

# СВЕТО 1 · 2019

# ТЕХНИКА



**Качество**  
**Надежность**  
**Оперативность**



Россия, г. Москва,  
проспект Мира, д. 106



[opora-e.com](http://opora-e.com)



(495) 785-37-40



## БОЛЬШЕ ЧЕМ СВЕТ

## Новые возможности в освещении

Преимущества самого широкого в мире ассортимента инновационных светодиодных компонентов для общего освещения.

SMD, COB и CAS, малой, средней, высокой и ультра высокой мощности, белые и цветные светодиоды, различных размеров и классов цветопередачи — выбирайте среди наших серий DURIS®, OSOLON® и SOLERIQ® именно те компоненты, которые нужны.

Light is OSRAM

**OSRAM**  
Opto Semiconductors

## НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Основан в 1932 году профессорами М.А. Шателеном и Л.Д. Белькиным и восстановлен после ВОВ профессором В.В. Мешковым

### УЧРЕДИТЕЛИ:

- Академия электротехнических наук РФ
- Всесоюзный научно-исследовательский светотехнический институт (ВНИСИ)
- Национальный исследовательский университет «МЭИ»

### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**Г.В. Боос**, председатель редакционной коллегии, к.т.н., НИУ «МЭИ», Москва

**С.Г. Ашурков**, к.т.н., Москва

**Л. Бедокс** (*Lou Bedocs*), Thorn Lighting Limited, Великобритания

**Т. Берген** (*Tony Bergen*), Технический директор Photometric Solutions International, Австралия

**Г. Бизяк** (*Grega Biziak*), Люблянский университет, Словения

**Л. Билунд** (*Lars Bylund*), Bergen's School of architecture, Норвегия

**П.Р. Бойс** (*Peter R. Boyce*), Lighting Research Center, США

**П. Блаттнер** (*Peter Blattner*) Федеральный Институт Метрологии METAS, Швейцария

**В. ван Боммель** (*Wout van Bommel*), Philips Lighting, Нидерланды

**А.А. Богданов**, к.т.н., ОАО «ИНТЕР РАО Светодиодные Системы», С.-Петербург

**Н.В. Быстриянцева**, к. арх., Университет ИТМО, С.-Петербург

**Л.П. Варфоломеев**, к.т.н., Москва

**Н. Василев** (*Nicolay Vasilev*), Sofia Technical University, Болгария

**Д. Вейтч** (*Jennifer Veitch*), National Research Council of Canada, Канада

**А.А. Григорьев**, д.т.н., НИУ «МЭИ», Москва

**С. Дарула** (*Stanislav Darula*), Academy Institute of Construction and Architecture, Словакия

**О.Е. Железникова**, к.т.н., МГУ им. Н.П. Огарёва, Саранск

**П.П. Зак**, д.б.н., проф., ИБХФ РАН, Москва

**Т. Казанасмаз** (*Tugce Kazanasmaz*), Измирский технологический институт, Турция

**А.А. Коробко**, к.т.н., БЛ Групп, Москва

**С. Мазумдар** (*Saswati Mazumdar*), университет Джадавпур, Индия

**Д.А. Мельников**, Министерство Энергетики РФ, Москва

**Э. Миллс** (*Evan Mills*), Lawrence Berkeley Laboratory, США

**Л.Г. Новаковский**, к.т.н., ООО «Фарос-Алеф»

**Й. Оно** (*Yoshi Ohno*), NIST Fellow, (Президент МКО в 2015–2019 гг.), США

**А.Т. Овчаров**, д.т.н., проф., ТГАСУ, Томск

**Л.Б. Прикупец**, к.т.н., ВНИСИ им. С.И. Вавилова, Москва

**Л.Р. Ронки** (*Lucia R. Ronchi*), Higher School of Specialization for Optics, University of Florence, Италия

**А.К. Соловьёв**, д.т.н., проф., НИУ «МГСУ», Москва

**К.А. Томский**, д.т.н., проф., СПбГИКИТ, С.-Петербург

**П. Торнс** (*Peter Thorns*), Zumtobel Group, Австрия

**Г. Циссис** (*Georges Zissis*), университет Тулузы, Франция

**А.Г. Шахпарунянц**, к.т.н., генеральный директор ВНИСИ им. С.И. Вавилова, Москва

**Н.И. Щепетков**, д. арх., проф., МАРХИ (ГА), Москва

### РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА

Генеральный директор

**Н.С. Шерри**; sherri@bl-g.ru

Старший научный редактор

**Е.И. Розовский**; lampstech@mail.ru

Шеф-редактор

**Ю.Б. Айзенберг**, д.т.н., проф., академик АЭН РФ

Главный редактор

**В.П. Будаков**, д.т.н., проф.; BudakVP@gmail.com

Зам. главного редактора и научный редактор англоязычной версии

**Р.И. Столяревская**, д.т.н.; lights-nr@inbox.ru

Научный редактор

**С.Г. Ашурков**; svetlo-nr@yandex.ru

Научный редактор

**А.Ю. Басов**; basov@bl-g.ru

Выпускающий редактор

**П.А. Федорищев**; fedorishchev@gmail.com

Зав. редакцией

**М.И. Титаренко**; zav.red@list.ru

Стилист английской версии

**М.Д. Виноградова**

Секретарь редакции

**А.В. Лукина**; journal.svetotekhnika@mail.ru

Дизайнер-верстальщик

**А.М. Богданов**

Контент-менеджер

**Е.С. Серый**

### ИНОСТРАННЫЕ КОРРЕСПОНДЕНТЫ

#### Аргентина

Пабло Икстайна (*Pablo R. Ixtaina*), Национальный технологический университет Ла-Платы;

#### Франция

Георг Циссис (*Georges Zissis*), университет Тулузы;

#### Индия

Сасвати Мазумдар (*Saswati Mazumdar*), университет Джадавпур;

#### Словения

Грега Бизяк (*Grega Biziak*), Люблянский университет;

#### Турция

– Тугсе Казанасмаз (*Tugce Kazanasmaz*), Измирский технологический институт;

– Эрдал Шехирли (*Erdal Sehirlil*), университет Кастамону;

– Ренгин Юнвер (*Rengin Unver*), Технический университет Йылдыз (Стамбул)

Перепечатка статей и материалов из журнала «Светотехника» – только с разрешения редакции.

За содержание и редакцию информационных материалов ответственность несет источник информации.

Мнение редакции не всегда совпадает с мнением авторов статей

Сдано в набор 10.01.19. Подписано в печать 06.02.19  
Формат 60×88 1/8. Печ.л. 10,00. Тираж 1200

Отпечатано в типографии ООО «Группа Компаний Море»  
101898, Москва, Хохловский пер., д. 9

129626, Москва, проспект Мира, 106, ВНИСИ, оф. 327; Тел. 7(495)682–26–54; 7(499)706–80–65; Тел./факс: 7(495)682–58–46

E-mail: info@l-e-journal.com; Интернет: www.l-e-journal.com; Электронная версия журнала: www.elibrary.ru

# СОДЕРЖАНИЕ 1·2019

В НОМЕРЕ

ЯНВАРЬ • ФЕВРАЛЬ

<b>Бизнес и инновации</b> ..... 20, 68, 79	<b>Серый Е.С.</b> Москва праздничная, освещённая..... 43
<b>Айзенберг Ю.Б., Будак В.П.</b> Журнал «Светотехника / <i>Light &amp; Engineering</i> » в 2018–2019 гг..... 4	<b>Юбилей А.Ш.</b> Черняка ..... 29
<b>Дарула С.</b> Обзор современного состояния и перспектив стандартизации в области естественного внутреннего освещения ..... 6	<b>Юбилей В.М.</b> Петрова..... 79
<b>Кохановский А.А.</b> Простой способ определения характеристик снега на основе результатов измерений коэффициента отражения ..... 21	<b>Юбилей А.А.</b> Григорьева ..... 88
<b>Анисимов В.Н.</b> Световой десинхроноз и здоровье ..... 30	<b>Юбилей В.М.</b> Пятигорского ..... 72
<b>Спиридонов А.В., Умнякова Н.П.</b> Обследование состояния (общее и инструментальное) исторических светопрозрачных конструкций ГМИИ им. А.С. Пушкина..... 39	<b>ДИСКУССИЯ ПО ПРОБЛЕМЕ СВЕТОДИЗАЙНА</b>
<b>Дас Б., Сур А.К., Мазумдар С.</b> Проектирование и разработка искусственного окна, работающего от солнечной энергии, с изменяющейся цветовой температурой на основе красного, синего и белого светодиодов ..... 44	<b>Будак В.П., Ковыркова М.Д., Макаров Д.Н., Минаева С.Ю., Скорнякова А.А.</b> Светодизайн – воспитание творческих способностей у студентов-светотехников..... 80
<b>Ли М.Е., Фёдоров С.В.</b> Двухлучевой спектрофотометр для одновременного измерения спектральных характеристик восходящего из моря и падающего в него излучения..... 50	<b>СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ</b>
<b>Ёнер М., Казанасмаз Т.</b> Основанные на освещённости и яркости оценки совместной работы световых полок и светоотражающих жалюзи в читальных залах библиотек ..... 54	<b>Пашковский Р.И.</b> Жилые многоквартирные дома. Управление и питание общедомового освещения ..... 84
<b>Кокаман Б., Рустемли С.</b> Сравнение светильников со светодиодами и натриевыми лампами высокого давления при освещении тоннелей ..... 62	<b>Российские</b> и международные светотехнические конференции (II квартал 2019 года) ..... 95
<b>Вассерман А.Л.</b> Измерение бактерицидного потока ультрафиолетовых трубчатых ртутных ламп низкого давления..... 69	<b>СТУДЕНЧЕСКИЕ РАБОТЫ</b>
<b>Павлов С.А., Павлов А.С., Максимова Е.Ю., Алексеенко А.В., Павлов А.В., Антипов Е.М.</b> Анализ светового поля в флуоресцирующих оптических слоях с квантовыми точками на основе <i>CdSe/CdS/ZnS</i> ..... 73	<b>Конкурс</b> курсовых проектов НИУ «МЭИ» по дисциплине «Компьютерная графика»..... 90
<b>ХРОНИКА</b>	<b>ИНФОРМАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ</b>
<b>70 лет труда</b> и света. К Юбилею Ардатовского светотехнического завода ..... 77	<b>Новые</b> возможности в освещении от компании <i>Osram</i> ..... 1
	<b>Тепличное</b> освещение: урожай в новом свете..... 60
	<b>Светильник</b> со светодиодами <i>GALAD ЮНИОР LED</i> ..... 89
	<b>Инновационные</b> решения в освещении для столицы и регионов..... 96
	<b>Анфилада</b> золотых звёзд на площади Киевского вокзала в Москве. Фото Е.С. Серого..... 1 с. обл.
	<b>Oroga Engineering:</b> Качество, надёжность, оперативность ..... 2 с. обл.
	<b>Управление</b> освещением – залог безопасности ..... 3 с. обл.
	<b>Лихославльский</b> завод «Светотехника»: российское производство с качеством мирового уровня ..... 4 с. обл.



**Ю.Б. Айзенберг**  
профессор

Стратегия журнала в 2018 году была сформулирована в нашей статье «Наука «СВЕТОТЕХНИКА» – её область применения и теоретические основы» в №3 за 2018, сущность которой сводится к тому, что понятие «световая техника» является более широким и включает в себе «осветительную технику» как одну из своих составных частей. Наука о свете в настоящее время столкнулась с двумя принципиальными, давно назревшими вызовами. Прежде всего, светотехника давно перестала быть только наукой об электрическом освещении. Развитие источников света и методов пространственного управления световыми потоками постоянно расширяют область применения систем светотехники. Кроме зрительного и незрительного воздействия света на человека необходимо отметить следующие интенсивно развивающиеся области использования оптического излучения:

- воздействие УФ части оптического спектра в облучательных установках для очистки питьевой воды, дезинфекции объемов помещений, дезодорации воздуха;
- воздействие на животный и растительный мир и окружающую среду в целом;
- физиотерапевтического воздействия на организм человека и широчайшее использования света в медицине;
- использование световой локации на поверхности земли и облачных слоев;
- проблемы солнечной энергетики с преобразованием естественного света в электрический ток с последующим его аккумулированием и преобразованием в свет;
- передача информации с помощью светового излучения;
- световой дизайн;
- и многие другие области применения.

Такое широкое применение светотехнических систем определяет второй вызов – формулировка теоретических основ этой науки. Все многообразные области использования света объединяет общая



**В.П. Будак**  
д.т.н., профессор  
BudakVP@gmail.com

теоретическая основа – единые физические принципы распространения оптического излучения. Это составляет сущность светового поля в рамках лучевых фотометрических представлений о свете.

Внедрение в нашу жизнь электрического освещения потребовало развития методов расчёта светотехнических систем, методов измерения их характеристик, определения норм освещения для выполнения той или иной деятельности. Для этого была создана теоретическая модель света. Теория Бугера-Ламберта основывалась на представлениях Кеплера о свете как совокупности лучей, поэтому эта модель получила название фотометрической или лучевой. Своё завершение модель получила в работах Гершуна в виде теории светового поля – области пространства, изучаемой с точки зрения происходящего в ней переноса лучистой энергии.

Развитие теории светового поля происходило одновременно с развитием волновой теории света, а позднее – квантовой электродинамики. Связь теории светового поля с волновой и квантовой природой света долгое время оставалась невыясненной, что определяло в физике отношение к ней как к сугубо приближённой, инженерной, прикладной. В работах конца XX века была выявлена связь светового поля с волновой теорией света и квантовой электродинамикой, что определило в физике наличие иерархии трёх теорий о свете. Раскрытая связь трёх теорий о свете показала, что в границах своей справедливости каждая модель образует замкнутую теорию и ни в каких уточнениях не нуждается. Более того, надо признать, что фотометрическая, лучевая модель верна в подавляющем большинстве практических ситуаций, а отличия от неё проявляются в весьма тонких экспериментах.

Теория светового поля существенно выходит за рамки техники освещения и служит языком описания практически любого технологического использования света. Поэтому масштабы светотехниче-

ской науки несравнимо крупнее только вопросов освещения. Светотехника – область науки и техники, предметом которой являются разработка способов генерации, пространственного перераспределения оптического излучения, а также его преобразования в другие виды энергии и использование в различных целях.

Реализация этой программы осуществлялась на страницах нашего журнала в 2018 году. Нашей несомненной удачей в этом направлении является публикация в №1 статьи одного из ведущих специалистов нашей страны по квантовой электродинамике Векленко Б.А. «Природа фотона и квантовая оптика». Представляется, что это первая публикация в мире, где дано максимально доступное, но не упрощённое изложение теории фотона, которая является фундаментом наших представлений о свете.

В этом же направлении по выявлению границ и области применения светотехники вниманию читателей были предложены статьи по передаче информации по пучку света: Тарасенков М.В., Познахарев Е.С., Белов В.В. в №4, обзор Белова В.В. «Оптическая связь на рассеянном или отражённом лазерном излучении» в №6. В течение года были опубликованы статьи, подготовленные авторами лучших докладов основной конференции в нашей стране по компьютерной графике «Графикон-2017», где исследуются задачи моделирования световых полей на компьютере и визуализация результатов.

В работе Афанасьева В.П. и др. «Применение фотометрической теории светового поля в задачах рассеяния электронов» в №5 показана связь теории светового поля с теорией распространения частиц в веществе, что позволяет взаимно обогащать их.

Нельзя не отметить серьёзную публикацию по технологическому применению света в сельском хозяйстве Прикупец Л.Б., Боос Г.В., Терехов В.Г., Тараканов И.Г. «Исследование влияния излучения в различных диапазонах области ФАР на продуктивность и биохимический состав биомассы салатно-зеленных культур» в №5, где автором удалось оценить действенность облучения в теплице по конечному результату – синтезу полезной биомассы.

Однако журнал, расширяя горизонты светотехнической науки, никогда не забывал о традиционных направлениях светотехники. Хотелось бы прежде всего отметить публикации в №3 статей, подготовленных авторами по отобран-

ным редакцией докладов конгресса *Lux Eurora-2017* г., Любляна, Словения. Мы благодарны профессору Грегу Бизяку за помощь в подготовке этих публикаций. Основное направление публикаций — не-визуальное действие света, умный город. К проведению чемпионата мира по футболу в России в №№2, 4 журнала были опубликованы статьи В.Н. Степанова по освещению спортивных сооружений и, в частности, футбольных полей.

Бессмысленно перечисление всех работ, но представляется, что именно выбранная стратегия позволила журналу победить в конкурсе государственной поддержки научно-технических журналов России, проводимого Министерством образования и науки РФ. Выделенные средства журнал направил на разработку нового современного сайта журнала (*l-e-journal.com*) и привлечение ведущих специалистов мира по написанию обзоров о современном состоянии перспективных направлений светотехнической науки. В №5 опубликован обзор Апресян Л.А. «Эффективные электродинамические параметры нанокompозитных сред и теория гомогенизации» по наноптике, где открываются перспективы создания материалов с любыми наперед заданными характеристиками, указанный выше обзор Белова В.В. по оптической связи. Обзоры двух иностранных специалистов (А. Кохановского по оптическим методам дистанционного зондирования и С. Дарулы по естественному освещению) опубликованы на в журнале «*Light & Engineering*», а их переводы на русский язык публикуются в этом номере «Светотехники».

Своей большой удачей считаем организацию в №№3–6 дискуссии по определению и обсуждению профессии светодизайна, которая вызвала очень широкий отклик специалистов. Направление светодизайна не является новым в светотехнике, но в настоящее время с переходом проектирования осветительных установок на основе программ компьютерной графики, освободивших проектировщика от рутины светотехнических расчётов и заставивших их мыслить образами, эта тема стала актуальной по-новому. Приглашаем читателей к продолжению дискуссии по этой важной для отрасли теме и в 2019 году.

Именно эта дискуссия породила дальнейшее развитие программы публикаций и развития светотехнической науки. Свет — столь сложное и важное в жизни людей явление, что его изучают с разных сторон различные сферы человеческого интеллекта — физика, фотометрия, дизайн, архитектура, живопись и искусство, — но каждое только с одной стороны. Возникает идея синтеза всех дости-

жений мысли в одном месте, создание своего рода Дома света, который и позволит понять всю глубину этого явления. Поэтому мы очень надеемся на продолжение публикаций на страницах нашего журнала специалистов по художественному восприятию распределения света.

Здесь видится включение журнала в публикации в направлении человеко-ориентированного освещения (*Human centric lighting, HCL*). *HCL* — не направление в науке и не новая технология, это скорее девиз, призывающий проектировать освещение с максимальным учётом требований человека. Этому направлению мы хотели бы уделить наше наибольшее внимание в ближайшие годы.

Журнал стремился публиковать материалы по актуальным проблемам освещения в нашей стране, иметь тесный контакт с Министерством энергетики РФ: Инюцын А.Ю., Мельников Д.А. «О логике технического регулирования в области освещения» в №1, Мельников Д.А. «О школьном освещении» в №2.

Сверх периодических номеров «Светотехники» в 2018 году вышло два специальных выпуска — «Свет в музее» по материалам одноимённой конференции в Санкт-Петербурге в 2018 году и дополнение к №4 журнала «*Light & Engineering*» «Правовое регулирование в области повышения энергоэффективности» (*Improving energy efficiency and the legal right*). Редакция планирует развитие специальных выпусков и приглашает к сотрудничеству различные организации: вы готовите рукописи статей, а мы организуем их публикацию.

Особо хочется отметить выход в этом году первого выпуска журнала «Светотехника для школьников и их родителей», где мы пытаемся возродить традиции великих советских журналов для школьников — «Квант», «Юный техник», «Техника молодёжи» и др., которые во многом определяли высокий уровень науки в СССР. В новом году мы планируем выпустить ещё два номера нашего журнала для юношества.

XXI век — век света. Область применений света непрерывно расширяется. Наличие единого научно-технического подхода позволит нам рассматривать основополагающие теоретические и прикладные проблемы во всех сферах использования света с единых научных позиций, и нам представляется, что миссией журнала является создание открытой площадки междисциплинарного общения и обмена научной информацией, результатами фундаментальных и прикладных исследований в области науки о свете в рамках лучевых, фотометрических представлений и применения её результатов для комфортного осве-

щения в технологических целях, медицине и др. На сегодняшний день «Светотехника / *Light & Engineering*» является единственным в мире журналом, который наряду с проблемами освещения рассматривает вопросы использования света в технологических целях в рамках фотометрической теории светового поля. Публикации на темы применения света в узкоспециализированных журналах вне единых позиций лучевых представлений приводят к созданию различных, дублирующих систем терминологии, открытий уже давно открытого в других областях.

Наш журнал:

- нацелен на развитие активных коммуникаций внутри мирового светотехнического сообщества, создание открытой площадки для дискуссий и свободного высказывания мнений специалистов различных профилей, способствующему выявлению природы светового поля и развитию областей ее возможных применений;

- ориентирован на создание единых представлений о теоретических основах науки светотехники и их широкого применения при решении прикладных задач;

- содействует развитию международного сотрудничества, продвижению и распространению результатов российских авторов в международном профессиональном сообществе;

- способствует сближению науки и инженерной практики, поиску возможностей для применения результатов научных исследований в областях освещения и технологического применения света;

- обеспечивает максимально широкую представленность экспертов и авторов из разных регионов РФ и других стран;

- оказывает содействие объединению специалистов всего мира для решения основных светотехнических задач по улучшению свето-цветовой среды, укреплению здоровья детей и подростков, снижения расходов электроэнергии при одновременном улучшении качества освещения.

Для решения перечисленных задач с привлечением специалистов разных стран журналом создана сеть корреспондентских пунктов в таких странах, как Аргентина, Индия, Словения, Турция, Финляндия, Франция. От корреспондентов получены проекты планов публикаций от авторов из этих стран в журнале.

Реализация этой программы подкрепляется введением в редакционную коллегию президента-электа МКО П. Блатнера и директора третьего отделения МКО П. Торна. Проведено общее обновление состава редколлегии с введением активных исследователей в светотехнике.

# Обзор современного состояния и перспектив стандартизации в области естественного внутреннего освещения<sup>1</sup>

С. ДАРУЛА

Строительно-архитектурный институт Словацкой академии наук, Братислава, Словакия  
E-mail: usarsdar@savba.sk

## Аннотация

В древности жизнь на земле определялась тремя основными факторами, а именно, ветром, водой и солнцем. В истории архитектуры задокументировано значительное влияние солнца на городскую жизнь, которое проявлялось в планировке домов в древних Месопотамии и Греции. И излучение солнца вообще, и дневной свет в частности играли существенную роль при формировании внутридомовых пространств. Позже, в 20-м веке, внимание было обращено на взаимосвязь между жизнью людей в домах и естественными условиями применительно к самочувствию людей и вопросам энергопотребления, и в последнее время соответствующие всесторонние исследования начали проводить с использованием как компьютеров, так и междисциплинарного подхода. В то же время, недостаточность естественного света даже в дневное время компенсировалась искусственным внутренним освещением, которое становилось всё эффективнее и дешевле.

Существуют два подхода к нормированию и оценке зрительной среды внутри зданий. Первый из них основан на определении минимальных показателей, позволяющих удовлетворить потребности здорового образа жизни людей и обеспечивающих работу их зрения при осуществлении любой деятельности, тогда как второй подход основан на поведении и комфорте обитателей зданий с учётом круглогодичного измене-

ния таких физических параметров, как свет, температура, шум и энергопотребление.

Современная нормативная база для оценки естественного освещения и критерии выбора размеров окон стимулируют исследования в области методологического подхода, который исторически был основан на соответствующем пасмурному небу<sup>2</sup> распределении яркости и не учитывал годовые изменения уровня освещённости, создаваемой светом неба. Новая тенденция в нормировании естественного освещения, заключающаяся в учёте годового или долгосрочного изменения естественного освещения, основана на средних или медианных уровнях обеспечиваемой светом неба освещённости, которая характеризует местные климатические условия.

В статье приведены обзор и обсуждение принципов нормирования естественного освещения с небольшим вступлением, охватывающим историю и современное состояние рассматриваемого вопроса. При этом основное внимание будет уделено будущему развитию светотехники в целом и соответствующих стандартов в частности.

**Ключевые слова:** нормирование естественного освещения, параметры естественного освещения, расчёт естественного освещения зданий, источники естественного освещения.

## 1. Введение

В последнее время наблюдается стремление к унификации критери-

ев оценки внутреннего естественного и искусственного освещения, исходя при этом как из соображений, связанных с обеспечением здоровья людей и хороших условий видимости, так и с удовлетворённостью людей средой их обитания. Основные требования к здоровой и хорошей зрительной среде можно разбить на несколько категорий [1–5]:

– Физиологическая: здоровье людей, наличие естественного света вообще и солнечного света в частности, достаточная освещённость, невизуальное воздействие, распределение яркости, отсутствие блёскости, контраст между фоном и наблюдаемыми деталями/объектами, острота зрения и возможность различать мелкие детали за нужное время.

– Психологическая: вид наружу, самочувствие, ориентация в пространстве, насыщенность пространства естественным светом и создание настроения.

– Эстетическая: цветовая гармония и усиление привлекательности пространства внутри зданий.

– Социальная: культурное наследие и национальные/местные традиции.

– Экологическая: уменьшение выработки  $CO_2$  в результате уменьшения энергопотребления

– Экономическая: максимальное использование естественного света и оптимизация затрат, энергосбережение.

– Технологическая: специализированные устройства, ориентированные на выполнение определённых функций и задач, эксплуатационные расходы, требования к монтажу и техническому обслуживанию и системы для обеспечения естественного освещения.

Проектирование естественного освещения – это сложный процесс, предполагающий учёт всех перечисленных моментов, чтобы в результате обеспечить достойный уровень жизни внутри зданий. И это требует наличия соответствующих стандартов, норм и рекомендаций, которые, возможно, ещё только предстоит разработать [3, 6]. В светотехнике предпочтительными являются объективные физические характеристики, такие как измеряемая в люксах освещённость, а не относительный коэффициент естественной освещённости (КЕО), который всё ещё используется как в стандартах на естественное освещение, так и на практике.

<sup>1</sup> Перевод с англ. Е.И. Розовского

<sup>2</sup> Традиционно, в светотехнической литературе термин «overcast sky», входящий в состав термина «CIE overcast sky», переводится как «облачное небо» («облачное небо МКО») (см., например, Международный светотехнический словарь. М.: «Русский язык», 1979, или СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение), однако более правильным представляется термин «пасмурное небо МКО» (и, соответственно, «пасмурное небо»), который использован, например, в Справочной книге по светотехнике под ред. Ю.Б. Айзенберга (3-е изд., М.: Знак, 2006). – Прим. пер.



## 2. Краткая история использования дневного света в зданиях

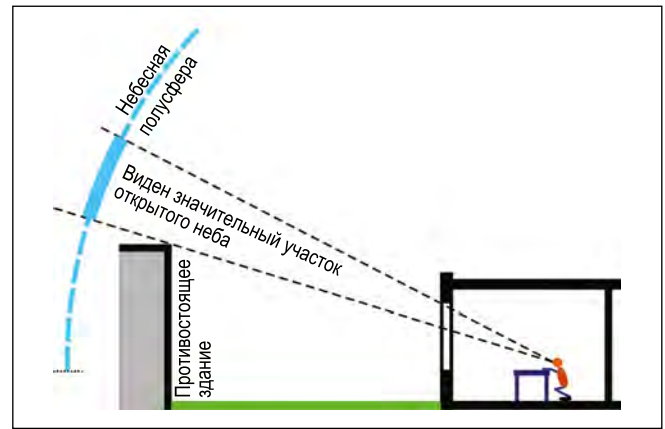
С того момента, как первобытные люди осознали ограниченность естественного освещения и потребность в искусственных источниках света в ночное время, они научились поддерживать огонь, и костёр стал не только источником тепла и света, но и местом для общения.

Первая цивилизация возникла за 3000 лет до новой эры, когда в Месопотамии появились такие города, как Ур, Урук и Киш. Дома в то время имели простую конструкцию с атриумом и возводились с незастеклёнными проёмами [7]. Греческие дома были компактнее и имели перистили с колоннами с трёх сторон. Из перистилия, представляющего собой открытое пространство, можно было войти в комнаты [8]. Жилые пространства освещались через двери или окна, а также при помощи старинных каменных светильников, неудобных из-за наличия дыма и пепла. Впоследствии вместо них в римских домах стали использовать свечи с хлопчатобумажными фитилями.

Витрувий<sup>3</sup> ввёл простое правило оценки естественного освещения помещения: если из места, в котором нужно естественное освещение, видна значительная часть небесной полусферы, то это место освещено дневным светом в достаточной степени (рис. 1) [8]. Это правило применялось архитекторами во времена Древнего Рима. Следует отметить, что это правило было первым признанным критерием оценки естественного освещения зданий.

Когда Пьер Бугер начал свои фотометрические измерения, то в созданном Мари (Marie) [9] первом субъективном люксметре использовались свеча, выступавшая в качестве источника света сравнения, и многочисленные стеклянные фильтры, позволявшие уменьшить яркость неба. Как бы то ни было, этим Бугер положил начало фотометрии [10]. Через несколько лет Иоганн Ламберт [11] приступил к теоретическому выводу зависимости освещённости внутри здания (внутренняя освещённость) от вели-

Рис. 1. Древнее правило для оценки естественного освещения (по [8])



чины стягиваемого окном телесного угла с вершиной в рассматриваемой точке плоской поверхности и освещённости вне здания (наружная освещённость). Сделанное Ламбертом допущение оказалось очень полезным, простым и практичным для расчёта относительной естественной внутренней освещённости здания при известной яркости неба:

$$\frac{E_{v,i}}{E_{v,d}} = \frac{L_a \omega_p}{\pi L_{v,z}} = \frac{\omega_p}{\pi} = R.S.F, \quad (1)$$

где  $E_{v,i}$  – внутренняя естественная освещённость, лк;  $E_{v,d}$  – наружная освещённость, создаваемая полностью открытым небосводом, лк;  $L_a = L_{v,z}$  – яркости произвольно выбранного и расположенного в зените элементов равнорядного неба соответственно,  $\text{кд}/\text{м}^2$ ;  $\omega_p$  – проекция на горизонтальную освещённую плоскость телесного угла, стягиваемого световым проёмом;  $\pi$  – проекция на горизонтальную освещённую плоскость телесного угла, стягиваемого полусферой;  $R.S.F.$  – геометрический КЕО (*Reference Sky Factor*), выступающий в роли параметра естественного освещения.

Не имея необходимых сведений о яркости неба, Ламберт предположил, что идеальное пасмурное небо является абсолютно однородным во всех азимутальных направлениях, так что яркость неба можно считать постоянной.

Несколько веков тому назад обеспечение доступа дневного и солнечного света имело важное значение при проектировании зданий. В то время использовали эмпирические правила, например, определяющие соотношение между высотой верхней границы оконного проёма и глубиной помещения или ограничивающие эту

глубину [12]. Важность естественного освещения впервые была признана в Великобритании в законе 1832-го года, известном как Акт о праве на свет (*Act Right of Light*), согласно которому любой владелец недвижимости мог сохранять имеющийся у него доступ к дневному свету на протяжении 20-ти лет [13, 14]. Эти разрозненные правила исходили из геометрии окон и окружающих зданий.

Индустриализация европейских стран, например, Англии и Германии, имевшая место в 19-ом веке, привела к созданию промышленных предприятий, которые потребляли твёрдое топливо и выбрасывали в атмосферу большое количество загрязняющих веществ. Это отрицательно сказывалось на здоровье людей и окружающей среде. И естественно, начались поиски возможностей улучшения условий жизнедеятельности людей. Обеспечение наличия солнечного света и увеличение количества дневного света в тускло освещённых зданиях было одним из важных способов улучшения зрительной среды внутри зданий.

Измерения распределения яркости пасмурного неба, являющегося наилучшим источником естественного света, показали, что яркость реального пасмурного неба распределена неравномерно, изменяясь от горизонта к зениту в соотношении 1:2–1:3 [15–18]. Мун и Спенсер предложили формулу [19], которая была стандартизирована Международной комиссией по освещению (МКО) [20]:

$$L_\gamma = \frac{L_z(1 + 2\sin\gamma)}{3}, \quad (2)$$

где  $L_\gamma$  – яркость неба в точке под углом  $\gamma$  к горизонту,  $\text{кд}/\text{м}^2$ ;  $L_z$  – яркость неба в зените,  $\text{кд}/\text{м}^2$ .

<sup>3</sup> Римский архитектор и инженер (80 – 15 гг. до н.э.), автор трактата «Десять книг об архитектуре». – Прим. пер.

И только теперь, после проведения измерений яркости неба и долгосрочных, например, поминутных, измерений состояния неба, можно более точно прогнозировать условия естественного освещения снаружи и внутри зданий на протяжении дня, сезона или всего года [7–28, 125, 126].

Инженеры часто обсуждают важность и смысл стандартизации в области техники. Она помогает в разработке новой техники, если стандарты способствуют этому, но может оказаться неэффективной или основываться на худших условиях при расхождениях между намерениями и условиями применения стандартов [6]. История показала, что стандартизация – это сложный процесс, зависящий от текущего уровня знаний, климата и национальных особенностей, равно как и от развитости и зажиточности общества.

Для 20-го века характерно развитие разных архитектурных стилей, ориентированных на природу, солнце и потребности людей. Когда Ле Корбюзье сформулировал 5 пунктов своих принципов фундаментализма, он открыл внутренние пространства жилых зданий для солнца [29]. Один из этих принципов рекомендовал сооружать здания «с горизонтальными окнами, предпочтительно, идущими по всей длине фасада». Застеклённые фасады офисных зданий, которые были возведены во второй половине прошлого века, продемонстрировали наличие серьёзных проблем с блёкостью, перегревом помещений и энергоэффективностью здания.

Существуют места с большой населённостью и высокой стоимостью земли, такие как Нью-Йорк или Гонконг. И одним из предметов обсуждения при планировании Нью-Йорка было обеспечение доступа воздуха и дневного света на улицы города [30–33]. Вертикальные освещённости фасадов и незатенённых участков учитывались при возведении высоких жилых зданий в Гонконге [32–35]. Согласно [36], к социально значимым проблемам плотно застроенных городских районов относятся повышенный уровень преступности, плохое поведение детей, боязнь пожаров и недостаточность естественного освещения. Эти отрицательные моменты привели к переоценке плотности городской застройки в сторону более благоприятной для жизнедеятельности людей. В целом, это привело к появлению

концепции, согласно которой среда внутри зданий должна быть человеческой.

### 3. Метрика естественного освещения

На протяжении дня естественное освещение внутри зданий непрерывно изменяется как по интенсивности, так и по пространственному распределению, причём основными источниками света при этом являются солнце и небо, и определение соответствующих характеристик и метрик до сих пор не завершено [2, 7, 37–39]. Метрику естественного освещения можно разделить на три категории – статическая, динамическая и нормативная, и в совокупности они обеспечивают оценку естественного освещения зданий.

#### 3.1. Минимальные требования

##### Коэффициент естественной освещённости (КЕО)

По определению, коэффициент естественной освещённости  $D$  – это отношение освещённости  $E_i$  в рассматриваемой точке внутри помещения к наружной освещённости  $E_{v, d}$ , создаваемой светом полностью открытого пасмурного<sup>4</sup> неба, причём вклад прямого солнечного света в создание и той, и другой освещённости исключается [<http://eilv.cie.co.at/term/279>].

Введение КЕО имеет ряд достоинств, таких как простота определения размеров проектируемых окон и расчёта естественного освещения в целом, и недостатков, таких как невозможность оценки изменений освещённости во времени и учёта ориентации помещений. К недостаткам можно отнести также и то, что проектирование уровня естественного освещения в люксах осуществляется без учёта изменчивости этого освещения

##### Освещённость на рабочей поверхности

Следует обращать внимание на возможность выполнения зрительных задач, требующих точного распознавания наблюдаемых деталей. При этом следует определить измеряемое в люксах пороговое значение освещённости на рабочей поверхности.

<sup>4</sup> В определении МКО (термин 279) состояние неба (пасмурное) не конкретизируется. – Прим. пер.

### 3.2. Моделирование естественного освещения

Моделирование естественного освещения охватывает компьютерные расчёты естественного освещения внутри и снаружи зданий на протяжении года или другого периода при одном или нескольких состояниях неба. Результатами моделирования служат уровни освещённости, яркости или их распределения внутри помещений, представленные в виде графиков или визуализаций [27]. Для расчёта естественного освещения могут использоваться несколько методов моделирования.

##### Автономность естественного освещения (Daylight autonomy – DA)

Различают статическую и динамическую автономность естественного освещения. Определение степени статической автономности естественного освещения основано на расчёте КЕО в рассматриваемой точке в условиях пасмурного неба. Определение степени динамической автономности естественного освещения основано на прогнозировании с заданным временным шагом (час или меньше) наличия достаточной освещённости в рассматриваемой точке в течение года. Автономность естественного освещения определяется выраженной в процентах частью года, на протяжении которой естественная освещённость превышает заданное минимальное значение [40–42].

##### Автономность диффузного естественного освещения (Diffuse Daylighting Autonomy)

Определение степени автономности диффузного естественного освещения основано на почасовых метеорологических данных, обработанных в соответствии с моделью [23] для получения почасовых значений наружной горизонтальной диффузной освещённости или почасовых значений диффузной освещённости на наклонной поверхности. Для учёта ориентации помещения производится взвешивание автономности диффузного естественного освещения [43].

##### Эталонный год для естественного освещения (Daylight reference year – DRY)

Эталонный год для естественного освещения формируется в результате синтеза годовых совокупностей прямой, диффузной и полной наружных освещённостей, полученных статисти-

ческими методами на основе результатов реальных фотометрических и радиометрических измерений. *DRY* для Братиславы и Афин содержит реальные дневные изменения освещённости в характерные месяцы [44]. Первый *DRY*, основанный на фотометрических характеристиках, был получен Петракисом [45].

#### Полезная естественная освещённость (Useful daylight illuminance – UDI)

Понятие полезной естественной освещённости основано на определении освещённостей, реализующихся на протяжении года, которые попадают в интервал между минимальным и максимальным допустимыми значениями освещённости. Минимальная освещённость соответствует порогу выполнения зрительной задачи, а максимальной считается наибольшая освещённость, которую всё ещё могут выдерживать находящиеся в помещении люди [42, 43, 46].

#### Климатическое моделирование естественного освещения (Climate based daylight modelling – CBDM)

Климатическое моделирование естественного освещения представляет собой метод прогнозирования годовых радиометрических или фотометрических характеристик, когда абсолютные значения освещённости и яркости получают на основе метеорологических баз данных, содержащих данные, соответствующие всем солнечным и несолнечным дням. *CBDM* предоставляет соответствующие определённым местам климатические данные для расчёта естественного освещения и оценки ориентации зданий, работы солнцезащитных устройств и т.д. [38, 47].

#### Годовая естественная экспозиция (Annual daylight exposure)

Годовая естественная экспозиция представляет собой совокупное количество видимого излучения, падающего на рассматриваемую точку в течение года и измеряемого в лк·ч/год [48].

### **3.3. Сертификация экологичности зданий**

В настоящее время помимо стандартизации предлагается осуществлять сертификацию условий внутри зданий или экологичности зданий в рамках, например, таких систем, как *LEED*, *BREEM* или *DNGB* [38, 41]. Естественное освещение является лишь

одним из параметров, учитываемых при проведении этими системами количественных оценок [49], которые не всегда следуют правилам фотометрии. В отличие от стандартизации, системы сертификации могут существенно занизить важность зрительной среды, уделяя больше внимания другим моментам.

### **4. Краткая история искусственного освещения**

В средние века стандартными источниками света были свечи, изготовленные из животного жира или пчелиного воска, а впоследствии, в 18-ом веке, именно свечу приняли в качестве единицы силы света. Конечно, ни один искусственный источник света не может конкурировать со светом солнца или неба, который проникает в помещения.

Помимо огня, использовавшегося в качестве искусственного источника света в факелах, масляных лампах или свечах, в 1799 г. были изобретены оригинальные и действительно искусственные источники света. Были открыты два новых источника энергии: А. Вольта изобрёл электрическую батарею, а У. Мёрдок осветил свой дом при помощи светильного газа [50]. Впоследствии газовое освещение использовалось в Великобритании и Европе на протяжении более чем 200-от лет, особенно в виде уличных светильников, тогда как в замкнутых помещениях его старались не использовать. Для внедрения электрического освещения потребовались почти сто лет усовершенствований в области выработки и передачи электроэнергии и появление безопасных источников света для внутреннего освещения – ламп накаливания.

Первая лампа накаливания была изобретена Д. Суоном [51] и продемонстрирована им в 1879 г. За ней последовали более практичные конструкции Т.А. Эдисона [51], которые включали в себя осветительные установки для зданий, реализованные в Нью-Йорке в 1882 г., тогда как свеча Яблочкова [52] была продемонстрирована во время Парижской выставки 1878-го года, когда она была впервые использована для уличного и театрального освещения.

Однако электрические лампы накаливания значительную часть энергии расходовали непродуктивно, что

связано с присущим чёрному телу характером их излучения. В результате дальнейших поисков появились подходящие для внутреннего освещения газополные неоновые трубчатые лампы и люминесцентные трубчатые лампы, обеспечившие экономию энергии и уменьшение эксплуатационных расходов, а в 21-ом веке появились новые, более совершенные источники света – светодиоды, позволяющие выбирать спектр излучения и имеющие больший срок службы и меньшее энергопотребление.

В экономически развитых странах технический прогресс оказался благоприятным для внутреннего освещения в регионах с большим количеством пасмурных дней, когда здание имеет место низкий уровень естественного освещения или вообще темно. Похоже, что в этих условиях столь неприятные в XVIII-XX веках пасмурные декабрьские дни окажутся не столь важными, и при необходимости требуемые уровни освещённости могут быть с лёгкостью обеспечены дешёвым электрическим освещением.

Для обеспечения минимальных уровней освещения, достаточных как для чтения и письма, так и для выполнения других зрительных задач в школах, офисах и промышленности, были стандартизованы выраженные в люксах значения горизонтальной освещённости [53]. В результате появилась возможность сравнения и простой проверки результатов проектных расчётов, выполненных в фотометрических единицах измерения.

В соответствии с концепцией *PSALI*, в помещениях с недостаточным для выполнения зрительных задач естественным освещением можно использовать дополнительное искусственное освещение [37].

### **5. Методология стандартизации естественного освещения**

Есть два подхода к стандартизации естественного освещения. Первый из них основан на выработке требований, соответствующих минимальным или максимальным приемлемым условиям естественного внутреннего освещения. Второй подход исходит из связи между поведением находящихся в помещении людей и годовыми изменениями характеристик естественного освещения. В обоих случаях, в стан-

дартизации естественного освещения важную роль играет состояние неба.

В рамках первого подхода, стандартизация естественного освещения имеет дело с простыми статистическими показателями и методами, используемыми в рамках следующего допущения: если предельное значение будет реализовано на практике, то зрительные условия в здании окажутся удовлетворительными. Эта концепция обычно справедлива до тех пор, пока характеристики естественного освещения не окажутся намного выше своих предельных значений (например, пока освещённость не приведёт к блёскости, пока чрезмерный размер окон не приведёт к перегреву и т.д.). В подобных случаях следует принять дополнительные меры (например, установка солнцезащитных устройств, управление уровнем естественного освещения и т.д.). В целом, современные стандарты, рекомендации и нормы основаны на требованиях к освещённости, яркости, виду наружу или предельной блёскости.

Второй подход к стандартизации естественного освещения основан на результатах круглогодичных измерений и описании поведения людей в процессе их повседневной жизнедеятельности внутри зданий, т.е. не только в предельных условиях, но и просто в течение дня, месяца, сезона или всего года, с учётом ещё и возможностей искусственного освещения.

В этом случае из-за многочисленных изменений как естественных условий (например, движения солнца, географической широты, облачности и т.д.), так и действий, осуществляемых людьми внутри зданий и предъявляющих разные требования по обеспечению хороших самочувствия и видимости (например, циркадных биоритмов, образа жизни, зрительных потребностей, связанных с привычной жизнедеятельностью, и т.д.), при проектировании зданий и городов приходится рассматривать несколько вариантов в поисках оптимального сочетания потребностей людей и связанных с энергопотреблением соображений.

Однако вплоть до последних лет 20-го века было проведено лишь несколько измерений мгновенных значений яркости неба, преимущественно, пасмурного, и не было никаких долгосрочных данных, полученных применительно к разным точкам земного

шара. Ни метеорологические службы, ни спутники не собирали какую бы то ни было фотометрическую информацию, ограничиваясь измерением облучённости в широких спектральных диапазонах. Эту нехватку данных предполагалось исправить в рамках Международной программы по измерению естественного освещения (*International Daylight Measurement Programme – IDMP*), запущенной МКО в 1991 г. Многочисленные результаты измерений, сделанных в разных местах, позволили исследовать динамически изменяющиеся характеристики естественного освещения, которые зависят от местного климата. Результаты долгосрочных измерений яркости неба и естественной освещённости, произведённых через определённые промежутки времени в разных точках земного шара, позволили описать световой климат во всём мире. Набор поминутных значений создаваемой небом горизонтальной освещённости в сочетании либо с яркостью в соответствующей зениту точке, либо с распределением яркости неба, также подготовили почву для стандартизации проектирования и расчёта естественного освещения в соответствии с несколькими методиками:

А. Получение набора типичных квазиднородных типов неба, которые встречаются повсеместно, сформированного в результате рассмотрения обширной базы данных, охватывающей область от пасмурного неба (без солнца) до неба с переменной облачностью или загрязнённого чистого неба при наличии солнца

В рамках этого метода, который, на самом деле, использовал ещё И.Г. Ламберт [11], яркость пасмурного неба считается постоянной на всём его протяжении, что позволило вывести формулу для расчёта уровней наружной и внутренней освещённости и разработать графические методы расчётов, такие как графики Данилюка [54, 128], диаграммы Уолдрама (*Waldram*) [55, 56] или протракторы Британского научно-исследовательского строительного института (*BRS protractors*) [57]. После проведения измерений сделанное Ламбертом допущение о равномерности яркости неба было скорректировано П. Муном и Д.Е. Спенсер [19], предложенное которыми распределение яркости было принято МКО в качестве пасмурного неба МКО [20]. Поправки, внесённые

на его основе в определение обусловленной светом неба составляющей КЕО при зависящих от угла наклона коэффициентах пропускания одинарного или двойного остекления или литого шероховатого армированного стекла, вставленного в светопрёмы с разными углами наклона [58, 129], позволили создать ряд более практичных протракторов [2]. Необходимость расширить стандартное небо на весь интервал от пасмурного неба до ясного была успешно реализована этим методом, который был использован для получения набора из пятнадцати типов неба [59–61], в настоящее время уже принятых и МКО, и Международной организацией по стандартизации (ИСО). На рис. 2–4 показаны выраженные в относительных единицах стандартные распределения яркости для всех пятнадцати типов неба (пасмурного, ясного и квазиоблачного (*quasi cloudy*)), которое считается однородным и соответствует равной 30° высоте солнца. Все типы неба ИСО/МКО обозначены цифрами от 1 до 15 или кодами, состоящими из номера стандартной градационной функции (латинская буква) и цифрой, соответствующей стандартной индикатрисе [60, 61, 63].

Типичное пасмурное небо полностью блокирует солнечный свет, и разные типы этого неба отличаются друг от друга только яркостью, характеризующейся отношением горизонтальной освещённости на поверхности земли к горизонтальной освещённости за пределами атмосферы:  $E_{vd}/E_{voh}$ . В то же время, в случае чистого неба на распределение яркости влияет присутствие солнца, и как это распределение, так и яркостная градация неба сильно зависят от рассеяния солнечных лучей в небе, которое может быть описано отношением яркости неба в зените  $L_{vZ}$  к создаваемой небом горизонтальной освещённости  $E_{vd}$ , т.е.  $L_{vZ}/E_{vd}$  [7]. Анализ распределения яркости неба позволяет получить относительную функцию рассеяния (*relative scattering function*), которая вместе с яркостной градацией неба формирует относительное распределение яркости неба [59, 61]. Если известно или вычислено абсолютное значение  $L_{vZ}$ , то известно и представленное в физических единицах измерения, например, в кд/м<sup>2</sup>, распределение яркости неба. Если известна яркость неба в пределах ограниченного окном те-

лесного угла, то она может выступать в качестве входных данных при компьютерном расчёте как освещённости внутри ориентированных тем или иным образом помещений, так и зависящей от времени вероятности появления блёскости.

**Б. Представление и исследование дневных изменений света неба и солнечного света с учётом влияния турбулентности атмосферы и облачности в случае ясного неба в целях определения их взаимосвязи при разных вариантах высоты солнца и типа неба**

Хотя предложенная классификация по типам неба представляется простейшей и очевидной, основная задача заключается в описании распределения яркости по всему небосводу при наличии солнечного света, в формировании которого участвуют зависящие от турбулентности атмосферы и облачности свет неба и солнечный свет.

Загрязняющие атмосферу примеси существенно влияют, особенно, в городах и промышленных зонах, на изменения освещённости, обусловленной светом неба и солнечным светом [64, 65]. Подобные изменения часто имеют место в областях с тропическим и субтропическим климатом с большим количеством солнечных дней и обусловлены повышенной влажностью и рассеянной облачной пеленой, постепенно заслоняющей весь небосвод [66].

Для того, чтобы можно было проанализировать и разделить на категории реализацию конкретных типов неба, необходимо наличие результатов проведённых в рассматриваемой местности измерений. При проведении отбора нужно отследить выбранные типы неба, исходя при этом из таких параметров, как высота солнца и существенный диапазон значений  $L_{vz}/E_{vd}$  [59, 67].

**В. Описание годовичных или долгосрочных изменений света неба и местного светового климата**

Примером применения этого метода служит информация о тех или иных типах неба ИСО/МКО, наблюдаемых в разные времена года, в основу которой были положены результаты измерений, проводившихся на протяжении пяти лет в Братиславе и Афинах [68].

Уровни наружной горизонтальной освещённости были взяты из базы 5-минутных данных, и на их основе были построены графики реализации разных типов неба (рис. 5). Братисла-

Рис. 2. Примеры распределения яркости неба для разных типов пасмурного неба ИСО/МКО

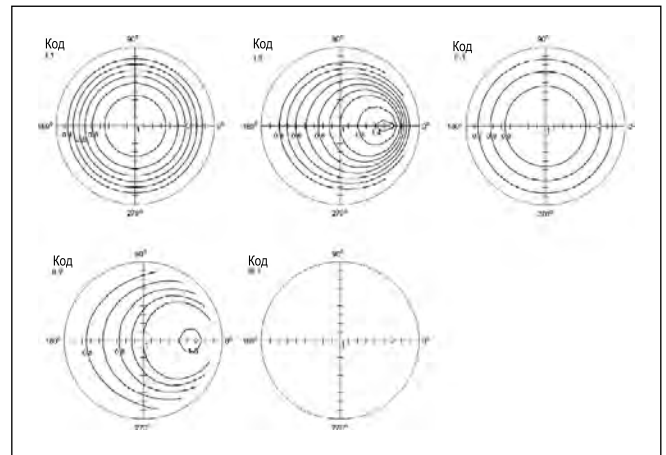


Рис. 3. Примеры распределения яркости неба для разных типов квазиоблачного неба ИСО/МКО, когда высота солнца составляет 30°

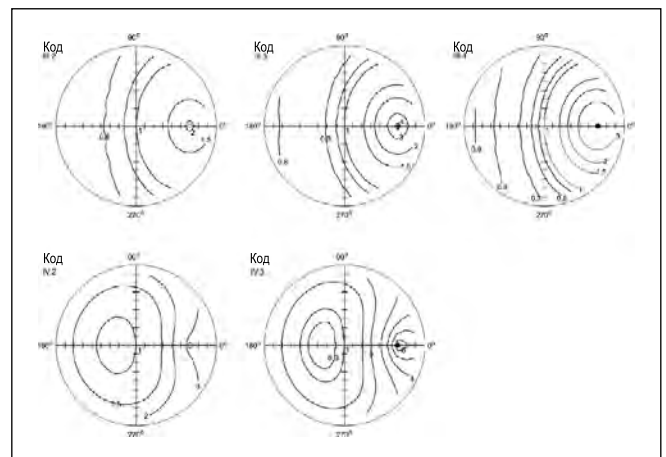
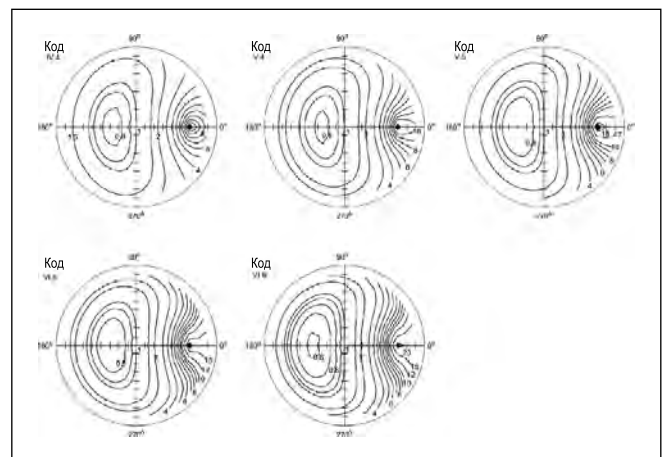


Рис. 4. Распределения яркости неба для разных типов ясного неба ИСО/МКО



ва относится к районам с центральноевропейским световым климатом, для которого характерна относительно частая реализация пасмурного/облачного неба, тогда как ясным небо бывает, в основном, летом, тогда как в Афинах, расположенных в средиземноморской зоне, доминируют солнечные и ясные условия.

Можно сделать некоторые допущения в части местного образа жизни, характера деятельности или требований к естественному освещению. Так, в [69] были рассмотрены наиболее ве-

роятные периоды активного образа жизни, например, 7:00–20:00, 8:00–17:00, 8:00–19:00 или 9:00–16:00, однако в конце концов при определении медианных значений характеристик был выбран период от восхода до захода солнца. Эти годовые медианные значения естественной освещённости в столицах стран, входящих в Европейский комитет по стандартизации (CEN), были рекомендованы в качестве стандартных [70].

**Г. Определение уровня естественного освещения на основе годовичных**

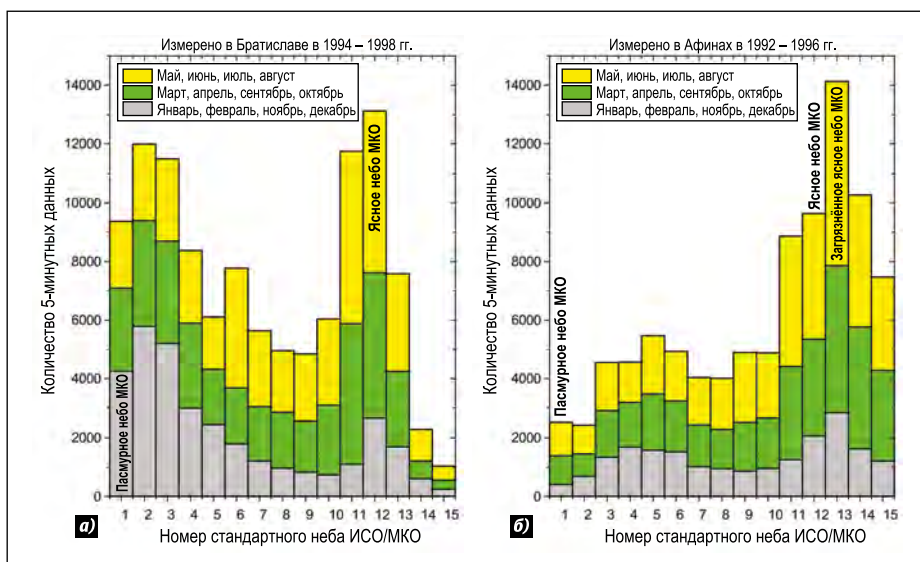


Рис. 5. Реализации типов неба как способ описания светового климата: а – Братислава, центральноевропейский климат, б – Афины, средиземноморский климат

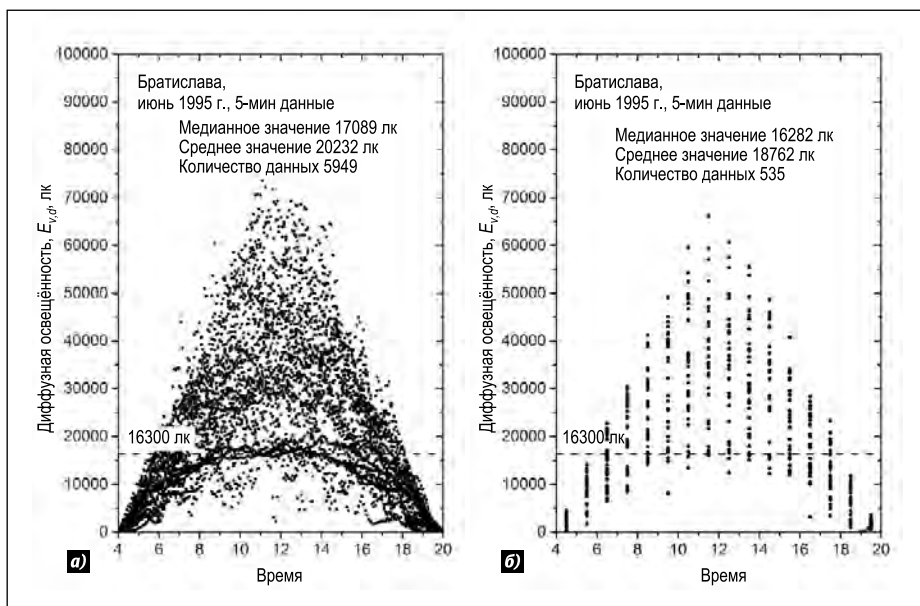


Рис. 6. Зависимость диффузной горизонтальной освещённости от времени дня в июле 1995 г. в Братиславе: а – 5-минутное усреднение, б – почасовое усреднение

### статистических значений наружной горизонтальной освещённости

При наличии подробных результатов измерений можно провести сравнение реализуемых значений естественной освещённости на основе измеренных краткосрочных данных или среднечасовых значений измеряемой величины. Однако неясно, как использовать полученные данные для выработки нормативных требований к естественному освещению. Что при этом принять за основу: всю совокупность значений естественной освещённости за период от восхода до захода солнца, например, соответствующих месяцу с наибольшими уров-

нями естественной освещённости, т.е. июню (рис. 6), или марту месяцу, на который приходится равноденствие (рис. 7), или только тех значений, которые относятся к периодам наибольшей активности людей, как это было предложено в [69], или значений, соответствующих периодам 7:00–16:30 для офисных зданий и 7:00–14:30 для школ, как это сделано в словацком постановлении [71]. Последствия того или иного выбора продемонстрированы на рис. 7а и в табл. 1. Для Братиславы в [70] приведено медианное значение диффузной освещённости, равное 16300 лк. Различия между 5-минутными и почасовыми данными,

которые можно заметить при сравнении рис. 6а и 6б и рис. 7а и 7б, говорят о том, что среднечасовые значения приводят к занижению уровней освещённости и содержат меньше информации о естественном освещении в рассматриваемой местности. Если рассматривать рабочее время, то можно ожидать увеличения нормированных уровней освещённости.

Естественный свет воспринимается глазом человека сразу же, как только попадает в него, так что используемые при разработке стандартов базы данных должны содержать результаты измерений, проведённых с меньшими временными интервалами.

## 6. Стандартизация внутреннего естественного освещения

Качество среды в помещении зависит, главным образом, от величин, влияющих на воспринимаемые людьми свет, тепло, шум и состав воздуха. Для обеспечения хороших условий зрительного восприятия для работы, отдыха и прочих осуществляемых в помещениях видов деятельности следует сформулировать критерии и правила как для создания осветительных установок и планировки зданий, так и для использования естественного и искусственного света. В некоторых странах были приняты постановления, стандарты и национальные правила по проектированию и расчёту естественного освещения и инсоляции в зданиях (табл. 2) [42, 72–75]. Согласно законам [76, 77] и постановлениям [78–80], проектирование естественного освещения и уровень солнечной экспозиции контролируются органами санитарного надзора, которые в Словакии имеют право принимать официальные решения.

Обычно для расчёта внутреннего освещения используют КЕО (см., например, [81–101]). В Швеции применяется простое правило, согласно которому площадь окон составляет 1/10 от площади пола [102]. Определённые правила оценки естественного освещения (например, [103–115]) существуют и в ряде других стран (табл. 2).

## 7. Новый стандарт EN17037 «Естественное освещение зданий»

Исследования в области светотехники говорят о важности внутренне-

Среднестатистические значения естественной освещённости в рабочее время в марте 1995 г. в Братиславе, 5-минутная  $E_{v,d}$ , лк

Рабочее время	Восход – закат	8:00–17:00	9:00–16:00	8:00–18:00
В среднем, лк	12920	16339	17986	15009
Медианное значение, лк	10779	15002	17700	13447
Кол-во измерений, шт	4579	3379	2635	3732

го естественного освещения для здоровья людей и их жизнедеятельности. В Европе здоровью людей и эффективному использованию естественных источников света придаётся большое значение, и был разработан новый европейский стандарт, содержащий нормы естественного освещения зданий. В CEN была сформирована рабочая группа CEN/TC169/WG 11 «Естественное освещение», которой было поручено разработать европейский стандарт «Естественное освещение зданий». Предложенный проект стандарта [70] был одобрен экспертами из стран – членов CEN. В этом проекте сделана попытка замены КЕО на абсолютные значения освещённости, соответствующие различным зрительным задачам, как это принято в случае искусственного внутреннего освещения. Из-за того, что Евросоюз занимает территорию от Средиземного моря до северных стран, этот стандарт содержит новый подход, основанный на медианном значении диффузной наружной освещённости  $E_{v,d,med}$  характеризующем уровень естественного освещения на протяжении полугодия, который пришёл на смену неопределённому пасмурному небу и геометрическому КЕО при проектировании оконных проёмов. Некоторые интересные данные из [70] приведены в табл. 3.

Этот стандарт охватывает все основные моменты, связанные с проектированием и оценкой естественной зрительной среды, т.е. уровня естественного освещения, вида наружу, солнечного света и блёскости [116–119]. Кроме того, в нём приведены минимальные требования к выполнению зрительных задач, созданию светлых интерьеров и обеспечению нормального вида наружу, а также рекомендации в части продолжительности воздействия солнечного света. Стандарт может использоваться применительно ко всем пространствам с регулярным продолжительным пребыванием людей, за исключением тех пространств, в которых естественное освещение мешает выполняемым в них работам.

### 7.1. Естественное освещение

Расчёт естественного освещения основан на годовых данных о диффузной горизонтальной освещённости  $E_{v,d}$  в рассматриваемой местно-

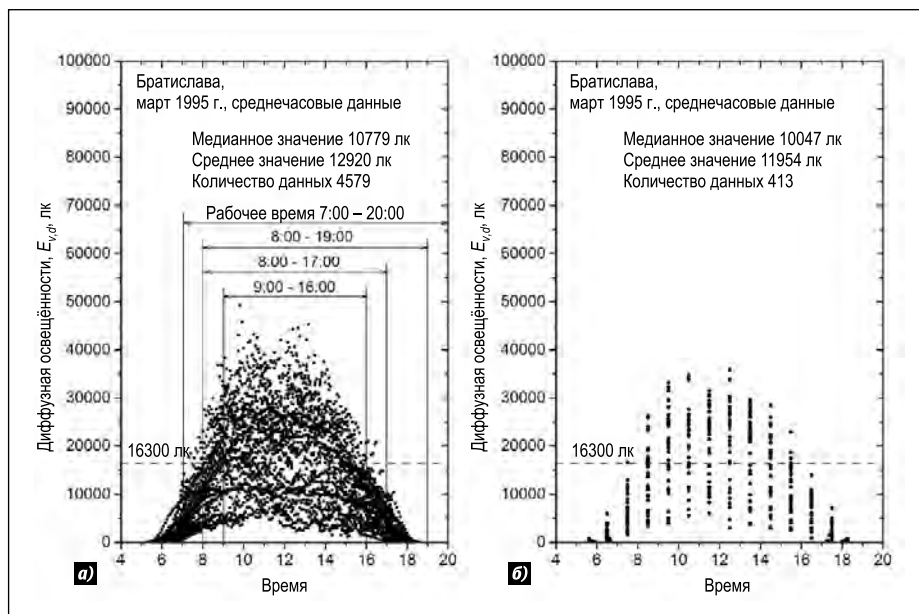
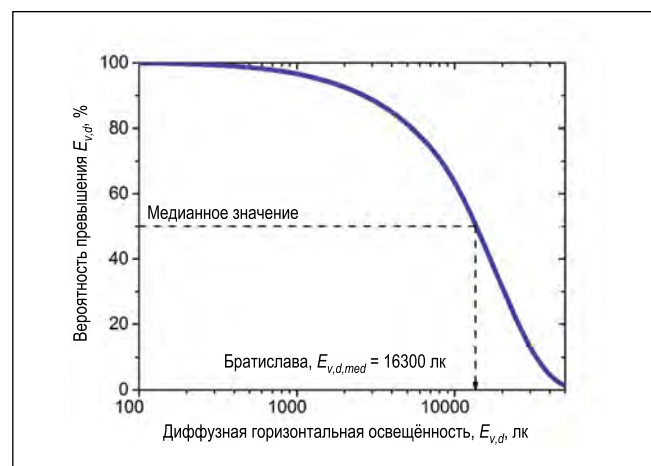


Рис. 7. Зависимость диффузной горизонтальной освещённости от времени дня в марте 1995 г. в Братиславе: а – 5-минутное усреднение, б – почасовое усреднение

Рис. 8. Медианное значение обусловленной светом неба диффузной горизонтальной освещённости  $E_{v,d,med}$  в Братиславе

сти. В качестве опорного значения предлагается использовать климатический параметр – медианное значение обусловленной светом неба диффузной горизонтальной освещённости  $E_{v,d,med}$  (рис. 8). Эти медианные значения можно определить на основе результатов долгосрочных регулярных измерений характеристик естествен-

ного освещения или спутниковых данных для рассматриваемой местности.

Использование медианного значения освещённости означает, что помещения будут удовлетворительно освещены в летнее полугодие, тогда как в оставшееся полугодие дневной свет слабее, и естественное освещение следует дополнять искусственным. Ми-

**Некоторые стандарты и документы, содержащие требования и рекомендации  
по внутреннему естественному освещению**

Страна	Номер	Описание (наименование)
Австралия	AS1680.1-2006	<i>Interior lighting – General principles and recommendations</i>
Бельгия	NBN L13-002:1972	<i>Dagverlichting van gebouwen – Voorafbepaling van de daglicht-verlichtingssterkte bij overtrokken hemel (benaderende grafische methode)</i>
Бразилия	NBR15215-1	<i>Iluminação natural – Parte 1: Conceitos básicos e definições</i>
	NBR15215-2	<i>Iluminação natural – Parte 2: procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural</i>
	NBR15215-3	<i>Iluminação natural – Parte 3: Procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos</i>
	NBR15215-4	<i>Iluminação natural – Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – Método de medição</i>
Канада	PWGSC1989	<i>PWC Daylighting manual, Ottawa</i>
Европейский комитет по стандартизации	EN17037	<i>Daylight of building</i>
Китай	GB50033-2013	建筑采光设计标准
Чехия	ČSN73 0580-1	<i>Denní osvětlení budov – Část 1: Základní požadavky</i>
	ČSN73 0580-2	<i>Denní osvětlení budov – Část 2: Denní osvětlení obytných budov</i>
	ČSN73 0580-3	<i>Denní osvětlení budov. Část 3: Denní osvětlení škol</i>
	ČSN73 0580-4	<i>Denní osvětlení budov. Část 4: Denní osvětlení průmyslových budov</i>
Эстония	EVS894: 2008	<i>Loomulik valgustus elu- ja bürooruumides</i>
Германия	DIN5034-1	<i>Tageslicht in Innenräumen – Teil 1: Allgemeine Anforderungen</i>
	DIN5034-2	<i>Tageslicht in Innenräumen; Grundlagen</i>
	DIN5034-3	<i>Tageslicht in Innenräumen – Teil 3: Berechnung</i>
	DIN5034-4	<i>Tageslicht in Innenräumen – Teil 4: Vereinfachte Bestimmung von Mindestfenstergrößen für Wohnräume</i>
	DIN5034-5	<i>Tageslicht in Innenräumen – Teil 5: Messung</i>
	DIN5034-6	<i>Tageslicht in Innenräumen – Teil 6: Vereinfachte Bestimmung zweckmäßiger Abmessungen von Oberlichtöffnungen in Dachflächen</i>
Великобритания	BS8206: Part 2	<i>Lighting for buildings: Code of practice for daylighting</i>
Гонконг	Regulation APP-130	<i>Lighting and Ventilation Requirements – Performance-based Approach</i>
Япония	JIES-008-1999	<i>Indoor Lighting Standard</i>
Нидерланды	NEN2057	<i>Daglichtopeningen van gebouwen</i>
Норвегия	Regulation No. 77, 14. June 1985	<i>Technical regulations to the Planning and Building. Updated by the regulation No. 1069, 29th August 2001</i>
Польша	Regulation of Ministry for Infrastruktura, (Dz.U. Poz. 1422)	<i>W sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie</i>
Россия	СП 23-102-2003	Естественное освещение жилых и общественных зданий
	СП 52.13330.2016	Естественное и искусственное освещение
Сербия	SRPS U.C9.100:1963	Дневно и електрично осветљење просторија у зградама



Страна	Номер	Описание (наименование)
Словакия	STN73 0580–1	Denné osvetlenie budov. Časť 1: Základné požiadavky
	STN73 0580–2	Denné osvetlenie budov. Časť 2: Denné osvetlenie budov na bývanie
	STN73 0580–1/Z2	Denné osvetlenie budov. Časť 1: Základné požiadavky
	Regulation No. 541/2007 Z.z.	o podrobnostiach o požiadavkách na osvetlenie pri práci.
Словения	Rule UL. RS, No. 43, 3.6.2011	Pravilnik o zahtevah za zagotavljanje varnosti in zdravlja delavcev na delovnih mestih
	Rule UL. RS, No. 61, 2.11.2017	Pravilnik o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj
Швеция	SS91 42 01	Byggnadsutformning – Dagsljus – Förenklad metod för kontroll av erforderlig fönsterglasarea
Украина	ДБН В.2.5–28	Природне і штучне освітлення.

Таблица 3

Медианные значения наружной диффузной освещённости  $E_{v, d, med}$  и требования к значениям  $D_{TM}$  и  $D_T$ , обеспечивающим различные значения внутренней освещённости  $E_{v, i}$ , для некоторых столиц стран – членов CEN (согласно [70])

Страна	Столица	Географическая широта, град.с.ш.	$E_{v, d, med}$ , лк	$E_{v, i}$ , лк			
				100	300	500	750
				$D_{TM}$ , %	$D_T$ , %		
Кипр	Никозия	34,88	18100	0,6	1,7	2,8	4,1
Испания	Мадрид	40,45	16900	0,6	1,8	3,0	4,4
Хорватия	Загреб	45,48	17000	0,6	1,8	2,9	4,4
Словакия	Братислава	48,20	16300	0,6	1,8	3,1	4,6
Бельгия	Брюссель	50,90	15000	0,7	2,0	3,3	5,0
Германия	Берлин	52,47	13900	0,7	2,2	3,6	5,4
Дания	Копенгаген	55,63	14200	0,7	2,1	3,5	5,3
Швеция	Стокгольм	59,65	12100	0,8	2,5	4,1	6,2
Исландия	Рейкьявик	64,13	11500	0,9	2,6	4,3	6,5

нимальный уровень естественного освещения считается обеспеченным, если заданное минимальное значение освещённости реализуется в значимой части пространства на протяжении по меньшей мере 50 % светлого времени суток. Критериями оценки приемлемости внутреннего естественного освещения служат уровни освещённости, равные 100 лк (минимальный уровень) и 300 лк (должный уровень). Кроме того, при выполнении в пределах какой-то части, например, 50 %, рассматриваемой области более точных зрительных задач, внутренняя освещённость может быть отнесена к категориям 500 или 750 лк. После того,

как будут определены значение внутренней освещённости  $E_i$  и медианное значение обусловленной светом неба диффузной горизонтальной освещённости  $E_{v, d, med}$ , можно рассчитать минимальное требуемое значение КЕО  $D_{TM}$  (Minimum Target Daylight Factor), соответствующее внутренней освещённости 100 лк, или требуемые значения КЕО  $D_T$  (Target Daylight Factor), соответствующие внутренним освещённостям 300, 500 и 750 лк:

$$D_{TM} = \frac{E_i}{E_{v, d, med}} = \frac{100}{E_{v, d, med}} [\%], \quad (3)$$

$$D_T = \frac{E_i}{E_{v, d, med}} = \begin{cases} 100 \frac{300}{E_{v, d, med}} \\ 100 \frac{500}{E_{v, d, med}} \\ 100 \frac{750}{E_{v, d, med}} \end{cases} [\%]. \quad (4)$$

Подставив значение  $E_{v, d, med}$  в (3) или (4), можно для любой местности рассчитать минимальное требуемое значение  $D_{TM}$  или требуемое значение

Рис. 9. Составляющие хорошего вида

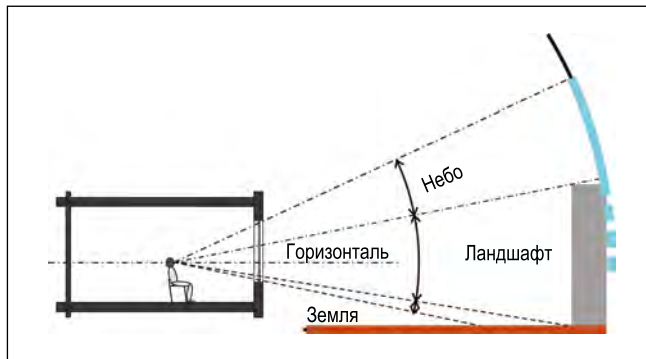
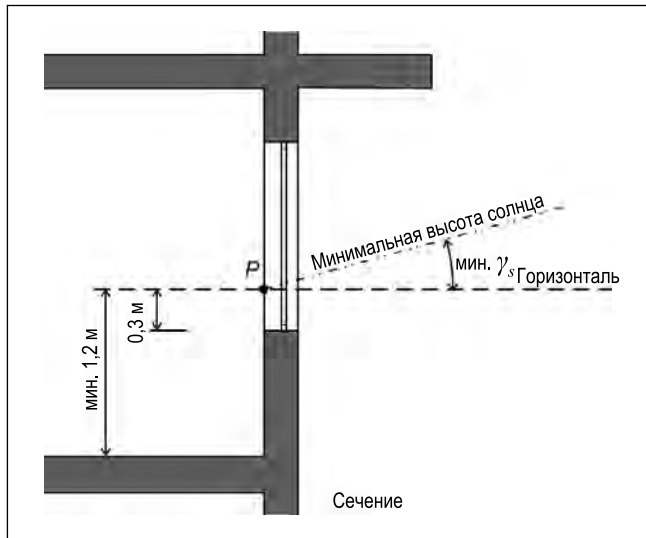


Рис. 10. Расположение точки отсчёта для определения продолжительности солнечного света



$D_T$  (табл. 3). Важно понимать, что эти  $D_{TM}$  и  $D_T$  не совпадают ни с одним из использовавшихся ранее КЕО или геометрических КЕО, что связано с невыполнением исходного приближения пасмурного неба.

Для Братиславы, расположенной на широте  $\varphi = 48,20^\circ$  с.ш., было установлено, что  $E_{v, d, med} = 16300$  лк [69], и именно это значение было включено в проект европейского стандарта [70]. Если воспользоваться этим значением  $E_{v, d, med}$  то критерием приемлемости естественного освещения станут  $D_{TM} = 0,61 \approx 0,6\%$ , и это значение должно быть превышено во всех 100 % пространства. Критерием того, что естественная освещённость находится на должном уровне, составляющем на рабочей поверхности по меньшей мере 300 лк в пределах 50 % пространства, служит условие  $D_{T,300} = 1,84 \approx 1,8\%$ .

Следует отметить, что статистический параметр «медиана» соответствует центру уровней освещённости, реализуемых на практике, причём в конкретной местности. Это означает, что достаточный уровень естественного освещения реализуется только на про-

тяжении полугода. Если какие-то помещения в настоящее время освещаются дневным светом на протяжении более чем 50 % года, то существует опасность, что новые здания того же типа будут спроектированы с окнами меньших размеров, в результате чего возрастёт расход энергии на искусственное освещение. С другой стороны, энергию можно сэкономить в зданиях, в которых искусственное освещение включено в течение более полугода.

Методика определения значений  $D_{TM}$  и  $D_T$  предполагает проведение статистической обработки годовых данных о диффузной освещённости, создаваемой при разных состояниях неба. Важно понимать, что требуемые значения КЕО не совпадают с КЕО, соответствующими пасмурному небу, определение которого содержится в Международном светотехническом словаре [62], так что эти два параметра не являются взаимозаменяемыми.

Естественное освещение оценивается применительно к расположенной на высоте 0,85 м над уровнем пола сетке, граница которой удалена от боковых стен на 0,5 м.

## 7.2. Вид наружу

В помещениях с постоянным присутствием людей должен быть обеспечен хороший вид наружу, позволяющий получать информацию о погоде и изменениях обстановки вне здания. Вид подразделяют на три стандартные категории: вид на небо, вид на ландшафт и вид на землю (рис. 9). Самой важной для зрения человека категорией является вид на небо, так как аккомодация глаз на бесконечность и цвет неба стимулирует деятельность различных органов.

Стандарты нормируют минимальный угол зрения, удалённость вида и положение точки отсчёта (1,2 м для сидящего человека и 1,7 м для стоящего человека). Минимальное расстояние между фасадом помещения и фасадом противоположного здания должно составлять 6 м.

## 7.3. Солнечный свет

Обитатели жилых домов, особенно, в Центральной и Северной Европе, очень внимательно относятся к наличию солнечного света. В южноевропейских странах помещения обычно защищены от перегрева солнечным излучением. Причём во всех странах есть люди с ограниченной мобильностью, с различными заболеваниями, а также дети, и всем им необходимо наличие в помещениях солнечного света. Рекомендуемая продолжительность инсоляции в квартирах жилых домов, частных домах, больничных палатах и игровых комнатах яслей в один из дней между 1 февраля и 21 марта должна составлять по меньшей мере 1,5 ч. Вероятная продолжительность солнечного света определяется применительно к высоте солнца  $\gamma_s$ , превышающей некоторое минимальное значение, и не заслонённому окружающими преградами солнечному кругу. Точка  $P$ , применительно к которой производятся оценки, расположена на середине ширины окна на высоте, не меньшей чем 1,2 м над уровнем пола, и не меньшей чем 0,3 м над подоконником (рис. 10 и 11).

Значение минимальной высоты солнца  $\gamma_{s \min}$  определено для всех столиц стран – членов *CEN* применительно к правилу, что угол между нормалью к поверхности окна  $n$  и направлением на юг может составлять до  $120^\circ$

Минимальная высота солнца 21-го марта, когда продолжительность солнечного света равна 1,5 ч (по [70])

Страна	Столица	Географическая широта, град.с.ш.	Минимальная высота солнца, град.
Испания	Мадрид	40,45	19
Хорватия	Загреб	45,48	15
Словакия	Братислава	48,20	14
Бельгия	Брюссель	50,90	12
Германия	Берлин	52,47	11
Дания	Копенгаген	55,63	10
Швеция	Стокгольм	59,65	8
Исландия	Рейкьявик	64,13	6

(рис. 11). Значения минимальной высоты солнца  $\gamma_s$  для некоторых столиц для 21-го марта и равной 1,5 ч продолжительности солнечного света приведены в табл. 4. Значения минимальной высоты солнца для других городов, дат и продолжительностей солнечного света можно определить применительно к равному  $120^\circ$  углу между нормалью к поверхности окна и направлением на юг.

#### 7.4. Блэскость

Пространства внутри зданий освещаются через окна или фонари, которые можно отнести к крупногабаритным источникам света. Блэскость может быть обусловлена прямым или отражённым солнечным светом или очень яркими облаками, видимыми из окон в солнечную погоду. Стандартизированный метод оценки блэскости основан на показателе блэскости для естественного освещения  $DGP$  (Daylight Glare Probability), который рассчитывают по формуле (5), исходя при этом из значений подающихся измерению физических величин, связанных с естественными источниками блэскости:

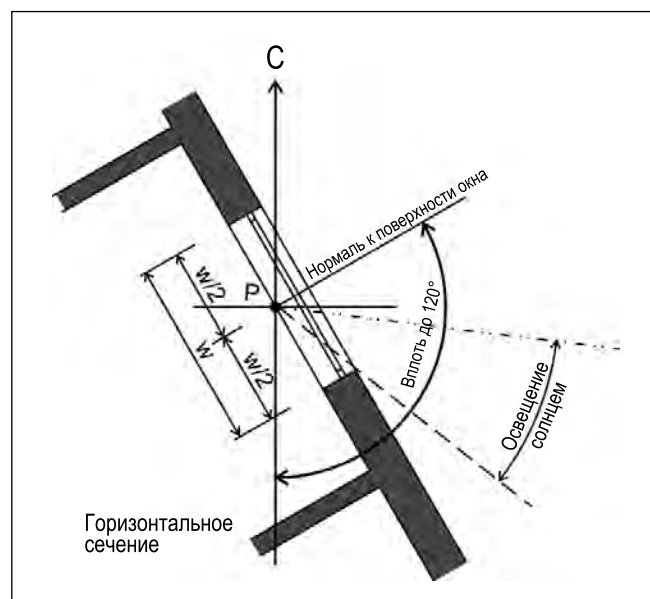
$$DGP = 5.87 \times 10^{-5} \times E_v + 9.18 \times 10^{-2} \times \log \left( 1 + \sum_{i=1}^N \frac{L_{s,i}^2 \times \omega_{s,i}}{E_v^{1.87} \times P_i^2} \right) + 0.16, \quad (5)$$

где  $E_v$  – вертикальная освещённость на уровне глаз, лк;  $P$  – индекс позиции;  $L_s$  – яркость источника блэскости, кд/м<sup>2</sup>;  $\omega_s$  – телесный угол, стягиваемый источником блэскости, ср;  $N$  – количество источников блэскости.

Основанный на  $DGP$  метод можно использовать применительно к освещённым сбоку помещениям, в которых возможна деятельность, подобная чтению и письму.  $DGP$  не следует использовать в пространствах, освещаемых горизонтальными проёмами, и для точек, расположенных далеко от окон или характеризующихся низким уровнем естественного освещения.

Следует отметить, что основанный на обобщённом показателе дискомфорта ( $UGR$ ) метод оценки блэскости от искусственных источников света нельзя применять для оценки блэскости, создаваемой естествен-

Рис. 11. Возможная ориентация окна



ными источниками света, например, солнцем.

#### 8. Дальнейшие разработки

Наблюдается парадоксальная ситуация в области технико-социального развития общества: научно-техническая деятельность приводит к получению очень точных и подробных результатов, которые в недостаточной степени реализуются на практике. На практике, проектирование и реализация естественного освещения нуждаются в простых и недорогих решениях, которые не требуют очень высокой квалификации и характеризуются минимальными затратами рабочего времени и энергии. Качество результатов

часто считают второстепенным фактором. Поэтому стандарты и постановления, выступающие в роли двигателей прогресса, следует считать основой светотехники. Как упоминалось выше, если говорить о технических отраслях, то стандартизация представляет собой особый и очень важный процесс, оказывающий влияние на качество изделий, зрительную среду и самочувствие обитателей зданий.

Потребности людей остаются неизменными на протяжении многих веков, только требования, допущения, инструменты и технические средства, обеспечивающие их удовлетворение, непрерывно изменяются от простейших к всё более и более сложным. Новые научные знания, техника и на-

блюдаемая в настоящее время компьютеризация позволяют подробно исследовать связь между условиями естественного освещения и потребностями людей и приводят к улучшению качества зрительной среды внутри зданий. В области естественного внутреннего освещения направления дальнейших разработок связаны со следующими факторами:

### 8.1. Здоровье

Все здания возводятся для людей, так что в настоящем и будущем развитие должно идти по пути создания такого внутреннего освещения, которое благотворно сказывалось бы на здоровье людей в периоды как активности, так и отдыха. Дневной свет как естественный источник света для внутреннего освещения должен быть повсеместно доступен всем людям без какой бы то ни было дискриминации. Особенно это относится к местам пребывания детей и престарелых, в которых обязательно должны быть предусмотрены проёмы для попадания дневного света.

### 8.2. Наука

Новым исследованиям присваивают новые наименования, хотя часто они просто новыми методами и средствами решают старые задачи. В области естественного освещения очень важно формулировать задачи с учётом как фотометрии, так и психологии и физиологии людей. Следует избегать использования новых величин, например, энергетических или балльных, так как это может привести к дополнительным погрешностям и существенному ухудшению качества зрительной среды и неправильной интерпретации достигнутых результатов.

Естественное освещение как наука должно базироваться на результатах точных измерений характеристик первичных источников света – солнца и неба. Имеется мало данных о наличии естественного света в разных местностях и о световом климате вообще. Для увеличения эффективности использования естественного света внутри зданий следует в физических единицах измерения охарактеризовать его наличие и изменения.

Можно ожидать, что дальнейшие исследования позволят описать спектральные характеристики источни-

ков естественного света, цветопередачу внутри зданий и хронобиологические параметры на том же уровне, на котором это сделано применительно к искусственным источникам света. Новые знания должны найти своё отражение в стандартах в виде соответствующих критериев оценки.

Дальнейшие исследования в области естественного и искусственного освещения должны ответить на вопрос, действительно ли достаточный для выполнения зрительной задачи уровень естественного освещения может быть меньшим, чем достаточный для выполнения той же задачи уровень искусственного освещения [120]. Это обстоятельство не позволяет распространить на естественное освещение количественные выражения, полученные для расчёта нормируемых характеристик искусственного освещения, и наоборот.

#### *Взгляд в ближайшее будущее*

Одним из основных параметров, используемых при расчётах естественного освещения, является световая солнечная постоянная (*luminous solar constant*) [121], и для обеспечения сопоставимости установок естественного освещения значение этой постоянной следует стандартизировать в мировом масштабе.

#### *Взгляд в далёкое будущее*

Стандарт [70] отказывается от классического стационарного подхода к нормированию естественного внутреннего освещения и даёт возможность разработать новые климатические методы и инструменты для расчёта естественного освещения. Трудности возможны при определении таких статистических параметров, как медианные характеристики естественного освещения. Как упоминалось выше, распределение яркости неба играет решающую роль при моделировании изменений внутренней освещённости во времени. Эту задачу можно решить на основе сравнительного анализа характеристик стандартных типов неба и значений статистических параметров. Этот подход может оказаться полезным и для стандартизации моделирования годовых характеристик естественного освещения.

#### *Взгляд за горизонт, почти в бесконечность*

Никто не знает, что нас ждёт в следующем веке, но наша цивилизация стремится покорить космос. Как от-

мечалось в [122, 127], естественное освещение останется одной из основных составляющих среды внутри зданий. Условия жизни на земле и в космосе совершенно не похожи друг на друга. Можно ожидать, что в помощь естественному освещению будут разработаны новые источники света и светильники. Важно учитывать физиологические потребности людей и не нарушать естественную работу организма человека. Новый подход к проектированию естественного освещения может привести к пересмотру некоторых основ светотехники.

### 8.3. Техника

В помещениях с недостаточным естественным освещением искусственное освещение будет адаптировано к естественному. Обсуждаются установки искусственного освещения, которые имитировали бы естественное освещение. Измерения дневных изменений естественной освещённости, осуществляемые на станциях *IDMP* МКО, показывают, что все условия наружного естественного освещения уникальны и не повторяются. Имитация естественного освещения при помощи искусственных источников света потребует создания таких устройств, которые обеспечивали бы реализацию неповторяющихся условий освещения, характеризующихся такими же, как и в случае меняющегося естественного освещения, изменениями освещённости, цветовых и динамических характеристик и воздействием на организм человека.

### 8.4. Экономика

Без денег нет и музыки. Свет неба и солнечный свет на земле получают бесплатно, тогда как использование естественного света внутри зданий и управление им требует капиталовложений в создание и эксплуатацию установок естественного освещения. Как правило, хороший проект естественного освещения позволяет сэкономить деньги, т.к. при наличии естественного освещения электрическое освещение можно выключить. Новый стандарт [70] служит первым шагом к улучшению официального подхода к дополнительному освещению и к применению искусственного освещения в условиях нехватки естественного освещения.

Города РФ, географические широта  $\varphi$  и долгота  $\lambda$  которых близки к широте и долготе выбранных городов стран – членов CEN

Город РФ	$\varphi$ , град.с.ш.	$\lambda$ , град.в.д.	Европейский город	$\varphi$ , град.с.ш.	$\lambda$ , град.в.д.
Махачкала, Дагестан	42,58	47,30	Рим	41,90	12,50
Волгоград	48,71	44,51	Париж	48,87	2,3
Комсомольск-на-Амуре	50,57	137,00	Брюссель	50,85	4,35
Иркутск	52,28	104,28	Амстердам	52,37	4,90
Москва	55,75	37,62	Копенгаген	55,68	12,57
Санкт-Петербург	59,93	30,39	Осло	59,91	10,75
Архангельск	64,55	40,56	Рейкьявик	64,13	21,82° з.д.
Мурманск	68,96	33,08			

### 8.5. Энергия

В последние десятилетия энергия играет важную роль во всех отраслях промышленности и услуг. Энергия стала предметом потребления, и в будущем её значимость будет расти. Наблюдается тенденция к использованию техники с наименьшим энергопотреблением. Это оправдано, если при этом учитывать потребности людей и использовать дешёвые и эффективные установки естественного освещения, у которых нет отходов, т.к. природа работает без отходов.

### 8.6. Общество

Поведение обитателей зданий и их возможности в части использования дневного и солнечного света зависят от климатических условий и их деятельности внутри зданий. В жилых домах люди обычно предпочитают хорошо освещённые солнечные помещения. Нормативные требования и организация установок естественного освещения могут оказать существенное влияние на качество световой среды внутри зданий. По мере того, как в производственных процессах люди будут всё больше заменяться роботами и компьютерными программами, можно будет ожидать изменения баланса между физической и умственной работой в пользу последней, Это может привести к новым требованиям к освещению рабочих мест, которые учитывали бы потребности людей, искусственного интеллекта и тех и других в совокупности.

### 9. Заключение

Постоянное прогрессивное развитие цивилизации и культуры определялось базовыми потребностями человечества и, частично, стремлением к изучению:

- возможности определения времени и географического местоположения [123, 124], связанной с местоположением или движением солнца и их годичной повторяемостью;

- изменения распределения яркости неба, на которое влияют погода, турбулентность атмосферы, типы облачности и изменения плотности облачного покрова;

- влияния солнечного и дневного света на фасады по-разному ориентированных зданий, а также проникновения естественного света через окна внутрь зданий.

Новые знания о природе и свете лежат в основе нормирования и проектирования зрительной среды внутри зданий, создаваемой естественным и искусственным освещением. Технические стандарты играют в этом важную роль, т.к. они содержат соответствующие нормы и рекомендации. История говорит о том, что экономика стран, в которых имеются технические стандарты, развивается быстрее, чем в других странах. Стандарты устанавливают правила и предельные значения характеристик и позволяют контролировать эффективность осветительных установок. Стандарты стоят дорого, для их выполнения требуется наличие регулирующих органов и они могут создавать риски, если результаты их применения окажутся не-

благоприятными, так что содержащиеся в стандартах требования должны быть реалистичными и контролируруемыми [6]. Как показано в данной статье, стандарты должны формировать основу для установления минимальных требований, а с другой стороны, они должны обеспечивать возможность развития промышленности, экономики и общества.

Стандарты в области светотехники должны быть основаны на фотометрических характеристиках. При этом не следует использовать преобразование результатов измерений облучённости в фотометрические данные, так как это вносит дополнительные погрешности, зависящие от качества применяемого алгоритма.

В основе прогресса в области естественного освещения лежат определение светового климата и поиск адекватных критериев проектирования окон и создания приемлемой для людей световой среды. Практически применимое описание источников естественного света представляется первоочередной задачей дальнейших исследований. Регулярные измерения характеристик естественного освещения, позволяющие получить набор мгновенных значений этих характеристик, должны осуществляться через короткие промежутки времени. Среднечасовые результаты не отражают условия естественного освещения, воспринимаемые глазом человека.

Стандарты могут также содержать полезные для третьих лиц информацию и систему понятий. Стандартизация естественного освещения может способствовать формированию

справедливого и одинакового подхода в странах, имеющих большую протяжённость в направлении с севера на юг, например, в России или в Евросоюзе. Использование того же подхода [69], что и при разработке стандарта [70], может позволить получить медианные значения создаваемой небом освещённости и в городах России, например, тех, географические координаты которых сопоставимы с координатами городов Евросоюза (табл. 5). К этим российским городам относятся: Архангельск, являющийся представителем городов приполярной зоны (примерно соответствует Рейкьявику, лежащему на широте 64,13° с.ш.); Санкт-Петербург, расположенный в районе 60° с.ш. (примерно соответствует Хельсинки, Стокгольму и Осло) и находящийся под влиянием близкорасположенного Балтийского моря; Москва, являющаяся представителем городов с континентальным среднерусским климатом (лежит на той же широте, что и Копенгаген); крупный южнорусский город Волгоград (лежащий примерно на той же широте, что и Париж, Вена и Братислава). Конечно, следовало бы учесть и такие экстремальные климатические условия, как в Мурманске (68,96° с.ш.), который расположен на крайнем севере, или в самых южных районах Дагестана, лежащих на той же широте, что и Рим. Конечно, из-за климатических отличий значения  $E_{v, d, med}$  в этих районах будут несколько иными.

Автор благодарит за поддержку, оказанную ему в рамках исследовательской программы *APVV 0118-12* и проекта *VEGA 2/0042/17*. Особую благодарность хотелось бы выразить д-ру Ричарду Киттлеру (*Richard Kittler*) за обсуждение работы, передачу опыта и редактирование текста, а также Марте Маликовой (*Marta Malikova*) за оказание технической помощи.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ<sup>5</sup>

18. Крат В.А. Индикатриса рассеяния света в земной атмосфере // *Астрономический журнал*. – 1943. – Том 20. – С. 5–6.

<sup>5</sup> Здесь приведены статьи, опубликованные в журналах «Светотехника» и «*Light & Engineering*», а также иные издания на русском языке. Полный список литературы (127 наименований) можно найти на сайте журнала «Светотехника». Прим. ред.

25. Solovyov, A.K. Luminance distribution over the firmament: Taking it into account when designing natural illumination for building // *Light & Engineering*. – 2009. – Vol.17, No. 1. – P. 59–73.

28. Budak, V.P., Smirnov, P.A. A Physical model of the firmament to calculate daylight // *Light & Engineering*. – 2013. – Vol. 21, No. 3. – P. 17–23.

54. Данилюк А.М. Диаграммы для расчета освещенности от светопроемов произвольного очертания и наклона // *Светотехника*. – 1935. – № 6. – С. 7–9.

58. Куттлер Р., Ондreichка Ш. Расчет освещения от наклонного плоского источника света // *Светотехника*. – 1962. – № 9. – С. 11–13.

95. СП 23–102–2003 Естественное освещение жилых и общественных зданий.

96. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение.

122. Bedocs, L., van Bommel, W., Thorns, P., Schanda, J., Kittler, R., Darula, S. Interview of the Journals «*Light & Engineering*» and «*Svetotekhnika*» // *Light and Engineering*. – 2013. – Vol. 21, No.1. – P. 4–15.

125. Соловьёв А.К. Распределение яркости по небосводу и его учёт при проектировании естественного освещения зданий // *Светотехника*. – 2008. – № 6. – С. 18–22.

126. Будак В.П., Смирнов П.А. Физическая модель небосвода для расчётов естественного освещения // *Светотехника*. – 2013. – № 2. – С. 59–63.

127. Бедокс Л., ван Боммель, В., Торнз, П., Шанда, Я., Куттлер, Р., Дарула, С. Интервью журналов «Светотехника» и «*Light & Engineering*» // *Светотехника*. – 2013. – № 1. – С. 6–9, 51–56.



**Станислав Дарула (Stanislav Darula), Dr.** Выпускник Словацкого технического университета, Братислава, по специальности «Строительство

зданий». Руководитель отдела строительной физики Строительно-архитектурного института Словацкой академии наук. Область научных интересов: естественное освещение с упором на проектирование, измерение и оценку естественного освещения зданий и на использование солнечной энергии и энергосбережение в зданиях

## Компания Signify обновила предложение световых решений для тепличных хозяйств

Компания Signify, ранее известная как Philips Lighting, в 2019 г. реализует новую стратегию развития световых решений для теплиц на российском рынке. Она предполагает адаптацию продуктовой линейки в соответствии с потребностями локальных заказчиков, расширение пула партнёров, а также разработку уникальных решений в соответствии с индивидуальными потребностями предприятий. Интенсификация данного направления обусловлена возросшим внутренним спросом на системы искусственного тепличного облучения, который был вызван значительным ростом производства в российском сельском хозяйстве.

В первую очередь будет сделан упор на наращивании предложения хорошо зарекомендовавших себя традиционных решений с НЛВД, а также инновационных решений с СД для теплиц. Signify прогнозирует, что повышенным спросом на рынке будут пользоваться гибридные системы, в которых для верхнего досвечивания в теплице используются облучатели с НЛВД, а внутри ценоза растений – облучатели с СД. Данное решение обеспечивает равномерное облучение, позволяет контролировать его уровень и создавать необходимый растениям температурный режим, а также эффективно использовать электроэнергию. Это способно гарантировать тепличным хозяйствам высокую урожайность и получение продукции с отличными вкусовыми качествами.

Тепличные световые решения компании наиболее востребованы российскими хозяйствами для выращивания овощей. Кроме того, искусственное излучение необходимо для цветов: оно стимулирует их рост и гарантирует эстетические свойства и жизнестойкость растений.

Signify предлагает каждому заказчику индивидуальное решение, разработанное в соответствии с его запросами и потребностями. Каждая теплица уникальна по техническим характеристикам, площади, типу выращиваемых культур, компетенции персонала. На основе анализа каждого из параметров специалисты компании совместно с партнёрами разрабатывают уникальную световую систему, гарантирующую качественный урожай и энергоэффективность. Кроме того, практика агрономического сопровождения позволяет оказывать поддержку заказчику после установки решения. Штатные специалисты по запросу посещают теплицы и консультируют клиента относительно правильного применения облучательных систем, а также по уходу за растениями и т.д.

Signify занимается технологиями освещения для выращивания сельскохозяйственных культур уже более 20 лет, за это время было установлено около 7 млн светоточек по всему миру. Глобальная доля рынка компании составляет примерно 90 %, и накопленный опыт как в сфере разработки, так и эксплуатации позволяет предлагать заказчику надёжные и эффективные световые решения, обеспечивающие максимальные объёмы урожая. На российском рынке Signify применяет зарекомендовавшие себя на глобальном уровне системы, адаптируя их под особенности местных производителей овощей и цветов.

svetozone.ru  
26.12.2018

# Простой способ определения характеристик снега на основе результатов измерений коэффициента отражения

Посвящается памяти профессора Г.В. Розенберга (1914–1982)

*А.А. КОХАНОВСКИЙ*

Компания *VITROCISSET Belgium SPRL*, Дармштадт, Германия

E-mail: a.kokhanovsky@vitrocissetbelgium.com

*Все модели неверны, но некоторые из них полезны.  
Джордж Е.П. Бокс*

## Аннотация

В статье представлен обзор теоретических основ отражательной спектроскопии снега. Приведены простые приближённые формулы, которые можно использовать для расчёта коэффициентов как поглощения/экстинкции, так и отражения снега. Полученные формулы можно также использовать для решения обратной задачи переноса излучения. Этот метод применим и в случае других мутных сред с большими слабопоглощающими частицами. Его можно использовать при интерпретации результатов как наземных, так и воздушных/спутниковых измерений света, отражённого от атмосферы нашей планеты, а также при прочих визуализационных спектроскопических исследованиях планеты.

**Ключевые слова:** отражательная спектроскопия, перенос излучения, рассеяние света, поглощение света, отражение света, обратная задача, снег, загрязнение снега, размер зёрен снега, криосфера, дистанционное зондирование.

## 1. Введение

Отражательная спектроскопия [1] служит стандартным инструментом для исследования мутных сред, таких как почва, кровь, краски, листья и т.д. Она основана на измерении зависимости коэффициента отражения излучения от длины волны  $\lambda$  и является быстро развивающейся областью знаний, которую можно использовать для получения важной информации о разных материалах без или почти без необходимости в подготовке образцов. Применительно к мутным средам, таким как скалы или минералы, отражательную спектроскопию использовать намного проще, чем спектроскопию прошедшего излучения. Её можно использовать для исследования различных поверхностей с воздуха или со спутника. Часто используются и основанные на методах отражательной спектроскопии измерительные установки, располагающиеся на поверхности земли или на кораблях.

В данной статье описан простой подход к описанию слабопоглощающих мутных сред с сильным рассеянием света, который затем продемонстрирован на примере снега (для определения размеров зёрен снега, концентрации, значений коэффициентов поглощения и типа загрязняющих примесей). В следующем разделе будет вкратце описана микрофизика снега, после чего будут рассмотрены

локальные оптические характеристики снега. Раздел 4 посвящён переносу излучения в снеге, после чего приводится решение обратной задачи переноса излучения в случае естественного снега (раздел 5), за которым следует краткое изложение представленных результатов.

## 2. Микрофизика снега

Зёрна снега формируются в кристаллических облаках. Поэтому, как и в ледяных облаках, эти зёрна имеют самые разные формы. Метаморфизм снега обусловлен градиентами давления водяных паров, которые, в свою очередь, зависят от градиентов температуры. Небольшие, меньшие чем 10 К/м, градиенты температуры приводят к формированию небольших градиентов давления паров и медленному росту зёрен снега в снежной массе. В результате формируются округлые зёрна снега, обычно имеющие диаметр от 0,1 до 0,2 мм. Одно из объяснений формирования округлых зёрен снега состоит в том, что диффузия паров в пределах снежной массы приводит к перераспределению массы от точек на поверхности отдельных зёрен. В тех областях снежной массы, в которых градиент температуры превышает 10 К/м, формируется глубинный иней. Большой градиент температуры вызывает появление большого градиента давления паров, приводящего к тому, что пары воды перемещаются через поры из более тёплых областей снежной массы, которые характеризуются относительно высоким давлением паров, в более холодные области с меньшим давлением паров. Эти условия приводят к формированию угловатых или многогранных зёрен, на поверхностях которые впоследствии могут образоваться ступеньки и борозды, и, в конце концов, к формированию кристаллов чашевидной формы с центральной полостью, размеры которых обычно лежат в пределах от 3 до 8 мм. При очень благоприятных условиях размеры отдельных зёрен могут превышать 15 мм.

В снеге могут присутствовать разные кристаллы: сплошные, полые, ломаные, шероховатые, частично подтаявшие, округлённые или угловатые. Поверхность кристалла может быть обзернённой, ступенчатой и бороздчатой. Могут присутствовать и округлые грани. Кристаллы могут быть ограниченными, неограниченными, сгруппированными или объединёнными в столбики.

Средний радиус капель водяного облака  $\bar{a}$  можно легко рассчитать по формуле:

$$\bar{a} = \int_0^{\infty} af(a)da, \quad (1)$$

<sup>1</sup> Перевод с англ. Е.И. Розовского

где  $a$  – радиус капли,  $f(a)$  – распределение капель по размерам. Применительно к снегу это не столь легко, так как в нём содержатся частицы различной формы и структуры. Практичный способ решения этой задачи состоит в измерении наибольшего размера зерна снега (в случае сферы, это её диаметр). Определённый при помощи оптических методов измерений размер зерна снега близок к среднему диаметру по Заутеру  $d_{ef}$ , который представляет собой диаметр сферы, имеющий то же самое отношение объёма  $V$  к поверхности  $S$ , что и рассматриваемая частица. Это обусловлено тем, что спектральный коэффициент отражения чистого снега  $R(\lambda)$  определяется, главным образом, его спектральным альбедо однократного рассеяния, которое в первую очередь, зависит от  $d_{ef}$ . Значения  $d_{ef}$  для имеющего различные формы и размеры зёрен снега определяются по формуле:

$$d_{ef} = \frac{6 \int_0^{\infty} V f(V) dV}{\int_0^{\infty} S f(S) dS}, \quad (2)$$

где  $f(V)$  и  $f(S)$  – распределение зёрен снега по объёму и площади поверхности соответственно. Входящий в числитель интеграл представляет собой средний объём зёрен, а интеграл, входящий в знаменатель, – среднюю поверхность зёрен. Очевидно, что для монодисперсных совокупностей сфер  $d_{ef} = 2 \cdot \bar{a}$ , а для полидисперсных совокупностей сфер уравнение (2) принимает вид:

$$d_{ef} = \frac{2 \int_0^{\infty} a^3 f(a) da}{\int_0^{\infty} a^2 f(a) da}. \quad (3)$$

Так что в определении среднего диаметра по Заутеру участвует отношение третьего момента распределения по размеру ко второму моменту. Удельную площадь поверхности снега  $SSA$ , представляющую собой приходящуюся на единицу массы полную площадь поверхности и измеряемую в  $m^2/kg$ , можно определить, исходя из диаметра по Заутеру, по формуле:

$$SSA = \frac{6}{\rho d_{ef}}, \quad (4)$$

где  $\rho = 0,9167 \text{ г/см}^3$  – плотность льда. Так как спектральный коэффициент отражения зависит от размеров зёрен снега, то его можно использовать для определения размера зёрен и удельной площади поверхности снега, которые имеют важное значение для многих областей применения, включая исследования загрязнения снега и климата.

Водный эквивалент снега  $SWE$ , который представляет собой толщину слоя воды, образовавшейся в результате мгновенного таяния всей снежной массы, можно рассчитать по формуле:

$$SWE = \rho_s l, \quad (5)$$

где  $l$  – глубина снежной массы, а  $\rho_s$  – плотность снега ( $\rho_s = 0,1-0,8 \text{ г/см}^3$  в зависимости от типа снега). Удельная площадь поверхности и водный эквивалент снега нужны во многих областях применения. Поэтому их повсеместно измеряют в полевых условиях, а также определяют на основе результатов дистанционного зондирования. Значение  $l$  можно измерить с воздуха при помощи бортовых лазерных систем, используя для сравнения поверхность, не покрытую снегом (скажем, в летнее время).

Естественный снег содержит самые разные загрязняющие примеси. Они попадают в него из атмосферы (например, аэрозольные частицы, такие как пыль, сажа и т.д.), или имеют биологическое происхождение (например, микроскопические водоросли), или обусловлены наличием по соседству тех или иных объектов, таких как деревья (палые листья, ветви деревьев и т.д.), скалы и обнажённая почва. Крайние проявления загрязнения снега хорошо задокументированы, хотя чаще встречаются нетронутые снежные поля. Типичные для ряда мест земного шара концентрации сажи в снеге приведены в таблице, из которой следует, что наиболее чистый снег встречается в Антарктиде. Это обусловлено большим удалением от источников загрязнения. Тем не менее, загрязнение снега биоматериалами имеет место и в Антарктиде.

Одной из важных прикладных задач является определение концентрации и типа присутствующих в снеге загрязняющих примесей. Концентрацию этих примесей можно оценить по уровню потемнения снега в видимой области спектра. Тип загрязняющих примесей (микроскопические водоросли, сажа, пыль) можно определить, исходя из формы измеренного спектрального распределения коэффициента отражения снега.

### 3. Локальные оптические характеристики снега

#### 3.1. Экстинкция света в снеге

Коэффициент экстинкции  $\sigma_{ext}$  – это базовая характеристика любой мутной среды. Он показывает, насколько быстро направленный луч света ослабляется средой в результате совокупности процессов рассеяния и поглощения. В частности, из этого следует, что

$$I = I_0 \exp(-\sigma_{ext} l), \quad (6)$$

где  $l$  – геометрическая толщина слоя снега,  $I$  – интенсивность света, прошедшего через этот слой,  $I_0$  – интенсивность света, падающего на этот слой снега. Спектральные коэффициенты экстинкции однородной среды можно легко измерить с использованием вышеприведённой формулы. В случае снега задача усложняется, т.к. следует исключить вклад падающего на приёмник многократно отражённого света. Коэффициент экстинкции можно связать с поперечным сечением экстинкции  $C_{ext}$ :

$$\sigma_{ext} = N \langle C_{ext} \rangle, \quad (7)$$



где  $N$  – количество зёрен снега в единице объёма. Известно, что для больших рассеивающих частиц  $C_{ext}$  равно удвоенному значению поперечного сечения частицы  $A$  (перпендикулярного направлению распространения падающего луча). Так что в этом случае:

$$\sigma_{ext} = 2AN. \quad (8)$$

Значение  $N$  можно выразить через объёмную концентрацию частиц  $c$  и их средний объём:

$$N = \frac{c}{\langle V \rangle}, \quad (9)$$

откуда следует, что:

$$\sigma_{ext} = \frac{c}{p}, \quad (10)$$

где

$$p = \frac{\langle V \rangle}{2\langle A \rangle}. \quad (11)$$

В случае выпуклых частиц среднее поперечное сечение (при неупорядоченной ориентации) совпадает со средней площадью поверхности, умноженной на 4 [3]. В результате получаем, что:

$$p = \frac{2\langle V \rangle}{\langle S \rangle}. \quad (12)$$

В снеге многие частицы могут иметь вогнутую форму. В этом случае уравнение (12) следует преобразовать

в уравнение  $p = v\langle V \rangle / \langle S \rangle$ , входящий в которое параметр  $v$  зависит от типа снега.

Введя средний диаметр частиц

$$d_{ef} = \frac{6\langle V \rangle}{\langle S \rangle}, \quad (13)$$

получаем, что  $p = d_{ef}/3$  и, как следствие,

$$\sigma_{ext} = \frac{3c}{d_{ef}}, \quad (14)$$

причём это выражение получено в предположении, что зёрна имеют выпуклую форму (скажем, они представляют собой округлые частицы льда). Учитывая, что значение  $c$  часто близко к  $1/3$ , получаем, что  $\sigma_{ext} \approx 1/d_{ef}$ . Так что длина экстинкции света  $L_{ext} = 1/\sigma_{ext}$  в снеге примерно равна эффективному диаметру зёрен снега.

### 3.2. Рассеяние света в снеге

Отражательные свойства снега определяются процессами рассеяния и поглощения, протекающими внутри снежного покрова. Если допустить, что влиянием плотной упаковки можно пренебречь, то для расчёта углового распределения рассеяния света единичным зерном льда можно воспользоваться законами физической оптики. В этом приближении можно считать, что фазовая функция отражения света зерном льда может быть записана в виде суммы двух составляющих – дифракционной и геометрической – следующим образом:

$$p(\theta) = \frac{C_{sca,d} p_{sca,d}(\theta) + C_{sca,g} p_{sca,g}(\theta)}{C_{sca,d} + C_{sca,g}}, \quad (15)$$

где  $C_{sca,d}$  и  $C_{sca,g}$  – дифракционная и геометрическая составляющие эффективного поперечного сечения рассеяния  $C_{sca}$  соответственно,  $p_{sca,d}(\theta)$  и  $p_{sca,g}(\theta)$  – дифракционная и геометрическая составляющие полной фазовой функции соответственно. При этом фазовую функцию нормируют следующим образом:

$$\frac{1}{2} \int_0^\pi p(\theta) \sin \theta d\theta = 1, \quad (16)$$

где  $\theta$  – угол рассеяния, равный  $0^\circ$  для прямого рассеяния и равный  $180^\circ$  для обратного рассеяния. В случае одинаковой вероятности рассеяния света в любом направлении легко получить  $p = 1$  (изотропное рассеяние). В случае больших зёрен льда имеет место ярко выраженная асимметрия рассеяния света: большая часть света рассеивается в прямом направлении. Асимметрия фазовой функции описывается показателем асимметрии

$$g = \frac{1}{2} \int_0^\pi p(\theta) \cos \theta \sin \theta d\theta, \quad (17)$$

который равен среднему косинусу угла рассеяния. Может использоваться также и показатель симметрии  $s = 1 - g$ . Очевидно, что в случае изотропного рассеяния  $s = 1$  ( $g = 0$ ). Из уравнений (15) и (17) следует, что

$$g = \frac{C_{sca,d} g_d + C_{sca,g} g_g}{C_{sca,d} + C_{sca,g}}. \quad (18)$$

В случае больших непоглощающих зёрен получаем [3]:  $C_{sca,d} = C_{sca,go}$  и как следствие,

$$g = \frac{1 + g_{go}}{2} \quad (19)$$

(уравнение (19) получено с учётом того, что дифракция осуществляется в прямом направлении, и поэтому  $g_d = 1$ ). Измерения ледяных облаков, состоящих из частиц неправильной формы [4], дают значения  $g$ , близкие к  $0,75$ , откуда следует, что  $g_{go} = 1/2$ . Значение  $g_{go}$  зависит от фор-

мы и показателя преломления частиц. Оно больше как для округлых, так и для слабо преломляющих свет частиц с близкой к 1 действительной частью коэффициента преломления. Фазовые функции снега измерить трудно, вследствие чего при моделировании считают, что они близки к фазовым функциям ледяных облаков, состоящих из больших зёрен снега неправильной формы. Эти фазовые функции не имеют особенностей и практически постоянны в полусфере обратного рассеяния. Они формируют не имеющие особенностей распределения коэффициента отражения снега. В частности, радуги и ореолы, наблюдаемые в отражённом свете в случае водяных облаков, никогда не наблюдаются в случае снежного покрова. Приведённые выше уравнения справедливы для отдельных зёрен снега. Поэтому для получения локальных оптических характеристик снега следует воспользоваться усреднением. В частности, фазовая функция снега принимает следующий вид:

$$p_s(\theta) = \frac{\langle C_{sca,d} P_{sca,d}(\theta) \rangle + \langle C_{sca,g} P_{sca,go}(\theta) \rangle}{\langle C_{sca,d} \rangle + \langle C_{sca,go} \rangle}, \quad (20)$$

где угловые скобки означают усреднение применительно к размерам зёрен снега и их форме. Для показателя асимметрии снега можно получить следующее выражение:

$$g = \frac{\langle C_{sca,d} \rangle + \langle C_{sca,g} g_{go} \rangle}{\langle C_{sca,d} \rangle + \langle C_{sca,go} \rangle}, \quad (21)$$

при записи которого было принято во внимание, что показатель асимметрии для дифракционной составляющей близок к 1. В случае не поглощающих свет частиц  $g_{go}$  не зависит от размера частиц, так что

$$g = \frac{1 + \langle g_{go} \rangle}{2}, \quad (22)$$

где угловые скобки означают усреднение применительно к формам частиц. При этом мы учли, что в случае несферических частиц дифракционная и геометрическая составляющие среднего поперечного сечения совпадают, и допустили, что

$$\langle C_{sca,g} g_{go} \rangle = \langle C_{sca,g} \rangle \langle g_{go} \rangle.$$

Фазовая функция снега в естественных условиях до сих пор ещё не измерена. Эту функцию моделируют в приближении геометрической оптики (трассировка лучей), задавая разные формы кристаллов. Использование геометрической оптики допустимо, так как размеры зёрен льда гораздо больше длины волны падающего на них света. Это значительно упрощает задачу, позволяя отказаться от использования теории Максвелла, в рамках которой задача не имеет аналитического решения в случае частиц неправильной формы. Были получены параметрические описания фазовой функции снега, которые можно использовать при исследованиях переноса излучения в кристаллических облаках и снеге [5, 6].

### 3.3. Поглощение света в снеге

Зёрна снега не только рассеивают свет, но и частично поглощают его. В видимой области спектра процессами поглощения можно пренебречь. Однако они имеют большое значение в ближней инфракрасной области, в которой лёд поглощает излучение, причём степень поглощения зависит от длины волны. Поперечное сечение одного зерна снега для процесса поглощения излучения  $C_{abs}$  можно записать в следующем виде:

$$C_{abs} = \frac{k}{|\vec{E}_0|^2} \int_V \varepsilon''(\vec{r}) \vec{E}(\vec{r}) \vec{E}^*(\vec{r}) d^3\vec{r}, \quad (23)$$

где  $k = 2\pi/\lambda$  – волновое число,  $V$  – объём зерна льда,  $\varepsilon''(\vec{r}) = 2n\chi$  – мнимая часть относительной диэлектрической проницаемости частицы,  $m = n - 1$ ,  $\chi$  – комплексный показатель преломления зерна льда,  $\vec{E}_0$  – напряжённость падающего электрического поля,  $\vec{E}(\vec{r})$  – напряжённость электрического поля внутри частицы. Введём среднюю нормализованную интенсивность света внутри частицы:

$$\Pi = \frac{1}{V} \int_V \frac{|\vec{E}(\vec{r})|^2}{|\vec{E}_0|^2} d^3\vec{r}. \quad (24)$$

Тогда, если принять, что частица внутри однородна, то из уравнения (23) следует, что:

$$C_{abs} = n\alpha\Pi V, \quad (25)$$

Входящая в (25) величина  $\Pi$  зависит от размера, формы и комплексного показателя преломления частицы, а  $\alpha = 2 \cdot k \cdot \chi$ . Очевидно, что для слабопоглощающих частиц значение  $\Pi$  близко к 1, так как при  $n \rightarrow 1$  получаем, что  $\vec{E}(\vec{r}) \approx \vec{E}_0(r)$ . Отсюда следует, что

$$C_{abs} = \alpha V. \quad (26)$$

Для крупных непоглощающих частиц с большим значением  $\Delta n = n - 1$ ,  $\Pi$  также не зависит от размеров частиц [7]. Это примерно справедливо и для поглощающих свет частиц, если  $\chi/n \ll 1$ ,  $\chi x \ll 1$  (выполняется для снега в видимой и ближней инфракрасной областях спектра), где  $x = ka$  – зависящий от размера частиц параметр, а  $\alpha$  – характерный размер рассеивателя (в случае монодисперсных сфер, это радиус сферы). В результате, уравнение (26) принимает следующий вид:

$$C_{abs} = B\alpha V, \quad (27)$$

где  $B$  зависит от формы частиц и действительной части  $n$ , но не от размеров частиц. Измерения значений  $B$  для

естественного снега были произведены в [8]. Было установлено, что среднее значение  $B$  равно 1,6 с некоторыми отклонениями, зависящими от типа снега. В случае сферических зёрен льда  $B = 1,25$  [9]. Отсюда следует, что использование сферического приближения приведёт к недооценке поглощательной способности снега и к переоценке его отражательной способности.

Так что коэффициент поглощения

$$\sigma_{abs} = N \langle C_{abs} \rangle \quad (28)$$

может быть записан в виде:

$$\sigma_{abs} = B\alpha c, \quad (29)$$

где  $c$  – объёмная концентрация зёрен снега, равная отношению плотностей снега  $\rho_s$  и льда  $\rho_i$ . Для многих типов снега это отношение равно 1/3. Это означает, что коэффициент поглощения снега примерно вдвое меньше коэффициента поглощения монолитного льда и что в видимой и ближней инфракрасной областях спектра снег имеет почти такие же спектральные характеристики, как и монолитный лёд. Приведённые выше результаты справедливы только для слабопоглощающих зёрен снега. В случаях средне- и сильнопоглощающих частиц (например, для длин волн от 1,6 до 2,1 мкм, когда поглощение света большими зёрнами снега уже нельзя считать слабым), их следует преобразовать.

### 3.4. Локальные оптические характеристики грязного снега

Грязный снег состоит из зёрен льда и различных загрязняющих примесей (пыли, сажи, микроскопических водорослей и т.д.). Локальные оптические характеристики можно определить, считая, что коэффициенты экстинкции и поглощения и фазовая функция подчиняются закону аддитивности:

$$\sigma_{ext} = \sigma_{ext,i} + \sigma_{ext,p} \equiv N_i \bar{C}_{ext,i} + \sum_{p=1}^N N_p \bar{C}_{ext,p}, \quad (30)$$

$$\sigma_{abs} = \sigma_{abs,i} + \sigma_{abs,p} \equiv N_i \bar{C}_{abs,i} + \sum_{p=1}^N N_p \bar{C}_{abs,p}, \quad (31)$$

$$p(\theta) = \frac{\bar{C}_{sca,i} p_{sca,i}(\theta) + \sum_{p=1}^N \bar{C}_{sca,p} p_{sca,p}(\theta)}{\bar{C}_{sca,i} + \sum_{p=1}^N \bar{C}_{sca,p}}, \quad (32)$$

где индексы  $i$  и  $p$  обозначают вклад снега ( $i$ ) и  $N$  загрязняющих примесей ( $p$ ), а поперечное сечение рассеяния  $C_{sca}$  равно:

$$C_{sca} = C_{ext} - C_{abs}. \quad (34)$$

В большинстве случаев следует учитывать наличие только одной ( $N = 1$ ) загрязняющей примеси (скажем,

сажи). Кроме того, во многих случаях рассеяние снега загрязняющими примесями мало, а основную роль играет поглощение, и для учёта наличия примесей можно ограничиться расчётом коэффициента поглощения. Хотя подобные допущения часто используются в оптике снега, они могут приводить к погрешностям расчётов, так как реальные загрязняющие примеси могут иметь большие концентрации и состоять из крупных частиц. В этих случаях уже нельзя пренебрегать рассеянием света на частицах загрязняющих примесей. Кроме того, некоторые загрязняющие примеси находятся внутри ледяных частиц [10].

## 4. Перенос излучения в снеге

### 4.1. Подход, основанный на уравнении переноса излучения

Перенос излучения в снеге обычно рассматривается в рамках скалярной теории переноса излучения. При этом интенсивность светового поля  $I$  (в направлении, задаваемом телесным углом  $\Omega$ ) определяется посредством решения приведённого ниже хорошо известного уравнения переноса излучения (УПИ) [11]:

$$\mu \frac{dI(\Omega)}{d\tau} = -I + \frac{\omega_0}{4\pi} \int_{\Omega'} p(\Omega', \Omega) I(\Omega') d\Omega', \quad (33)$$

где  $\mu$  – косинус зенитного угла наблюдения, отсчитываемого от нормали к слою снега,  $\omega_0 = 1 - \sigma_{abs} / \sigma_{ext}$  – альбеда однократного рассеяния. При записи уравнения (33) считалось, что снег представляет собой горизонтальный однородный плоскопараллельный светорассеивающий слой, в котором можно пренебречь тепловым излучением, что, несомненно, справедливо применительно к видимой и ближней инфракрасной областям спектра электромагнитного излучения, а  $\tau = \sigma_{ext} \cdot l$  – введённая нами оптическая толщина снега.

В случае неоднородного слоя, его оптическая толщина представляет собой интеграл коэффициента экстинкции по вертикальной координате. На практике, благодаря процессам накопления (скажем, в результате нескольких снегопадов и нескольких отложений загрязняющих примесей) снег имеет слоистую структуру, и к приближению однородного по вертикали слоя следует относиться с осторожностью.

УПИ можно решить целым рядом численных и приближённых аналитических методов, получив в результате зависимость интенсивностей  $I$  отражённого, прошедшего и внутреннего световых полей от нескольких важных параметров, таких как размер зёрен снега, форма зёрен снега, плотность снега, тип и концентрация загрязняющих примесей, распределение различных загрязняющих примесей по размерам и толщина снега. Можно рассчитать и альбеда слоя снега и его коэффициент поглощения.

Влияние коэффициента отражения лежащей под снегом поверхности (скажем, в случае тонкого слоя снега) тоже можно исследовать, задав соответствующие граничные условия.

Следует отметить, что при записи приведённого выше УПИ считалось, что содержащиеся в рассеивающем слое частицы не ориентированы (случайное распределение ча-

стиц неправильной формы) и не соприкасаются, а находятся на большом расстоянии друг от друга. Второе условие в случае снега обычно не выполняется, так как объёмная концентрация зёрен льда составляет примерно 0,3. Поэтому использование стандартной записи УПИ может привести к большим погрешностям. Это, несомненно, верно применительно к микроволновому и тепловому инфракрасному излучениям снежного покрова. Однако результаты измерений коэффициента отражения снега говорят о том, что стандартное УПИ можно использовать в видимой и ближней инфракрасной областях спектра электромагнитного излучения [12]. Это связано с тем, что рассеяние света относится к сфере действия геометрической оптики, так как зёрна снега обычно в 100–1000 раз больше длины волны падающего света, и кроме того, частицы имеют неправильную форму. Поэтому влиянием эффектов плотной упаковки частиц в снеге в этом случае можно пренебречь.

#### 4.2. Аналитическая аппроксимация спектрального коэффициента отражения снега

При проведении прикладных исследований часто желательно иметь аналитические выражения, связывающие измеряемые параметры (скажем, спектральный коэффициент отражения снега) с параметрами микроструктуры снега (скажем, размером зёрен снега, концентрацией загрязняющих примесей). Это позволяет упростить решение обратной задачи. В этом разделе такое уравнение будет выведено статистическими методами, не связанными непосредственно с УПИ, которому присущи ограничения, связанные с учётом влияния эффектов плотной упаковки частиц в мутной среде.

Рассмотрим случай поглощающего свет снега. Коэффициент отражения  $R = \pi I / \mu_0 E_0$ , где  $\mu_0$  – косинус зенитного угла падения,  $E_0$  – световой поток, падающий на единицу площади поверхности, перпендикулярной падающему лучу, можно записать в следующем виде:

$$R(\beta) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n (1 - \beta)^n, \quad (34)$$

где  $\beta = 1 - \omega_0$  – вероятность поглощения фотона в единичном объёме снега. В случае непоглощающего снега:

$$R(0) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n. \quad (35)$$

В результате получаем, что параметр  $R = R(\beta) / R(0)$  можно представить как

$$R = \frac{\sum_{n=1}^{\infty} a_n (1 - \beta)^n}{\sum_{n=1}^{\infty} a_n}. \quad (36)$$

Разложив  $(1 - \beta)^n$  в ряд при  $\beta \rightarrow 0$ , получаем:

$$R \approx 1 - \beta \langle n \rangle + \frac{\beta^2}{2} \langle n^2 \rangle - \frac{\beta^3}{6} \langle n^3 \rangle + \dots \approx \langle \exp(-\beta n) \rangle, \quad (37)$$

где

$$\langle n^k \rangle \equiv \sum_{n=1}^{\infty} f_n n^k, \quad \langle \exp(-\beta n) \rangle \equiv \sum_{n=1}^{\infty} f_n \exp(-\beta n),$$

$$f_n = \frac{a_n}{\sum_{n=1}^{\infty} a_n}. \quad (38)$$

При этом мы считали, что  $n(n-1) \approx n^2$ ,  $n(n-1)(n-2) \approx n^3, \dots$ . Это возможно, так как значение  $\beta$  близко к 0, а количество случаев рассеяния в снеге видимого и ближнего инфракрасного излучения велико. По этой же причине

$$\langle \exp(-\beta n) \rangle \approx \int_0^{\infty} f(n) \exp(-\beta n) dn. \quad (39)$$

Этот интеграл можно вычислить, введя функцию  $f(n)$ . В частности, из теории случайных блужданий [13] следует, что вероятность появления частицы (фотона) в заданном месте, момент времени и направлении после большого числа итераций может быть представлена в виде:

$$f(n) = \sqrt{\frac{\eta}{\pi}} n^{-3/2} \exp\left\{-\frac{\eta}{n}\right\}, \quad (40)$$

где параметр  $n$  зависит от рассматриваемого процесса. Подставив (40) в (37), получаем:

$$R = \exp(-2\sqrt{\eta\beta}). \quad (41)$$

В результате можно считать, что

$$R(\beta) = R_0 \exp(-\sqrt{s\beta}), \quad (42)$$

где  $R_0 \equiv R(0)$ ,  $s = 4\eta$ . Это уравнение описывает зависимость спектрального коэффициента отражения снега от вероятности поглощения фотона  $\beta$ . Параметр  $s$  зависит от процессов рассеяния, а не поглощения, и поэтому можно считать, что в случае снега, состоящего из соприкасающихся друг с другом больших зёрен ( $d_{ef} \gg \lambda$ ), он не зависит от длины волны. Уравнение записано в самом общем виде, и его можно применять к многим типам светорассеивающих сред. Впервые оно было выведено в [14]. В следующем разделе уравнение (42) будет использовано для интерпретации измеренных значений спектрального коэффициента отражения, а также для решения обратной задачи переноса излучения в случае однородного полубесконечного слоя снега.

Величину  $s$  можно связать с показателем асимметрии зёрен снега  $g$ , используя для этого результаты решения УПИ при  $\beta \rightarrow 0$ . В результате получаем [15]:

$$R(\beta) = R_0 - yu(\mu_0)u(\mu), \quad (43)$$

где

$$y = 4\sqrt{\frac{\beta}{3(1-g)}} \quad (44)$$

и

$$u_0(\mu_0) = \frac{3}{4}(\mu_0 + \varphi(\mu_0)), \quad (45)$$

$$\varphi(\mu_0) = 2 \int_0^1 \langle R_0(\mu_0, \mu) \rangle \mu^2 d\mu, \quad (46)$$

$$\langle R_0(\mu_0, \mu) \rangle = \frac{1}{2\pi} \int_0^1 R_0(\mu, \mu_0, \psi) d\psi. \quad (47)$$

Можно показать [16], что справедлива следующая аппроксимация:

$$u(\mu_0) = \frac{3}{7}[1 + 2\mu_0]. \quad (48)$$

В результате получаем, что при малых значениях вероятности поглощения фотона

$$s = \frac{16u^2(\mu_0)u^2(\mu)}{3(1-g)R_0^2(\mu_0, \mu, \psi)}. \quad (49)$$

## 5. Приближённое решение обратной задачи переноса излучения

Приведённые выше уравнения можно использовать для получения аналитической зависимости между спектральным коэффициентом отражения снега и диаметром зёрен льда. Для простоты предположим, что в снеге присутствуют загрязняющие примеси только одного типа. В этом случае получаем, что вероятность поглощения фотона можно рассчитать по формуле:

$$\beta = \frac{\sigma_{abs,i} + \sigma_{abs,p}}{\sigma_{ext,i} + \sigma_{ext,p}}, \quad (50)$$

где индексы  $i$  и  $p$  обозначают, соответственно, зёрна льда и загрязняющую примесь. Считая, что экстинкция света загрязняющими примесями намного меньше, чем его экстинкция зёрнами льда (см. табл. 1), и воспользовавшись уравнениями (14) и (29), получаем:

$$\beta = \left[ \frac{B\alpha(\lambda)}{3} + \frac{\sigma_{abs,p}(\lambda)}{3c_i} \right] d_{ef}, \quad (51)$$

откуда следует, что

$$R(\lambda) = R_0 \exp\left\{-\sqrt{[\alpha(\lambda) + F\sigma_{abs,p}(\lambda)]D}\right\}, \quad (52)$$

где

$$F = \frac{1}{Bc_i}, \quad (53)$$

$$D = \frac{B}{3}sd_{ef}. \quad (54)$$

В случае чистого снега уравнение (52) упрощается:

$$R(\lambda) = R_0 \exp\left\{-\sqrt{\alpha(\lambda)D}\right\}. \quad (55)$$

Т.к. зависимость коэффициента поглощения монолитного льда от длины волны  $\alpha(\lambda)$  хорошо известна, то очевидно, что для определения спектра отражения чистого снега в видимой и ближней инфракрасной областях спектра достаточно знания всего двух параметров, а именно,  $D$  и  $R_0$ . Эти два параметра можно определить, исходя из результатов измерений, проведённых на двух длинах волн (скажем, 0,4 и 1,02 мкм), которые позволяют одновременно получить значения размера зёрен снега/  $SSA$  и  $R_0$ .

Поглощение света загрязняющими примесями можно параметризовать следующим образом [17]:

$$\sigma_{abs,p}(\lambda) = c_p \kappa \tilde{\lambda}^{-m}, \quad (56)$$

где  $c_p$  – объёмная концентрация загрязняющих примесей,  $c_p \kappa$  – коэффициент поглощения загрязняющих примесей при длине волны  $\lambda_0$ ,  $\tilde{\lambda} = \lambda / \lambda_0$ . Из уравнений (52) и (56) следует, что:

$$R(\lambda) = R_0 \exp\left\{-\sqrt{[\alpha(\lambda) + \Phi \tilde{\lambda}^{-m}(\lambda)]D}\right\}, \quad (57)$$

где

$$\Phi = \frac{\tilde{c}_p \kappa}{B} \quad (58)$$

и

$$\tilde{c}_p = \frac{c_p}{c_i}. \quad (59)$$

Уравнением (57) можно воспользоваться для определения параметров  $R_0$ ,  $D$ ,  $\Phi$ ,  $m$ , например, методом оптимальной оценки [18].

Это позволяет определить эффективные размеры зёрен льда ( $d_{ef} = 3D / Bs$ , см. уравнение (54)), а также спектральный коэффициент поглощения загрязняющих примесей (при известной концентрации зёрен льда, см. уравнения (56), (58), (59)).

Зная объёмный коэффициент поглощения загрязняющих примесей

$$\kappa = \frac{\bar{C}_{abs}(\lambda_0)}{\bar{V}_p}, \quad (60)$$

Концентрация сажи в снегу в разных местностях [2]

Место	Концентрация чёрного углерода (нг/г)
Южный полюс	0,1–0,3
Саммит, Гренландия	1–30
Шпицберген	7–52
Барроу, Аляска	7–60
Алерт, Северная Канада	0–127
Французские Альпы	4–826
Городская местность в шт. Мичиган	17–5700

где  $\bar{V}_p$  и  $\bar{C}_{abs}(\lambda_0)$  – средний объём частиц и среднее попе-

речное сечение поглощения загрязняющих примесей соответственно, можно определить нормализованную концентрацию имеющихся в снегу загрязняющих примесей (скажем, сажи) (см. уравнения (58) и (59)), что является важной прикладной задачей. Четыре неизвестных параметра также могут быть найдены при помощи уравнения (57) на основе результатов измерений, проведённых на четырёх длинах волн, считая при этом, что поглощением света зёрнами льда можно пренебречь для длин волн  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  видимой в области спектра, а для длин волн  $\lambda_3$  и  $\lambda_4$  ближней инфракрасной области спектра, где монолитный лёд поглощает сильнее, можно пренебречь поглощением света загрязняющими примесями. В результате получаем [17]:

$$m = \frac{\ln(p_1 / p_2)}{\ln(\lambda_2 / \lambda_1)}, \quad \Phi = \frac{p_1 \lambda_1^m}{D},$$

$$R_0 = R_3^{\varepsilon_1} R_4^{\varepsilon_2}, \quad D = \alpha_4^{-1} \ln^2 \left[ \frac{R_4}{R_0} \right], \quad (61)$$

где  $R_1, R_2, R_3$  и  $R_4$  – коэффициенты отражения, измеренные на длинах волн  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  и  $\lambda_4$  соответственно,

$$p_k = \ln^2(R_k / R_0), \quad \varepsilon_1 = (1 - b)^{-1}, \quad \varepsilon_2 = 1 - \varepsilon_1, \quad b = \sqrt{\alpha_3 / \alpha_4}, \quad \alpha_3$$

и  $\alpha_4$  – коэффициенты поглощения монолитного льда на длинах волн  $\lambda_3$  и  $\lambda_4$  соответственно.

Пример применения этого подхода к измерению спектрального коэффициента отражения загрязнённого снега приведён на рисунке. Параметры, задаваемые уравнением (61), были определены с использованием следующих длин волн: 400, 560, 865 и 1020 нм. Использование аналогичного подхода для обработки результатов измерений спектрального коэффициента отражения и альбедо снега представлено в [17].

## 6. Заключение

В статье представлен обзор теоретических основ отражательной спектроскопии снега. Хотя точное решение

этой задачи должно быть основано на интегродифференциальном уравнении переноса излучения, было показано, что описываемая уравнениями (52), (55) и (57) аппроксимация значительно упрощает задачу, позволяя производить спектроскопические исследования снега с при помощи недорогих приборов и простого программного обеспечения, используя при этом либо аналитическое решение обратной задачи (см. уравнение (61)), либо метод оптимальной оценки. Описанный подход применим не только для снега, но и для других материалов с крупными слабопоглощающими рассеивающими частицами.

Эта работа в основном финансировалась Европейским космическим агентством в рамках контракта № 4000118926/16/I-NB “Scientific Exploitation of Operational Missions (SEOM) Sentinel-3 Snow (Sentinel-3 for Science, Land Study 1: Snow)”

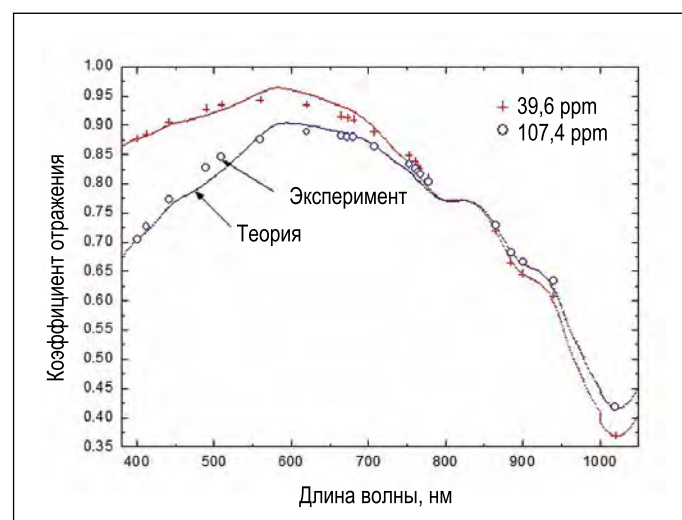


Рисунок. Спектральные коэффициенты отражения снега, загрязнённого пылью (концентрация пыли 39,6 и 107,4 ppm), измеренные в Альпах [17] (символы + и o) и рассчитанные по формуле (57) (сплошные линии) с учётом спектрального коэффициента поглощения льда [19]. Полученные значения  $m$  и  $d_{ef}$  оказались равными: 4,1 и 2,5 мм в случае слабозагрязнённого снега (39,6 ppm) и 6,4 и 1,5 мм в случае сильнозагрязнённого снега (107,4 ppm) соответственно. Значения коэффициента поглощения на длине волны 560 нм, рассчитанные применительно к равной 0,3 объёмной концентрации зёрен льда, составили  $0,12 \text{ м}^{-1}$  в случае слабозагрязнённого снега и  $0,31 \text{ м}^{-1}$  в случае сильнозагрязнённого снега. Измерения производились в направлении надир при равном  $52^\circ$  значении солнечного зенитного угла

## Анатолию Шахновичу Черняку 80 лет

22 января исполнилось 80 лет заведующему лабораторией ВНИСИ Анатолию Шахновичу Черняку. Большая часть этих лет – пятьдесят пять – связывает А.Ш. Черняка с работой во ВНИСИ. Окончив в 1962 г. Московский энергетический институт, он пришел на работу во ВНИСИ молодым специалистом и прошел трудовой путь до заведующего лабораторией техники освещения и световых приборов.

На протяжении всей своей творческой – а о Анатолии Шахновиче иначе и не скажешь – деятельности юбиляр был руководителем и ответственным исполнителем целого ряда тем специального назначения, связанных с исследованием видимости в водных средах, а также созданием аппаратуры и световых приборов по программе «Буран».

Последние десятилетия Анатолий Шахнович активно занимался про-



ектированием и реализацией установок в области наружного освещения. Особое место и значение имеет созданная и уже десять лет работающая под руководством Анатолия Шахновича мобильная светотехническая лаборатория для мониторинга параметров

наружного освещения – уникальный измерительный комплекс, высоко востребованный как в Москве, так и во многих других городах нашей страны и ближайшего зарубежья.

Весомый вклад сделал А.Ш. Черняк и в дело модернизации и совершенствования современной базы национальных и межгосударственных стандартов в области освещения.

Признанный эксперт в области светотехники, Анатолий Шахнович стал учителем для многих сегодняшних молодых специалистов ВНИСИ, и активно передает богатый опыт своей научно-исследовательской и инженерной работы подрастающему поколению светотехников.

Редакция и редколлегия журнала, коллектив ВНИСИ поздравляет Анатолия Шахновича с Юбилеем, желает ему крепкого здоровья и ещё долгих лет плодотворной и активной работы.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Hapke, B.* Theory of reflectance and emittance spectroscopy – Cambridge: Cambridge University Press, 2005. – 455 p.
2. *Flanner, M. G., Zender, C. S., Randerson, J. T., Rash, P.J.* Present – day climate forcing and response from black carbon in snow // *J. Geophysical Research Atmospheres.* – 2007. – Vol. 112. – D11202. – doi: 10.1029/2006JD008003.
3. *van de Hulst, H.C.* Light scattering by small particles. – N.Y.: Dover, 1981. – 496 p.
4. *Garrett, T.J.* Observational quantification of the optical properties of cirrus cloud // *Light Scattering Reviews* – 2008. – No. 6. – P. 1–26.
5. *Kokhanovsky A.A.* Reflection of light from particulate media with irregularly shaped particles // *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer.* – 2005. – N1. – p.1–10.
6. *Räsänen, P., Kokhanovsky, A., Guyot, G., Jourdan, O., Nousiainen, T.* Parameterization of single-scattering properties of snow // *The Cryosphere.* – 2015. – No. 9 – P. 1277–1301.
7. *Babenko, V.A., Astafyeva, L. G., Kuzmin, V.N.* Electromagnetic Scattering in Disperse Media. – Chichester: Springer-Praxis, 2003. – 460 p.
8. *Libois, Q., Picard, G., Dumont, M., Arnaud, L., Sergent, C., Pougatch, E., Sudul, M., Vial, D.* Experimental determination of the absorption enhancement parameter of snow // *Journal of Glaciology.* – 2014. – No. 7. – P. 714–724.
9. *Kokhanovsky, A. A., Zege, E.P.* Scattering optics of snow // *Applied Optics.* – 2004. – No. 7. – P. 1589–1602.
10. *He, C., Liou, K.-N., Takano, Y., Yang, P., Qi, L., Chen, F.* Impact of grain shape and multiple black carbon internal mixing on snow albedo: parameterization and radiative effect analysis // *Journal Geophysical Research.* – 2018. – No. 7. – P. 1253–1268.
11. *Chandrasekhar, S.* Radiative Transfer. – Oxford: Clarendon Press, 1950. – 393 p.

12. *Kokhanovsky, A.A., Aoki, T., Hachikubo, A., Hori, M., Zege, E.P.* Reflective properties of natural snow: approximate asymptotic theory in situ measurements // *IEEE Transactions, Geosciences and Remote Sensing.* – 2005. – No. 7. – P. 1529–1535.

13. *Chandrasekhar, S.* Stochastic problems in physics and astronomy // *Reviews of Modern Physics.* – 1943. – No. 1. – P. 1–89.

14. *Rosenberg, G.V.* Optical characteristics of thick weakly absorbing scattering layers // *Doklady Akademii Nauk.* – 1962. – No. 6. – P. 775–777.

15. *Zege, E.P., Ivanov, A.P., Katsev, I.L.* Image transfer through a scattering medium. – Berlin: Springer, 1991. – 349 p.

16. *Sobolev, V.V.* Light scattering in planetary atmospheres – M.: Nauka, 1972.

17. *Kokhanovsky, A., Lamare, M., Di Mauro, B., Picard, G., Arnaud, L., Dumont, M., Tuzet, F., Brockmann, C., Box, J.E.* On the reflectance spectroscopy of snow // *The Cryosphere.* – 2018. – No. 12. – P. 2371–2382.

18. *Rodgers, C.D.* Inverse methods for atmospheric sounding: theory and practice. – London: World Scientific, 2000. – 256 p.

19. *Warren, S.G., Brandt, R.E.* Optical constants of ice from the ultraviolet to microwave: a revised compilation // *J. Geophysical Research.* – Vol. 113. – N D14220. – P. 1–10.



**Кохановский Александр Анатольевич,**  
доктор физико-математических наук (2011 г.).  
Окончил Белорусский государственный университет (1983 г.). Старший научный сотрудник компании VITROCISSET Belgium SPRL. Область научных интересов: дистанционное спутниковое зондирование атмосферы и поверхности Земли оптическими методами

# Световой десинхронизм и здоровье

В. Н. АНИСИМОВ

Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н. Н. Петрова  
Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия  
Email: aging@mail.ru

## Аннотация

В обзоре рассмотрены современные представления о влиянии нарушений ритма смены дня и ночи, света и темноты на процесс старения и риск развития ассоциированных с возрастом заболеваний. Получены существенные экспериментальные доказательства стимулирующего влияния постоянного искусственного освещения и естественного светового режима Севера, на возникновение и развитие опухолей у лабораторных животных. Показано, что многолетняя сменная работа, трансмеридианные перелёты (джетлаг) и бессонница увеличивают риск сердечно-сосудистых заболеваний, сахарного диабета и злокачественных новообразований у человека. Особое внимание уделено исследованиям зависимости между интенсивностью освещения, длиной волны света и его способностью подавлять синтез гормона мелатонина, вырабатываемого в ночные часы эпифизом (шишковидной железой). Установлено, что синтез мелатонина наиболее эффективно подавляют источники синего света с длиной волны в интервале от 446 до 477 нм. Применение экзогенного мелатонина препятствует преждевременному старению репродуктивной системы и организма в целом, предупреждает развитие иммунодепрессии, метаболического синдрома и опухолей, вызываемых световым загрязнением. Актуальной задачей является разработка рекомендаций по оптимизации освещения рабочих и жилых помещений, освещения городов и населённых пунктов как мер профилактики преждевременного старения и возрастной патологии, что, в конечном счёте, будет способствовать длительному сохранению трудоспособности и улучшению качества жизни.

**Ключевые слова:** свет ночью, световое загрязнение, циркадный ритм, мелатонин, старение, рак.

## 1. Введение

Наиболее существенным для живой природы явлением на Земле является смена дня и ночи, света и темноты. Вращение нашей планеты вокруг своей оси и одновременно вокруг Солнца отмеряет сутки, сезоны и годы нашей жизни. Всё больше сведений накапливается и о роли эпифиза (шишковидной железы) как основного ритмоводителя функций организма. Свет угнетает синтез и секрецию эпифизом гормона мелатонина, и поэтому его максимальный уровень в этой железе и в крови человека и животных многих видов наблюдается в ночные часы, а минимальный – в дневные часы. В последние годы появились убедительные доказательства нарушения экспрессии генов циркадного ритма при старении [1]. Существенно, что по мере старения эффективность работы эпифиза снижается, что проявляется, прежде всего, нарушением ритма и снижением уровня секреции мелатонина эпифизом [2]. Если эпифиз уподобить биологическим часам организма, то мелатонин можно уподобить маятнику, который обеспечивает ход этих часов и снижение амплитуды которого приводит к их остановке. Пожалуй, более точно будет сравнить эпифиз с солнечными часами, в которых мелатонин играет роль тени от древнейшего астрономического инструмента, гномона – т.е. стержня, отбрасывающего тень от солнца. Днём солнце высоко и тень коротка (уровень мелатонина минимален), а в середине ночи отмечается пик синтеза мелатонина эпифизом и секреции его в кровь. При этом важно то, что синтез мелатонина имеет суточный ритм, то есть единицей его измерения является хронологический метроном – суточное вращение Земли вокруг своей оси [3]. Если эпифиз – это солнечные часы организма, то, очевидно, любые изменения длительности светового дня должны существенным образом сказываться на его функциях и, в конечном счёте, на скорости старения. Цир-

кадный ритм весьма важен не только для временной организации физиологических функций организма, но и для продолжительности его жизни. В ряде работ было показано, что нарушение фотопериодов может приводить к существенному уменьшению продолжительности жизни животных [4, 5].

## 2. Влияние света на синтез мелатонина эпифизом у человека и животных

Смена дня и ночи (света и темноты) является основным синхронизатором (*Zeitgeber*), регулирующим синтез гормона мелатонина придатком головного мозга – шишковидной железой (эпифизом). Эндогенный ритм, управляющий синтезом и секрецией мелатонина, подстраивается к ежедневной длительности тёмной фазы суток у различных видов млекопитающих вне зависимости от того, ведут ли они дневной или ночной образ жизни [6–9]. У людей, активных днём, высокие концентрации мелатонина в эпифизе и его экскреция наблюдаются ночью. Свет, в дополнение к его действию как подстраивающего агента циркадианных (околосуточных) часов, действует как маскирующий фактор, когда организм подвергается воздействию света во время привычной светлой фазы суток. Система фоторецепции, вовлечённая в регуляцию часов, отлична от системы распознавания образов. Ежедневная смена света и темноты подстраивает эндогенные циркадианные часы в особой структуре мозга – гипоталамусе – к астрономической длительности суток (24 ч.). Врождённый период гипоталамических часов немного дольше 24-х часов. Содержащие фотопигмент рецепторы сетчатки глаза, составляющие около 1 % ганглиозных клеток сетчатки, непосредственно реагируют на свет и действуют как синхронизатор на супрахиазматическое ядро гипоталамуса. Фотопигмент представляет собой меланопсин – комплекс опсин/витамина А с пиком чувствительности в синей части спектра на длине волны 480 нм [10]. Было изучено влияние световых волн разной длины на синтез мелатонина эпифизом и установлено, что он подавляется в довольно широком диапазоне длин волн (от 420 до 600 нм), но наиболее эффективно – в интервале от 446 до 477 нм. Подавление ночного пика синтеза мелато-



нина воздействием света с освещённостью 200–500 лк в течение 1 часа одинаково у мужчин и женщин и пропорционально освещённости. Низкой освещённости (90–180 лк), которая часто имеет место в жилых комнатах, уже достаточно для подавления синтеза мелатонина. У практически здоровых субъектов максимальная чувствительность к свету находится в диапазоне очень коротких волн (420, 440 и 470 нм) [11–14].

Фоточувствительность, оцениваемая по подавлению уровня мелатонина, частично зависит от предыдущего воздействия света на субъект. Она увеличивается после пребывания в темноте или при тусклом освещении, что свидетельствует об адаптации фоторецепции или ответа на воздействие предыдущей световой экспозиции.

В [15] было показано, что при освещённости 800 лк пользование защитными очками, блокирующими наиболее активную коротковолновую часть спектра (короче чем 530 нм), предотвращает обусловленное светом подавление ночного пика содержания мелатонина в слюне. При этом у индивидуумов ночной профиль уровня мелатонина сохраняется на показателях, которые у них имеют место при тусклом освещении, не нарушается субъективная сонливость, тревожность и способность к действиям. Яркий свет ночью вызывает фазовый сдвиг и переключение циркадианной фазы. Даже при много меньшей освещённости, например, при 180 лк (обычное освещение в жилом помещении) может наблюдаться фазовый сдвиг. Более того, показано, что очень тусклое освещение (20 лк) может синхронизировать циркадианную систему у людей, нормализуя сон, пробуждение и время приёма пищи. Циркадианный фазовый сдвиг, вызываемый коротковолновым светом (с двумя пиками – 436 и 456 нм) в течение 4-часового воздействия (8 лк, 29 мкВт/см<sup>2</sup>) после обычного пробуждения приводило к фазовому сдвигу профиля мелатонина, сравнимому с экспозицией белым светом (12000 лк, 4300 мкВт/см<sup>2</sup>), несмотря на то, что белый свет содержит много больше фотонов, чем коротковолновой свет [15].

Кроме информации о включении и выключении дневного фотопериода, мелатонин даёт информацию о длине дня. Длительность синтеза и секреции мелатонина у животных и челове-

ка варьируется в зависимости от длительности тёмного периода суток. Чем он дольше в лабораторных условиях или чем длиннее ночь на природе, тем дольше происходят синтез и секреция мелатонина, вне зависимости от того, является ли этот период временем активности ночных грызунов или время отдыха животных, активных днём, включая человека [6, 14]. У обычных лабораторных животных невозможно увеличить дневной уровень мелатонина, помещая их в тёмную комнату, однако имеются убедительные доказательства снижения ночного уровня мелатонина после воздействия коротких вспышек света в ночное время. Большинство млекопитающих используют изменения продолжительности дня и ночи для определения сезонных изменений, таким образом регулируя сезонные и/или синхронизируя околгодовые поведенческие ритмы. Сезонные различия в репродукции прямо контролируются относительной длиной светлых и тёмных периодов [6, 7].

В современных городских электрифицированных условиях наблюдается маскировка сезонных изменений длительности светового дня и ночи и, соответственно, длительности секреции мелатонина у человека. В ряде исследований констатировано отсутствие сезонных изменений в секреции мелатонина в низких и средних широтах. Напротив, сезонные изменения, связанные с более длительной секрецией мелатонина в зимний период, наблюдали в субполярных и полярных высоких широтах с выраженными изменениями в фотопериоде и освещённости и высоким уровнем мелатонина в дневное время [7].

Свет является наиболее мощным циркадианным синхронизатором у человека и может оказывать большое влияние на фазу и амплитуду циркадианного ритмоводителя человека. Достаточно интенсивное освещение в ночное время практически полностью подавляет ночной пик синтеза и секреции мелатонина. В табл. 1 представлены данные о степени подавления уровня мелатонина в крови людей под воздействием имеющего разную интенсивность света ЛН и люминесцентных ламп дневного света. Люминесцентные лампы сильнее снижают концентрацию мелатонина. В жилых помещениях уровень освещённости редко превышает 200 лк. В табл. 2 представлены данные о дей-

ствующих в России нормах освещённости в различных помещениях. Нетрудно видеть, что воздействие света такой интенсивности ночью может существенно подавить уровень мелатонина в крови.

Исследования подавления синтеза мелатонина светом позволили рассчитать пороговую освещённость, достаточную для его снижения на 15 %, которая при освещении белым светом и 30-минутной экспозиции составляет около 30 лк на уровне роговицы. Важно отметить, что в жилых помещениях, когда дополнительные источники света включаются со специальной целью, например, при чтении, шитье на швейной машинке или умывании, освещённость на уровне роговицы может достигать 150–200 лк.

В литературе отмечают индивидуальную вариабельность чувствительности к свету в ночные часы [2], более глубокое подавление мелатонина более ярким светом, способность света сдвигать фазу мелатонинового ритма, причём яркий свет утром сдвигает её вперёд, тогда как вечером его воздействие замедляет начало ночного пика содержания мелатонина. Ценным биомаркером нарушений циркадиантных ритмов может быть количественное измерение зависимости от времени уровня экскреции мелатонина с мочой [2].

В свою очередь, мелатонин, в зависимости от стадии циркадианного ритма, может синхронизировать его и сдвигать на более раннее или позднее время. Низкие дозы мелатонина (0,3–10 мг), принятые во время «биологического дня», когда уровень эндогенного мелатонина низок, могут вызвать сонливость либо сон и снижение температуры тела [6]. Однократный приём 5 мг быстрорастворимого мелатонина в светлое время суток может сдвинуть вперёд внутренние часы на 1,5 ч. Своевременное назначение мелатонина (0,5–5 мг) с 24-часовыми интервалами, желательно перед сном, может полностью подстроить свободно-бегущий циркадианный ритм у большинства слепых пациентов. Действуя как циркадианный синхронизатор между центральными и периферическими часами, мелатонин оптимизирует фазы в отношении внешнего времени, обеспечивая оптимизацию клеточных и системных процессов и усиливая действие защитных систем, что существенно расширяет

спектр его возможного терапевтического применения.

Следует отметить, что влияние света на синтез мелатонина может зависеть от времени года и индивидуальной чувствительности к свету. У людей зимой свет подавляет уровень мелатонина в слюне в 2 раза сильнее, чем летом [17]. Интересно наблюдение, что у рабочих в арктическом регионе, работавших на улице в декабре, ночной уровень секреции мелатонина был в 2 раза выше, чем в апреле [18]. Авторы полагают, что рассеянного света, отражаемого снегом в апреле, достаточно для того, чтобы снизить уровень мелатонина.

### 3. Географическая широта и здоровье

Известно, что показатели здоровья и продолжительности жизни в разных географических регионах могут значительно различаться. И.А. Гундаров и Н.Л. Зильберт выдвинули гипотезу о наличии связи между показателями здоровья населения и такой важной характеристикой, как положение региона относительно экватора [19]. Для его определения в качестве показателя использовали географическую широту. Анализ статистических данных за 1986–1987 гг. показал, что величина смертности в союзных республиках СССР почти линейно возрастала по мере продвижения с юга на север с коэффициентом корреляции 0,82 ( $p < 0,01$ ). Ещё более сильной была связь географической широты с заболеваемостью злокачественными новообразованиями. По данным Всемирной организации здравоохранения, уровень общей смертности в 72 странах Европы и Америки в 1980–1985 гг. нарастал по мере удаления от экватора с коэффициентом корреляции 0,65 ( $p < 0,01$ ). Величина стандартизованной смертности от злокачественных новообразований среди мужчин 45 стран Европы и Америки в 1981–1985 гг. различалась в 8,7 раза: от 38,1 в Гондурасе до 330,0 в Венгрии. Связь с географической широтой проявлялась с коэффициентом корреляции 0,70 ( $p < 0,01$ ). Также положительная корреляция с широтой наблюдалась в отношении артериальной гипертонии, атеросклероза и распространённости гиперхолестеринемии [19].

Учитывая, что в полярных регионах имеет место длительная полярная

ночь, Эррен и Пекарски [20] высказали предположение, что коренное население арктического региона должно иметь пониженную частоту рака по сравнению с жителями умеренных широт. Действительно, у представителей народности саами, живущих на севере Европы, частота рака снижена [21]. Вместе с тем, смертность от рака молочной железы (РМЖ) среди аборигенов Аляски (эскимосов, индейцев и алеутов) утроилась с 1969 г., как пишут авторы, по неизвестной причине [22]. В 2008 г. *Circumpolar Inuit Cancer Review Working Group* опубликовала результаты исследования рака у полярных инуитов (собираемый термин, заменивший термин «эскимосы»), проживающих на территории Аляски, Канады и Гренландии, за период с 1989 по 2003 гг. в сравнении с периодом 1969–1988 гг., то есть, в целом, за 35 лет [23]. Было отмечено существенное увеличение заболеваемости РМЖ, раком тела матки, лёгкого и толстой кишки, что связывают с изменениями в образе жизни аборигенов, его так называемой «вестернизацией». За период 1974–2003 гг. среди женщин-аборигенов Аляски частота РМЖ выросла на 105 %, тогда как у белых женщин США – на 31 %. Частота рака тела матки за эти же годы увеличилась среди коренных женщин Аляски на 500 %, тогда как среди белых американок она снизилась на 30 %. Анализ показал, что значительное увеличение частоты РМЖ и эндометрия у аборигенов Аляски лучше всего можно объяснить изменениями в окружающей среде. Авторы отметили, что у женщин на Аляске за 30 лет существенно выросла заболеваемость ожирением и сахарным диабетом и связывают это повышение с изменением в характере питания. Однако наряду с «вестернизацией» питания, на Аляске существенно увеличился уровень светового загрязнения, связанного с удвоением за этот же период численности населения и индустриализацией, что, на наш взгляд, может играть ведущую роль в наблюдаемом феномене. По данным МАИР за 1985 и 1992 гг., заболеваемость РМЖ, раком тела матки, яичников и ободочной кишки у женщин была больше в странах, расположенных ближе к полюсам (северному и южному), и меньше в экваториальных странах [3, 24–26].

Безусловно, следует учитывать, что выявленные различия (или их отсутствие) не всегда связаны со световым режимом и, соответственно, с географической широтой. Как известно, этиология у вышеперечисленных злокачественных опухолей мультифакторная. Как отмечено выше, в возникновении новообразований женской репродуктивной системы большое значение имеют особенности репродуктивного статуса, избыток жиров и углеводов в диете и т.д. Поэтому, помимо особенностей светового режима, необходимо учитывать климатические условия, связанные с географической широтой, степень индустриализации и особенности образа жизни. В целом, нельзя утверждать однозначно, что световой режим или географическое расположение являются основополагающими факторами в развитии злокачественных новообразований, но и не учитывать данное положение также не следует [27, 28].

### 4. Сменная работа: терминология и распространённость

Под сменной работой понимают метод организации работы в смену, при котором рабочие последовательно сменяются на одном рабочем месте в соответствии с определённым графиком. Кроме этих определений, в научной литературе термин «сменная работа» широко используется и, обычно, включает любые схемы организации работ, отличающиеся от работы в стандартные дневные часы (с 7–8 ч утра до 5–6 ч дня).

По данным Международного агентства по изучению рака (МАИР) [29], различают несколько типов сменной работы:

- постоянная работа – работники регулярно сдвигаются только на один период, например, утро, день или ночь, или имеет место ротация – работники меняют смену работы более или менее периодически;
- непрерывная работа – все дни недели заняты работой или она осуществляется с перерывами на выходные дни или на воскресенье;
- работа по ночам – рабочие часы включают всю или часть ночи, и число рабочих ночей в неделю/месяц/год может существенно варьировать. Период ночной работы в разных странах может быть различным: с 8, 9 или 10 ч.

вечера до 5, 6 или 7 ч. утра, или с 11 или 12 ч. вечера до 5–6 ч. утра.

Схемы организации сменной работы также могут существенно различаться [29], что может различным образом сказываться на здоровье работников, приводя к нарушениям циркадианного ритма, важных физиологических функций, включая бессонницу.

В современном индустриальном, так называемом «24-часовом», «круглосуточном» обществе сменная и ночная работа становятся всё более и более распространёнными. Сменной работы требуют многие технологические процессы (например, электростанции, нефтеперегонные заводы, металлургическое производство), социальные службы (больницы, транспорт, полиция и службы безопасности, пожарные, гостиницы, телекоммуникации), некоторые производства и службы (например, производство текстиля, бумаги, продовольствия, химические производства). По данным Международной организации труда, более чем 2,5 млн человек официально имеют сменную работу, из них 2/3 – в Азии. В Европейских странах более 17 % работающих работают посменно.

## 5. Сменная работа и здоровье

Частым следствием нарушений синхронизации внутренних циркадианых часов с внешними ритмами окружающей среды является развитие различных заболеваний. Как показано многочисленными исследованиями, у сменных рабочих чаще развиваются злокачественные новообразования, сахарный диабет, язвенная болезнь, гипертония и сердечно-сосудистые заболевания, психогенные расстройства и множество других заболеваний [4, 5, 30–34].

Сердечно-сосудистая система у всех млекопитающих является высокоорганизованной системой по отношению ко времени. Эпидемиологическими исследованиями хорошо документировано, что многие патологические процессы в сердечно-сосудистой системе, такие как инфаркт миокарда, инсульт, аритмии чаще всего случаются в ранние утренние часы суток и в это время также чаще заканчиваются летальным исходом [35].

В обзоре, охватывающем 17 исследований связи сменной работы с заболеваниями сердечно-сосудистой системы, подсчитано, что работающие

в смену имеют на 40 % увеличенный риск сердечно-сосудистых заболеваний по сравнению с лицами, имеющими дневную работу [32]. Имеет значение и длительность сменной работы: имевшие её более 6 лет болели чаще.

Примерно 20 % всех работающих прекращают работать посменно вскоре после начала такой работы из-за серьёзных проблем со здоровьем, 10 % не имеют никаких проблем, связанных со сменной работой в течение всей своей трудовой деятельности, тогда как 70 % сталкиваются с теми или иными проблемами разной степени выраженности, проявляющимися дискомфортом, неприятностями в повседневной жизни или заболеваниями [29]. Некоторые индивидуальные привычки и особенности могут модифицировать влияние сменной работы на здоровье. Например, полагают, что среди работающих посменно больше курящих, они чаще потребляют напитки с кофеином или алкоголь ночью, больше потребляют сладкого и углеводов. У них чаще встречаются метаболические расстройства, увеличен риск сердечно-сосудистых заболеваний и ожирения [29].

При дальних трансмеридианных перелётах циркадианые системы не подстраиваются немедленно к новому местному времени. Для этого требуется несколько дней, в зависимости от числа пересечённых временных (часовых) зон, причём чем больше пересечено зон, тем больше времени нужно для нормализации. Считается, что циркадианые системы человека подстраивают не более чем на 60–90 мин в день [29].

Восстановление идёт быстрее при перелётах в западном направлении (около 1 дня за 1 ч смещения), чем при перелётах на восток (около 1,5 дней за смещение на 1 часовую временную зону). Для полного восстановления после перемещения через 6 часовых зон требуется от 10 до 13 дней, в зависимости от направления перелёта (на запад или восток, соответственно) [29]. Кроме того, члены экипажей самолётов подвергаются воздействию других дополнительных факторов, таких как космическое излучение, электромагнитные поля, освещение, шум, ускорение, вибрация, психологический стресс, малоподвижность, повышенное атмосферное давление [36].

У моряков дальнего плавания часто имеет место вахтовая (сменная) рабо-

та в течение всего перехода, причём они также перемещаются через часовые зоны, хотя не так быстро, как экипажи самолётов. У моряков торгового флота часто применяется 4-часовая вахтовая смена, хотя всё популярней становится 6-часовая вахта. У рабочих нефтяных месторождений вахтовый характер труда включает обычно 12-часовую рабочую смену в течение нескольких недель с последующим отдыхом дома. Сходные проблемы наблюдаются у водителей грузовиков, так называемых «дальнобойщиков», машинистов железнодорожных локомотивов и проводников пассажирских поездов на дальних рейсах.

В Японии исследовали частоту возникновения сахарного диабета у 2860 «белых воротничков», «синих воротничков», имевших фиксированную дневную работу, и «синих воротничков» на сменной работе. Относительный риск диабета у сменных рабочих был в 1,33–1,73 раза выше по сравнению с «дневными синими воротничками» и в 2,01 раза выше по сравнению со служащими («белыми воротничками») [37]. У сменных «синих воротничков» индексы массы тела и холестерина были значительно выше, чем у дневных рабочих [38].

В [39] было показано, что сменная работа способствует увеличению заболеваемости органов желудочно-кишечного тракта у рабочих автомобильного завода. Нарушения сна, отмечаемые у сменных рабочих, играют важную роль в более частом развитии у них пептидных язв желудка и 12-перстной кишки [40]. Имеются данные о существенном увеличении риска развития язвы 12-перстной кишки у сменных рабочих, инфицированных *Helicobacter pylori* [41].

Точные механизмы, которыми сменная работа вызывает сердечно-сосудистые заболевания, ещё не полностью понятны, хотя полагают, что основную роль играют нарушения циркадианых ритмов и сопутствующие факторы, такие как курение, нерегулярное питание, социальные проблемы, вызывающие стресс, которые обычны у сменных рабочих [29, 42].

Десинхронизация циркадианых часов, которая может быть вызвана сменной работой, приводит к гипертонии, дислипидемии, невосприимчивости к инсулину и ожирению [29]. Уровень общего холестерина и липопротеинов низкой плотности в сыворотке

крови у сменных рабочих был значительно выше по сравнению с контрольным вариантом, т.е. с работающими днём, что позволило сделать вывод о том, что сменная работа является фактором риска для работников.

Толерантность к глюкозе имеет дневные колебания, и наблюдаемая вариабельность обусловлена вариабельностью уровня кортизола в течение суток. Толерантность к глюкозе снижается в дневные часы у нормальных индивидуумов, поэтому потребление пищи в ночные часы приводит к увеличению частоты ожирения и избытку веса, что часто наблюдается у сменных работников [29]. Абдоминальное ожирение, гипертриглицеридемия ( $> 1,7$  ммоль/л), низкий уровень липопротеинов высокой плотности ( $< 1,03$  ммоль/л у мужчин и  $< 1,29$  ммоль/л у женщин) и сниженная толерантность к глюкозе чаще выявлялись у имевших ночную сменную работу, которая вызывала у них предрасположенность к развитию метаболического синдрома [43].

## 6. Свет ночью и рак

В ряде работ убедительно продемонстрировано увеличение частоты развития спонтанных и индуцируемых химическими канцерогенами злокачественных опухолей у лабораторных животных, содержащихся в условиях постоянного освещения или освещения, свойственного арктическому региону [3–5, 26, 28, 44, 45].

С помощью спутников был исследован и оценён уровень светового загрязнения в ночные часы в 147 коммунальных образованиях Израиля, после чего методом множественного регрессионного анализа была рассчитана связь между освещённостью ночью и частотой РМЖ и рака лёгкого у женщин. После учёта поправок на этнический состав, число родов, плотность населения и уровень доходов, была установлена высокая степень корреляции между интенсивностью ночного освещения и частотой РМЖ ( $p < 0,05$ ), причём эта ассоциация усиливалась ( $p < 0,01$ ), когда при выполнении регрессионного анализа учитывались только статистически значимые факторы. С другой стороны, не было выявлено ассоциации между интенсивностью ночного освещения и частотой рака лёгкого [46]. При этом было отмечено, что 73 % максималь-

ных оценок частоты РМЖ были в тех коммунальных образованиях, где была максимальная освещённость ночью.

При использовании такого же подхода была изучена связь между уровнем ночной освещённости и частотой трёх наиболее распространённых злокачественных новообразований (предстательной железы, лёгкого, толстой кишки) у мужчин в 164 странах мира. Была обнаружена высокая позитивная ассоциация между световой экспозицией населения ночью и частотой рака предстательной железы, но не рака лёгкого или толстой кишки [47]. Авторы объясняют наличие выявленной связи между раком простаты и ночной освещённостью подавлением уровня мелатонина и нарушением функции часовых генов. Риск рака простаты в странах с наивысшей ночной освещённостью был на 110 % выше, чем такой же риск в странах с наиболее низким уровнем световой загрязнённости.

В последующем эти же авторы сопоставили частоту пяти наиболее распространённых новообразований у женщин в 164 странах с уровнем ночной освещённости в них и обнаружили высокую положительную корреляцию между освещённостью и частотой РМЖ [48]. Не было обнаружено такой корреляции между ночной освещённостью и раком толстой кишки, гортани, печени и лёгкого. Риск РМЖ в странах с наивысшей ночной освещённостью был на 30–50 % выше, чем в странах с наименьшей освещённостью.

В нескольких когортных исследованиях было показано, что у женщин, которые часто включают в спальне свет ночью, увеличен риск РМЖ [29, 49, 50].

При проведённом в Израиле анализе влияния интенсивности ночного освещения в спальне было установлено, что этот фактор весьма существенен и увеличивает риск РМЖ у женщин, имеющих привычку спать при включённом свете ( $OR = 1,22$ ,  $p < 0,001$ ) [48].

Сравнивая собственные данные с результатами, полученными в [49], авторы работы [48] отмечают, что за 15 лет, прошедших со времени этого исследования (1992–95), световое загрязнение увеличилось, и женщины в настоящее время подвергаются воздействию света большей интенсивности, поскольку чаще исполь-

зуются энергосберегающие лампы, излучающие в синей части спектра (460 нм). Подчёркивается, что это первое широкомасштабное рандомизированное исследование, установившее достоверную положительную корреляцию между освещением в спальне (привычкой спать при свете), светом в ночные часы (световым загрязнением) и РМЖ и представившее доказательства, что относительный риск РМЖ увеличивается пропорционально интенсивности ночного освещения в спальне. Таким образом, не только сменная работа в ночные часы, но и привычка спать при свете является фактором риска РМЖ [4, 5, 29].

Согласно данным Международного агентства по изучению рака, в 2000 г. РМЖ составил большую часть заболеваний раком в развитых странах. Наиболее распространённым злокачественным новообразованием среди женщин – РМЖ – ежегодно заболевают около 1 млн женщин (22 % от всех злокачественных новообразований у женщин) и умирают 375000 человек. Более половины всех новых случаев зарегистрировано в экономически развитых странах: около 335000 в Европе и 195000 в Северной Америке [51]. РМЖ ещё не является самым распространённым среди женщин в развивающихся странах, однако и в них наблюдается неуклонный рост заболеваемости. Возрастающий риск развития РМЖ обусловлен высоким социально-экономическим статусом (годовой доход, образование, жильё и т.д.), поскольку он связан с такими показателями здоровья, как начало менструальной функции и менопаузы, ожирение, высокий рост, потребление алкоголя, поздний возраст первых родов, малое количество родов, гормонозаместительная терапия, особенности питания и т.д. Следует отметить ещё два фактора, характерных для развитых стран, которые могут иметь важное значение: увеличивающееся воздействие ночного освещения [29] и низкочастотных электромагнитных полей (50–60 Гц) [52].

Сообщают о гораздо большем количестве смертей от злокачественных новообразований у сменных рабочих, которые работали на производстве не менее 10 лет, по сравнению с рабочими, занятыми только в дневные смены. В Дании в большом контролируемом рандомизированном исследовании

Степень подавления ночного уровня мелатонина при освещении лампами накаливания (ЛН) или люминесцентными лампами дневного света (ЛЛ) [16]

Освещённость, лк	Подавление концентрации мелатонина после включения света, %					
	Через 30 мин		Через 60 мин		Через 90 мин	
	ЛН	ЛЛ	ЛН	ЛЛ	ЛН	ЛЛ
0,1	0	0	0	0	0	0
0,3	0	0	0	0	0	1
1	0	1	1	1	1	1
3	1	2	2	3	2	4
10	3	6	5	9	5	10
30	8	14	11	19	13	20
100	19	29	25	36	27	39
300	35	47	42	53	45	55
1000	54	62	59	65	60	66
3000	65	69	68	71	69	71

(около 7000 обследуемых в каждой группе) было показано, что занятие вечерней работой достоверно увеличивает риск развития РМЖ у женщин в возрасте от 30 до 54 лет. Среди работающих ночью наиболее достоверные результаты были обнаружены у официанток ресторанов, работающих в ночные смены (300 случаев). Подобные наблюдения были сделаны при обследовании стюардесс в большом когортном исследовании риска РМЖ в Финляндии. У калифорнийских стюардесс РМЖ встречался на 30 % чаще и злокачественная меланома обнаруживалась в 2 раза чаще, по сравнению с прочим населением Калифорнии [29].

В проведённом в США эпидемиологическом рандомизированном исследовании у 813 больных РМЖ женщин изучали особенности образа жизни за последние 10 лет по сравнению со здоровыми женщинами. При этом учитывали световую экспозицию в ночное время, основываясь на следующих показателях: ночная бессонница, уровень освещения в спальне ночью и работа в ночные смены (не менее 3-х ночей в месяц). Оказалось, что риск рака возрастает с учащением ночной бессонницы, увеличением уровня ночного освещения и при работе в ночную смену. В последнем

случае риск также возрастал с увеличением стажа работы [49].

По данным [53], основанным на исследовании состояния здоровья медсестёр, включавшем в себя вопросы о стаже, сменной работе, дневных, ночных и вечерних сменах, среди медсестёр, имеющих стаж более 30 лет и сменную работу, относительный риск РМЖ составлял 1,36 по сравнению с медсестрами, которые не работали посменно. У медсестёр, длительно работающих в ночные смены, был найден сниженный уровень мелатонина и повышенный уровень эстрогенов в крови. Проведённый мета-анализ, основанный на 13 исследованиях, включающих семь исследований работников авиалиний и шесть исследований представителей других профессий, работающих в ночные смены, показал, что общая оценка риска равнялась 1,48. Существенный риск развития РМЖ имели лётный состав авиалиний и женщины, работающие в ночные смены.

В исследовании, объектом которого были данные о здоровье почти 45 тысяч медицинских сестёр в Норвегии, было установлено, что показатель дополнительного риска РМЖ у работавших по ночам в течение 30 и более лет составил 2,21. Увеличенный риск РМЖ и рака толстой кишки был обна-

ружен у длительно работавших по ночам жителей Сиэттла [29].

Были получены данные об увеличенном риске рака толстой кишки и рака прямой кишки у женщин, работающих на радио и телеграфе. Авторы [53], рассмотрев гарвардские данные по изучению состояния здоровья 79 тыс. медсестёр, обнаружили, что медсестры, работающие в ночные смены, имеют более высокий риск РМЖ. Авторы также нашли, что рак толстой и рак прямой кишки встречаются чаще у рабочих, имеющих не менее 3 ночных смен в месяц в течение 15 и более лет. Механизмы, лежащие в основе увеличенного риска рака среди ночных рабочих и лётных экипажей, возможно, схожи. Вероятно, нарушение циркадианных ритмов и вынужденная подверженность воздействию света в ночное время приводят к уменьшению выработки мелатонина, являющегося известным биологическим блокатором развития злокачественных новообразований.

## 7. Влияние мелатонина на развитие опухолей у животных и человека

В опытах с использованием различных канцерогенов и схем эксперимента было обнаружено, что применение

**Некоторые российские нормативные показатели освещения в общественных, жилых и вспомогательных зданиях  
(СП52.13330.2016)**

Тип помещения	Освещённость на рабочих поверхностях при общем освещении, лк
Административные здания	
Компьютерные залы	200–400
Кабинеты и рабочие комнаты, офисы	300
Конференц-залы, залы заседаний	200
Рекреации, Кулуары, фойе	150
Лаборатории	400
Учреждения общего образования, начального, среднего и высшего	
Классные комнаты, аудитории, учебные кабинеты общеобразовательных школ	500
Спортивные залы	200
Аудитории, учебные комнаты, лаборатории техникумов и вузов	400
Кабинеты и комнаты преподавателей	300
Рекреации	200
Медицинские учреждения	
Палаты для взрослых	100
Процедурные, манипуляционные	500
Операционные	500
Кабинеты массажа и лечебной физкультуры	200
Магазины	
Торговые залы супермаркетов	500
Торговые залы магазинов без самообслуживания	300

мелатонина оказывает угнетающее влияние на развитие опухолей у животных. Спектр антиканцерогенного эффекта мелатонина довольно широк – он тормозит канцерогенез кожи, подкожной клетчатки, молочной железы, шейки матки и влагалища, эндометрия, лёгких, печени и толстой кишки [27, 28, 55, 56]. Экспериментальным данным соответствуют результаты клинических наблюдений. Так, в работе канадских исследователей представлены результаты мета-анализа 10 рандомизированных контролируемых исследований эффективности применения мелатонина для лечения онкологических больных с солидными формами опухолей [58]. В общей сложности лечение получили 643 пациента.

Применение мелатонина снижало относительный риск смерти в течение 1 года до 0,66, причём не было зарегистрировано никаких побочных эффектов препарата.

В последнее время возможные механизмы ингибирующего воздействия мелатонина на канцерогенез интенсивно обсуждаются [54]. Установлено, что мелатонин оказывает эффект как на системном, так и на тканевом, клеточном и субклеточном уровнях. При этом, действие мелатонина препятствует процессам, ведущим к старению и раку. В частности, на системном уровне мелатонин снижает синтез гормонов, способствующих этим процессам, и стимулирует систему иммунного надзора. Одновременно

подавляется образование свободных радикалов кислорода и стимулируется система антиоксидантной защиты. Мелатонин тормозит пролиферативную активность клеток и повышает уровень апоптоза, препятствуя возникновению и развитию опухолевого процесса. На генетическом уровне он ингибирует эффект мутагенов, а также подавляет экспрессию онкогенов [55, 57].

### **8. Влияние мелатонина на продолжительность жизни**

В многочисленных исследованиях показана способность мелатонина замедлять процессы старения и увеличивать продолжительность жизни

лабораторных животных (дрозофил, плоских червей, мышей, крыс) [26, 57]. Определенный оптимизм вызывают публикации о способности мелатонина повышать устойчивость к окислительному стрессу и ослаблять проявления некоторых ассоциированных с возрастом заболеваний, таких как макулодистрофия сетчатки, болезнь Паркинсона, болезнь Альцгеймера, сахарный диабет и др [55, 58]. Необходимы всесторонние клинические испытания мелатонина при различных заболеваниях, которые, как нам представляется, существенно расширят его применение для лечения и профилактики возрастных десинхронозов.

## 9. Заключение

Данные, представленные в новом атласе искусственного ночного освещения неба, свидетельствуют о том, что 80 % мировой и 99 % американской и европейской популяций живут в условиях светового загрязнения [59]. 23 % земной поверхности между 75° с.ш. и 60° ю.ш., 88 % Европы и почти половина территории США подвержены световому загрязнению. Воздействие света в ночное время увеличилось и стало существенной частью современного образа жизни, сопровождаясь множеством серьезных расстройств поведения и состояния здоровья, включая преждевременное старение, сердечно-сосудистые заболевания, ожирение, сахарный диабет и рак [14, 28, 29, 45, 60]. Полученные в экспериментах на животных существенные доказательства канцерогенности светового десинхроноза, вызываемого постоянным освещением или естественным освещением Севера, послужили основанием для признания Международным агентством по изучению рака нарушений циркадианных ритмов как фактора, увеличивающего риск рака у человека [29, 33]. В опытах с использованием различных канцерогенов и схем эксперимента было обнаружено, что применение мелатонина оказывает угнетающее влияние на развитие опухолей многих локализаций. Получены также убедительные экспериментальные доказательства того, что применение мелатонина препятствует преждевременному старению репродуктивной системы и организма в целом, предупреждает развитие иммунодепрессии, метаболического синдрома и опухолей различ-

ных локализаций, вызываемых световым загрязнением. Широкое внедрение светодиодных источников света ставит задачу разработки рекомендаций по оптимизации светового режима рабочих и жилых помещений, освещения городов и прочих населенных пунктов, что обеспечит длительное сохранение трудоспособности, высокое качество жизни, и в конечном счете будет способствовать профилактике преждевременного старения и развития заболеваний, включая злокачественные новообразования.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Panchenko, A.V., Gubareva, E.A., Anisimov, V.N. Circadian system and aging in rodent models. In: Circadian Rhythms and Their Impact on Aging. Health Ageing and Longevity 7. S.M. Jazwinski, V.P. Belancio, S.M. Hill, Eds. Springer International Publishing AG,– 2017, –pp. 103–128. DOI: 10.1007/978–3–319–64543–8\_5
2. Touitou, Y, Reinberg, A, Touitou, D. Association between light at night, melatonin secretion, sleep deprivation, and the internal clock: Health impacts and mechanisms of circadian disruption. Life Sci.– 2017.– 173. – P. 94–106. doi: 10.1016/j.lfs.2017.02.008
3. Anisimov, V.N. Light pollution, reproductive function and cancer risk // Neuro Endocrinol. Lett.– 2006. – Vol. 27. – P. 35–52.
4. Анисимов В.Н., Виноградова И.А., Букалев А.В. и др. Световой десинхроноз и риск злокачественных новообразований у человека: состояние проблемы // Вопр. онкол.– 2013. – Т. 59. № 3. – С. 302–313.
5. Анисимов В.Н., Виноградова И.А., Букалев А.В. и др. Световой десинхроноз и риск злокачественных новообразований у лабораторных животных: состояние проблемы // Вопр. онкол.– 2014. – Т. 60. № 2. – С. 15–27.
6. Arendt, J. Melatonin and the Mammalian Pineal Gland. London: Chapman & Hall.– 1995.– 331 p.
7. Arendt, J. Biological rhythms during residence in polar regions//Chronobiol. Internat.– 2012. – Vol.29, (4): – P. 319–394.
8. Брейнард Дж.К., Бернекер К.А. Влияние света на физиологию и поведение человека // Светотехника.– 1996.– № 1–2. – С. 10–13.
9. Комаров Ф.И., Ранопорт С.И., Малиновская Н.К., Анисимов В.Н. Мелатонин в норме и патологии. – М.: ИД Медпрактика-М,– 2004.– 308 с.
10. Брейнард Г.К., Провенцио И. Восприятие света как стимула незрительных

реакций человека // Светотехника.– 2008.– № 1. – С. 6–13.

11. Revel, F.G., Herwig, A., Garidou, M.-L. et al. The circadian clock stops ticking during deep hibernation in the European hamster // Proc. Natl. Acad. Sci. USA.– 2007. – Vol. 104. – P. 13826–13820.

12. Брэйнард Д.К., Ханифин Д.П. Использование энергии света: от фотонов к здоровью человека // Светотехника.– 2014.– № 4. – С. 18–22.

13. Kyba, C.C.M., Kuester, T., Sanchez de Miguel, A. et al. Artificially lit surface of Earth at night increasing in radiance and extent // Sci. Adv.,– 2017; 3: e17017258

14. Russart, K.L.G., Nelson, R.J. Light at night as an environmental endocrine disruptor// Physiol. Behav. 2018. – Vol. 190. – P. 82–89. doi: 10.1016/j.physbeh.2017.08.029

15. Gaston, K.J., Davies, T.W., Nedelec, S.L., Holt, L.A. Impact of artificial light at night on biological timings// Ann. Rev.Ecol. Eviol.Syst.– 2017. – Vol. 48. – P. 49–68.

16. Rea, M.S., Figueiro, M.G., Bullough, J.D., Bierman, A. A model of phototransduction by the human circadian system. // Brain Res. Rev.– 2005. – Vol. 50. – P. 213–228.

17. Higuchi, S., Motohashi, Y., Ishibashi, K., Maeda, T. Less exposure to daily ambient light in winter increases sensitivity of melatonin to light suppression // Chronobiol. Int.– 2007. – Vol. 24. – P. 31–43.

18. Leppaluoto, J., Sikkila, K., Meyer-Rochow, V.B., Hassi, J. Spring snow lowers human melatonin // Int. J. Circumpolar Health.– 2004. – Vol. 63. Suppl.2. – P. 161–163.

19. Гундаров И.А., Зильберт Н.Л. Изучение региональных различий в заболеваемости и смертности населения с позиций синдрома географической широты // Вестник АМН СССР.– 1991.– № 11. – С. 52–56.

20. Erren, T.C., Piekarski, C. Does winter darkness in the Arctic protect against cancer? // Med. Hypothesis.– 1999. – Vol. 53. – P. 1–5.

21. Hassler, S., Soininen, L., Sjolander, P., Pukkala, E. Cancer among the Sami – A review on the Norwegian, Swedish and Finnish Sami populations // Int. J. Circumpolar Health.– 2008. – Vol. 67. – P. 421–432.

22. Kelly, J.J., Lanier, A.P., Alberts, S., Wiggins, C.L. Differences in cancer incidence among Indians in Alaska and New Mexico and U.S. Whites, 1993–2002 // Cancer Epidemiol. Biomarkers Prev.– 2006. – Vol.15. – P. 1515–1519.

23. Circumpolar Inuit Cancer Review Working Group. Cancer among the circumpolar Inuit, 1988–2003. II. Patterns and trends // Int. J. Circumpolar Health.– 2008. – Vol. 67. – P. 408–420.

24. Bartsch, C., Bartsch, H., Peschke, E. Light, melatonin and cancer: current results and future perspectives // *Biol. Rhythm Res.*– 2009. – Vol.40. – P. 17–35.

25. Борисенков М.Ф., Анисимов В.Н. Риск рака у женщин: возможная связь с географической широтой и некоторыми экономическими и социальными факторами // *Вопр. онкол.*– 2011. – Т. 57. № 3. – С. 343–354.

26. Виноградова И.А., Анисимов В.Н. Световой режим Севера и возрастная патология. – Петрозаводск: Петро-Пресс,– 2012.– 128 с.

27. Anisimov, V.N., Popovich, I.G., Zabezhinski, M.A. et al. Melatonin as antioxidant, geroprotector and anticarcinogen // *Biochim. Biophys. Acta.*– 2006. – Vol. 1757. – P. 573–589.

28. Anisimov, V.N., Vinogradova, I.A., Panchenko, A.V. et al. Light-at-night-induced circadian disruption, cancer, and aging // *Current Aging Science.*– 2012, – Vol. 5. No.3. – P. 170–177.

29. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol.98. Painting, Firefighting, and Shiftwork. Lyon: IARC.– 2010.– 804 p.

30. Taylor, P.J., Pocock, S.J. Mortality of shift and day workers 1956–68 // *Brit. J. Industr. Med.*– 1972. – Vol. 29. – P. 201–207.

31. Stevens, R.G., Wilson, B.W., Anderson, L.E. Melatonin Hypothesis. Breast Cancer and Use of Electric Power». Columbus: Battele Press.– 1997.– 760 p.

32. Knutsson, A. Health disorders of shift workers // *Occupat. Med.*– 2003. – Vol. 53. – P. 103–108.

33. Straif, K., Baan, R., Grosse, Y. et al. Carcinogenicity of shift-work, painting, and fire-fighting // *Lancet Oncol.*– 2007. – Vol.8. – P. 1065–1066.

34. Gibson, E.M., Williams, W.P., Kriegsfeld, L.J. Aging in the circadian system: Considerations for health, disease prevention and longevity // *Exp. Gerontol.*– 2009. – Vol. 44. – P. 51–56.

35. Mosendane, T., Mosendane, T., Raal, F.J. Shift work and its effect on the cardiovascular system // *Cradiovasc. J. Afr.*– 2008 – Vol. 19. – P. 710–715.

36. Wegmann, H.M., Esser, P., Klein, K.E. Significance of circadian rhythms for aviation and space operations // *J. UOEH.*– 1985. – Vol. 7. Suppl. – P. 131–140.

37. Morikawa, Y., Nakagawa, H., Miura, K. et al. Shift work and the risk of diabetes mellitus among Japanese mae factory workers // *Scand. J. Work Environ. Health.*– 2005. – Vol. 31. – P. 179–183.

38. Morikawa, Y., Nakagawa, H., Miura, K. et al. Effect of shift work on body mass index

and metabolic parameters // *Scand. J. Work Environ. Health.*– 2007. – Vol. 33. – P. 45–50.

39. Caruso, C.C., Lusk, S.L., Gillespie, B.W. Relationship of work schedules to gastrointestinal diagnoses, symptoms, and medication use in auto factory workers // *Am.J. Ind. Med.*– 2004. – Vol. 46. – P. 586–598.

40. Segawa, K., Nakazawa, S., Tsukamoto, Y., Kurita, Y., Goto, H., Fuku, A., Takano, K. Peptide ulcer prevalent among shift workers // *Dig. Dis. Sci.*– 1987. – Vol. 32. – P. 449–453.

41. Pietroiusti, A., Forlini, A., Margini, A., Galante, A., Coppeta, L., Gemma, G., Romeo, E., Bergamaschi, A. Shift work increases the frequency of duodenal ulcer in H. pylory infected workers // *Occup. Environ. Med.*– 2006. – Vol. 63. – P. 773–775.

42. Knutsson, A., Boggild, H. Shiftwork, risk factors and cardiovascular disease: review of disease mechanisms // *Rev. Environ. Health.*– 2000. – Vol. 15. – P. 359–372.

43. Sookoian, S., Gemma, C., Fernandez Gianotti T., Burgueno, A., Alvarez, A., Gonzalez, C.D., Pirola, C.J. Effects of rotating shift work on biomarkers of metabolic syndrome and inflammation // *J. Intern. Med.*– 2007. – Vol. 261. – P. 285–292.

44. Vinogradova, I.A., Anisimov, V.N., Bukalev, A.V. et al. Circadian disruption induced by light-at-night accelerates aging and promotes tumorigenesis in rats // *Aging (Albany, NY).*– 2009. – Vol. 1. – P. 855–865.

45. Haim, A., Portnov, B.A. Light Pollution as a New Risk Factor for human Breast and Prostate Cancer, Dordrecht: Springer Sciences,– 2013.– 168 p.

46. Kloog, I., Haim, A., Stevens, R.G., Portnov, B.A. Light at night co-distributes with nident breast ut not lung cancer in the female population of Israel // *Chronobiol. Int.*– 2008. – Vol. 25. – P. 65–81.

47. Kloog, I., Haim, A., Stevens, R.G., Portnov, B.A. Global co-distribution of light at night (LAN) and cancers of prostate, colon, and lung in men // *Chronobiol. Int.*– 2009. – Vol. 26. – P. 108–125.

48. Kloog, I., Stevens, R.G., Haim, A., Portnov, B.A. Nighttime light level co-distributes with breast cancer incidence worldwide // *Cancer Cases Control.*– 2010. – Vol. 21. – P. 2059–2968.

49. Davis, S., Kaune, W.T., Mirick, D.K. et al. Residential magnetic fields, light-at-night, and nocturnal urinary 6-sulfatoxymelatonin concentration in women // *Am.J. Epidemiol.*– 2001. – Vol. 154. – P. 591–600.

50. Kloog, I., Portnov, B.A., Rennert, H.S., Haim, A. Does the modern urbanized sleeping habitat rose a breast cancer risk? // *Chonobiol. Int.*– 2011. – Vol. 28. – P. 76–80.

51. Parkin, D.M., Bray, F.I., Deseva, S.S. Cancer burden in the year 2000. The global picture. *Eur. J. Cancer.*– 2001. – Vol. 37. – P. S4–S66.

52. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Vol.80. Non-Ionizing Radiation, Part 1: Static and Extremely Low-Frequency (ELF) Electric and Magnetic Fields. -Lyon: IARC,– 2002.– 438 p.

53. Schernhammer E.S., Laden F., Speizer F.E. et al. Night-shifts work and risk of colorectal cancer in the nurses' health study // *J. Natl. Cancer Inst.*– 2003. – Vol. 95. – P. 825–828.

54. Wegrzyn, L.R., Tamimi, R.M., Rosner, B.A. et al. Rotating night-shift work and the risk of breast cancer in the nurses' health studies // *Am.J. Epidemiol.*– 2017. – Vol. 186 (5). – P. 532–540. doi: 10.1093/aje/kwx140

55. Reiter, R.J., Rosales-Corral, S., Tan, D.X, Jou, M.J, Galano, A., Xu, B. Melatonin as a mitochondria-targeted antioxidant: one of evolution's best ideas. *Cell Mol Life Sci.*– 2017. – Vol. 74. № 21. – P. 3863–3881. doi: 10.1007/s00018-017-2609-7.

56. Guidice, A., Crispo, M., Polo, A., Grimaldi, M. et al. The effect of light exposure at night (LAN) on c carcinogenesis via decreased nocturnal melatonin synthesis // *Molecules.*– 2018; – Vol. 23. – P. 1308. doi: 10.3390/molecules2306.1308.

57. Anisimov, V.N. Effect of melatonin on longevity // In: *Modulating Aging and Longevity / Rattan S.I.S., Ed.* – London: Kluwer Acad. Publ.,– 2003, – P. 239–260.

58. Mills E, Wu P, Seely D, Guyatt G. Melatonin in the treatment of cancer: a systematic review of randomized controlled trials and meta-analysis. *J Pineal Res.*– 2005. – Vol. 39. № 4. – P. 360–6.

59. Falchi, F., Cinzano, P., Duriscoe, D. et al. The new world atlas of artificial night sky brightness // *Sci. Adv.*– 2016. – Vol 10 № 6. – P. e1600377, doi: 10.1126/sciadv.1600377.

60. Davies, T.W., Smyth, T. Why artificial light at night should be a focus for global change research in the 21<sup>st</sup> century // *Glob. Change Biol.*– 2018. – Vol. 24. – P. 972–882. <https://doi.org/10.1111/gcb.13927>.



**Анисимов Владимир Николаевич,**  
член-корреспондент РАН, доктор медицинских наук, профессор. Заведующий научным отделом канцерогенеза и онкогеронтологии Национального

медицинского исследовательского центра онкологии им Н.Н. Петрова Минздрава России



# Обследование состояния (общее и инструментальное) исторических светопрозрачных конструкций ГМИИ им. А.С. Пушкина

А.В. СПИРИДОНОВ, Н.П. УМНЯКОВА

Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН, Москва  
E-mail: spiridonov@aprok.org

## Аннотация

Статья посвящена проведённому в 2018 г. общему и инструментальному обследованию исторических светопрозрачных конструкций в ГМИИ им. А.С. Пушкина. Показано, что они не соответствуют современным требованиям ни по сопротивлению теплопередаче, ни по воздухопроницаемости. Выработаны рекомендации по их улучшению. Отмечено, что при сохранении металлических оконных рам (согласно требованиям закона об охране объектов культурного наследия) необходимо провести масштабные компьютерные расчёты по определению оптимальных вариантов реставрации окон.

**Ключевые слова:** реставрация, историческая светопрозрачная конструкция, рама, переплёт, обследование, испытание, сопротивление теплопередаче, воздухопроницаемость, конденсат, рекомендации.

В 1990–2000 гг. многие сокрушались, видя разрушения целых кварталов старинных зданий во многих больших и малых российских городах. Часто «нужные» для нового строительства участки просто выжигались. На их месте появлялось элитное жильё, огромные торгово-развлекательные комплексы, офисные центры, а дух старых городов терялся. Так, например, исчезли очаровательные уютные уголки Замоскворечья в Москве, двух-трёхэтажные здания с изумительными балконами в Казани (когда готовились к её тысячелетию) и многое-многое другое. (Кстати, многие чугунные балконы оказались потом (говорят) на дачах богатых татарстанских чиновников.)

К счастью, ситуация кардинально изменилась – сегодня наблюдается просто бум строительной реставрации. Только в Москве в 2017 г. было

отреставрировано свыше 300 старинных зданий. Внешне они выглядят прекрасно, в соответствии со старинными чертежами и фотографиями, и внутри них приводят в порядок изумительные залы.

К сожалению, очень часто на обновлённых фасадах обнаруживаются «вставные зубы» – пластиковые окна (в основном почему-то белые), которые никоим образом не вписываются в красоту зданий 18–начала 20 веков: ведь не было тогда ещё оконных конструкций из ПВХ-профилей.

Это объясняется тем, что одно из требований к современной реконструкции (помимо восстановления старинного внешнего вида) – повышение энергоэффективности старинных зданий до современных показаний. А со старинными окнами это сделать очень сложно по нескольким причинам:

– современные оконные технологии позволяют обеспечить очень высокие показатели теплотехнической и светотехнической эффективности конструкций, о которых даже в начале 20 века инженеры и архитекторы не могли и мечтать;

– практически утеряны все технологии производства старых окон, поэтому для замены сгнивших и утра-

ченных частей приходится очень часто «изобретать велосипед»;

– полное восстановление исторических светопрозрачных конструкций с доведением их характеристик до современного уровня значительно дороже окон, которые отечественные строители привыкли устанавливать в типовых современных зданиях.

Именно поэтому и появляются во множестве практически во всех городах (почему-то больше всего в Санкт-Петербурге [1]) отреставрированные старинные здания с белыми ПВХ-окнами, чего быть не должно. Кстати, именно в Питере очень часто по ночам воруют старинные окна и двери с витражами (чтоб не было с чем сравнить, наверное).

Найти интересные отечественные публикации по реставрации исторических светопрозрачных конструкций достаточно трудно (и в Интернете на такой запрос вы получаете массу предложений не по реконструкции, а по замене окон). Авторы смогли найти только одну такую статью [2]. В то же самое время наши коллеги за рубежом понимают важность сохранения исторического наследия. В частности, в не очень уж старом Нью-Йорке успешно функционирует *Historical Windows of New York, Inc.*

Вероятно, нужно наладить какой-то контроль за реставрацией светопрозрачных конструкций при проведении комплексных работ по старинным зданиям и изменить ценовой подход к этим работам – качественная реставрация окон не может быть дешёвой.

Авторам довелось поучаствовать в работах по обследованию исторических светопрозрачных конструкций главного здания ГМИИ им. А.С. Пушкина в первой половине 2018 г., и раз-



Рис. 1. Музей изящных искусств имени императора Александра III перед открытием в 1912 г.

Рис. 2. Исторические окна в главном здании ГМИИ им. А.С. Пушкина: а – вид снаружи, б – металлические связи («лестница») между наружным и внутренним переплётами

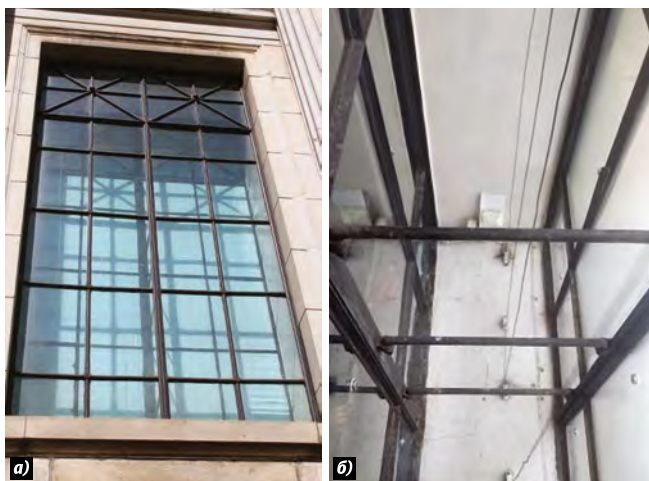


Рис. 3. Выпадение конденсата на внутренней поверхности светопрозрачной ограждающей конструкции

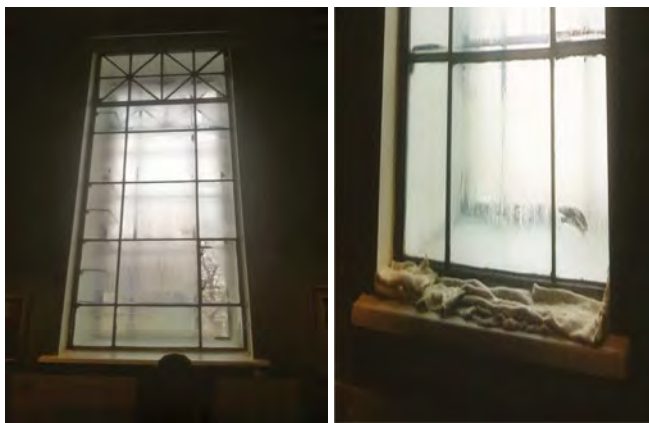


Рис. 4. Коррозионные следы на одном из импостов внутренней рамы (а) и главном (вертикальном) импосте внутренней рамы (б)

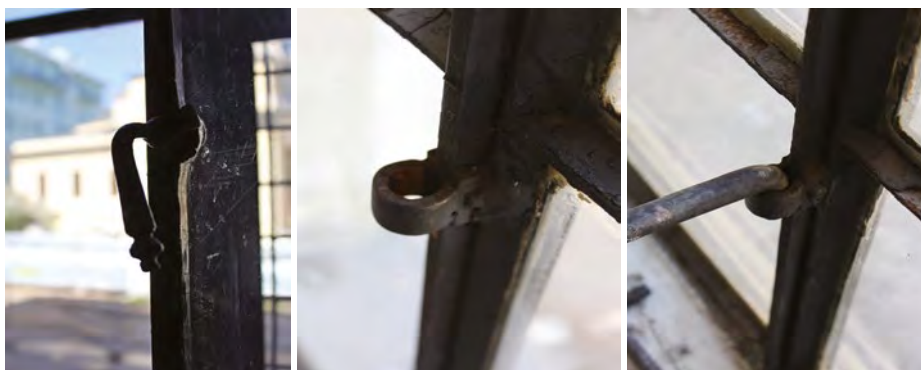
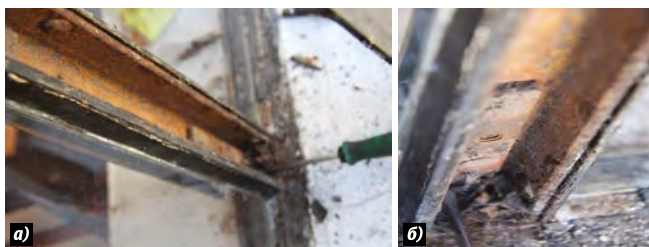


Рис. 5. Элементы исторических светопрозрачных конструкций

работать рекомендации по их совершенствованию.

Работы проводились в рамках реставрационных работ для данного объекта под общим названием «Комплексная реконструкция, реставрация

и приспособление под современные музейные технологии главного здания Государственного музея изобразительных искусств имени А.С. Пушкина (г. Москва, ул. Волхонка, д. 12)» [3].

Музей был построен по инициативе Ивана Владимировича Цветаева архитектором Романом Ивановичем Клейном. Большую часть средств на его строительство пожертвовал русский меценат Юрий Степанович Нечаев-Мальцов.

Музей изящных искусств имени императора Александра III (так он назывался до революции) был открыт в торжественной обстановке 31 мая (13 июня) 1912 г. (рис. 1).

Сегодня, после передачи Музею многих уникальных коллекций (в том числе – знаменитых собирателей, московских купцов-староверов Сергея Ивановича Щукина и Ивана Абрамовича Морозова), он является крупнейшим собранием зарубежного искусства в Российской Федерации.

Главное здание Музея признано памятником культурного наследия федерального значения и подлежит государственной охране.

Многие строительные конструкции не ремонтировались с момента ввода здания в эксплуатацию (то есть больше 100 лет), пришли в относительную негодность и, в основном, не соответствуют требованиям современных строительных нормативных документов.

В связи с тем, что принято решение о создании на ул. Волхонке и прилегающих улицах «Музейного квартала», ГМИИ им. А.С. Пушкина были переданы близлежащие здания, где – как и в главном здании – проводится масштабная реконструкция.

Задачами нашей работы были натурное обследование существующих исторических окон на первом этаже с целью определения возможных причин образования конденсата и разработка рекомендаций по исключению конденсатообразования и комплекса мер по модернизации существующих окон.

В световых проёмах первого этажа главного здания установлены окна со стальными переплётами, изготовленные в начале прошлого века (рис. 2). Они представляют собой разнесённые на 0,5 м наружный и внутренний массивные стальные переплёты с одинарным стеклом толщиной 6 мм. Большинство светопрозрачных конструкций первого этажа, установленных по всему периметру здания, имеют размеры около 1560 (ширина) × 3740 (высота) мм.

Исторические окна, установленные в главном здании ГМИИ им. А.С. Пушкина, как и большинство других строительных конструкций в нём, – объекты культурного наследия, и их замена невозможна по условиям охраны.

Обследования проводились несколько раз в разные периоды года – с февраля по июнь 2018 г. При проведении визуального обследования 26 февраля при температуре наружного воздуха  $t_n = -15\text{ }^\circ\text{C}$ , температуре внутреннего воздуха  $t_b = +20\text{ }^\circ\text{C}$  и относительной влажности внутреннего воздуха 52–63 % практически во всех помещениях на внутренней поверхности всех окон наблюдалось образование обильного конденсата сверху донизу и его стекание на подоконник и даже пол (рис. 3).

Конденсат на внутренних поверхностях светопрозрачных конструкций абсолютно недопустим в помещениях, где экспонируются произведения искусства. Кроме того, влага на окнах и откосах способствует возникновению плесени и грибковых явлений на внутренних откосах окон, что также совсем не полезно для полотен живописи – они тоже могут быть заражены.

В ходе обследования исторических светопрозрачных конструкций было выявлено следующее (рис. 4 и 5):

- конструкции выполнены из «чёрного» металла, многократно перекрашивались, но никогда (судя по их состоянию) не обрабатывались специальными составами для защиты от коррозии;
- наружные и внутренние рамы выполнены из достаточно материалоемких стальных уголков, швеллеров, тавров, двутавров и фигурных профилей;
- на наружных и внутренних рамах установлены обычные прозрачные стекла толщиной 6 мм;
- светопрозрачные конструкции установлены в светопроёмах без теплоизоляционных прокладок;
- основные вертикальные импосты оконных конструкций очень массивны, и внутри них весьма выражены процессы коррозии;
- под декоративными накладками на внутренних рамных конструкциях, которые выполнены с использованием достаточно массивных металлических уголков, выявлены обширные коррозионные повреждения (вероятно, необходима замена внутренних уголков – они практически истлели);

– для обеспечения естественной вентиляции экспозиционных помещений в начале прошлого века в светопрозрачных конструкциях были предусмотрены форточки, которые – помимо исключительно оригинальной

фурнитуры – сегодня (с учётом оборудования в ближайшем будущем системы климатизации помещений) совершенно бесполезны и даже вредны.

По результатам натурных обследований исторических светопрозрачных

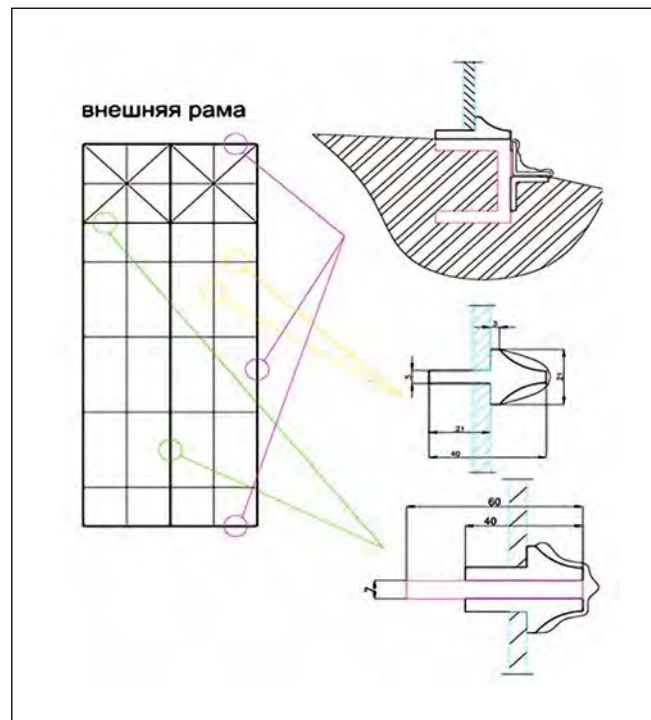


Рис. 6. Размеры деталей внешней рамы исторической светопрозрачной конструкции

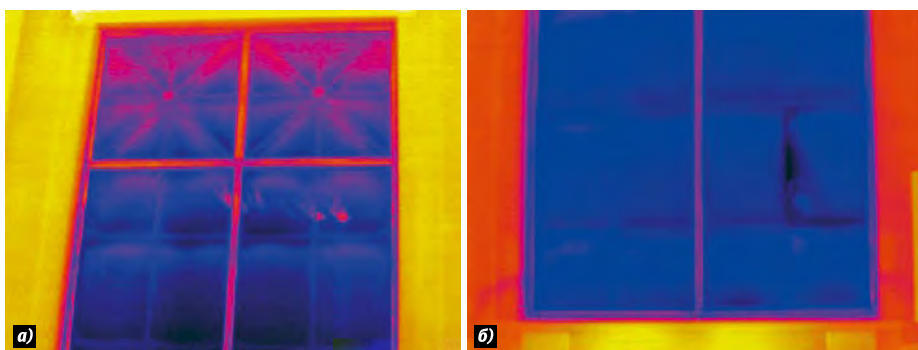


Рис. 7. Термограммы верхней (а) и нижней (б) частей незатенённой исторической светопрозрачной конструкции при  $t_n = -15\text{ }^\circ\text{C}$  и  $t_b = +20\text{ }^\circ\text{C}$

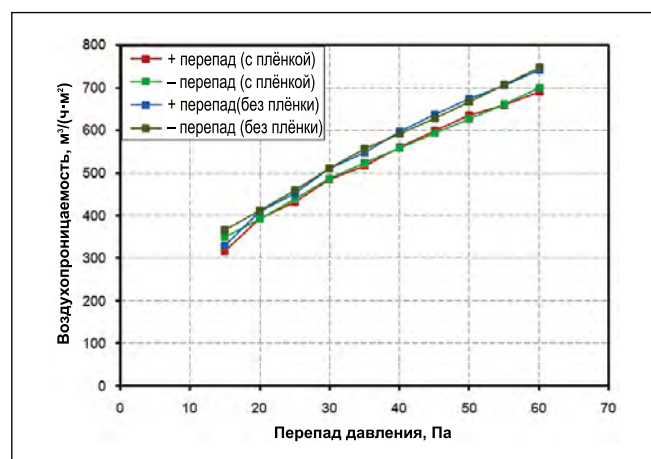


Рис. 8. Значения воздухопроницаемости помещения при положительных и отрицательных  $\Delta p$

**Зависимость температуры в воздушной прослойке светопрозрачной конструкции от высоты**

Таблица 1

Высота, м	Температура, °С
2,9	9,5
1,5	7,0
0,76	4,8

**Воздухопроницаемость светопрозрачной ограждающей конструкции при положительных перепадах давления  $\Delta p$**

Таблица 2

$\Delta p$ , Па	Объёмный расход воздуха, м <sup>3</sup> /ч	Массовый расход воздуха, G <sub>в</sub> , кг/ч	Воздухопроницаемость	
			объёмная, м <sup>3</sup> /(ч·м <sup>2</sup> )	массовая, кг/(ч·м <sup>2</sup> )
15	16	19,1	2,7	3,3
20	18	21,5	3,1	3,7
25	20	23,9	3,4	4,1
30	23	27,5	3,9	4,7
35	33	39,5	5,7	6,8
40	33	39,5	5,7	6,8
45	35	41,9	6,0	7,2
50	40	47,8	6,9	8,2
55	44	52,6	7,5	9,0
60	47	56,2	8,1	9,6

окон были получены их основные общие размеры и размеры деталей конструкций (на рис. 6 показаны элементы внешней рамы).

В итоге многочисленных натурных обследований исторических окон первого этажа главного здания ГМИИ им. А.С. Пушкина стало понятно, что необходимо проведение дополнительных инструментальных исследований и расчётов для разработки обоснованных рекомендаций по реставрации исторических светопрозрачных конструкций<sup>1</sup>.

Проведённые детальные замеры исторических окон (рис. 6) будут необычайно полезны при проведении реставрационных работ.

<sup>1</sup> Они находятся в ужасающем состоянии: ржавчина (практически на всех конструкциях), щели, неработающая фурнитура и пр.

НИИСФ РААСН предложил провести натурное обследование существующей конструкции в одном из помещений ГМИИ им. А.С. Пушкина при отрицательных  $t_n$  (что было осуществлено 26.02.2018 при  $t_n = -15^\circ\text{C}$ ), а оценку многочисленных возможных вариантов реконструкции исторических светопрозрачных конструкций провести с помощью компьютерного моделирования.

С целью определения теплотехнически однородных зон обследуемой светопрозрачной ограждающей конструкции и обнаружения зон инфильтрации было проведено натурное обследование с использованием тепловизионной съёмки, тепловизором серии «ТН-910» фирмы NEC, при учёте соответствующих требований [4, 5]. Некоторые термограммы обследованных конструкций приведены на рис. 7.

Для определения приведённого сопротивления теплопередаче светопрозрачной конструкции  $R_o$  было проведено натурное испытание с использованием измерителей теплового потока и температуры в соответствии с ГОСТ [6]. Измерения проводились в период с 28.03.18 по 02.04.18. Для проведения расчёта был выбран период с установившимся перепадом температуры: 28.03.18 23:00–29.03.18 04:00. В этот период  $t_n$  и  $t_v$  равнялись  $-10$  и  $+19,6^\circ\text{C}$  соответственно. Результат этого испытания:  $R_o = 0,37–0,39 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$ .

Распределение температур в межстекольном пространстве исторической светопрозрачной конструкции приведено в табл. 1.

Испытание исторической светопрозрачной ограждающей конструкции на воздухопроницаемость было проведено в подсобном помещении реставрационной мастерской. Перед испытанием были загерметизированы двери и другие возможные зоны инфильтрации воздуха. В дверной проём был установлен комплекс «Blower Door». Испытание проводилось согласно ГОСТ [7]. При проведении натурального эксперимента были созданы положительные и отрицательные перепады давления  $\Delta p$  до, соответственно,  $\pm 60$  Па. При каждом значении  $\Delta p$  производились замеры расхода воздуха. Затем на основе полученных данных были рассчитаны значения воздухопроницаемости окна при разных  $\Delta p$  (рис. 8 и табл. 2).

В результате проведённых обследований исторических светопрозрачных конструкций стало очевидно, что они не соответствуют современным требованиям ни по сопротивлению теплопередаче, ни по воздухопроницаемости. При сохранении металлических рам (согласно закону об охране объектов культурного наследия) необходимо провести масштабные компьютерные расчёты по определению оптимальных вариантов реставрации окон.

Авторы приносят огромную благодарность сотрудникам НИИСФ (А. Верховскому, С. Потапову, В. Брызгалину и Е. Даличику) и ООО «ГК «РОБИТЕКС» (Н. Румянцеву и И. Истоминой) за помощь в проведении натурных обследований исторических светопрозрачных конструкций ГМИИ им. А.С. Пушкина.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Замена окон в памятниках архитектуры. // URL: <https://www.oknamedia.ru>, 27.01.2017.

2. Шестов А. Окна как важнейший элемент исторического здания. // ARDIS. – 2013. – №2 (54). – С. 62–63

3. «Комплексная реконструкция, реставрация и приспособление под современные музейные технологии главного здания Государственного музея изобразительных искусств имени А.С. Пушкина (г. Москва, ул. Волхонка, д. 12)» [Документация подготовлена ФГУП «Центральные научно-реставрационные проектные мастерские»].

4. ГОСТ Р 54852–2011 «Здания и сооружения. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций».

5. Левин Е.В., Окунев А.Ю., Умнякова Н.П., Шубин И.Л. Основы современной строительной термографии / Под общ. ред. И.Л. Шубина. – М.: НИИСФ РААСН, 2012. – 176 с.

6. ГОСТ 26602.1–99 «Блоки оконные и дверные. Методы определения сопротивления теплопередаче» и ГОСТ Р 54853–2011 «Здания и сооружения. Метод определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций с помощью тепломера».

7. ГОСТ 31167–2009 «Здания и сооружения. Методы определения воздухопроницаемости ограждающих конструкций в натуральных условиях».



**Спиридонов Александр Владимирович** кандидат техн. наук. Окончил в 1975 г. МЭИ по специальности «Светотехника и источники света». Главный научный сотрудник

НИИСФ РААСН. Президент Ассоциации производителей энергоэффективных окон (АПРОК). Лауреат Премии Правительства РФ в области науки и техники



**Умнякова Нина Павловна**, кандидат техн. наук, доцент. Окончила МИСИ. Зам. директора НИИСФ РААСН по научной работе. Область научных интересов: тепловая защита зданий,

энергосбережение, оценка теплозащитных качеств наружных ограждений при наличии отражательной теплоизоляции

## Москва праздничная, освещенная...

В последние годы под каждый новогодний праздник власти Москвы всё больше внимания уделяют созданию праздничной атмосферы в столице. Проводятся фестивали, работают новогодние и рождественские ярмарки, строятся катки, ледяные горки и крепости.

Большую роль в создании праздничного настроения играет новогоднее световое оформление улиц, площадей и исторических зданий. Возможности применения

светодиодов для этих целей значительно подпитали фантазию столичных архитекторов и светодизайнеров, и с каждым годом Москва выглядит всё нарядней, веселее и светлее.

Публикуем несколько фотографий московской новогодней иллюминации 2019 года со столичных площадей, улиц и парков.

Е.С. Серый  
Специальный корреспондент



Отель «Метрополь» в новогодних гирляндах



Светящийся макет Собора Покрова Пресвятой Богородицы на площади Киевского вокзала



Гигантский трон из светодиодов на площади Киевского вокзала

# Проектирование и разработка искусственного окна, работающего от солнечной энергии, с изменяющейся цветовой температурой на основе красного, синего и белого светодиодов<sup>1</sup>

Б. ДАС<sup>1</sup>, А.К. СУР, С. МАЗУМДАР<sup>2</sup>

Джадавпурский университет, Калькутта, Индия

<sup>1</sup> E-mail: basudebdas.1991@gmail.com

<sup>2</sup> E-mail: saswati.mazumdar@gmail.com

## Аннотация

Концепция искусственных окон применяется в дизайне внутреннего освещения на протяжении нескольких последних лет. Такие устройства можно без проблем найти на рынке. Основным недостатком искусственных окон является постоянная коррелированная цветовая температура (КЦТ) выходящего излучения. Разработанное искусственное окно представляет собой динамичную систему, КЦТ излучения которого повторяет изменение КЦТ естественного света. Это очень эффективно для тех, кто находится в помещении без окна или в закрытой комнате. Известно, что свет имеет не только визуальное воздействие на человека, но и фотобиологическое. Динамичный свет очень полезен для хорошего самочувствия, позитивного настроения, повышения концентрации, бодрости и, следовательно, повышения производительности. Разработанная система питается солнечной энергией в дневное время; это окно питается от модуля *SPV* напрямую без использования батареи. Одновременно заряжается небольшая батарея, которая питает систему в ночное время. Окно выполнено с использованием двух типов цветных СД (красного и синего) и тёплого белого СД. Новая концепция динамичного освещения обеспечивает очень широкий диапазон КЦТ от 2300 К до 10800 К.

**Ключевые слова:** искусственное окно, биодинамичное освещение, освещение с меняющейся КЦТ, системы на основе солнечной энергии, динамичное освещение, контроллер динамичного освещения.

## 1. Введение

Окно – очень важная часть любого здания. Оно оказывает психологическое воздействие на людей. Дневной свет может попасть в комнату через окно; это – главная цель окна. Дневной свет – естественный источник света, изменяющийся во времени как по количеству (освещённости), так и по качеству (цвету) [1, 2]. Комната может быть освещена дневным светом, который обладает положительным эффектом для человека [3]. Дневной свет оказывает большое влияние на циркадные ритмы человека [4], влияя на метаболизм и контролируя гормональный баланс [5, 6]. Многие современные городские многоэтажные здания, даже многие деревенские хижины не имеют окон. Люди в таких помещениях всегда находятся под искусственным освещением, и многие из них страдают сезонным аффективным расстройством (САР), вызванным отсутствием дневного света [7, 8].

В таких зданиях и комнатах могут использоваться искусственные окна, служащие для той же цели, создавая иллюзию обычного окна. Искусственные окна, доступные на индийском рынке, имеют постоянную коррелированную цветовую температуру (КЦТ). Такие типы окон не удовлетворяют требованию реального окна; они не дают динамический эффект дневного света. Спроектированное и разработанное искусственное окно создаёт динамический световой эффект в течение дня. Этот динамический свет напоминает дневной свет, т.е. окно следует за заданным характером изменения КЦТ дневного света весь день. В ночное время оно производит постоянную КЦТ (2900 К). КЦТ дневного света может варьироваться от 2000 К при восходе солнца до 5000 К в полдень в условиях ясного неба. Иногда она превышает 10000 К в условиях пасмурной погоды [9, 10]. Используя комбинацию светодиодов тёплого белого (2840 К) и холодного белого (5750 К) [11], невозможно получить КЦТ 10000 К. Было проведено множество экспериментов по получению широкого спектра КЦТ с использованием светодиодов красного, жёлтого, зелёного и синего цвета (RYGB) [9, 12, 13]. Чтобы получить этот широкий диапазон КЦТ в прототипе окна, использовалось сочетание красного, синего и тёплого белого светодиодов с КЦТ 2900 К, и эта комбинация светодиодов давала КЦТ до 10800 К.

Это окно питается непосредственно от солнечного фотоэлектрического СФЭ модуля в дневное время, а в ночное время оно получает питание от батареи, которая одновременно заряжается в дневное время с помощью СФЭ модуля. При меньшем уровне солнечного излучения падает и световой поток искусственного окна. В пасмурную погоду или в вечернее время, когда солнечный свет отсутствует, это окно обеспечивает постоянную КЦТ 2900

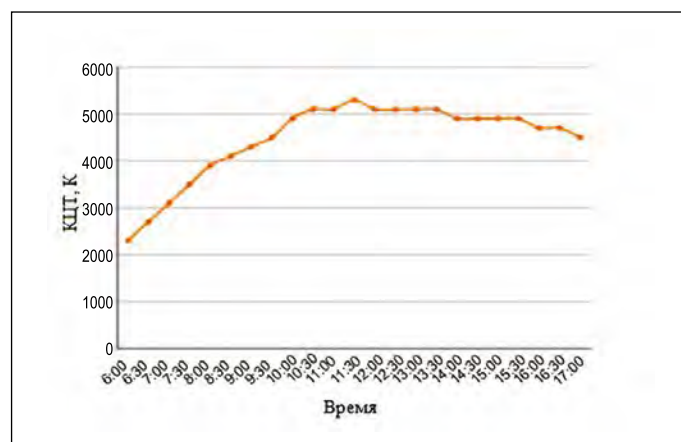


Рис. 1. КЦТ дневного света в марте 2017 года

<sup>1</sup> Перевод с англ. А.Ю. Басова

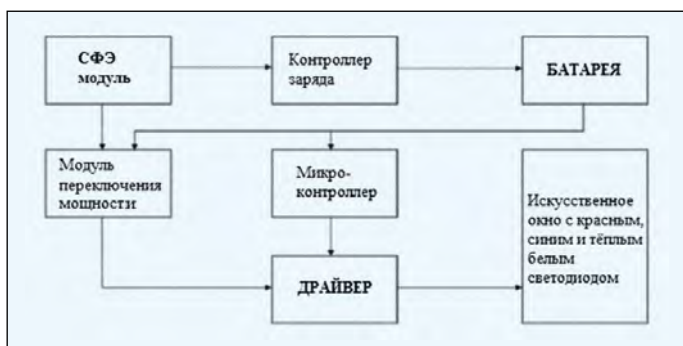


Рис. 2. Блок-схема системы

К. Конструкция искусственного окна описана в следующих разделах.

## 2. Измерения КЦТ дневного света

Поскольку дневной свет является динамичным по качеству и количеству, то есть спектральное распределение и световой поток дневного света меняются во времени [1, 2], КЦТ не может быть стандартизирована для конкретного дня или сезона. Для создания искусственного окна необходимо знать характер изменения дневного света. Измерения КЦТ дневного света были проведены в марте 2017 года на крыше кафедры электротехники Джадавпурского университета (Калькутта, Индия) в условиях чистого небосвода. Эксперимент проводился в течение 15 дней. Для измерений КЦТ дневного света использовался хроматр CL200A (Konica Minolta, Япония). Во время восхода КЦТ составляет около 2300 К, в полдень – около 5400 К и во время заката она падает до 4500 К. После сбора всех данных за 15 дней была создана закономерность, согласно которой изменяется КЦТ искусственного окна, которая представлена на рис. 1.

## 3. Концепция изменяющейся КЦТ на основе светодиодов

В этой системе смешение цветов подчиняется закону Грассмана. Согласно закону Грассмана, цвета смешиваются аддитивно. Если известны три стимула ( $X, Y, Z$ ) двух цветов, то они могут быть сложены для получения значений стимулов результирующего цвета. Обычно цвет задаётся координатой цветности ( $x, y$ ) и его яркостью ( $L$ ), которая пропорциональна значению  $Y$  [14, 16]. Цветность суммарного цвета можно получить по формуле:

$$x = \frac{\sum_1^n \left( x_k \frac{Y_k}{y_k} \right)}{\sum_1^n \frac{Y_k}{y_k}}, y = \frac{\sum_1^n \left( y_k \frac{Y_k}{y_k} \right)}{\sum_1^n \frac{Y_k}{y_k}}. \quad (1)$$

Координаты цветности ( $x, y$ ) этого смешанного цвета будут находиться где-то на прямой линии, соединяющей координаты цветности двух цветов на диаграмме цветности CIE1931. Спектральная плотность  $\bar{y}(\lambda)$  в точности

аналогична относительной спектральной световой эффективности  $V(\lambda)$ . Следовательно, любой фотометрический параметр, такой как световой поток ( $\Phi$ ), яркость ( $L$ ) или освещённость ( $E$ ), пропорционален значению стимула  $Y$  [14]. Поэтому цвет может быть задан координатами цветности ( $x, y$ ) и любым фотометрическим параметром [11]. В этой работе цвет задаётся координатами цветности ( $x, y$ ) и освещённостью ( $E$ ). Уравнение (1) можно переписать в виде

$$x = \frac{\sum_1^n \left( x_k \frac{E_k}{y_k} \right)}{\sum_1^n \frac{E_k}{y_k}}, y = \frac{\sum_1^n \left( y_k \frac{E_k}{y_k} \right)}{\sum_1^n \frac{E_k}{y_k}}. \quad (2)$$

## 4. Разработка схемы контроллера

### 4.1. Блок-схема системы

Блок-схема системы представлена на рис. 2.

В схеме есть три отдельных драйвера для трёх цветов светодиодов. Такой драйвер включает в себя схему отключения напряжения, преобразователь постоянного тока, ограничитель тока и т.д. Контроллер заряда заряжает батарею и состоит из преобразователя постоянного тока, схемы отключения напряжения, ограничителя тока, модуля защиты от перезарядки и модуля защиты от глубокого разряда. Когда солнечное излучение слабое, напряжение СФЭ модуля падает ниже 10 В, вся система отключается от СФЭ модуля с помощью схемы отключения напряжения и окно (при КЦТ 2900 К) питается от батареи мгновенно, что обеспечивается модулем переключения мощности. Модуль защиты от перезарядки защищает батарею от избыточной зарядки, а модуль защиты от глубокого разряда защищает аккумулятор от глубокой разрядки. В этой системе есть микроконтроллер (ATMEGA 32 от ATMEL), который генерирует сигнал ШИМ для трёх разных цветов светодиодов для конкретной КЦТ. Таким образом контролируется КЦТ в течение дня.

### 4.2. Описание драйвера и контроллера заряда

В схеме есть три отдельных драйвера для трёх цветов светодиодов. Дизайн и конструкция трёх драйверов аналогичны. В этом разделе рассматривается один из этих драйверов. Блок-схема драйвера изображена на рис. 3.

Драйвер состоит из преобразователя постоянного тока, ограничителя тока, схемы отключения напряжения и двухтактной коммутационной схемы для диммирования светодиода. Для любого светодиодного драйвера необходимо выполнить настройку постоянного тока и постоянного напряжения. Для настройки постоянного напряжения был сконструирован двухтактный преобразователь постоянного напряжения с использованием интегральной схемы SG3525. Она представляет собой двухпроцессорный импульсный источник питания, работающий на частоте 100 кГц. В схеме ограничителя тока в качестве компаратора используется операционный усилитель LM 358, который сравнивает напряжение то-

кочувствительного резистора с опорным напряжением. Когда напряжение на резисторе превышает опорное напряжение, на интегральную схему SG3525 посылается большой сигнал и выходное напряжение уменьшается, как и ток. Схема отключения напряжения также является компаратором. Операционный усилитель LM 358 используется в качестве компаратора. Он сравнивает входное напряжение с опорным напряжением 10В. Всякий раз, когда входное напряжение падает ниже 10В, LM 358 генерирует большой сигнал. Этот сигнал подаётся на вывод 10 (закрывающий контакт) интегральной схемы SG3525. Пока контакт 10 находится под большим сигналом, схема будет полностью отключена, а выходное напряжение останется нулевым. Когда к этому выводу будет приложен низкий сигнал, схема перейдёт в рабочее состояние. Микроконтроллер (АТМЕГА 32) запрограммирован таким образом, что он выдаёт различные ШИМ сигналы для различных КЦТ. ШИМ сигнал управляет уровнем освещённости красного и синего светодиода. Продолжительность работы и паузы управляющего сигнала зависят от рабочего цикла ШИМ сигнала. Если рабочий цикл ШИМ сигнала дольше, продолжительность работы будет больше, а светодиод будет светиться ярче, освещённость будет выше. Если рабочий цикл короче, продолжительность работы будет меньше, а светодиод будет диммироваться, и освещённость будет ниже. Циклы работы и паузы меняются с большой частотой, так что их невозможно увидеть невооружённым глазом.

Работа схемы контроллера заряда такая же, как и драйвера. Он состоит из двухтактного преобразователя постоянного тока, ограничителя тока и цепи отключения напряжения. Кроме того, для защиты аккумулятора от повреждения предусмотрена схема защиты от перезарядки и схема защиты от глубокого разряда, что увеличивает срок службы батареи.

## 5. Разработанная система

Разработанное окно имеет 24 красных светодиода, 24 синих светодиода и 24 тёплых белых светодиода. Если его покрыть хорошим рассеивателем и повесить на стену, оно напоминает окно с непрозрачным стеклом. Разработанная система представлена на рис. 4.

## 6. Эксперимент смешения цветов для получения изменяющейся КЦТ

Для того чтобы получить изменяющуюся КЦТ путём смешивания цвета, необходимо использовать подходящий источник света с соответствующим цветом. В прошлом было сделано много работ, чтобы получить широкий диапазон КЦТ с использованием двух или более цветных источников. Путём смешивания светодиодов красного-синего-зелёного (RGB) [15] или красного-жёлтого-зелёного-синего (RYGB) светодиодов [9, 12, 13] были получены переменные КЦТ, но алгоритм смешивания сложный, и схема управления является дорогостоящей. Используя смеси холодного белого (6000 К) и тёплого белого (2700 К) светодиодов [11], невозможно создать широкий диапазон КЦТ. В этой разработанной системе два типа светодиодов – красный и синий – были смешаны с тёплым белым светодиодом с КЦТ 2900 К. Тёплый белый свето-

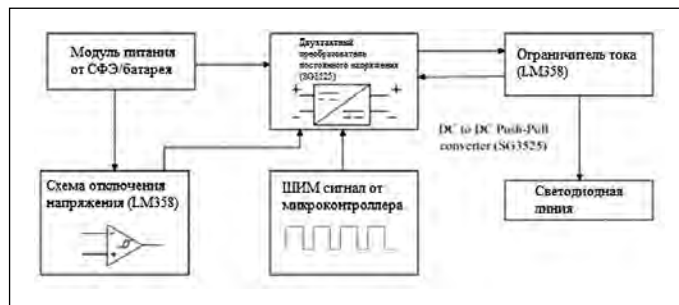


Рис. 3. Блок-схема драйвера

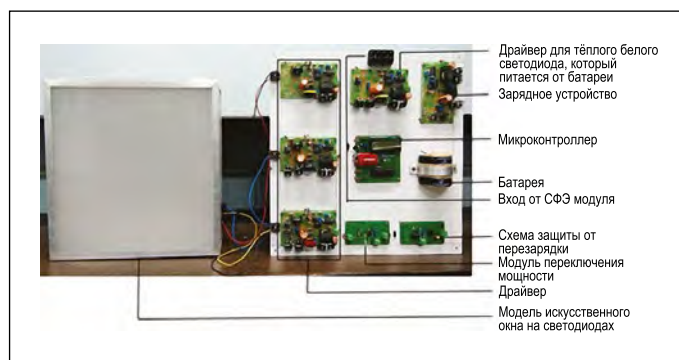


Рис. 4. Разработанная система

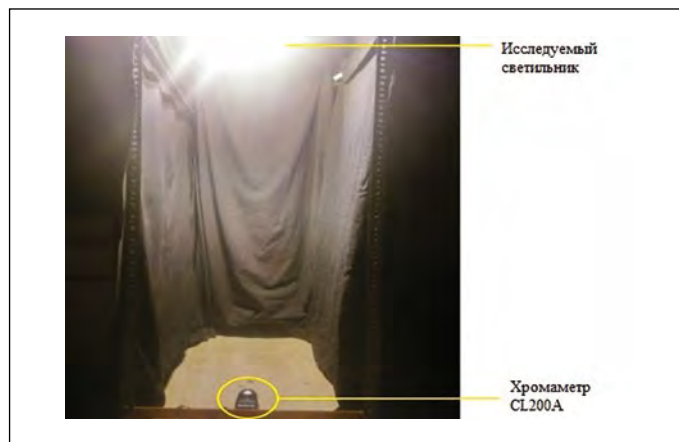


Рис. 5. Установка для экспериментов по смешению цветов

диод берётся за основу. Здесь КЦТ ниже 2900 К достигается за счёт смеси тёплых белых светодиодов и красных светодиодов, а КЦТ выше 2900 К достигается при использовании тёплых белых светодиодов и синих светодиодов. Алгоритм смешивания довольно прост, и был достигнут широкий диапазон КЦТ от 2300 К до 10800 К.

Результирующая КЦТ получается, когда два или более цветов смешиваются путём изменения входных токов светодиодов и, в конечном счёте, изменения освещённости ( $E$ ) отдельных источников света (уравнение 2). Входной ток можно изменить с помощью ШИМ. Если ширина импульса тока возрастает, ток увеличивается, а также увеличивается яркость источника света.

Эксперимент по смешиванию цветов был выполнен в Лаборатории инженерного освещения Электротехнического факультета Джадавпурского университета, Индия. Светильник, используемый в этом эксперименте, состоит из трёх тёплых белых светодиодов, трёх синих светодиодов и трёх красных светодиодов (всего девять



Результаты эксперимента по смешению цветов

Цикл ШИМ (в %)			Освещённость ( $E_v$ )	Координата цветности		КЦТ (К)
Красный СД	Тёплый белый СД	Синий СД		x	y	
10,2	100	0	27	0,4727	0,3834	2300
2,5	100	0	25,8	0,4122	0,3299	2700
0	100	0	25,6	0,3967	0,3170	2900
0	100	1,9	25,6	0,3736	0,2937	3300
0	100	2,8	25,8	0,3606	0,2838	3700
0	100	4,1	26,1	0,3445	0,2750	4500
0	100	4,5	26,3	0,3369	0,2704	4900
0	100	5,3	26,6	0,3272	0,2630	5700
0	100	5,4	26,6	0,3253	0,2606	6000
0	100	5,8	26,8	0,3204	0,2548	6600
0	100	6,2	27	0,3164	0,2500	7200
0	100	6,5	27,1	0,3132	0,2460	7800
0	100	6,8	27,2	0,3105	0,2429	8400
0	100	7,2	27,2	0,3076	0,2394	9200
0	100	7,5	27,2	0,3058	0,2372	9800
0	100	7,7	27,2	0,3047	0,2359	10200
0	100	8,0	27,3	0,3033	0,2342	10800

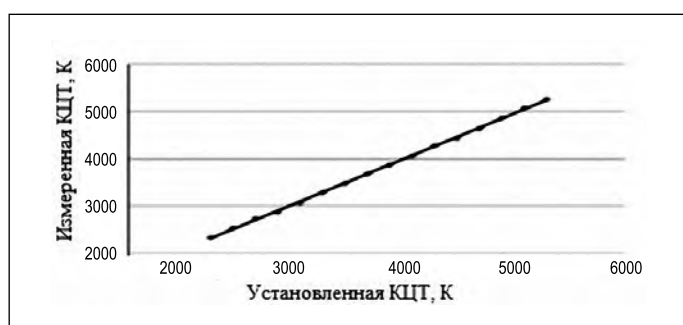


Рис. 6. Зависимость измеренной КЦТ от установленной КЦТ

светодиодов). Использовался светодиод типа P4 в форме купола мощностью 1 Вт. Размер светильника составляет 6 дюйм × 6 дюйм × 3 дюйм. Для каждого цвета светодиода используются три схемы управления, рабочий цикл ШИМ управляется этими схемами. Рабочий цикл тёплых светодиодов сохранялся на уровне 100 %. Для измерения результирующей КЦТ использовался хроматр CL200A. Он размещается вертикально на расстоянии 6 футов от светильника. Экспериментальная установка показана на рис. 5.

В этом эксперименте были приняты изменения рабочего цикла ШИМ для красного и синего светодиодов, данные освещённости в фиксированной точке, координаты цветности ( $x$ ,  $y$ ) и результирующая КЦТ. Результат эксперимента по смешиванию цветов для получения переменной КЦТ приведён в табл. 1.

## 7. Фотометрические и колориметрические параметры системы

Исследуются колориметрические и фотометрические данные искусственного окна. Для динамичного освещения первоначально определяется КЦТ и, соответственно, программируется микроконтроллер. Необходимо наблюдать КЦТ искусственного окна и сравнивать наблюдаемые КЦТ с предустановленными. КЦТ измеряются с помощью хроматра CL200A и надлежащей экспериментальной установки. Горизонтальная и вертикальная освещённость также измеряется на расстоянии 1 м, 2 м, 3 м и 4 м от искусственного окна. Измеренные данные приведены в табл. 2.

Зависимость измеренной КЦТ от установленной КЦТ представлена на рис. 6.

Видно, что КЦТ искусственного окна близки к желаемым КЦТ. На рис. 7 представлено искусственное окно при различных КЦТ.

Графики зависимости горизонтальной освещённости от КЦТ представлены на рис. 8.

Из графика, приведённого на рис. 8, видно, что при КЦТ 2328 К горизонтальная освещённость максимальна, красный цвет смешивается с тёплым белым цветом. При уменьшении доли красного КЦТ увеличивается, а освещённость уменьшается. Когда измеренная КЦТ равна 2867 К, в излучении нет доли от красного и синего светодиодов, присутствует только тёплый белый. В это время освещённость меньше, чем в любых других случаях. Когда КЦТ увеличивается с ростом значения синего, освещённость также увеличивается. Поскольку изменение количества синего очень мало, освещённость увеличивается очень незначительно.

## 8. Заключение

Наша страна Индия расположена близко к экватору, где доступен солнечный свет с высокой интенсивностью и продолжительностью. Для удовлетворения растущего спроса на электроэнергию существенную роль может сыграть солнечная энергия. Солнечная энергия имеет некоторые недостатки: в пасмурные дни она не может произвести необходимую энергию. Разработанная система полностью основана на солнечной энергии. В пасмурную погоду эта система работать не будет.

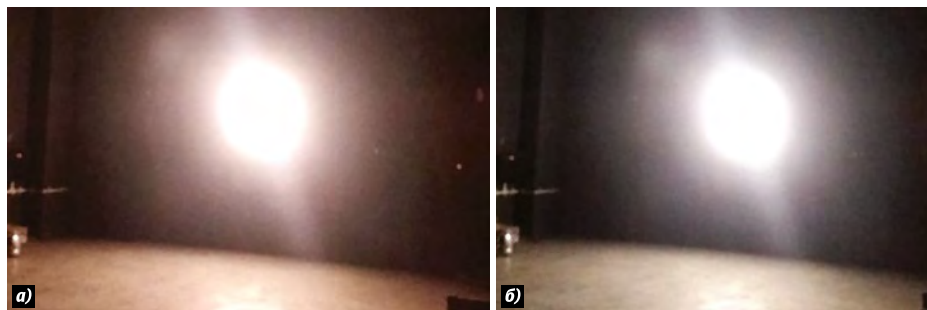


Рис. 7. Модель искусственного окна при КЦТ 2500 К (а) и 5300 К (б)

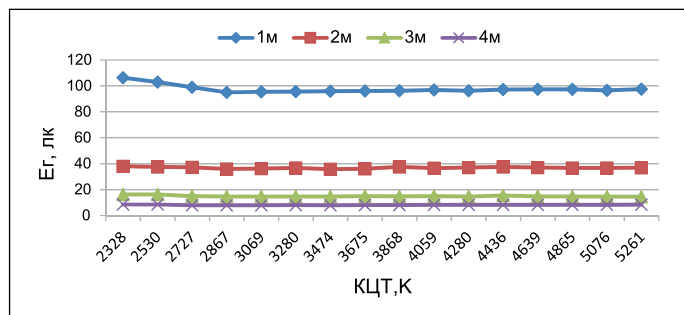


Рис. 8. Горизонтальная освещённость на разных расстояниях в зависимости от КЦТ

Разработанное искусственное динамическое окно следует за изменением КЦТ дневного света при чистом небе. Система будет более реалистичной и практичной, если КЦТ искусственного окна будет меняться согласно имеющейся КЦТ дневного света мгновенно с помощью системы обратной связи. Если КЦТ дневного света меняется, то КЦТ искусственного окна также меняется немедленно.

Таблица 2

Фотометрические и колориметрические данные спроектированного искусственного окна

КЦТ в К		Освещённость в лк							
		1 м		2 м		3 м		4 м	
устан.	измер.	верт.	гор.	верт.	гор.	верт.	гор.	верт.	Гор.
2300	2328	310	106,3	110,4	38	45,6	16,3	27,6	8,5
2500	2530	270	103	106	37,6	45,3	16,2	27,5	8,5
2700	2727	250,2	99	99	37,2	44,2	15	25,9	7,9
2900	2867	225,5	95	97,2	36	43	14,7	25,8	7,9
3100	3069	228,7	95,4	97,3	36,2	43,8	14,7	26,2	8,0
3300	3280	230	95,5	97,7	36,8	44,3	14,7	26,8	8,1
3500	3474	240,6	95,9	97,1	35,8	45,2	14,7	26,3	8,0
3700	3675	255,9	96	97,3	36,1	44,1	15	26,9	8,1
3900	3868	260,2	96,2	99,2	37,5	43,9	14,8	26,9	8,1
4100	4059	262,5	96,9	97,5	36,6	43,6	15	26,9	8,2

КЦТ в К		Освещённость в лк							
		1 м		2 м		3 м		4 м	
4300	4280	255,3	96,2	97,9	37,1	44,1	14,7	26,9	8,2
4500	4436	258,2	97,1	101,2	37,5	45,3	15,5	27	8,2
4700	4639	263,7	97,4	98,2	37	45,4	14,8	27	8,3
4900	4865	265,6	97,4	98	36,8	46	14,6	27,1	8,2
5100	5076	260,3	96,6	98,1	36,7	46,7	14,6	27,3	8,3
5300	5261	267,2	97,5	98,2	36,9	46,6	14,5	27,3	8,4

Таким образом, можно получить полное соответствие по КЦТ и освещённости в закрытой комнате, где солнечный свет недоступен.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *De Kort, Y., Smolders, K.* Effect of dynamic lighting on office workers: first results of a field study with monthly alternating settings // *Lighting Research & Technology*, 2010. – V. 42, No. 3, – pp. 345–360.
2. *Pinho, P., Hytonen, T., Rantanen, M., Eloma, P., Halonen, L.* Dynamic control of supplemental lighting intensity in a green house environment. // *Lighting Research & Technology*, 2013. – V. 45, No. 3, – pp. 295–304.
3. *Gelfand, L., Freed, E.* Sustainable School Architecture: Design for elementary and secondary school. John Wiley and Sons Inc.
4. *Friborg, O., Rosenvinge, J., Wynn, R., Gradisar, M.* Sleep Timing, phonotype, mood, and behavior at arctic latitude (69°N). // *Sleep Medicine*, 2014. – V. 15, – pp. 798–807.
5. *Altomonte, S.* Daylight and the occupant, visual and physiological well-being in built environment. Presented at 26<sup>th</sup> conference on Passive and Low Energy Architecture, Quebec city, Canada. 22–24 June, 2009.
6. *Van, W.J.M.* Non-visual biological effect of lighting and the practical meaning for lighting for work. // *Applied Ergonomics*, 2006. – V. 37, – pp. 461–466.
7. *Bouberki, M.* Daylighting, Architecture and health, NY: Architectural Press, 2008.
8. *Edwards, L., Torcellini P.A., N.R.E.* A literature review of the effects of natural light on building occupants, National Renewable Energy Laboratory, 2002.
9. *Gilman, J.M., Miller, M.E., Grimaila, M.R.* A simplified control system for a daylight-matched LED lamp. // *Lighting Research & Technology*, 2013. – V. 45, No. 5, – pp. 614–629.
10. *Hernandez-Andrés, J., Romero, J., Nieves, J.L.* Color and spectral analysis of daylight in southern Europe. // *J Opt Soc Am A*, 2001. – V. 18, No. 6, – pp. 1325–1335.
11. *Pradip, M.K., Biswanath, R.* Development of dynamic light controller for variable CCT white LED light source. // *Leukos*, 2015. – V. 11, No. 4, – pp. 209–222.
12. *Dikel, E.E., Burns, G.J., Veitch, J.A., Mancini, S., Newsham, G.R.* Preferred chromaticity of color tunable LED lighting. // *Leukos*, 2014. – V. 10, No. 2, – pp. 101–115.
13. *Wang, H.H., Luo, M.R., Liu, P., Yang, Y., Zheng, Z., Liu X.* A study of atmosphere perception of dynamic colored light. // *Lighting Res & Technology*, 2013. – V. 46, No. 2, – pp. 171–186.

14. *Murdoch, J.B.* Illumination engineering – from Edison’s lamp to laser. 1st ed. // Macmillan Publishing Company, New York (NY), 1985. – 541 p.

15. *Dyble, M., Narendran, N., Bierman, A., Klein, T.* Impact of dimming white LEDs: chromaticity shift due to different dimming methods. // *P Soc Photo-Opt Ins.* 5941, 2005. – pp. 291–299.

16. *Malik, R., Mazumdar, S.* Development of CCT tunable Led lighting system using red-blue-white Led. // *Light & Engineering*, 2017. – V. 25, No. 4, – pp. 99–108.



**Басудеб Дас (Basudeb Das)**, получил степень В. Tech. в области электроники и коммуникационной инженерии в Технологическом институте Гуру Нанак (Калькутта, Индия) и степень М.Е. Светотехники в Джадавпурском университете (Калькутта, Индия) в 2017 году. Сфера научных интересов: оптическая связь, динамичное освещение, системы на основе солнечного излучения



**Асум Кумар Сур (Asit Kumar Sur)**, приглашённый помощник (лаборант) для магистерского курса по светотехнике с 2014 года, Джадавпурского университета. Инженер-консультант по проектированию различных электронно-цифровых проектов на протяжении 35 лет в разных компаниях. Сфера научных интересов: электроника, силовая электроника, системы на основе солнечного излучения



**Сасвати Мазумдар (Saswati Mazumdar)**, М.Е., Ph.D. Профессор электротехники, Джадавпурского университета (Калькутта, Индия). Имеет 30-летний опыт работы в области освещения и обучения. Разработала модернизированную лабораторию освещения в отделе электротехники Джадавпурского университета. Основала два магистерских курса по технике освещения (дневное время) и технологии освещения и ди-зайна (вечер) в Джадавпурском университете. Выполнено большое количество научно-исследовательских и консультационных проектов по освещению и смежным областям

# Двухлучевой спектрофотометр для одновременного измерения спектральных характеристик восходящего из моря и падающего в него излучения

М.Е. ЛИ, С.В. ФЁДОРОВ

Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь

## Аннотация

Описывается конструкция и принцип работы спектрофотометра, разработанного на основе компактного светосильного монохроматора с одним входным и двумя выходными портами и фотометрического блока, в котором располагаются каналы яркости восходящего излучения и облучённости поверхности моря. Реализован новый подход к измерениям спектральных характеристик восходящего излучения моря, основанный на совмещении в одном приборе преимуществ двухлучевого фотометра с фотомножителем и фотометра прямого отсчёта с высокостабильным кремниевым фотодиодом для обеспечения его абсолютной калибровки в энергетических единицах.

**Ключевые слова:** морской палубный спектрофотометр, инструментальные измерения, спектральный коэффициент яркости.

## Введение

Основным параметром в мониторинге качества вод из космоса служит спектральный коэффициент яркости водной толщи  $R_{rs}(\lambda)$  (СКЯ), определяемый по спектральной плотности энергетической яркости (СПЭЯ) восходящего излучения на верхней границе атмосферы, измеряемой спектро-радиометрами спутниковых сканеров цвета океана. СКЯ является вторичной оптической характеристикой вод и зависит от особенностей морской воды и облучения морской поверхности [1]:

$$R_{rs}(\lambda) = \frac{L_w(\lambda, 0^+)}{E_d(\lambda, 0^+)}, \quad (1)$$

$$L_{wN}(\lambda) = R_{rs}(\lambda) \cdot F_0(\lambda), \quad (2)$$

где  $L_w(\lambda, 0^+)$  – СПЭЯ восходящего из водной толщи излучения (ВИ);

$E_d(\lambda, 0^+)$  – спектральная плотность облучённости (СПО) на морской поверхности сверху (МП);  $0^+$  – показатель того, что величина измеряется непосредственно над морской поверхностью;  $L_{wN}(\lambda)$  – нормализованная СПЭЯ ВИ;  $F_0(\lambda)$  – СПО от Солнца на верхней границе земной атмосферы (при среднем расстоянии Земли от Солнца).

По значениям СКЯ можно определять как первичные оптические характеристики воды, так и содержание в ней основных оптически активных компонент (пигментов фитопланктона, растворённого органического вещества и минеральной взвеси). Это стало возможным благодаря развитию полу-аналитических и эмпирических алгоритмов, которые устанавливают связь между одной или несколькими биооптическими характеристиками и СКЯ или нормализованной СПЭЯ ВИ. Совершенствование этих алгоритмов, в свою очередь, связано с проведения натурных измерений, требующих использования высокоточных спектрофотометров.

Измерения *in-situ* необходимы и для валидации восстанавливаемых по спутниковым данным значений СПЭЯ ВИ. Процедура согласования последних со значениями, наблюдаемыми в реальных условиях, – важный и обязательный элемент дистанционного зондирования океана из космоса [2, 3], требующий проведения широкомасштабных подспутниковых измерений.

Подспутниковые измерения производятся со стационарных платформ, буйковых станций и судов [4–9]. Измерения со стационарных сооружений способны обеспечивать длинные временные ряды данных в пределах одного места, как правило, в водах с мало меняющимися оптическими свойствами, что важно для компенсационной калибровки спутниковых данных. Судовые измерения, направ-

ленные на проведение кратковременных измерений, охватывающих воды морей и океанов с сильно меняющимися в пространстве оптическими свойствами. Поэтому они крайне важны для разработки биооптических алгоритмов.

Существующие контактные методы основываются на измерениях СПЭЯ ВИ непосредственно над или под морской поверхностью [4–10]. Каждый из них имеет свои преимущества и недостатки. Наиболее характерен для судовых спектрофотометров метод измерения СПЭЯ ВИ непосредственно над поверхностью моря. Измеряемая при этом суммарная СПЭЯ моря  $L_{tot}(\lambda)$  складывается из СПЭЯ ВИ ( $L_w(\lambda, 0^+)$ ) и СПЭЯ отражённого морем излучения небосвода (ОН). Для разделения этих составляющих требуется наличие в приборе двух соответствующих оптических каналов, а также третьего канала – для измерения СПО МП [7–10].

В зарубежной практике для судовых измерений восходящего излучения применяются три идентичных спектрофотометра, одновременно измеряющих суммарную СПЭЯ моря, СПЭЯ ОН и СПО МП [7–9]. Недостатком этого является необходимость абсолютной калибровки каждого оптического канала, выполнение которой с высокой точностью затруднено как в экспедиционных условиях, так и в стационарных метрологических лабораториях вследствие отсутствия соответствующих эталонов спектрального излучения.

В отечественной практике применяются судовые фотометры, в которых измерения суммарной СПЭЯ моря, СПЭЯ ОН и СПО МП осуществляются попеременно (с высокой частотой) одним фотоприёмником (ФЭУ) по разным оптическим каналам [11]. Недостаток этого способа – невысокая точность абсолютных измерений указанных величин в широких диапазонах их значений. Это связано с тем, что, во-первых, сигналы от каналов яркости и облучённости отличаются друг от друга на один-два порядка, и, во-вторых, в зависимости от условий освещённости (облачность, солнечный день) эти сигналы также могут меняться на несколько порядков, и изменения эти могут происходить мгновенно по нескольку раз за время измерений. Таким образом, высокоточное абсолютное измерение с помощью ФЭУ двух сильно зависимых

от условий освещения спектральных величин затруднено из-за необходимости длительно поддерживать постоянство светочувствительности ФЭУ. К тому же, определение абсолютных значений требует отдельной калибровки каждого оптического канала, а, как говорилось выше, невозможность получения большой точности калибровок в экспедиционных условиях снижает точность измерений.

Применение дифференциального фотометра [12], измеряющего СКЯ, позволяет значительно повысить точность измерений, т.к. не требует абсолютной калибровки оптических каналов и обеспечивает оптимальные условия работы ФЭУ. Однако для валидации СПЭЯ ВИ, определяемой по спутниковым данным, и для ряда прикладных задач, помимо СКЯ, важно также знать абсолютные значения СПЭЯ ВИ и СПО МП.

В данной работе предлагается новый подход к измерениям спектральных характеристик восходящего излучения моря, основанный на совмещении в одном устройстве преимуществ двухлучевого дифференциального фотометра с фотоумножителем в качестве приёмника светового излучения [12] и фотометра прямого отсчёта с высокостабильным кремниевым фотодиодом для обеспечения его абсолютной калибровки в энергетических единицах. Описывается конструкция морского палубного многофункционального спектрофотометра (МПМС), в котором реализован предложенный подход, позволяющий измерять как СКЯ, так и абсолютные значения СПО МП, по которым могут восстанавливаться и абсолютные значения СПЭЯ ВИ.

### Конструкция морского палубного многофункционального спектрофотометра

МПМС (рис. 1) содержит фотометрический блок, устанавливаемый на входной щели монохроматора M150, и фотоэлектрический модуль.

Фотометрический блок (рис. 2) имеет два оптических канала – СПЭЯ ВИ и СПО МП. Первый из них выполнен в виде оптической головки 4, составленной из объектива 3 и зеркала 5, отклоняющего пучок излучения на 90°. Объектив 3 имеет фокусное расстояние 180 мм, определяемое выбранной

конструкцией фотометрического блока и изготовлен из кварцевого стекла марки КВ, имеющего высокую прозрачность во всём заданном спектральном диапазоне 350–800 нм. Диаметр объектива, 54 мм, рассчитан с учётом необходимости согласования угла зрения канала яркости моря со светосилой монохроматора. Для удобства монтажа зеркало 5 выполнено в форме эллипса с размерами по осям 52×74,5 мм тоже из кварцевого стекла марки КВ. Оптическая головка 4 способна поворачиваться так, чтобы обеспечивать измерения СПЭЯ ВИ и СПЭЯ ОН между направлениями в надир и в зенит. Для этого оптическая головка крепится на крышке 8 корпуса фотометрического блока с помощью шарнира 6 с герметичной прокладкой 7. Поворотная конструкция оптической головки также позволяет во время измерений выбирать область морской поверхности, свободную от солнечного блика.

Канал СПО МП (рис. 2) состоит из плоского косинусного коллектора 2 и светозащитного экрана 13. При этом без дополнительных мер при больших углах падения излучения (более 60°), вследствие зависимости коэффициента отражения плоской поверхности коллектора от этого угла, происходит нарушение косинусного распределения измеряемого сигнала. Вследствие этого в конструкции косинусного коллектора (рис. 3) были учтены соответствующие рекомендации из работы [13]. Посадочное место для косинусного коллектора представляет собой

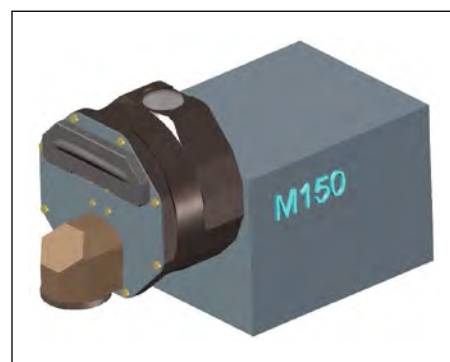


Рис. 1. Внешний вид морского палубного многофункционального спектрофотометра (МПМС)

углубление в корпусе фотометрического блока, формирующее необходимый угол зрения 85° и обеспечивающее возвышение коллектора над корпусом на 2 мм. Сам косинусный коллектор представляет собой диск диаметром 38 мм и толщиной 3 мм из молочного стекла МС-13, склеенный с диском из кварцевого стекла КВ диаметром 40 мм и толщиной 3 мм. С помощью этого диска коллектор герметично закрепляется в корпусе фотометрического блока. Такая конструкция коллектора обеспечивает формирование пространственной характеристики с погрешностью не более 8 % [13].

От каналов СПЭЯ ВИ и СПО МП с помощью вращающегося модулятора 10 в монохроматор поочередно с большой скоростью поступают три пучка: один от канала СПЭЯ ВИ и два других от канала СПО МП (рис. 2). Мо-

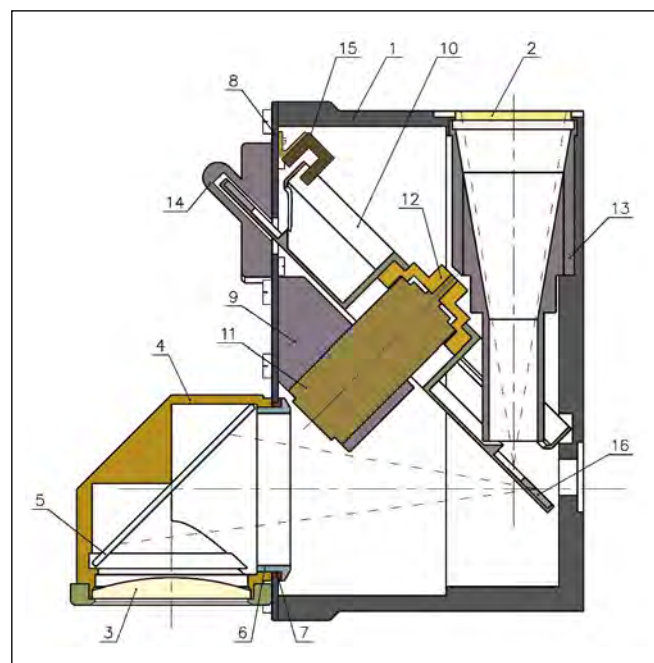


Рис. 2. Общий конструктивный вид фотометрического блока МПМС

Рис. 3. Конструкция плоского косинусного коллектора МПМС

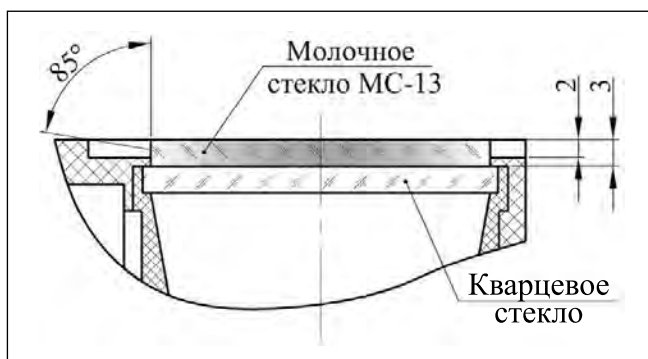
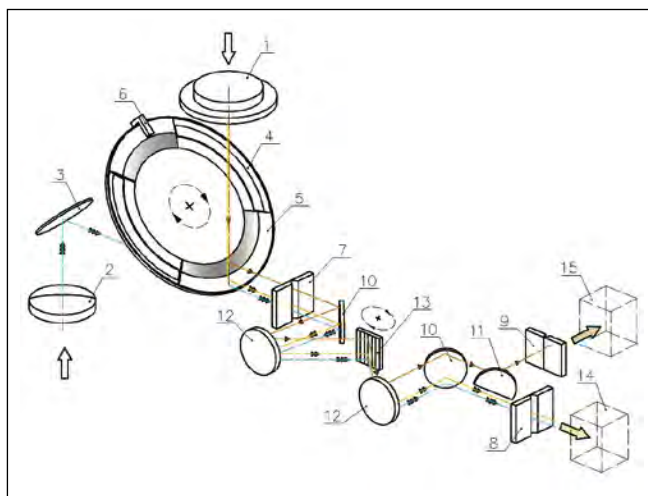


Рис. 4. Оптическая схема МПМС



дулятор 10 представляет собой диск с чередующимися вырезами и секторами из тёмного полированного стекла 16. На полированных секторах нанесена полоска зеркального покрытия. За счёт этого падающее от коллектора облучённости излучение отражается в виде двух пучков, один из которых отражается от полированной поверхности сектора, а другой – от зеркальной его части, вследствие чего интенсивность последнего во много раз больше. Вращение модулятора 10 производится микроэлектродвигателем 11, в качестве которого был выбран коллекторный электродвигатель постоянного тока с полым якорем ДПР-42-Ф1-03, с частотой вращения 4500 об/мин. Важной для морских полевых приборов особенностью этого двигателя является то, что он предназначен для работы в длительном режиме и имеет большой срок службы. С внутренней стороны крышки корпуса 8 закреплена оптронная пара 15, которая вырабатывает синхронные импульсы, соответствующие моменту попадания каждого из потоков на входной порт монохроматора М150. Выступающая за пределы крышки часть модулятора 10 герметично защищена кожухом 14.

Для устранения фоновых засветок корпус 1 фотометрического блока и все пластмассовые детали выполнены из графитонаполненного капролона чёрного цвета, а модулятор 11 и детали 12 – из дюралюминия и почернены гальваническим методом.

Фотометрический блок устанавливается на входной порт универсального компактного монохроматора-спектрографа М150 компании «СОЛАР ЛС» [14]. М150 содержит один входной и два выходных порта. Входная щель автоматизирована, управление шириной раскрытия ножей осуществляется с помощью программного обеспечения прибора. Обе выходные щели снабжены прецизионными устройствами фокусировки щелей, а прецизионная регулировка ширины выходных щелей ведётся вручную с помощью микровинтов.

Как видно из рис. 4, как прямое, так и рассеянное небосводом солнечное излучение попадают на косинусный коллектор 1 канала СПО ПМ. Внутри корпуса фотометрического блока излучение от косинусного коллектора 1 проходит вдоль светозащитного экрана (поз. 13 на рис. 2) и через соответствующую щель модулятора 4 попадает на зеркальный сектор 5. Восхо-

дящее от моря излучение попадает на плосковыпуклую линзу 2 канала яркости. Оптическая головка канала яркости способна вращаться относительно корпуса фотометрического модуля, позволяя направлять её в район морской поверхности, свободной от солнечного блика. Пучок излучения от плосковыпуклой линзы 2 (обозначен голубой линией с тремя стрелками) перенаправляется эллиптическим плоским зеркалом 3 и, проходя соответствующую щель модулятора 4, фокусируется на соответствующей части входной щели монохроматора 7.

Наклонённый под углом 45° модулятор 4 через чередующиеся щели, выполненные в секторе шириной 90°, осуществляет попеременное направление пучков излучения от указанных оптических каналов на входную щель монохроматора 7. Оптронная пара (поз. 15 на рис. 2) вырабатывает синхронные импульсы, соответствующие моменту попадания каждого из пучков. Напротив щели модулятора, через которую проходит пучок от канала СПО ПМ, расположен зеркальный сектор 5 (из тёмного стекла), разделённый на две части: верхнюю – с передним зеркальным покрытием и коэффициентом отражения 98 % – и нижнюю – без покрытия и с коэффициентом отражения около 5 %. Пучок излучения от канала СПО ПМ после отражения от зеркального сектора разделяется на два пучка: верхний, более интенсивный (обозначен оранжевой линией с одной стрелкой), и нижний, более чем на порядок меньшей интенсивности (обозначен жёлтой линией с двумя стрелками), каждый из которых перенаправляется на свою часть входной щели монохроматора 7. Дополнительно, для разделения пучков от канала СПО ПМ на верхний и нижний, перед входной щелью монохроматора 7 установлена тонкая светоразделительная пластина (не показана).

Нижний пучок от канала СПО ПМ нижней частью зеркального сектора 5 совмещается с оптической осью пучка от канала СПЭЯ (на рис. 4 эти потоки для удобства изложения условно смещены относительно друг друга). Через монохроматор эти пучки поочередно направляются на его выход 8, где попадают в фотоэлектронный блок с ФЭУ 10, реализуя так схему двухлучевого фотометра с одним фотоприёмником. После ФЭУ последовательные сигналы от каналов СПЭЯ

и СПО (нижний пучок излучения) поступают в регистратор и далее в аналоговый блок (не показаны) для измерения СКЯ, определяемого отношением этих сигналов. При измерениях отношения сигналов двух каналов, отпадает необходимость в поддержании постоянства светочувствительности ФЭУ, что необходимо при абсолютных измерениях СПЭЯ и СПО. С помощью обратной связи регистратора с ФЭУ на делитель ФЭУ подаётся медленно меняющееся высокое напряжение, регулирующее светочувствительность ФЭУ пропорционально средней величине сигналов, что обеспечивает этим оптимальные условия работы фотоприёмника в двухлучевом спектрофотометре.

В монохроматоре верхний пучок излучения от канала СПО сканируется по спектру и направляется зеркалом *11* на второй выход монохроматора *9*, где попадает в фотоэлектронный блок с высокостабильным кремниевым фотодиодом *12*, реализуя схему фотометра прямого отсчёта для абсолютных измерений СПО ПМ.

В результате измерений в блоке электроники получают напряжения, соответствующие абсолютным значениям СПО ПМ и СКЯ, по которым на этапе цифровой обработки можно восстанавливать и абсолютные значения СПЭЯ ВИ.

Для абсолютных измерений СПО ПМ используется высокостабильный фотодиод для прецизионных измерений. Сигнал фотодиода усиливается и по линии связи передаётся в компьютер для оцифровки, визуализации и последующей регистрации. Разработка электрической схемы канала СПО ПМ находится на стадии оптимизации с учётом возможности применения необходимых комплектующих различных производителей.

## Заключение

Предложен новый подход к измерениям спектральных характеристик восходящего излучения моря, основанный на совмещении в одном устройстве двухлучевого фотометра с фотоумножителем (в качестве приёмника излучения) и фотометра прямого отсчёта с высокостабильным кремниевым фотодиодом для обеспечения его абсолютной калибровки в энергетических единицах. Этот подход, во-первых, значительно повыша-

ет точность измерений, т.к. не требует абсолютной калибровки оптических каналов, и обеспечивает оптимальные условия работы ФЭУ, и, во-вторых, позволяет одновременно измерять абсолютные значения СПО ПМ и СКЯ, по которым на этапе цифровой обработки могут восстанавливаться и абсолютные значения СПЭЯ ВИ.

МПМС, в котором реализован предложенный подход, может использоваться для измерения спектральных характеристик излучения, восходящего из толщи моря, в полевых экспедиционных исследованиях с борта судна, как на ходу, так и на гидрологических станциях.

Работа выполнена в рамках Госзадания по теме № 0827–2018–0002 «Развитие методов оперативной океанологии на основе междисциплинарных исследований процессов формирования и эволюции морской среды и математического моделирования с привлечением дистанционных и контактных измерений».

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mobley C.D. Estimation of the remote-sensing reflectance from above-surface measurements // *Applied Optics*.– 1999. – Vol. 38, No. 36. – P. 7442–7455.
2. IOCCG Report #13. Mission Requirements for Future Ocean-Colour Sensors. Ed. Ch.R. McClain and G. Meister, 2012.– 106 p.
3. Drinkwater M.R., Rebhan H. Sentinel-3: mission requirements document. EOP-SMO/1151/MD-md.– 2007. – Issue 2, Rev. 0.– 67 p.
4. Zibordi G., Holben B., Slutsker I., Giles D., D'Alimonte D., Melin F., Berthon J.F., Vandemark D., Feng H., Schuster G. et al. Aeronet-OC: A network for the validation of ocean color primary products // *J. Atmospheric and Oceanic Technology*.– 2009. – Vol. 26. – P. 1634–1651.
5. Zibordi G., Melin F., Hooker S.B., D'Alimonte D., Holbert B. An autonomous above-water system for the validation of ocean color radiance data // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*.– 2004. – Vol. 42, No. 2. – P. 401–415.
6. Bailey S.W., Hooker S.B., Antoine D., Franz B.A., Werdell P.J. Sources and assumptions for the vicarious calibration of ocean color satellite observations // *Applied Optics*.– 2008. – Vol. 47, No. 12. – P. 2035–2045.
7. Ruddick K., De Cauwer V., Park Y., Moore G. Seaborne measurements of near infrared water-leaving reflectance – the similarity spectrum for turbid waters // *Limnology and Oceanography*.– 2006. – Vol. 51, No. 2. – P. 1167–1179.

8. Brando V.E., Lovell J.L., King E.A., Boadle D., Scott R., Schroeder T. The Potential of Autonomous Ship-Borne Hyperspectral Radiometers for the Validation of Ocean Color Radiometry Data // *Remote Sensing*.– 2016.– 8, 150.– 18 p. – doi:10.3390/rs8020150.

9. Garaba S.P., Voss D., Wollschlager J., Zielinski O. Modern approaches to shipborne ocean color remote sensing // *Applied Optics*.– 2015. – Vol. 54, No. 12.– 3602–3612.

10. Zibordi G., Ruddick K., Ansko I., Moore G., Kratzer S., Icely J., Reinart A. In situ determination of the remote sensing reflectance: An inter-comparison // *Ocean Science*.– 2012. – No. 8. – P. 567–586.

11. Оптика океана / Под. ред. А.С. Монина. Т. 1: Физическая оптика океана. М.: Наука, 1983. 240 с.

12. Лу М.Е., Мартынов О.В. Измеритель коэффициента яркости для подспутниковых измерений биооптических параметров вод // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа*.– 2000. – С. 163–173.

13. Кузьмин В.Н. Разработка и исследование приборов для измерения параметров и характеристик источников оптического излучения / Дис. ... д-ра техн. наук. – СПб: СПбГУИТМО, 2007.

14. Универсальный компактный монохроматор-спектрограф Модель M150. URL: <https://solarlaser.com/ru/products/monochromators-spectrographs/multi-purpose-compact-monochromator-spectrograph-model-m150/> (дата обращения: 01.11.2017).



**Ли Михаил Ен**

доктор физ.-мат. наук, профессор. Окончил в 1965 г. Ленинградский институт точной механики и оптики. Зав. отделом оптики и биофизики моря ФБГУН «Морской гидрофизический институт РАН».

Область научных интересов: оптическая океанография, дистанционное зондирование океана, рассеяние света в морской воде, экспедиционные биооптические исследования, разработка приборов для гидрооптических исследований



**Фёдоров Сергей Вячеславович**

отдела дистанционных методов исследований ФБГУН «Морской гидрофизический институт РАН». Область научных интересов:

оптическая океанография, дистанционное зондирование океана, разработка приборов для гидрооптических исследований

# Основанные на освещённости и яркости оценки совместной работы световых полок и светоотражающих жалюзи в читальных залах библиотек<sup>1</sup>

М. ЁНЕР<sup>1,3</sup>, Т. КАЗАНАСМАЗ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Пизанский университет, Пиза, Италия

<sup>2</sup> Измирский технический институт, Измир, Турция

<sup>3</sup> E-mail: m.oner@studenti.unipi.it

## Аннотация

Неконтролируемое естественное освещение создаёт проблемы для зрительного восприятия и теплового режима в помещениях, которые могут отрицательно сказываться на комфорте, производительности труда, самочувствии и здоровье людей. Естественное освещение в помещениях библиотек, в которых люди читают, едят и работают на компьютерах, должно быть спроектировано так, чтобы оно полностью удовлетворяло посетителей. Основной целью данного исследования была проверка работы системы из световой полки и светоотражающих жалюзи, призванной улучшить условия зрительной работы в читальном зале библиотеки. Вначале были проведены измерения существующих значений характеристик естественного освещения. Затем в программе *Relux* была сформирована модель для оценки распределений яркости и освещённости. И наконец, была предложена новая система из световой полки и светоотражающих жалюзи, позволяющая устранить выявленные при моделировании недостатки. На основе полученных в результате улучшенных, особенно, около окон, распределений яркости и равномерности освещённости был сделан вывод о весьма удовлетворительной работе новой системы.

**Ключевые слова:** естественное освещение, зрительная работа, освещённость, яркость, световая полка, светоотражающие жалюзи.

## 1. Введение

Библиотеки – это помещения, в которых люди и учатся, и работают, и при их проектировании следует из-

начально учитывать необходимость выполнения зрительных работ. Подобные помещения должны обеспечивать возможность эффективной работы без потери остроты зрения или комфорта, в который входят все связанные с освещением стороны зрительного восприятия [1]. Должны быть обеспечены требуемые уровни освещённости, а связь между светлотой и контрастом следует тщательно контролировать на основе распределений яркости, на которые влияют распределения освещённости и коэффициентов отражения в поле зрения. В хорошо спроектированной зрительной среде глаза будут не только быстро адаптироваться к изменениям яркости, но и меньше уставать.

Хорошее естественное освещение библиотеки способствует продуктивной работе, приводит к увеличению времени пребывания в библиотеке людей и регулирует распределение людей по рабочим местам [2, 3]. Внима-

ние к естественному освещению при проектировании библиотек возросло после осознания важности зрительного комфорта при выполнении различных предусмотренных в библиотеках работ, таких как работа с бумажными носителями, работа на компьютерах, поиск на полках и чтение книг, журналов и цифровых носителей [4, 5]. Количество света, необходимого для достижения разных целей, связывают со светлотой поверхностей в пределах поля зрения [6]. Для обеспечения хорошей видимости следует обеспечить достаточное для выполнения поставленной задачи количество света и ограничение блёскости [7].

Системы перераспределения естественного света позволяют как избежать чрезмерных уровней освещённости, которые приводят к возникновению блёскости и перегреву, так и обеспечить естественное освещение участков, расположенных в глубине помещений [8, 9]. В [10] было проведено исследование работы закреплённых на световых полках подвижных зеркал, которые могли отслеживать солнце в случае выходящего на юг глубокого офиса. По сравнению с исходным вариантом, при использовании этой системы освещённость в дни летнего и зимнего солнцестояния увеличилась, соответственно, на 152 и 12,5 %. В [5] была предложена горизонтальная световая полка с рядом зеркальных плиток, которые можно было поворачивать вокруг двух осей в соответствии с движени-

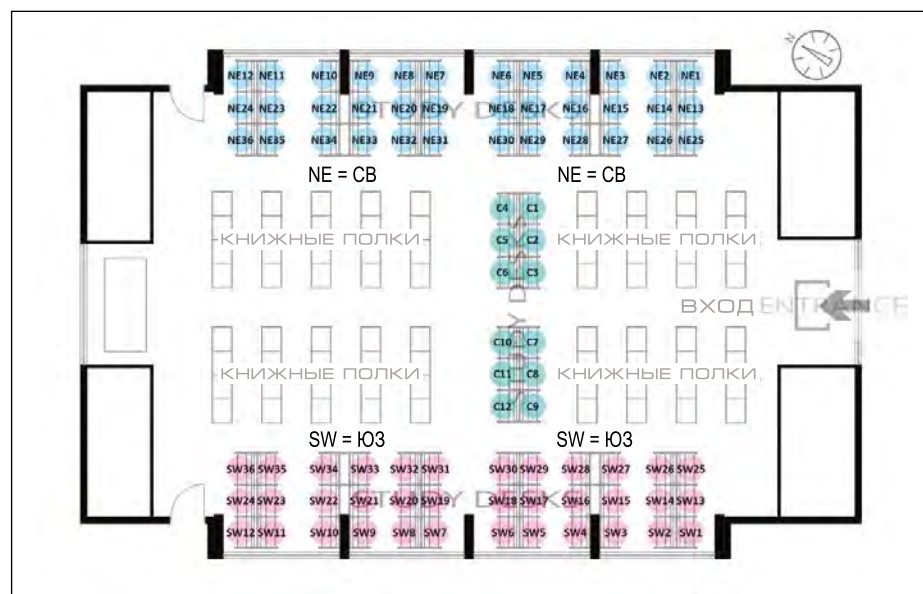


Рис. 1. Точки проведения измерений: CB1-CB36 (северо-восточные точки), Ю31-Ю336 (юго-западные точки), C1-C12 (центральная зона)

<sup>1</sup> Перевод с англ. Е.И. Розовского



ем солнца. В результате были обеспечены почти 20-процентное увеличение уровня естественного освещения и уменьшение блёскости.

По вышеизложенным соображениям и в связи с неполнотой исследований, посвящённых качеству зрительной среды в библиотеках, данное исследование было направлено на оценку условий зрительной работы в научной библиотеке, определяемых распределениями освещённости и яркости. Целью работы являлось исследование эффективности световых полок и светоотражающих жалюзи применительно к освещению тех проблемных участков, которые характеризуются уровнями яркости и освещённости, недостаточными или избыточными для работы как с бумажными носителями, так и с мониторами компьютеров.

## 2. Методика

### 2.1. Читальный зал библиотеки

Экспериментальные исследования проводились в библиотеке Измирского технического института (38,19° с.ш., 26,37° в.д.). Она ориентирована в восточном направлении под углом 60° к направлению на юг. Фасады читального зала, имеющего размеры 29,7 x 19,00 x 4,30 м (Д x Ш x В), смотрят на северо-восток, юго-запад и северо-запад и полностью остеклены. Рабочее пространство разделено на три зоны: две зоны, в которых сидят посетители, и центральная зона с книжными полками (рис. 1).

Измерения характеристик материалов проводились на месте с использованием яркомера и люксметра в соответствии с [11]. В основу определения коэффициента отражения было положено уравнение для ламбертовского отражателя. Коэффициенты пропускания окон, которые имели двойное остекление, измерялись в соответствии с [12, 13]. Результаты измерений представлены в табл. 1.

### 2.2. Проверка соответствия

При работе с бумагами в качестве контролируемой характеристики была выбрана горизонтальная освещённость. Измерения выполнялись при помощи люксметра 20 июня и 20 июля в 131-ой точке на высоте 0,76 м от уровня пола. Результаты измерений

Фотометрические характеристики поверхностей

Поверхность	Коэффициент отражения/пропускания, %
Стены	73
Пол	37
Потолок	78
Стол	47
Остекление	80

Таблица 1

Статистические характеристики

Время	$R^2$	$MPE, \%$	$CV, \%$
20 июня, 14:00	0,51	10	21,1
20 июля, 11:00	0,67	20	21,7
20 июля, 12:30	0,78	20	19,8
20 июля, 15:30	0,71	55	31,1

впоследствии сравнивались со значениями освещённости, полученными при моделировании с использованием программы *Relux*, осуществлявшегося для помещения с такими же характеристиками. Значения коэффициента детерминации  $R^2$  лежали в пределах от 51 до 78 % для всех результатов моделирования, проведённого применительно к указанным датам, что говорит о хорошей точности модели. Учитывая большую площадь пола и наличие мебели, погрешность можно считать приемлемой. Кроме того, были рассчитаны значения средней процентной ошибки  $MPE$  и коэффициента вариации (относительного среднеквадратического отклонения)  $CV$ , позволяющие судить о средней ошибке и расхождении между измеренными и рассчитанными значениями освещённости (табл. 2).

### 2.3. Выявление проблем

Анализ читального зала библиотеки проводился в программе *Relux* в условиях промежуточного неба МКО (*CIE intermediate sky*) при наличии солнечного света применительно к 12:30 часам дней солнцестояния и равноденствия с учётом нормативных требований к освещённости и яркости в библиотечных помещениях. Рассмотрение проводилось применительно к 84-м точкам, расположенным на высоте

0,76 м в центрах библиотечных столов, на которых перед посетителями размещались мониторы компьютеров и листы белой бумаги (рис. 1). Эта часть работы была направлена на выявление проблем, связанных с естественным освещением. Для этого были выполнены измерения горизонтальной освещённости на рабочей плоскости и проведён анализ распределения яркости в поле зрения.

#### 2.3.1. Анализ распределений яркости и выявление наиболее проблематичных точек наблюдения

Распределения яркости, соответствующие всем точкам наблюдения, были проанализированы применительно к 12:30 часам дней солнцестояния и равноденствия. Были выявлены три точки с наименее равномерным распределением яркости. Для этого на основе полученных для всех точек наблюдения карт яркости были определены яркости экрана монитора, белой бумаги, стола, перегородки, окрестностей вообще и расположенной рядом с окном боковой стены (рис. 2).

Анализ карт яркости показал, что наиболее критичное, изменяющееся от 13 до 2050 кд/м<sup>2</sup>, распределение яркости в поле зрения наблюдается в точках, соответствующих юго-западному периметру помещения. Были

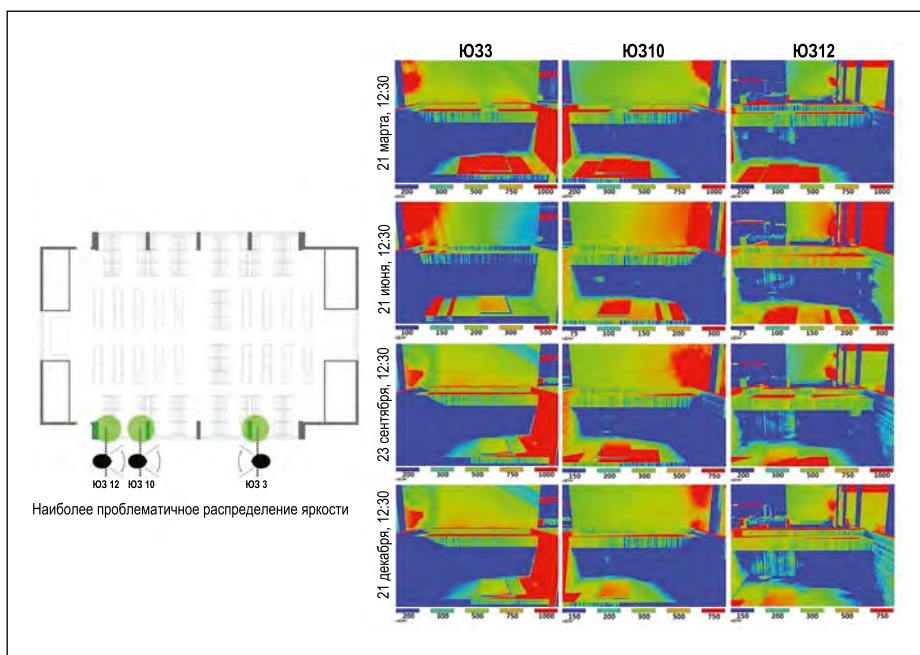


Рис. 2. Точки наблюдения с наихудшими распределениями яркости и карты яркости

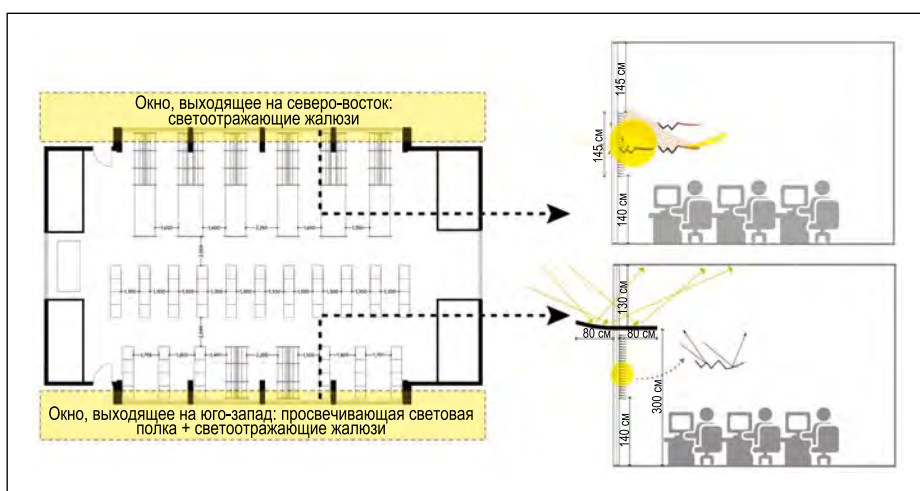


Рис. 3. Организация естественного освещения, отражённая на плане помещения, и поперечные сечения, демонстрирующие его работу

идентифицированы три точки наблюдения (Ю33, Ю310 и Ю312) с наименее равномерным распределением яркости в поле зрения, которые, что не удивительно, располагались около выходящего на юго-запад окна (рис. 2). Например, применительно к точке Ю33 соотношение между яркостями экрана монитора и расположенной рядом с окном боковой стены в 13:43 21 декабря оказалось равным 1:43, что намного превышает рекомендуемое значение 1:10. Во всех случаях соотношение яркостей бумаги и экрана монитора изменялось от 1:12 до 1:158, что, опять же, не соответствует рекомендациям и приводит к проблемам со зрительным восприятием посетителями библиотеки.

### 2.3.2. Освещённость и равномерность освещённости на рабочей плоскости

Освещённость во всех случаях оказалась распределённой неравномерно, изменяясь от очень низкой до тысяч лк. Максимумы освещённости наблюдались в точках, расположенных рядом с выходящим на юго-запад остеклением (Ю31-Ю312). В этой же зоне наблюдалось быстрое уменьшение яркости по мере удаления от окон (точки Ю325-Ю336). Распределение освещённости в северо-восточных точках (СВ1-СВ36) оказалось относительно более равномерным (освещённость изменялась от 46 до 1180 лк), тогда как наименьшие, в диапазоне от 95

до 396 лк, значения освещённости наблюдались в центральной зоне. Можно сделать вывод, что во всей комнате равномерность освещённости на рабочей плоскости оказалась явно плохой, значительно меньше нормированной (значения освещённости в библиотеках при выполнении работ с бумагами, рекомендуемые стандартами *IES*, лежат в интервале 500–1000 лк, а полезная естественная освещённость в рабочих зонах лежит в интервале 100–2000 лк) (табл. 3).

## 2.4. Предлагаемая концепция естественного освещения

Для улучшения распределений освещённости и яркости были предложены новые концепции организации естественного освещения для окон, выходящих на юго-запад (световая полка из просвечивающего материала со светоотражающим покрытием и светоотражающие жалюзи) и на северо-восток (светоотражающие жалюзи) (рис. 3). Эти системы были выбраны на основе анализа литературных данных и реальных изделий [14–16]. Световая полка шириной 1,6 м была размещена на всём протяжении остекления юго-западного фасада на высоте 3,00 м от уровня пола. Эта световая полка, которая при моделировании располагалась как снаружи, так и внутри помещения, считалась зеркально отражающей свет с коэффициентом отражения 85%. Внутренние светоотражающие жалюзи выходящих на юго-запад окон, которые были выбраны из базы данных *Retrolux Archive* [16] и имели ламели с коэффициентами отражения 85%, располагались на высоте 1,40 и 2,85 м от уровня пола. Помимо прочего, они обеспечивали и дополнительную солнцезащиту. Ламели имели глубину 13 мм и располагались на расстоянии 0,5 см друг от друга. Окно, выходящее на северо-восток, было снабжено такими же светоотражающими жалюзи.

## 3. Результаты

### 3.1. Выводы, сделанные на основе полученных значений яркости

Соотношения яркости в поле зрения оказались более соответствующими требованиям к условиям зрительной работы. В этом большую роль

Освещённость и равномерность освещённости на рабочей плоскости ( $E_{avg}$ ,  $E_{min}$  и  $E_{max}$  – среднее, минимальное и максимальное значения освещённости соответственно,  $U_1 = E_{min}/E_{max}$  и  $U_2 = E_{min}/E_{avg}$  – равномерности освещённости)

Время	$E_{avg}$ , лк	$E_{min}$ , лк	$E_{max}$ , лк	$U_1$	$U_2$
21 марта, 12:30	1358	114	6610	0,017	0,083
21 июня, 12:30	430	48	1060	0,045	0,111
23 сентября, 12:30	1686	97	7970	0,012	0,057
21 декабря, 12:30	910	46	4700	0,009	0,050

сыграли солнцезащитные и перераспределяющие свет свойства предложенной системы. Точки наблюдения Ю33 и Ю310 были наихудшими из-за наличия непосредственно напротив наблюдателей очень ярких поверхностей боковых стен, которые были полностью покрыты солнечными пятнами. Улучшение распределения яркости по поверхности стены, имевшее место благодаря реализации перераспределяющей свет системы, в случае Ю33 и Ю310 оказалось гораздо значительнее и очевиднее, чем в случае Ю312. Тем не менее, результат применения солнцезащитной и перераспределяющей свет системы явно заметен во всех трёх точках наблюдения, для которых распределения яркости находящихся в поле зрения поверхностей стали более сбалансированными. Избыточное естественное освещение поверхностей столов оказалось более приемлемым для всех точек наблюдения, обеспечивая хорошее зрительное восприятие в пределах участков, предназначенных для чтения и письма.

Требуемым образом система работает 23 сентября для точек Ю310 и Ю312, тогда как для точки Ю33 она оказалась не столь хороша, т.к. из неё на поверхности стены видны солнечные пятна, особенно в день зимнего солнцестояния. Наиболее значительное уменьшение различий в яркостях экрана, бумаги и перегородок наблюдалось в дни равноденствия. Наблюдаемые 21 марта отношения яркостей бумаги и перегородки стола изменились с 13,5:1 до 1,9:1 для точки Ю312, с 14,1:1 до 2,9:1 для точки Ю310 и с 13:1 до 1:1,6 для точки Ю33, что соответствует рекомендациям стандартов ( $\leq 5:1$ ). Неравномерность яркости в поле зрения в точке Ю33 оказалась несколько выше, чем в остальных точках, но при этом она остаётся в рекомендуемых пределах (например, в день весеннего равноденствия яр-

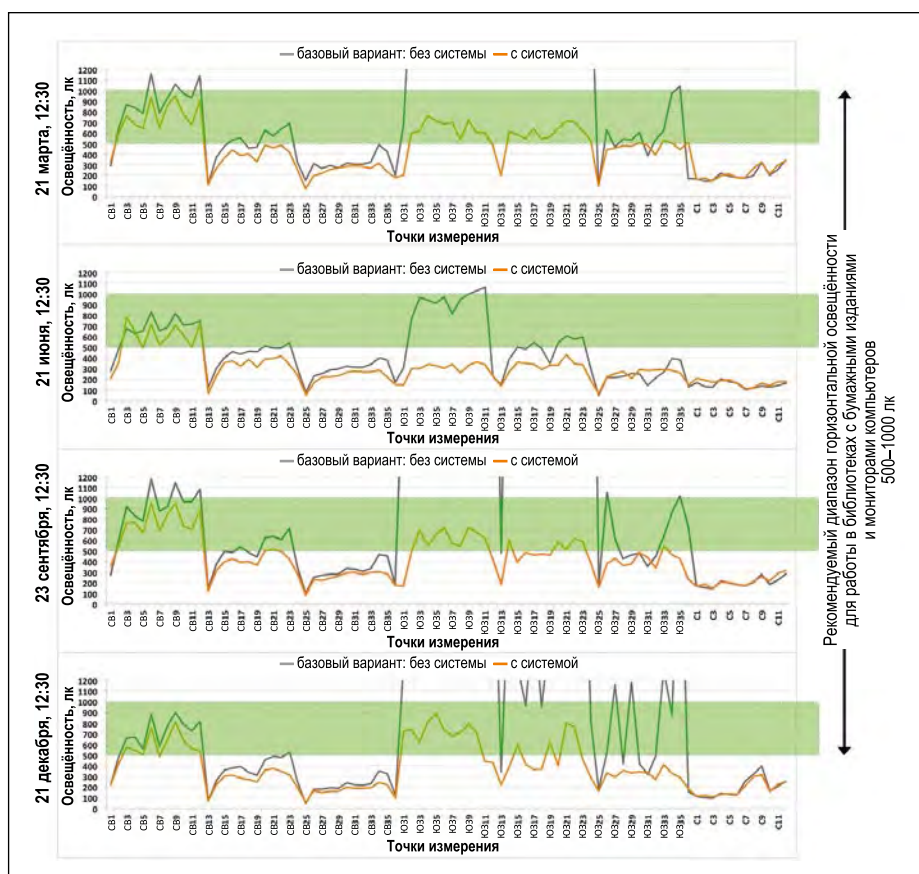


Рис. 4. Изменения освещённости в точках измерения после реализации концепции естественного освещения

кости стола и стены для точек Ю312, Ю310 и Ю33 соотносятся, соответственно, как 1:3, 1:3 и 1:3,8). Достаточно хорошим показателем работы солнцезащитной и перераспределяющей свет системы оказалось соотношение яркостей бумаги и стола в день весеннего равноденствия, которое для точек Ю312, Ю310 и Ю33 составило, соответственно, 1,6:1, 1,6:1 и 1,8:1.

Распределения яркости оказались гораздо ближе к рекомендуемым, за исключением соотношения между яркостями бумаги и экрана. Согласно стандартам, это соотношение должно лежать в интервале между 1:2,5 и 1:3, тогда как на практике оно

хотя и улучшилось, но всё же осталось существенно хуже нормируемого: в день весеннего равноденствия среднее отношение яркостей бумаги и экрана уменьшилось с 1:174 до 1:15 для точки Ю312, с 1:191 до 1:35 для точки Ю310 и с 1:216 до 1:42 для точки Ю33.

### 3.2. Выводы, сделанные на основе полученных значений освещённости

Во всех рассмотренных случаях освещённость уменьшилась почти во всех точках (рис. 4), что привело к уменьшению средней гори-

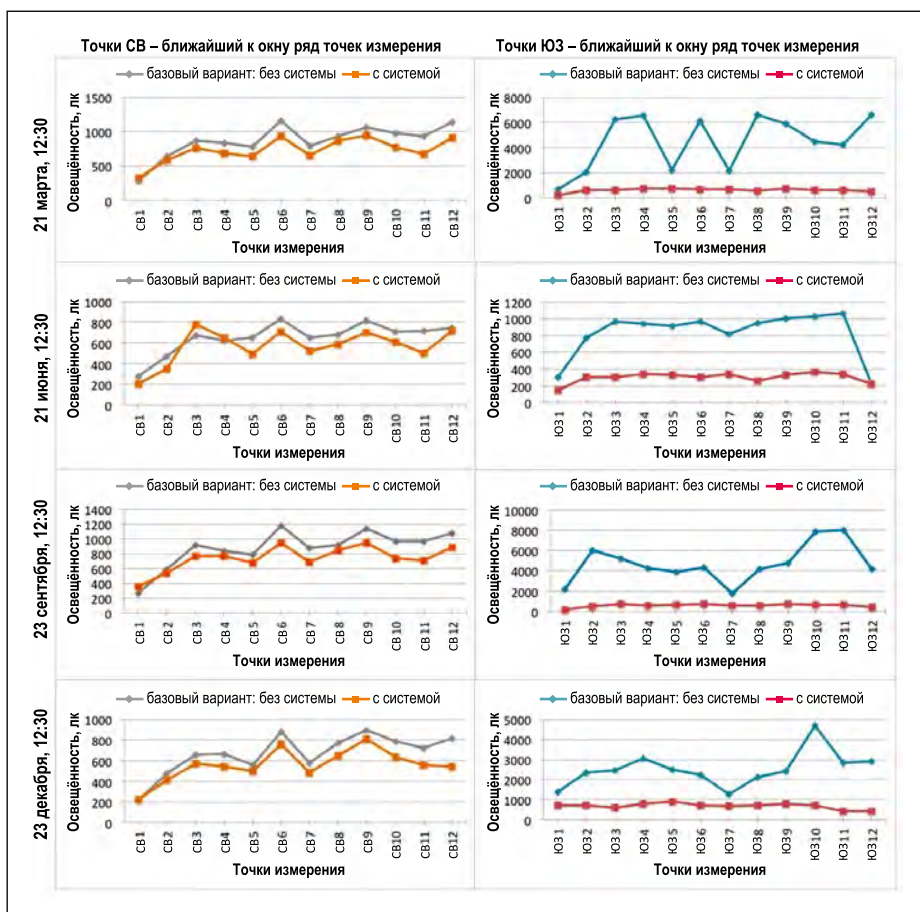


Рис. 5. Изменения освещённости в точках, расположенных около окон (CB1-CB12 и Ю31-Ю312)

горизонтальной освещённости: с 1358 до 454 лк (-66 %) 21 марта, с 430 до 302 лк (-29 %) 21 июня, с 1686 до 431 лк (-74 %) 23 сентября и 910 до 378 лк (-58 %) 21 декабря. Эти результаты можно считать отрицательными в связи с уменьшением количества точек, попадающих в интервал рекомендуемых значений освещённости, однако если учесть рекомендации в части полезной естественной освещённости (*useful daylight illuminance*) (100–2000 лк), то 21 марта, 23 сентября и 21 декабря средние горизонтальные освещённости оказались после модернизации близкими к реко-

мендованному диапазону. Почти 80 % расчётных точек, освещённости в которых оказались ниже требований стандартов *ISO*, попадают в диапазон допустимых значений полезной естественной освещённости, что говорит о приемлемом уровне естественного освещения. То, что в июне только некоторые точки попадают в рекомендованный диапазон значений освещённости, можно объяснить большой высотой солнца в день летнего солнцестояния, в который освещённость была неудовлетворительной и до проведённой модернизации естественного освещения. Заметнее

всего освещённость уменьшается около окон, но не в центре. Фактически, новая система работает, как и планировалось, главным образом уменьшая избыточную освещённость около окон и не очень влияя на удалённые от окон точки.

Улучшения освещённости в 24-х точках, расположенных около окон (CB1-CB12 и Ю31-Ю312), продемонстрированы на рис. 5, подтверждая солнцезащитную эффективность новой концепции естественного освещения. Наиболее впечатляющими являются изменения освещённости в юго-западных точках. Как и ожидалось, в упомянутых точках измерения новая система сгладила распределение освещённости, которое 21 марта, 21 июня, 23 сентября и 21 декабря стало почти горизонтальным в большинстве юго-западных точек, но не в северо-восточных точках. В северо-восточных точках значения освещённости лежали в диапазоне от 220 до 1160 лк, что допускается стандартами. В этом случае основной задачей использования светоотражающих жалюзи было не препятствование проникновению солнечного света, а улучшение естественного освещения в глубине помещения. Новая система с успехом обеспечила увеличение равномерности освещённости в третьем ряду точек измерения (CB25-CB36) во все сезоны, а особенно в декабре, демонстрируя при этом сильное влияние своих отражающих возможностей. В большинстве северо-восточных точек освещённости остались очень близкими к базовым, не демонстрируя ни заметного уменьшения, ни заметного увеличения, как это и требовалось изначально.

На рис. 6 приведены рассчитанные применительно ко всему помещению значения равномерности ( $E_{min}/E_{max}$ ) в дни солнцестояния и равноденствия. Даже наихудшая базовая равно-



Рис. 6. Равномерность до и после реализации концепции естественного освещения (базовый и окончательный варианты)

мерность, имевшая место в день зимнего солнцестояния, улучшилась на 53 %, тогда как в остальные рассмотренные дни улучшение составило от 166 до 340 %. Оставаясь хуже, чем нормированные, эти значения равномерности освещённости были сочтены приемлемыми, если принять во внимание большую площадь пола и большое количество точек измерения. В целом, если не считать точек СВ в июне, была обеспечена более хорошая равномерность освещённости.

#### 4. Заключение

Использование просвечивающе-светоотражающей световой полки и светоотражающих жалюзи привело к улучшению равномерности и освещённости, и яркости, которое было достигнуто за счёт минимизации количества естественного света около окон и сохранению на прежнем уровне или некоторому увеличению его количества в глубине помещения.

Наиболее заметным последствием применения новой системы естественного освещения было улучшение распределения яркости вследствие того, что эта система препятствует проникновению внутрь помещения излишнего количества естественного света и перенаправляет его в зоны, расположенные в глубине библиотеки. Лучшее всего эта солнцезащитная и перенаправляющая свет система показала себя в дни равноденствия, улучшив равномерность распределения яркости поверхностей в поле зрения. Например, значительно, на 79–85 %, улучшилось соотношение яркостей бумаги и перегородки стола, в результате чего оно пришло в соответствие с рекомендациями.

Новая система обеспечила поддержание требуемых значений освещённости, в том числе и в наиболее проблематичных точках из ближайшего к окнам ряда. Улучшение по сравнению с базовым случаем было достигнуто в почти 80 % точек, причём 75 % этих точек удовлетворяли требованиям стандартов *IES*, связанным с выполнением зрительных задач, тогда как в 100 % точек освещённости лежали в пределах диапазона полезной естественной освещённости. Равномерность освещённости была существенно улучшена во всём помещении. Хотя требования стандартов *IES* к рав-

номерности освещённости всё ещё не удовлетворены, улучшение по сравнению с базовым вариантом составило 53–340 %. При такой большой площади пола обеспечение требуемой равномерности освещённости представляет собой трудную и почти невыполнимую задачу. Достигнутое улучшение равномерности можно считать успешным шагом.

В целом, проведённое исследование показало, что хорошо спроектированная система естественного освещения обеспечивает заметное улучшение условий зрительной работы в библиотеке с рассмотренными конструктивными параметрами. Однако следует помнить, что в ряде случаев даже предложенное проектное решение не гарантирует выполнение приводимых в литературе требований.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Pniewska, A., Brotas, L.* Daylight and productivity in a school library // Proc. of CISBAT 2013, 2013, LausanCB, Ю3итерланд.
2. *Reinhart, C., Selkowitz, S.* Daylighting-Light, form, and people // ECBrgy and Buildings.– 2006. – Vol. 38. – P. 715–717.
3. *Konis, K.* Evaluating daylighting effectiveCBss and occupant visual comfort in a side-lit open-plan of office building in San Francisco, California // Building and Environment.– 2013. – Vol. 59. – P. 662–677.
4. *Keskin, Z., Chen, Y., Fotios, S.* Daylight and seating preference in open-plan library spaces // The International Journal of Sustainable Lighting.– 2015. – No. 1. – P. 12–20.
5. *Dogan, T., Stec, P.* Prototyping a facade-mounted, dynamic, dual-axis daylight redirection system // Lighting Research and Technology.– 2016.
6. *Baker, N., Steemers, K., Compagnon, R., Parpairi, K.* Daylight Design of Buildings. London: James & James Science Publisher, 2002.
7. Solar Heating and Cooling Programme (SHCP), Daylighting in buildings: design tools and performance analysis, 1999, Available at: <http://www.ieo-shc.org/task 21/publications/>.
8. *Kazanasmaz, T., Firat Örs, P.* Comparison of advanced daylighting systems to improve illuminance and uniformity through simulation modeling // Light and EngiCBering.– 2014. – Vol. 22, No. 3. – P. 56–66.
9. *ЁРС П.Ф., КАЗАНАСМАЗ Т.* Расчётное сравнение современных систем естественного освещения в целях улучшения уровня и равномерности освещённости // Светотехника.– 2015.– № 1. – С. 28–35.
10. *Kontadakis, A., Tsangrassoulis, A., Doulos, L., Topalis, F.* An active sunlight redirection

system for daylight enhancement beyond the perimeter zoCB // Building and Environment.– 2017. – Vol. 113. – P. 267–279.

11. *Jakubiec, J.A.* Building a database of opaque materials for lighting simulation // Proc. of PLEA 2016 Los Angeles – 36<sup>th</sup> Int. Conf. on Passive and Low ECBrgy Architecture, 2016, Los Angeles, California, USA.

12. *Bayram, G., Kazanasmaz, T.* Simulation based retrofitting of an educational building in terms of optimum shading device and eCBrgy efficient lighting criteria, Light and EngiCBering, Vol24, No. 2 (2016), pp. 45–55.

13. *Байрам Г., Казанасмаз Т.* Оптимизация солнцезащитных устройств и повышение энергоэффективности искусственного освещения учебного здания // Светотехника.– 2016.– № 4. – С. 44–52.

14. *Moazzeni, M.H., Ghiabaklou, Z.* Investigating the influence of light shelf geometry parameters on daylight performance and visual comfort, a case study of educational space in Tehran, Iran // Buildings.– 2016. – Vol. 6, No. 3. – P. 26; doi:10.3390/buildings6030026.

15. *Freewan, A.A.* Maximizing the light-shelf performance by interaction between light-shelf geometries and a curved ceiling // ECBrgy Conversion and Management.– 2010. – Vol. 51, No. 8. – P. 1600–1604. doi:10.1016/j.enconman.2009.09.037.

16. Retrosolar. (2017). Information About Retrosolar. [InterCBt], Available from: [http://www.retrosolar.de/flash/ani\\_rlx\\_e.html](http://www.retrosolar.de/flash/ani_rlx_e.html) [Accessed 11 JuCB 2017].



**Туğче Казанасмаз (Tuğçe Kazanasmaz),**

Ph.D. Доцент кафедры архитектуры Измирского технического института. Имеет 14-летний опыт преподавательской

работы в области архитектурной подсветки, физики зданий и энергоэффективного проектирования



**Мерве Ёнер (Merve Öner),**

M. Sc. (2017 г.). Аспирант (Ph.D.) Пизанского университета. Научные интересы: архитектурное освещение, компьютерное моделирование



Международная  
светотехническая  
корпорация




БООС ЛАЙТИНГ ГРУПП

# ТЕПЛИЧНОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

**Готовые комплексные решения:**

- индивидуальный подход
- инновационные разработки
- идеальный световой баланс
- независимые испытания приборов
- простота и надежность в эксплуатации

**Урожай в новом свете**



Мы осветили **около 300**  
промышленных и фермерских  
теплиц в России и за рубежом

**Готовые комплексные решения**

[www.galad.ru](http://www.galad.ru)  
[www.bl-g.ru](http://www.bl-g.ru)

# Сравнение светильников со светодиодами и натриевыми лампами высокого давления при освещении тоннелей<sup>1</sup>

Б. КОКАМАН, С. РУСТЕМЛИ

Университет Битлис Ерен, Битлис, Турция  
E-mail: bkocaman@beu.edu.tr, srustemli@beu.edu.tr

## Аннотация

Потребность в энергии непрерывно возрастает в связи с ростом населения, повышением жизненного уровня, изменением климата и развитием промышленности и техники в развивающихся странах. Из-за ограниченности ресурсов, эту возрастающую потребность невозможно удовлетворить за счёт увеличения выработки энергии. Поэтому существующие источники энергии следует использовать максимально продуктивно. Одним из важнейших способов достижения этой цели является эффективное использование и экономия энергии. И одной из областей, требующих эффективного и экономного использования энергии, является освещение тоннелей. В данной работе на примере тоннеля *Buzlupinar* (короткий тоннель в провинции Битлис, Турция) проводится сравнение осветительных установок со светильниками с натриевыми лампами высокого давления (НЛВД) и со светодиодами (СД). Установлено, что освещение светильниками с СД более эффективно и экономично по сравнению с освещением светильниками с НЛВД.

**Ключевые слова:** освещение тоннелей, СД, НЛВД, энергосбережение.

## 1. Введение

Турция имеет ограниченные энергетические ресурсы. Иными словами, страна не обладает энергетическими ресурсами, способными удовлетворить возрастающую потребность в энергии. Она зависит от внешних поставок, т.к. за счёт собственных ресурсов способна только примерно на четверть удовлетворить свои потребности в энергии, восполняя её нехватку за счёт внешних источников. Основная задача состоит в том, чтобы

адекватно, надёжно и экономно обеспечить потребности в энергии, избавившись в результате от внешней зависимости.

Тоннели сооружаются на пешеходных, железных и автомобильных дорогах, в каналах и в других местах, когда невозможно проложить дорогу на поверхности, а также тогда, когда для организации движения в городах или за их пределами часть пути следует проложить под землёй. Тоннели необходимо освещать искусственными источниками света и днём, и ночью, используя для этого разные приёмы и технические средства. Основной задачей освещения тоннелей является обеспечение комфорта и безопасности водителей при подъезде к тоннелю, внутри тоннеля и при выезде из него.

Эти два момента – комфорт и безопасность – имеют очень большое значение при выборе правильного освещения тоннелей. Сегодня всё более важную роль играет не только само освещение, но и его энергоэффективность. По мере развития техники непрерывно возрастает потребность в информации о том, как, какими методами и в соответствии с какими стандартами испытываются светотехнические изделия. Уровни освещения в тоннелях начали пересматриваться, что требует проведения интенсивных исследований и развития современной техники для выработки решения, обеспечивающего одновременно и видимость, и безопасность [1, 2]. Светильники конструируют с учётом выхлопных и иных газов, загрязняющих воздух внутри тоннелей. Имеются материалы, особенно нержавеющая сталь и закалённое стекло, которые устойчивы к коррозии.

Расстояние между светильниками имеет важное значение, и осветительное оборудование требуется располагать плотнее, чем если исходить из эстетических соображений. Для освещения тоннелей используются све-

тильники разных типов, например, с НЛВД, ртутными лампами и СД.

Вообще говоря, при проектировании освещения можно использовать самые разные долговечные светильники с люминесцентными лампами и с СД. Выбор цветности освещения, подходящей для обеспечения безопасности движения в тоннеле, должен определяться архитектурой этого тоннеля. Поэтому освещение внутри тоннеля должно отличаться от освещения его подъездной и выездной зон [3].

Применительно к освещению, тоннели можно разделить на короткие и длинные. Короткие тоннели похожи на «тёмные рамки» в поле зрения. Если смотреть на препятствие высотой 20 см, находящееся на расстоянии 100 м, то в случае плоского тоннеля область наблюдения составляет 20 м. Учитывая вклад естественного освещения на въезде в тоннель и на выезде из него, длину прямого тоннеля, не нуждающегося в дополнительном освещении в дневное время, можно считать равной 50 м, так что короткие тоннели днём освещать не требуется. Однако если тоннель изгибается или имеет уклон, или если движение имеет высокую интенсивность, то даже тоннели меньшей длины могут нуждаться в дополнительном освещении в дневное время [4].

Модель тоннеля с двумя трубами приведена на рис. 1, на котором показано, что тоннель делится на четыре зоны: подъездную, въездную (*entrance zone*)<sup>2</sup>, внутреннюю и выездную.

Подъездная зона – это часть дороги, непосредственно примыкающая к тоннелю снаружи, в которой подъезжающий водитель должен иметь возможность заметить препятствие. Длина этой зоны равна расстоянию безопасного торможения. Во въездной зоне яркость постепенно уменьшается, чтобы обеспечить адаптацию глаз водителя к более низким уровням освещения, характерным для внутренней зоны. Внутренняя зона – это часть тоннеля, расположенная между въездной и выездной зонами. Уровни яркости в этой зоне должны гарантировать безопасность движения. Выездная зона представляет собой окончание тоннеля, где видимость зависит от уровня освещения вне тоннеля.

<sup>2</sup> Въездной зоной авторы называют совокупность пороговой и переходной зон. – При. пер.

<sup>1</sup> Перевод с англ. Е.И. Розовского.



В ряде случаев может потребоваться адаптационное освещение.

## 2. Важность освещения тоннелей

Хорошее освещение тоннелей имеет большое значение для безопасности и комфорта пассажиров. Кроме того, правильные проектные решения и использование подходящих для тоннелей светильников обеспечивают экономию энергии. Хорошее освещение обеспечивает не только зрительную адаптацию при въезде в тоннель, но и уверенность водителя при движении по тоннелю.

Тоннель с недостаточным освещением выглядит для подъезжающего водителя, как «чёрная дыра», и при этом водитель страдает от потери зрения [5]. Для того, чтобы водители не испытывали проблем с видимостью, уровень освещения в тоннеле должен изменяться постепенно. Тоннель является относительно замкнутым пространством, где освещение внезапно изменяется от яркого к тусклому («чёрная дыра») на въезде в тоннель и от тусклого к яркому («яркая дыра») на выезде из тоннеля (рис. 2).

Источники света, используемые для освещения тоннелей, должны иметь определённые характеристики. К ним относятся высокая световая отдача, большая долговечность и возможность использования в составе светильников.

Для создания требуемого освещения источники света должны устанавливаться в подходящие светильники. Светильники для тоннелей должны [4]:

- Быть экономичными.
- Легко устанавливаться и обслуживаться.
- Исключать возникновение блёскости.
- Быть защищёнными от попадания воды под давлением и стойкими по отношению к моющим средствам и коррозии.
- Преобразовывать пространственное распределение силы света «голой» лампы и обеспечивать требуемое пространственное распределение силы света.
- Быть совместимыми с системами дистанционного управления и сбора данных (SCADA), которые используются в современных осветительных установках тоннелей.

Рис. 1. Модель тоннеля с двумя трубами

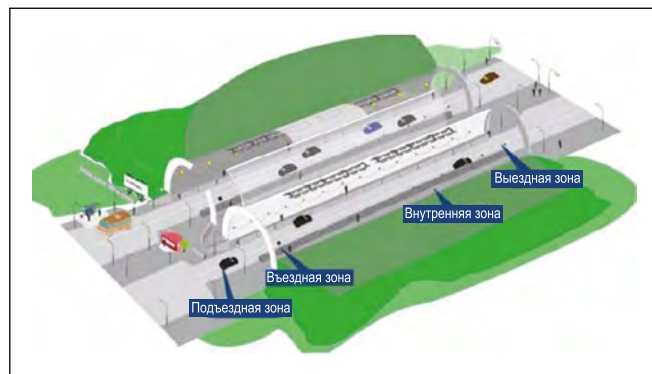


Рис. 2. Тоннель с «чёрной и яркой дырами»

- Обеспечивать визуальное ориентирование.

Если говорить об экономической эффективности, то большое значение имеет световая отдача светильников, выбранных для освещения тоннеля. Световая отдача представляет собой меру эффективности преобразования получаемой от сети электроэнергии в свет.

### 2.1. Светильники, используемые для освещения тоннелей

Для освещения тоннелей используются светильники разных типов, например, с люминесцентными лампами, с нагреваемыми лампами низкого и высокого давления, с ртутными лампами высокого давления и с СД. В последние годы в тоннелях предпочтение начали отдавать светильникам с СД, что обусловлено их преимуществами перед другими светильниками в части световой отдачи, долговечности и простоты технического обслуживания. Поэтому важно заменять светильники с НЛВД на светильники с СД, которые обеспечат уменьшение энергопотребления в тоннелях.

### 2.2. Светильники с НЛВД

Светильники с НЛВД, входящими в семейство разрядных ламп высокой

интенсивности, являются наиболее эффективными из имеющихся сегодня в продаже источников белого света. Светильники с НЛВД имеют гораздо большие световые отдачи и сроки службы, чем с прочие традиционные светильники. Светильники с НЛВД входят в группу светильников, которые используются для освещения тоннелей. В этих светильниках разрядная трубка помещена в колбу из тугоплавкого стекла, представляющую собой вакуумированную трубку.

Характерными особенностями светильников с НЛВД являются большая долговечность, высокая световая отдача, низкая стоимость технического обслуживания, возможность использования как для внутреннего, так и для наружного освещения, произвольное рабочее положение, устойчивость к изменениям напряжения и возможность использования с вспомогательными устройствами.

### 2.3. Светильники с СД

В СД свет генерируется электронами, движущимися в полупроводниковом материале. Приступая к разработке светильника с СД, следует, во-первых, определить требуемые значения его светотехнических характеристик, воспользовавшись для этого стандартами и требованиями со сто-

Рис. 3. Вид на две трубы тоннеля *Buzlupınar*



роны осветительной установки, для которой светильник предназначен. Затем следует определить конструктивные параметры светильника, обеспечивающие выполнение этих требований. Светильники с СД нуждаются в не такой, как у традиционных светильников, оптической системе, что обусловлено малыми размерами СД источников света. В настоящее время имеются светильники с СД и для тоннелей. Области применения и технические характеристики светильников с СД непрерывно совершенствуются [6]. К преимуществам светильников с СД можно отнести следующее:

- Твердотельный источник света.
- Отсутствие загрязнения окружающей среды и ультрафиолетового излучения.
- Высокий индекс цветопередачи.
- Возможность непрерывного управления уровнем освещения посредством изменения электрического тока, быстрое, почти мгновенное, изменение характеристик.

• При использовании специального связанного контроллера можно получать информацию о состоянии каждого из светильников и их неисправностях, а также осуществлять непрерывную регулировку уровня освещения [7].

Наблюдавшиеся в последние годы технический прогресс, совершенствование систем управления и всё большее применение светильников с СД привели к значительным успехам в области освещения тоннелей. В то же время, большинство тоннелей сегодня освещены светильниками с НЛВД или ртутными лампами, которые потребляют много энергии [8]. Поэтому следует использовать светильники с СД, которые обеспечат существенную экономию энергии и эффективное решение задачи освещения тоннелей.

Светильники с СД являются предпочтительными для освещения тоннелей по следующим причинам:

- Они очень энергоэффективны.

- При 25 °С их световая отдача составляет, как минимум, 130 лм/Вт.

- Благодаря малым размерам СД кристаллов можно с лёгкостью разнообразить конструкцию светильников.

- Они быстро входят в режим.

- Их легко устанавливать и обслуживать, так как они не содержат хрупких деталей, таких как стекло или нити накала.

- Они не создают воспринимаемые ухом человека звуковые колебания, так как работают на постоянном токе.

- Они экологически безопасны, так как не содержат тяжёлые металлы и ртуть.

- Их свет не пульсирует.

- Они безопасны, так как относятся к источникам света, работа которых не сопровождается очень сильными нагревом, как это имеет место в случае светильников с разрядными лампами.

- Если один из входящих в состав светильника СД источников света выходит из строя, то он закорачивается, а сам светильник продолжает работать. Это не сопровождается большим ухудшением равномерности освещения до тех пор, пока количество отказавших СД не достигнет определённого значения.

- Оптическую схему светильника с СД можно легко сделать как симметричной, так и асимметричной.

- Светильники с СД позволяют видеть объекты в их истинном свете, так как имеют индексы цветопередачи, превышающие 70 [9].

### 3. Пример освещения тоннелей

Тоннель *Buzlupınar* находится на магистрали Битлис-Дьярбакыр в точке с координатами 38°17'48 с.ш. и 41°59'52» в.д. Этот тоннель был построен в провинции Битлис Генеральным управлением автомобильных дорог Турции. Он состоит из двух труб, обеспечивающих движение в двух направлениях (рис. 3).

Объектом данного исследования послужила правая труба, полная длина которой составляет 233 м. Этот тоннель был одним из первых в Турции автомобильных тоннелей, которые освещены светильниками с СД. Нами было проведено сравнение работы осветительных установок со светильниками с НЛВД и с СД, характеристики которых приведены в табл. 1.

В данной работе на основе капитальных затрат и энергопотребле-

Таблица 1

Сравнение светильников с СД и НЛВД

Характеристика	Светильник с НЛВД	Светильник с СД
Мощность, Вт	100–500	43–170
Регулирование светового потока	Нужен специальный ПРА	Да
Предел регулирования, %	50	10
Световая отдача, лм/Вт	80–140	114–160
Ресурс, 1000 ч	10–24	100+
Содержание ртути	~ 6 мг/100 Вт	0
Время разгорания, мин.	2–15	Мгновенное
Время перезажигания, мин.	4–5	Мгновенное
Рабочая температура, °С	-30–65	-55–70

## Использовавшиеся светильники с НЛВД

Мощность НЛВД, Вт	Количество использовавшихся светильников, шт.	Потери мощности в ПРА, Вт	Полная мощность, Вт
70	168	13	13944
150	28	26	4928
250	20	35	5700
400	120	50	54000
Всего:			78572

ния проведён анализ экономии энергии и расходов при замене светильников с НЛВД на светильники с СД. Более того, сравнение светильников с НЛВД и светильников с СД проведено применительно к суточному расходу энергии на освещение тоннеля. Количество светильников с НЛВД, которые были установлены в тоннеле *Buzlupınar*, мощности ламп, потери мощности в пускорегулирующих аппаратах (ПРА) и полные значения потребляемой мощности приведены в табл. 2.

В зависимости от количества света, необходимого для обеспечения въезда в тоннель, светильники с НЛВД включают по-разному. Всего имеются шесть режимов, соответствующих включению всех светильников, 75 % светильников, 50 % светильников, 25 % светильников<sup>3</sup>, ночному режиму и аварийному режиму. Аварийный режим используется только при отключении питания, и при этом светильники работают от бесперебойного источника питания. Для светильников с НЛВД, потребляемые мощности, продолжительности работы и суточное потребление энергии в разных режимах приведены в табл. 3.

Как следует из табл. 3, светильники с НЛВД работают в режимах 1, 2, 3, 4 и 5 на протяжении 2,75, 1,33, 1,50, 1, 25 и 17,17 ч в сутки соответственно. В сутки светильники с НЛВД потребляют 637012,08 Вт·ч (637,01 кВт·ч) электроэнергии.

Тоннель *Buzlupınar*, освещённый светильниками с СД, показан на рис. 4.

Количество светильников с СД, которые установлены в тоннеле

Рис. 4. Освещение тоннеля *Buzlupınar* светильниками с НЛВД



Рис. 5. Освещение тоннеля *Buzlupınar* светильниками с СД



*Buzlupınar*, мощности светильников и полные значения потребляемой мощности приведены в табл. 4.

Как и светильники с НЛВД, светильники с СД тоже включают по-разному. Однако при использовании светильников с СД аварийный режим недоступен. Поэтому светильники с СД работают только в 5-ти режимах, а режим 6 в проведении сравнения не участвует.

Для светильников с СД, потребляемые мощности, продолжительности работы и суточное потребление энергии в разных режимах приведены в табл. 5.

Как следует из табл. 5, светильники с СД работают в режимах 1, 2, 3, 4 и 5 на протяжении 2,75, 1,33, 1,50, 1,

25 и 17,17 ч в сутки соответственно. В сутки светильники с СД потребляют 380230,50 Вт·ч (380,23 кВт·ч) электроэнергии.

### 5. Сравнение светильников с НЛВД и СД применительно к освещению тоннелей

При использовании светильников с НЛВД среднесуточное потребление энергии составляет 637,01 кВт·ч, тогда как при использовании светильников с СД оно равно 380,23 кВт·ч.

При замене светильников с НЛВД на светильники с СД:

– среднесуточная экономия энергии составит  $(637,01 - 380,23) \text{ кВт}\cdot\text{ч} = 256,78 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ ;

<sup>3</sup> Это описание не соответствует данным о количестве включённых светильников, приведённым в табл. 3. – Прим. пер.

## Энергия, потребляемая светильниками с НЛВД в день

Режим	Мощность НЛВД, Вт	Количество использованных светильников, шт.	Потери мощности в ПРА, Вт	Полная мощность, Вт	Продолжительность работы в сутки, ч	Суточное потребление энергии, Вт·ч
1	70	168	13	13944	2,75	38346,00
	150	28	26	4928	2,75	13552,00
	250	20	35	5700	2,75	15675,00
	400	120	50	54000	2,75	148500,00
2	70	168	13	13944	1,33	18545,52
	150	16	26	2816	1,33	3745,28
	250	16	35	4560	1,33	6064,80
	400	88	50	39600	1,33	52668,00
3	70	168	13	13944	1,50	20916,00
	150	4	26	704	1,50	1056,00
	250	8	35	2280	1,50	3420,00
	400	60	50	27000	1,50	40500,00
4	70	168	13	13944	1,25	17430,00
	150	0	26	0	1,25	0,00
	250	4	35	1140	1,25	1425,00
	400	28	50	12600	1,25	15750,00
5	70	168	13	13944	17,17	239418,48
	150	0	26	0	17,17	0,00
	250	0	35	0	17,17	0,00
	400	0	50	0	17,17	0,00
6	Применяется только в аварийных ситуациях (например, при отключении питания)					
Общее суточное потребление энергии, Вт·ч						637012,08

Таблица 4

## Использовавшиеся светильники с СД

Источник света/устройство управления	Количество использованных светильников, шт.	Мощность, потребляемая светильником, Вт	Полная мощность, Вт
96 СД, 500 мА	30	153	4590
96 СД, 700 мА	166	213	35358
Всего			39948

– среднемесячная экономия энергии составит 256,78 кВт·ч/сутки x 30 суток = 7703,4 кВт·ч;

– среднегодовая экономия энергии составит 7703,4 кВт·ч/месяц x 12 месяцев = 92440,8 кВт·ч.

В соответствии с установленными в Турции тарифами на электроэнергию, с 01.04.2018 стоимость электроэнергии, расходуемой на общее

освещение, составляет 0,346747 турецких лир (ТЛ) за 1 кВт·ч<sup>4</sup>. Так что при переводе освещения тоннеля на светильники с СД годовая экономия затрат на электроэнергию составит 92440,8 кВт·ч x 0,346747 ТЛ/кВт·ч = 32053,57 ТЛ.

<sup>4</sup> Курс ЦБ на 06.12.2018: 1 ТЛ = 12,40 руб. – Прим. пер.

Стоимости предназначенных для освещения тоннелей светильников и ПРА зависят от марки изделия, а стоимость трудозатрат – от подрядчика. Поэтому оценка затрат, результаты которой представлены в табл. 6 и 7, производилась с использованием средних данных, взятых из Интернета.

Стоимость трудозатрат не зависит от того, какими светильниками –

## Энергия, потребляемая светильниками с СД в день

Режим	Мощность светильника с СД, Вт	Количество использованных светильников, шт.	Полная мощность, Вт	Продолжительность работы в сутки, ч	Суточное потребление энергии, Вт·ч
1	153	30	4590	2,75	12622,50
	213	166	35358	2,75	97234,50
2	153	8	1224	1,33	1627,92
	213	166	35358	1,33	47026,14
3	153	8	1224	1,50	1836,00
	213	126	26838	1,50	40257,00
4	153	8	1224	1,25	1530,00
	213	80	17040	1,25	21300,00
5	153	4	612	17,17	10508,04
	213	40	8520	17,17	146288,40
Общее суточное потребление энергии, Вт·ч					380230,50

Таблица 6

## Калькуляция затрат в случае светильников с НЛВД

Мощность НЛВД, Вт	Стоимость светильника, ТЛ	Стоимость ПРА, ТЛ	Количество светильников/ПРА, шт.	Полная стоимость, ТЛ
70	930	80	168	169680
150	1200	65	28	35420
250	1250	75	20	26500
400	1400	130	120	183600
Всего				415200

Таблица 7

## Калькуляция затрат в случае светильников с СД

Тип светильника с СД	Стоимость светильника, ТЛ	Количество светильников, шт.	Полная стоимость, ТЛ
96 СД, 500 мА	3650	30	109500
96 СД, 700 мА	3650	166	605900
Всего			715400

с НЛВД или с СД – освещаются тоннели. Поэтому стоимость монтажа светильников при оценке затрат не учитывалась. Проведённые расчёты показали, что стоимости светильников с НЛВД и с СД составили, соответственно, 415200 и 715400 ТЛ. Так что при использовании светильников с СД капитальные затраты возросли на  $(715400 \text{ ТЛ} - 415200 \text{ ТЛ}) = 300200 \text{ ТЛ}$ . И всё равно, светильники с СД экономят 32053,57 ТЛ в год.

В результате, использование светильников с СД вместо светильников с НЛВД окупится через 9,37 лет  $(300200/32053,57)$ , и в последующие годы их эксплуатация обойдётся дешевле. Это исследование проводилось применительно к тоннелю длиной 233 м. В случае более длинных тоннелей срок окупаемости уменьшится.

## 6. Заключение

Для создания эффективных осветительных установок для тоннелей требуется наличие хороших светильников и использование систем управления. Следует разработать светильники, которыми можно управлять централизованно и которые имеют малое энергопотребление. Кроме того, чтобы не допустить отсутствие света в тоннеле, следует предусмотреть возможность

работы освещения в аварийной ситуации. Так что помимо сети, освещение должно быть подключено к трёхфазному генератору, который будет включаться по мере необходимости.

СД освещение выгоднее, так как не требует частого технического обслуживания и более энергоэффективно по сравнению с освещением традиционными светильниками. Светильники с СД следует использовать в тоннелях для обеспечения значительной экономии энергии и повышения экономической эффективности освещения. Поэтому большое значение имеет замена светильников с НЛВД на светильники с СД, которые сведут к минимуму количество потребляемой в тоннелях энергии.

Было проведено сравнение суточных затрат электроэнергии в тоннеле *Buzluçınar* (провинция Битлис) при использовании светильников с НЛВД и с СД. При замене светильников с НЛВД на светильники с СД экономия электроэнергии составила 256,78 кВт·ч в сутки или 92440,8 кВт·ч в год. Поэтому такая замена очень полезна с точки зрения энергосбережения. Согласно результатам проведённых расчётов, осветительная установка с СД окупится за 9,37 лет, несмотря на то, что в случае светильников с СД капитальные затраты оказались выше, чем в случае светильников с НЛВД. Данное исследование было проведено применительно к тоннелю длиной 233 м, для которого срок окупаемости оказался довольно большим. Но в случае более длинных тоннелей этот срок уменьшится. Отдельной статьёй расходов является техническое обслуживание установленных в тоннеле светильников. А так как стоимость технического обслуживания светильников с СД намного ниже стоимости технического обслуживания светильников с НЛВД, то и в этом отношении светильники с СД имеют значительные преимущества. Кроме того, светильники с СД гораздо долговечнее прочих светильников. Поэтому следует озаботиться переводом тоннелей на освещение потребляющими меньше энергии светильниками с СД.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Cengiz, M. S., Rustemli S.* The Relationship Between Height And Efficiency And Solution Offerings in Tunnel And Sub-Sea Tun-

nels // *Light & Engineering*. – 2014. – Vol. 22, No. 2. – P. 76–83.

2. *Рустемли С., Сенгиз М.С.* Оптимизация освещения тоннелей // *Светотехника*. – 2014. – № 4. – С. 64–69.

3. *Yazıcıoğlu D.A.* Tünel Ve Alt Geçitlerde Aydınlatma Tasarımı // *Lightworld Aydınlatma Dünyası Dergisi*. sayı 38, sayfa 52–56, 14 Mart 2016.

4. *Akbulut, A.* Tünel Aydınlatması, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2006.

5. *Qin, L., Dong, L-L., Xu, W-H., Zhang, L-D., Leon, A.S.* An Intelligent Luminance Control Method for Tunnel Lighting Based on Traffic Volume // *Sustainability*. – 2017. – No. 9. – P. 2208.

6. *Yi, H., Zheyang, L., Aiogu, W., Changbin, L., Shouzhong, F.* Research on Intelligent Control of Tunnel Lighting System Based on LED // *Int. Conf. on Optoelectronics and Image Processing*, 2010.

7. *Yi, H., Changbin, L., Aiguo, W., Shouzhong, F.* LED Lighting Control System in Tunnel Based on Intelligent Illumination curve // *Fifth International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation*, 2012. – P. 698–701.

8. <https://www.slideshare.net/FarukATLI-TRK/light-world-led-lighting-technology> (Access date: 15.04.2018).

9. *Peng, F.Z.* Application Issues of Active Power Filters // *IEEE Industry Applications Magazine*. – 1998. – Vol.4, No.5. – P. 21–30.



**Бехчет Кокаман (Behçet Kocaman), Ph.D.**

(2015 г., Университет Кокаели, Турция). Доцент кафедры электротехники и электроники Университета Битлис

*Ерен, Турция. Область научных интересов: энергоэффективность, освещения, возобновляемые источники энергии, управление электроэнергией, её передача и распределение*



**Сабир Рустемли (Sabir Rustemli), Ph.D.**

(1995 г., Азербайджанский научно-исследовательский электротехнический институт). Профессор, зав. кафедрой электро-

*техники и электроники и проректор Университета Битлис Ерен, Турция*

## Лампы направленного света с «биологическим» спектром излучения и высоким качеством цветопередачи

Компания *Lighting Science*, мировой лидер в области «циркадного» освещения, объявила о выпуске специальной серии ламп «Series A+™ Par30 Gimbal», разработанной для взыскательных потребителей и проектировщиков освещения. Для них характерен здоровый «циркадный» спектр излучения с высоким качеством цветопередачи, чётко очерченный световой пучок и возможность изменения направления этого пучка.



Лампы «Series A+» отличаются своим явно выраженным белым светом, свободным от сколь-нибудь заметного присутствия пиков излучения в неблагоприятной для циркадных циклов синей области спектра. А в других случаях люди, находящиеся в помещениях, будут взбадриваться стимулирующим излучением на длине волны 480 нм, которое присутствует в естественном дневном свете. Лампы доступны в модификациях с тремя цветовыми температурами (3000, 4000 и 5000 К) и тремя углами излучения, идеальными для акцентирования (15°), местного (25°) и заливающего (40°) освещения, генерируют высококачественное излучение с  $R_a \geq 90$ , оживляют все освещаемые сцены и обеспечивают хороший контраст и яркие цвета.

Не бросающаяся в глаза шарнирная конструкция предоставляет дополнительные возможности, обеспечивая точное управление направлением излучения за счёт возможности поворотов в пределах 85° в области цоколя и 56° в области линзы. Снабжённая резьбой крышка линзы позволяет добавлять или менять оптические детали, такие как рассеиватели или плёнки, давая пользователю свободу творчества. Изделия «Series A+», световой поток которых можно снижать до 10 %, совместимы с большинством симисторных светорегуляторов, что облегчает их установку на место установки ЛН или ГЛН.

Изделия «Series A+» продемонстрировали, что здоровое «циркадное» освещение не ограничивает возможности проектирования. Эта регулируемые лампы направленного света найдут применение как в коммерческой сфере, так и в быту, когда требуются точное регулирование оптических характеристик и направленности света и улучшение его биологического действия.

led-professional.com  
21.12.2018

# Измерение бактерицидного потока ультрафиолетовых трубчатых ртутных ламп низкого давления

А.Л. ВАСЦЕРМАН

E-mail: alexzo@list.ru

## Аннотация

В статье предлагается альтернативный метод измерения потока излучения ртутных трубчатых бактерицидных медицинских ламп низкого давления. Метод базируется на трёх рабочих гипотезах, экспериментально подтверждённых: 1) индикатриса распределения сил излучения в продольной плоскости трубчатых ртутных ламп без покрытия колбы с достаточной точностью описывается эллипсом; 2) фотометрическое тело представляет собой эллипсоидальный тор; 3) плазма электрического разряда бактерицидных ламп прозрачна для видимого и ультрафиолетового излучения.

**Ключевые слова:** гониофотометр, объёмный и поверхностный трубчатые излучатели, телесный угол, фотометрическое тело, закон Ламберта.

Значение ультрафиолетового бактерицидного потока  $\Phi_{\text{БК}}$  и, соответственно, бактерицидной отдачи  $\Phi_{\text{БК}}/P_{\text{л}}$  ртутных трубчатых ламп низкого давления, а также индикатрисы распределения сил излучения в продольной плоскости являются основными параметрами для решения той или иной задачи в медицинской практике, в том числе для обеззараживания воды и воздуха в помещениях ЛПУ. Существует ГОСТ 8.760–211 по методу измерения бактерицидного потока излучения трубчатых ультрафиолетовых ламп размером не более 1,5 м по формуле:

$$\Phi_{\text{БК}} = \Omega E_{\text{БК}} R^2 \quad (1),$$

где  $E_{\text{БК}}$  – бактерицидная облученность на расстоянии  $R$  от центра лампы до радиометра, спектральная чувствительность которого скорректирована с кривой бактерицидного действия УФ излучения (например, радиометра ТКА-UV или АРГУС – 06),  $\Omega$  – геометрический фактор (или телесный угол), определяемый при измере-

нии потока излучения бактерицидных ламп с помощью гониофотометра.

К сожалению, в ГОСТ не указана методика вычисления значения телесного угла. Формула (1) справедлива, когда выполняется закон обратных квадратов, при котором отношение  $R$  к длине светящей части лампы  $L$  составляет не менее 10.

Существующие гониофотометры предназначены только для измерения потока световых источников излучения, а не ультрафиолетовых. Если в гониофотометре установить радиометр, фиксирующий ультрафиолетовое излучение, то можно в **относительных** единицах измерить значения бактерицидного потока  $\Phi_{\text{отн}}$  и максимальной силы излучения  $I_{\text{отн}}$  для трубчатых ламп и вычислить значение телесного по формуле:

$$\Omega = \Phi_{\text{отн}} / I_{\text{отн}}$$

К сожалению, из-за дороговизны оборудования приобрести гониофотометр могут лишь специализированные измерительные лаборатории, для рядовых же лабораторий он недоступен.

На практике выход может быть найден, если предположить, что лампа представляет собой трубчатый излучатель, излучение которого в пространстве подчиняется закону Ламберта, то есть  $I_{\varphi} = I_0 \cos \varphi$ . Тогда телесный угол вычисляется по формуле (2), приведенной в [1] для вычисления значения телесного угла только для трубчатых поверхностных простейших излучателей:

$$\Omega_{\text{ц}} = \Phi_{\text{БК}}/I_0 = 2\pi \int_0^{\pi} \sin^2 \varphi d\varphi = \pi^2 \cdot \text{ср} \quad (2)$$

=  $\pi^2 \cdot \text{ср}$  (стерадиан),

где  $I_0$  – максимальная сила излучения,  $\Phi_{\text{БК}}$  – бактерицидный поток.

Или по формуле (3), приведенной в книге [2]:

$$\Omega_{\text{ц}} = S_{\text{ц}} / R^2 = \pi^2 \cdot \text{ср}, \quad (3)$$

где  $S_{\text{ц}}$  – площадь поверхности цилиндрического тора,  $R$  – расстояние от центра лампы до поверхности тора. При этом поток вычисляется по формуле (1).

Это справедливо для трубчатых ламп с покрытием, например, люминесцентных ламп, у которых индикатриса распределения силы излучения в продольной плоскости описывается окружностью. Для трубчатых ртутных ламп без покрытия колбы это не так. В этом случае, что экспериментально установлено, индикатриса распределения сил излучения в продольной плоскости трубчатых ртутных ламп описывается эллипсом. Как правило, любая рабочая гипотеза является ценной, если она позволяет объяснить или предвидеть результат эксперимента.

Г.Н. Рохлин объяснил причину закономерности расхождения излучения в пространстве между двумя типами трубчатых разрядных ламп. Причина эта заключается в том, что у первой группы ламп разряд не прозрачен для собственного излучения, а у второй – прозрачен, что свидетельствует о малом коэффициенте поглощения излучения в объёме разряда [3]. Это согласуется с объяснением существующего явления академиком А.Л. Арцимовичем [4]: «В противоположность чёрному телу плазма при не слишком большой величине электронной концентрации почти совершенно прозрачна для видимого и ультрафиолетового излучения, а излучение плазмы наружу пропорционально объёму, занимаемому плазмой». Кварцевая или увиолевая колба лампы также пропускает ультрафиолетовое (линию 254 нм) и видимое излучение в существующих бактерицидных излучателях.

Первую группу ламп можно рассматривать, как поверхностные излучатели, а вторую – как объёмные, не подчиняющиеся закону косинуса Ламберта.

На рис. 1 приведены индикатрисы распределения сил излучения в продольной плоскости для двух типов трубчатых ламп. Из рис. 1 видно, что для поверхностных трубчатых излучателей индикатриса распределения сил излучения в продольной плоскости описывается окружностью, а для объёмных – эллипсом, у которого при-

няты «а» – как малая полуось, «в» – как большая полуось. В этом случае для поверхностных излучателей фотометрическое тело представляет собой круговой тор, а для объёмных – эллипсоидальный тор. Продольное сечение для кругового тора – окружность, а для эллипсоидального – эллипс.

Аналитического уравнения для вычисления телесного угла для трубчатых объёмных излучателей не существует. Для решения этой задачи можно воспользоваться формулой (3).

Тогда, учитывая, что периметр эллипса равен  $Y = \pi(a+b)$  [5], получим уравнение для вычисления телесного угла трубчатых объёмных излучателей по формуле:

$$\Omega_3 = S_3 / R^2 = 2\pi a \times \pi(a+b) / (2a)^2 = \pi^2(a+b) / 2a, \text{ ср} \quad (4)$$

Если учесть, что для поверхностного трубчатого излучателя ( $a = b$ ), тогда  $\Omega_{\text{ц}} = \pi^2$  ср.

В книге Г.Н. Рохлина [3] приведено экспериментальное значение телесного угла трубчатых ксеноновых разрядных ламп,  $\Omega_3 = (11-11,5)$ .

В книге [6] приведена таблица 1 экспериментальных значений телесных углов для большинства типов трубчатых ртутных и ксеноновых ультрафиолетовых излучателей, что согласуется с данными Г.Н. Рохлина,

Несущественные расхождения значений телесных углов можно объяснить инструментальной погрешностью. Это случайные ошибки наблюдений, что позволяет сделать вывод о существующей закономерности. Методы математической статистики при многократных наблюдениях ( $n = 6$ ) подчиняются нормальному распределению, при этом наиболее вероятным значением искомой величины является среднееарифметическое значение  $\Omega_3$  из  $n$  наблюдений и вычисляется по формуле:

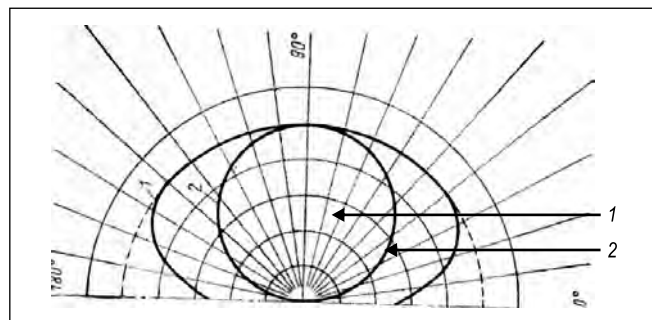
$$\bar{\Omega}_3 = \left( \sum_1^6 \Omega_n \right) / n = 11,305 \text{ ср.}$$

Несмещённое стандартное отклонение определяется по формуле

$$s = \left( \sum_1^6 (\Omega_n - \bar{\Omega}_3)^2 \right) / (n-1)^{0,5} = 0,1525.$$

Верхняя и нижняя границы доверительного интервала, внутри кото-

Рис. 1. Индикатриса сил излучения разрядных трубчатых излучателей в продольной плоскости: люминесцентная лампа (1) и ртутная лампа низкого давления (2)



рого заключено истинное значение  $\bar{\Omega}_3$ , определяются по формулам

$$\Omega_{\text{макс}} = \bar{\Omega}_3 + \Delta\Omega \text{ и}$$

$$\Omega_{\text{мин}} = \bar{\Omega}_3 - \Delta\Omega,$$

где  $\Delta\Omega$  – абсолютная ошибка прямых наблюдений.

Значение  $\Delta\Omega$  определяется по формуле:

$$\Delta\Omega = (t_c \cdot s) / n^{0,5} = (2,58 \cdot 0,1525) / 6^{0,5} = 0,16$$

Где  $t_c$  – коэффициент Стьюдента, значение которого определяется для доверительного интервала как

$$\sigma t_{0,95} = 2((n-1)/(n-3))^{0,5} = 2,58.$$

Тогда верхняя и нижняя границы доверительного интервала равны 11,46 и 11,14 соответственно.

Все результаты наблюдений находятся в этом интервале. Отклонение от среднего значения телесного угла 11,3 составляют менее двух процентов.

Для исключения значения грубого наблюдения, заметно отличающегося от значений серий  $n$  наблюдений, применяют критерий Стьюдента с помощью неравенства

$$(\Omega_6 - \bar{\Omega}_3) / s \leq t_c; (11,5-11,3) / 0,1525 \leq 2,58.$$

Если соблюдается это неравенство, то наблюдение не считается грубым. Относительная ошибка измерений:

$$\sigma(\Omega) = (\Delta\Omega / \bar{\Omega}_3) \cdot 100 = (0,16 / 11,3) \cdot 100 = 1,4 \%$$

Очевидно, целесообразно значение телесного угла для трубчатых объёмных излучателей  $\Omega_3 = 11,3$  ср принять за константу. Это подтверждается и тем, что индикатрисы распределения сил излучения в продольной плоско-

сти подобны для трубчатых объёмных излучателей, так как значения отношений полуосей эллипса практически одинаковы:  $b/a = 1,29; 1,275; 1,3; 1,32; 1,26; 1,33$ .

Тогда истинное значение потока вычисляется по формуле (1):

$$\Phi_{\text{БК}} = 11,3 E_{\text{БК}} R^2$$

при соблюдении закона обратных квадратов.

В реальных условиях выполнить это требование практически невозможно из-за больших габаритных размеров трубчатых излучателей. Какое же плечо должен иметь гониофотометр?

В.В. Мешков приводит в книге [7] формулу, которая при несоблюдении закона обратных квадратов позволяет определить освещённость от светящей линии конечных размеров при условии, что длина светящей части много больше, чем её диаметр. Такая формула применяется и за рубежом [8]. Эту формулу можно преобразовать для вычисления истинного значения бактерицидно потока излучения трубчатых ртутных ламп низкого давления:

$$\Phi_{\text{БК}} = 2 \Omega_3 L R E_{\text{БК}} / (2\sigma + \sin 2\sigma) \quad (5)$$

где:

$\Omega_3 = 11,3$  – телесный угол для трубчатых ртутных ламп низкого давления, ср;

$\sigma = \arctg L / 2R$ , град;

$\sigma = \arctg L / 2 \ell R_* \pi / 180$ , рад;

$E_{\text{БК}}$  – бактерицидная облученность на расстоянии  $R$  от центра лампы до радиометра;

$L$  – длина светящей части лампы, м.

С целью упрощения вычислений можно воспользоваться программной электронной таблицей Excel.

В рабочий бланк таблицы заносятся следующие данные:

▪ В ячейку A1 – длина светящей части лампы в метрах, в ячейку A2 –



## Экспериментальные значения телесных углов для трубчатых объемных излучателей по формуле (4)

Тип излучателя	Малая полуось эллипса, отн. ед.	Большая полуось эллипса, отн. ед.	Телесный угол ( $\Omega_3$ ), ср
ДРТ-250, ртутная лампа высокого давления. Кварцевая	1,75	2,25	11,27
ДРТ-400, ртутная лампа высокого давления. Кварцевая	4	5,1	11,2
ДБ-30, ртутная лампа низкого давления, Увиолевая	5	6,5	11,3
ИСПТ-6000, ксеноновая импульсная лампа. Кварцевая	4,3	5,7	11,46
ИСПТ-2000, ксеноновая импульсная лампа. Кварцевая	3,5	4,38	11,1
ДКсТ-10000, ксеноновая лампа. Кварцевая	3	4	11,5

расстояние от центра лампы до радиометра в метрах, в ячейку А3 – облучённость на радиометре в Вт/м<sup>2</sup>;

▪ Записывается формула (5) в формате *Excel* для объёмных облучателей –

$$A1 * A2 * A3 * 11, \\ 3 / (ATAN(A1 / (2 * A2))) + \\ + (SIN(2 * ATAN(A1 / (2 * A2)))) / 2).$$

В результате вычислений по формуле в *Excel* появится значение бактерицидного потока лампы в бактерицидных ваттах. Для поверхностного излучателя полученный результат необходимо разделить на 11,3 и умножить на  $\pi^2$ . Исходные данные в ячейках можно изменять в процессе измерения, для получения результата нужно только нажимать *Enter*.

При проведении измерений необходимо выполнить следующие условия:

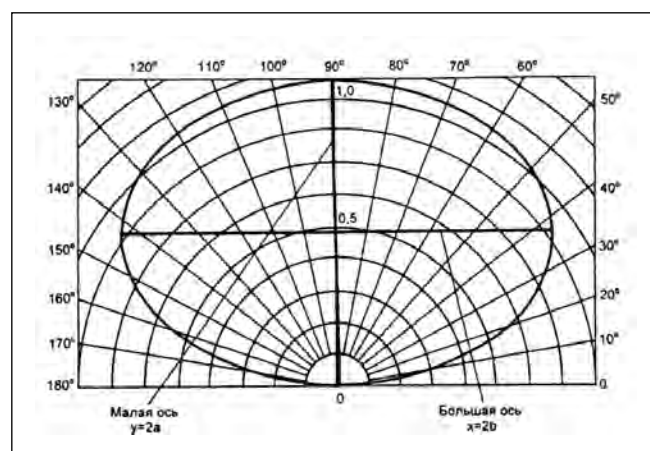
▪ стены помещения, в котором проводятся измерения, должны быть выкрашены чёрной краской, поглощающей УФ излучение.

▪ для исключения фонового излучения от стен, влияющего на результат (на что обратили внимание авторы статьи [9]) можно рекомендовать защитные экраны, исключающие облучение радиометра.

Это позволяет проводить измерения большинства трубчатых бактерицидных ламп, выпускаемых промышленностью, длиной не более 1,5, например, ДБК100 или ДБ 75–2.

Для измерения бактерицидных ламп с большей длиной приводится методика с применением диафрагм Алекса Воронова из компании Хериус [10]. При этой методике в центре светящей части лампы длиной  $L$  выделяется участок  $t$  малого размера. Остальная часть светящей лампы

Рис. 2. Индикатриса сил излучения в продольной плоскости ртутной лампы высокого давления ДРТ-400



экранируется. В этом случае бактерицидный поток лампы вычисляется по формуле:  $\Phi_{\text{БК}} = \Omega E_{\text{БК}} R^2 \cdot L / t$ . Автор допускает, что некоторые трубчатые бактерицидные лампы являются поверхностными ламбертовскими излучателями, за счёт конструктивных и технологических приемов. Доказательством этого может служить только индикатриса распределения сил излучения, которая является окружностью, и тогда телесный угол  $\Omega = \pi^2$  ср. Доказательств нет.

В таблице 1 приведён перечень широко применяемых бактерицидных ламп – кварцевых, увиолевых низкого и высокого давления, импульсных и постоянного горения. У всех перечисленных ламп индикатриса распределения сил излучения в продольной плоскости имеет форму эллипса. В этом случае телесный угол равен  $\Omega = 11,3$  ср. Объяснение этому см. выше. На рис. 2 приведена индикатриса распределения сил излучения в продольной плоскости лампы ДРТ – 400 [11].

Предлагаемая методика обладает ещё одним недостатком.

Известно, что светимость по длине светящей части лампы снижается от центра к краям в приэлектродную область [3, 9]. В процессе работы лампы свечение в приэлектродной области снижается более интенсивно, чем в центральной области, за счёт распыления электродов. Это приводит к ошибочным результатам при проведении стендовых испытаний ламп для определения действительного срока службы.

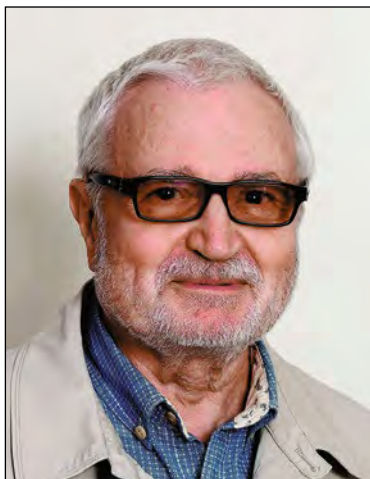
Это положение может быть исправлено за счёт увеличения размера  $t$  до половинного размера светящей части лампы, а результат измерения необходимо умножить на 2. При этом должен соблюдаться закон обратных квадратов.

Из вышеизложенного следует, что если при измерениях в расчётах использовать значение телесного угла для разрядных ртутных трубчатых объёмных излучателей  $\pi^2$ , как это принято сейчас, а не 11,3, то это почти на 15 % уменьшит истинное значение бактерицидного потока лампы. Заниженное значение бактерицидного потока лампы приведёт на практике к увеличению энергозатрат.

## Владимиру Михайловичу Пятигорскому – 80 лет!

2 февраля 80-летний юбилей отметил Владимир Михайлович Пятигорский – ведущий специалист светотехнической отрасли, кандидат технических наук, главный конструктор ВНИСИ им. С.И. Вавилова, лауреат Государственной премии РФ.

В.М. Пятигорский начал свой профессиональный путь в 1956 г. электромонтажником на заводе «Прожектор», затем – служба в армии, учёба в МЭИ. В 1968 г. Владимир Михайлович поступил на работу во Всесоюзный научно-исследовательский светотехнический институт (ВНИСИ), где прошёл путь от инженера до заведующего лабораторией. Под его руководством и при непосредственном участии разработаны световые приборы для общественных и промышленных зданий, больниц, спортивных сооружений. Эти приборы выпускались большими партиями на Ардатовском, Рижском и Московском опытных светотехнических заводах, ПО «Ватра» (г. Тернополь). Когда под руководством Ю.Б. Айзенберга начало развиваться новое направление в области световых прибо-



ров – осветительные устройства со щелевыми световодами, одним из неумолимых участников развития этого направления стал В.М. Пятигорский, став генератором многих идей, которые воплотились в схемы и конструкции осветительных устройств со световодами.

Важнейшими в государственном масштабе работами лаборатории под руководством В.М. Пятигорского стали освещение 320 взрывоопасных насосных станций нефтепровода «Дружба» и освещение всех помещений заводов по изготовлению взрывчатых веществ, что привело к прекращению взрывов на таких предприятиях.

В соавторстве с другими специалистами В.М. Пятигорским сделано 22 изобретения, из них семь были защищены патентами США, Великобритании, Германии, Франции, Италии и Японии.

На профессиональном счету Владимира Михайловича – проектные работы по художественному освещению более 350 зданий и архитектурных комплексов столицы, ведущее участие в создании концепции единой цветоцветовой среды г. Москвы. В.М. Пятигорский является автором более 100 научных публикаций, многократным лауреатом технических выставок, за работы по освещению г. Москвы награжден Международной академией общественных наук медалью «Честь и польза», а коллектив ООО «ВНИСИ» грамотой «За обустройство земли Российской».

Коллектив ВНИСИ им. С.И. Вавилова, редакция и редколлегия журнала «Светотехника», коллеги и друзья поздравляют Владимира Михайловича с Юбилеем и желают ему многих сил и энергии на новые замечательные свершения в светотехнике!

### Выводы

1. Предложенная методика измерения потока излучения трубчатых разрядных ламп по формуле В.В. Мешкова применима как для поверхностных, так и для трубчатых объёмных излучателей (люминесцентных, эритемных и бактерицидных ламп).

2. Действующий ГОСТ 8.760–2011 «Измерение энергетических эффективных характеристик ультрафиолетового излучения бактерицидных облучателей» устарел и не отвечает современным научным и техническим достижениям в области создания но-

вых видов поверхностных и объёмных трубчатых ультрафиолетовых разрядных ламп, широко применяемых на практике. Необходима новая редакция ГОСТ.

3. С целью сохранения единства измерения бактерицидного потока массового источника ультрафиолетового излучения – ультрафиолетовых трубчатых ртутных ламп низкого давления – необходимо создание образцового эталона (ультрафиолетовой нормали) для хранения и рабочих эталонов для измерительных лабораторий.

Автор искренне благодарит С.Г. Ашуркова за полезную дискус-

сию по обсуждению статьи и рецензента за полезные замечания и советы, учтённые при корректировке статьи.



Вассерман Александр Львович, кандидат технических наук. Окончил электрофизический факультет ВЗЭИ в 1957 г. Консультант ООО НПВФ «Кумарин»

# Анализ светового поля в флуоресцирующих оптических слоях с квантовыми точками на основе $CdSe/CdS/ZnS$

С.А. ПАВЛОВ\*, А.С. ПАВЛОВ, Е.Ю. МАКСИМОВА\*\*, А.В. АЛЕКСЕЕНКО, А.В. ПАВЛОВ, Е.М. АНТИПОВ

РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва

E-mail: chemlab.info@yandex.ru\*, maksimovalkm@yandex.ru\*\*

## Аннотация

На основе трёхпоточкового приближения рассмотрена структура светового поля в флуоресцирующем слое, содержащем квантовые точки на основе  $CdSe/CdS/ZnS$  и служащие трансдьюсером<sup>1</sup> в оптическом люминесцентном сенсоре. Система дифференциальных уравнений трёхпоточкового приближения решена численными методами. Установлено, что общий коэффициент диффузного отражения<sup>2</sup> слоя экстремально зависит от концентрации квантовых точек в нём и его физической толщины. Определены оптимальные параметры слоя, необходимые для формирования максимального аналитического сигнала.

**Ключевые слова:** оптические сенсоры, фотолюминесценция, квантовые точки, оптика флуоресцирующего слоя

Одним из направлений развития современной аналитической химии является разработка сенсорных устройств, позволяющих оперативно проводить анализы с высокой чувствительностью в режиме реального времени и минимальной пробоподготовкой. Устройства такого типа находят всё более широкое применение в медицине, биологии, биохимии и экологии [1–3] как для анализа газовых, так и жидких сред. Особый интерес представляют оптические люминесцентные сенсоры, которые отличаются чрезвычайной простотой, универсальностью, высокой чувствительностью и точностью измерений.

Разработка современных методов синтеза новых типов полупроводниковых коллоидных люминофоров на основе халькогенидов кадмия и цинка типа  $CdSe/CdS/ZnS$  – т.н. «квантовые точки» (КТ) – открыла новые перспективы в создании поколения оптических сенсорных устройств подобного типа. Эти вещества обладают целым рядом уникальных оптических и физико-химических свойств, и в первую очередь таких, как высокая фотостабильность и энергоэффективная флуоресценция в видимом и ближнем ИК диапазонах спектра.

Важной особенностью рассматриваемых КТ является сильная зависимость их флуоресцентных свойств от химического окружения. К примеру, опытным путём было установлено, что эти свойства весьма чувствительны к межфазным процессам, протекающим при адсорбции на поверхности КТ молекулярного кислорода, воды, аммиака, хлористого водорода, пероксида водорода, молекулярных брома и иода и многих др. веществ (см., напр., [4–7]). Несмотря на большую практическую важность, механизмы

<sup>1</sup> Трансдьюсер – устройство, преобразующее наблюдаемые изменения (физической или химической природы) в измеряемый сигнал [1].

<sup>2</sup> Подразумевается, что все светотехнические величины в статье – спектральные. – Прим. ред.

процессов тушения флуоресценции в большинстве систем подобного типа в настоящее время изучены слабо [8], но это не особенно мешает использованию КТ в интересующих нас целях. Кроме того, мы установили, что существенным изменениям в разных средах подвергается не только уровень флуоресцентного излучения, но и электрофизические свойства (в частности, диэлектрические потери, диэлектрическая проницаемость, проводимость) [9].

Наиболее интересны для применения в сенсорах – процессы тушения флуоресценции, которые снижают испускание излучения чувствительным слоем. К числу наиболее эффективных тушителей относятся ионы тяжёлых металлов, галогены в молекулярной форме, парамагнитные ионы и молекулы, а также акцепторы электронного возбуждения [10]. Эффект тушения флуоресценции молекулярным йодом  $I_2$  был использован нами для разработки люминесцентного сенсора на этом соединении [11]. Эффекты тушения были использованы и в конструкциях сенсоров для анализа целого ряда химических соединений: пероксида водорода, ионов тяжёлых металлов, молекул галогенидов, красителей, полярных растворителей и многих других.

При создании чувствительного элемента сенсора КТ вводятся в подходящие матрицы (как полимерные, так и пористые неорганические). Подготовленные чувстви-

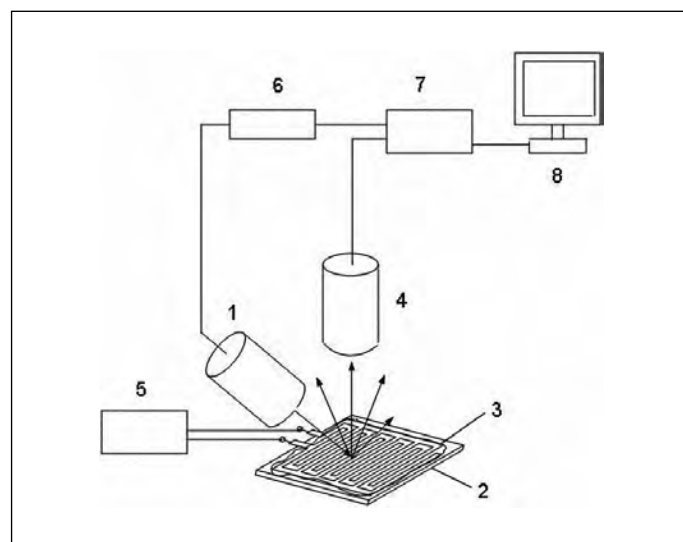


Рис. 1. Схема люминесцентного сенсора для одновременных измерений яркости излучения и ряда электрофизических параметров флуоресцирующего чувствительного слоя: 1 – источник возбуждающего излучения; 2 – компланарная ячейка встречной структуры на нейтральной подложке; 3 – нанесённый чувствительный слой; 4 – приёмник рассеянного излучения; 5 – измеритель диэлектрических характеристик; 6 – блок управления источником возбуждающего излучения (светодиодом или лазером); 7 – спектрометр; 8 – компьютер

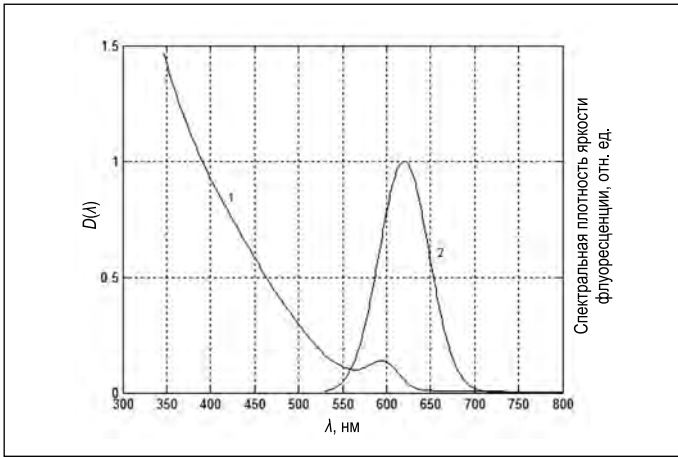


Рис. 2. Спектральная оптическая плотность (1) и спектральная плотность яркости флуоресцентного излучения (2) чувствительного слоя на основе плёнки фторсодержащего полимера, содержащего квантовые точки CdSe/CdS/ZnS

тельные слои должны помещаться в измерительную ячейку, позволяющую проводить возбуждение и регистрацию фотолюминесценции, а также, возможно, изучать некоторые другие их свойства, такие как электрические и диэлектрические: диэлектрическую проницаемость, проводимость, диэлектрические потери. Принципиально здесь то, что чувствительный слой должен быть доступен для целевых внешних воздействий, таких как контактирование с анализируемой газовой или жидкой средой и облучение возбуждающим излучением, а также для корректной регистрации испускаемого излучения. В качестве источника возбуждающего излучения может использоваться лазер или светодиод с необходимой длиной волны излучения. Типичная конструктивная схема сенсора приведена на рис. 1.

Настоящая работа посвящена расчёту световых полей в чувствительном слое трансдьюсера с целью определения оптических характеристик, необходимых для получения оптимального аналитического сигнала, таких как концентрация фотоактивного компонента, оптическая толщина слоя, яркость возбуждающего излучения, способность к светорассеянию и условия отражения от границ слоя. Целевым параметром здесь является яркость испускаемого (восходящего) излучения в направлении приёмника излучения.

Далее, для получения яркости излучения, отражённого от плоскопараллельного оптического слоя, используем некоторые представления «многопоточкового приближения». Так, для нелюминесцирующего бесконечного плоскопараллельного слоя можно использовать «двухпоточковое приближение», предложенное М.М. Гуревичем [12] и затем развитое П. Кубелкой и Ф. Мунком [13], в котором поле может быть описано системой дифференциальных уравнений вида

$$\begin{aligned} \frac{dI_1(x)}{dx} &= -(k+s)I_1 + sI_2(x), \\ \frac{dI_2(x)}{dx} &= sI_1(x) - (k+s)I_2(x). \end{aligned} \quad (1)$$

где  $k$  и  $s$  – показатели поглощения и рассеяния,  $I_1(x)$  и  $I_2(x)$  – яркости нисходящего (падающего) и восходящего излучений внутри слоя, в плоскости с координатой  $x$ .

При этом система (1) имеет аналитическое решение [14], которое даёт, в частности, общий коэффициент отражения плоского слоя  $\mu$  с физической толщиной  $d$ :

$$\ln \frac{(\mu - a - \sqrt{a^2 - 1})(\mu' - a + \sqrt{a^2 - 1})}{(\mu' - a - \sqrt{a^2 - 1})(\mu - a + \sqrt{a^2 - 1})} = 2kd\sqrt{a^2 - 1},$$

где  $\mu'$  – коэффициент отражения верхней поверхности слоя и  $a = 1 + s/k$ .

Далее обратимся к трёхпоточковой модели Кубелки–Мунка, в которой распределение излучения в среде (слое) представлено в виде дифференциально-разностных уравнений для трёх слагаемых этого излучения, согласно [15, 16]:

$$\begin{aligned} \frac{dF_1(x)}{dx} &= -(k+s)F_1(x); \\ \frac{dF_2(x)}{dx} &= -\left\{2k + \frac{3}{4}[k+s(1-g)]\right\}F_2(x) + \\ &+ \frac{3}{4}[k+s(1-g)]F_3(x) + \frac{s}{4}(2+3g)F_1(x); \\ \frac{dF_3(x)}{dx} &= \left\{2k + \frac{3}{4}[k+s(1-g)]\right\}F_3(x) - \\ &- \frac{3}{4}[k+s(1-g)]F_2(x) - \frac{s}{4}(2-3g)F_1(x), \end{aligned} \quad (2)$$

где  $F_1(x)$  – яркость коллимированного возбуждающего нисходящего излучения,  $F_2(x)$  – яркость рассеянного нисходящего излучения,  $F_3(x)$  – яркость рассеянного восходящего излучения,  $g$  – фактор анизотропии рассеяния.

Граничные условия для этой системы имеют следующий вид:

$$F_1(0) = (1 - r_{1,фр})F_{10};$$

$$F_2(0) = (1 - r_{1,фр})F_{10} + r_{вн}F_3(d);$$

$$F_3(d) = r_{вн}F_2(d),$$

где  $F_{10}$  – яркость коллимированного возбуждающего нисходящего излучения на верхней границе слоя,  $F_3(0)$  – яркость рассеянного восходящего излучения у верхней границы слоя,  $F_2(d)$  – яркость рассеянного нисходящего излучения у нижней границы слоя,  $r_{1,фр}$  – коэффициент френелевского отражения,  $r_{вн}$  – коэффициент внутреннего отражения от обеих границ слоя.

Важно отметить, что в отличие от системы (1) система (2) не имеет аналитического решения, и входящие в неё коэффициенты отражения могут быть рассчитаны по соответствующим формулам Френеля [17].

Введение люминофора в слой существенно усложняет распределение излучения в нём. При этом систему уравнений (2) следует дополнить слагаемым  $f(x)$ :

$$f(x) = \frac{1}{2} k_1 f \cdot [F_1(x) + F_2(x) + F_3(x)],$$

где  $k_1$  – коэффициент поглощения на длине волны возбуждения флуоресценции,  $f$  – квантовый выход флуоресценции.

Можно отметить, что введение в качестве фотоактивного компонента КТ приводит к возникновению интенсивного поглощения в синей области спектра. При этом пик испускания излучения в использованной фторполимерной матрице находится вблизи полосы экситонного поглощения (рис. 2). Добавление флуоресцентной составляющей к системе уравнений (2) приводит к следующему результату:

$$\begin{aligned} \frac{dF_1(x)}{dx} &= -(k+s)F_1(x), \\ \frac{dF_2(x)}{dx} &= -\{2k + \frac{3}{4}[k+s(1-g)]\}F_2(x) + \\ &+ \frac{3}{4}[k+s(1-g)]F_3(x) + \frac{s}{4}(2+3g)F_1(x) + \\ &+ \frac{1}{2}fk_1[F_1(x) + F_2(x) + F_3(x)], \\ \frac{dF_3(x)}{dx} &= \{2k + \frac{3}{4}[k+s(1-g)]\}F_3(x) - \\ &- \frac{3}{4}[k+s(1-g)]F_2(x) - \frac{s}{4}(2-3g)F_1(x) + \\ &+ \frac{1}{2}f \cdot k_1[F_1(x) + F_2(x) + F_3(x)]. \end{aligned} \quad (3)$$

Аналитическое решение системы уравнений (3) невозможно, и его численное решение проводилось в среде программирования «MATLAB» с использованием процедуры «ode45» с заложенной по умолчанию относительной точностью 0,1 %. (Процедуры решения систем дифференциальных уравнений в этой среде хорошо известны [18].)

Анализ распределения излучения в люминесцирующем слое, в частности, позволил нам оптимизировать свето-конверсионные слои, используемые в качестве укрытых материалов [19], и получить основные закономерности формирования цветности излучения оптических материалов, содержащих КТ на основе CdSe/CdS/ZnS с разной длиной волны испускаемого излучения [20]. Результаты вычислений, выполненных в данной работе, в частности, показывают, что «аналитическая» (полезная) функция  $F_3(x)$  имеет экстремальный характер (рис. 3). В примере, приведённом на рис. 4, уровень соответствующего аналитического сигнала, характеризуемого значением  $F_3(0)$ ,

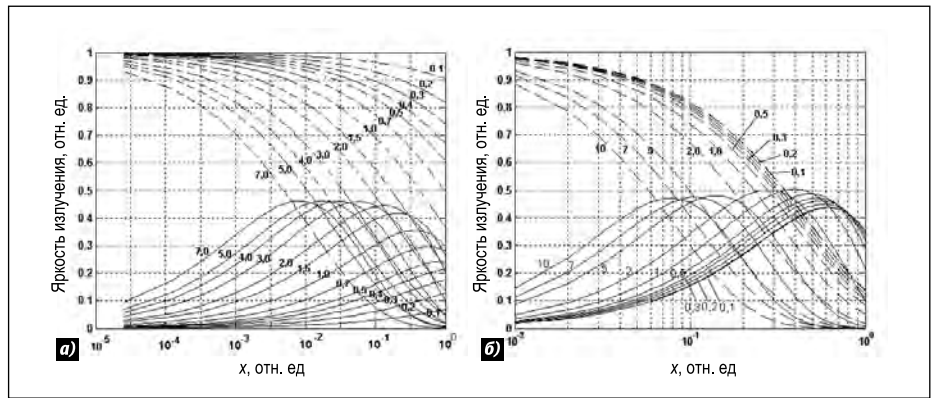


Рис. 3. Световое поле в нерассеивающем,  $s = 0 \text{ мм}^{-1}$ , (а) и рассеивающем,  $s = 2 \text{ мм}^{-1}$ , (б) люминесцирующих слоях. Пунктирные линии – кривые яркости коллимированного возбуждающего нисходящего излучения  $F_1(x)$ , сплошные линии – кривые яркости рассеянного восходящего излучения  $F_3(x)$ , формирующего полезный аналитический сигнал трансдьюсера. Числа у кривых – соответствующие значения  $k$  (в  $\text{мм}^{-1}$ ).

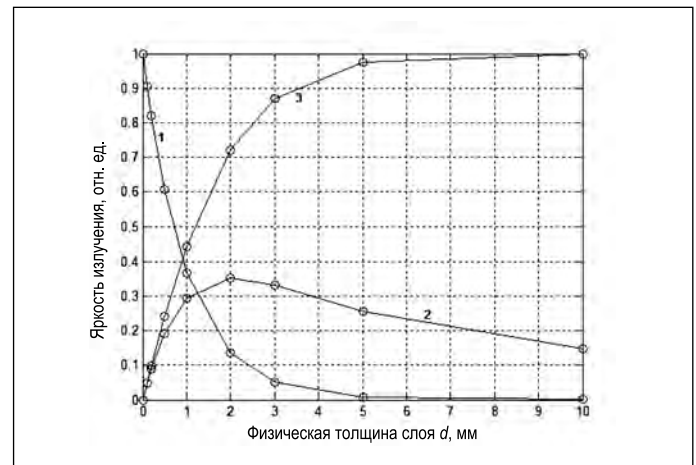


Рис. 4. Зависимости «граничных» яркостей излучения  $F_1(d)$  (1),  $F_3(0)$  (2) и  $F_2(d)$  (3) от физической толщины слоя  $d$

максимален при физической толщине слоя 2 мм. (Увеличение толщины больше этого значения приводит к падению амплитуды сигнала, что представляется важным для разработки люминесцентных сенсоров.)

Проведённые расчёты показывают, что для усиления сигнала необходимо оптимизировать значение  $s$ , что практически вполне достижимо, так как для эффективной работы трансдьюсера требуется, чтобы матрица была пористой. Учёт поглощения возбуждающего излучения фотоактивным компонентом, а также люминесцентного потока, показывает, что  $F_3(0)$  экстремальным образом зависит как от концентрации КТ в матрице, так и от  $d$ . Измерения с помощью сенсора с чувствительным слоем на основе пористого фторсодержащего сополимера показали оптимальность концентрации КТ в 1,5 мг/г при толщине чувствительного слоя 2 мм. Увеличение концентрации фотоактивного компонента и  $d$  по сравнению с этими значениями приводит к уменьшению  $F_3(0)$ , т.е. общей отражающей способности слоя.

## Заключение

1. Проведён анализ светового поля в чувствительном элементе люминесцентного сенсора на квантовых точках

*CdSe/CdS/ZnS*. Для анализа была использована расчётная схема на основе системы трёх дифференциальных уравнений, учитывающая яркости нисходящего возбуждающего, нисходящего рассеянного и общего восходящего излучения.

2. Разработаны численные методы решения системы уравнений и определена структура светового поля в слое. Установлены основные закономерности формирования яркости общего восходящего излучения, которое должно использоваться для формирования аналитического сигнала сенсора.

3. Установлено, что яркость общего восходящего излучения слоя экстремальным образом зависит как от концентрации КТ в материале, так и от физической толщины чувствительного слоя. Предложены оптимальные размеры чувствительного слоя, необходимые для его эффективно применения в качестве трансдьюсера.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ. Соглашение о предоставлении субсидии 14.574.21.0185 (уникальный идентификатор прикладных научных исследований (проекта) RFMEFI57417X0185).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Эткинс Б.* Химические и биологические сенсоры. – М.: Техносфера, 2005.
2. Биосенсоры: Основы и приложения / Под ред. Э. Тёрнер, И. Карубе и Дж. Уилсон. – М.: Мир, 1992.
3. *Отто М.* Современные методы аналитической химии (в 2-х томах). – М.: Техносфера, 2004, 416 с. (т. 1), 288 с. (т. 2).
4. *Cordero S.R., Carson P.J., Estabrook R.A., Strouse G.F., Buratto S.K.* Photo-Activated Luminescence of CdSe Quantum Dot Monolayers // *J. Phys. Chem. B.* – 2000. – Vol. 104. – P. 12137–12142.
5. *Uematsu T., Maenosono S., Yamaguchi Y.* Photoinduced fluorescence enhancement in CdSe/ZnS quantum dot submonolayers sandwiched between insulating layers: influence of dot proximity // *J. Phys. Chem. B.* – 2005. – Vol. 109. – P. 8613–8618.
6. *Pechstedt K., Whittle T., Baumberg J., Melvin T.* Photoluminescence of colloidal CdSe/ZnS quantum dots: the critical effect of water molecules // *J. Phys. Chem. C.* – 2010. – Vol. 114, No. 28. – P. 12069–12077.

7. *Ito Y., Matsuda K., Kanemitsu D.* Photoluminescence intermittency in single CdSe nanoparticles: environment dependence // *J. Lumin.* – 2008. – Vol. 128, No. 5–6. – P. 868–870.

8. Неравновесные процессы в сенсорных структурах / Под ред. В.А. Смытныны. – Одесса: ОНУ, 2015.

9. *Павлов С.А., Павлов А.С., Максимова Е.Ю., Алексеенко А.В., Павлов А.В., Антипов Е.М.* Использование квантовых точек на основе CdSe/CdS/ZnS в компланарных ёмкостных структурах для оптических датчиков жидких и газовых средах<sup>3</sup> // *Прикладная физика.* – 2018. – № 3. – С. 27–32.

10. *Владимиров Ю.А., Потапенко А.Я.* Физико-химические основы фотобиологических процессов. – М.: Высш. школа, 1989. – 199 с.

11. *Павлов С.А., Павлов А.С., Максимова Е.Ю., Алексеенко А.В., Павлов А.В., Антипов Е.М.* Люминесцентный сенсор на квантовых точках CdSe/CdS/ZnS для анализа I<sub>2</sub> в газовых и водно-спиртовых средах // *Прикладная физика.* – 2018. – № 5 (в печати).

12. *Gurevich M.* Ueber eine Rationelle Klassifikation der Lichtstreuenden Medien // *Physik. Zeitschr.* – 1930. – Bd. 31. – S. 753–763.

13. *Simonot L., Thoury M., Delaney J.* Extension of the Kubelka-Munk theory for fluorescent turbid media to a nonopaque layer on a background // *J. Opt. Soc. Am. A.* – 2011. – Vol. 28, No. 7. – P. 1349–1357.

14. *Kubelka P., Munk F.* Ein Beitrag zur optic der farbanstriche // *Z. Techn. Phys.* – 1931. – Bd. 12, Nr. 11a. – P. 593–601.

15. *Гираев К.М., Ашурбеков Н.А., Кобзев О.В.* Оптическое исследование биотканей: определение показателей поглощения и рассеяния // *Письма в ЖТФ.* – 2003. – Т. 29, № 21. – С. 48–52.

16. *Remisowsky A.M.V., McClendon J.H., Fuhkansky L.* Estimation of the optical parameters and light gradients in leaves: multi-flux versus two-flux treatment // *Photochemistry and Photobiology.* – 1992. – Vol. 55, No. 6. – P. 857–865.

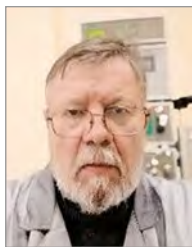
17. *Кизель В.А.* Отражение света. – М.: Наука, 1973. – 351 с.

18. *Шампайн Л.Ф., Гладвел И., Томпсон С.* Решение обыкновенных дифференциальных уравнений с использованием MATLAB. – СПб [и др.]: Лань, 2009. – 299 с.

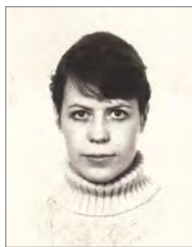
19. *Павлов С.А., Корякин С.Л., Шерстнева Е.Ю., Максимова Е.Ю., Антипов Е.М.* Высокоэффективные укрывные материалы с квантовыми точками для теплиц // *Светотехника.* – 2018. – № 1. – С. 62–68.

20. *Антипов Е.М., Корякин С.Л., Максимова Е.Ю., Павлов С.А., Шерстнева Н.Е.* Особенности формирования цветности излучения дисперсий квантовых точек CdSe/CdS/ZnS в многокомпонентных системах // *Светотехника.* – 2017. – № 4. – С. 31–34.

<sup>3</sup> Название публикации сохранено. – Прим. ред.



**Павлов Сергей Алексеевич**, доктор хим. наук, профессор. Окончил в 1976 г. РХТУ им. Д.И. Менделеева. Гл. специалист кафедры ЛКМ этого вуза



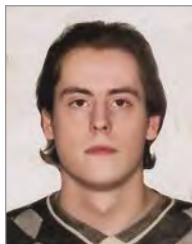
**Максимова Елена Юрьевна**, химик-технолог. Окончила в 1982 г. РХТУ им. Д.И. Менделеева. Зав. лабораторией кафедры ЛКМ этого вуза



**Павлов Александр Валерьевич**, химик-технолог. Ассистент кафедры ЛКМ РХТУ им. Д.И. Менделеева



**Павлов Алексей Сергеевич**, кандидат хим. наук. Инженер первой категории кафедры ЛКМ РХТУ им. Д.И. Менделеева



**Алексеенко Антон Владимирович**, химик-технолог. Инженер первой категории кафедры ЛКМ РХТУ им. Д.И. Менделеева



**Антипов Евгений Михайлович**, доктор хим. наук, профессор. Окончил в 1972 г. МИФИ. Зав. кафедрой ЛКМ РХТУ им. Д.И. Менделеева

# 70 лет труда и света

## К Юбилею Ардатовского светотехнического завода

Акционерное общество «Ардатовский светотехнический завод» является одной из крупнейших светотехнических компаний России. Основным направлением деятельности является производство и реализация световых приборов для общественного, промышленного, уличного и специального освещения.

Предприятие основано в 1949 году как «Государственный союзный светотехнический завод». Завод создавался в посёлке Тургенево Ардатовского района Мордовской АССР на площадях действующей мукомольной мельницы, функционировавшей с XIX века. Готовую продукцию вывозили до ближайших железнодорожных станции Алатырь и Ардатов, а в 1961 г. при участии завода был построен разъезд «Светотехника» Горьковской железной дороги. С 1960 года завод определён как «головное предприятие в стране по разработке и производству светильников с газоразрядными, в том числе люминесцентными, лампами для освещения производственных помещений». В середине 1990-х гг. освоено производство массовых люминесцентных светильников из экструзионных и литьевых полимеров. В 2010-х гг. номенклатура выпускаемых изделий существенно расширена за счёт светильников со светодиодами.

Генеральный директор АСТЗ Григорий Васильевич Аверьянов: «Для работников предприятия завод больше, чем просто работа. Это жизнь. Со своими сложностями, со своими победами. Сегодня мы по-прежнему уверенно смотрим в будущее!».

Сейчас АСТЗ – это сложный производственный комплекс: предприятие осуществляет весь цикл создания осветительных приборов от исследований и разработки до производства и реализации готовой продукции. Производство сертифицировано по ISO 9001, у завода имеется научно-технический центр и собст-

венная сертифицированная лаборатория. Ассортимент продукции АСТЗ включает в себя более 2500 моделей светильников со светодиодами, ГЛВД и ЛЛ Т5/Т8, с блоками аварийного питания, системами управления освещением.

Большое внимание на предприятии уделяется качеству. Вся продукция сертифицирована ЕврАзЭС. Базовая гарантия на серийно выпускаемые светильники составляет не менее трёх лет. Применение высококачественных материалов и комплектующих, использование опыта квалифицированных инженеров и рабочих обеспечивает продолжительный срок службы изделий.

Постоянно обновляется парк оборудования завода. На сегодняшний день АСТЗ располагает высокопроизводительным оборудованием по литью алюминия, обработке полимеров, покраске, сборке СД модулей. Особое внимание уделяется инструментальному производству, где есть возможность как единичного, так и серийного изготовления деталей различной конфигурации и сложности, оснастки и инструмента.

Предприятие входит в профессиональные ассоциации, поддерживает постоянный контакт и устойчивые деловые связи с ведущими производителями источников света, ПРА и оптических систем: *Philips, OSRAM, Ledil* и другими. Развивая и преумножая опыт и традиции, завод работает на перспективу.

Производство на Ардатовском светотехническом заводе всегда было ориентировано на серьёзный промышленный свет. Сейчас в производстве находятся несколько десятков серий светильников для промышленных предприятий: пылевлагозащищенный ДСП51 *Leader* выпускается из трудногорючего поликарбоната, уникальная технология экструзии полимеров позволяет массово производить популярные ДСП52 *Optima*, а светильники серии ДСП04 *Star*, ДСП15 *Kosmos* и перспективные модульные светильники позволяют закрыть любую потребность для освещения производственных



Рис. 2. Генеральный директор АСТЗ Г.В. Аверьянов

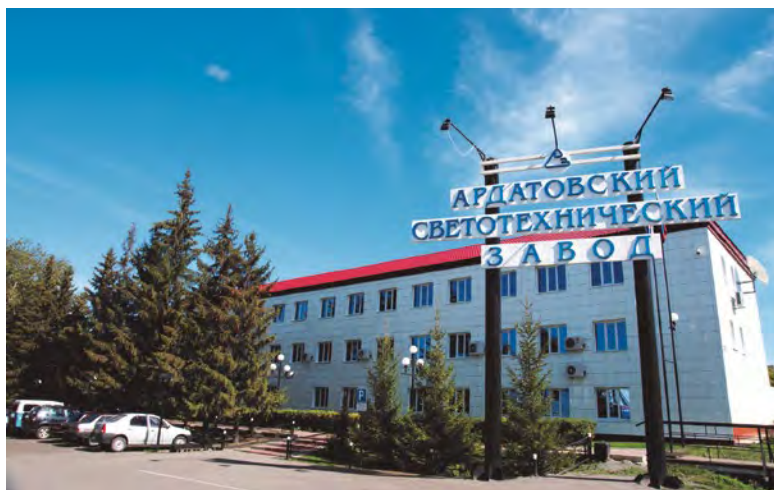


Рис. 1. Здание Ардатовского светотехнического завода

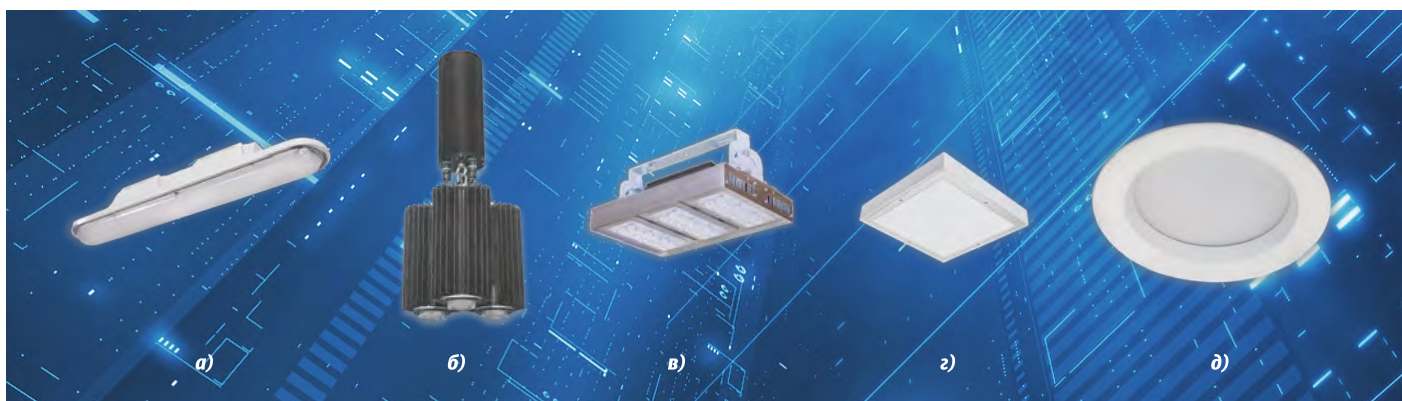


Рис. 3. Продукция АСТЗ: светильники для промышленных и производственных помещений ДСП51 (а), ДСП04-300 (б), ДСП15-160 (в) и светильники для общественных, образовательных и медицинских помещений ДПО15-38 (е) и ДВО59 (д)

цехов и складов. Освоено производство СД светильников для экстремальных условий эксплуатации, взрывозащищённых приборов.

Немало современных энергоэффективных приборов АСТЗ применяется в освещении общественных помещений, образовательных и медицинских учреждений. Серии светильников ДВО/ДПО12 *Opal*, ДВО/ДПО15 *WP*, ДВО59 *DLU* пользуются устойчивой популярностью. Большое внимание уделяется световым приборам, интегрируемым в системы управления освещением. Особое место занимают светильники с индексом *RW* (в сериях ДВО11 *Frost*, ДПО48 *Prime*) с изменяемой цветовой температурой, предназначенные для реализации сценариев биодинамического человекоориентированного освещения.

В Саранске, в одном из центров отечественной светотехники, находятся научно-технические и коммерческие подразделения АСТЗ, производственная площадка дочернего предприятия «Завод Световых Приборов». Последние годы ведётся активная разработка светодиодных светильников, их внедрение в производство, продвижение на рынок.

С.Д. Богатырёв, к.т.н., директор по развитию АСТЗ: «У нашего подразделения по развитию светодиодного освещения на счету не одна сотня разработанных изделий. Большинство из них внедрено в серийное производство. Одно



Рис. 4. Светильник ДСП65 в теплице



Рис. 5. Производственная площадка «Завод Световых Приборов» в Саранске

из перспективных направлений – биоэффективное освещение, в частности облучатели для светокультуры в тепличных хозяйствах».

Осуществляется полноценная техническая поддержка. Региональные представители (в Москве, Санкт-Петербурге, Алматы, Астане, Минске, Екатеринбурге, Новосибирске, Ростове-на-Дону, Краснодаре, Волгограде, Нижнем Новгороде, Казани, Самаре, Уфе, Тюмени, Белгороде, Пензе, Саранске) участвуют в реализации конкретных проектов. Осуществляется подбор оборудования, светотехнические расчёты, разработка нестандартных модификаций светильников, техническая поддержка решений, в том числе для обеспечения проектирования «в цифре».

Правильный свет помогает человеку хорошо трудиться, способствует повышению качества жизни, сохранению здоровья. Человек счастлив, когда достигает успеха, видит плоды своей деятельности. Это в полной мере соответствует всем 70 годам упорного труда и хорошего света от Ардатовского светотехнического завода. Готовность работников предприятия сделать хорошее ещё лучше, экономичное ещё более эффективным позволит и в будущем обеспечивать высокое качество продукции, удовлетворение потребителей качеством света.

Добро пожаловать в мир хорошего света АСТЗ!

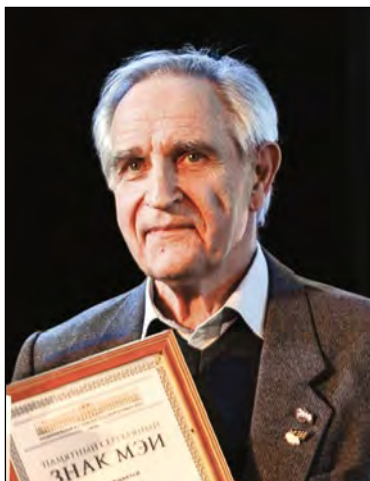


# Юбилей Валерия Михайловича Петрова

Поздравляем одного из лучших преподавателей кафедры светотехники МЭИ Валерия Михайловича Петрова с 80-летним юбилеем.

Петров В.М. поступил в МЭИ в 1955 году, после окончания знаменитой теперь средней школы «на большом Каретном» переулке. Уже на старших курсах был участником НИР кафедры по исследованию параметров фоторезисторов. Его руководителем был П.И. Черноусов, возглавлявший фотометрическое направление и создавший в МЭИ уникальный для того времени лабораторный практикум по Фотометрии. Отлично защитив дипломный проект по названной выше тематике, Валерий Михайлович с 1961 года работает на кафедре светотехники МЭИ, успешно сочетая педагогическую и научную деятельность. В 1972 году он успешно защитил диссертацию на соискание учёной степени кандидата технических наук по теме «Восприятие и метрологические особенности линейных газоразрядных индикаторов в системах отображения информации». За время работы на кафедре Петров В.М. подготовил и прочитал лекции по дисциплинам: «Основы светотехники», «Электрическое освещение», «Прикладная оптика», «Приёмники оптического излучения», «Расчёт и конструирование фотометрических устройств», «Фотометрия и радиометрия в светотехнике». Однако главная его дисциплина – «Фотометрия», много сил и знаний он вложил в лекции, расчётные задания и особенно в лабораторный практикум по этому курсу.

В научном плане Валерию Михайловичу удалось очень много нового. Он продолжал работы по зрительному восприятию раз-



меров объектов с размытыми границами применительно к разработке и использованию газоразрядных индикаторов. Активно участвовал в исследованиях, посвящённых качеству телевизионных изображений на дискретных средствах отображения информации. Занимался разработкой систем измерений с помощью опорного калибровочного канала, спектральными измерениями бактерицидных ламп. Новое слово было сказано Петровым В.М. и в вопросах спектральной коррекции приёмников излучения. Ему удалось обосновать и апробировать более совершенный по сравнению с общепринятым подходом – метод оценки точности и воспроизведения спектральных зависимостей.

Всё новое и интересное, что появляется в фотометрии и в смежных областях знаний обязательно осваивается юбиляром, серьёзно переосмысливается для того, что-

бы стройно и логично донести до студентов на занятиях и до товарищей по работе в рамках кафедральных методических и научных семинаров. Такой подход вместе с постоянным методическим совершенствованием классических положений светотехники делает Валерия Михайловича не только блестящим лектором факультета электронной техники, но по-настоящему современным специалистом, воспитывающим молодёжь на инновациях. Свой богатый педагогический и научный опыт он применяет на занятиях в Центре подготовки и переподготовки кафедры «Прикладная светотехника», где является одним из основных преподавателей.

За свою большую, многолетнюю учебную, научную и организационную работу он был неоднократно отмечен Почётными грамотами руководства МЭИ и награждён медалью «Ветеран труда». За особые заслуги Валерий Михайлович совсем недавно получил от ректора НИУ «МЭИ» и директора Института Радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова НИУ «МЭИ» Знак «50 лет служения МЭИ» и Памятный серебряный Знак МЭИ.

От всей души поздравляем нашего дорогого юбиляра, отмечаем его хорошую физическую и творческую форму, желаем ему здоровья и энергии, желаем не терять мотивации и уверенности в себе ещё на долгие годы. Поздравляем его супругу, также замечательного светотехника Лидию Ивановну и с собственным юбилеем, и с юбилеем мужа.

*Редакция журнала, коллектив кафедры и многочисленные ученики*

## Готовое для использования в быту устройство обеззараживания воды с УФ-С диодами

Специализирующаяся на выпуске УФ диодов компания *Crystal IS* опубликовала отчёт (в журнале «*LEDs Magazine*») о независимых исследованиях, проведённых Колорадским университетом, которые подтвердили эффективность генерируемого УФ-С диодами излучения для обеззараживания воды. Учёные Университета исследовали устройство обеззараживания воды «*Klaran AKR*» и выявили практически полное уничтожение болезнетворных бактерий *Legionella pneumophila*, вызывающих легионеллёз. Более того, эта УФ технология, основанная на использовании УФ-С диодов «*Klaran WD*» компании *Crystal IS*, была выведена на рынок бытовых изделий в составе водопроводных смесителей, выпускаемых компанией *Yuhuan Dafeng Environment Egis Equipment*.

УФ-С излучение, лежащее в диапазоне длин волн 100–280 нм, способно мгновенно разрушать болезнетворные бактерии, но соответствующие диоды изготовить гораздо труднее, чем более длинноволновые, излучающие в диапазонах УФ-В и УФ-А, которые уже широко используются в таких областях применения, как отверждение покрытий.



Тем не менее некоторые компании добились существенных успехов в создании УФ-С диодов с высоким потоком излучения и большим сроком службы при одновременном снижении их стоимости. Одной из этих компаний и является *Crystal IS*, которая в начале 2018 г. выпустила УФ-С диоды «*Klaran WD*», специально предназначенные для обеззараживания воды. При этом *Crystal IS* привела убедительные доказательства того, что УФ-С диоды уже готовы к коммерческому применению и показала, что они оказываются вполне приемлемыми по стоимости.

Теперь же проведённые Университетом исследования подтвердили возможности этой технологии. И компания *Yuhuan Dafeng* позволит использовать её в быту, создав смеситель, который в момент начала своей работы включает УФ-С диоды, тем самым стерилизуя смешиваемую им воду.

Было задокументировано, что при скорости протекания воды в 2 л/мин устройство «*Klaran AKR*» обеспечивает 99,998-% уменьшение или уничтожение болезнетворных бактерий *Legionella pneumophila*. В устройстве используются УФ-С диоды, излучающие на длине волны 265 нм.

ledsmagazine.com  
26.12.2018

## Светодизайн – воспитание творческих способностей у студентов – светотехников

В.П. БУДАК<sup>1</sup>\*, М.Д. КОВЫРКОВА<sup>1</sup>, Д.Н. МАКАРОВ<sup>2</sup>, С.Ю. МИНАЕВА<sup>1</sup>, А.А. СКОРНЯКОВА<sup>1</sup>

<sup>1</sup> НИУ «МЭИ» и <sup>2</sup> ЗАО «Точка Опоры Промэлектросвет», Москва

\* E-mail: budakvp@gmail.ru

### Аннотация

Сегодня нельзя представить проектирование осветительных установок (ОУ) без использования программ компьютерной графики. Такие программы не только позволяют проводить точный светотехнический расчёт ОУ, но и визуализировать на экране монитора фотореалистическое изображение сцен освещения. Это заставляет проектировщиков мыслить не столько светотехническими понятиями, сколько образами освещаемых объектов, т.е. работа проектировщика всё более наполняется дизайнерскими подходами и смыслом. Задачами дизайна служат решение технических и эстетических проблем и создание гармоничной световой среды в сценах освещения. Основа для решения таких задач – художественный вкус проектировщика, который формируется в процессе образования. В настоящей статье предлагается методика обучения проектированию ОУ с использованием программ компьютерной графики, которая параллельно формирует эстетические вкусы проектировщика. В основе обучения лежит использование готовых компьютерных моделей ОУ, создающих общепризнанные образцы освещения объектов разного назначения. Каждое занятие делится на три равные по времени части. В первой части преподаватель объясняет работу ОУ и осветительных приборов (ОП) в ней, изменяя их параметры и визуализируя сцену освещения. Во второй части студентам ставится конкретная задача по модернизации ОУ. В третьей каждый студент демонстрирует и защищает свой проект. Тем самым все студенты за занятие знакомятся с десятком вариантов разных ОУ данного объекта. Проведённые занятия на кафедре «Светотехника» НИУ «МЭИ» показали, что за семестр удаётся сформировать проектировщика с уровнем подготовки, соответствующим нескольким годам работы по проектированию ОУ.

**Ключевые слова:** светодизайн, компьютерная графика, осветительные установки, эстетическое образование.

Настоящая статья посвящена актуальному вопросу – обучению студентов-светотехников профессии «светодизайн» на примере новой методики проведения лабораторных работ (семинаров), разработанной на кафедре светотехники НИУ «МЭИ».

Задача методики – помочь найти подходы к воспитанию творческих способностей студентов.

Светодизайн – это междисциплинарная специальность [1], которая требует от обучающихся фундаментальных знаний техники, архитектуры, истории, дизайна и культуры. Как показывает современное положение дел в образовательных учреждениях, по сути, существуют два основных подхода к обучению специалистов-светодизайнеров: в первом идёт упор на технику и технологию, во втором – на гуманитарные составляющие архитектуры и дизайна. В одном из своих выступлений, в 2012 г., Доминик Жакоб сказала: «Я думаю, что главное в преподавании – стараться избегать догматизма. В конце концов любой специалист должен иметь свой подход к решению поставленных перед ним задач. Считаю, что образование должно передавать ученикам все необходимые знания по технике, философии, истории и притом стараться не вести их одним и тем же путём в творчестве» [2].

Как уже не раз отмечалось на всевозможных лекциях и круглых столах, для обучения студентов профессии «светодизайн» необходима синергия техники, искусства и творчества [3, 4], но, как выясняется, легко сказать, трудно сделать. В настоящее время студенты государственных вузов по-прежнему получают дипломы специализаций – светотехников, а выпускники коммерческих организаций – дипломы светодизайнеров, но полноценно работать на светотехническом рынке не могут ни те, ни эти. Единственное, что остаётся бывшим студентам – набираться опыта и «набивать руку» в компаниях, организациях и бюро, занимающихся освещением. В архитектур-



Рис. 1. Освещение Большого Московского цирка на проспекте Вернадского, 1995 г. Один из лучших примеров светодизайна в Москве по выразительности и тектоничности светового образа (автор Н.И. Щепетков [5])

ной среде бытует мнение «чтобы освоиться в профессии, необходимо проработать 10 лет». Вероятно, это справедливо и для светодизайна.

В историю советской (российской) светотехники прочно вошли имена по-настоящему выдающихся специалистов Н.И. Щепеткова, В.М. Пятигорского, А.Б. Матвеева, Г.В. Каменской и многих-многих других (рис. 1 и 2). Их любовь к свету, жизни и своей профессии воистину прославляет нашу страну. Прошли десятилетия, а их труд до сих пор трудно переоценить.

Конечно, далеко не из всех студентов, обучающихся светодизайну, должны выходить профессионалы с большой буквы, но сам принцип и методы преподавания должны давать возможность максимально раскрыться студентам в их творческой и профессиональной деятельности.

Авторы новой методики убеждены, что классические методы преподавания светотехники в значительной степени устарели и не позволяют студентам раскрыть свои творческие способности. Существующий подход к обучению светодизайну на кафедре «Светотехника» НИУ «МЭИ» выглядит следующим образом (подробно описывать его нет смысла, т.к., вероятно, большинство читателей сами проходили через него в студенческую бытность):

- Студентам выдаётся задание с текстовым описанием одного объекта освещения, техническое задание (ТЗ), включая и 3D модели.

- Определяется форма сдачи работы: в виде презентации или в виде альбома в формате PDF.

- Устанавливается срок выполнения работы (как правило, 2–3 мес).

- Назначается время консультаций с преподавателем.

- По окончании срока разработки проекта студенты проводят его защиту путём публичной презентации (лучшие студенты) или частной передачи преподавателю итогового материала, после проверки которого выставляется оценка.

На наш взгляд, такая система обучения имеет ряд существенных недостатков:

- Длительный срок выполнения.

- За время обучения студенты выполняют всего один проект.

- Ограниченное вовлечение преподавателя в работу.

- Отсутствие вовлечения в работу других студентов.

- Субъективность оценки работ.

Предлагаемая нами методика обучения лишена указанных недостатков и имеет ряд несомненных преимуществ:

- Взаимодействие с преподавателем на всех ключевых этапах выполнения проекта.

- Обучение только на реальных проектах.

- Групповая презентация проектов и защита светового решения.

Предлагаемая нами методика обучения на начальном этапе требует от преподавателя проведения основательной подготовительной работы, а от студента – базовых знаний све-



Рис. 2. Освещение Большого театра, 2010 г. («Светосервис»)

тотехники и работы в среде «DIALux», которая за многие годы стала основным инструментом деятельности любого светодизайнера.

Проведение семинара требует тщательной проработки каждого этапа обучения и выверенного тайминга, поскольку весь процесс ограничен по времени. Занятие рассчитано на 2 академических часа (дважды по 45 мин без перерыва) и разделено на 4 части, которые можно условно назвать «вводная часть», «практическая часть», «презентация» и «подведение итогов».

Для проведения обучения необходима компьютерная аудитория, оборудованная проектором и преподавательским компьютером. По нашему опыту, количество рабочих мест (и, соответственно, пользователей) не должно превышать 10. Перед занятием на компьютеры студентов загружаются модели в программу «DIALux». Первые 20–30 мин – это вводная часть-презентация преподавателем освещаемого объекта. Цель презентации – ознакомить слушателей с объектом и сформулировать необходимые рекомендации по освещению. Так, если речь идёт об архитектурном освещении, то эти рекомендации обычно касаются допустимых уровней яркости фасадов и освещения прилегающей территории, ограничений по цветовой температуре, цветному освещению и слепящему действию. Для каждого занятия можно выделять спе-

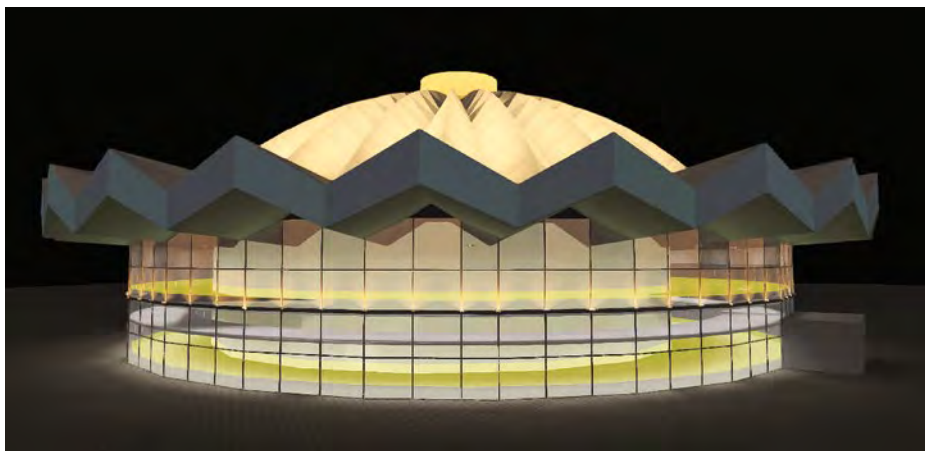


Рис. 3. Визуализация освещения Большого Московского цирка на проспекте Вернадского

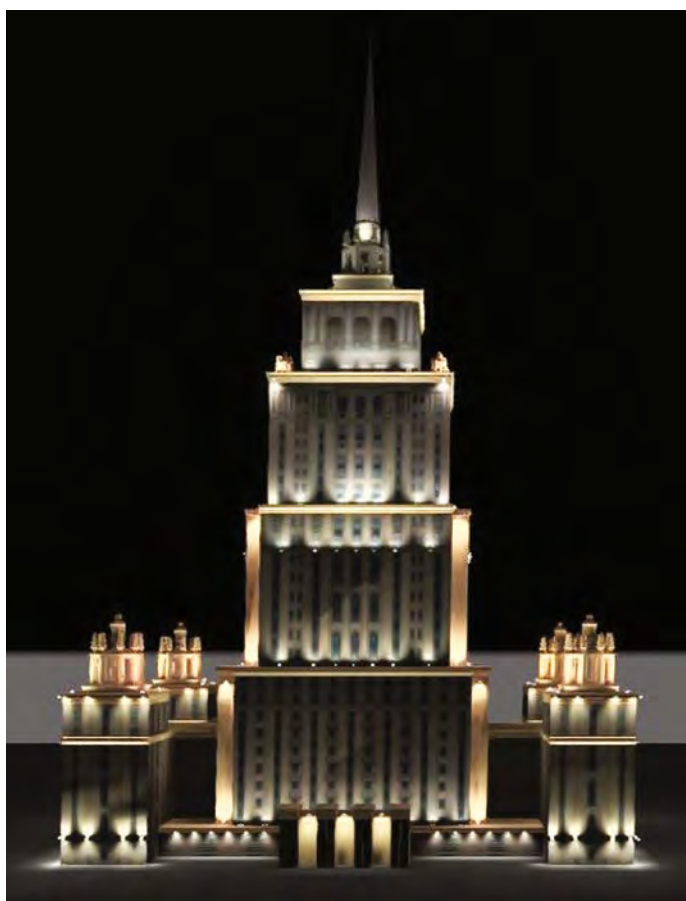


Рис. 4. Визуализация освещения гостиницы «Украина»

циальные задачи освещения, которые студенты должны выполнять.

Итак, тезисно, этот подготовительный этап включает следующие мероприятия:

- Подбирается один реальный объект освещения, которым может быть здание, интерьер, ландшафт и др.

- Подготавливаются историческая и техническая справки по объекту, в которых описываются архитектурные особенности объекта, ограничения по освещению, прикладываются фотографии объекта в существующем состоянии и др. На базе этих данных формируется презентация в «PowerPoint».

Далее следует практическая часть – работа студентов над освещением объекта в «DIALux». В ходе работы приветствуются вопросы преподавателю (ведь так достигается живой диалог между преподавателем и студентами). Посредством виртуализации, когда на проектор выводится изображение с любого из компьютеров студентов, преподаватель может публично давать комментарии и рекомендации. Одним из обязательных аспектов качественного выполнения работы является присвоение названия каждому проекту.

Перечень действий во второй части работы:

- В любом 3D редакторе («3D Studio Max», «Sketchap», «ArhiCad» и т.п.) строится 3D модель объекта.

- Осуществляется экспорт 3D модели в программу «DIALux», в которой затем производится моделирование существующего освещения объекта. Если существующего освещения нет, выполняется эскизное моделирование своего решения (набросок).

- Преподавателем загружаются в программу конкретные ОП, которые предполагается использовать в моделировании<sup>1</sup>. Несомненный плюс работы в программе «DIALux» – в том, что тип ОП, их технические характеристики и количество представляются в автоматическом порядке.

Работа студентов продолжается 30 мин, после чего начинается третья часть – презентация проектов. Каждый из студентов представляет свою концепцию освещения объекта.

Каждое выступление преподаватель фиксирует, указывает название и автора проекта, затем оценивает по основным критериям визуальное восприятие, техническое выполнение и уровень подачи презентации. Последнее, на наш взгляд, очень важно для студентов – так в конечном счёте закладывается основа умения правильно доносить свою мысль и налаживать связи с заказчиком.

Далее, после индивидуальных выступлений студентов по защите своих световых решений на основании собранных данных преподаватель проводит со студентами обсуждение представленных работ. На основании собранных мнений и замечаний рассчитываются баллы, методом ранжирования выбираются лучшие работы и выставляются оценки.

<sup>1</sup> Выбор ОП в определённой мере – акт творчества, т.к. самостоятельный подбор ОП даёт возможность проявиться фантазии студентов, но при этом необходимо оградить пользователей от заведомо неверных решений.



Рис. 5. Визуализация праздничного освещения Спасской башни Московского Кремля (автор: Н. Соседко)

## Итоги

В текущем учебном году на кафедре «Светотехника» нам удалось провести три пробных семинара по описанной выше методике. Занятия проводились со студентами 3 курса Кафедры. Следует заметить, что на 3 курсе у студентов практически отсутствуют знания по прикладной светотехнике и моделированию. При этом особую ценность представляет то, что подготовкой и проведением семинаров занимаются студенты более старшего курса – соавторы данной статьи – М.Д. Ковыркова, С.Ю. Минаева и А.А. Скорнякова. При этом в качестве объектов освещения выбраны знаковые архитектурные доминанты Москвы: Большой Московский государственный цирк на проспекте Вернадского (рис. 3), гостиница «Украина» (рис. 4) и Спасская башня Московского Кремля.

По итогам проведённых пробных семинаров получены в основном положительные отзывы, из чего можно заключить, что наша методика проведения лабораторных работ по светодизайну имеет право на существование. Особую ценность представляет тот факт, что по результатам семинаров мы получили более 30 разных концепций освещения по трём объектам, затратив на обучение 4,5 ч. Конечно, качество выполненных работ было не на высоте, но авторы методики делают скидку на недостаток опыта у 3-курсников.

Как пример, на рис. 5 представлена работа студента 3 курса Натальи Соседко – концепция праздничного освещения Спасской башни Московского Кремля, которую Наталья назвала «Кремль – сердце столицы Российской Федерации». В основе её лежит использование цветных прожекторов для освещения кремлёвских стен в цветах российского флага. Этим подчёркивается статус Кремля как главного общественно-политического и историко-художественного комплекса города и страны. Сама же Спасская башня вместе с часами выделена как доминанта заливающим тёпло-белым светом.

Итак, в ходе первых испытаний новой методики мы уже пришли к определённым результатам:

- По итогам проведения 3 практических семинаров подтверждена целесообразность нового метода проведения лабораторных работ по светодизайну.
- Намечены дальнейшие пути разработки лабораторных работ по интерьерному и ландшафтному освещению. Также отведено отдельное место моделированию естественного освещения.
- Запланирована разработка качественно более сложных концепций – проектов, ориентированных на студентов старших курсов.

Данная статья касается только начала пути нового подхода к воспитанию в студентах-светотехниках творческих способностей в области светодизайна. При этом авторы убеждены – чем больше концепций и проектов студенты смогут реализовать в процессе обучения, тем выше будет их профессиональный уровень в дальнейшем.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Макаров Д.Н. Световой дизайн. Современное состояние // Светотехника. – 2018. – № 3. – С. 78–82.
2. Доминик Ж., архитектор, совладелица студии Jakob + MacFarlane, Франция. Лекция. Центр современной культуры «Га-

раж». – М., 2012. URL: <https://theoryandpractice.ru/posts/> (дата обращения: 30.09.2018).

3. День открытых дверей Московской архитектурной школы МАРШ. Открытая дискуссия «Кто такой светодизайнер?». – М., 2016. URL: <http://march.ru/about/events/698/> (дата обращения: 30.09.2018).

4. «Круг Света». Дискуссия «Профессия светодизайнер: создаём инкубатор гениев». – М., 2017. URL: <https://krivenkovanas.wordpress.com/2017/09/25> (дата обращения: 30.09.2018).

5. Щенетков Н.И. Световой дизайн города / Учеб. пособие. – М.: Архитектура – С, 2006. – 320 с.



**Будак Владимир Павлович**, доктор техн. наук, профессор. Окончил в 1981 г. МЭИ. Главный редактор журнала «Светотехника» / «Light & Engineering» и профессор кафедры «Светотехника» НИУ «МЭИ». Член-корреспондент Академии электротехнических наук РФ



**Ковыркова Мария Дмитриевна**, студент 4 курса бакалавриата кафедры «Светотехника» НИУ «МЭИ»



**Макаров Денис Николаевич**, кандидат техн. наук. Директор по развитию ЗАО «Точка Опоры Промэлектросвет». Преподаватель Московской архитектурной школы МАРШ



**Минаева Светлана Юрьевна**, студент 1 курса магистратуры кафедры «Светотехника» НИУ «МЭИ»



**Скорнякова Александра Алексеевна**, студент 2 курса магистратуры кафедры «Светотехника» НИУ «МЭИ»

## Жилые многоквартирные дома. Управление и питание общедомового освещения

1. В Постановлении Правительства Российской Федерации от 26.12.2014 года

№ 1521 «Об утверждении перечня национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил), в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», указаны следующие разделы (пункты) Свода правил СП 52.13330.2011 [1]:

37. Свод правил СП 52.13330.2011 Актуализированная редакция СНиП 23–05–95\* «Естественное и искусственное освещение». Разделы 1 (пункты 1.1, 1.2), 4–6, 7 (пункты 7.1–7.35, 7.37, 7.38, 7.40, 7.45–7.86, 7.101–7.122), приложение К.

*Комментарий к постановлению Правительства Российской Федерации от 26.12.2014 года № 1521.*

В комментарии указаны названия разделов, отдельных пунктов и название приложения К Свода правил СП 52.13330.2011 [1]:

Раздел 1. Область применения.

Раздел 4. Общие положения.

Раздел 5. Естественное освещение.

Раздел 6. Совмещённое освещение.

Раздел 7. Искусственное освещение, в том числе,

– аварийное освещение, пункты 7.104–7.114,

– аварийное освещение автотранспортных тоннелей, пункты 7.115–7.121,

– охранное и дежурное освещение, пункт 7.122,

– приложение К (обязательное) Нормативные показатели освещения основных помещений общественных, жилых, вспомогательных зданий,

2. При проектировании электрооборудования новых и капитально ремонтируемых жилых домов следует выполнять требование пункта 7.25 Свода правил СП 52.13330.2011, указанного в Постановлении Правительства Российской Федерации от 26.12.2014 года № 1521:

«Освещение лестничных клеток жилых зданий высотой более 3 этажей должно иметь автоматическое или дистанционное управление, обеспечивающее отключение части светильников или ламп в ночное время с таким расчётом, чтобы освещённость лестниц была не ниже норм эвакуационного освещения».

3. В постановлении Правительства Российской Федерации от 7 марта 2017 года № 275 установлены дополнительные требования в некоторые акты по вопросам энергетической эффективности для зданий, строений, сооружений.

Постановление вступает в силу с 1 января 2018 года и применяется к отношениям, возникшим при вводе в эксплуатацию зданий, разрешение на строительство которых было получено после вступления его в силу.

Правила установления требований энергетической эффективности для зданий, строений, сооружений, утверждённые постановлением Правительства Российской Федерации от 25 января 2011 года № 18 «Об утверждении Правил установления требований энергетической эффективности для зданий, строений, сооружений и требований к правилам определения класса энергетической эффективности многоквартирных домов», дополнить пунктом 8(1) следующего содержания:

в) Для помещений административных и общественных зданий с проектным числом работы осветительных приборов свыше 4 тыс. часов в год и систем освещения, отно-

Таблица 1

Изготовитель светодиодного светильника
Протоколы светотехнических испытаний, выданные аккредитованной светотехнической лабораторией
Сертификат соответствия на электробезопасность и пожарную безопасность
Сертификат соответствия на электромагнитную совместимость
Способ установки светильника: потолочный, подвесной или встроены
Габаритные и установочные размеры, мм,
Масса, кг
Класс защиты от поражения электрическим током
Степень защиты IP
Срок службы светильника, лет не менее 12 лет, ГОСТ Р 55705–2013, пункт 5.3.5 [3]
Гарантийный срок, лет
Номинальное напряжение, В
Установка в отдельных светильниках блока аварийного питания. Указывается в задании на проектирование

<b>Изготовитель светодиодного светильника</b>
Коэффициент мощности светильника ГОСТ Р 55705–2013, пункт 5.2 [3]
Активная мощность, Вт
Световой поток светильника, лм
Коррелированная цветовая температура, К
Индекс цветопередачи, Ra
Возможность расчёта освещённости помещений в программе DIALux с применением светотехнических данных светильника
Схема светильника: с драйвером (устройством управления светодиодами) или без драйвера
Изготовитель драйвера
Срок службы драйвера, соизмеримый со сроком службы светодиодов, ч
Изготовитель и срок службы светодиодов, ч
Единичная мощность светодиода, количество светодиодов в светильнике
Способ охлаждения светильника – с радиатором или без радиатора
Обязательства изготовителя в гарантийный и послегарантийный период
Содержание паспорта, поставляемого в упаковке светильника, конструкция, тип упаковки
Дополнительные данные по требованию заказчика

сящихся к общему имуществу в многоквартирном доме, при строительстве, реконструкции и капитальном ремонте внутренних инженерных систем освещения – использование для рабочего освещения источников света со светоточдачей не менее 95 лм/Вт и устройств автоматического управления освещением в зависимости от уровня естественной освещённости, обеспечивающих параметры световой среды в соответствии с установленными нормами.

4. При проектировании электрооборудования новых и капитально ремонтируемых жилых домов нецелесообразно предусматривать светильники кратковременного включения освещения лестниц и поэтажных коридоров, указанные в пункте 10.1 Свода правил СП 31–110–2003 «Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий» [2].

Целесообразно, в соответствии с пунктом 7.25 Свода правил СП 52.13330.2011, предусматривать централизованное управление освещением лестниц, лифтовых хол-

лов (площадок для лифтов), поэтажных коридоров, входов в лестницы с улицы (двора).

#### 5. О тендерах на выполнение светодиодного освещения

В нашей стране отсутствуют технические требования (пакет документов), которые должны представить заказчику организации – участники тендеров на монтаж реконструируемых осветительных установок промышленных и сельскохозяйственных зданий, общих помещений жилых зданий, общественных зданий или помещений.

Организация – участник тендера должна представить заказчику проект и технические данные светодиодных светильников:

Проект реконструируемой светодиодной установки, согласованный с заказчиком, в который входят:

– задание на проектирование (пункт 759 Гражданского кодекса Российской Федерации), согласованное с заказчиком,

Таблица 2

Номинальное напряжение, В	Номинальная мощность, Вт	Номинальный световой поток, лм, не менее	Расчётная продолжительность горения, ч
220	25	220, 230	1000
	40	350, 415	
	60	630, 715	
	75	940	
	100	1250, 1350	
	150	2090, 2180	
	200	2920, 3090	

Многоквартирный жилой дом	Количество вводов от источника питания до ГРЩ жилого дома	Питание путей эвакуации и резервного освещения общедомовых помещений.
До 5 этажей включительно, с газовыми плитами в квартирах	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Освещение путей эвакуации лестниц, поэтажных коридоров, входов в лестницы с улицы, (двора) – от панели (щитка) противопожарных устройств ППУ жилого дома. Резервирование питания – от источника бесперебойного питания ИБП со временем работы не менее 1 ч.</li> <li>– Резервное освещение электрощитовой, индивидуального теплового пункта ИТП, водомерного узла – от панели (щитка) противопожарных устройств ППУ жилого дома.</li> <li>Резервирование питания от блока с аккумуляторами, установленными в светильниках резервного освещения</li> </ul>
До 5 этажей включительно, с газовыми плитами в квартирах и встроенным помещением (помещениями) 2-й категории надёжности электроснабжения	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Освещение путей эвакуации лестниц, поэтажных коридоров, входов в лестницы с улицы, (двора) – от панели противопожарных устройств ППУ жилого дома.</li> <li>– Резервное освещение электрощитовой, ИТП, водомерного узла – от панели ППУ жилого дома.</li> <li>Резервирование питания от блока с аккумуляторами, установленными в светильниках резервного освещения</li> </ul>
До 5 этажей включительно, с электрическими плитами в квартирах	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Освещение путей эвакуации лестниц, поэтажных коридоров, входов в лестницы с улицы (двора) – от панели ППУ жилого дома.</li> <li>– Резервное освещение электрощитовой, ИТП, водомерного узла – от панели ППУ жилого дома.</li> <li>Резервирование питания от блока с аккумуляторами, установленными в светильниках резервного освещения</li> </ul>
6 и более этажей, с электрическими плитами в квартирах	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Освещение путей эвакуации лестниц и лифтовых холлов (площадок для лифтов), поэтажных коридоров, вестибюлей, входов в лестницы с улицы (двора) – от панели ППУ жилого дома.</li> <li>– Резервное освещение электрощитовой, ИТП, диспетчерской, водомерного узла, пожарного поста, насосной пожарной водопровода – от панели ППУ жилого дома.</li> <li>Резервирование питания от блока с аккумуляторами, установленными в светильниках резервного освещения</li> </ul>

– характеристика светодиодной установки, управление освещением,

– электротехническая часть (источник питания, схема светодиодной установки, выполнение электропроводок, электробезопасность),

– заключение экспертизы по выполненному проекту.

Для общедомового освещения следует применять светодиодные светильники, основные требования к выбору которых изложены в таблице 1.

Информацию о светодиодных светильниках указывают изготовители и дилеры (продавцы). Отмечается, что отсутствует единая табличная форма показа технических данных светодиодных светильников, и получение необходимых данных светильников покупатели должны запрашивать у изготовителей.

Изготовители, том числе для жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ), должны указывать мощность и световой поток светодиодного светильника и соответствующую этой мощности мощность лампы накаливания со световым потоком, лм по ГОСТ Р 52706–2007 [4]. Однако, практически световой поток показанной изготовителем лампы накаливания, лм может не соответствовать данным ГОСТ и на это необходимо обращать внимание при выборе светодиодного светильника.

В таблице 2 приведены отдельные данные ламп накаливания, в том числе световые потоки, принятые по таблице 6.1 ГОСТ Р 52706–2007 «Лампы накаливания вольфрамовые для бытового и аналогичного общего освещения» [4]. Эти данные необходимо учитывать при выборе конкретных светодиодных светильников.

В проектах электрооборудования зданий целесообразно применение светодиодных светильников производства международной светотехнической корпорации «БООС ЛАЙТИНГ ГРУПП» – GALAD, а также других отечественных изготовителей Москвы, Санкт-Петербурга, других городов.

6. В таблице 3 приведены требования к устройству аварийного освещения в многоквартирных жилых домах

7. В таблице 4 приведены требования к управлению и питанию рабочего и аварийного освещения общедомовых помещений многоквартирного жилого дома.

Выбор электрооборудования для схем (фотореле, магнитные пускатели, автоматические выключатели, реле времени) осуществляется при выполнении конкретного проекта.



Наименование	Назначение	Питание	Место установки
Фотореле – 1	Управление рабочим освещением лестниц и лифтовых холлов (площадок для лифтов) с естественным освещением: включение с наступлением темноты и отключение с наступлением рассвета	От ГРЩ жилого дома	На 2-м этаже лестницы жилого дома
Фотореле – 2	Управление аварийным освещением лестниц и лифтовых холлов (площадок для лифтов) с естественным освещением и входов в лестницы с улицы (двора): включение с наступлением темноты и отключение с наступлением рассвета	От панели противопожарных устройств ППУ жилого дома	На 2-м этаже лестницы жилого дома, рядом с фотореле рабочего освещения
Реле времени	Управление рабочим освещением поэтажных коридоров без естественного света. Отключение в ночное время по заданной программе	От ГРЩ жилого дома	В ГРЩ жилого дома, в щитах общедомового рабочего освещения
	Управление аварийным освещением поэтажных коридоров без естественного света. Светильники аварийного освещения включены постоянно	От панели противопожарных устройств ППУ жилого дома	
Управление местными выключателями рабочего освещения	Управление местными выключателями рабочим освещением электрощитовой, помещений для электрощитов и слаботочных устройств, диспетчерской, индивидуального теплового пункта ИТП, насосной станции, пожарных постов, помещений для противопожарных устройств, других общедомовых помещений	От ГРЩ и общедомовых щитов рабочего освещения жилого дома	
Управление местными выключателями аварийного освещения	Управление местными выключателями аварийным освещением электрощитовой, помещений для электрощитов и слаботочных устройств, диспетчерской, ИТП, насосной станции, пожарных постов, помещений для противопожарных устройств, других общедомовых помещений	От панели противопожарных устройств ППУ жилого дома	
Централизованное управление из диспетчерского пункта. Этот вариант управления указывается заказчиком	Централизованного управления общедомовым рабочим и аварийным освещением (без фотореле и реле времени) из диспетчерского пункта по командам от диспетчера в автоматическом режиме и/или по команде диспетчера (оператора). Управление рабочим и аварийным освещением из диспетчерского пункта необходимо предусматривать по отдельным кабелям		Диспетчерский пункт жилого дома или квартала

## 8. О проектировании

Проект новой светодиодной установки предусматривается в составе проекта электрооборудования здания или отдельным проектом.

В соответствии со статьёй 759 Гражданского кодекса Российской Федерации

требования к управлению и питанию освещения общедомовых помещений многоквартирных жилых домов следует указывать в задании на проектирование электроустановки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Свод Правил СП 52.13330.2011 «Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23–05–95\*». – М.: Стандартинформ, ЦПП, 2011.

2. Свод Правил СП 31–110–2003 «Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий». – М.: Стандартинформ, ЦПП, 2004.

3. ГОСТ 55705–2013 «Приборы осветительные со светодиодными источниками света. Общие технические условия». – М.: Стандартинформ, 2013.

4. ГОСТ Р 52706–2007 «Лампы накаливания вольфрамовые для бытового и аналогичного общего освещения» – М.: Стандартинформ, ЦПП, 2007.

*Р.И. Пашковский инж.-проектировщик,  
корреспондент журнала «Светотехника»  
в Санкт-Петербурге*

# 70 лет Андрею Андреевичу Григорьеву

В далёкие послевоенные годы 2 февраля 1949 г. в семье сотрудника министерства железнодорожного транспорта Андрея Григорьева родился сын, которого в честь отца назвали Андреем. Так началось путешествие по жизни будущего учёного, академика Российской Академии Электротехнических наук, д.т.н., профессора Андрея Андреевича Григорьева. В семье было трое детей – две девочки и мальчик, который пользовался всеобщей любовью. Отец был строг и требовал от детей соблюдения режима дня, хорошей успеваемости и примерного поведения. Когда сын окончил школу, он дал ему наказ – чтобы быть успешным в жизни надо знать физику, математику, вычислительную технику, овладеть программированием. Тем самым отец наметил жизненный путь будущего учёного.

Андрей Андреевич окончил школу в 1966 г. с медалью и в этом же году становится студентом ЭТФ МЭИ. С третьего курса – студентом группы подготовки специалистов по оптико-электронным приборам. Эта новая специальность, открытая на кафедре светотехники, готовила инженеров для оборонной промышленности. Ему преподавали такие крупные учёные в этой области, как д.т.н., впоследствии лауреат Государственной премии России, профессор Кошавцев Н.Ф., д.т.н., профессор Шкурский Б.И. На последних курсах института Андрей Андреевич активно осваивал вычислительную технику, занимался научной деятельностью, связанной с разработкой приборов ночного видения. Его научные способности, великолепное знание физики, математики и специальных дисциплин были замечены. После окончания института в 1972 г. он был распределён на кафедру светотехники инженером. С этого года он активно участвовал в научно-исследовательских работах под руководством Кошавцева Н.Ф., что позволило сформулировать задачи его будущей диссертации. В 1974 г. он поступает в очную аспирантуру МЭИ и полностью отдаётся разработке статистической модели восприятия изображения на экране оптико-электронного прибора. Создаёт уникальную экспериментальную установку, на которой подтверждает правомерность и работоспособность предложенной им модели. Работает с полной отдачей сил, оставляя на сон 4–5 часов. Через три года, в 1977 году по результатам исследований успешно защищает кандидатскую диссертацию по разработке активно-импульсных приборов наблюдения. В период 1977–1979 гг. Андрей Андреевич работает инженером кафедры светотехники. Дальше началось его быстрое восхождение по преподавательской лестнице: 1979–1980 гг. – ассистент, 1981–2002 гг. – доцент, а с 2002 г. – профессор кафедры светотехники. В 1985 г. ему было присвоено учёное звание доцента, а в 2011 г. – профессора. В 2001 г. он защищает докторскую диссертацию на тему: «Статистическая теория восприятия изображения в оптико-электрон-



ных системах визуализации». Талантливый и творческий человек Андрей Андреевич всего себя отдавал работе по многим направлениям – наука, педагогическая деятельность, общественная работа, инженерная деятельность по созданию и развитию лабораторного практикума. И везде у него были отличные результаты. Ему присуще редкое сочетание качеств: «быстрый ум» учёного и «золотые руки» инженера. Он много раз был исполнителем и руководителем научно-исследовательских работ, результаты которых нашли своё отражение в сотне статей и отчётов. Из них более 80 было опубликовано в печати. Много раз докладывал результаты своих научных исследований на международных, академических и других конференциях. Большое количество инженеров, бакалавров, магистров и аспирантов получили путёвку в самостоятельную творческую жизнь после совместной работы с Андреем Андреевичем. В 1981–2001 гг. он был учёным секретарём специализированного совета по защите кандидатских и докторских диссертаций, а с 2013 г. и по настоящее время является председателем этого совета. Свою педагогическую деятельность Андрей Андреевич начал сразу после окончания института. Его активно привлекали к проведению лабораторных работ, руководству НИР студентов. Как преподаватель кафедры он разработал и реализовал весь комплекс занятий по дисциплинам «Физические основы инфракрасной техники» и «Приёмники излучения и фотоприёмные устройства». Его эрудиция и фундаментальные знания во многих областях физики и техники позволили подготовить и читать лекции по целому ряду дисциплин: «Устройства записи и воспроизведения изображений», «Применение ЭВМ в оптических устройствах», «Физические основы оптико-электронных приборов», «Физиологическая оптика», «Основы светотехники», «Теория оптико-электронных систем». Григорьев А.А. опубликовал несколько учебно-методических пособий, в том числе пособие – «Статистическая теория восприятия

изображений в светотехнике. Обнаружение объектов», издательство МЭИ, 2003 г. В нём нашли своё отражение основные результаты его многолетней научной работы. С конца 90-х годов 20 века он проводит занятия по физике с учащимися старших классов гимназии № 1 г. Балашиха. Десятки выпускников этой гимназии становились сначала студентами, а некоторые и аспирантами кафедры светотехники. Общественная и организационная работа, которую начал Андрей Андреевич, будучи студентом, стала неотъемлемой частью всей его трудовой деятельности в стенах МЭИ. В студенческие годы он занимал командные посты в молодёжных организациях факультета Электронной техники. Неоднократно участвовал в строительных отрядах, будучи командиром ССО в Хакасии и Чехословакии. Умел работать и отдыхать с гитарой в руках и песнями Б. Окуджавы. Работая на кафедре, был заместителем заведующего кафедрой по научной работе (1985–2003 гг.), а в 2003 году выбран заведующим кафедрой светотехники МЭИ. В этот непростой для высшей школы период он сумел сохранить кафедру и обе специальности кафедры – «Светотехника и источник света» и «Квантовая и оптическая электроника», которые прошли аттестацию и получили государственные лицензии на образовательную деятельность. С помощью партнёров кафедра создала второй компьютерный класс, отремонтировала и оснастила три аудитории. В этот период кафедра была достойно представлена на международных научных конференциях, выставках, в национальном комитете МКО, в Электротехнической и Энергетической академиях, в редколлегии журнала «Светотехника».

С 2014 года Андрей Андреевич становится первым заместителем заведующего кафедрой светотехники. В настоящее время Андрей Андреевич Григорьев является также председателем совета по присуждению учёных степеней нескольких специальностей факультета Электронной техники, членом Учёного Совета ИРЭ НИУ «МЭИ», членом редколлегии нашего журнала, одним из заместителей председателя отраслевого НТС «Светотехника», заместителем председателя ГЭК по приёму выпускных работ бакалавров и магистров. За большие заслуги в учебной, научной и общественной работе он неоднократно получал Почётные грамоты МЭИ, награждён Памятным серебряным Знаком МЭИ, его фотография помещена на Доску почёта МЭИ. Особо отметим личные качества юбиляра – безотказность, способность решать проблемы других людей, отзывчивость и доброжелательность, большую энергию созидания и творческий подход в решении научных проблем. Поздравляем Андрея Андреевича с юбилеем и желаем ему и его близким здоровья, успехов и удачи во всех делах.

*Редколлегия, преподаватели и студенты  
кафедры светотехники НИУ «МЭИ»*



АО «КАДОШКИНСКИЙ  
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ ЗАВОД»

**Освещение школ и вузов – это ответственно!**

## **СВЕТИЛЬНИК СО СВЕТОДИОДАМИ GALAD ЮНИОР LED**

- Создает максимально равномерное освещение на всех поверхностях, не слепит и не портит зрение
- Обеспечивает требуемую освещенность на рабочей поверхности
- Соответствует требованиям, предъявляемым к светильникам для детских учреждений (ГОСТ-Р-54350-2015)

**Освещение образовательных учреждений:**

Школы, детские сады, высшие учебные заведения.

IP20



50 000

ГАРАНТИЯ



LED



35 Вт



АО «КЭТЗ», п. Кадошкино,  
Респ. Мордовия, ул.  
Заводская, 1.



[www.galad.ru](http://www.galad.ru)



(83448) 2-31-21

## Конкурс курсовых проектов НИУ «МЭИ» по дисциплине «Компьютерная графика»

Уже стало традицией публиковать в № 1 «Светотехники» работы студентов, занявших первые призовые места в конкурсе по дисциплине «Компьютерная графика». Это первый проект по специальности студентов, пришедших учиться на кафедру светотехники НИУ «МЭИ». Работы выполняются в осеннем семестре третьего курса, чтобы на протяжении оставшихся четырёх лет студенты выполнили десятки проектов осветительных установок, наполняя их с каждым семестром новым содержанием. Первый взгляд – самый верный: мы влюбляемся с первого взгляда, не думая о последствиях. Думается, что по первым работам можно представить, чем отличается новое поколение, что она сможет внести нового в нашу область науки и техники.

### ВНУТРЕННЕЕ ОСВЕЩЕНИЕ ХРАМА

Уткина А.Д., ЭР-04–16 НИУ «МЭИ»

*«Бог есть свет, и нет в Нём никакой тьмы» 1-е послание Иоанна 1 стих 5*

Темой моего курсового проекта стало внутреннее освещение храма. Я не могу назвать себя религиозным человеком и рассматриваю данные архитектурные объекты скорее с эстетической и художественной стороны.

Так как этой теме я касалась впервые, значительное время потребовала предварительная подготовка к курсовому проекту, которую я решила начать с чтения соответствующей литературы, из которой узнала, что внутреннее освещение храма в будние дни значительно отличается от освещения, например, во время праздников.

Но одной лишь литературы оказалось мало для того, чтобы было возможным выполнить проект, наиболее приближённый к реальности. Так как у меня нет и намёка на архитектурное образование, мне было трудно смоделировать достаточно сложную внутреннюю архитектуру храма, из-за чего я взяла за основу фотографии проекта магистра МАРХИ. Финальной частью подготовки стало наглядное изучение проблем освещения – я посетила огромное количество храмов, начиная Храмом Христа Спасителя и заканчивая маленькой церквушкой в своём городе.

Процесс создания начался с проработки геометрии помещения в 3ds max, а далее, взяв за основу фотографии из интернета, с помощью программы Photoshop, я для каждой стены отдельно создала индивидуальный дизайн текстуры.

Главной задачей, которую я поставила в своём курсовом проекте, стало использование таких ламп и светильников, которые не выбивались бы из общей концепции и стилистики храма, не выглядели бы слишком «современными». Концепцией моего проекта стала попытка создания атмосферы, близкой к живой природе: цветовая гамма фресок песочного и зеленого цвета олицетворяет поросшие мхом и плющом стены пещеры Рождества. Следовательно, освещение тоже должно быть соответствующим. Моей идеей было применение таких светильников, которые были бы наиболее похожими на естественные источники света – солнце и огонь.

За основные источники света я взяла готовую люстру из библиотеки *Lightscapе*. Скомбинировав несколько люстр, у меня получилось паникадило в центре потолка храма и четыре поликадила, по одному в каждом из

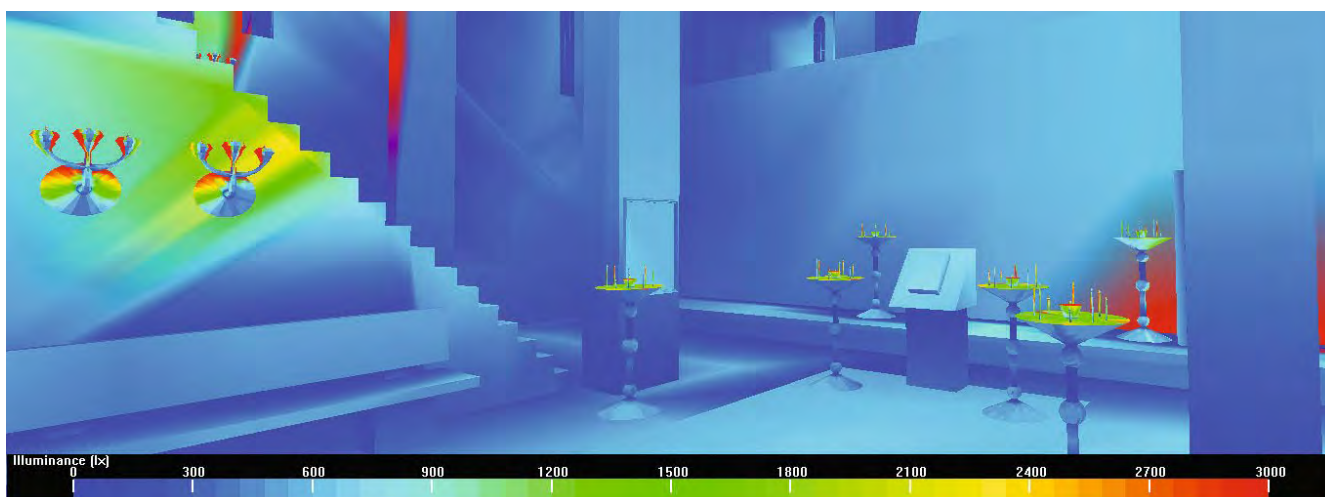


Рис. 1



Рис. 2

пролётов. В качестве источников света были использованы люминесцентные лампы, так как их цветовая температура 4200 К чуть ниже цветовой температуры дневного света – 6500 К, что решает сразу две задачи – делает освещение похожим на естественное, а также комфортным для восприятия человеческим глазом.

На данный момент не существует определённых норм, которым нужно следовать при осуществлении внутреннего освещения храмов или церквей. Нормируемые показатели освещения прописаны в СНиП 23–05, но на сегодняшний день они считаются устаревшими, и освещение производится скорее по собственным ощущениям и рекомендациям служащих, нежели по прописанным нормам. На рис. 1 видно, что освещение в храме колеблется в основном от 300 до 600 лк, что выполняет нормы для магазинов и других общественных помещений.

Для локальной подсветки стен я создала собственный светильник, используя программу *3ds max*, его можно увидеть на рис. 2. Данный светильник имеет три лампы и носит название трикирий. Мне хотелось передать ощущение того, что стены освещены свечой или факелом – живым пламенем. Но статичный свет лампы не передаёт динамику огня, что стало очередной проблемой. Тогда я решила поместить каждую лампу в гранёный абажур из толстого прозрачного стекла, чтобы преломляясь, свет создавал неоднородное свечение, которое делало бы его более «живым». В качестве источников света в трикириях я выбрала лампы накаливания, так как их цвето-

вая температура наиболее приближена к цветовой температуре огня – 1700 К.

Эти два типа светильников выполняют задачу освещения в будние дни – приглушённый равномерный свет во всём помещении храма.

Так же в проекте храма присутствуют несколько напольных подсвечников – у значимых икон, вокруг аналая и у Царских Ворот. Свечи в них не вносят существенного вклада в освещение храма, так что рассматривать их с точки зрения светотехники не имеет смысла.

Для праздничного освещения характерна отдельная подсветка иконостаса, центральной части храма, алтаря и аналая. Данную задачу я решила использованием люминесцентных прожекторов, которые располагаются в верхней части колонн или же с задней части иконостаса. Такое расположение необходимо, чтобы данные прожекторы были незаметны и не портили концепцию естественного освещения.

В заключении хочу сказать, что свет в храме занимает особое, символичное место. Конечно, приходя в храм, люди не обратят внимания, используется там светодиодная или люминесцентная лампа, но правильно подобранное освещение создаст необходимую атмосферу для человека, который нуждается в поддержке Бога. Для меня же храм – это место, где нет ненависти и злости, место, где царит добро и любовь. А эти самые светлые чувства всегда носят прямую ассоциацию со светом.

## ОСВЕЩЕНИЕ ВИННОГО БУТИКА

Будченков Д.И., ЭР-04–16 НИУ «МЭИ»

На сегодняшний день прослеживается тенденция увеличения числа магазинов алкогольной продукции. Эксперты отмечают растущий интерес потребителя к винным напиткам, что свидетельствует о возрастающей культуре населения. Меня заинтересовала продажа дорогих вин в узкопрофильных магазинах. Для выполнения проекта я провёл своего рода анализ. Чтобы подсветка была выполнена грамотно и эффективно, я решил опираться

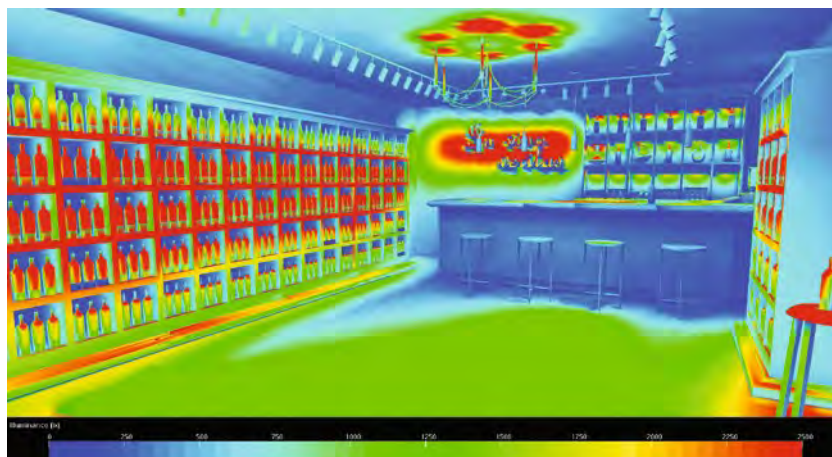
на уже реализованные проекты освещения винных магазинов и ошибки, допущенные при их создании.

Первое на что я обратил внимание это ослеплённость. Стекланные бутылки и витрины зачастую отражают свет от светильников прямо в глаза покупателю, чем не только отвлекают внимание, но иногда и мешают выбрать тот или иной товар. Второй проблемой стала недостаточная освещённость товара. Я считаю, что в магазине освеще-

Рис. 1



Рис. 2



ние должно указывать, на что именно нужно обратить своё внимание, этим приёмом нередко пользуются маркетологи, выставляя на виду дорогую продукцию, а в тени оставляя товары низкой ценовой категории.

После проведённой работы была разработана осветительная установка, нацеленная, в первую очередь, на экспозиционную подсветку стеллажей и декоративную подсветку интерьера. На рис. 1 видно, что в качестве основного освещения я выбрал трековую систему с поворотными светильниками, с помощью которой удобно создать акцентное освещение в помещениях любой конфигурации. Кроме того, прожекторы располагаются и направляются так, чтобы исключить попадание отражённого света в глаза покупателю. Декоративную функцию выполняет люстра в центре торгового зала, светильники, встроенные в полки в барной зоне и светильники-бутылки, висящие над барной стойкой. Последним я хотел бы уделить особое внимание, эти светильники я создал специально для данного проекта, они отличаются простотой конструкции и производства, но, тем не менее, прекрасно выполняют свои функции, одновременно намекая на тематику магазина. Стеклобутылка, ограничивающая пучок света, играет роль своеобразного рефлектора, в результате чего свет распространяется только на барную стойку и не бьёт в глаза.

Одним из обязательных условий выполнения курсовой работы было создание двух концепций освещения. В качестве первой концепции, изображённой на рис. 1, я вы-

брал повседневное освещение торгового зала, с акцентом на полки с товаром. Экспозиционное освещение не нормируется в ГОСТ, я смог найти только корпоративные нормы для магазинов, в них эта величина колеблется от 1000 до 2500 лк, на рис. 2 видно, что на полках достигается именно это значение. Освещение торгового зала по нормам должно быть не ниже 300 лк, корпоративные нормы составляют от 500 до 700 лк, на распределении псевдоцветов, изображённом на рис. 2, видно, что это значение близится к 1000 лк, однако в последнее время во многих супермаркетах в торговых залах используют эти значения. Наличие пространства, на котором должна нормироваться освещённость, также являлось одним из условий, в моём проекте этим пространством является

зона кассы, освещённость которой должна быть не ниже 300 лк, что также было учтено и выполнено, в кассовой зоне освещённость колеблется в диапазоне 500–800 лк.

Второй концепцией стало освещение во время дегустаций и при проведении подобных мероприятий. Данный сценарий освещения подразумевает приглушённый свет и уютную атмосферу. Для этого я отключил все прожекторы трековой системы, оставив включёнными только те, которые направлены на определённые витрины и полки, к примеру, если проходит дегустация вина, представленного в ассортименте магазина, то подсвечивается только та полка, на которой выставлено это вино.

Отдельное внимание хочу уделить интерьеру магазина. Для оформления я выбрал стиль лофт. Данный стиль был выбран по двум причинам: во-первых, на сегодняшний день это один из самых востребованных стилей, а во вторых обилие кирпича в сочетании с натуральными материалами в отделке создаёт ассоциации с винным погребом и соответствующей атмосферой. Все используемые светильники светят тёплым белым светом, что в совокупности с оформлением создаёт мягкую уютную атмосферу, которая работает на психологию человека и располагает к тому, чтобы зайти с «холодной» улицы и погрузиться в «тёплую» атмосферу магазина.

Основными плюсами моей осветительной установки я считаю наличие экспозиционной подсветки товара и отсутствие слепящего эффекта, которого удалось избежать благодаря светильникам-бутылкам, направляющим

узкий пучок света чётко на стол, и корректному расположению трековых прожекторов. Главное, на что стоит обратить внимание при выборе светильников для подсветки винных полок, это на особенности хранения дорогих вин. Ультрафиолет для них опасен, УФ лучи могут «засветить» вино, в результате чего может выпасть осадок и даже появиться неприятный запах. Вина требуется хранить вдали от света, особенно от прямых солнечных лучей и люминесцентных светильников. Понятно, что в магазине вино должно стоять на прилавке, поэтому светодиодные светильники являются идеальным решением для подсветки «капризных» товаров или музейных экспонатов.

Что касается экономической стороны, то выбранная мной трековая система выходит на порядок дороже классических осветительных систем, но значительно

## ОСВЕЩЕНИЕ АРЕНЫ ЦИРКА

Рудская В.А., ЭР-04–16 НИУ «МЭИ»

На выбор темы курсового проекта повлиял увиденный мною недавно небольшой цирк на окраине Москвы. Его сравнительно малые габариты натолкнули на мысль, что в подобном цирке возможно создание такой осветительной установки, которая включала бы в себя совмещение искусственного и естественного света. Такое решение помогло бы, в частности, сэкономить расходы на электроэнергию и внести какие-либо новшества в концепцию освещения манежа и зрительного зала, а следовательно, и в саму программу цирковых выступлений. Именно оценка эффективности использования естественного света отдельно от искусственного и, соответственно, их совмещение стало первой целью курсового проекта. Второй непосредственной задачей выступило выполнение норм освещения, учитываемых при проведении телевизионных съёмок или трансляций. Данное соответствие могло бы вывести цирк на новый уровень, не ограничивая его посетителей только живым просмотром. Третья задача заключалась в создании нескольких концепций освещения, служащих для разных целей, таких как антракт, цирковой номер и пр.

Предполагалось размещение оконных панелей на сегментах купола, расположенных по окружности непосредственно над трибунами. Один из вариантов использования установки заключался в следующем: в то время, как сама установка делала бы акцент на освещении манежа, естественный свет помог бы в освещении зрительного зала. Однако в тёмное время суток всё равно возникала

выигрывают по производимому эффекту. Прожектор, направленный на стеллаж, словно вырывает его из темноты, приковывая к нему всё внимание человека, что особенно важно для маркетологов, целью которых является увеличение продаж. Светодиодные светильники, в свою очередь, тоже не самые дешёвые осветительные приборы, однако очень экономичны в использовании.

В заключение проведённой аналитической и практической работы я решил, что осветительная установка и её качество сильно зависит от того, какую нишу он занимает, говоря проще, для подсветки сетевого алкомаркета среднего ценового сегмента будет нецелесообразно использовать осветительную установку, разработанную мной. Но для премиальных винотек, располагающихся в престижных районах столицы и других крупных городов, она будет вполне уместна.

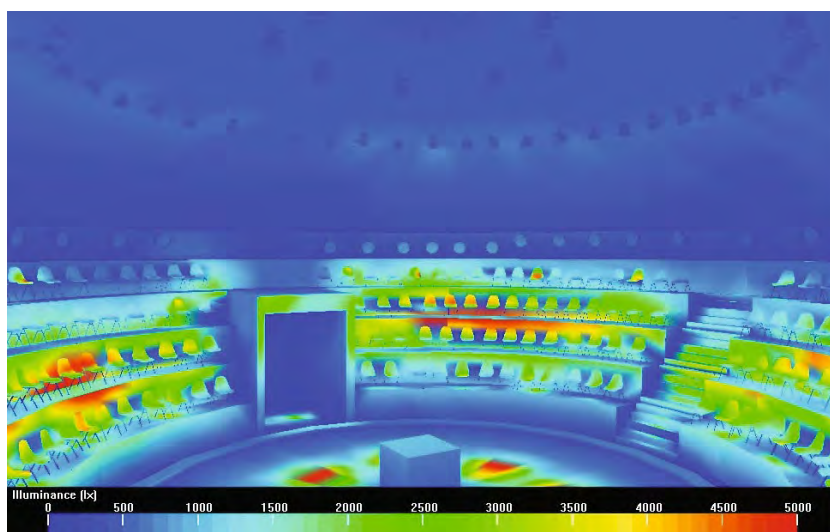
неизбежность использования всех резервов для обеспечения достаточной освещённости всего помещения, поэтому при создании установки упор делался на её универсальность. Методом включения и отключения определённых её частей, она могла обеспечивать освещение одной или нескольких частей зала одновременно в зависимости от конкретных условий и нужд.

Первым делом была осуществлена оценка эффективности естественного освещения цирка. Как выяснилось, днём даже в облачную погоду через окна, расположенные на куполе всячески способствует прямому попаданию света от Солнца или небосвода в помещение, создаётся сильный пересвет, минимальное значение освещённости при котором примерно 5000 лк, а в некоторых зонах достигающее значений, превышающих 10000 лк. Возможно, в других условиях это было бы не столь критично, но мне показалось, что такое явление не совсем уместно для цирка. Кроме того, естественный свет в светлое время суток практически перекрывает попытки освещения сторонними установками, что негативно

Рис. 1



Рис. 2



влияет на саму идею цирковых выступлений с использованием световых эффектов. Из этого следует вывод, что применение такой концепции неэффективно, а значит сразу исключаются варианты полностью естественного освещения манежа, а также совмещения его с искусственным практически в любое время дня. Единственным возможным вариантом остаётся только использование подобной идеи совмещения в вечернее время суток, когда искусственные осветительные установки дают достаточную для норм освещённость, и при этом добавляется свет от небосвода, который не вызывает переосвещённости и дискомфорта, а только дополняет общую картину. Далее я перешла к созданию самой установки, которая должна обеспечивать освещение в тёмное время суток. Она состоит из трёх рядов светильников, представляющих собой мощные прожекторы, которые располагаются по окружности в основании купола, в его середине (сразу над оконными панелями) и кольцом малого радиуса практически в его вершине. Прожекторы выбирались из имеющейся библиотеки, чтобы проект был максимально приближён к реальности, следовательно, я не меняла их характеристик. Каждый из светильников имеет возможность поворота и вращения в некотором пространственном диапазоне, что значительно расширяет вариативность использования установки. При работе с трибунами мною также была замечена необходимость нацеливания лучей прожекторов в диаметральной направлении

для обеспечения должного равномерного освещения зала, не подразумевающего под собой резких теней и неосвещённых участков. С помощью переключения между рядами светильников, их пространственного вращения и возможности отключения отдельных частей мне удалось создать несколько концепций освещения манежа, подразумевающих под собой полное освещение зала и арены (рис. 1, 2), отдельное освещение трибун и освещение

для определённого номера. Каждая из них удовлетворяет нормам освещённости самого общественного места (более 300 лк), а также нормам для телевизионных трансляций. Непосредственно для цирка мне таковые найти не удалось, поэтому я опиралась на нормы спортивного освещения, которые включают в себя такие величины, как вертикальная и горизонтальная освещённость, минимальные значения которых равны приблизительно 1500 лк и 2000 лк соответственно.

Если говорить о рекомендациях для реализации подобной осветительной установки, то следует упомянуть несколько важных моментов, с которыми я столкнулась при работе. Вспомним о наличии дневного естественного освещения, которое оказалось слишком ярким для цирка. Для начала стоит ограничить его поступление в помещение путём установки затемнённых стёкол или, например, подвижных защитных конструкций, которые могут подразумевать под собой регулировку размеров разёма окна, а значит и регулировку поступающего извне света. Также стоит отметить энергетические и экономические затраты на установку большого количества светильников, которое обязательно требует данная установка из-за внушительных габаритов цирка. Относительно своих аналогов мой проект представлял собой небольшое помещение, но всё же оно куда крупнее привычных офисов или аудиторий, ведь только манеж в диаметре занимает 13 м, не говоря уже о высоте купола и ширине трибун.

## ПАРТНЁРЫ ЖУРНАЛА

Редколлегия и редакция с большим удовлетворением отмечают организацию сообщества «Партнёры журнала «Светотехника» и выражают благодарность нашим партнёрам, поверившим во взаимную эффективность такого сотрудничества





## МЕЖДУНАРОДНЫЕ КОНФЕРЕНЦИИ И ВЫСТАВКИ В 2019 ГОДУ (II квартал)

Дата	Название мероприятия	Место проведения
04-06.04	<b>INALIGHT – Indonesia Int'l Lighting Exhibition</b> 6-я Индонезийская международная выставка по производству светодиодных изделий и осветительного оборудования, с конференцией	Джакарта, Индонезия lightsearch.com
06-09.04	<b>Hong Kong International Lighting Fair (Spring)</b> Международная выставка осветительного оборудования и технологий (весенняя)	Гонконг (Ваньчай) lightsearch.com
09-14.04	<b>Euroluce – 2019</b> Международная торгово-промышленная светотехническая выставка	Милан, Италия lightsearch.com
15-17.04	<b>ExpoElectronica – 2019</b> Международная специализированная выставка электронных компонентов и технологического оборудования	
	<b>ЭлектронТехЭкспо – 2019</b> 17-я Международная выставка технологий, оборудования и материалов для производства изделий электронной и электротехнической промышленности	Москва, РФ lightsearch.com
15-18.04	<b>Электро – 2019</b> 28-я Международная выставка электрооборудования для энергетики и электротехники, автоматизации и промышленной светотехники	
24-26.04	<b>EnergyExpo – 2019</b> 10-я Кыргызская международная выставка «Энергетика и освещение, возобновляемые и нетрадиционные источники энергии»	Бишкек, Кыргызстан exponet.ru
08-10.05	<b>Taiwan Int'l Lighting Show</b> Тайваньская международная торгово-промышленная светотехническая выставка, с конференцией	Тайбэй, Тайвань lightsearch.com
09-11.05	<b>LED Expo 2019</b> Международная выставка технологий освещения светодиодами	Мумбай, Индия lightsearch.com
13-14.05	<b>Horticulture Lighting Conference Europe</b> Европейская конференция по садово-огородным системам освещения (облучения)	Утрехт, Нидерланды lightsearch.com
14-15.05	<b>SEMIEXPO – 2019</b> Международная выставка оборудования, материалов и технологий для полупроводниковой промышленности и фотовольтаики	Москва, РФ exponent.ru
15-17.05	<b>MetrolExpo – 2019</b> 15-я Международная выставка средств измерений и метрологического обеспечения	
19-23.05	<b>LIGHTFAIR International 2019</b> Международная выставка по архитектуре и освещению в торговле и промышленности, с конференцией	Филадельфия (Пенс.), США lightsearch.com
22-24.05	<b>5<sup>th</sup> Smart Cities India 2019 Expo</b> 3-я Международная выставка по возможностям и развитию технологии «умный город», с конференцией	Нью-Дели, Индия lightsearch.com
09-12.06	<b>Guangzhou Int'l Lighting Exhibition</b> 22-я Международная светотехническая выставка с конференцией	Гуанчжоу, КНР lightsearch.com
19-22.06	<b>Lightovation: Dallas International Lighting Show</b> Международная выставка осветительных приборов	Даллас (Тех.), США lightsearch.com
25-27.06	<b>International LED Expo</b> Международная выставка по светодиодным изделиям и освещению светодиодами, с конференцией	Кинтекс, Республика Корея lightsearch.com
25-30.06	<b>Армия – 2019</b> Международный военно-технический форум	Москва, РФ exponent.ru
27-29.06	<b>LED Expo + Light ASEAN</b> Международная выставка «чистых» светодиодных изделий и осветительных технологий, с конференцией	Бангкок, Тайланд lightsearch.com



**СветоСервис**  
ГРУППА КОМПАНИЙ



**ООО «Светосервис-Подмосковье» :**  
инновационные решения в освещении для столицы и регионов

**Полный спектр услуг в области**

- Проектирования
- Монтажа
- Обслуживания
- Управления Системами Функционального, архитектурного и ландшафтного освещения



ООО «Светосервис - Подмосковье»  
129626, Москва,  
1-й Рижский пер., 6



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



+7 (495) 786-85-82



**СветоСервис**  
ТЕЛЕМЕХАНИКА



Экономия



Безопасность



Энергосбережение

**Управление освещением – залог безопасности!**



129626, г. Москва,  
1-й Рижский переулок, дом 6



[www.svs-tm.ru](http://www.svs-tm.ru)



(495) 780-75-98

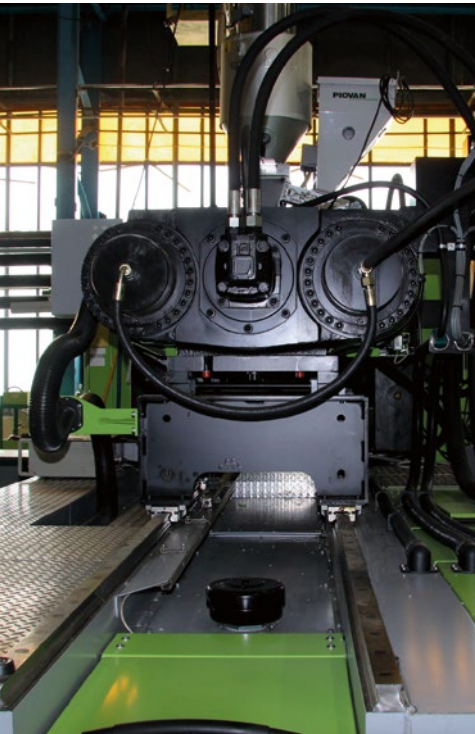


ООО ЛИХОСЛАВЛЬСКИЙ  
ЗАВОД «СВЕТОТЕХНИКА»

# Российское производство

с качеством мирового уровня

- ▶ Наука
- ▶ Технологии
- ▶ Опыт
- ▶ Признание
- ▶ Экспорт



Более **50** серий и  
свыше **1000**  
модификаций  
продукции

171210, Тверская область, г. Лихославль,  
Первомайская улица, 51, тел: (48261) 3-59-04

[www.galad.ru](http://www.galad.ru) [www.bl-trade.ru](http://www.bl-trade.ru)

