветовой температуры, с целью выявления спектров, представляющих наибольший интерес для условий витринного освещения. По результатам данного анализа было также проведено дополнительное исследование влияния на цветопередачу параметра  $\Delta uv$  для наилучших вариантов спектрального состава.

Для того, чтобы понять, насколько метрика MCRI применима для задачи освещения овощей и фруктов в супермаркете, нами был проведен эксперимент, в котором участвовало 9 наблюдателей с нормальным цветовым зрением. Для оценки цветопередачи использовалось 6 реальных образцов из эксперимента Смета, удовлетворяющих теме работы (банан, апельсин, цветная капуста, лаванда, яблоко, огурец). Наблюдатели оценивали образцы по пятибалльной шкале отдельно друг от друга по параметрам: «привлекательность» и «естественность».

### **Результаты**

При объективной оценке цветопередачи (метрика МКО CRI) наилучшие результаты были достигнуты с использованием технологии Белый (Tunable white), Белый 4000К+R1G2B2 и Белый 4000К+R2G1B1. Однако субъективная оценка показывает, что получение белого света по технологии YGB/RGB также может оказаться целесообразным.

В качестве критерия целесообразности того или иного спектрального состава излучения нами было принято условие  $MCRI > 90$ ,  $CRI > 80$ , обеспечивающее как высокую субъективную, так и достаточную объективную оценку цветопередачи. Этому условию удовлетворяют спектральные составы типа Белый (Tunable white) при КЦТ выше 3500К, Белый 4000К+R1G2B2 при КЦТ от 2200К до 3500К, Белый 4000К+R12G1B1 при КЦТ от 5000К до 8800К, а также YG1B1 выше 4000К.

С помощью расчета частных индексов Смета  $R_m$  были выявлены наилучшие спектральные составы для отдельных продуктов питания. Наименее требовательным к спектру освещения оказались образцы «нарезанный огурец» и «цветная капуста», а образец «лаванда», напротив, показал хорошие результаты только при высоких КЦТ. Причем для образца «Лаванда» спектр Белый (Tunable white) не является эффективным. Из расчетов также следует, что спектральный состав типа

Белый 4000K+R2G1B1 оказался подходящим для большинства выбранных образцов, кроме зеленого яблока и лаванды.

Исследование расстояния  $\Delta uv$  от линии абсолютно чёрного тела для нескольких видов спектральных составов и КЦТ показало, что изменение  $\Delta uv$  в отрицательную область (в сторону пурпурных цветов), как правило, увеличивает значение субъективной оценки цветопередачи, в то время как объективная оценка (CRI) падает при любом отклонении от линии абсолютно чёрного тела.

В рамках данной работы также был поставлен натуральный эксперимент по субъективной оценке цветопередачи, с использованием 6 образцов, аналогичных применённым в метрике MCRI [3]. В эксперименте была обнаружена корреляция между привлекательностью и частными индексами Смита, однако между естественностью и частными индексами Смита корреляция не обнаружена. Для образца «Лаванда» наблюдался рост индекса  $S_i$  и оценок наблюдателей при увеличении КЦТ для всех исследуемых спектров. Для образца «Нарезанный огурец» оценки и индексы Смита высокие для всех спектров, кроме спектра R1G1B2, что может быть связано с неоднородностью цветности объектов при освещении спектром. Для остальных образцов и спектральных составов зависимости более сложные, но наблюдается корреляция частных индексов Смита и оценок наблюдателей.

### **Обсуждение**

Ранее близкая тема была рассмотрена в работе [4], посвящённой субъективной оценке цветопередачи источников белого света, работающих на разных физических принципах. Приведённые результаты эксперимента подтверждают, что решающее влияние на значение  $R_m$  оказывают тип спектра источника света и параметр  $\Delta uv$ . Именно эти параметры и были подробно исследованы в работе. Также в [4] было выявлено, что в освещении общего назначения необязательно использовать источник света с высоким индексом цветопередачи  $R_a$  (либо  $R_f$ , согласно TM-30-15). Эти результаты также подтверждаются нашим экспериментом, так как не всегда наилучшие результаты были получены при высоких данных индексах.

Во многих источниках, в том числе и в [5], часто приводятся наилучшие КЦТ для освещения продуктовых магазинов.

Полученные нами результаты эксперимента показали, что для каждого типа спектра нельзя однозначно выбрать наиболее подходящую КЦТ для конкретного товара.

## Выводы

Полученные результаты позволяют прийти к следующему заключению:

— С точки зрения «привлекательности» и одновременно «естественности» наилучшие результаты показывают спектральные составы Белый (Tunable white), Белый 4000K +R1G2B2, Белый 4000K+R12G1B1 и YG1B1.

— Практически все исследуемые нами спектральные составы подходили для освещения образца «нарезанный огурец» и «цветная капуста». Следовательно, для похожих по цвету объектов, таких как зелень, авокадо и брокколи результаты можно считать аналогичными.

— Для оранжевых объектов, таких как апельсин, морковь, мандарин и так далее, хорошо себя показывали спектры типа Белый 4000K + цветные светодиоды при КЦТ ниже 3500К.

— Для зеленых объектов, таких как яблоко, виноград или перец, спектр Tunable white наименее эффективен, а хорошие результаты показали спектры YG2B2 и R1G2B2 при любых КЦТ.

— Изменение  $\Delta uv$  в отрицательную область (в сторону пурпурных цветов), как правило, увеличивает значение индексов субъективной оценки цветопередачи, в то время как объективная оценка (CRI) падает при любом отклонении от линии абсолютно чёрного тела.

— Проведенный эксперимент на натуральных образцах с наблюдателями показал, что частные индексы Смита дают достаточно верную оценку привлекательности, но не естественности натуральных образцов.

## Список литературы

1. *W. Davis, Y. Ohno*, Color rendering of Light Sources [Электронный ресурс]: National Institute of Standards and Technology U.S. Department of Commerce, December 5, 2019.

2. *Smet K., Boissard S.J., Ryckaert W.R., Deconinck G., Hanselaer P.* Validation of a colour rendering index based on memory colours, [Электронный ресурс]: <https://studylib.net> (дата обращения 03.12.2023)

3. *Smet K., Hanselaer P.* Memory and preferred colours and the colour rendition of white light sources/ Lighting Research & Technology, 2015, pp. 1-19.

4. *Есикова А.Д., Фомин А.Г.* Исследование субъективной оценки цветопередачи источников белого света переменной цветности // Светотехника. – 2022. – №1 . – С. 44-48.

5. *Беспалова Е.* Правильно выбранное торговое освещение - залог успешных продаж / Е. Беспалова // Современная светотехника. – 2022. – № 5-6(79-80). – С. 32-36. – EDN EBHPYA.

# МОБИЛЬНЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ОСВЕЩЁННОСТИ ПОКРЫТИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И УЛИЦ

*Даренских В.А.<sup>1</sup>, Туркин А.Н.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>*ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»,*

<sup>2</sup>*Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва*

## A MOBILE METHOD FOR MEASURING THE ILLUMINANCE OF THE PAVEMENT OF HIGHWAYS AND STREETS

*Darenskikh V.A.<sup>1</sup>, student; Turkin A.N.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>*NRU "MPEI", <sup>2</sup>Lomonosov Moscow State University, Moscow*

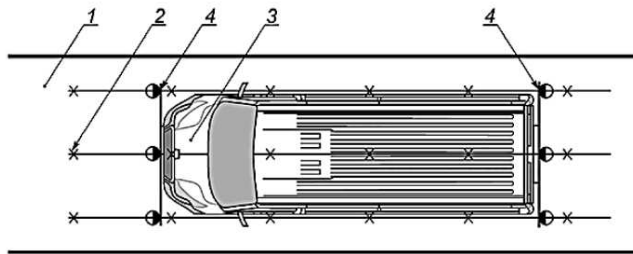
### **Аннотация**

В данной статье будет идти речь о мобильном методе измерения освещённости покрытия автомобильных дорог и улиц, а именно о сравнении схем измерения освещённости дорожного покрытия по двум и по трём точкам в поперечном направлении для одной полосы движения. К идее проведения исследования подтолкнуло несоответствие существующей схемы измерения, используемой мобильной светотехнической лабораторией ВНИСИ, действующим стандартам. Согласно им, измерения требуется проводить по трём точкам в поперечном направлении для одной полосы движения, но мобильная лаборатория оснащена только двумя парами датчиков, то есть измерения осуществляются по двум точкам. Исследование направлено на выявление допустимости применения схемы измерения освещённости по двум точкам в поперечном направлении для одной полосы движения в мобильном методе измерения. Для сопоставления двух схем измерения проведён теоретический расчёт, а также натурные измерения, которые осуществлялись в два этапа: измерения стационарным методом по схемам с двумя и с тремя точками и измерения мобильным методом. В статье приведены результаты теоретического и экспериментального сравнения двух схем измерения освещённости.

### **Abstract**

*In this article we will talk about a mobile method for measuring the illuminance of the pavement of highways and streets, namely, comparing the schemes for measuring illuminance at two and three points in the transverse direction for one lane. The idea of conducting the study was prompted by the discrepancy between the existing measurement scheme used by the VNISI mobile laboratory and the current standards. According to them, measurements must be carried out at three points in the transverse direction for one lane, but the mobile laboratory is equipped with only two pairs of sensors, that is, measurements are carried out at two points. The study is*

aimed at identifying the feasibility of using a scheme for measuring illuminance at two points in the transverse direction for one lane in a mobile measurement method. To compare the two measurement schemes, a theoretical calculation was carried out, as well as full-scale measurements, which were carried out in two stages: measurements by the stationary method using schemes with two and three points and measurements by the mobile method. The article presents the results of a theoretical and experimental comparison of two illuminance measurement schemes.



контрольный участок; 2 - точка измерения; 3 - транспортное средство; 4 - датчики освещенности, образующие пару

Рис. 1. Схема установки датчиков освещенности на транспортное средство [4]

**Ключевые слова:** освещение наружное утилитарное, освещённость, равномерность освещённости, мобильный метод измерения, стационарный метод измерения, схема измерения.

**Keywords:** *Outdoor utilitarian lighting, illuminance, illuminance uniformity, mobile measurement method, stationary measurement method, measurement scheme.*

## Введение

Утилитарное наружное освещение играет важную роль в обеспечении безопасности передвижения транспортных средств и пешеходов. Основными параметрами, характеризующими качество дорожного освещения, являются яркость и освещённость дорожного покрытия. Они изменяются со временем под влиянием снижения светового потока светильников и износа дорожного покрытия, а также зависят от метеорологических условий. Поэтому важно проводить периодический контроль и проверку соответствия их действующим нормативно-техническим документам для поддержания нормативного качества освещения и сохранения требуемого уровня безопасности. В статье [2] авторы показывают, что преимущества применения мобильного метода измерений над стационарным заключаются в отсутствии таких трудностей, как большие временные затраты и необходимость привлечения дополнительного персонала и дорожных

служб для перекрытия участка дороги, на котором проводятся измерения. Первая в России мобильная лаборатория была создана ООО “ВНИСИ” совместно с ГУП “Моссвет” в 2006 г., введена в эксплуатацию в 2007 г. [3]. В настоящее время всё чаще применяется мобильный метод измерения яркости и освещённости дорожного покрытия, поэтому тема исследования является актуальной.

В “Справочной книге по светотехнике” [3] сказано, что расхождение результатов расчётов и сравнительных натурных измерений средней освещённости для схем с тремя и двумя рядами расположения точек измерения при прочих равных условиях не превышает 1 %, а равномерность освещённости – 4-5 %. Наше исследование будет направлено на подтверждение или опровержение этих данных.

### Метод исследования

Для проведения измерений и моделирования установки для выполнения расчётов в качестве релевантного и, соответственно, контрольного участка был выбран участок дороги по адресу г. Москва, 1-й Рижский переулок между опорами №17 и № 18 (Рис. 2) протяжённостью 33,3 метра. Все необходимые данные для моделирования участка и проведения расчётов были получены в ГУП “Моссвет”.

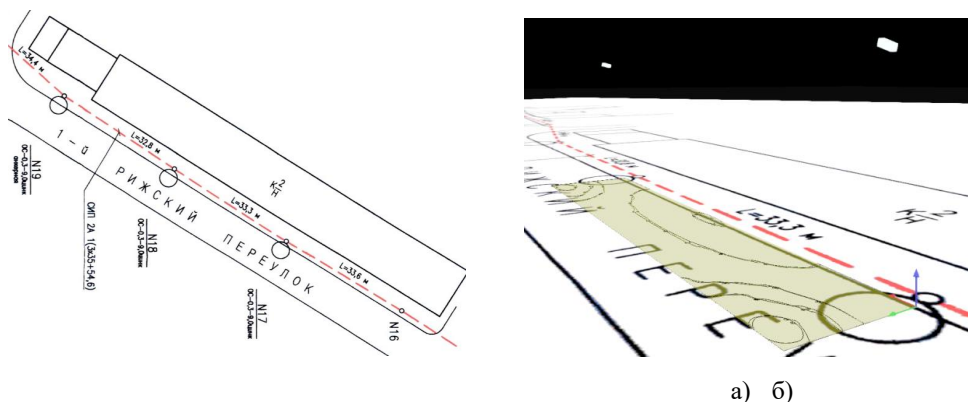


Рис. 2. План участка (а), модель участка (б)

Расчёты были проведены в программе DIALux в двух расчётных плоскостях. По результатам расчёта средняя освещённость в первой плоскости (по двум точкам в поперечном направлении для одной полосы движения) составила  $E_1=14,2$  лк. Во второй плоскости (по трём точкам)  $E_2=14,2$  лк – расхождение отсутствует. Равномерность освещённости в первой плоскости  $U_{h1}=0,33$ , во второй  $U_{h2}=0,34$ . Расхождение результатов



в процентном соотношении по отношению к значению, полученному для первой плоскости, составляют 3,33 %.

$$\frac{U_{n2} - U_{n1}}{U_{n1}} \cdot 100\% = \frac{0,34 - 0,33}{0,33} \cdot 100\% = 3,33\%$$

Теоретический расчёт полностью подтвердил гипотезу исследования.

Натурные измерения проводились в ночное время, когда почти полностью отсутствует естественное освещение и плотность потока транспортных средств минимальна (Рис. 3). Сетка измерений была размечена согласно ГОСТ 34919 [1] (Рис. 1), сетка измерений для проведения измерений по схеме с двумя точками в поперечном направлении для одной полосы движения была размечена так, чтобы имитировать расположение датчиков освещённости мобильной лаборатории. Расстояние между датчиками – 1,325 м. Для сравнения результатов, полученных мобильным и стационарным методом, были использованы значения освещённости в одних и тех же точках измерения.



Рис. 3. Проведение измерений стационарным методом

Измерения и расчёт параметров освещённости осуществлялись согласно ГОСТ 34920 [4]. По результатам стационарных измерений средняя освещённость, полученная по схеме с двумя точками в поперечном направлении для одной полосы движения, составила  $E_1=10,7$  лк, по схеме с тремя точками –  $E_2=10,7$  лк. Значения средней освещённости совпадают. Равномерность освещённости в первом случае  $U_{h1}=0,33$ , во второй  $U_{h2}=0,31$ . Расхождение результатов равномерности освещённости в процентном соотношении по отношению к значению, полученному для схемы с тремя точками, составляет 6,45 %.

Были проведены дополнительные измерения в тех же точках сетки на высоте 0,27 над уровнем дорожного покрытия для имитации расположения датчиков мобильной лаборатории и оценки влияния изменения высоты на результаты измерения. Средняя освещённость, полученная по схеме с двумя точками в поперечном направлении для одной полосы движения, составила  $E_1=10,8$  лк, по схеме с тремя точками –  $E_2=10,7$  лк. Расхождение результатов средней освещённости в процентном соотношении по отношению к значению, полученному для схемы с тремя точками, составляет 0,93 %. Отличие не превышает погрешность измерения люксметра в 6 %, что говорит о совпадении результатов в пределах погрешности измерительного прибора. Равномерность освещённости в первом случае  $U_{h1}=0,35$ , во второй  $U_{h2}=0,33$ . Расхождение результатов равномерности освещённости в процентном соотношении по отношению к значению, полученному для схемы с тремя точками, составляет 6,66 %. Влияние изменения высоты на результаты измерения незначительно.

Так как во время измерений использовались одни и те же осветительные приборы (ОП) и измерения проводились в одних и тех же условиях, и для эксперимента важны не абсолютные значения освещённости, а отличия значений, полученных по двум схемам, то погрешность, вносимую ОП, можно не учитывать.

### **Результаты**

Результаты теоретического расчёта показывают, что средние значения освещённости, полученные для схем с двумя и с тремя точками в поперечном ряду расчётной сетки, совпадают (с точностью до десятых долей люкса). Расхождение значений равномерности освещённости не превышает 5%. Таким образом, теоретический расчёт подтверждает гипотезу исследования.

Сравнение стационарных измерений, осуществлённых по схемам с двумя и с тремя точками в поперечном направлении для одной полосы движения, показывает, что расхождение значений средней освещённости составляет менее 1 %, что лежит в пределах погрешности измерений, а расхождение значений равномерности освещённости не превышает 7%.

Общая относительная погрешность измерений освещённости мобильным методом не превосходит 10 %. Среднее значение освещённости, рассчитанное по данным, которые получены мобильным методом по двум точкам расчётной сетки в поперечном направлении для одной полосы движения, отличается от среднего значения освещённости, рассчитанного по данным, которые получены стационарным методом по трём точкам, не более, чем на 7 %. Таким образом, расхождение результатов лежит в пределах погрешности. Отличия равномерности освещённости составляют около 20 %.

$$\frac{U_{h\_моб} - U_{h\_ст}}{U_{h\_ст}} \cdot 100\% = \frac{0,53 - 0,44}{0,44} \cdot 100\% = 20,45\%$$

Итак, проведено теоретическое и экспериментальное сравнение схем измерения освещённости дорожного покрытия по двум и по трём точкам в поперечном направлении для одной полосы движения. Гипотеза полностью подтверждена теоретическим расчётом, а результаты эксперимента подтверждают её только в части средней освещённости. Расхождение значений равномерности освещённости в большей степени вызвано расхождением значений минимальной освещённости, что может говорить о том, что погрешность измерений датчиков освещённости мобильной лаборатории увеличивается при уменьшении значения входного сигнала, то есть имеет мультипликативный характер.

Результаты мобильного и стационарного методов сравнивались по данным для одной полосы движения (дальняя от опор), полученным на высоте 0,27 м над дорожным покрытием, значения обобщены в Таблице 1.

Таблица 1 – Результаты натуральных измерений для дальней от опор полосы движения

Параметр	Мобильный метод	Стационарный метод по 2 точкам	Стационарный метод по 3 точкам
Минимальная освещённость, лк	7,3	6,5	5,7
Средняя освещённость, лк	13,9	13,0	13,0
Равномерность освещённости	0,53	0,5	0,44

## Обсуждение

Для обеспечения требований равномерности яркости и освещённости, а также для максимального увеличения расстояний между светильниками и сокращения их количества, в утилитарном наружном освещении используются светильники с широкими (типа Ш), и реже – с полуширокими КСС (типа Л) [5]. Результаты нашего исследования следует распространять на дороги, аналогичные участку, на котором проводились измерения, то есть прямолинейным и со светильниками, имеющими КСС типа Ш или Л, в других случаях равномерность освещённости и средняя освещённость, полученные с использованием разных схем измерения, могут отличаться сильнее и требуются дополнительные измерения для получения более общих выводов.

## Выводы

Результаты теоретического расчёта и натуральных измерений показывают, что схема измерения освещённости по двум точкам в поперечном направлении для одной полосы движения, используемая в мобильном методе измерения, допустима к применению на участках дороги, аналогичных исследуемому, то есть прямолинейных и которые освещаются светильниками с широкими или полуширокими КСС.

## Список литературы

1. ГОСТ 34919-2022 “Освещение наружное утилитарное. Методы расчёта нормируемых параметров”.
2. *Федорищев М.А., Черняк А.Ш., Коробко А.А.* Мобильная светотехническая лаборатория как современное средство измерения характеристик наружного освещения // Светотехника. Приложение 1. 2014. С. 67-68.
3. Справочная книга по светотехнике / Под. ред. Г.В. Бооса, Ю.Б. Айзенберга. – 4-е изд. перераб. и доп. – Москва, 2023. – 892 с.
4. ГОСТ 34920-2022 “Освещение наружное утилитарное. Методы измерения нормируемых параметров”.
5. *Варфоломеев Л.П.* Введение в светотехнику: Учебное пособие для высших учебных заведений / Л.П. Варфоломеев. – Москва, 2021. – 144 с.

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ СВЕТОДИОДОВ

*Ермолаев А.В., аспирант; Афонин К.Н., доцент;  
Иванов А.Н., инженер,  
ФГАОУ ВО «ТУСУР», г. Томск*

## DETERMINATING THERMAL CHARACTERISTICS OF LED POWER SUPPLIES

*Ermolaev A.V., postgraduate student;  
Afonin K.N., associate professor; A.N. Ivanov, engineer,  
"TUSUR," Tomsk*

### **Аннотация**

В работе представлены результаты исследования тепловых характеристик источников питания светодиодов. Рассмотрено изменение теплового режима при послойном удалении компаунда, залитого в корпус источника питания, до полного освобождения печатного узла. Тепловые испытания при повышенной температуре показали, что один из образцов источника питания является более устойчивым к тепловым нагрузкам, чем второй. К подобному результату приводит анализ нагрева электронных компонентов и распределения тепла в корпусе образцов. Замечено, что компаунд в первом образце обладает высокой адгезией к разным материалам (пластик, металл, лак, эмаль). Хорошо обволакивает элементы конструкции, что приводит к качественному тепловому контакту. Компаунд во втором образце имеет минеральное наполнение в результате чего обладает пониженной адгезией к элементам конструкции. Между элементами конструкции устройства питания и компаундом образуется воздушный зазор около 0,1 мм и более, что приводит к повышению теплового сопротивления и увеличивает перегрев электронных компонентов, залитых компаундом. Для повышения срока службы источников питания светодиодов следует относить подальше от теплонагруженных элементов электролитические конденсаторы. Это позволит работать последним при шадающем тепловом режиме и продлит срок службы источника питания. Трансформатор следует выбрать с большими габаритами, что позволит снизить перегрев обмоток и улучшит теплоотвод.

### **Abstract**

*The paper presents the results of a study of the thermal characteristics of LED power supplies. The change in thermal conditions during the layer-by-layer removal of the compound poured into the power supply housing until the printed circuit assembly is completely freed is considered. Thermal tests at elevated temperatures showed that one of the power supply samples is more resistant to thermal loads than the second. An analysis of the heating of*

*electronic components and heat distribution in the sample housing leads to a similar result. It was noticed that the compound in the first sample has high adhesion to various materials (plastic, metal, varnish, enamel). It envelops structural elements well, which leads to high-quality thermal contact. The compound in the second sample has a mineral filling and as a result has reduced adhesion to structural elements. An air gap of about 0.1 mm or more is formed between the structural elements of the power supply device and the compound, which leads to an increase in thermal resistance and increases overheating of electronic components filled with the compound. To increase the service life of LED power supplies, electrolytic capacitors should be kept away from heat-loaded elements. This will allow the latter to operate under gentle thermal conditions and will extend the life of the power source. The transformer should be selected with large dimensions, which will reduce overheating of the windings and improve heat dissipation.*

**Ключевые слова:** тепловые испытания, источники питания светодиодов, электрорадиоэлементы, надёжность.

**Keywords:** *thermal tests, LED power supplies, electronic components, reliability.*

### **Введение**

Выбор источника питания (ИП) имеет решающее значение для построения качественного светодиодного источника света. От ИП зависят потребительские качества светотехнического устройства, такие как мерцание света, стабильность светового потока, время работы.

Теоретически светодиоды способны работать до 200 тысяч часов [1, 2], однако ИП содержат в своей конструкции электролитические конденсаторы, срок службы которых составляет около 10 тысяч часов, а при их перегреве срок службы значительно снижается [3 – 5]. Из вышесказанного следует, что выбор ИП является важной задачей в процессе разработки и изготовления световых приборов.

Следовательно, становится актуальной задача исследования ИП. В частности, исследование их тепловых характеристик и зависящих от них параметров. В работе рассматриваются следующие характеристики:

- пульсации светового потока;
- напряжение и ток на светильнике;
- полная мощность на светильнике;
- коэффициент мощности.

Дополнительно проводится анализ расположения отдельных электрорадиоэлементов (ЭРЭ) на печатном узле (ПУ), с целью определения влияния тепла на их функциональные возможности.

## Метод исследования

В работе исследованы два источника питания, одинаковой мощности, от разных производителей. Мощность блоков питания 200 Вт. Выходное напряжение до 200 В. Максимальное напряжение на выходе до 286 В. Напряжение на входе 220-240 В, 50 Гц.

ИП предварительно извлекли из корпусов, которые одновременно являются радиаторами отводящими избыточное тепло в атмосферу от печатного узла. Печатные узлы залиты теплопроводным компаундом, что способствует равномерному распределению тепла по объёму корпуса и отводу его к корпусу-радиатору.

После извлечения источников питания из корпусов был срезан слой компаунда до верхней части высоких ЭРЭ. Затем, источники питания подключались в сеть по схеме, представленной на рис. 1. Нагрузкой для ИП светодиодная матрица с номинальным питающим напряжением 200 В, мощностью 200 Вт.

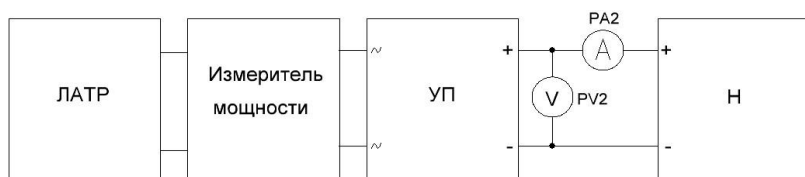


Рис. 1. Схема подключения объекта испытаний: ЛАТР – автотрансформатор лабораторный; измеритель мощности – измеритель мощности GPM-8212; УП – объект испытаний (устройство питания); Н – нагрузка; PV2 – вольтметр, PA2 – амперметр

ИП выдерживался 30 минут при номинальной мощности 200 Вт, до установления стационарного теплового режима. После истечения данного промежутка времени проводились замеры мощности, потребляемой от сети, коэффициента мощности, напряжения и тока на нагрузке, коэффициента пульсации светового потока. После замера вышеуказанных параметров производилась регистрация теплового поля при помощи тепловизора «Testo 876». Последующие слои компаунда срезались с одинаковой толщиной равной 3 мм. Данная последовательность действий повторялась до полного освобождения ПУ от компаунда.

Другой метод исследования основан на измерении электрических характеристик и коэффициента пульсации светового потока от температуры окружающей среды. Источники питания, не извлекая из корпусов, помещали в печь, где и производился их разогрев с шагом в 10 °С до отказа. Разогрев на каждые 10 °С проходил в течение 20 минут, после чего измерялись вышеуказанные характеристики. Тепловое поле в данном случае не измерялось.



## Результаты

После проведения исследований получены следующие результаты, представленные на рисунках 2 – 6.

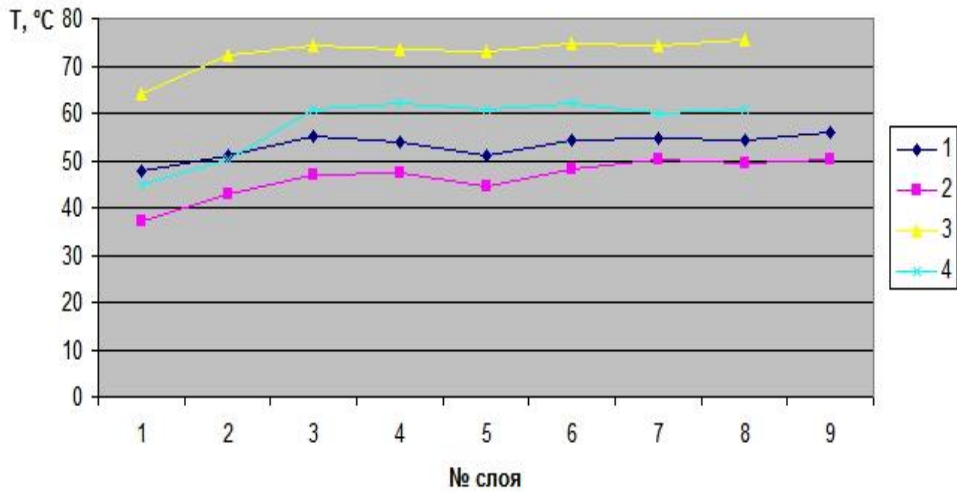


Рис. 2. Температура ЭРЭ: 1 – Температура трансформатора 1 ИП; 2 – Температура выходного конденсатора фильтра 1 ИП; 3 – Температура трансформатора 2 ИП; 4 – Температура выходного конденсатора фильтра 2 ИП

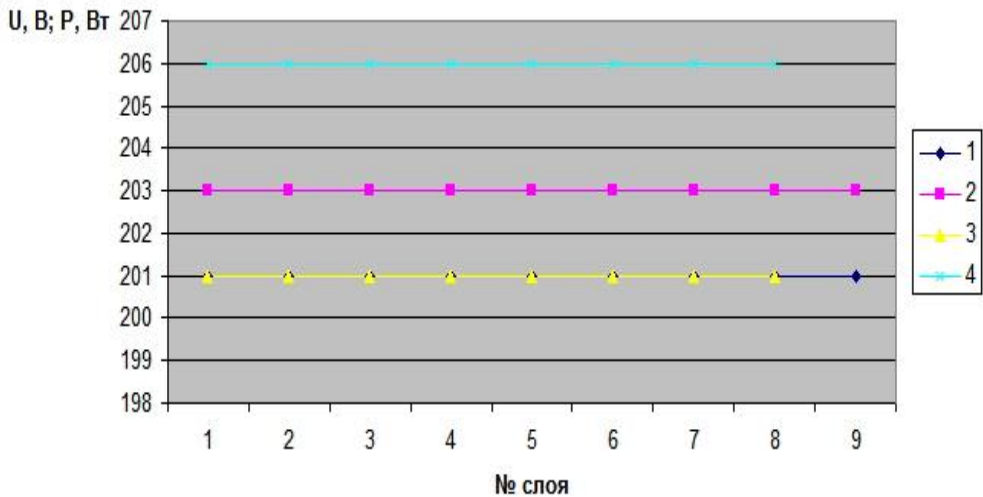


Рис. 3. Напряжение и мощность ИП: 1 – Напряжение 1 ИП; 2 – Мощность 1 ИП; 3 – Напряжение 2 ИП; 4 – Мощность 2 ИП

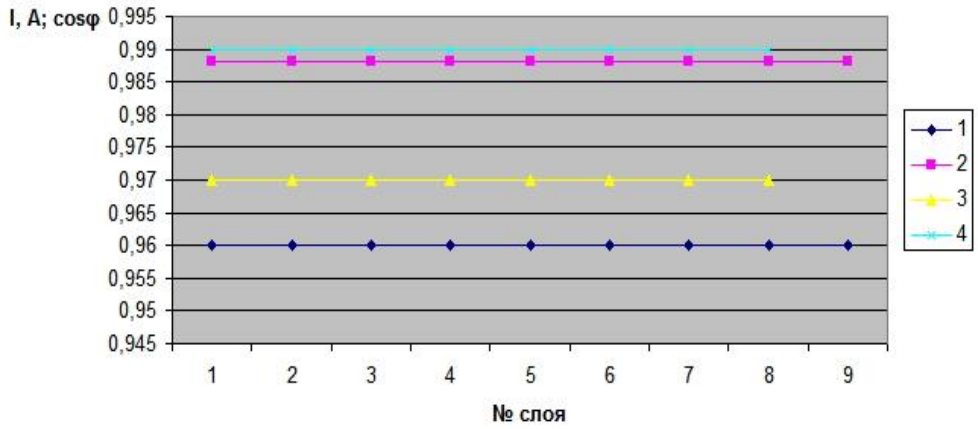


Рис. 4. Ток и коэффициент мощности: 1 – Ток 1 ИП; 2 – Коэффициент мощности 1 ИП; 3 – Ток 2 ИП; 4 – Коэффициент мощности 2 ИП

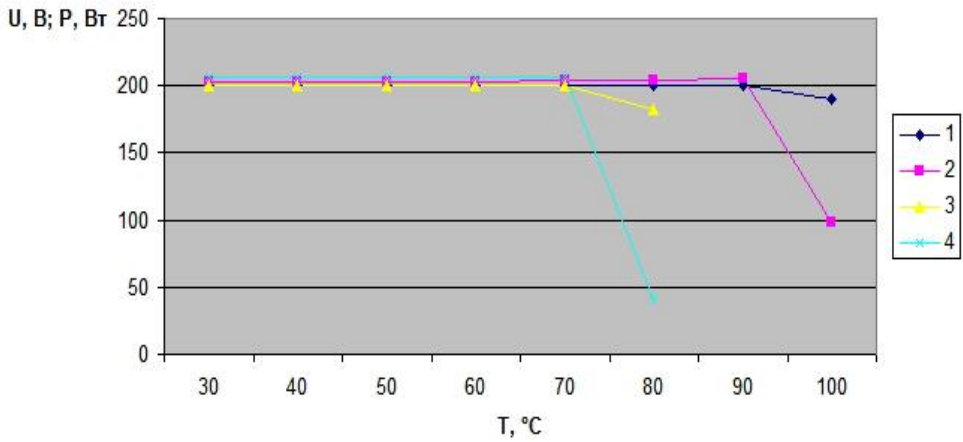


Рис. 5. Зависимость напряжения и мощности на нагрузке от температуры окружающей среды: 1 – Напряжение 1 ИП; 2 – Мощность 1 ИП; 3 – Напряжение 2 ИП; 4 – Мощность 2 ИП

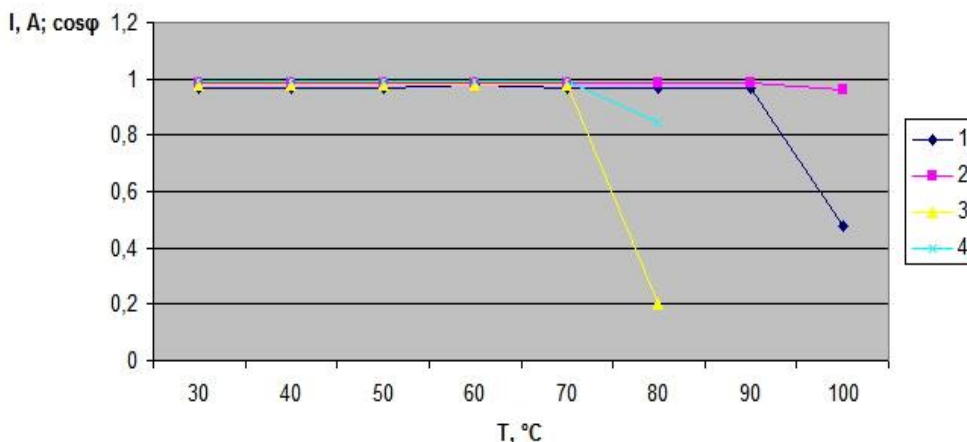


Рис. 6. Зависимость тока на нагрузке и коэффициента мощности от температуры окружающей среды: 1 – Ток 1 ИП; 2 – Коэффициент мощности 1 ИП; 3 – Ток 2 ИП; 4 – Коэффициент мощности 2 ИП

В качестве элементов для рассмотрения выбрали высокочастотный трансформатор и выходной фильтрующий электролитический конденсатор, так как эти элементы являются основными элементами от которых зависит качество тока и напряжения на нагрузке. Электролитический конденсатор считаем элементом с низкой надёжностью, так как они подвержены высыханию электролита или разгерметизации при перегреве и вскипании электролита в процессе эксплуатации, что приводит к отказу.

Из рис. 2 видно, что температура элементов растёт с постепенным удалением компаунда. Это объясняется тем, что ухудшается отвод тепла и его распределение от ЭРЭ. Компаунд позволяет выровнять тепловое поле путем распределения выделяемого тепла в объёме корпуса прибора.

В тоже время компаунд передаёт тепло одних ЭРЭ другим, подогревая последние. Электролитический выходной фильтрующий конденсатор испытывает из-за этого дополнительную тепловую нагрузку, что неблагоприятно сказывается на его работе.

Несмотря на то, что температура возрастает при удалении слоёв компаунда, можно видеть, что электрические параметры ИП остаются стабильными, что видно из графиков, представленных на рис. 3 и рис. 4. Данное обстоятельство свидетельствует о качественном выборе схемотехнических решений, способствующих стабильному поддержанию рабочих характеристик ИП.

Второй этап испытаний при повышенной температуре, графики которого представлены на рис. 5 и рис. 6 показал, что первый ИП имеет более высокую температуру, при которой он уходит в режим защиты по

перегреву. Второй ИП имеет температуру перехода в режим защиты на 20 °С меньше, чем первый. Установлено, что второй ИП имеет температуру ЭРЭ на 20 °С выше чем у первого, что может является причиной перехода в режим защиты при более низкой температуре, чем у первого ИП.

Пульсации светового потока при испытаниях оставались равными нулю, что свидетельствует о высокой стабильности параметров ИП при различной температуре ЭРЭ, которая зависит как от самостоятельного разогрева ЭРЭ в процессе работы ИП, так и от температуры окружающей среды.

**Обсуждение**

Исходя из полученных данных можно обратить внимание на следующие особенности. На рисунке 7а,б цифрами обозначены наиболее теплонагруженные элементы.

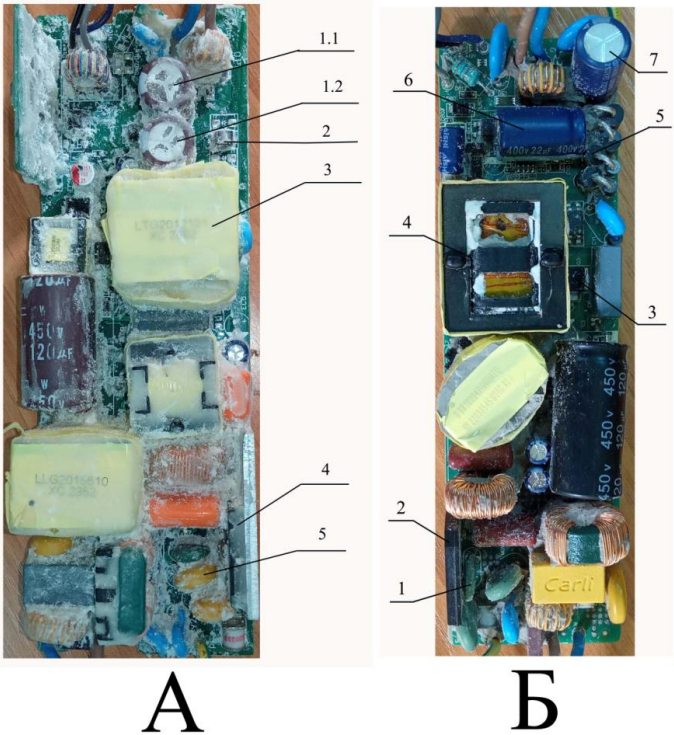


Рис. 7. Фотографии первого (А) и второго (Б) ИП

Согласно термограмме, представленной на рис. 8, электролитический конденсатор 1.2 имеет температуру 47°C, диоды 2 разогреты до 72,2°C, варистор 5 до 74,3°C. Трансформатор 3 разогревается самостоятельно и одновременно подогревается диодами 2 через компаунд, диодный мост 4 кроме выделения собственного тепла подогревается варистором 5 через компаунд. Дополнительно диодами 2 подогревается конденсатор 1.1. Конденсатор 1.1 имеет температуру 32 °C.

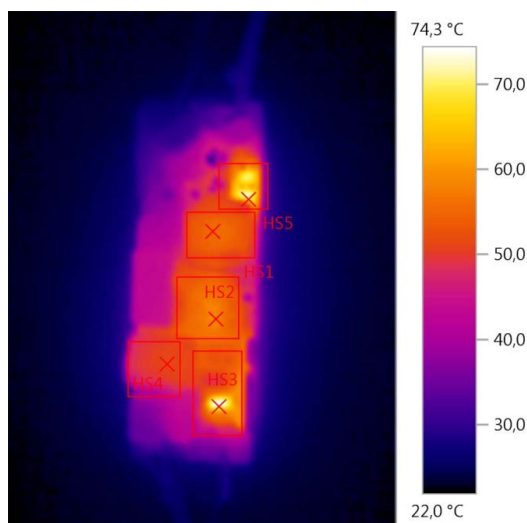


Рис. 8. Термограмма первого ИП с пятью ключевыми областями

Таблица 1 – Температуры ключевых областей к рис. 8

№	Температура, [°C]
HS1	55,8
HS2	58,5
HS3	74,3
HS4	51,4
HS5	72,2

Второй ИП обладает схожей компоновкой первому ИП. Согласно термограмме, представленной на рис. 9, элементы на рисунке 7б имеют нагрев выше, чем в первом ИП.

Электролитический конденсатор 6 имеет температуру 56,1°C, диоды 5 разогреты до 80,1°C, варистор 1 до 79,6°C. Трансформатор 4 разогревается самостоятельно и одновременно подогревается диодами 5

и транзистором 3 через компаунд, диодный мост 2 кроме выделения собственного тепла подогревается варистором 1. Так как они расположены близко друг к другу, то разогрев диодного моста 2 происходит и без наличия компаунда. Конденсатор 7 имеет температуру 25,4 °С.

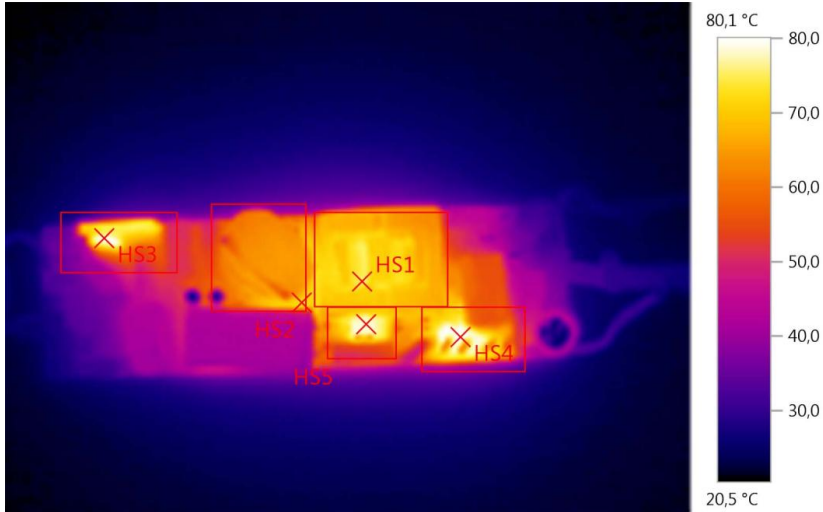


Рис. 9. Термограмма второго ИП с пятью ключевыми областями

Таблица 2 – Температуры ключевых областей к рис. 9

№	Температура, [°C]
HS1	75,5
HS2	72,0
HS3	79,6
HS4	80,1
HS5	78,8

Трансформатор 4 второго ИП имеет температуру 75,5 °С, что выше чем у трансформатора 3 первого ИП, который разогрет до 55,8 °С. Данный фактор снижает надёжность трансформатора во втором ИП.

Тепловые испытания при повышенной температуре показали, что первый ИП является более устойчивым к тепловым нагрузкам, чем второй ИП. К подобному результату приводит анализ нагрева ЭРЭ и распределения тепла в корпусе образцов.

Замечено, что компаунд в первом ИП обладает высокой адгезией к разным материалам (пластик, металл, лак, эмаль). Хорошо обволакивает ЭРЭ и другие элементы конструкции, что приводит к качественному тепловому контакту. Компаунд во втором ИП имеет минеральное

наполнение в результате чего обладает пониженной адгезией к ЭРЭ и другим элементам конструкции, по сравнению с компаундом в первом ИП. Между ЭРЭ, элементами конструкции устройства питания и компаундом образуется воздушный зазор около 0,1 мм и более, что приводит к повышению теплового сопротивления и увеличивает перегрев ЭРЭ залитых компаундом.

Для повышения срока службы источников питания светодиодов следует относить подальше от теплонагруженных элементов электролитические конденсаторы. Это позволит работать последним при падающем тепловом режиме и продлит срок службы ИП. Трансформатор следует выбрать с большими габаритами, что позволит снизить перегрев обмоток и улучшит теплоотвод.

### **Выводы**

Исходя из всего выше сказанного следует отметить, что проведённые испытания показали высокую надёжность источников питания светодиодов несмотря на выявленные недостатки.

Следует отметить, что выбор ИП влияет на продолжительность работы светотехнического устройства и на его светотехнические характеристики, такие как пульсации светового потока, стабильность светового потока во времени.

### **Список литературы**

- 1 *Гонин М.* Спасительная прохлада, или теплоотвод для мощных светодиодных матриц [Электронный ресурс] // Новости электроники + светотехника. – 2013. – № 2. – Режим доступа: <https://www.compel.ru>, свободный. (дата обращения: 10.07.2024).
- 2 *Тукиаитов Р., Исыхакафу.* Как обеспечить заявленный срок службы светодиодных ламп // Полупроводниковая светотехника. – 2016. – №3. – С. 8-11.
- 3 *Корольский, Д. А.* Методы повышения надежности источников питания светодиодных светильников // Электронные средства и системы управления. Материалы докладов Международной научно-практической конференции. – 2016. – № 1-1. – С. 139-143.
- 4 *Махлин, А.* Источники и системы питания, драйверы светодиодов // Полупроводниковая светотехника. – 2011. – Т. 1, № 9. – С. 30-33.
- 5 *Коротков, С. М., Крючков В. В.* Особенности разработки устройств светодиодного освещения (продолжение, начало в № 3 (67), 2017) // Практическая силовая электроника. – 2017. – № 4(68). – С. 37-42.



## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОСВЕЩЕНИЯ И ЦВЕТОВОГО ОФОРМЛЕНИЯ ФОНТАНА

*Кириллов И.Е., студент;*

*научный руководитель: Снетков В.Ю., к.т.н., доцент, НИУ «МЭИ»,  
г. Москва*

## DESIGN OF LIGHTING AND COLOR DESIGN OF THE FOUNTAIN

*Kirillov I.Eu., student;*

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

### **Аннотация**

В работе проведён анализ литературных данных; выполнено проектирование освещения парковой зоны вблизи фонтана, начиная от выбора светильников и завершая результатами расчёта и проектирования в программе DIALux. Был проведён аудит в московском парке Царицыно с измерениями спектров излучения цветов в цветомузыкальном фонтане с помощью спектрофотометром Konica Minolta CL-70F. Эксперименты в данной работе проводились на ЖК-дисплее ноутбука ASUS TUF Gaming A15. Координаты цветности основных цветов и опорного белого цвета дисплея измерены выше названным спектрофотометром. По методу категорий оценивалось цветовое оформления модели фонтана в DIALux, основанного на синестезии цвета и музыки. Основная цель эксперимента — определить, насколько существенно система, связывающая цвета и музыкальные ноты, влияет на восприятие зрителей. Результаты исследования показывают значительное влияние системных цветовых переходов на восприятие зрителей и подтверждают эффективность подхода, основанного на синестезии. Представляется, что в этом и есть научная новизна нашего исследования. В общей совокупности оценок 10 наблюдателей концепция А.Н. Скрябина получила наивысшую оценку (3,63 балла), концепция на основе ассоциаций заняла второе место (3,05 балла). Фрагменты без системной связи получили значительно более низкие оценки (2,77 и 1,85 баллов соответственно).

### **Abstract**

*The paper analyzes the literature data; the lighting of the park area near the fountain is carried out, starting from the selection of lamps and ending with the results of calculation and design in the DIALux program, which corresponded to the norms. An audit was conducted in Moscow's Tsaritsyno Park with measurements of the emission spectra of colors in a color musical fountain using a Konica Minolta CL-70F spectrophotometer. The experiments in this work were carried out on the LCD display of the ASUS TUF Gaming A15 laptop. The chromaticity coordinates of the primary colors and the reference white color of the display are measured by the*

*above-mentioned spectrophotometer. The color design of the fountain, based on the synesthesia of color and music, was evaluated using the category method. The main purpose of the experiment is to determine how significantly the system linking colors and musical notes affects the perception of viewers. The results of the study show a significant influence of systemic color transitions on the perception of viewers and confirm the effectiveness of the synesthesia-based approach. In the total set of assessments by 10 observers, A.N. Scriabin's concept received the highest score (3.63 points), the concept based on associations took the second place (3.05 points). Fragments without a system connection received significantly lower scores (2.77 and 1.85 points, respectively).*

**Ключевые слова:** цветомузыкальные установки, цветовое оформление, эмоциональное восприятие, цветотональности, метод категорий.

**Keywords:** *color musical settings, color design, emotional perception, color tonalities, the category method.*

### **Введение**

В последние годы цветомузыкальные установки получили широкое распространение в различных общественных пространствах, таких как парки, театры и концертные залы. Эти световые шоу сочетают в себе элементы цвета и музыки, создавая зрелищные и эмоционально насыщенные представления, привлекающие внимание широкой аудитории. Однако, несмотря на их популярность, часто наблюдается отсутствие гармонии, связывающей между собой цветовые эффекты и музыкальное сопровождение. В большинстве случаев переходы от одного цвета к другому происходят хаотично и не связаны с музыкальными аккордами и нотами, что может снижать общее впечатление от представления.

Целью данной работы является исследование влияния стройной системы, связывающей цвета и музыкальные ноты, на восприятие светомузыкальных инсталляций. Исследование включает разработку и применение двух концепций освещения фонтана: одна из них основана на системе цветотональностей Александра Скрябина [1], а другая — на основе ассоциативных связей между цветами и эмоциями, вызываемыми музыкой. Во основу второй системы легли исследования о эмоциях [2], которые вызывает музыка и цвета. Предполагается также провести аудит цветомузыкального фонтана в одном из парков, для создания праздничной светоцветовой среды будут предложены осветительные установки парковой зоны около фонтана, а главное будут проведены эксперименты по оценке соответствия музыки и цвета с участием наблюдателей. Таким образом, актуальность, а в случае получения существенного эффекта от гармонии музыки и цвета, и ценность данной работы, нам представляются несомненными.

## Метод исследования

В работе осуществлено освещение парковой зоны вблизи фонтана, начиная от выбора светильника и завершая результатами расчёта и проектирования в программе DIALux. Был проведён аудит в московском парке Царицыно с измерениями спектров излучения цветов в цветомузыкальном фонтане с помощью спектрофотометра Konica Minolta CL-70F.

Данный доклад в основном посвящён субъективным исследованиям, которые проводились с синтетической моделью цветомузыкального фонтана в программе DIALux, полученной на ЖК-дисплее ноутбука ASUS TUF Gaming A15 с диагональю 15.6 дюймов, разрешением экрана 1920\*1080 пикселей.

Координаты цветности основных цветов и опорного белого цвета дисплея измерены выше названным спектроколориметром. Эксперименты проводились с участием 10 наблюдателей (из них 7 мужчин и 3 женщины) в возрасте от 21 года до 25 лет, которые оценивали соответствие цветовых переходов и музыкального сопровождения.

Для удобства и объективности эксперимента использовалось произведение Александра Скрябина «Поэма Прометей», которое содержит партитуру для цветового органа [3].

Наблюдатели оценивали представленные видеосюжеты по категорийной (пятибалльной) шкале [4], учитывая свои личные впечатления от сочетания цветов и музыки.

Всего было четыре видеосюжета с разными концепциями цветовых переходов. Две концепции использовали системы цветотональностей и две без системной связи между музыкой и цветом.

Первая концепция основана на системе цветотональностей Александра Скрябина, где каждому музыкальному тону соответствует определенный цвет.

Вторая концепция разработана нами и построена на ассоциативных связях между цветами и эмоциями, вызываемыми музыкой. Чтобы создать вторую концепцию отдельно соотнесли тональности музыки с эмоциями и цвета с эмоциями [5].

Затем сопоставили тональности с цветами по похожим ассоциациям. Для каждой концепции были составлены таблицы соответствий нот и цветов (табл. 1 и табл. 2).

Таблица 1 – Система цветотональностей А. Н. Скрябина

Тональность	Цвет	
До мажор (C*)	Красный	
До минор (c)	Серый	
Ре мажор (D)	Желтый	
Ре минор (d)	Розовый	
Ми мажор (E)	Бледно-голубой	
Ми минор (e)	Голубой	
Фа мажор (F)	Розовый	
Фа минор (f)	Болотный	
Соль мажор (G)	Оранжевый	
Соль минор (g)	Серый	
Ля мажор (A)	Болотный	
Ля минор (a)	Красный	
Си мажор (B)	Серый	
Си минор (b)	Темно-сиреневый	

\* в скобках указаны тональности. Заглавными буквами – мажорные гаммы, прописными – минорные

Таблица 2 – Система тональность – цвет на ассоциациях

Тональность	Цвет	
До мажор (C)	Желтый	
До минор (c)	Фиолетовый	
Ре мажор (D)	Оранжевый	
Ре минор (d)	Темно-синий	
Ми мажор (E)	Светло-зеленый	
Ми минор (e)	Голубой	
Фа мажор (F)	Зеленый	
Фа минор (f)	Коричневый	
Соль мажор (G)	Голубой	
Соль минор (g)	Темно-фиолетовый	
Ля мажор (A)	Розовый	
Ля минор (a)	Серый	
Си мажор (B)	Фиолетовый	
Си минор (b)	Черный	

### Результаты исследования

Наблюдатели оценивали 4 видеофрагмента (их можно увидеть по ссылке URL: [https://drive.google.com/drive/folders/1Et3Q3MvH5t1trv-QF\\_Rhs-psXlKdLRn5?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1Et3Q3MvH5t1trv-QF_Rhs-psXlKdLRn5?usp=sharing)) с одним и тем же музыкальным сопровождением, но с разными цветовыми переходами. Каждому наблюдателю были представлены 3 серии по 4 видеофрагмента в произвольном порядке. В результате проведенных экспериментов были получены следующие данные:

Таблица 3 – Среднее арифметическое значение оценок наблюдателей.

Первая серия

	Ассоциации	Скрябин	Без системы 1	Без системы 2
Итого	2,95	3,55	3,00	2,05
Музыканты	2,67	3,00	4,33	2,67
Немузыканты	3,07	3,79	2,43	1,79

Таблица 4 – Среднее арифметическое значение оценок наблюдателей.

Вторая серия

	Ассоциации	Скрябин	Без системы 1	Без системы 2
Итого	3,10	3,50	2,55	1,85
Музыканты	2,67	2,83	3,67	2,17
Немузыканты	3,29	3,79	2,07	1,71

Таблица 5 – Среднее арифметическое значение оценок наблюдателей.

Третья серия

	Ассоциации	Скрябин	Без системы 1	Без системы 2
Итого	3,10	3,85	2,75	1,65
Музыканты	2,83	3,33	3,67	1,83
Немузыканты	3,21	4,07	2,36	1,57

Таблица 6 – Итоговые результаты среднего арифметического и среднего квадратического значений (оно указано в таблице в скобках)

	Ассоциации	Скрябин	Без системы 1	Без системы 2
Итого	3,050 (0,116)	3,633 (0,103)	2,767 (0,255)	1,850 (0,132)
Музыканты	2,722 (0,194)	3,056 (0,264)	3,889 (0,567)	2,222 (0,289)
Немузыканты	3,190 (0,149)	3,881 (0,095)	2,286 (0,304)	1,690 (0,152)

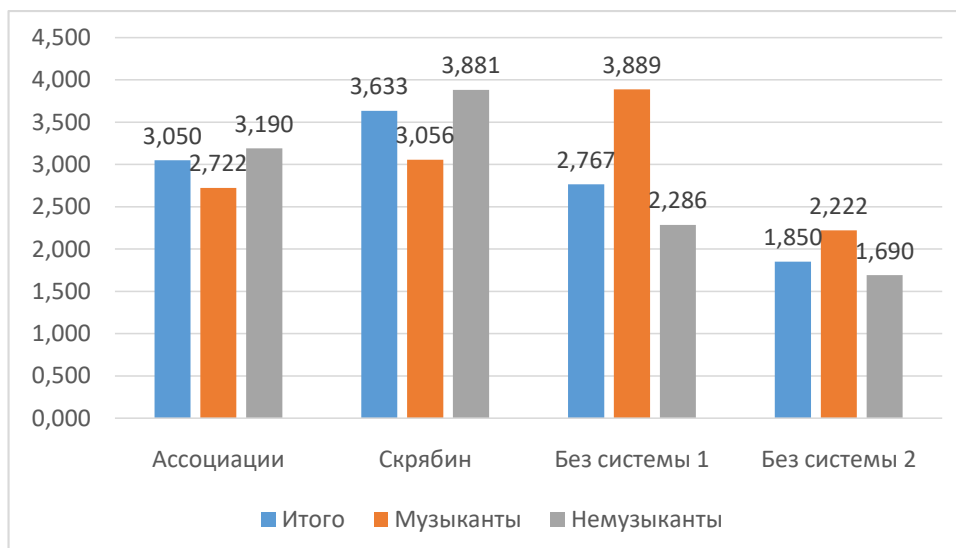


Рис.1. Гистограмма совокупностей оценок наблюдателей по всем сериям

В общей совокупности концепция Скрябина получила наивысшую оценку (3,633 балла), концепция на основе ассоциаций заняла второе место (3,05 балла).

Фрагменты без системной связи получили значительно более низкие оценки (2,767 и 1,85 балла), особенно от немусыкантов. Это несмотря на то, что оценки музыкантов (3 человека) несколько уменьшили разрыв, разница между лучшим («Скрябин») и худшими результатами (т.е. «бессистемными 1 и 2») в целом осталось большой – 0,9 и 1,8 балла соответственно.

Мы объясняем 2-ое, а не 1-ое место цветовой музыки А. Скрябина в экспериментах для музыкантов прежде всего тем, что они при традиционном обучении не имели опыта такого прочтения композитора, оно для них было непривычным. Поэтому в нашем субъективном исследовании они постепенно меняли свои оценки и разница между 1-м и 2-м местами у музыкантов существенно уменьшалась: в 1-ой серии она была 1,3; во 2-ой уже – 0,8, а в 3-ей – только 0,3 балла.

### **Обсуждение**

Мы считаем эту работу началом предстоящих более широких исследований. Сравнить наши результаты не с чем, все исследования, что нам известны, носят исключительно гуманитарный характер. Поэтому для дальнейшего продолжения исследований предлагаем следующее.

Во-первых, имеет смысл провести дополнительные эксперименты с использованием других музыкальных фрагментов, произведений и систем цветотональностей. Это поможет выявить, насколько универсальны результаты и какие системы цветомузыкальных ассоциаций наиболее эффективны.

Во-вторых, предлагаем использовать более сложные и разнообразные визуальные эффекты. В данном исследовании использовались простые цветовые переходы, а добавление динамических изменений, таких как более существенное изменение яркости или движение водных струй, вполне может улучшить впечатление зрителей.

### **Выводы**

Исследование показало, что системные цветовые переходы, связанные с музыкальными нотами, значительно усиливают восприятие зрителей.

Концепция, основанная на системе цветотональностей А. Скрябина, получила наивысшие оценки – 3,63 балла (на 0,9 и 1,8 балла больше двух фрагментов бессистемного использования цвета), что подтверждает эффективность подхода, основанного на синестезии.

Дальнейшие исследования в этой области могут привести к созданию более захватывающих и эмоционально насыщенных цветомузыкальных установок, способных привлечь внимание широкой аудитории и значительно улучшить культурные и развлекательные мероприятия.

### Список литературы

1. «Как Александр Скрябин открыл миру светомузыку»  
URL: <https://www.audiomania.ru/content/art-6285.html> (дата обращения 17.12.2023)
2. *Hunter, P. G., Schellenberg, E. G., & Schimmack, U.* Feelings and perceptions of happiness and sadness induced by music: Similarities, differences, and mixed emotions. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, 4(1), 47-56. 2010
3. Партитура музыкальной поэмы «Прометей»  
URL: <https://primanota.net/skryabin-aleksandr/prometei-poema-ognya.htm> (дата обращения 14.04.2024)
4. ГОСТ 26320–84 Оборудование телевизионное студийное и внестудийное. Методы субъективной оценки качества цветных телевизионных изображений
5. *Тихонова А.Е., Иванова О.Г.* Особенности цветового восприятия и воздействия цвета на психическое состояние человека **НОВЫЕ ИДЕИ НОВОГО ВЕКА: МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ ФАД ТОГУ** (Факультет архитектуры и дизайна Тихоокеанского государственного университета), Том 3, 2020.



# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗБЫТОЧНОГО СВЕТА НА МОРФОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ РАСТЕНИЙ

*Новиков Е.А.<sup>1</sup>, магистр;*

*научный руководитель – Туркин А.Н.<sup>1,2</sup>, к. ф.-м. н., доцент*

*<sup>1</sup>ФГБОУ «НИУ «МЭИ», г. Москва*

*<sup>2</sup>Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва*

## STUDY OF THE INFLUENCE OF EXCESS LIGHT ON THE MORPHOLOGICAL STATE OF PLANTS

*Novikov E.A.<sup>1</sup>, master;*

*Academic Advisor – Turkin A.N.<sup>1,2</sup>, Ph.D. Phys.-Math., Associate Professor*

*<sup>1</sup>MPEI, Moscow, <sup>2</sup>Lomonosov Moscow State University, Moscow*

### **Аннотация**

«Световое загрязнение» (избыточный свет) оказывает негативное воздействие на многие виды живых организмов, нарушая устоявшиеся экосистемы. В работе исследовалась зависимость массы и состояние листьев салатной культуры от продолжительности облучения. В эксперименте изменялась длительность облучения, уровни фотосинтетической фотонной облученности (117 – 239 и 14 – 26 мкмоль/с/м<sup>2</sup>). Приведены результаты, устанавливающие и подтверждающие наличие процессов деградации и ухудшения морфологического состояния растений в связи с нарушением их естественных циклов.

### **Abstract**

*Light pollution (excess light) has a negative impact on many species of living organisms, disrupting established ecosystems. The work investigated the dependence of the mass and condition of lettuce leaves on the duration of irradiation. In the experiment, the duration of irradiation and the levels of photosynthetic photon flux density varied (117 – 239 and 14 – 26  $\mu\text{mol/s/m}^2$ ). The results are presented that establish and confirm the presence of processes of degradation and deterioration of the morphological state of plants due to disruption of their natural cycles.*

**Ключевые слова:** световое загрязнение, избыточный свет, плотность потока фотосинтетического потока фотонов, светокультура, фитооблучатель со светодиодами.

**Keywords:** *light pollution, excess light, photosynthetic photon flux density, light culture, phytoradiator with LEDs.*

### **Введение**

Данная работа является началом исследований влияния «светового загрязнения» на растения, животных и человека. У животных под

влиянием избыточного света нарушается навигация, сокращаются сроки жизни, изменяются отношения типа «хищник-жертва», повышается количество летальных исходов [1-3]. В 1923 году были установлены первые признаки влияния непрерывного освещения (избыточного света) на состояние листьев и стеблей [4-9].

В последние годы в мире увеличивается количество нормативно-правовых документов, принятых на государственном уровне, и международных инициатив, направленных на снижение «светового загрязнения» [10-12].

Для первичной оценки влияния интенсивности и длительности излучения на морфологическое состояние растений было проведено исследование на установке искусственного выращивания растений. Результаты данного исследования имеют потенциальное использование в изучении «светового загрязнения».

### Методика

В качестве объекта исследований были выбраны салатные культуры (Рис.1), как наиболее быстро развивающиеся и созревающие растения. Облучательная установка (ОУ) входит в состав системы, которая также позволяет контролировать и регулировать параметры окружающей среды, такие как температура, влажность (Рис. 1).



Рис. 1. Фотография экспериментальной установки и расположение салатных культур: 1 – салат Пак-чой, 2 – салат Роксай

В качестве критерия оценки морфологического состояния были выбраны: общий вес хозяйственно-полезной биомассы (продуктивность) и визуальное состояние листовых пластинок на действие излучения при изменении длительности и интенсивности облучения.

Эксперименты проводились в условиях автоматизированной вертикальной фермы ООО «БООС ЛАЙТИНГ БИО», использующей технологию периодического подтопления [13] и Tube Fito в качестве фитооблучателя (спектральное распределение фотосинтетического потока доступно на сайте производителя). Уровень изменения плотности

фотосинтетического потока фотонов составлял 117 – 239 мкмоль/с/м<sup>2</sup> (Рис. 2.) при мощности ОУ 100% и 14 – 26 мкмоль/с/м<sup>2</sup> при мощности ОУ 10%.

Выбор границ и размеров зон расположения растений основывался на требованиях об обеспечении высокой равномерности [14]. Так, границы расположения салата пак-чой отмечены желтым цветом (Рис. 2) (равномерность зоны при мощности ОУ 100% – 0.94, при 10% – 0.93) и границы расположения салата роксай отмечены зеленым цветом (Рис. 2) (равномерность зоны при мощности ОУ 100% – 0.96, при 10% – 0.94).

Для измерения фотосинтетической фотонной облученности использовался прибор UPRtek PG100N, измерения проводились в пятидесяти пяти точках, которые соответствовали местам расположения вегетационных сосудов с салатами.

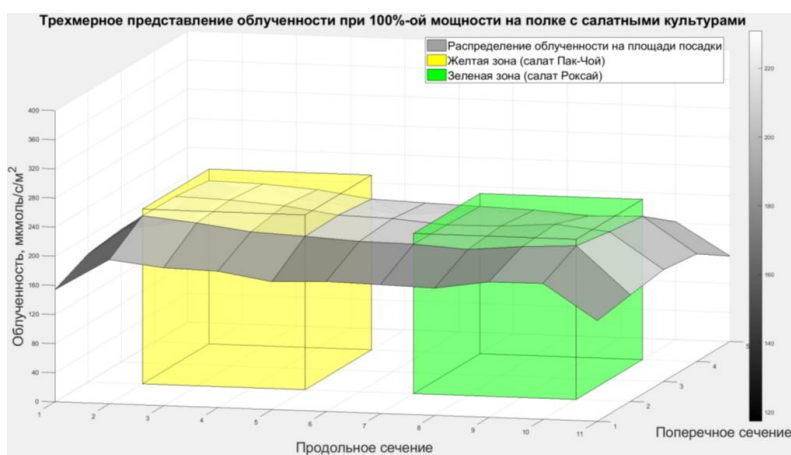


Рис. 2. Представление облученности при 100%-ой мощности с зонами, выбранными для проведения эксперимента

На каждой полке вертикальной фермы устанавливался определённый режим работы. Таким образом, оба исследуемых сорта салатных культур были разделены на три группы в соответствии с режимами облучения.

Режим А (постоянный) – облучение 24 часа в сутки при мощности установки 100%. Непрерывное освещение в течение всего периода роста и развития салатных культур для нарушения естественных циклов «отдыха» растений.

Режим В (дополнительный) – облучение 16 часов в сутки при мощности установки 100% и облучение 8 часов в сутки при мощности установки 10%. Моделирует естественное освещение в течение светового дня (100% мощности ОУ) и искусственное освещение от осветительной установки ночью (10% мощности ОУ).

Режим С (стандартный) – облучение 16 часов в сутки при мощности установки 100%. Является стандартным режимом, используемым при выращивании в условиях вертикальных ферм.

Температура воздуха днём – 22°C, ночью – 18°C. Учёт биомассы урожая проводился через 32 дня от всходов, измерялась биомасса без корневой системы.

### Результаты

Среднее значение масс салатных культур представлено в таблицах 1 и 2.

Измеренное значение средней массы в режиме С (стандартный) считается за 100%. Увеличение или уменьшение значений для двух других режимов (режим А – постоянный и режим В - дополнительный) считаются относительно режима С.

При учете средней массы были исключены экстремальные точки – точки с существенно наименьшей и наибольшей массой, чем другие. Исходя из этой особенности, расчет среднего значения происходил по четырем точкам, а не по шести.

Таблица 1. Значения средней массы для салатной культуры Роксай

	Режим А	Режим В	Режим С
Среднее значение	93,19 ± 2,71	98,14 ± 9,17	103,5 ± 9,2
Изменение относительно режима С	-10,0%	-5,2%	–

Таблица 2. Значения средней массы для салатной культуры Пак-Чой

	Режим А	Режим В	Режим С
Среднее значение	82,1 ± 22,4	79,2 ± 29,2	88,2 ± 36,5
Изменение относительно режима С	-7,4%	-11,3%	–

Помимо измерения биомассы салатных культур, также было изучено визуальное состояние листовых пластинок, рассматриваемых культур. В режиме А (облучение 24 часа в сутки) были зафиксированы поврежденные листья, обладающие следующими характеристиками: меньший размер по сравнению с другими листьями, разрушение пигмента и вследствие этого – выцветание, также усыхание и пожелтение.

Геометрические размеры листовых пластинок, такие как: длина и ширина увеличиваются, однако, толщина уменьшается, что делает растение более уязвимым к физическим и механическим воздействиям.

### Обсуждение

Избыточный свет наносит вред фотосинтетическому аппарату растений, в первую очередь, через активные формы кислорода. Из

приведенных таблиц 1 и 2 видно, что среднее значение массы салатных культур снижается относительно режима С. Это свидетельствует о негативном влиянии увеличения продолжительности облучения, нарушающего естественные циклы растений. Это подтверждается в исследовании влияния длительности облучения (рассматриваемый фотопериод составил 16 часов в сутки (I) и 20 часов в сутки (II)), уменьшение массы салата айсберг при (II) составило 10% по сравнению с (I) [15].

Увеличение геометрических размеров пластинок при увеличении длительности облучения связано с реакцией фитохрома – фоторецептора, ответственного за фотоморфогенез. Подобный результат также подтверждается в исследовании на влияние длительности монооблучения красным и синим светом [16]. Авторы отмечали увеличение размеров листьев салата латука на 30% при увеличении продолжительности облучения с 16 часов до 24 часов в сутки.

Используя полученные результаты влияния избыточного света на быстро созревающие растения, целесообразно проведение длительного исследования в натуральных условиях, изменив выбор предмета исследования – растения-биоиндикаторы, цветы, по плодам определяется степень воздействия. Поскольку, визуальное состояние будет изменяться, целесообразно оценить колориметрические характеристики, по которым возможно обобщить результаты воздействия на группу растений. Также стоит учесть влияние на показатели разной продолжительности вегетации (динамика накопления биомассы, изменение геометрических размеров от DLI).

### **Выводы**

- При увеличении длительности и постоянной интенсивности, сохраняется тенденция на уменьшение среднего значения биомассы.
- Увеличение числа поврежденных листовых пластинок было установлено в режиме постоянного облучения (режим А), в то время как этого не наблюдалось при других режимах облучения.
- Сопrotивляемость механическим и физическим воздействиям рассмотренных салатных культур уменьшается, ввиду утоньшения листовых пластинок.

### **Список литературы**

1. *Перри Гэд.; Бьюкенен Уэйн; Фишер Роберт.; Салмон Майкл; Шэрон Уайз.* Влияние искусственного ночного освещения на амфибий и рептилий в городских условиях. Городская герпетология. 3. Общество изучения земноводных и рептилий, 2010, С. 239 –256.
2. *Вивиани Вадим Равара, Роча Майра Ямадзаки, Хаген Оскар.* Фауна биолюминесцентных жуков в муниципалитетах Кампинас,

Сорокаба-Воторантим и Риу-Кларо-Лимейра): биоразнообразие и влияние урбанизации. Неотропическая биота, вып. 10, №2, 2010, С. 103 – 116.

3. *Хорват Габор, Криска Дьёрдь, Петер Малик, Робертсон Брюс*, Загрязнение поляризованным светом: новый вид экологического фотозагрязнения. Границы в экологии и окружающей среде, вып. 7, №6, 2009, С. 317 – 325.

4. *Джон У. Митчелл*. Реакция растений томата на искусственное освещение. Ботанический вестник, вып. 99, №2, 1937 – С. 412 – 419.

5. *Максимов Н.А.* Культура растений на электрическом свете и применение ее для семенного контроля и селекции. Научно-агрон. журн., 2, № 7-8, 1925, – С. 395-404.

6. *Максимов Н.А.* Культура растений на искусственном свете. Природа, № 5-6, 1933, – С. 61-75.

7. *Максимов Н.А.* Применение искусственного освещения для ускорения селекционной работы. Семеноводство, №4, 1934, – С. 16-19.

8. *Максимов Н.А.* Применение искусственного света для ускорения роста растений. Научн. Конференция ДХСА. Докл. вып. 1, 1945, – С. 14-16.

9. *Максимов Н.А., Леман В.М.* Культура сеянцев древесных на электрическом свете. Докл. ТСХА, вып. 3, 1941, – С. 46-51.

10. Гренель П, Франция, 2010.

11. Федеральный закон об охране природы, Германия, 2024.

12. IESNA TM-15-07. «Система классификации освещения для наружного освещения», 2007.

13. *Мамбетов Э.М.* Гидропоника. Основные гидропонные системы. Астраханский государственный университет, г. Астрахань, Россия, 2021.

14. *Прикупец Л.Б., Боос Г.В.* Облучательные установки в сельском хозяйстве: учебное пособие для высших учебных заведений. – 2023. – 136 с.

15. *Гавхане, К. П., Хасан, М., Сингх, Д. К. и др.* Определение оптимального суточного светового интеграла (DLI) для выращивания салата айсберг в помещении в местной вертикальной гидропонной системе. *Sci Rep* 13 , 10923 (2023).

16. *Т. Джиши, Р. Мацуда, К. Фудзивара.* Манипулирование продолжительностью облучения синим и красным светом в течение дня для улучшения роста салата-латука. Границы в науке о растениях. Вып. 12, 2021. 778 с.

**ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОБЛУЧЕНИЯ НА РОСТ  
ЦИАНОБАКТЕРИИ *ARTHROSPIRA PLATENSIS* И СОДЕРЖАНИЕ  
С-ФИКОЦИАНИНА**

*Однорал О.И.<sup>1</sup>, студент;  
научный руководитель – Туркин А.Н.<sup>1,2</sup>, к.ф.-м.н., доцент;  
научный консультант – Сергеева Я.Э.<sup>3</sup>, к.х.н.,  
старший научный сотрудник  
<sup>1</sup>ФГБОУ «НИУ «МЭИ», г. Москва,  
<sup>2</sup>Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва  
<sup>3</sup>НИЦ «Курчатовский институт», г. Москва*

**THE EFFECT OF IRRADIATION PARAMETERS ON THE GROWTH  
OF CYANOBACTERIUM *ARTHROSPIRA PLATENSIS* AND THE  
CONTENT OF C-PHYCOCYANIN**

*Odnorol O.I.<sup>1</sup>, student; scientific supervisor – Turkin A.N.<sup>1,2</sup>,  
PhD Phys.-Math., associate professor; scientific advisor – Sergeeva Y.E.<sup>3</sup>,  
PhD Chem., senior researcher  
<sup>1</sup>NRU «MPEI», Moscow, <sup>2</sup>Lomonosov Moscow State University, Moscow  
<sup>3</sup>NRC «Kurchatov Institute», Moscow*

**Аннотация**

Проведено исследование влияния параметров облучения на рост цианобактерии *Arthrospira platensis* и содержание С-фикоцианина с использованием стандартной лампы для фотосинтеза и светодиодов различного спектрального состава. В контрольном варианте в шейкере-инкубаторе использовались 6 фитоламп Sylvania Gro-Lux, в опытных вариантах использовались белые, зеленые, красные, синие светодиоды и вариант смешанного облучения с красными и синими светодиодами в соотношении 3:1. Были получены кривые роста цианобактерии и гистограммы с содержанием и выходом С-фикоцианина в различные сутки культивирования для каждого варианта облучения. Наибольшая скорость роста была достигнута при использовании стандартной лампы для фотосинтеза и светодиодов белого цвета. При этом использование светодиодов другого спектрального состава влияло на скорость роста цианобактерии. Самая низкая скорость наблюдалась при синих светодиодах, а при культивировании в условиях облучения красными светодиодами скорость роста была в два раза выше, чем при использовании зеленых. Наибольший выход С-фикоцианина наблюдался при использовании смешанного облучения.

**Abstract**

*The effect of irradiation parameters on the growth of Cyanobacterium *Arthrospira platensis* and the content of C-phycoyanin was studied using a standard lamp for photosynthesis and LEDs of various spectral composition.*



*In the control version, 6 Sylvania Gro-Lux phytolamps were used in the incubator shaker, in the experimental versions white, green, red, blue LEDs and a mixed irradiation option with red and blue LEDs in a ratio of 3:1 were used. Cyanobacteria growth curves and histograms with the content and yield of C-phycocyanin on different days of cultivation for each irradiation variant were obtained. The highest growth rate was achieved using a standard photosynthesis lamp and white LEDs. At the same time, the use of LEDs of a different spectral composition affected the growth rate of cyanobacteria. The lowest rate was observed with blue LEDs, and when cultivated under irradiation with red LEDs, the growth rate was twice as high as when using green ones. The highest yield of C-phycocyanin was observed using mixed irradiation.*

**Ключевые слова:** микроводоросли, цианобактерии, культивирование, С-фикоцианин, биомасса, светодиоды, спектры излучения.

**Keywords:** *microalgae, cyanobacteria, cultivation, Arthrospira platensis, C-phycocyanin, biomass, LEDs, radiation spectrum.*

### **Введение**

Значительный сдвиг в сторону использования натуральных пигментов в широком спектре отраслей промышленности обусловлен их исключительной биодоступностью, нетоксичностью, безопасностью пищевых продуктов на их основе и желаемыми цветовыми характеристиками [1]. Благодаря растущему общему интересу к биотехнологиям и потенциалу микроводорослей и отдельных компонентов их биомассы в промышленности, они были определены как один из наиболее перспективных источников натуральных пигментов [2]. В частности, *Arthrospira platensis* (более известная под коммерческим названием *Spirulina*, спирулина) – цианобактерия, хорошо зарекомендовавшая себя как коммерчески жизнеспособное сырье для производства различных пигментов, включая фикобилипротеины, хлорофиллы и каротиноиды [3]. Среди этих пигментов С-фикоцианин (С-ФЦ), пигмент-белковый комплекс насыщенного синего цвета, представляет особый интерес благодаря своим антиоксидантным, противовоспалительным и противораковым свойствам [4].

### **Метод исследования**

Объектом исследования является цианобактерия *A. platensis* В-12619, полученная из Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов. Культивирование проводили в колбах Эрленмейера рабочим объемом 100 мл с 25 мл модифицированной среды Зарукка [5] при постоянном перемешивании, температуре 30°C и круглосуточном облучении. Культивирование при облучении специальными лампами для

фотосинтеза (15 Вт, 325 лм, 5500 К, CRI 80, 7500 ч [6] проводили с использованием шейкера-инкубатора Eppendorf New Brunswick Innova 42.

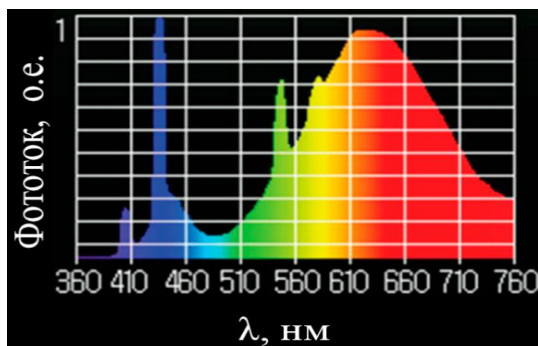


Рис. 1. Спектр излучения специальной лампы для фотосинтеза [6]

Культивирование при облучении светодиодами различного спектрального состава (светодиоды SMD 5050 RGB и Warm White со следующими характеристиками: 14,4 Вт/м, 700 лм, 3000 К (для белых СД), CRI 80, 50000 ч) проводили с использованием комплекта шейкера Heidolph promax 1020 и инкубатора Heidolph inkubator 1000. Измерения спектров светодиодов проводились на монохроматоре МДР-206.

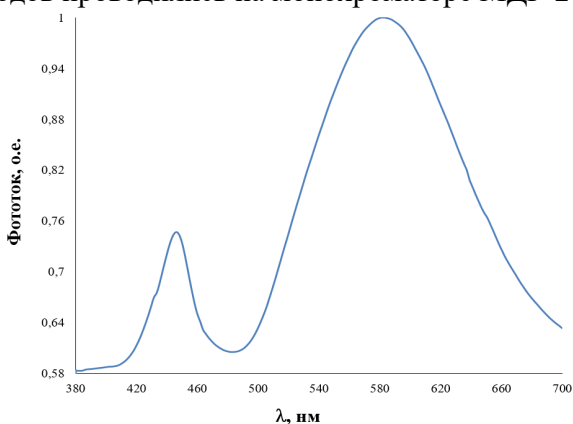


Рис. 2. Спектр излучения белого светодиода

Контроль роста и накопление биомассы осуществляли на спектрофотометре, определяя величину оптической плотности суспензии клеток при 750 нм ( $OD_{750}$ ), также контролировали величину pH. Биомассу отделяли центрифугированием при 7500 об/мин в течение 15 минут. Определение сухого веса биомассы проводили высушиванием образца до постоянного веса с помощью лиофильной сушки. Исчерпывающую экстракцию С-фикоцианина из влажной биомассы цианобактерии проводили согласно [7]. Экстракт С-ФЦ отделяли от клеточного дебриса центрифугированием при 12500 об/мин, 30 мин, 4°C, для определения конечного объема экстракта надосадок интенсивно

синего цвета переносили в чистую пробирку, далее снимали спектр поглощения в диапазоне 190–700 нм. Расчет концентрации С-ФЦ в анализируемом растворе проводили согласно [8].

### Результаты

На рис. 1 представлены кривые роста цианобактерии при всех испытанных вариантах облучения, а в табл. 1 приведены максимальные величины таких показателей как скорость роста (г/(л×сутки)), количество биомассы с литра питательной среды (г/л), содержание С-ФЦ в биомассе (% от а.с.б.) и выход С-ФЦ с литра питательной среды (мг/л).

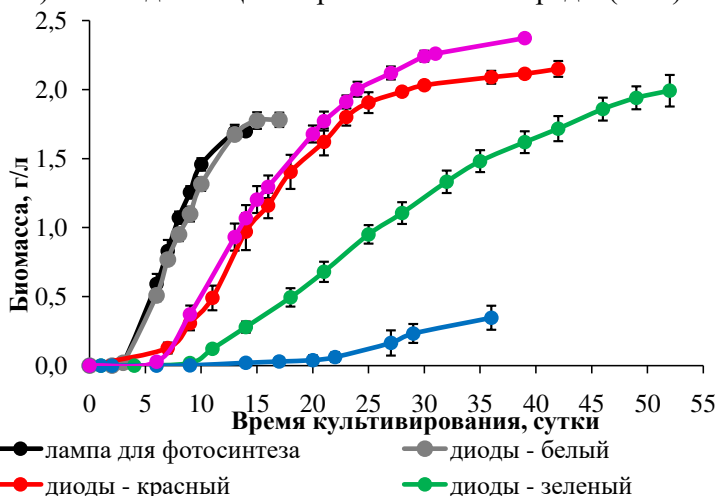


Рис. 3. Влияние спектральных характеристик источника облучения на рост и накопление биомассы цианобактерии *A. platensis*

Зависимости представлены чисто качественные, и на них виден эффект, требуются более точные исследования, которые и планируются в будущем.

Таблица 1. Показатели биомассы и С-фикоцианина при различных источниках облучения

Показатель	Биомасса		С-фикоцианин	
	г/(л×сутки)	г/л	%	мг/л
Лампа для фотосинтеза	0,212 ± 0,007	1,70 ± 0,03	19,94 ± 0,31	336,98 ± 1,78
Диоды белые	0,167 ± 0,003	1,78 ± 0,05	17,93 ± 0,53	320,28 ± 1,44
Диоды красные	0,103 ± 0,001	2,15 ± 0,06	20,69 ± 0,18	421,60 ± 1,80
Диоды зеленые	0,054 ± 0,003	1,99 ± 0,12	36,21 ± 0,49	534,60 ± 2,88
Диоды синие	0,020 ± 0,003	0,35 ± 0,09	-	-
Диоды красный – синий (3:1)	0,110 ± 0,004	2,37 ± 0,03	23,55 ± 1,67	664,62 ± 1,53

Таким образом, из всех рассмотренных источников облучения наибольшая скорость роста отмечена при культивировании в условиях облучения специальной лампой для фотосинтеза, максимальное содержание С-ФЦ в клетках – при облучении зеленым светом (при этом длительность эксперимента превысила 40 суток). Оптимальным вариантом облучения является вариант смешанного облучения (красный-синий (3:1)) при котором на 30 сутки культивирования выход С-ФЦ превысил 660 мг/л.

### Обсуждение

В таблице 2 представлены данные по выходу С-ФЦ, описанные в различных литературных источниках.

Таблица 2. Выход С-фикоцианина в различных источниках литературы

Организм	Питательная среда	С-ФЦ, мг/л	Источник
<i>Arthrospira platensis</i> (BEA 0016B)	Заррука	28	[9]
<i>A. platensis</i> from the Elizabeth Aidar Microalgae Collection	Заррука	150	[10]
<i>A. platensis</i>	Заррука	68	[11]
<i>A. platensis</i> B-12619	Заррука	350	[12]

Максимальный выход С-ФЦ, полученный в данной работе составил 664,62 мг/л, что является хорошим результатом при сравнении с данными из литературных источников. Также стоит отметить, что в таблице не учтены многие факторы, влияющие на выход С-ФЦ, например: значение облучения, время культивирования, объемы культивирования, период света и темноты.

### Выводы

1. При использовании стандартной лампы для фотосинтеза и светодиодов белого цвета была достигнута наибольшая скорость роста, выход биомассы не превысил 2 г/л, при этом содержание С-ФЦ в клетках составило 19,94% и 17,93%, максимальный выход С-ФЦ составил 336,98 мг/л и 320,28 мг/л соответственно.

2. Использование светодиодов красного, зеленого и синего цвета влияло на скорость роста цианобактерии. При использовании синих светодиодов скорость роста была чрезвычайно мала. Скорость роста при культивировании в условиях облучения красными светодиодами была в два раза выше, чем при использовании зеленых. Максимальный выход С-ФЦ был достигнут при освещении светодиодами зеленого цвета, что превысило соответствующую величину при использовании красных диодов почти на 25%.

3. Использование смешанного облучения светодиодами красного и синего цвета (3:1) привело к увеличению скорости роста по сравнению с красными светодиодами и выхода С-ФЦ, что превысило величину, достигнутую при культивировании в условиях облучения лампой для фотосинтеза, в 2 раза.

## Список литературы

1. *Silva S.C. et al.* Microalgae-Derived Pigments: A 10-Year Bibliometric Review and Industry and Market Trend Analysis // *Molecules*. – 2020. – V. 25. – 3406.
2. *Saini D.K. et al.* Enhancing production of microalgal biopigments through metabolic and genetic engineering // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. – 2020. – V. 60. – I. 3. – P. 391-405.
3. *Andrade B.B. et al.* Production and characterization of *Spirulina* sp. LEB 18 cultured in reused Zarrouk's medium in a raceway-type bioreactor // *Bioresource Technology*. – 2019. – V. 284. – P. 340-348.
4. *Chaiklahan R. et al.* Enhanced biomass and phycocyanin production of *Arthrospira (Spirulina) platensis* by a cultivation management strategy: Light intensity and cell concentration // *Bioresource Technology*. – 2022. – V. 343. – 126077.
5. *Zarrouk, C.* Contribution a L'etude D'une Cyanobacterie: Influence de Divers Facteurs Physiques et Chimiques sur la Croissance et la Photosynthese de *Spirulina maxima* (Setchell et Gardner ) Geitler // *Thèse: Sciences appliquées*. – 1966.
6. *James Jarvis et al.* The Lighting Intensity of New Brunswic Innova 42R Incubator Shaker Photosynthetic Light Bank. SHORT PROTOCOL No. 30. – 2015. – P. 1-4.
7. *Труфанова А.С. и др.* Оптимизация процесса выделения фикоцианина из цианобактерии *Arthrospira platensis* // *Вестник биотехнологии и физико-химической биологии имени Ю.А. Овчинникова*. – 2019. – № 15. – С. 11-16.
8. *Bennett A et al.* Complementary chromatic adaptation in a filamentous blue-green alga // *The Journal of Cell Biology*. – 1973. – V. 58. – I. 2. – P. 419–435.
9. *Roldan-Prieto P. et al.* Combined effect of LED light color and nitrogen source on growth, pigments composition and oxidative stress in *Arthrospira platensis* // *Algal Research*. – 2024. – V. 79. – 103470.
10. *Gustavo M. Lima et al.* Influence of spectral light quality on the pigment concentrations and biomass productivity of *Arthrospira platensis* // *Algal Research*. – 2018. – V. 31. – P. 157-166.
11. *Tayebati H. et al.* Effect of various light spectra on amino acids and pigment production of *Arthrospira platensis* using flat-plate photobioreactor // *Preparative Biochemistry & Biotechnology*. – 2021.
12. *Сухинов Д.В. и др.* Современные технологии и подходы в разработке систем жизнеобеспечения обитаемых космических аппаратов // *Вестник биотехнологии и физико-химической биологии им. Ю.А. Овчинникова*. – 2020. – Т. 16. – С. 61-65.

# ИССЛЕДОВАНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ЗРЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА В УСЛОВИЯХ СУМЕРЕЧНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

*Сыч Н.В., студент;*  
*научный руководитель – Снетков В.Ю., к.т.н., доцент*  
*НИУ «МЭИ», г. Москва*

## STUDIES OF HUMAN VISION UNDER MESOPIC CONDITIONS

*Sych N.V., student;*  
*Snetkov V.Yu., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,*  
*NRU MPEI, Moscow*

### **Аннотация**

Нами в среде MATLAB разработана программа расчёта S/P фактора как отношения яркостей при ночных и дневных условиях и выбранной на основании анализа литературы модели МКО MES2 расчёта сумеречных или мезопических величин. Предложен комплексный подход определения этих величин, на основе измеренных спектров излучения светильника в абсолютных единицах, по разработанной нами программе в MATLAB и с использованием программы расчёта и проектирования уличного освещения Light-in-Night road. В последнюю «загружаются» все известные характеристики осветительной установки и асфальтового покрытия, рассчитываются освещённости и яркости в том или ином месте дорожного полотна в направлении водителя автотранспорта. В результате нам удалось определить сумеречные яркости для светодиодных светильников уличного освещения с разной коррелированной цветовой температурой  $T_{ц}$ . Например, для коррелированной цветовой температуры 5000 К получена мезопическая яркость на 9% превышающая дневную яркость. Для этого варианта нами установлено возможное сокращение количества светильников на 5 штук на километре полотна и экономия электроэнергии на 9% при выполнении норм и сохранении необходимой равномерности освещённости дороги класса В2.

### **Abstract**

*We have developed a program in MATLAB environment for calculation of S/P factor as a ratio of brightnesses under night and day conditions and selected on the basis of literature analysis of the MES2 CIE model for calculation of twilight or mesopic values. We propose a complex approach to determine these values, based on the measured emission spectra of the luminaire in absolute units, using the program developed by us in MATLAB and using the program of calculation and design of street lighting Light-in-night road. The last one “loads” all the known characteristics of the lighting installation and asphalt surface, calculates illuminance and brightness in this or that place of the roadway in the direction of the vehicle driver. As a result,*

*we were able to determine the twilight luminance for LED street lighting fixtures with different correlated color temperature  $T_c$ . For example, for  $T_c=5000$  K, a mesopic brightness 9% higher than the daytime brightness was obtained. For this variant we have established a possible reduction in the number of luminaires by 5 pieces per kilometer of the roadbed and energy savings of 9% while meeting the standards and maintaining the necessary uniformity of illumination of the road class B2.*

**Ключевые слова:** мезопическое (сумеречное) зрение, относительная спектральная эффективность, уличное освещение.

**Keywords:** *mesopic vision, spectral luminous efficiency, outdoor lighting.*

### **Введение**

С сумеречным (мезопическим) зрением человек сталкивается каждый день. Однако при расчёте и проектировании осветительных установок сумеречные условия практически не учитываются. Проведённые эксперименты [1] говорят, что лампы с низким отношением S/P фактора (отношение яркостей для ночных и дневных условий), например, НЛВД демонстрируют более низкую эффективность в мезопической зоне, чем светодиоды (СД) с более высоким отношением S/P. В работе [2] исследовалась опасность ухудшения фовеального зрения, если снижать, например, нормированную яркость. Для нас важно, что для значительного числа применений по этим результатам можно считать обоснованным переход на мезопические величины, т.к. фовеальное зрение не ухудшается. В системе сумеречного зрения нужно измерять световую яркость и так называемую «ночную» яркость. Для измерения последней нет отечественного прибора с госрегистрацией и приёмником, исправленным под  $V'(\lambda)$ . Есть другой подход, основанный на измерении спектральной плотности энергетической яркости, чтобы потом рассчитать «ночную» яркость по формуле (5). Использование более эффективного, в том числе из-за предполагаемого превышения мезопической яркости перед фотопической, светодиодного освещения в сумерках может улучшить, например, работу водителей транспорта и безопасность людей, а также снизить экономические затраты на организацию уличного освещения без ухудшения работы зрительной системы. Таким образом, задачами данной работы являются разработка программы, позволяющей рассчитать все необходимые мезопические величины; а также оценить на реальном практическом примере возможный количественный эффект от учёта особенностей сумеречного зрения. Научных отечественных и зарубежных публикаций по данному направлению немного, мезопические величины при расчёте и проектировании осветительных установок практически не учитываются,

поэтому тема доклада представляется актуальной. Мы ожидаем, что результаты такого обязательного учёта приведут к существенным техническому и экономическому эффектам.

### Методики исследования

На основании анализа литературы [3-6] нами выбран алгоритм (формулы 1 – 7) расчёта мезопических величин в соответствии с системой МКО MES2, которая универсальна для всех применений и получена на основании большого числа экспериментов:

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

где  $M(m)$  - нормирующая функция,  
 $V_{mes}(\lambda), V(\lambda), V'(\lambda)$  – относительная спектральная эффективность зрительной системы человека при сумеречном, дневном и ночном освещении соответственно,  
 $m$  - параметр, принимающий значения от 0 до 1.

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

где  $L_{e,\lambda}$  - спектральная плотность энергетической яркости,  
 длина волны  $\lambda_0 = 555$  нм.

Аналитически  $L_{mes}$  и  $m_n$  описаны в MES2 следующим образом:

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

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

где  $n$ -номер выборки,  $V'(\lambda_0) = \frac{683}{1699}$

В системе MES2 значения  $m_2, m_1, a, b$  вычисляется следующим образом:  
 при  $L_{mes} \geq 5,0$  кд/м<sup>2</sup>  $m_2 = 1$ ; при  $L_{mes} \leq 0,005$  кд/м<sup>2</sup>  $m_2 = 0$ ;  $a = 0,767$ ;  
 $b = 0,334$ ;

при  $L_{mes} \geq 3,0$  кд/м<sup>2</sup>  $m_1 = 1$ ; при  $L_{mes} \leq 0,01$  кд/м<sup>2</sup>  $m_1 = 0$ ;  $a = 0,807$ ;  $b = 0,404$ .

Мы предлагаем для определения дневной и ночной яркостей использовать программу расчёта и проектирования уличного освещения Light-in-night road. В неё можно «загрузить» выбранный светильник, все известные характеристики осветительной установки и асфальтового покрытия, а значит получить освещённости и яркости в том или ином месте дорожного полотна в направлении водителя транспорта. Для расчёта сумеречной яркости требуется знать S/P фактор, используемого источника.

Методика МКО предлагает определять S/P фактор по следующей формуле:



$$S/P = L_s/L_p \quad (5)$$

где  $L_p, L_s$  - фотопическая и скотопическая яркости соответственно:

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

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

Программа была разработана в среде MATLAB. Она использует уравнения (1) – (7). Для  $V(\lambda)$  и  $V'(\lambda)$  были взяты табличные данные через 1 нм из [7.. Работа программы: по измеренному или смоделированному спектру светильника, программа рассчитывает дневную  $L_p$  и ночную яркость  $L_s$  ИС для нахождения S/P фактора. Далее по рассчитанной в программе Light-in-Night фотопической яркости дорожного покрытия  $L_{plin}$  по формулам (1)-(5) находятся все важнейшие сумеречные величины. Дневная и ночная яркости рассчитываются для излучения одной и той же мощности и спектрального состава.

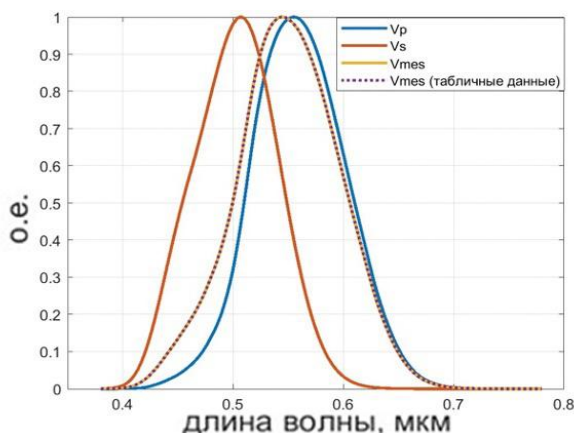


Рис. 1. Относительные спектральные эффективности для дневных, ночных и мезопических условий освещения

Нами был произведён расчёт мезопической яркости, используя разработанную программу. Спектры, выбранных на основании сравнения разных световых приборов (с помощью экспертов в расчёте и проектировании), светильников уличного освещения GALAD Галеон XS LED 40 Вт и GALAD Урбан М 140 Вт были измерены в абсолютных единицах  $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{ср} \cdot \text{мкм}}$  (рис. 2 и 3) в аккредитованной и лицензированной

лаборатории Испытательного центра светотехнической продукции ВНИСИ им. С.И. Вавилова.

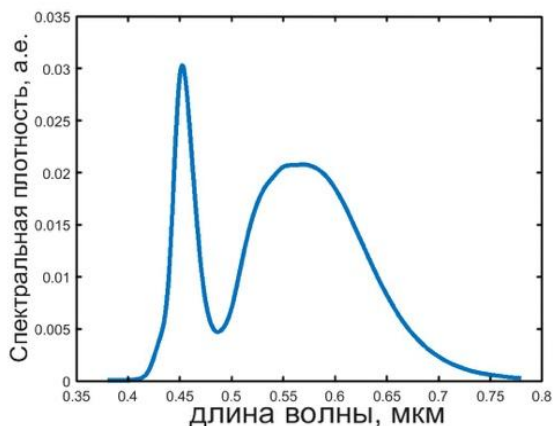


Рис. 2. Спектр светильника GALAD Урбан М 140 Вт

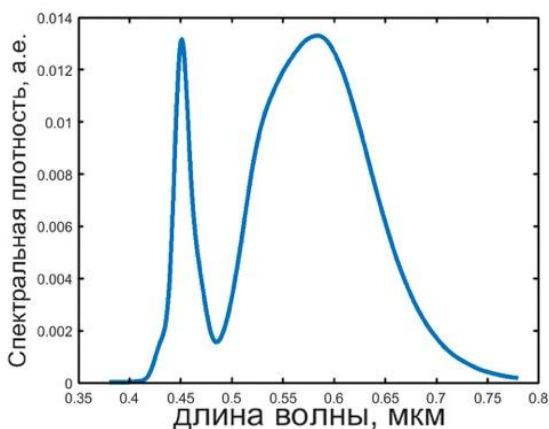


Рис. 3. Спектр светильника GALAD Галеон XS LED 40 Вт

### Результаты

Разработана программа в среде MATLAB, которая позволяет рассчитать важнейшие характеристики для мезопического освещения согласно всем рекомендациям МКО.

Используя возможности изменения спектров излучения светодиодных светильников удалось получить сумеречную яркость, относительную спектральную эффективность при сумеречном зрении и другие показатели при коррелированной цветовой температуре  $T_c$  от 3000 К до 7000 К (табл.1).

Наибольшее превышение мезопической яркости по сравнению с дневной составило 11,6% и было получено для светодиодного излучения с  $T_c = 7000$  К.

Таблица 1. Результаты расчёта по программе при изменении спектра излучения

Т <sub>ц</sub> , К	S/P	L <sub>mes</sub> , кд/м <sup>2</sup>	Прирост сумеречной яркости по отношению к дневной яркости, %
7000	2,0666	0,68	11,6
6500	2,0130	0,68	11,1
6000	1,9545	0,67	10,6
5500	1,8875	0,67	9,9
5000	1,8114	0,67	9,3
4500	1,7247	0,66	8,4
4000	1,6209	0,65	7,4
3500	1,4945	0,64	6,0
3000	1,3297	0,63	4,2

Было изучено несколько программ расчёта и проектирования осветительных установок уличного освещения. В итоге выбрана отечественная программа Light-in-Night с имеющейся базой данных индикатрис коэффициентов яркости для реальных асфальтов характерных для России. По предложенному нами способу нахождения сумеречных характеристик был произведён расчёт и проектирование осветительных установок уличного освещения в программе Light-in-Night. Для проектирования освещения со светильником GALAD Урбан М 140 Вт была выбрана дорога категории А, класс объекта А3. (6 полосное полотно в центре города). Для проектирования освещения со светильником GALAD Галеон XS LED 40 Вт – дорога категории В, класс объекта В2 (4 полосное полотно жилой застройки в центре города). Нормы освещения были взяты из СП 52.13330.2016, а при завершении расчёта успешно выполнены. Благодаря полученным в испытательном центре светотехнической продукции спектрам излучения в абсолютных единицах для выбранных светильников, удалось, как нам представляется достаточно точно, приблизиться к реальным условиям уличного освещения.

### Обсуждение

Используя программу в среде MATLAB по моделированию спектра, мы определили сумеречную яркость для светильников, работающих при Т<sub>ц</sub> = 5000 К, на 9% превышающей дневную яркость. Кроме того, удалось подтвердить сведения из [1], что при большей дневной яркости прирост мезопической яркости меньше, чем при снижении дневной: при L<sub>p</sub>=1,54 кд/м<sup>2</sup>: прирост мезопической перед фотопической яркостью – 2,7%, а для L<sub>p</sub>=0,61 кд/м<sup>2</sup> – 5,6%. Этот факт, вместе с применением в нашей работе всех рекомендаций МКО [3-5], в том числе и аккуратно переведённой нами с английского языка, свидетельствует о достоверности результатов.

## Выводы

Нами предложен комплексный подход определения мезопических величин, используя спектры излучения светильника в абсолютных единицах, по разработанной нами программе в MATLAB с использованием программы расчёта и проектирования уличного освещения Light-in-Night road. Так можно избавиться от некоторых недостатков, которые были бы в варианте с измерением ночной яркости или спектров излучения, например, паразитных засветок и сложностью измерения этих характеристики в направлении автомобилиста. Из результатов прежде всего отметим наибольшее и значимое превышение мезопической яркости по сравнению с дневной для светильников уличного освещения в 11,6%, которое было получено для светодиодного излучения с  $T_{ц} = 7000$  К. Также важно для практики, что удалось найти сумеречную яркость для светильников с  $T_{ц} = 5000$  К на 9% превышающую дневную яркость. Для этого варианта нами получено возможное сокращение количества светильников на 5 штук (каждый светильник стоит 29 тыс. руб.) или на 9% на километре дороги класса В2 и экономия электроэнергии также примерно на 9%. При переходе от  $T_{ц}$  4000 к 5000 К можно сократить число светильников на 2 штуки (на 3,5%) на километре дороги.

## Список литературы

1. *Ильина Е.И.* Наружное светодиодное освещение автомагистралей и улиц городов// Полупроводниковая светотехника. – 2010. – № 4. – С. 50-55.
2. *Akashi, Y., Ohashi, R. and Uchida, T.* The Effect of Luminance Reduction on Foveal Task Performance while Implementing Mesopic Photometry in Street Lighting Standards // Journal of Science and Technology in Lighting, 2023.
3. CIE 191: 2010 Recommended System for Mesopic Photometry based on visual Performance.
4. CIE TN 004:2016 Использование терминов и единиц в фотометрии – реализация системы МКО для мезопической фотометрии.
5. CIE TN 007:2017 Промежуточная рекомендация по практическому применению системы CIE для мезопической фотометрии в наружном освещении.
6. *Гудмен Т.* Сумеречная фотометрия: задача почти решена//Современная светотехника. – 2010. – №4. — с. 61-65.
7. BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES, 2019. BIMP – Principles Governing Photometry, 2nd Edition.

**АРХИТЕКТУРА И  
СВЕТОВОЙ ДИЗАЙН**

**ARCHITECTURE &  
LIGHTING DESIGN**

# ЕСТЕСТВЕННЫЙ СВЕТ В ХРАМЕ ВО ИМЯ СВЯТОГО АПОСТОЛА И ЕВАНГЕЛИСТА ИОАННА БОГОСЛОВА

*Аверкова О. А.*

*Научный руководитель – Толкачева К. П. – к.т.н. доцент,  
отделение материаловедения, ТПУ, г. Томск*

## NATURAL LIGHT IN THE CHURCH IN THE NAME OF THE HOLY APOSTLE AND EVANGELIST JOHN THE THEOLOGIAN

*Averkova O. A.*

*Research advisor – Tolkacheva K. P. – Ph.D. Associate Professor,  
Department of Materials Science, TPU, Tomsk*

### **Аннотация**

Главная задача освещения в храме – способствовать переживанию человеком религиозного опыта и вызывать эстетические чувства, влияющие на духовное состояние. Освещение храмового пространства имеет долгую историю и свои традиции. Древние зодчие, используя естественный свет, добивались максимальной выразительности архитектурных форм религиозных сооружений.

В данной статье с помощью компьютерного моделирования произведен расчет естественного освещения в течении 2024 года во время праздничных и еженедельных богослужений в храме во имя святого апостола и евангелиста Иоанна Богослова, в данный момент не построенном. Кроме количественного измерения освещенности, исследовано наполнение светом пространства и проанализированы эффекты, создаваемые прямым и диффузным солнечным светом в пространстве храма во время богослужений.

По уровню освещенности выработан режим работы искусственного освещения в разных частях храма. Также составлены рекомендации по организации системы искусственного освещения, для достижения эффектов, создаваемых естественным светом, для поддержания иерархии пространств внутри храма и организации достаточного уровня освещения для безопасного выполнения зрительных работ служителями храма.

### **Abstract**

*The main purpose of lighting in a temple is to facilitate a person's religious experience and to evoke aesthetic feelings that influence the spiritual state. The lighting of the temple spaces has a long history and its own traditions. Ancient architects, using natural light, achieved maximum expressiveness of architectural forms of religious buildings.*

*In this article, computer modeling was used to calculate natural lighting throughout 2024 during holiday and weekly services in the church dedicated to St. John the Apostle and Evangelist, which is not yet constructed. In*

*addition to quantitatively measuring illumination, the study explored the distribution of light within the space and analyzed the effects created by direct and diffuse sunlight in the church during services.*

*The mode of operation of artificial lighting in different parts of the temple has been developed according to the level of illumination. Also, there were made recommendations for organizing the artificial lighting system to achieve effects created by natural light, to maintain the hierarchy of spaces inside the temple and ensure a sufficient level of lighting for the safe performance of visual work by temple servants.*

**Ключевые слова:** архитектурное освещение, освещение храма, естественное освещение, компьютерное моделирование.

**Keywords:** *architectural lighting, temple lighting, natural lighting, computer modeling.*

### **Введение**

Свет в православной традиции имеет огромное значение. Свет – это третья, что сотворил Бог и отделил от тьмы. Светом жизни, «нетварным светом», именуют Христа, а в воскресном тропаре указывается, что победа над смертью была одержана «Блистанием Божества».

Задача архитектора и светотехника – с помощью света «земного» вызвать религиозные чувства и показать Свет «нетварный», «непорочный». С помощью архитектурных форм рассказать о свете и показать его, напомнить о мире Горнем и победе над смертью. «Храм – это не «вещь», а прежде всего «свет» в понимании верующего» [1].

Для религиозных сооружений традиционно и привычно освещение от солнца и от огня. Искусственное освещение в храмах частично заменяет огонь, подражая ему в традиционных светильниках в храме – хоромах и бра. Но современное освещение предлагает гораздо больше возможностей, чем просто замена источников света [2].

В данной работе проведен анализ естественного освещения в храме во имя святого апостола и евангелиста Иоанна Богослова, продемонстрированы особенности световой среды в храме и символичность сакрального пространства, разработаны рекомендации для создания гибкой системы освещения, способной задавать тип восприятия внутреннего убранства храма и влияющей на мироощущение человека.

### **Метод исследования**

Храм во имя святого апостола и Евангелиста Иоанна Богослова не построен, но будет располагаться по адресу г. Томск, пр. Академический, д. 41. Храм относится к приходскому храму, здание крестово-купольное,

одноэтажное. По внутреннем объемно-планировочным решениям храм трехнефный, с четырьмя колоннами, структура трехчастная, форма прямоугольная, со встроенной апсидой, без хоров.

Проектирование осуществлялось в программе DIALux.evo. Для количественной оценки освещения расположены пять плоскостей: в алтаре и на амвоне на высоте 1,5 метров (высота, на которой священник читает, держа книгу в руках), в притворе и серединной части полу, и рабочая плоскость певчих – на высоте 1,5 под углом 60°.

Расчет произведен в течении года, в субботу и перед праздниками 18:00 и 20:00 и в воскресенье, в двенадцатые праздники и в дни памяти святого Иоанна Богослова 8:00, 10:00 и 13:00. Естественная освещенность рассчитывалась при облачном небе. Также произведен световой расчет в день весеннего равноденствия – 22 марта.

### Результаты

На рисунках 1 – 3 представлены результаты расчета. По СП 391.1325800.2017 «Храмы православные. Правила проектирования» [3] в притворе средняя освещенность должна быть на уровне 20 лк, в средней части 50 лк, в алтарной 200 лк. По СП 52.13330.2016. «Естественное и искусственное освещение» [4] освещенность должна быть не менее 300 лк для певчих и для священника по характеристикам зрительной работы.

Количество света в течение дня изменяется во всех пространствах одинаково, вне зависимости от амплитуды, характер кривых одинаковый.

Достаточная освещенность наблюдается исключительно в летнее время, а для певчих необходим дополнительный свет. Естественное освещение отсутствует во время проведения богослужения полностью в конце декабря, и с августа по апрель недостаточно, когда присутствует.

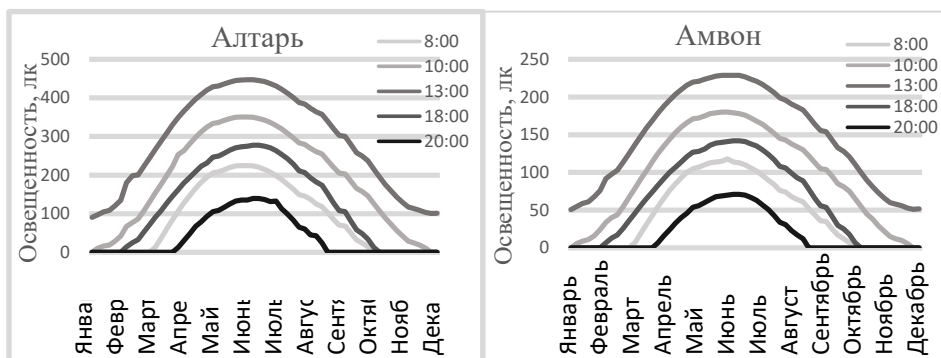


Рис. 1. Естественная освещенность в пространстве алтаря и амвона на высоте 1,5 м



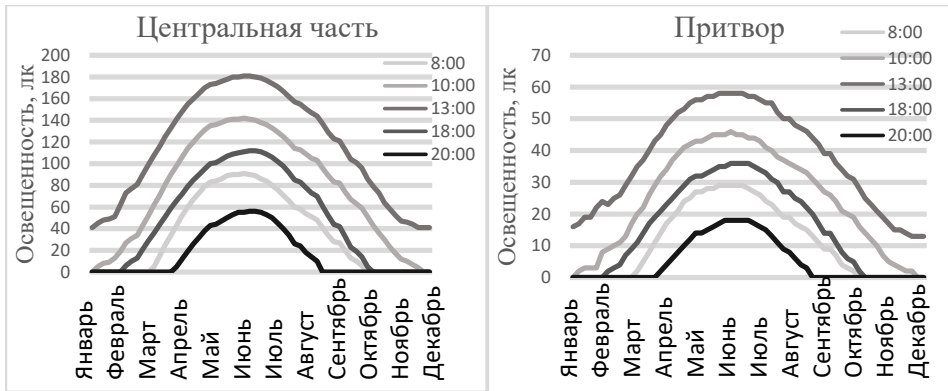


Рис. 2. Естественная освещенность в пространстве центральной части и в притворе на высоте 0,0 м

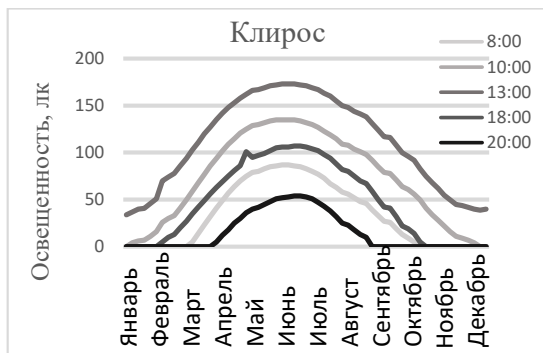


Рис. 3. Естественная освещенность на плоскости для певчих под наклоном 60° на высоте 1,5 м

Пространство в барабане в любое светлое время освещено лучше, чем любое другое. Вне зависимости от направления лучей яркость стен под окнами выше, чем полукруглый потолок, как заметно на рисунке 4.

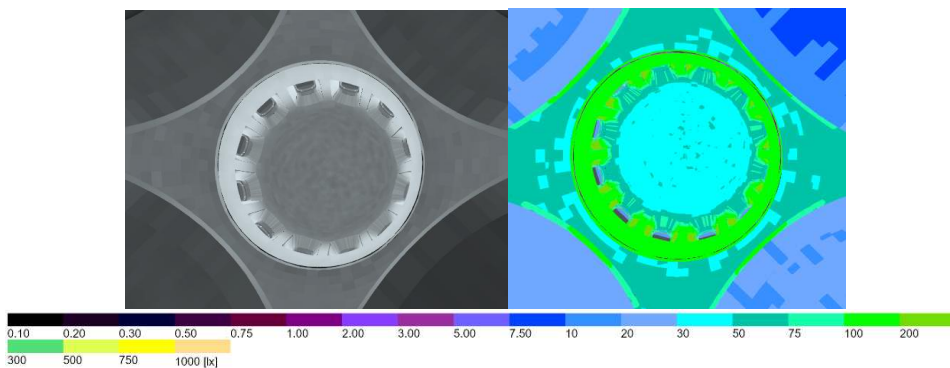


Рис. 4. Подкупольное пространство в 10:00 с текстурой и в фиктивных цветах

В пространстве на уровне первого этажа света гораздо меньше, чем в барабане, лишь в утренние часы в алтаре освещенность может соперничать с подкупольным пространством из-за восьми окон. Свет в алтаре преимущественно падает на пол, в аспиде отраженным светом заливается достаточно равномерно полукруглый потолок, в боковых частях вверх помещения полутемен, как видно на рисунке 5.

Боковые нефы освещены двумя небольшими окнами с каждой стороны, в центральном нефе основной источник света – окна в барабане и, иногда, свет от окон в боковых нефах или алтаре. Потолок в течение всего дня находится в тени и освещен только отраженным светом.

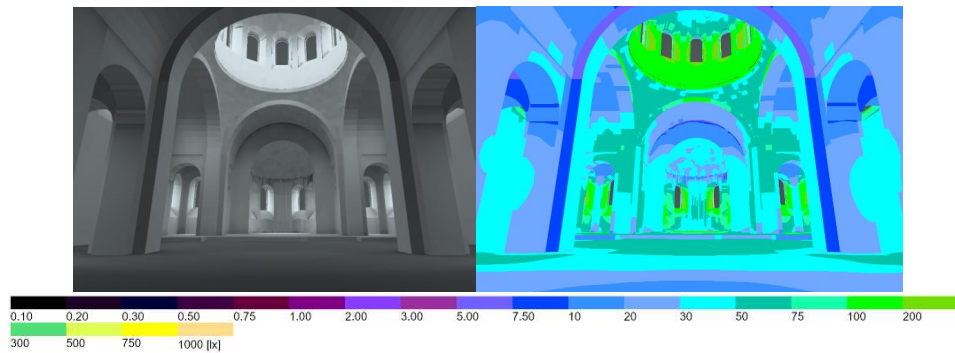


Рис. 5. Естественное освещение храма в 18:00 с текстурой и в фиктивных цветах вид на алтарь

Притвор не имеет собственных окон, свет в него попадает из центральной храмовой части. Само помещение темное, что заметно на рисунке 6, это создает несколько давящее впечатление, усиливающее желание выйти в центральную часть или остаться в тени, но обратить все свое внимание вперед, к алтарю.

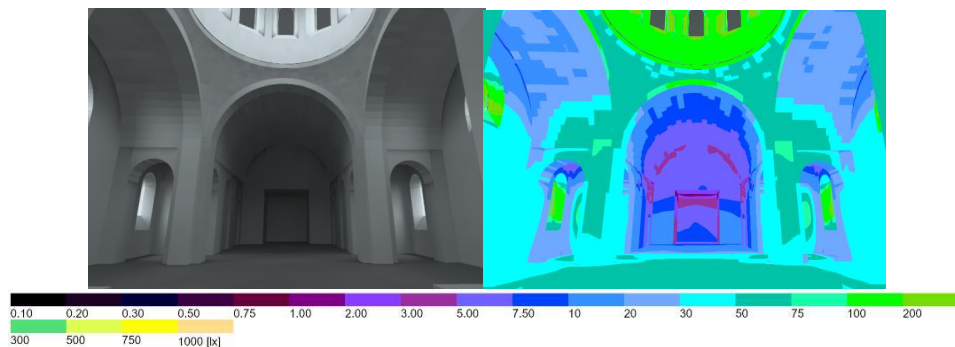


Рис. 6. Естественное освещение храма в 18:00 с текстурой и в фиктивных цветах вид на притвор

## **Обсуждение**

По расчету естественного освещения выявлено, что на клиресе необходимо предусмотреть отдельную осветительную установку, что упоминается в СП 391.1325800.2017 «Храмы православные. Правила проектирования» [3]. Искусственное освещение будет использоваться в вечерние время в летние дни и утренние и вечерние службы зимних дней.

Естественный свет в храме поддерживает иерархию пространств – вертикальной – наиболее освещена верхняя часть храма в барабане, и горизонтальной – алтарь, главная, недоступная мирским людям часть храма, из-за расположения и архитектуры наиболее освещен естественным светом. [5]

Традиционные светильники также поддерживают иерархичность расположением и направленностью света в верхнюю полусферу, но на наш взгляд, недостаточно: необходима дополнительная подсветка подкупольного пространства. В притворе также необходима подсветка потолка – традиционные светильники, настенные бра, при достижении требуемых 20 лк создают некрасивые пятна пересвеченности на стенах.

Кроме рассеянного света желательно использовать направленный свет, имитирующий солнечные лучи, отличающиеся резким очертанием. Драматичное освещение создает четкие, яркие акценты. Фокус внимания – иконостас и амвон, на котором в иногда находится служитель храма.

Также в зависимости от момента богослужения и традиций прихода освещение пространства изменяется. Во время покаянного канона свет минимален, чтобы сконцентрировать человека на себе, в праздничные литургии свет включен весь, что создает ощущение торжества.

Комбинируя различные группы светильников возможно создавать совершенно разные по своему воздействию световые пространства: акцентировать внимание на одном объекте или стимулировать целостное восприятие, способствовать погруженности человека в себя. Световая среда способна гибко подстроиться под разные задачи.

## **Выводы**

В данной работе проведено исследование влияния архитектуры, расположения храма, традиций, символических и эстетических особенностей восприятия света на церковное светопространство.

Физическое пространство храма разделено на мир горней и земной, свет выявляет и демонстрирует иерархию, но он же связывает два мира, сакрализируя и объединяя пространство.

### Список литературы

1. *Петров-Спиридонов Н.А.* Семантика «тварного» и «нетварного» света в русском церковном зодчестве / Н.А. Петров-Спиридонов // Architecture and Modern Information Technologies. – 2021. – №3(56). – С. 195–213
2. *Ивановская В.И.* Свет и пространство в интерьере православного храма / Ивановская В.И. // Тезисы докл. XXVII Международных Рождественских образовательных чтений (Москва, 22–25.01.2019). – Москва, 2019. – С 306–311.
3. СП 391.1325800.2017 Храмы православные. Правила проектирования. Дата введения: 2018-06-23.
4. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23–05–95. Дата введения: 2017-05-08.
5. *Ильвицкая С.В.* Роль освещения в интеграционных и дифференциальных процессах зрительного восприятия архитектуры интерьеров храмов / Ильвицкая С.В. Щепетков Д.Н. Червяков М.М. // Светотехника – 2021 – № 4 – С. 12-20.

## АРХИТЕКТУРНОЕ ОСВЕЩЕНИЕ ПРОЕЗДНОЙ АРКИ КАК ЭЛЕМЕНТА ЗДАНИЯ И ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

*Козьминых В.С., студент; Пritулина Д.О., студент;*

*Карпенко В.Е., к.архитектуры, профессор;*

*Пономаренко Н.В., доцент, ДВФУ,*

*г. Владивосток*

## ARCHITECTURAL DRIVEWAY ARCH LIGHTING AS AN ELEMENT OF THE BUILDING AND URBAN SPACE

*Kozminykh V.S., student; Pritulina D.O., student;*

*Karpenko V.E., candidate of architecture, professor;*

*Ponomarenko N.V., associate professor, FEFU, Vladivostok*

### **Аннотация**

В статье представляется идея освещения въездной или входной арки как одного из главных смысловых элементов архитектуры и фасада здания, в котором используется пластика и декор классического архитектурного стиля и ордерной системы, и городской среды, где арка может быть арт-объектом и оформлять психологически комфортное пространство. Дневной свет выявляет архитектонику арочной конструкции с образно-зрительной передачей ощущения ее конструктивной работы, прочности, устойчивости. В ранних фундаментальных и детальных исследованиях в результате экспериментов и опытов были найдены эмпирические соотношения показателей яркостей в композиционных элементах арочной формы и системы (свод, опорные стены и задний замыкающий стена-фон), тем самым выражается световая тектоника конструкции. В современном светодизайне возможно активное использование новых художественных и эмоциональных подходов при освещении арок средствами современных осветительных устройств, изобразительного искусства, картин художников и их авторской техникой рисования. В работе раскрывается метод светомоделирования проездной арки жилого дома в структуре неоклассической пластики фасада и как элемента городской среды. Дается светотехнический и светокомпозиционный анализ световых эффектов и примененных источников света.

### **Abstract**

*The article presents the idea of lighting the entrance arch as one of the main semantic elements of the architecture and facade of the building, which uses the plasticity and decor of the classical architectural style and order system, and the urban environment, where the arch can be an art object and decorate a psychologically comfortable space. Daylight reveals the architectonics of the arched structure with a figurative and visual transmission of the feeling of its constructive work, strength, stability. In early*

*fundamental and detailed studies, as a result of experiments and tests, empirical relationships of brightness indicators in the composite elements of the arched shape and system (vault, supporting walls and rear closing wall-background) were found, thereby expressing the light tectonics of the structure. In modern lighting design, it is possible to actively use new artistic and emotional approaches when illuminating arches by means of modern lighting devices, fine art, paintings by artists and their original drawing techniques. The work reveals a method of light modeling of the driveway arch of a residential building in the structure of neoclassical plasticity of the facade and as an element of the urban environment. A lighting and light composition analysis of lighting effects and light sources used is provided.*

**Ключевые слова:** светоцветовое моделирование, изобразительное искусство, архитектурная пластика, Ван Гог, Шагал, городская среда  
**Keywords:** light-color modeling, fine arts, architectural plastic, Van Gogh, Chagall, urban environment

### **Введение**

Традиционно, арочные конструкции воспринимаются при дневном свете, форма которых ясно понимается как прочная и устойчивая. Однако, вечером архитектурная пластика здания и конструкции меняются при искусственном свете. Световой образ может быть основан на 2 принципах – искусственное освещение подобное дневному или создание контробраза. Актуальность работы выражается в использовании художественного подхода с использованием композиционной и цветовой палитры картин художников при светомоделировании, что дает новые возможности создания нового светоцветового контробраза, привлечения посетителей к объекту среды и конкретному городскому месту за счет художественной выразительности. В данном случае научная задача заключается: 1) В исследовании функций фасадного освещения и создании соответствующего рационального решения. 2) В изучении технических показателей освещения.

### **Анализ существующих исследований в области световой тектоники и художественного освещения**

При моделировании световой тектоники исторического объекта логично применяется световой образ подобный дневному с заливающим прожекторным освещением [1]. В современных научных работах и экспериментах с целью выражения тектоники арочно-купольно-сводчатой конструкции были получены усредненные соотношения яркостей наружной стены, яркого свода и темного фона –  $L_{стена}:L_{свод}:L_{фон} = 5:20:1$ ; яркостные соотношения стены и свода –  $L_{стена}:L_{свод} = 1:4$ ; равномерное освещение стены и градиент «арочной ячейки» с

нарастанием яркости к своду [2]. Предложены ночные визуальные образы и компьютерные модели поярусных арок Колизея и их яркостные соотношения при светомоделировании: *яркостной позитив, если  $L_1:L_2=2:1$ , и яркостной негатив, если  $1:3 \leq L_1:L_2 \leq 1:6$*  [1]. Освещение арочной проездной конструкции также связано с использованием эффекта одновременного цветового контраста, который может подчеркнуть глубинность ее архитектурной композиции [3]. В ранних исследованиях были представлены результаты светомоделирования подземных переходов методами достижения образности с использованием цветовой палитры художников [4]. Световые проекции представляются в рамках фестивалей света, где здания превращаются в общественные экраны, показывающие художественные работы, световые шоу и видеомэппинг в соответствии с конструкцией и архитектурной пластикой фасада [5] (рис. 1а,б). Световые инсталляции в виде светодиодных шнуров оживляют и превращают внутреннее пространство в уникальный арт-объект [6] (рис. 1в). В городской среде активно используются гобо-технологии, позволяющее проецировать изображение на поверхности зданий при декорировании городских пространств во время праздников [7].

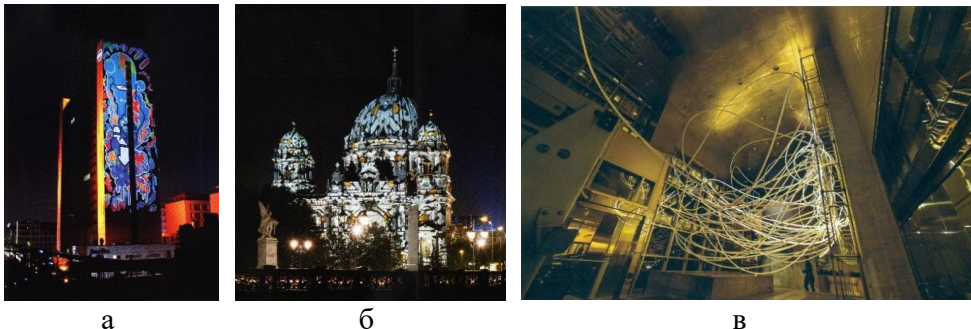


Рис. 1. Изучение аналогов освещения – световые проекции и структуры [5, 6]: а – INZ-Tower Projection Berlin. Берлин, ФРГ (Skudi Optics, 2007 г.); б – Берлинский кафедральный собор (Panorama, 2006 г.); в – «Breathless Maiden Lane» – световая инсталляция из СД шнуров. Нью-Йорк, США (Grimanesa Amorós, 2014 г.)

### Методы исследования

1. *Моделирование светового образа проездной арки в структуре неоклассической пластики фасада жилого дома с использованием картин знаменитых художников.* Проектное решение заключается в превращении тёмной и небезопасной арки в безопасное и необычное пространство. Светоцветовой приём основан на произведениях Винсента Ван Гога «Ирисы» и Марка Шагала «Красный конь» (рис. 2). Выбор картин не случаен, так как их цветовые гаммы содержат комплиментарные цвета: синий-оранжевый, зеленый-красный. Освещение по мотивам цветовой палитры произведений

изобразительного искусства создает ощущение полного погружения в фантазийный мир художника. Проектное решение имеет 2 варианта воплощения: 1) На обеих сторонах арки расположены светодиодные панели с минимальными показателями яркости, для комфортного прибывания человека в арке. 2) Использование гобо-проекторов. Грани кессонов внутри арки освещены по-разному в зависимости от направления для максимального выявления рельефа. Свет создает наслаивание цветов, отдаленно напоминающих технику художников. Светодиодные линейные приборы расположены внутри кессонов, на карнизах, по обеим боковым стенам арки, периметру пандуса, закрепленных в соответствии с архитектурными членениями. Световые карнизы подчеркивают глубинность композиции, создают градиент арочно-сводчатого перекрытия, достигается необходимый эффект световой тектоники, не нарушающий дневной образ арочного проезда (табл. 1). ОУ создают необходимое горизонтальное освещение, а ход лучей задаёт направление движения.

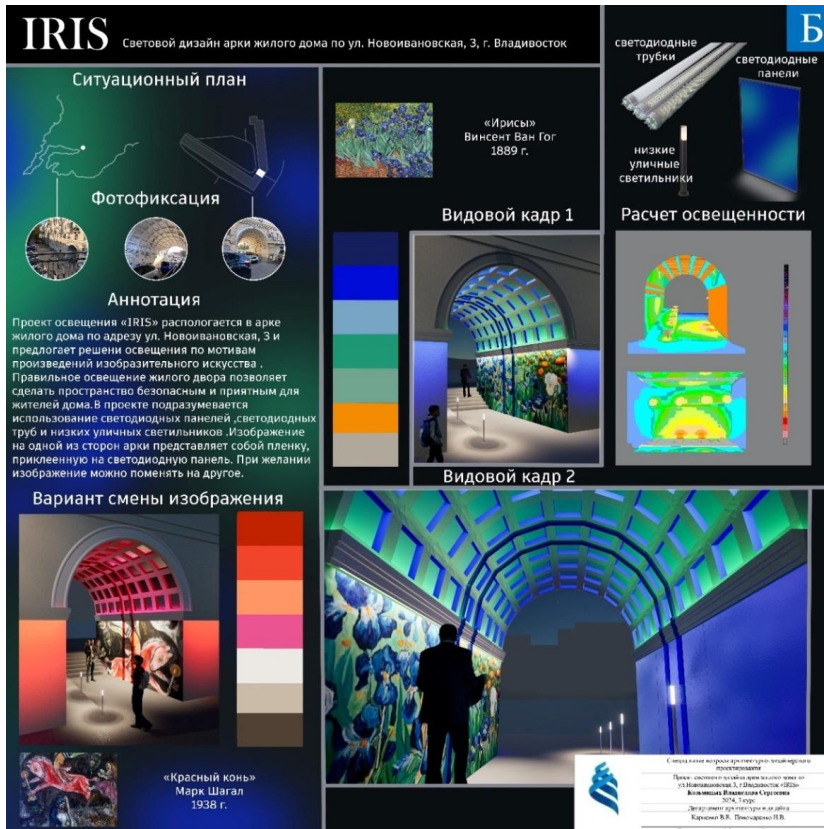
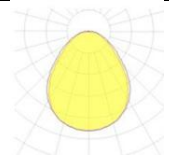
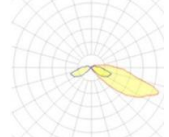
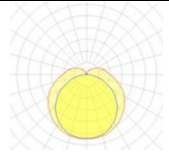


Рис. 2. Проект освещения, компьютерное моделирование и расчет освещенности проездной арки жилого дома по мотивам картины Винсента Ван Гога «Ирисы» (автор В.С. Козьминых)



**Таблица 1.** Светотехнический анализ: параметры ИС, световые эффекты, цветовая температура и освещенность при достижении художественного освещения

<i>тип световой формы</i>	<i>КСС светораспределение</i>	<i>Цветовая температура, <math>T_{цв}, K</math></i>	<i>световой эффект</i>	
светодиодная панель ( <i>световая проекция</i> )		3000	сложное свечение разной интенсивности и цветовых оттенков, световое проецирование	
светильник низкопольный		2700	ровный теплый свет на небольшой высоте	
светодиодная трубка		4000	подсвечивание конкретной плоскости яркостным градиентом вверх или вниз	
<i>условное соотношение освещенностей согласно модели Dialux evo</i>	<i>стена, E, люкс (мин/макс)</i>	<i>свод, E, люкс (мин/макс)</i>	<i>фон E, люкс</i>	
	~270/~3800	~270/~3800	~1300	

2. *Изобразительное искусство как средство создания светового образа арочного проезда в городской среде.* Объект разработки освещения – пешеходный пустой, «серый», неблагоустроенный проход ведущий к цветочному магазину и галерее «Центр Искусств» во Владивостоке (рис. 3). Существующее освещение происходит за счёт придорожных фонарей и света фар автомобилей. Идея светодизайна заключается, в создании благоприятной и комфортной среды для работников и прохожих.

Данный арочный проход может быть неординарным арт-объектом с использованием картины Марии Башковой «Рассвет над Золотым Рогом», являющимся одним из холстов, принадлежащий галерее. Были выбраны ОУ из светодиодных лент или «гибкого неона» по причине их пластичности, износоустойчивости, а также источник направленного света. Предполагается что рисунок созданный с помощью лент будет напоминать рельеф города Владивосток.

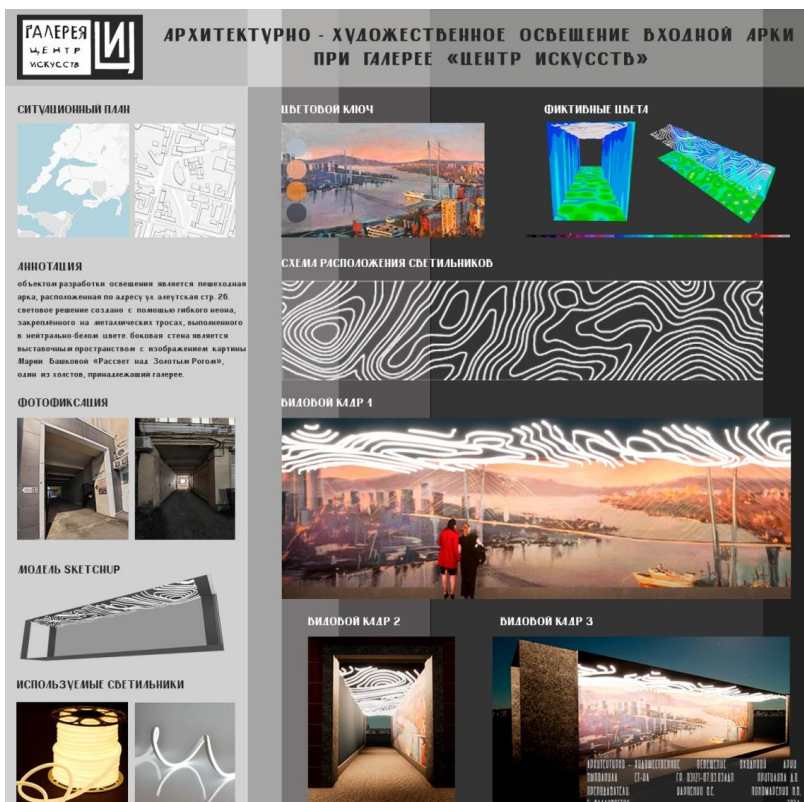


Рис. 3. Производство изобразительного искусства как основа компьютерного и светотехнического моделирования проездной арки в центральной части города (автор Д.О. Притулина)

Таблица 2. Светотехнический анализ: параметры ИС и световые эффекты при создании художественного освещения проездной арки в городской среде

<i>тип ОУ</i>	<i>КСС, светораспределение</i>	<i>Ф, лм</i>	<i>световой эффект</i>
подсветка картины		8500	направленное подсвечивание элементов
подвесное светографическое полотно		840	просвечивание, выявление формы

### Результаты

Разработка рациональных и необычных проектных решений в соответствии с задачами фасадного освещения. Применённые художественные приемы освещения подчеркивают пластику фасада

жилого дома, глубинное пространство проездной арки и атмосферность городской среды и местности средствами цветного и заливающего света, горизонтального освещения и декоративных светодиодных лент. Безопасность перехода в вечернее время достигается средствами декоративного освещения.

### **Обсуждение**

В дальнейшем при разработке световой тектоники арочных проездов могут быть применены рекомендованные яркостные соотношения сводов, боковых стен и замыкающих перспективу арки стен. Освещение арочных проездов может формировать элемент идентичности и эффект «духа места» (*Genius Loci*) в центральной исторической части города.

### **Выводы**

В современном световом дизайне возможен широкий спектр приемов освещения при формировании различных художественных качеств архитектуры и архитектурно-световой среды города средствами световой тектоники, цветного освещения с палитрой и изобразительной живописной техники всемирно известных художников. Результаты комплексной методики показывают, что фотофиксация и погружение в контекст, использование изобразительного искусства и современных световых технологий, анализ аналогов светового дизайна позволяют выявить актуальные приёмы освещения и применить их в элементах предметно-пространственной среды, наполнить архитектурное пространство новыми смыслами и символикой, улучшают психологический климат.

### **Список литературы**

1. *Справочная книга по светотехнике* / Под ред. Ю.Б. Айзенберга, Г.В. Бооса. 4-е изд. перераб. и доп. М., 2019. 892 с., ил.
2. *Батова А.Г.* Принципы проектирования наружного освещения архитектурных объектов. Автореферат диссертации ... кандидата архитектуры. М., МАРХИ, 2012. 26 с.
3. *Щепетков Н.И.* Светодизайн города и интерьера. Москва, 2021. 456 с.
4. *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.
5. *Bright. Architectural Illumination and Light Installation.* 2008 Frame Publishers, Amsterdam. 2008 dgv – Die Gestalten Verlag GmbH & Co. KG, Berlin. 352 p.
6. *Bright 2. Architectural Illumination and Light Installation.* Frame Publishers, Amsterdam, 2015. 368 p.
7. *Ильина М.С.* Исследование влияния спектральных характеристик и световой графики на рождественскую атмосферу на примере кампуса. Выпускная квалификационная работа (диссертация) ... квалификация магистр. СПб., ИТМО, 2022. 114 с.

## **ПРИНЦИПЫ МОДУЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОСВЕЩЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ МОБИЛЬНЫХ ГОСПИТАЛЕЙ**

*Лисянская А.К. студент; Монина Т.А. к. иск. профессор;  
Антонов И.И., ст. преподаватель, РГХПУ им. С. Г. Строганова,  
г. Москва*

## **PRINCIPLES OF A MODULAR LIGHTING SYSTEM USING THE EXAMPLE OF MOBILE HOSPITALS**

*Lisyanskaya A.K. student; Monina T.A., PhD in Art History,  
Professor; Antonov I.I., Senior Lecturer, Moscow State Stroganov  
University of Design and Applied Arts, Moscow*

### **Аннотация**

Освещение играет важную роль в обеспечении высокого уровня медицины. Современный рынок представлен широким ассортиментом осветительных приборов для больниц и поликлиник. Однако отсутствует специализированное оборудование для проведения процедур в тяжелых условиях мобильных госпиталей. В работе военных медиков на передовой и недалеко от линии фронта важна быстрота оказания помощи пострадавшим. При этом необходим баланс между скоростью и качеством работы. Приблизиться к его достижению позволяет система освещения, где используется принцип модульности. Определение ее оптимальных компонентов в условиях временного госпиталя - цель данного исследования.

Для ее достижения были использованы основные методы проектирования в промышленном дизайне. На основе наблюдений за целевой аудиторией были сформированы основные пользовательские сценарии. Их анализ показал ряд проблем, с которыми сталкиваются медики во время работы в мобильных госпиталях в том числе в зонах военных конфликтов. Были выведены основные критерии будущей системы освещения. Сначала они получили свое воплощение в поисковых скетчах, а после проверки их на эргономичность - в итоговых визуализациях.

Методы дизайн-проектирования осветительного оборудования позволили решить ряд задач:

- 1) обеспечение возможности сборки необходимого набора светильников за счет узкой типологии модулей;
- 2) достижение наибольшей компактности компонентов, чтобы их минимальный набор для организации одного рабочего пространства могли перенести 1-2 человека;
- 3) минимизация риска случайных ошибок в работе с оборудованием.

## **Abstract**

*Lighting plays an important role in ensuring a high level of medicine. The modern market is represented by a wide range of lighting devices for hospitals and polyclinics. However, there is no specialized equipment for performing procedures in the harsh conditions of mobile hospitals. In the work of military medics on the front line and near the front line, the speed of providing assistance to victims is important. However, a balance is needed between speed and quality of work. The lighting system, which uses the principle of modularity, allows you to get closer to achieving it. The purpose of this study is to determine its optimal components in a temporary hospital.*

*To achieve this, the basic design methods in industrial design were used. Based on observations of the target audience, the main user scenarios were formed. Their analysis showed a number of problems that doctors face while working in mobile hospitals, including in war zones. The main criteria of the future lighting system were derived. First, they were embodied in search sketches, and after checking them for ergonomics - in the final visualizations.*

*The methods of design design of lighting equipment allowed us to solve a number of problems:*

- 1) ensuring the possibility of assembling the necessary set of fixtures due to the narrow typology of modules;*
- 2) achieving the greatest compactness of components so that 1-2 people can transfer their minimum set for the organization of one workspace;*
- 3) minimizing the risk of accidental errors in working with equipment.*

**Ключевые слова:** *Тактическая медицина, освещение военных госпиталей, сценарное проектирование, критерии будущего продукта, пластика модулей, эргономика, возможности и означающие в дизайне.*

**Keywords:** *Tactical medicine, lighting of military hospitals, scenario design, criteria for the future product, plastic modules, ergonomics, capabilities and design signifiers.*

## **Введение**

Обеспечение доступности медицины - актуальная проблема в современном мире. Жизнь общества нередко нарушают чрезвычайные ситуации, когда более остро встает вопрос о сохранении здоровья и жизни и увеличивается спрос на оказание медицинской помощи. Нередко экстремальные условия меняют подход медиков к своей работе. Так, во время военных конфликтов применимо отдельное направление - тактическая медицина. Это совокупность медицинских и тактических мероприятий, проводимых непосредственно на поле боя и на всем протяжении догоспитального этапа оказания первой и расширенной первой помощи раненому, направленных на устранение угрожающих

жизни состояний, предотвращение развития тяжелых осложнений и поддержание жизненно важных функций организма в ходе эвакуации.

Однако в реальности нередко случается так, что необходимо производить диагностику или хирургические операции во временных оперативно оборудованных госпиталях недалеко от линии соприкосновения. Операционные, наскоро обустроенные в гаражах или заброшенных домах, не оснащены необходимой техникой, в том числе осветительной. Так например, бестеневой хирургический светильник заменяют несколькими лампами, размещенными по периметру места проведения операции. Подобное решение осложняет работу и не позволяет регулировать направление и интенсивность света, что важно для качественной работы хирургов.

Следовательно, проект специализированной системы освещения для мобильных госпиталей актуален. Залог его успешной разработки - создание дизайн-концепции, этапы формирования которой изложены в данной статье.

### **Метод исследования**

В процессе формирования проектной идеи наиболее важными являются сценарии использования будущего продукта. Они позволяют выявить основные критерии для разработки концепции. Поэтому необходимо погружение в пользовательскую среду, анализ возникающих в ней проблем. Литература и видеуроки по тактической медицине, видеозаписи репортажей о военных медиках из зон боевых действий позволили выявить проблемы в работе медперсонала на передовой. Среди них организация госпиталей в необорудованных помещениях (первые этажи многоэтажных зданий, гаражи, подвалы), отсутствие специализированных осветительных приборов и иногда электроэнергии, малый штат медиков, возможность экстренного отступления.

Затем стало возможным выделить наиболее актуальную сценарную ситуацию, в которой будет использоваться система освещения. Согласно ей перед военными медиками стоит задача развернуть пункт оказания помощи как можно ближе к желтой зоне (области боевых действий, где оказывают первую доврачебную и первую медицинскую помощь), т. к. раненых много, а оперативно эвакуировать их в тыл невозможно. Подъездные пути к назначенному месту могут обстреливаться противником, поэтому для скорости и незаметности передвижения оборудование для проведения процедур должно быть малогабаритным. По этим же соображениям команда, которая отправляется на монтаж малочисленна. На момент ее прибытия уже есть пострадавшие, поэтому время на монтаж системы освещения ограничено. Есть угроза того, что организованный госпиталь придется экстренно покидать. При этом будет

необходимо забрать с собой оборудование, даже если команда медиков лишилась транспорта и вынуждена отступать пешком.

Из описанной ситуации мы сформировали сценарий использования, который содержит основные критерии концептуальной разработки:

1. Система освещения предназначена для использования в помещении.
2. Конструкция ее модулей предполагает быструю сборку и простой монтаж без сверления стен.
3. Подвесные бестеневые лампы должны монтироваться на штанги, которые можно закрепить враспор (от пола до потолка или от стены до стены).
4. Минимальный набор компонентов системы должен помещаться в чемодан или большую сумку.

Далее для выявления оптимальной компоновки и эргономики мы дополнительно изучили нормы технического оснащения гражданских медучреждений и ознакомились с видеозаписями проведения процедур и операций в мирных условиях. Также изучили актуальные технологии, применяемые в светотехнике. Анализ этой информации показал, что для выявленной сценарной ситуации не подходит концепция существующих светильников: один прибор для одного типа деятельности. Для достижения компактности и мобильности системы необходимо, чтобы в зависимости от ситуации ее компоненты могли заменять друг друга. Очевидно, что все осветительные приборы необходимо разрабатывать модульными. Исходя из этого и различных пользовательских сценариев, мы создали схему общей компоновки и приступили к работе над визуальным образом.

В условиях сложной стрессовой обстановки среди военных медиков велик риск ошибок. Чтобы не повышать его, мы уделили много внимания проектированию интерфейса и пластике всех элементов системы, чтобы их внешний вид подсказывал, как нужно с ними взаимодействовать. На этом этапе мы основывались на теории возможностей и означающих в объектах промышленного дизайна. Поиск визуального решения сопровождался несколькими циклами скетчинга, макетирования для проверки эргономики и 3д-моделирования, пока мы не пришли к решению, отвечающему и эстетическим, и функциональным требованиям.

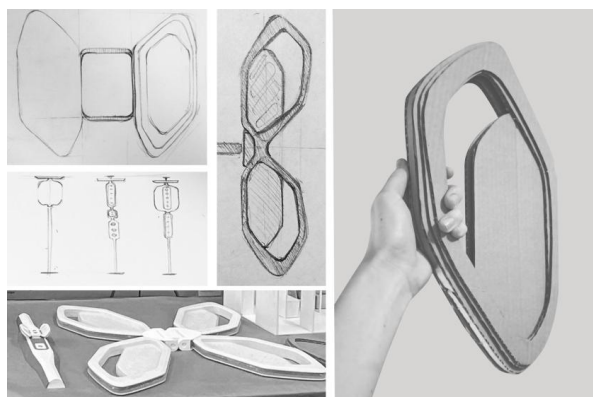


Рис. 1. Примеры поисковых скетчей и макета.  
Снизу слева – чистовой макет фрагментов системы.

### Результаты:

Результатом разработки дизайн-концепции стала система освещения, позволяющая сборку оборудования под различные сценарные ситуации:

Обеспечение общего рассеянного освещения.



а)

Рис. 2



б)



Рис. 3

Представленная комбинация (рис. 2а) – светодиодный светильник, который направлен в рассеивающий отражатель. Сам светильник располагается на сборной штанге (рис. 2б), которая функционирует как телескопический распор. Ее центральная часть может быть заменена на блок с розетками или беспроводной зарядкой (рис. 3) для налобного фонарика (будет описан ниже), блок управления системой, а также на шарнирный кронштейн для хирургического бестеневого светильника.



## Освещение места операции.

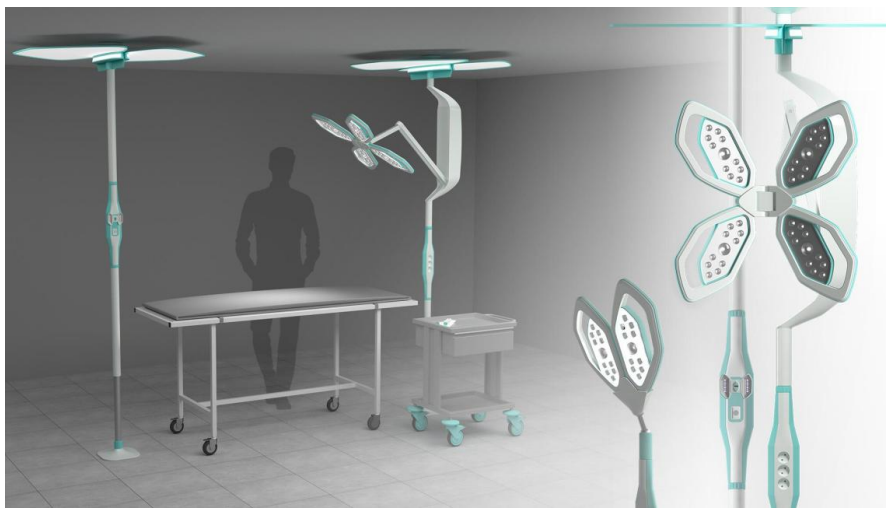


Рис. 4. Слева – комбинация для проведения хирургической операции. Справа по порядку: мобильный хирургический светильник; штанга с размещенным на ней блоком беспроводной зарядки с налобным фонариком; штанга с лампой общего освещения и рассеивателем, основным хирургическим светильником и блоком с розетками.



Рис 5–7. Механизм раскладывания главного хирургического светильника.

В штангу может быть интегрирован бестеновой светодиодный хирургический светильник. Он является аналогом мощных купольных, используемых в хирургических отделениях, но обладает весомым преимуществом: компактностью. Светильник складывается пополам и размещается в таком виде в модуле для кронштейна (рис. 5–7).

У него есть мобильная конфигурация (рис. 8). Она собирается на основе нижней телескопической части штанги, что делает возможной регулировку высоты, и шарнира, в котором размещаются осветительные модули. В эту лампу так же можно интегрировать блок с розеткой.

Дополнительное освещение:

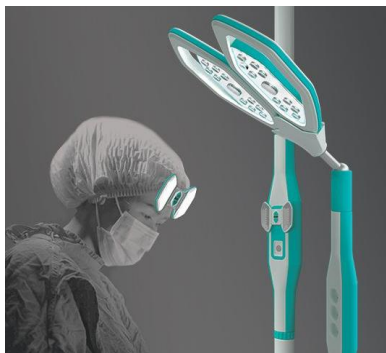


Рис. 8



Рис. 9

Использование налобного светильника: слева (рис. 8) – с мобильным хирургическим, справа (рис. 9) – в дополнительном УФ-режиме в зоне обработки рук и инструментов

В систему входит налобный хирургический светильник с магнитным креплением, которое позволяет его размещать как на специальных ремешках, так и на металлических поверхностях.

Светодиодные крылья фонарика поворотные, им можно задать необходимое направление во время работы. Светодиоды в них могут работать в режиме УФ-излучения. Эту функцию можно использовать в зоне обработки рук и инструментов.

Управление всей системой (включение операционных светильников, их диммирование, регуляция температуры света) осуществляется через модуль, подобный модулю с розетками и зарядкой.

Питание всей системы можно обеспечить через сеть электроснабжения либо от мобильных генераторов.

### **Обсуждение**

На примере разработки системы освещения для мобильного госпиталя мы показали, как принципы модульности позволяют создать концепцию, которая задает вектор для технических разработок реального проекта, способного решать сложные и нестандартные задачи, нацеленные на обеспечение благополучия общества.

### **Выводы**

Используя методы дизайн-мышления, человеко ориентированного проектирования и принципы модульности в создании концептуальной идеи, мы пришли к решению, которое могло бы облегчить работу

военных медиков в горячих точках, сохранить большее число людей живыми и здоровыми.

Однако хочется отметить, что представленная система освещения может быть применена и во временных пунктах оказания помощи при вспышках опасных инфекций, а также в мобильных фельдшерско-акушерских пунктах, выезжающих на диспансеризацию в отдаленные населенные пункты. Это реализуемо благодаря модульности оборудования и возможности его дополнения новыми компонентами согласно другим сценариям использования.

### Список литературы

1. *Евич Ю. Ю.* «Тактическая медицина современной иррегулярной войны». — 2015 г., сс. 55-58
2. *Смирнов А. А.* «Тактическая медицина ». — 2020 г., сс. 9-12, 54-59
3. *Дон Норман* «Дизайн привычных вещей», 6-е изд. обн. и доп. — Москва: «Манн, Иванов и Фебер», 2022 г., сс. 31-46
4. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03; «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов». — 15 июня 2003 г.
5. СП 52.13330.2016; "Естественное и искусственное освещение" — 8 мая 2017 г.
6. Электронный ресурс: <https://w.wiki/B5f4> (дата обращения: 28.07.2024)



# VARTON

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

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

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

>20 000

SKU

**AWADA**

собственная IoT-система  
по управлению освещением

>15 000

выполненных  
проектов

**PLUG-IN**

DIALux  
lanoCAD  
Revit  
Light-in-Night Road

**VARTON**



ГАГАРИНСКИЙ  
СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЙ ЗАВОД  
с 1960 года



**AWADA**



**ДОКЛАДЫ НА  
АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ**  
**PAPERS IN ENGLISH**

# A STUDY OF HEALTHY LIGHTING FOR LEARNING PERFORMANCE AND VISUAL FATIGUE IN SCHOOL-AGED CHILDREN WITH READING AND WRITING TASKS

*Li J.J., student; Huang Y.F., student; Wang T.Y., PhD, Shanghai, China;  
Shao R.D., PhD, Shanghai, China;  
Hao L.X., PhD, professor, Shanghai, China*

## **Abstract**

It has a high impact on children's learning performance in reading and writing tasks, daytime attention, visual fatigue, and mood in healthy indoor lighting environments. However, there is still a lack of consistent and comprehensive results on optimal lighting environments for children's learning. In this study, a high-fidelity children's room lighting laboratory was set up to investigate the levels of differences in reaction speed, accuracy, alertness, visual fatigue symptoms, and subjective perceptions of children's reading and writing tasks at different illuminance levels (300 lx and 1200 lx) and color temperatures levels (2800 K and 5000 K). 22 healthy schoolchildren ( $8.47 \pm 2.20$  years old) participated as participants in the laboratory study. Before starting, the participants underwent eye examinations, sleep assessments, and anxiety and depression tests, respectively. Results showed that color temperature and illuminance had differential effects on spatial temperature perception and spatial color perception, respectively ( $p < 0.1$ ). Lighting environments with high color temperature and illuminance enhance children's alertness and learning performance during reading and writing tasks while accelerating the development of visual fatigue. Finally, the article discusses the effects of different lighting elements on children's melatonin secretion, alertness, and psychological.

**Keywords:** *Healthy Lighting, Integrative Lighting, Children's Reading And Writing Tasks, Task Performance, Alertness, Visual Fatigue.*

## **Introduction**

Children aged 6-18[1] are in a critical period of growth and development, and a beneficial lighting environment can effectively enhance their task performance and be good for their health. A good lighting environment should balance visual comfort and work efficiency, and accommodate the needs of different work media such as paper/VDT (visual display terminal), and different types of work such as reading/writing. On the one hand, high illuminance and high CCT (correlated color temperature) have been confirmed to increase visual acuity, improve eyesight, and enhance task performance [2]. On the other hand, low illuminance and low CCT have been studied to increase visual comfort, reduce the onset of visual fatigue, and minimize the impact on sleep and

circadian rhythms [3].

### Method

The experimental scenarios were a crossover design of two illuminance levels and two CCT levels (illuminance: 300lx and 1200lx; CCT: 2800K and 5000K). All the participants were required to complete the experiment with two different CCT light scenes on two independent daytime days (10:00-16:00), with a one-week experiment interval. 22 school-age children (13 female, 9 male, ranging from 6 to 12 years old) were enrolled in the experiment. Using PSQI (Pittsburgh Sleepiness Scale), SAS (Self-Assessment Scale for Anxiety Scale), and SDS (Self-Depression Scale for Depression Scale) to diagnose and exclude children who suffered from sleep and mood problems, and those who had traveled across time zones in the past three months. The experiment was conducted in a high-fidelity children's room laboratory measuring 4.2 meters (length) \* 2.6 meters (width) \* 3 meters (height). The laboratory was equipped with a set of children's desks and chairs made of white diffuse reflective material, and the reflectance of the ceiling, wall, and floor surfaces was 0.8, 0.7, and 0.6 respectively. The experimental media included paper and VDT, with a reflectance of 0.4-0.7 for paper and 50% brightness(126.8 cd/m<sup>2</sup>) for iPad screen, and the linear distance from the participant's eyes to the work surface was maintained at 40-50 cm(see Fig 1). Upon arrival at the laboratory, participants followed the procedure and took all the tests and questionnaires. Data were analyzed using SPSS 26 software.

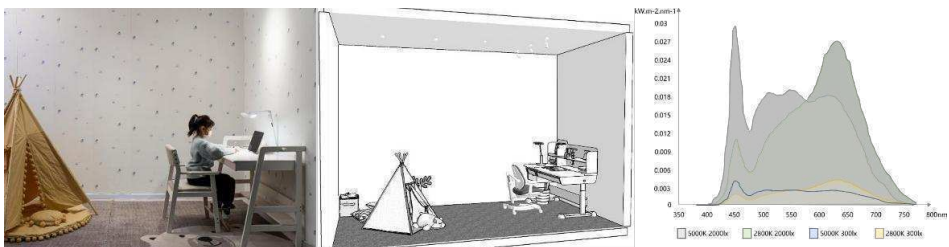


Figure 1. Photographs and models of the laboratory site and SPD for four experimental scenarios

### Result

The baseline PSQI score was  $2.16 \pm 1.46$  (mean  $\pm$  SD) and all participants had "good" sleep quality. The visual fatigue indicator was divided into three subscales: dry eyes, other discomfort (sore eyes, tearing, etc.), and blurriness (double, blurred vision). The most severe visual fatigue ( $2.43 \pm 0.36$ ) was observed in the high CCT and high illuminance scenario (5000 K, 2000 lx), and after 41 minutes of reading and writing, compared to the baseline moment, participants in all four scenarios suffered eye fatigue(see Tab 1).



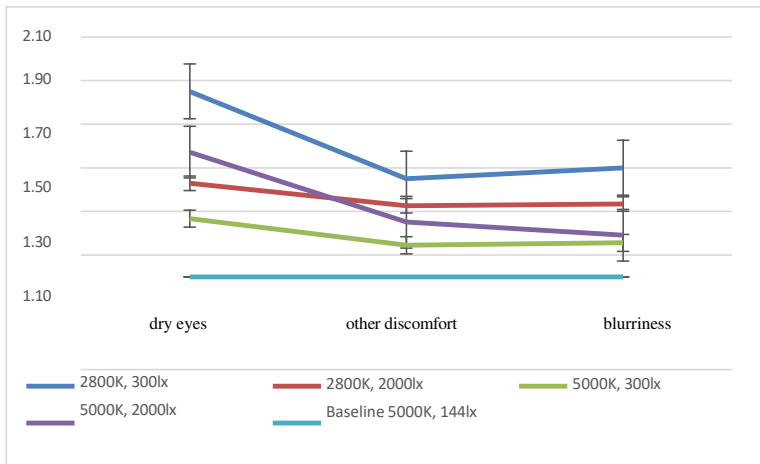


Table 1 Median, mean and SD, and significance of visual fatigue in the baseline scenario and four experimental scenarios

Figure 2 shows that participants gave a positive impression of all four experimental light scenes, with illuminance playing a greater role in the subjective perception of the lighting environment. High illuminance (2000lx) gives a neutral feeling and low illuminance (300lx) gives a mild, familiar feeling (see Fig 2).

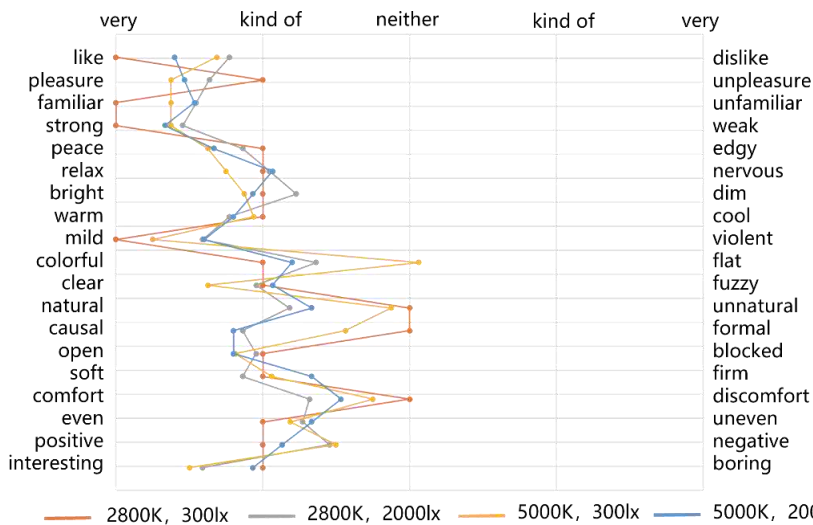


Figure 2. Subjective evaluation semantic differential scales for the four experimental scenarios

The average alertness level in the high CCT lighting scenarios (5000K) was higher than that in the low CCT lighting scenarios (2800K). Compared to the low CCT lighting scenario(2800K), the high CCT lighting scenario (5000K)



has an average lower error rate and shorter completion time. According to the results of ANOVA, the average error rate has a significant difference and a medium effect size in different lighting scenarios (Fig 3). There were no significant differences in the indicators of alertness, task performance, and visual fatigue across different light scenarios by age (lower age group: 6-9 years old, higher age group: 10-12 years old) and gender (male, female) grouping.

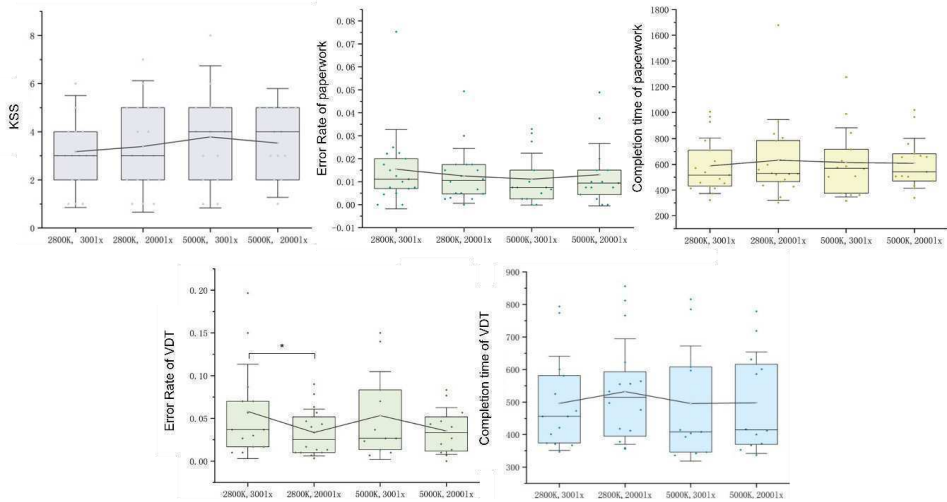


Figure 3. Alertness, paperwork, and VDT box plots for the four experimental scenarios

### Discussion

Higher CCT (5000K) lighting scenarios result in lower error rates for paperwork, and higher illuminance (2000lx) lighting scenarios result in lower error rates for VDT work. The difference is that the VDT screen itself has a certain brightness and CCT, which has an anchoring effect, causing it to suffer less impact when the environment changes. The effect of CCT on children's paperwork may be related to color psychology, which needs further exploration.

High CCT and high illumination aggravate the onset of visual fatigue when having tasks. Low illumination and low CCT improve visual comfort, and dim light makes people feel relaxed, which is called the “Dark Effect” in psychology.

Illuminance is significantly correlated with “vivid-flat” color perception, as brighter visual perception causes higher color recognition. CCT is correlated with “warm-cool” temperature perception significantly. Wang et al [4] found that the impact of illuminance was greater for color preference, while a stronger influence of CCT was observed for the degree of white light sensation.

Daytime children are suggested to study under high CCT and high illuminance light environments to improve performance. In the evening (within five hours before bedtime), if reading and writing work is to be carried out, the melanotic EDI should be limited to less than 50lx (refer to the WELL Standard,

v2TM,2024), which means keeping the CCT between 2800~4000K, maintaining the desktop illuminance at around 300lx, and keep the corneal illuminance at around 100lx, this will balance the needs of study and alertness to good sleep later. When having VDT work, the ratio of the screen brightness to the environmental brightness better be in the range of 1~3 In the evening, it should turn on the eye-protection mode on VDT, to reduce the intake of blue light, and dim the screen brightness.

### **Conclusion**

The study used school-age children as subjects and set up four different light environments with different CCT and illuminance conditions to observe the task performance, visual fatigue, and subjective feelings of children performing reading and writing tasks both on paper and VDT under different light environment conditions. The research results indicate that subjects experience the least visual fatigue in low CCT(2800K) and illuminance(300lx) scenes. Participants have a positive perception of all four lighting environments, with illuminance playing a greater role in the subjective perception of the lighting environment. High illuminance (2000lx) gives a neutral feeling, while low illuminance (300lx) gives a gentle and familiar feeling. There is a significant difference ( $\text{sig}<0.1$ ) in the evaluation of environmental "warm and cold" changes in CCT, with participants feeling "warmer" at low color temperature (2800K) and "cooler" at high color temperature (5000K). Higher color temperature (5000K) and illumination (2000lx) scenarios had bigger average alertness levels, and better performance. Age and gender did not affect subjective alertness, homework performance, and visual fatigue indicators.

### **List of reference**

1. *Westwood, E., Smith, S., et al.* The effects of light in children: A systematic review. *Journal of Environmental Psychology*, 2023. 89.
2. *Yu, H., Akita, T.* Effects of illuminance and color temperature of a general lighting system on psychophysiology while performing paper and computer tasks. *Building and Environment*, 2023. 228.
3. *Lucas, R.J., Peirson, S.N., et al.* Measuring and using light in the melanopsin age. *Trends in Neurosciences*, 2014. 37(1): 1-9.
4. *Wang, Y., Liu, Q., et al.,* Interactive effect of illuminance and correlated colour temperature on colour preference and degree of white light sensation for Chinese observers. *Optik*, 2020. 224: 165675.

# PERFORMANCE EVALUATION OF INTERIOR SHADING SYSTEMS FOR DAYLIGHT AVAILABILITY, GLARE AND THERMAL CONTROL

*Nurefşan Sönmez, Arzu Cilasun Kunduracı  
Yaşar University, Izmir, Türkiye  
E-mail: nrfsnsonmez@gmail.com*

## **Abstract**

This study investigates the influence of interior shading systems on occupant comfort within a Mediterranean high-rise building. Through simulation, the performance of various shading configurations—vertical, horizontal, and roller blinds—was assessed. Results demonstrate that while interior shading can effectively mitigate glare, it has a minimal impact on thermal comfort. Horizontal slats oriented at a 90° exhibited optimal performance in terms of daylighting and glare control. However, the limited influence on thermal conditions suggests that exterior shading may be necessary to achieve substantial improvements in building energy efficiency. The findings underscore the importance of a site-specific approach to shading design, considering factors such as building orientation, glazing properties, and climatic conditions.

**Keywords:** *daylighting, glare, interior shading, simulation, thermal comfort*

## **Introduction**

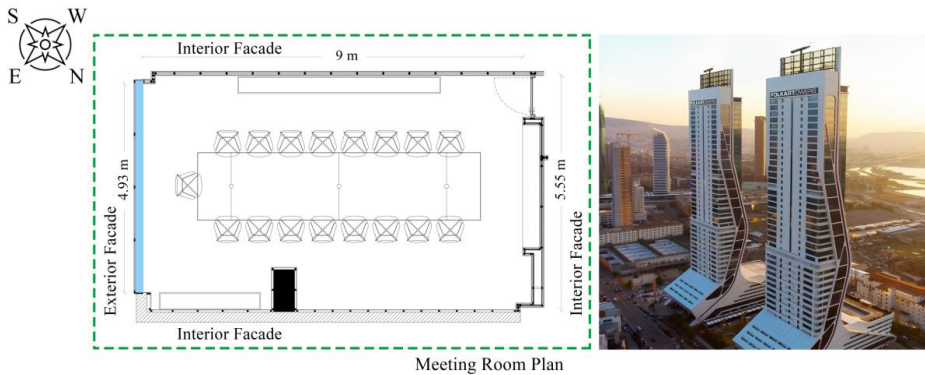
Daylight availability remains a crucial topic of interest due to its extensive benefits, including improved human health, reducing electric lighting loads, enhanced psychological well-being, aesthetic quality of interiors, user satisfaction, and productivity [1]. However, uncontrolled daylight penetration can lead to discomfort glare and visual fatigue, significantly hindering task performance and overall comfort.

The proliferation of glazed high-rise buildings in modern urban landscapes, driven by aesthetic appeal and contemporary architectural trends, has introduced new challenges. These structures are particularly susceptible to exterior climatic conditions, such as intense sunlight and fluctuating temperatures. With global warming causing a rise in global temperatures, these vulnerabilities become more pronounced, leading to higher indoor temperatures and increased occupant discomfort. This escalation in indoor heat levels results in higher energy demands for cooling, posing substantial challenges to energy efficiency and sustainability, necessitating shading [2], [3]. Balancing thermal and visual comfort in buildings presents a complex challenge, particularly in climates such as the Mediterranean. The region's unique combination of intense sunlight, high temperatures, and fluctuating seasonal conditions requires careful consideration of shading options.

Achieving an optimal balance between minimizing heat gain and ensuring adequate daylighting is not straightforward, as shading solutions that address one aspect may inadvertently compromise another. There is no single solution that can simultaneously meet all the diverse requirements for energy efficiency, thermal comfort, and visual comfort. Therefore, it is essential to evaluate the performance of shading systems across various orientations, angles, and positions to understand their impacts comprehensively. Given the impracticality of testing all these variables in real-world settings, building performance simulations are often employed. These simulations enable architects and engineers to model and analyze the effects of different shading configurations, providing valuable insights that inform the design process without the need for extensive physical trials. This study employs simulation methodology to assess the performance of various internal shading systems (vertical, horizontal, and roller) in a high-rise building situated in a Mediterranean climate. The primary objective is to determine the optimal shading configuration that maximizes daylighting, thermal comfort, and visual comfort while minimizing glare.

### Research method

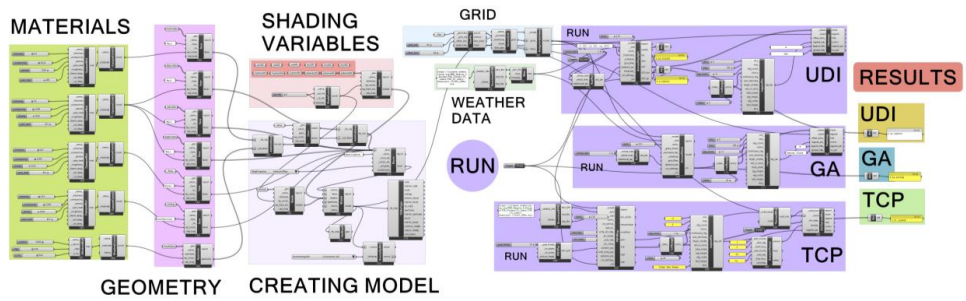
The objective of this study is to evaluate how the internal shading type affects to minimize glare and heat gains while maximizing daylight availability and achieving thermal comfort. A case study was conducted on the 43<sup>rd</sup> floor of a glass curtain facade high-rise building in İzmir, Turkey, where the Southeast-facing facade provides daylight to the room.



**Fig.1.** The Plan of the Case Study (left) and Exterior Photograph of the Building (right [4])

A 3D model was created in Rhinoceros, and simulation studies were conducted using Grasshopper with its Ladybug and Honeybee plug-ins. The thermal and light transmission properties of the materials used in the simulation (conductivity, density, specific heat, visible transmittance, etc.)

were selected to match the actual materials of the building within the Grasshopper library. Figure 2 shows the construction of daylight and thermal comfort models on the software, and Table 1 shows the simulation inputs.



**Fig.2.** Construction of Daylight and Thermal Models on Grasshopper

**Table 1.** Simulation Inputs Overview

<b>Weather Data</b>	TUR_IZ_Izmir-Guzelyali.172200
<b>Grid Points</b>	Positioned 80 cm above the floor and 50 cm from the edges
<b>Metrics</b>	UDI, GA, TCP
<b>Templates</b>	AnnualDaylight, AnnualGlare, PMVMap

These simulations evaluated daylight metrics, Useful Daylight Illuminance (UDI), Glare Autonomy (GA), and a thermal comfort metric, Thermal Comfort Percent (TCP) as given in Table 2. The aim was to ensure that UDI remained at a minimum of 50%, GA was maintained close to 100%, and TCP exceeded the results observed in the current environment.

**Table 2.** Evaluated Daylight and Thermal Comfort Metrics (derived from [5])

<b>Metrics</b>	<b>Definition</b>	<b>Acceptable Range</b>
Useful Daylight Illuminance (UDI)	UDI: The percentage of time with daylight level is between 300 and 3000 lx. UDI.low: The percentage of time with daylight level is less than 300 lx. UDI.up: The percentage of time with daylight level exceeds 3000 lx.	UDI <sub>≥</sub> 50%
Glare Autonomy (GA)	The percentage of glare-free time, with DGP below 40%.	GA <sub>DGP</sub> ≥40%
Thermal Comfort Percent (TCP)	The percentage of time with acceptable thermal conditions, where the Predicted Percentage of Dissatisfied (PPD) does not exceed 10%.	Not defined

The design variables for the simulations, including the fixed characteristics of the shading elements, are detailed in Table 3. To comprehensively analyze the impact of angles, directions, and coverage areas on thermal and visual comfort in high-rise buildings, 12 shading element configurations were tested, encompassing three angles (90°, 60°, 30°), two directions (horizontal, vertical), and two coverage areas (100%, 50%).

**Table 3. Fixed Features and Design Variables of the Shading Element**

<b>Fixed Features</b>	1) Width of the slats (9 cm) 2) Reflection level of the shading element (Visible reflectance and solar reflectance = 0)
<b>Design Variables</b>	1) Angle of the shading element (90°, 60°, 30°) 2) Direction of the shading element (Horizontal, vertical) 3) Coverage area of the shading element (100%, 50%)

The diagram illustrates the shading element configurations. The top view shows three slat orientations: 90° (horizontal), 60°, and 30°, positioned above a 'glass' surface. The front view shows two configurations: 'horizontal' with '50% covering from the top downwards' and 'vertical' with '50% covering from the sides', also positioned above a 'glass' surface.

## Results

All simulation results are summarized in Table 4. The findings indicate that among the angles tested (30°, 60°, and 90°), the 90° slats produced the highest Useful Daylight Illuminance (UDI) values, while the 30° slats yielded the lowest. In eight of the alternatives, UDI values exceeded 50%, with horizontal slats outperforming vertical ones by 8-14%. Additionally, a coverage area of 50% resulted in higher UDI values compared to full coverage, but this also led to a substantial increase in UDI<sub>up</sub> values, reaching up to 246%. The Glare Analysis (GA) results demonstrated an increase in glare-free time across all alternatives compared to the base model. In terms of Thermal Comfort Parameters (TCP), the results showed higher values for 100% coverage area compared to 50% coverage area.













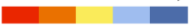


**Table 4. Simulation Results**

No	Alternatives			Results (%)				
	Placement on the window	Direction	Angle	UDI	UDI low	UDI up	GA	TCP
Base Mode 1	No shading	-	-	63.01	22.45	14.54	85.10	26.40
No 1	Covering the window <b>completely</b>	H	30°	32.13	61.62	6.25	89.91	27.21
No 2	Covering the window <b>completely</b>	H	60°	49.94	42.40	7.66	88.58	27.36
No 3	Covering the window <b>completely</b>	H	90°	56.99	40.79	2.22	95.61	27.61
No 4	Covering the window <b>completely</b>	V	30°	28.12	69.84	2.04	95.46	27.79
No 5	Covering the window <b>completely</b>	V	60°	46.10	49.73	4.17	92.70	27.44
No 6	Covering the window <b>completely</b>	V	90°	50.15	44.95	4.90	91.33	27.32
No 7	<b>50%</b> covering from the sides	V	30°	51.95	40.32	7.73	89.82	26.99
No 8	<b>50%</b> covering from the sides	V	60°	56.44	34.43	9.13	88.47	26.85
No 9	<b>50%</b> covering from the sides	V	90°	57.13	33.10	9.70	87.71	26.77
No 10	<b>50%</b> covering from the top downwards	H	30°	44.66	46.37	8.97	88.40	26.74
No 11	<b>50%</b> covering from the top downwards	H	60°	57.41	33.47	9.12	87.86	26.92
No 12	<b>50%</b> covering from the top downwards	H	90°	61.91	32.62	5.47	92.28	27.11

*H: Horizontal, V: Vertical*

Table 5 shows the results of the three selected alternatives. Shading element No. 12 provided the highest result for UDI, while No. 3 yielded the highest GA, and No. 4 gave the highest TCP. In this case, the best values for visual comfort, as evaluated by UDI and GA, were achieved with the use of horizontal 90° slats, whereas the TCP result was influenced by the use of vertical 30° slats.

**Table 5.** Highest UDI, GA and TCP Results with Images, respectively

No	UDI	GA	TCP
Base Model	 63.01%	 85.10%	 26.40%
No 12 (highest UDI)	 61.91%	 92.28%	 27.11%
No 3 (highest GA)	 56.99%	 95.61%	 27.61%
No 4 (highest TCP)	 28.12%	 93.46%	 27.79%
Legend	from high to lower UDI 	from high to lower GA 	from hot to cold 

### Discussion

While the highest Useful Daylight Illuminance (UDI) was observed in the base case without shading, this scenario also resulted in the most frequent exceedance of 3000 lx (UDI<sub>up</sub>), which can lead to glare issues. Simulations indicate that the introduction of shading elements can effectively mitigate this problem without reducing UDI below 50% in majority of cases. However, the application of interior shading elements had a negligible impact on TCP values. This limited effect is likely due to the low U-value and SHGC (Solar Heat Gain Coefficient) of the glass façade, which already minimizes heat gains and losses. To achieve more significant changes in TCP values, the use of exterior shading elements may be more effective.

### Conclusion

This study highlights the significant potential of interior shading elements in enhancing visual comfort by effectively controlling daylight and mitigating glare. The findings suggest that horizontal, 90° slats offer the best



optimization of Useful Daylight Illuminance (UDI) and glare (GA), yet it is important to acknowledge that these results are highly context-dependent. Factors such as glazing type, building orientation, and room depth play critical roles in determining the effectiveness of shading strategies. Therefore, a customized approach is necessary to achieve optimal daylighting and visual comfort in diverse settings. While the study shows that interior shading can effectively reduce glare, its impact on thermal comfort (TCP) was found to be limited. Future research should focus on the integration of exterior shading systems to more comprehensively address both visual and thermal performance in building design.

### **List of reference**

1. *De Luca F., Sepúlveda A., Varjas T.* Multi-performance optimization of static shading devices for glare, daylight, view and energy consideration, *Building and Environment*, 2022, vol 217. doi: 10.1016/j.buildenv.2022.109110
2. *Fan Z., Liu M., Tang S.* A multi-objective optimization design method for gymnasium facade shading ratio integrating energy load and daylight comfort, *Building and Environment*, 2022, vol 207. doi: 10.1016/j.buildenv.2021.108527
3. *Kirimtat A., Manioğlu G.* A simulation-based performance evaluation of new generation dynamic shading devices with multi-objective optimization, *Journal of Building Engineering*, 2024, vol 90. doi: 10.1016/j.jobbe.2024.109322
4. *OfisProjeleri*, “Folkart Towers”, Accessed Date: August 5<sup>th</sup>, 2024, Retrieved from <https://www.ofisprojeleri.com/folkart-towers/>
5. *Climate Studio*. Welcome to the ClimateStudio User Guide, 2020.

# STUDY ON ALERTNESS AND VISUAL PERCEPTION OF LED LIGHTING COLOUR TEMPERATURE IN CLASSROOM

*Wang T.Y., PHD, Shanghai, China; He W., PHD, Neijiang, China;  
Wang Y.N., student; Li J.J., student; Liu Y.W., student*

## **Abstract**

The aim of this study was to investigate how CCT of LED lighting affects the alertness and visual perception of college students. Initially, the impact of different correlated colour temperatures (4000 K, 5000 K, 6500 K) on subjective alertness was studied, and questionnaires was used to assess visual comfort by visual-perceptual experiments. The results show that increasing CCT helps to improve subjective alertness and visual comfort in a appropriately rang, but a too high correlated colour temperature levels may increase visual fatigue and affect comfort of individuals. The participants were more comfortable at 5000 K than at high and low correlated colour temperature. This found understanding aiding the advancement of high-quality lighting environments prioritizing visual health and work efficiency.

**Keywords:** *Colour temperature, Subjective alertness, Learning efficiency, Comfort, LED lighting.*

## **Introduction**

The lighting environment of classroom is crucial for learning as it directly impacts students' visual comfort, learning efficiency, task performance and enthusiasm. Regarding human light perception, illuminance and correlated colour temperature are two vital considerations as supported by extensive researches. In most cases, enhancing efficiency is often straightforward and effective by increasing environmental CCT. Previous researches have explored the effects of lighting environment on classroom behaviors, performances, and visual. There is still no consensus on the influence of different CCTs on learning efficiency and subjective alertness. And most of the past studies were conducted in a fluorescent environment, the recommendations are limited for classrooms using LED lighting. The objective of the present study is to investigate the impact of different LED lighting conditions on subjective alertness and satisfaction of university students. The goal is to establish the ranges of CCT of the lighting environment that maintain the best visual perception and cognitive attention among students based on subjective fatigue and satisfaction surveys experiments, to accommodate different activities and learning contexts.

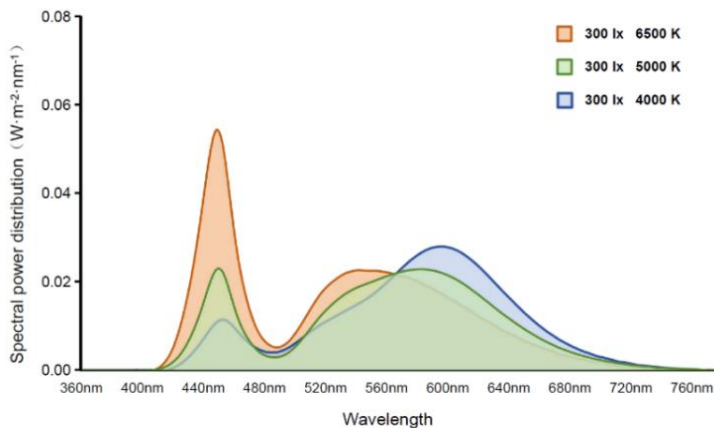
## **Method**

The experiment was conducted in a laboratory which simulated classroom environment, and the independent variable of this experiment is

lighting colour temperature. The CCT of lighting environment conditions were divided into three different levels (4000 K, 5000 K, and 6500 K). The ambient luminance conditions were realized by groups of LED fixtures capable of continuous adjustments. The CL-500A (Fig.1) Spectral radiation luminance meter was used to measure the set luminance precisely and the spectral power distribution, as shown in Fig.2.



**Fig.1.** CL-500L Illuminance meter



**Fig.2.** Spectral distribution under different lighting conditions

An assessment was developed to gather feedback from participants in the experiments. In the subjective alertness experiment, Karolinska Sleepiness Scale (KSS) was used to assess individual's subjective alertness, and the assessment focused on subjective perception with a nine-point scale ranging from "1 (extreme alertness)" to "9 (extreme sleepiness)" according to the ISO 10551 standard. Satisfaction of CCT of lighting environment was evaluated by a Likert five-point scale, according to the ISO 10551 standard. In the scale "1" indicated "intolerable" and "5" indicated "very comfortable".

Participants for the experiment were publicly recruited in a university, with the criteria that their age ranged from 18 to 22 years old. Finally, 48 healthy university students were recruited (mean age 20.1 years, SD 1.07, including 23 males and 25 females), sufficient for the research needs. The age characteristics of the participants are shown in Table 1. Participants were randomly assigned to three groups. Before commencing the study, the purpose of the study and the general procedures were explained to the participants, then participants signed an informed consent form, committed to follow the experimental schedule and protocol. All procedures adhered to the Declaration of Helsinki.

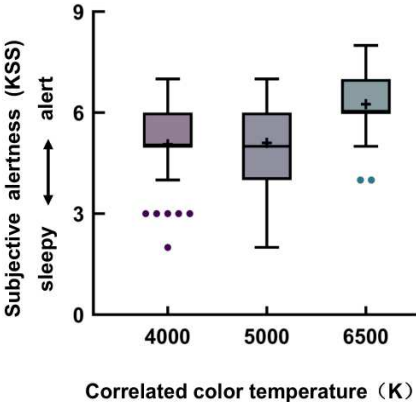
**Table 3.** Details of participant groups

	Mean(years old)	SD (years old)
Male	20.4	1.12
Female	19.7	0.93

**Results**

***Subjective alertness***

The relationship between CCT and subjective alertness of students is shown in Fig.3, overall, as the CCT level increased, the subjective alertness showed a trend of rising, higher CCT of LED lighting has a positive effect on increasing subjective alertness in day time. Participants were more likely to feel sleepy at lower CCT levels, and had better alertness and concentration at high CCT levels. In terms of alertness, the worst was 4000 K and the optimal was 6500 K. However, the lighting CCT has no significant impact on individual’s subjective alertness (  $P>0.05$  ).



**Fig.3.** Effect of different correlated colour temperature of LED lighting on subjective alertness

### Visual Comfort

The subjective evaluation results of visual experience under different CCT conditions are shown in Fig.4. When the CCT of LED lighting is 4000 K and 5000 K, most participants suggested that the lighting environment was comfortable. From the visual perception evaluation results, 5000 K is the most satisfactory lighting correlated colour temperature. And the least satisfactory CCT was 6500 K, quite a few participants reported visual discomfort. Therefore, the satisfaction rating of 6500 K is significantly lower than that of 4000 K and 5000 K, too high a CCT has a negative visual effect.

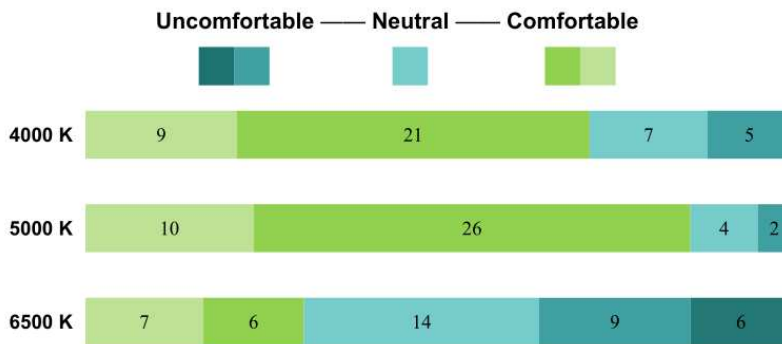


Fig.4.Effect of colour temperature on alertness under different illuminance

### Discussion

Previous research has mostly shown that higher correlated colour temperature lighting environment has significant positive impact on subjective alertness. In this study, we found that high colour temperature has a certain effect on increasing alertness, but no significant effect was found, which is consistent with the findings of Taotao Ru and Smolders.et al. They did not find a significant advantage of high CCT in alertness. This may ultimately be related to the grade of CCT and spectral distribution, Sletten TL and Mills P R used very high colour temperatures (17000 K), which is rich in blue spectrum, and it has a greater impact on human physiology. However, This CCT level is rarely used in classrooms and other indoor environments. In fact, a CCT exceed 6500 K is not suitable for use in the space of visual work. Therefore, the most commonly used 4000 K, 5000 K, and 6500 K have no significant difference in alertness under 300 lx lighting condition.

From the visual comfort evaluation results, most participants suggested that a relatively comfortable feeling under 4000K and 5000K lighting conditions, and they reported more uncomfortable under 6500 K lighting condition. The current study found that 5000 K is more popular, this may have something to do with people's preferences in different regions. previously

studied the preference of Europeans and Asians for lighting colour temperature, and found that Europeans prefer warm colour light (4000 K), while under the same lighting conditions, Asians generally prefer intermediate colour temperature (5000 K), which is consistent with our research results. In general, increasing CCT helps to improve subjective alertness and visual comfort in an appropriately rang, but a too high CCT levels may increase visual fatigue and affect comfort of individuals.

### **Conclusion**

This study studied the subjective alertness and visual comfort of students by setting different LED lighting colour temperatures, and the results showed that increasing lighting colour temperature had a positive impact on subjective alertness and visual comfort in a certain rang. Overall, increasing lighting CCT increased alertness, but did not have a significant effect. In the subjective evaluation of visual comfort, 5000 K was the most popular and had highest satisfaction, but there may have a negative effect on visual comfort when excessive increases in CCT. In the future, the comprehensive impact of different illuminance levels and CCT on vision can be further developed in the LED lighting environment.

### **List of reference**

1. *Zhang Y, Tu Y, Wang L, Shi Y.* Effects of blue-enriched white light with same correlated colour temperature on visual fatigue. *Lighting Research & Technology.* 2023,0(0).
2. *Wonyoung Yang, Jin Yong Jeon.* Effects of lighting and sound factors on environmental sensation, perception, and cognitive performance in a classroom, *Journal of Building Engineering,* 76, 2023,107063.
3. *Du X, Zhao S, Zhang D, Yu Y.* Comparative analysis of light environment perception, eye movement and physiology in university professional classroom based on virtual reality experiment. *Indoor and Built Environment.* 2023;32(6):1152-1169.
4. *He Wei, Yang Chunyu.* Spectral Contrast and Comprehensive Effect Analysis of Fluorescent and LED in University Classrooms. *Light & Lighting.*2018.43(2):51-55.

**НОВОСТИ РНК МКО**  
**CIE NC RUSSIA NEWS**

## НОВЫЙ СТАНДАРТ, РАЗРАБОТАННЫЙ РНК МКО

С 1 ноября 2024 вступил в действие новый стандарт определения индекса точности цветопередачи, разработанный РНК МКО на базе соответствующей технической публикации Международной комиссии по освещению и получивший одобрение Центрального бюро МКО.

Приказом Росстандарта от 9 августа 2024 г. №42-пнст утвержден и введен в действие с 1 ноября 2024 г. предварительный национальный стандарт ПНСТ 927-2024 «Приборы осветительные, источники света электрические. Метод определения индекса точности цветопередачи».

ПНСТ 927-2024 распространяется на осветительные приборы и электрические источники света, в том числе на основе светодиодов, и устанавливает метод определения индекса точности цветопередачи.

Стандарт будет применяться для расчёта индекса точности цветопередачи источников света и осветительных приборов в областях, в которых необходимо сопоставление цветов с очень высоким требованием к цветоразличению. Так, он найдёт применение в музейном освещении, полиграфии, телесъемке, художественных и реставрационных мастерских, медицинских учреждениях, химических лабораториях, а также в производственных помещениях с очень высокими требованиями к цветоразличению (контроль готовой продукции на швейных фабриках, тканей на текстильных фабриках, сортировка ко-

жи, подбор красок для цветной печати и т.п.).

Метод определения индекса точности цветопередачи заключается в разработке новой методологии, использующей 99 образцов тестовых цветов, которые охватывают большой диапазон равномерно заполненного трёхмерного цветового пространства и широкий спектр объектов, существующих в реальном цветовом пространстве, и направлен на улучшение универсального характера показателя цветопередачи применительно к оценке светодиодного освещения с различным спектральным распределением и различной цветовой температурой.

Общий индекс точности цветопередачи  $R_t$  показывает, насколько точно цветопередача всего набора 99 контрольных цветных образцов визуализируется в среднем при освещении исследуемым источником света по сравнению с цветовыми проявлениями при освещении эталонным источником.

Применение набора из 99 образцов имеет целый ряд преимуществ:

- образцы достаточно равномерно распределены по цветности, а также по светлоте;
- характеристики выборки равномерно распределены в пространстве длин волн;
- уменьшена статистическая неопределенность за счет использования большего числа образцов;
- когда алгоритм отбора образцов повторяется, в результате чего получается другое подмножество образцов, удовле-



творяющих заданным критериям, значения  $R_f$  остаются практически неизменными.

Таким образом, результатом разработки ПНСТ 927-2024 является создание реально работающей технологии оценки цветопередачи, учитывающей современные реалии и позволяющей решить задачу оптимизации спектра осветительного прибора или источника света для достижения высокого качества цветопередачи в различных применениях. Стандарт будет действовать до 01 ноября 2027 г., после чего опыт его применения будет проанализирован для дальнейшей доработки или получения статуса ГОСТ Р.

## **МКО ВЫПУСТИЛА НОВОЕ ИЗДАНИЕ ПРОГРАММНОГО ЗАЯВЛЕНИЯ ПО ИНТЕГРАТИВНОМУ ОСВЕЩЕНИЮ**

Вышло третье издание программного заявления по интегративному освещению — «Рекомендации по правильному освещению в правильное время». Этот обновленный документ, основанный на издании 2019 года, включает в себя актуальные исследования и рекомендации II Международного семинара по циркадному и нейрофизиологическому фотовосприятию, состоявшегося в Манчестере, Великобритания.

По мере развития понимания влияния света на здоровье и благополучие человека, МКО стремится интегрировать новые знания в практические рекомендации по освещению. В 3-м издании Заявления представлен всеобъемлющий обзор результатов семинара и выделены важнейшие об-

ласти для дальнейшего изучения. Ключевые моменты включают в себя:

- Баланс качества освещения: подчеркивается необходимость соблюдения баланса между благополучием человека и энергетическими, экологическими и архитектурными задачами освещения.
- Соответствие МКО S 026:2018: характеристика света для интегративных эффектов должна соответствовать стандарту МКО S 026:2018, Системе МКО для метрологии оптического излучения для реакции на свет под влиянием ipRGC.
- Руководство по воздействию света: международные эксперты – участники семинара в Манчестере – рекомендовали здоровый режим ежедневного воздействия света для молодых людей – высокую освещенность в течение дня, гораздо более низкий уровень в течение трех часов перед сном и почти полную темноту во время сна.
- Дизайнерские решения: настоятельно рекомендуется тщательно продумывать дизайн, для избежания бликов, а также управлять энергопотреблением освещения, добиваясь при этом высококачественного интегративного освещения.
- МКО в сотрудничестве с другими международными организациями даст общие рекомендации для общественности по влиянию света на здоровье и благополучие.

## РНК МКО НА ВЫСТАВКЕ INTERLIGHT | INTELLIGENT BUILDING RUSSIA



Три мероприятия выставки Interlight Intelligent building Russia в Москве были организованы РНК МКО: Кроме Международного конкурса «Молодые светотехники», о котором мы писали на первых страницах этого журнала, на выставке прошли Панельная дискуссия «Светотехника: кадры для будущего» 17 сентября и XXIII Всероссийский конкурс светового дизайна «Российский светодизайн» 19 сентября.

Почётным гостем Панельной дискуссии стал вице-президент МКО по техническим вопросам Тони Берген. Спикерами выступили представители вузов (НИУ «МЭИ», МГУ им. Огарёва, Томский политехнический университет, РГХПУ им. Строганова) и компаний Arligh, Вольта, Союзэкспертиза ТПП РФ, SWG. Участники мероприятия осветили основные проблемы современного светотехнического образования и рынка кадров, обсудили пути взаимодействия отрасли и вузов на платформе РНК МКО.

19 сентября прошла церемония награждения победителей Всероссийского конкурса «Российский светоди-

зайн», в котором в этом году приняли участие 233 проекта освещения и световых устройств. Конкурс проводился в 13 номинациях, в числе которых и новых, появившихся в этом году номинациях «Световая инсталляция» и «Дизайн городской световой среды». Результаты конкурса и списки финалистов и победителей опубликованы на сайте РНК МКО <https://cie-russia.ru>.

## ВИЗИТ ДЕЛЕГАЦИИ МКО В КИТАЙ

МКО на Шанхайском международном фестивале света



19 сентября 2024 года в Шанхае открылся Международный фестиваль света под названием «Travel in Light». Фестиваль станет месячным праздником городского света и светового искусства, и продолжится до 18 октября. В открытии фестиваля наравне с мэром города и другими официальными лицами приняли участие представители МКО и Ассоциации LUCI (Lighting Urban Community International). Доктор Дженнифер Вейтч, президент МКО, обратилась к участникам фестиваля с теплым приветствием в режиме онлайн.

Следует отметить, что членом жюри и одним из художественных руководителей фестиваля выступила Диана дель Negro, председатель ТК 4-59 МКО «Guide for Lighting Urban

Elements». Её работа сыграла важную роль в обеспечении художественной целостности и высоких стандартов отобранных инсталляций. Делегация МКО – Луокси Хао (вице-президент по образованию), Питер Блаттнер (президент МКО 2019-2023), Диана Верниш (генеральный секретарь), Сермин Онайгил (представитель Отделения 4 МКО в Турции) – встретились с представителями муниципалитета Шанхая.

### Шанхайский международный семинар экспертов

В день открытия фестиваля состоялся семинар экспертов по освещению. Открыла семинар Луокси Хао, вице-президент МКО по образованию и штатный профессор Университета Тунцзи, выступив с докладом на тему «Городское освещение в Китае: На пути к здоровью, комфорту жизни и устойчивости». Профессор Хао также рассказала о множестве примеров из разных регионов Китая, подчеркнув разнообразие потребностей различных регионов. С ключевым докладом на тему «Городское освещение в исследовательской стратегии МКО в соответствии с целями устойчивого развития ООН 2030» выступила Сермин Онайгил, член Управляющего совета МКО и профессор Стамбульского технического университета. В докладе она затронула вопросы планирования и управления энергопотреблением, системы «умных» зданий, методы освещения и управления освещением, дорожное и тоннельное освещение, а также применение светодиодной техники.

В ходе обсуждения на семинаре были рассмотрены ключевые аспекты

стандартов освещения, нормативных актов и практики устойчивого городского освещения. Особое внимание было уделено устойчивости высококачественных фестивалей света, в ходе которых обсуждались вопросы энергопотребления, предотвращения светового загрязнения и жизненно важной роли стандартов в достижении эффективных световых решений.

### Делегация МКО встречается с CIES (NC China)

В рамках своего визита в Китай делегация МКО провела продуктивную встречу с Китайским светотехническим обществом (CIES) и Китайским Национальным комитетом МКО. CIES объединяет более 5 тысяч специалистов и тесно связано с промышленностью Китая. CIES представлено во всех шести отделениях МКО и имеет большое количество экспертов, работающих в руководстве МКО и его отделений, а также в качестве председателей и экспертов Технических комитетов. Встреча ознаменовала официальное начало подготовки к предстоящей сессии МКО в 2027 году, которая пройдет в Нанкине, Китай.

Обсуждения проходили под председательством президента НК МКО Китая Чжэньгяня Лю и вице-президентов Цзяньгена Пана и Луокси Хао, а делегацию МКО представляли Питер Блаттнер, Сермин Онайгил и Диана Верниш. Они также обсудили различные вопросы, связанные с целями и текущим развитием CIES и МКО.

## ПРИГЛАШЕНИЯ ДЛЯ ЭКСПЕРТОВ

Приглашаются эксперты в формирующийся технический комитет МКО TC1-103: «*Research Methods for Psychophysical Studies of Discomfort of Glare*» под председательством С. Фотиуса.

Отдаётся Приоритет заявкам от экспертов, имеющих опыт проведения исследований экспериментального дизайна при измерении дискомфорта блёскости. Заявку на участие в Техническом комитете можно подать через национальный комитет МКО.

## НОВЫЕ ПУБЛИКАЦИИ МКО

### Опубликованы:

**Технический отчёт CIE 254:2024** – A Roadmap Toward Basing CIE Colorimetry on Cone Fundamentals;

**Позиция МКО** – CIE Position Statement on Integrative Lighting - Recommending Proper Light at the Proper Time, 3rd Edition;

**Международный стандарт ISO/CIE 11664-5:2024 (E)** – Colorimetry – Part 5: CIE 1976  $L^*u^*v^*$  colour space and  $u', v'$  uniform chromaticity scale diagram.

### Скоро публикация:

**Технический отчёт TC 1-91** – Methods for Evaluating the Colour Quality of White-Light Sources;

### Международные стандарты

- **ISO/CIE 28077:2024** – Photocarcinogenesis action spectrum (non-melanoma skin cancers);

- **ISO/CIE 23603:2024** – Standard method of assessing the spectral quality of daylight simulators for visual appraisal and measurement of colour;
- **JTC 06 ISO/CIE 10916:2024** – Light and lighting – Energy performance of lighting in buildings – Calculation of the impact of daylight utilization.

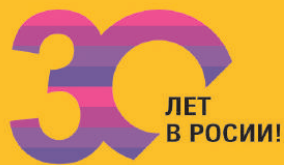
Опубликованные документы МКО доступны для покупки в онлайн-магазине МКО. Члены национального комитета могут приобрести публикации со скидкой национального комитета.

Больше новостей – на сайте Российского национального комитета международной комиссии по освещению

<https://cie-russia.ru>



# INTERLIGHT SMART CITY & HOME



Международная выставка освещения, автоматизации зданий, электротехники и систем безопасности

Новое название:

**INTERLIGHT  
SMART CITY & HOME**

Новый раздел:

**SMART CITY & HOME**

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

Новые даты:

**21–24 октября 2025**

Новая локация:

**МВЦ «Крокус Экспо»  
Москва**

+7 495 649 87 75 • [interlight@gefera.ru](mailto:interlight@gefera.ru) • [interlight-building.ru](http://interlight-building.ru)

На правах рекламы

 **GEFERA MEDIA**

Подписано в печать 10.11.2024. Формат 70x100/16

Печать цифровая. Тираж 500 экз.

Заказ № 0410/24-1-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