

СВЕТО 2 · 2019

ТЕХНИКА





Российское производство с качеством мирового уровня!

Свыше **1 200 000** светильников в год

Более **1 500 000** ПРА в год

Производство полного цикла

ООО Лихославльский завод «Светотехника»



171210, Тверская область,
г. Лихославль, Первомайская
улица, 51



galad.ru



(48261) 3-59-04



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®, OSLON® и SOLERIQ® именно те компоненты, которые нужны.

Light is OSRAM

OSRAM
Opto Semiconductors

Новое издание Справочной книги по светотехнике

Новое, четвёртое издание Справочной книги по светотехнике (СКС-4) готовит творческий коллектив ведущих российских специалистов под общим руководством доктора техн. наук, профессора Айзенберга Ю.Б., академика АЭН.

Книга объёмом около 800 страниц цветной печати содержит новые и актуальные материалы.

В книге в основном не повторяются сведения из предыдущего издания, которые в открытом доступе целиком приведены на сайте журнала «Светотехника» (<https://l-e-journal.com/> → Архив → Справочная книга по светотехнике)

Прежде всего это:

- всё важное о светодиодах и области их эффективного использования;
- компьютерное моделирование осветительных установок и световых приборов;
- автоматическое управление освещением зданий и наружного освещения;
- новейшие сведения о спортивном освещении и об освещении музеев;
- новое в широком использовании УФИ излучения;
- освещение всех видов транспорта, (автомобильного, железнодорожного, авиационного, а также и аэродромов);
- о теории светового поля и её практическом использовании;
- о современном световом дизайне и архитектурном освещении.

Книга содержит подробные сведения о наружном освещении улиц, дорог, тоннелей с переходом от контроля освещённости к нормированию яркости.

- о свете в медицине;
- о проблемах освещения при освоении мирового океана и космоса.

Книга содержит актуализированные сведения о метрологии и фотометрии, а также полную информацию о незрительных воздействиях света на организм человека.

Авторами книги являются:

13 докторов наук-профессоров

19 кандидатов наук

20 специалистов разных направлений.

Тираж книги и её цена (ориентировочно 2,5 тыс. руб. на уровне СКС-3 2006 г.) будет определяться в зависимости от числа полученных заявок на книгу, направленных до **конца мая 2019 года** в адрес редакции журнала «Светотехника» (129626, Москва, Проспект Мира, дом 106, 346 комн.)

Издание книги планируется на июль-август 2019 года.

Ждём Ваших заявок.

При этом просьба указать Ваш адрес, телефон и e-mail, а также количество экземпляров для библиотек и специалистов.

Заявки отправлять на адрес: bulgakova@l-e-journal.com

*С уважением,
Ю.Б. Айзенберг*

Уважаемые читатели!



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

Представляется, что самым ярким событием отрасли за текущий период стало принятие проекта принципиально нового паспорта специальности 05.09.07 «Светотехника». Существующий паспорт определяет специальность через перечисление прикладных задач отрасли, которые в той или иной степени связаны с газоразрядными источниками света, которые перестали представлять интерес для научных исследований уже лет десять назад. Нельзя не отметить, что все крупные открытия в светотехнике последних лет — светодиоды, моделирование светотехнических систем на компьютере, системы управления — не соответствуют текущему паспорту. Все эти исследования и изобретения были сделаны в других отраслях науки и затем внесены в светотехнику. Тем самым паспорт, по сути, не выполнял свое главное назначение: определять направления диссертационных исследований, что во многом определяет и стратегию развития отрасли. Более того, следует признать, что перечисление даже актуальных на сегодня прикладных задач не сможет выполнять эту важнейшую задачу: современная аспирантура продолжается 4 года, за это время большинство направлений отрасли радикально меняется, что также не позволит осуществлять стратегическое планирование исследований в светотехнике.

Необходимо дать не подверженное времени определение светотехники, отражающее сущность этой области науки. Представляется, что такая форма найдена в новом проекте паспорта специальности, который

приводится в конце отчета о заседании бюро отраслевого НТС «Светотехника», опубликованном в этом номере. В основе нового паспорта специальности лежит определение светового поля — объекта исследований, который присутствует при решении всех светотехнических задач. Такой подход позволил сформулировать определение науки светотехники и вытекающих из этого определения долгосрочных задач. В решении этих задач заинтересованы все разделы науки и техники, работающие со светом. До недавнего времени сдерживающим фактором широкого применения результатов исследований в светотехнике было отсутствие связи основных понятий теории светового поля с теорией электромагнитного поля, что сейчас преодолено и общепринято.

Наш журнал всегда стремится показать широту применений светотехнических исследований. В настоящем номере мы видим огромное многообразие примеров таких применений. Номер открывается статьёй о весомом новом проекте создания осветительной установки в здании московского концертного зала «Зарядье». Очень существенна попытка автора найти взаимосвязь архитектурных и светотехнических решений, что представляется естественным продолжением дискуссии по светодизайну, начатой в №3 за 2018 год. Представляется, что дискуссия не завершена, место светодизайна в светотехнической науке ещё не определено, поэтому мы приглашаем всех к её продолжению.

Безусловно, огромного интереса заслуживает фундаментальная статья П. Торнза, главы третьего Отделения МКО, о текущем состоянии и перспективах развития стандартизации в искусственном освещении. Это старейшее направление светотехники продолжает активно развиваться, отвечая на новые вызовы времени — применение светодиодов, автоматизацию управления освещением.

В статье Мирошниковой И.Н. и Снеткова В.Ю. анализируются общие тенденции высшего образования в нашей стране с их проекцией на развитие светотехнического образования. Вопрос образования — вопрос будущего отрасли, и редакция журнала надеется, что поднятые вопросы никого не оставят равнодушными, и читатели нашего журнала вступят в широкую дискуссию по этой проблеме.

Целая серия статей ведущих исследователей направления изучают вопросы световых полей в рассеивающих средах, атмосфере и морской воде. Статья Катаева М.Ю. и др. посвящена применению дронов для детектирования созревания растительности. Результаты их исследования могут найти свое применение и в теме освещения теплиц. В работе Ли М.Е. исследуются возможности замены лазеров на мощные светодиоды в области исследования оптических характеристик морской воды. Работа Буренкова В.И. изучает погрешности измерения ослабления чистых арктических вод. В статье Белова В.В. и др. исследуются результаты натуральных экспериментов по подводной оптико-электронной связи.

Две статьи (Старшинов П.В. и др., Мондал А.) изучают различные аспекты воздействия УФ излучения на органические объекты. Это представляется одним из перспективнейших направлений светотехнических исследований и приложений. Работа Беляева В.В. и др. представляет обзор актуальной темы использования дисплейных технологий, активно развивающаяся в последнее время на Западе и как-то несправедливо забытая у нас.

Как видим, даже краткое перечисление тем настоящего номера наглядно показывает широту светотехнической науки. При всём разнообразии изучаемых в статьях тем их теоретической базой остается теория светового поля.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Основан в 1932 году профессорами М.А. Шателеном и Л.Д. Белькиндом 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
М.Л. Белов, д.т.н., проф., НИУ «МГТУ им. Н.Э. Баумана», Москва
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.А. Рябцева, д.м.н., проф., МОНИКИ, Москва
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. Шахпаруянц, 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

Шеф-редактор
Ю.Б. Айзенберг, д.т.н., проф., академик АЭН РФ

Главный редактор
В.П. Будак, 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

Старший научный редактор
Е.И. Розовский; lampstech@mail.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
Е.А. Булгакова; bulgakova@l-e-journal.com
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 Sehirli*), 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 26.02.19. Подписано в печать 09.04.19
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 2·2019

В НОМЕРЕ

МАРТ • АПРЕЛЬ

Бизнес и инновации29, 33, 39, 43, 46, 81, 90	с УФ диодами и микропроцессорной системой автоматического управления дозой78
Колонка главного редактора 3	
Ильевская М.М. Взаимосвязь архитектурных решений и принципов искусственного освещения в здании Московского концертного зала «Зарядье» 6	Чжао С., Чжан С., Цуй К. Воссоздание тибетского традиционного освещения в современной библиотеке.....84
Торнз П. Обзор текущего состояния и перспектив развития стандартизации в области искусственного освещения14	ХРОНИКА
Мирошникова И.Н., Снетков В.Ю. Высшее образование по специальности «Светотехника и источники света» и переход к ФГОС 3 ⁺⁺30	Памяти Бедокса Л.66
Катаев М.Ю., Дадонова М.М. Методика распознавания растительности на основе цветового и текстурного анализа RGB изображений.....34	Елисееву Н.П. 75 лет77
Ли М.Е., Шибанов Е.Б., Мартынов О.В. Применение мощных светодиодов для одновременных измерений характеристик рассеяния излучения и флуоресценции в морской воде40	Памяти Пашковского Р.И.91
Старшинов П.В., Попов О.А., Ирхин И.В., Левченко В.А., Васина В.Н. Индукционная УФ лампа на основе ртутного разряда НД в замкнутой бесферритной трубке44	Серый Е.С. В Лихославле введён в эксплуатацию автоматизированный литейный комплекс95
Мондал А., Гхош К. Исследование гербицидного действия ультрафиолетового излучения на старые бумажные документы48	СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
Буренков В.И., Шеберстов С.В., Артемьев В.А., Таскаев В.Р. Оценка погрешности измерения показателя ослабления света морской водой в мутных водах арктических морей 55	Перечень материалов Р.И. Пашковского в журнале «Светотехника» (2015–2019 гг.)92
Беляев В.В., Нессемон К.Д., Беляев А.А. Использование дисплейных технологий для освещения 61	РАБОТА ОТРАСЛЕВОГО НТС
Белов В.В., Абрамочкин В.Н., Гриднев Ю.В., Кудрявцев А.Н., Тарасенков М.В., Федосов А.В. Бистатическая подводная оптико-электронная связь. Полевые эксперименты 2017–2018 гг.67	Снетков В.Ю. Первое в 2019 году заседание Бюро НТС «Светотехника»93
Спиридонов А.В., Умнякова Н.П. Компьютерное моделирование и рекомендации по реставрации исторических светопрозрачных конструкций ГМИИ им. А.С. Пушкина72	Проект паспорта специальности: «05.09.07 Светотехника»94
Большин Р.Г., Кондратьева Н.П., Краснолуцкая М.Г. Облучательная установка	ИНФОРМАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ
	Новые возможности в освещении от компании <i>Osram</i> 1
	Четвёртое издание Справочной книги по светотехнике.... 2
	Выставка <i>Interlight Russia Intelligent Building Russia</i>47
	Первые результаты частно-государственного партнёрства (ООО «Светосервис-Волгоград»).....54
	Осветительные приборы с ЭМПРА для выращивания растений71
	МСК «БЛ Групп»: «Мы рисуем светом!»82
	Подписка на журнал «Светотехника»96
	Московский концертный зал «Зарядье». Вид входной площади. Фотография: А. Народицкий..... 1 с. обл.
	Российское производство с качеством мирового уровня2 с. обл.
	Преимущества выбора <i>OPORA ENGINEERING</i>3 с. обл.
	Московский концертный зал «Зарядье». Освещение фойе. Фотография: А. Народицкий.....4 с. обл.

Взаимосвязь архитектурных решений и принципов искусственного освещения в здании Московского концертного зала «Зарядье»

М.М. ИЛЬЕВСКАЯ

ООО «ТПО «Резерв», Московский архитектурный институт
(Государственная академия), Москва
E-mail: research@reserve.ru

Аннотация

Статья посвящена анализу здания Московского концертного зала «Зарядье» с точки зрения значения искусственного освещения для формирования образного строя и восприятия данного объекта в рамках типологии зрелищных зданий музыкального профиля. На примере современных зрелищных объектов автор выявляет ряд формальных признаков (типологических атрибутов), которые, будучи общими для зданий данной функции, составляют основу их образа и становятся очевидными благодаря реализованной световой концепции. Прослеживается интерпретация этих атрибутов во взаимодействии архитектурно-планировочных и световых решений в концертном зале «Зарядье». В заключение определяются отличительные черты рассматриваемого объекта. В них одновременно находят отражение новое понимание концертных залов как типа здания, изменения, связанные с общим развитием архитектуры, а также элементы авторского архитектурного языка.

Ключевые слова: Московский концертный зал «Зарядье», архитектура концертных залов, зрелищные объекты, освещение общественных зданий, искусственное освещение, типология зданий.

1. Введение

Московский концертный зал «Зарядье» – новейший архитектурный объект, официальное открытие которого состоялось 8 сентября 2018 года. После открытия Московского международного Дома музыки в 2002 году он стал первым столичным объектом, сходным по функции и вместимости. Важно отметить, что его возведение осуществлялось на фоне вероятно

активного строительства музыкальных театров и концертных залов во всём мире, что делает актуальным новое обсуждение этого типа зданий, если не всеохватывающее, то, по крайней мере, в отдельных аспектах.

Рассмотрение концертных залов как особого типа зданий неоднократно имело место как в отечественной, так и в зарубежной литературе. В отечественных источниках преобладает подход, связанный с функциональной оценкой собственно зрительного зала с учётом его разновидностей и их связи с видами концертной деятельности. За рубежом нельзя не отметить быструю реакцию на «музыкальный строительный бум» периодических архитектурных изданий, которые выпустили тематические номера, посвящённые новым объектам – среди них такие журналы как *Archi* (№ 2 за 2018 год), *Baumeister* (№ 3 за 2017 год), *Detail* (№ 3 за 2018 год). Однако по мнению специалистов, изучению этой области всё же недостаёт системности, по крайней мере, в отечественном прочтении [1]. Поэтому при оценке нового московского объекта представляется интересным выделить набор признаков, способных системно охарактеризовать его как тип здания – в первую очередь, в восприятии зрителя. Эмоциональные отзывы, которые прозвучали в печати после открытия зала «Зарядье», создают для этого интересную базу.

Попытка такой архитектурной оценки на страницах журнала «Светотехника» не случайна. Выход за рамки технической тематики и курс на междисциплинарный подход – одна из стратегических задач, которые ставит перед собой редакция издания [2]. В то же время, для архитекторов исключительно важно привлечь внимание технических специалистов к гуманитарным проблемам своей области,

к вопросам восприятия архитектуры и к тем аспектам архитектурной практики, которые непосредственно связаны с выбором световых решений.

Значение искусственного освещения для выявления особого характера объекта, обусловленного типологией, уже обсуждалось в журнале применительно к промышленным объектам [3]. Что же касается концертных залов, то это тип здания, для которого искусственный свет в большинстве случаев становится необходимым условием восприятия архитектурного замысла. Основной функциональный блок (зрительный зал/залы) за редкими исключениями лишён естественного света, что связано с требованиями акустики. Выявление с помощью освещения индивидуальной пластики зала, а также отношений между залом и остальным зрительским комплексом, становится одной из главных художественных задач. Внешний вид здания в городе, безусловно, определяется градостроительной ситуацией. Но его городской образ, воспринимаемый зрителями, в силу режима работы музыкальных залов чаще всего ассоциируется с запоминающимся световым обликом здания. То есть, для понимания архитектуры зрелищного объекта требуется внимание к световым решениям, и наоборот, для выбора световых решений важно знать, какие именно типологические особенности ими подчёркиваются.

Целью настоящей статьи является анализ световых решений нового московского концертного зала с точки зрения их взаимосвязи с рядом пластических и пространственных особенностей, которые составляют *типологическую атрибутику* концертных залов. Под *типологическими атрибутами* здесь будут пониматься организующие элементы в архитектуре здания, которые стали предметом художественной разработки вследствие эволюции типа здания.

В качестве методов исследования выбраны: архитектурный анализ с включением визуального анализа приёмов искусственного освещения; сопоставление рассматриваемого здания с другими зданиями в пределах типологии (в отдельных случаях кроме концертных залов приводятся оперные здания, музыкальные театры). В фокусе рассмотрения находится зрительский комплекс, тогда как административно-служебный блок помещений

затрагивается лишь в связи с характеристикой общего объёмно-планировочного решения.

2. Общие градостроительные и архитектурные решения концертного зала «Зарядье»

После проведённого в 2013 году конкурса на ландшафтно-градостроительную концепцию парка «Зарядье» её осуществление было поручено лауреату первой премии конкурса – консорциуму под руководством американского архитектурного бюро *Diller, Scofidio + Renfro NY*. Проектирование концертного зала в рамках концепции парка было передано лауреату второй премии конкурса – московскому архитектурному бюро «Творческое производственное объединение «Резерв».

2.1. Градостроительная ситуация

Здание концертного зала «Зарядье» замыкает с восточной стороны ландшафтно-градостроительный комплекс «Парк Зарядье», который расположен в непосредственной близости от Московского Кремля на территории исторического района Зарядье и на участке демонтированной в 2010 г. гостиницы «Россия», то есть между Васильевским спуском, улицей Варваркой, Китайгородским проездом и набережной Москвы-реки. Выполнение проекта концертного зала в рамках проекта паркового комплекса повлекло за собой ряд концептуальных, планировочных и конструктивных ограничений. Наиболее существенны из них:

– Ограничение для развития объекта по вертикали. Здесь имеются в виду не только и не столько городские высотные ограничения, сколько конфигурация накрывающей зал остеклённой пространственной конструкции, представленная американскими архитекторами ещё на этапе конкурса и переданная ими авторам концертного зала. Кроме того, должна была быть реализована идея создания на кровле концертного зала зоны рекреации с особым микроклиматом, также относящаяся к конкурсной концепции *Diller, Scofidio + Renfro NY*. Иначе говоря, здание концертного зала получило геометрически предопределённый «пятый фасад» при невозможности организации свето-



Рис. 1. Московский концертный зал «Зарядье». Вид входной площади. Фотография: А. Народицкий

вых проёмов со стороны парка и в покрытии здания.

– Ограничение для развития в ширину из-за наличия примыкающей к восточной зоне автостоянки парка, отсечённой прямыми стенами. Эти стены становятся физическим контуром здания, предопределяя размещение здесь обширной зоны служебных помещений без естественного света, а также малого зала.

– Зафиксированное на ранней стадии проекта положение главного зала в пределах участка. В начале проектирования разрабатывалась идея визуального раскрытия большого зала на новый «парящий мост» через остеклённый проём в торце, но она была отвергнута по требованиям акустики [4]. Однако ориентация продольной оси зала была сохранена и предопределила развитие пространства фойе вдоль восточной стены здания. На южном фасаде образовался глухой фрагмент стены, требующий архитектурного осмысления, в том числе и светового.

Таким образом, ситуацию проектирования можно описать как прямоугольную нишу, перекрытую сверху, в которую вписан по диагонали зал, занимающий в среднем больше трети площади этажа здания. Площадь участка проектирования составляет 18450 м². Главный вход расположен с северо-востока и ориентирован в направлении наиболее активного пешеходного потока от станции метро «Китай-город»; его акцентирует неболь-

шая площадь, образованная вогнутой поверхностью фасада под нависающей частью пространственной конструкции. Основной зоной восприятия здания является пространство шириной около 25 м между Китайгородской стеной и восточным фасадом концертного зала, частично открытое на набережную и парк «Зарядье» (рис. 1).

2.2. Архитектурные решения

Являясь частью паркового комплекса, здание, тем не менее, может быть рассмотрено как независимый архитектурный объект зрелищного назначения, так как с точки зрения функциональной организации у него нет неразрывной связи с объектами парка (рис. 2).

Фойе охватывает большой зал с северной и восточной сторон, развиваясь на двух уровнях и активно используя уклон участка к Москве-реке. Наружный контур фойе полностью остеклён, а примыкающие к нему зоны представляют собой, в основном, высокие многосветные пространства. В южной части здания на втором уровне находится видовая площадка, консольно выступающая над нижним уровнем и ориентированная на панораму набережной. Кафе и бары решены как открытые зоны в пределах фойе.

Зона гардеробов расположена под входной зоной фойе, в подземной части здания.

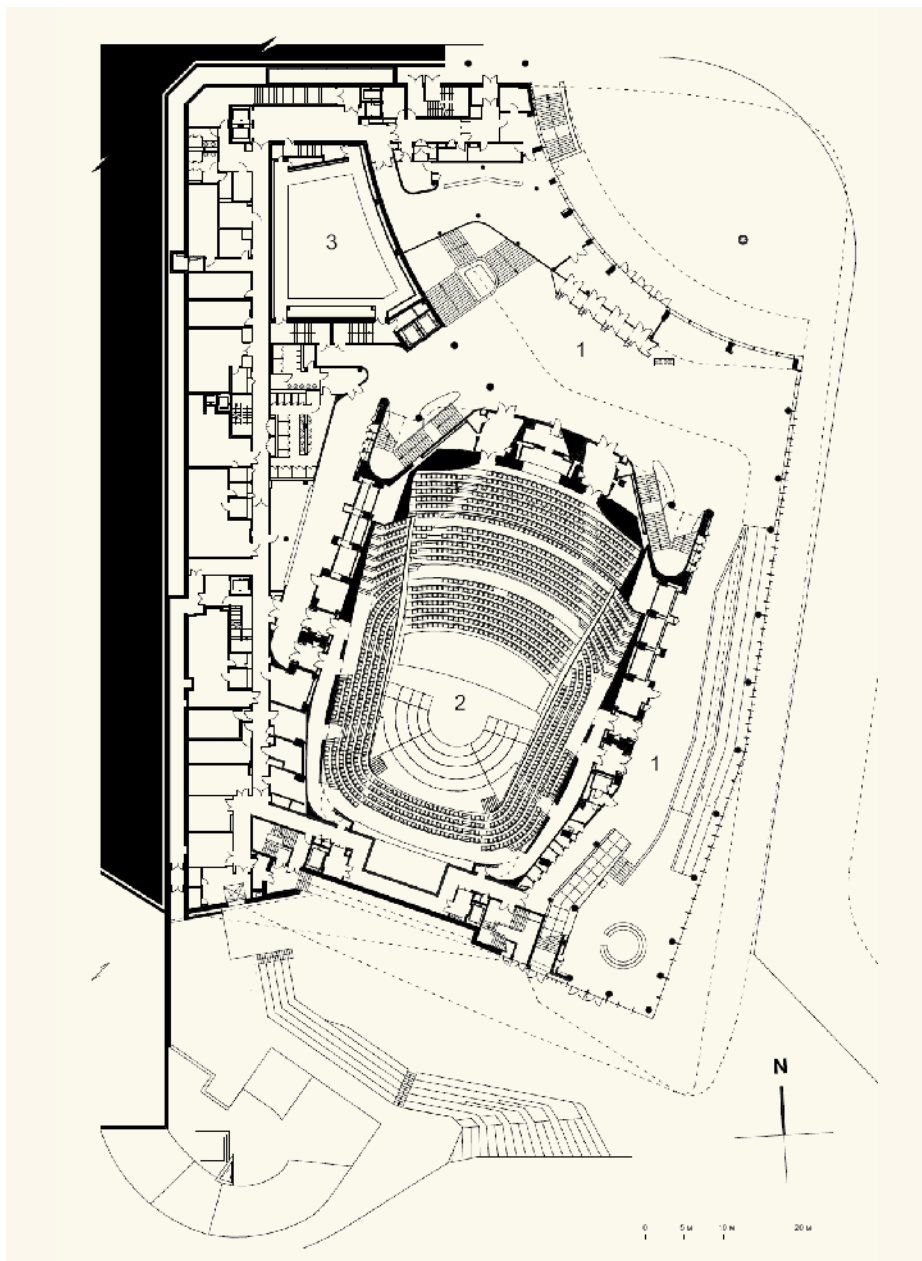


Рис. 2. Московский концертный зал «Зарядье». Схема плана 1 этажа (ТПО «Резерв»): 1 – фойе; 2 – большой зал; 3 – малый зал

Большой зал на 1588 мест выполнен как пространство с естественной акустикой для музыкальных представлений различных жанров со сценой-ареной и возможностью разнообразной трансформации зрительской зоны. Зрительская зона включает партер, амфитеатр, опоясывающий сцену бельэтаж, а также один уровень балкона. Длина зала по центральной оси – около 50-ти м, наибольшая ширина – 33 м, высота над амфитеатром – 20 м.

Малый зал рассчитан на 400 мест. Он предназначен как для репетиций, так и для камерных концертов, и имеет неправильную форму, близкую к трапеции. Его высота составля-

ет 14,5 м, а его площадь по нижнему уровню равна 300 м². На высоте 5 м зал опоясывает узкая галерея с дополнительными зрительскими местами.

Административный блок расположен над вторым уровнем фойе и частично открыт остеклённым фронтом во внутреннее многосветное пространство.

Габаритные размеры здания: длина восточного фасада (по нависающей части) – 100 м, длина южного фасада – остеклённая часть 25 м, глухая часть 45 м. Высота до верха стеклянного парапета от 18 до 23 м (с учётом перепада рельефа). Общая площадь здания – 25 870 м².

3. Формирование светового образа здания в городском контексте

Вынужденность конфигурации, о которой говорилось выше, не могла не отразиться на выборе выразительных средств, в том числе и на подходе к освещению объекта. Идея светящегося «нутра» большого организма, видимого снаружи сквозь приоткрытые пазухи рельефа (а точнее – кровель встроенных объектов), является общей для всего комплекса парка. Она предполагает, например, такое прочтение объекта, при котором его большая часть спрятана в конструкции паркового комплекса, а освещённый интерьер виден только с одной стороны. Боковые фасады оказываются наполовину скрытыми рельефом, что требует особой изобретательности при их разработке. По этому принципу решены и прочие объекты парка, в основном, развлекательной направленности. В здании концертного зала эти условия спровоцировали два решения, каждое из которых – даже в случае отдельно стоящих городских зрелищных объектов – могут считаться типологическими атрибутами. Это принцип «экспонируемого интерьера» с восточной стороны и применение *медиафасада* с южной (рис. 3).

3.1. «Экспонируемый интерьер» как приглашающий элемент

В архитектуре модернизма просматриваемый вглубь фасад – это, пожалуй, одно из самых важных завоеваний, связанных с новыми возможностями конструкций. В архитектуре же постмодернизма, особенно применительно к зрелищным сооружениям, – это один из самых часто эксплуатируемых в силу театральности и коммуникативности приёмов. Благодаря ему спектакль начинается уже на подходе к зданию, когда зритель воспринимает атмосферу фойе из городского пространства. Поэтому методы освещения, поддерживающие идею «фасада-витрины», не менее разработаны, чем представляющие её объёмно-планировочные решения. Такие здания, как Метрополитен-опера в Нью-Йорке, США (1966 г., архитектор У. Харрисон), *Wingspear Opera House* в Далласе, США (2009 г., бюро *Foster + Partners*), Концертный зал в Ставангере, Норвегия (2012 г., бюро *RATIO*

arkitekter AS) – лишь немногие примеры убедительного раскрытия этой темы в архитектурном и световом выражении.

Как отмечает главный архитектор ТПО «Резерв» В. Плоткин, тема экспонируемого интерьера – сложной освещённой скульптуры, видимой снаружи сквозь стекло – стала определяющей для решения восточного фасада [4]. Это намерение прекрасно считается наблюдателями. Автор одного из эссе о зале «Зарядье» К. Савкин выносит в заглавие идею глубины, понимая её не только как приглашающую идею фасада, но и как сущность этого здания [5].

Логика подсказывает, что наибольший эффект здесь достигается при минимальной подсветке внешней плоскости фасада и ярко освещённом интерьере. В зале «Зарядье» в целом сохранены эти световые отношения. От освещения остеклённого фасада авторы отказались. Во входной зоне используется лишь местная подсветка козырька встроенными в мощение светильниками с СД. Кроме того, в самом козырьке размещены линейные светильники с СД, освещающие поверхность земли перед входом¹. Особую роль в создании рисунка фасада играет световая графика в интерьере-



Рис. 3. Общий вид с юго-востока. На южном фасаде размещён светодиодный экран и выделена подсветкой пластика стены. Фотография: А. Народицкий

ре, о которой далее ещё пойдёт речь, и ряд прозрачных ламелей, создающих подобие преломляющего свет стеклянного занавеса по периметру здания.

В исполнении архитекторов ТПО «Резерв» этот достаточно популярный приём отражает один из базовых элементов изобразительного языка бюро – структуру из наложенных друг

на друга сеток и отдельных заполняющих элементов, своего рода универсальную концепцию пространства (рис. 4а) [6].

3.2. Медиафасад как проявление коммерческой составляющей в типологии концертных залов

Необходимо также остановиться на световом решении южного, обращённого к Москве-реке, фасада концертного зала – единственного глухо-

¹ Здесь и далее технические данные об источниках света приводятся в соответствии с проектной документацией объекта «Концертный зал филармонической музыки на 1500 посадочных мест, ул. Варварка, вл. 6» том 5.1.2 «Интерьерное освещение», том 5.1.3. «Архитектурное освещение фасадов».

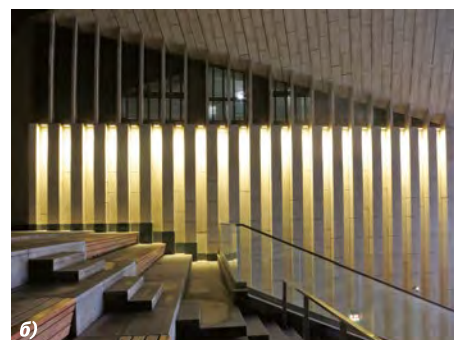
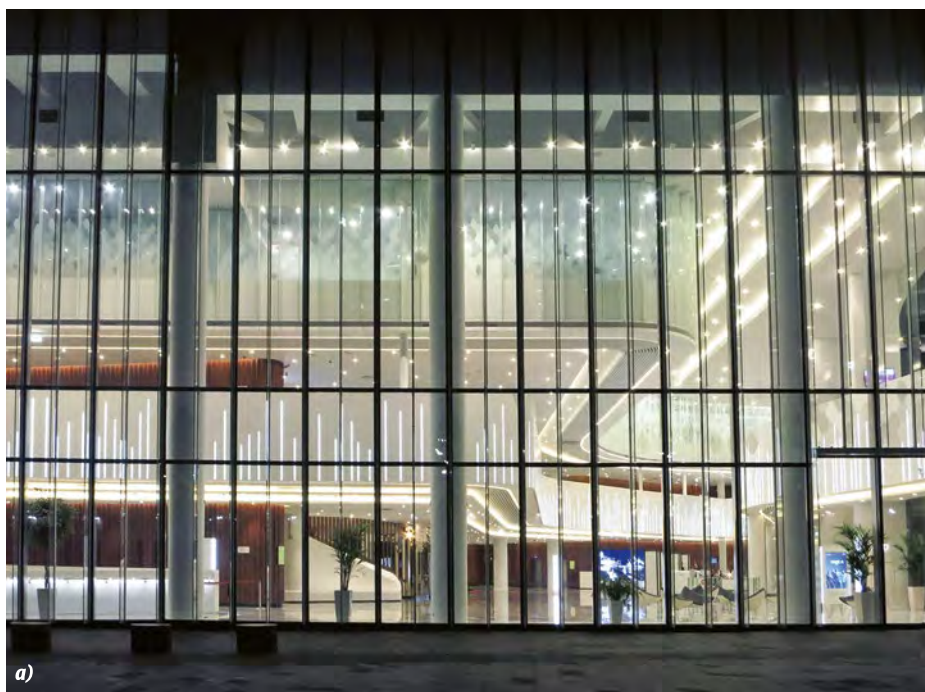


Рис. 4. Световые темы фасадов: а – «экспонируемый интерьер»; б – подсветка пластика стены на южном фасаде. Фотография: М. Ильевская

го фрагмента видимой части здания. Здесь в напоминаящую остроугольный портал нишу помещён крупногабаритный светодиодный экран. Как комментируют архитекторы, это своего рода техническое замещение отвергнутой идеи зала, открытого в парк: на экран предполагается транслировать из зала в амфитеатр под открытым небом концерты, а также другую информацию, связанную с программой концертного зала [4]. Экран имеет переменную высоту от 8 до 14 м, и длину 22,4 м. Экран построен на основе светодиодных модулей с физическим шагом пикселя 10 мм, яркость экрана составляет² не менее чем 6000 кд/м².

Медиафасады уже прочно вошли в городскую среду: «говорящая плоскость» – плоскость коммуникации – это элемент, отсылающий к рекламным световым панно Лас-Вегаса. Но развлекательно-коммерческая составляющая «павильона в саду развлечений», заложенная наряду со строгим образом «дворца поклонения музыке» в типологии концертных залов [1], обуславливает то, что медиафасад становится полноценным атрибутом зданий этого типа. Архитекторы-авторы концертных залов не отказываются от этого средства явно рекламного характера: его возможности для создания крупномасштабных фасадных решений в сочетании со способностью привлекать внимание очень соблазнительны. В этой связи стоит повторно упомянуть концертный зал в Ставангере, использующий светодиодный экран в сходной с московским залом ситуации, а также концертный зал Датского радио в Копенгагене (2009 г., архитектор Ж. Нувель), фасад которого полностью сформирован светодиодной системой, концертный зал Награ в Рейкьявике, Исландия (2011 г., архитектор Х. Ларсен), *New World Center* в Майами Бич, США (2011 г., архитектор Ф. Гери).

Решение стен, обрамляющих экран, позволяет начать разговор о следующем атрибуте. Пластически они решены как система тонких вертикальных тяг. Зона портала соответствует в ин-

терьере зала зоне расположения органа, так что можно усмотреть здесь продолжение трансляции внутреннего наполнения на фасад. Подсвеченная направленная сверху вниз системой прожекторов по 12 белых светодиодов каждый, с коррелированной цветовой температурой $T_{ц} = 3000$ К и мощностью 27 Вт, эта тонкая планка продолжает читаться и в тёмное время суток (рис. 4б). Но кроме «литературного» прочтения здесь намного важнее обозначить тему, на более глубоком уровне связывающую архитектуру концертных залов с музыкой, а именно, активное применение ритмических рядов в концепциях объектов этого типа. Мы остановимся на этом более подробно в следующем разделе.

4. Выявление типологических атрибутов через световой сценарий интерьера зрительского комплекса

Во внутренней организации концертных залов прослеживаются три крупные темы, которые можно рассматривать как атрибуты типа, а именно: *прочтение фойе как автономного инсценированного пространства; архитектурная обработка отношений «ядро-оболочка»; активное использование ритмических рядов.* Их раскрытие в здании зала «Зарядье» через интерьерное освещение показывает, как влияет на их модификацию контекст конкретного объекта.

4.1. Фойе как автономное инсценированное пространство

Архитектура фойе – это большая тема в эволюции зрелищных объектов музыкального профиля, которую правильно было бы связать с развитием во времени отношения к самой функции представления музыки. Говоря о музыкальных домах второй половины XX – начала XXI века, важно отметить тенденцию нарастания автономности фойе и расширения понимания его назначения. Максима «меньше – это скучно», с лёгкой руки архитектора и теоретика Р. Вентури определившая ментальность постмодернистского общества, определяет, в том числе, и ситуацию, когда видение фойе исключительно как предваряющего зал распределительного пространства – пусть и элегантно оформленного –

стало бы анахронизмом: такое фойе показалось бы сегодня «скучным». Оно приобретает характер открытого, универсального пространства, от которого ожидаются архитектурная сложность и сценографичность. Возможное условие автономности – это связь с внешним пространством, прямая или визуальная: фойе как бы «отдано» городу, а не только обслуживает зал. Как отмечают западные архитекторы, зрелищность фойе и его роль в городе сегодня становятся залогом успеха для музыкального учреждения не меньше, а иногда и больше, чем происходящее на сцене [7]. Как следствие, фойе всё чаще становятся местами проведения мероприятий, не имеющих отношения к концертной деятельности, как это было и с залом «Зарядье», который задолго до открытия стал площадкой Московского Урбанистического Форума-2018. Хорошим примером того, в какой сложный архитектурный и световой спектакль может сегодня перерасти фойе концертного зала, служит здание гамбургской Филармонии на Эльбе, Германия (2017 г., бюро *Herzog & de Meuron*). А настоящим историческим манифестом автономного фойе является, с нашей точки зрения, великолепный комплекс Оперы и Концертного зала в Сиднее, Австралия (1959–1973 гг., архитектор Й. Утзон). Подходы к формированию сложного пространственного сценария могут быть разными, но свет, так же, как и в пространстве спектакля, играет в нём роль эмоционального манипулятора.

При анализе фойе московского концертного зала для автора были исключительно важны письменные отзывы посетителей. Обстоятельство, которое не оставляет их равнодушными – восприятие пространства фойе как лабиринта, места с запутанной структурой, ощущение пребывания «внутри механизма» [8], оцениваемое, правда, как «созерцательное путешествие» [5]. На наш взгляд, ключевую роль в такой картине играет принцип освещения, хотя нельзя недооценивать и заложенную в архитектуре сложность путей коммуникации (лестниц, пандусов, балконов и видовых площадок), а также применение большого количества материалов с отражающей поверхностью (полированный гранит на полу, большие поверхности витражей, зеркальные панели в отделке стен). Световой сценарий можно охарактеризо-

² Технические данные о медиафасаде приводятся в соответствии с проектной документацией объекта «Концертный зал филармонической музыки на 1500 посадочных мест, ул. Варварка, вл. 6», том 5.6.15 «Медиафасад».

вать как «яркое на ярком», иначе говоря, на фоне заливающего матового, практически бестеневого освещения применены более активные элементы световой графики (рис. 5).

Заливающее освещение обеспечивается встроенными в подвесные потолки светодиодными светильниками мощностью 13 Вт и $T_{\text{ц}} = 3000$ К (общее количество таких светильников на всех уровнях фойе – 878, а в гардеробе – 425). Принципиальным проекционным решением было их визуальное неупорядоченное расположение. В многоуровневых зонах фойе применены также настенные прожекторы (30 Вт, угол излучения 32° , $T_{\text{ц}} = 3000$ К), направленные вниз. Элементы световой графики (такие как карнизное освещение уровней потолка, световые полосы на потолке в гардеробе) формируются скрытой подсветкой светодиодными лентами и подчёркивают геометрию перекрытий.

Отсутствие явного светотеневого сценария сближает фойе по атмосфере с общественными пространствами коммерческого назначения, создавая косвенный отклик на тенденцию универсализации этой зоны. Но это световое решение открывает и другой аспект: именно в таком равномерном, матовом свете элементы фойе – пандусы, опоры, фермы покрытия – приобретают отстранённый, абстрактный характер, они больше напоминают геометрические тела, чем функциональные архитектурные детали. Такая приверженность к математическому мышлению является особой составляющей архитектуры ТПО «Резерв» [9]. И в этом смысле автономный спектакль фойе – это один из авторских знаков в здании.

4.2. Обработка отношений «ядро-оболочка»

Обработка отношений «ядро-оболочка», где ядро – это зрительный зал, а оболочка – окружающие его функции, связана как архитектурная задача с появлением точных акустических расчётов и требований к залу. Моделирование большими плоскостями, использование в отделке дерева, применение микрорельефа в поверхностях стен и потолка определяют насыщенную по цвету, подчёркнуто материальную среду зала. Естественно, что декоративная подсветка этих деталей становится важным эле-



Рис. 5. Освещение фойе: зона входа, световая графика на фоне заливающего освещения. Фотография: А. Народицкий

ментом интерьера. Но наряду с этим растёт и другая тенденция: зал начинает трактоваться как цельное тело («ядро») из одного материала внутри «оболочки»-фойе из другого материала, как правило, контрастного. При этом освещение используется для визуального разделения «ядра» и «оболочки». Это достигается либо интенсивной подсветкой внешней поверхности стен зала, обращённой в фойе и имеющей особую «драгоценную» облицовку, либо карнизным (скрытым) освещением этой поверхности в местах соприкосновения с перекрытиями. В модернистских зданиях эта тема носит спокойный характер, а иногда и вовсе отсутствует; с приходом же постмодернизма – а затем и цифровых технологий – она приобретает всё более драматичный характер. Прямолинейными примерами её прочтения в новейшей архитектуре являются здание Королевской Оперы в Копенгагене, Дания (2005 г., архитектор Х. Ларсен), упомянутый выше *Wingspear Opera House*, Оперный театр в Харбине, КНР (2015 г., бюро *MAD*). Проследим, какова её интерпретация в концертном зале «Зарядье».

В освещении главного зала применены три группы источников света, причём для всего освещения предусмотрена система светорегулирования. В акустическом потолке расположены

светильники общего и сценического освещения³. Для освещения пространства под балконами в нижнюю поверхность балконных тяг встроены светодиодные направляемые светильники мощностью 23 Вт с углом излучения 50° . Наконец, подсветка облицованных красным деревом стен выполнена с помощью гибких светодиодных светильников (мощность 10,6 Вт/м, $T_{\text{ц}} = 3000$ К, индекс цветопередачи $R_a > 80$), скрытых за тягами балконов и повторяющих их линии. Таким же образом решена подсветка стен зала, видимых из фойе и облицованных шпоном из той же породы дерева, контрастным к доминирующему в фойе гладкому белому акриловому камню.

Именно последний приём освещения отвечает в зале «Зарядье» за поддержку отношений между «ядром» и «оболочкой». Авторы проекта описывают эти отношения как послышное, последовательное раскрытие пространства от зала к фойе и далее к наружной среде [10]. Независимость разнохарактерных слоёв подчёркивается световыми зазорами между ними. При этом в фойе «ядро» не выдаёт себя ничем, кроме сходства отделки с отделкой зала – в этом данное решение близко к модернистским объектам. Появление же внутри зала белых полос балконов, отсылающих к «обо-

³ Указанная группа осветительных приборов относится к проекту сценического освещения, не рассматриваемому в настоящей статье.

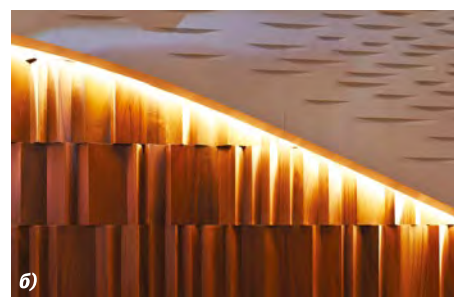


Рис. 6. Выявление идеи слоёной структуры в большом зале за счёт карнизной подсветки: а – общий вид, фотография: А. Народицкий; б – «ритмические ряды» акустической панели, фотография: И. Иванов

лочке» – это специфическая черта зала «Зарядье», говорящая об образном приоритете слоёной структуры над собственно идеей «ядра» (рис ба). Любопытно, что у такого видения пространства и его светового решения тоже есть аналоги: Национальный концертный зал в Дублине, Ирландия (2008 г., конкурсный проект бюро *3XN Architects*) и здание Парижской филармонии, Франция (2018 г., автор первоначальной концепции Ж. Нувель).

4.3. Активное использование ритмических рядов

Активное использование ритмических рядов является не менее распространённым атрибутом музыкальных залов. Изначальная общность понятий в музыке и в архитектуре делает его практически неизбежным выразительным средством, и при этом его использование в концертных залах может иметь как функциональную, так и образно-декоративную задачу.

Функциональный аспект снова отсылает к требованиям акустики. Акустический расчёт приводит к тому, что в архитектуре зрительного зала появляются крупные или мелкие ритмические элементы, обеспечивающие качество звука, и прочитать их в тёмном помещении можно только благодаря искусственному свету. Выше уже шла речь о карнизной подсветке деревянной акустической отделки в зале – благодаря ей мы воспринимаем не только пространственные слои, но и сложный рельеф из повторяющихся мелкоразмерных

модулей, и осознаём его функциональное назначение (рис. 6б). Заслуживает внимания и световое решение в малом зале: с помощью такого же карнизного освещения светодиодной лентой подчёркнуты ярусы крупных акустических панелей (рис 7). По своей атмосфере, созданной освещением, малый зал «Зарядья» родственен залу в Блайбахе, Германия (2014 г., бюро *peter haimerl. architektur*). В то время как ритмический рисунок, вызывающий ассоциацию с текстильной драпировкой, проявленный с помощью пунктирно расположенных в нижней плоскости балкона накладных светильников по 6 светодиодов в каждом (мощность 12,6 Вт, угол излучения 41°) – это то, что делает это камерное пространство тонкой находкой московского музыкального комплекса.

Декоративное понимание ритмики также присутствует в здании. Уже упомянутая подсветка пластики южной стены – хорошая иллюстрация этого аспекта в наружной детализации. В фойе же с помощью ритмических элементов – как материальных, так и световых – формируется его особая среда. В эссе искусствоведа Ю. Тарабаринной переживание этой среды звучит как лейтмотив здания: «штриховки» – понятие, которым она обозначает ритмические элементы всех видов, от стеклянных ламелей витражей до зеркальных полос облицовки – выступают за дематериализацию архитектуры [8]. Они не подсвечиваются особым образом, а напротив – сосуществуют и накладываются друг на

друга в равномерной световой среде фойе, о которой уже шла речь выше. Отдельно здесь стоит упомянуть решение, ставшее своего рода визитной карточкой здания – это светодиодная подсветка в виде тонких вертикальных линий, встроенная в массив акрилового камня по всей длине ограждения балкона второго этажа. Декоративную роль этой детали подчёркивает более холодная цветовая температура, чем применяемая во всем здании: 8000–9000 К.

5. Заключение

При сдержанной палитре использованных технических средств и приёмов искусственного освещения в здании концертного зала «Зарядье» прочитываются атрибуты, которые на сегодня продолжают определять концертные залы как тип зданий. При сопоставлении с другими объектами в рамках типологии и изучения применённых в них световых решений выявляются закономерности и изменения, связанные как с эволюцией самого типа сооружения, так и с общим развитием архитектуры. Кроме того, прослежен ряд индивидуальных особенностей объекта, связанных как с исходными условиями проектирования, так и с авторским языком выполнившего объект архитектурного бюро, и отразившихся в подходе к освещению.

При анализе были выявлены пять крупных организующих принципов, поддерживаемых световыми концепциями:



Рис. 7. Карнизная подсветка акустических панелей в малом зале. Фотография: А. Народицкий

– Приём «экспонируемого интерьера» как приглашающий элемент.

– Применение медиафасада большой площади.

– Трактовка фойе как автономного пространства с насыщенной архитектурной сценографией.

– Выявление архитектурных отношений между объёмом зала и фойе – «ядром» и «оболочкой».

– Активное использование ритмических рядов как в фасадной пластике, так и в интерьере.

Спецификой рассматриваемого объекта является то, что в силу градостроительной ситуации встроенности в парковый комплекс искусственное освещение приобретает для него решающее значение. Некоторые типологические атрибуты оказываются не просто характерным приёмом – они становятся единственным убедительным в данной ситуации решением. В первую очередь, это касается экспонирования фойе сквозь остекление фасада с помощью интенсивного интерьерного освещения. Во внутренних решениях это же заливающее освещение отвечает за визуальную консолидацию «механизма» интерьера, разыгранного на узком участке сложной конфигурации. Многочисленные ритмические элементы фойе, помещённые в равномерно освещённую среду, создают и на фасаде, и в интерьере эффект наложения различных слоёв, в котором проявляется индивидуальный язык разработавшего здание архитектурного бюро и од-

новременно создаётся образная связь с языком музыки.

Органичным образом тема послышного раскрытия пространства переходит в зрительный зал, который не является как «ядро», а трактуется как ещё один слой, выявленный световыми зазорами между визуально независимыми элементами стен.

В то же время, налицо средства, проявляющие один из двух исторических корней концертных залов, характеризующие этот тип зданий как развлекательное и коммерческое общественное пространство. В наружных решениях к ним относится трактовка части фасада как информационной светящейся поверхности. Во внутренних решениях за эту составляющую отвечает атмосфера фойе, складывающаяся из открыто установленных светильников фонового освещения в сочетании с выбранными типами отделки – атмосфера, в которой неумовимо читается более широкая функция, чем функция ожидания концерта – ещё один знак времени, объединяющий сегодняшние зрелищные здания.

Проведённый формальный анализ нового московского концертного зала может быть полезен для системного изучения типологии концертных залов в аспекте формообразования, выразительных средств архитектуры и эмоционального восприятия. Для практикующих архитекторов, специалистов в области архитектурного освещения и студентов архитектурных вузов он может стать импульсом к новому твор-

ческому осмыслению этого сложного и интересного типа зданий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крамер А.Ю. Концертный зал в отечественной и европейской культуре. Дис.канд... культурологии: 24.00.01 – СПб., 2015.– 195 с.

2. Серый Е. Расширенное заседание редколлегии журнала «Светотехника» // Светотехника.– 2017.– № 6. – С. 77.

3. Щетков Н.И., Черкасов Г.Н., Новиков В.А. Освещение инженерных и промышленных объектов. Новые аспекты темы // Светотехника.– 2017.– № 6. – С. 32–38.

4. Интервью Ю. Шишальной с Владимиром Плоткиным // Проект Россия.– 2017.– № 4 (86). – С. 82–83.

5. Савкин К.М. Интерпретация глубины // Архитектурный Вестник.– 2018.– № 5 (164). – С. 42–53.

6. Владимир Плоткин: «Главное – пристрастие к форме». Интервью // Резерв Творческое объединение, под ред. Гонсалес Е., Ревзина Г. – М.: Популярная литература, 2004. – С. 35–43.

7. Kaltenbach, F. Der Auftritt vor dem Auftritt | The Show before the Show // Detail.– 2018.– № 3. – Р. 24–29.

8. Тарабарина Ю. Кристалл музыки URL: <https://archi.ru/russia/80955/kristall-muzyki> (дата обращения: 6.11.2018).

9. Ильевская М. ТПО «Резерв»: в потоке времени // Архитектурный Вестник.– 2017.– № 4 (157). – С. 78–87.

10. Интервью М. Ильевской с Сергеем Гусаревым // Архитектурный Вестник.– 2017.– № 4 (157). – С. 62–65.



Ильевская Мария Михайловна.

Окончила МАРХИ (1999 г.). MAS истории и теории архитектуры (Швейцарская высшая техническая школа Цюриха, 2014 г.).

Архитектор, руководитель отдела исследований и коммуникаций ООО «ТПО «Резерв». Старший преподаватель кафедры УНЦ «Архитектура и компьютерные технологии» МАРХИ (ГА). Член Союза Московских архитекторов

Обзор текущего состояния и перспектив развития стандартизации в области искусственного освещения¹

П. ТОРНЗ

Компания *Thorn Lighting Ltd.*, Великобритания.
E-mail: Peter.Thorns@zumtobelgroup.com

Аннотация

В статье описаны организации, связанные с разработкой отраслевых стандартов, европейских норм и новейших практических руководств, их области деятельности и структура. В ней рассмотрены их видение дальнейшей работы по стандартизации и подробно обсуждаются такие общие для них области, как ориентированное на человека или интегративное освещение, взаимосвязь и Интернет вещей, содержательность и экологичность.

Ключевые слова

Искусственное освещение, стандартизация, эксплуатационные требования, законодательный орган, Интернет вещей.

1. Введение

Искусственному освещению соответствуют две области стандартизации: требования к изделиям и эксплуатационные требования, связанные с применением этих изделий. Требования к изделиям, в основном, связаны с безопасностью и техническими характеристиками, тогда как эксплуатационные требования охватывают критерии, которые следует удовлетворить при использовании изделий в составе осветительных установок. В данной статье основное внимание будет уделено работам по стандартизации эксплуатационных характеристик изделий.

Так как разработка стандартов может осуществляться применительно к потребностям как конкретных государств, например, Великобритании или России, так и более крупных политических объединений, таких как Евросоюз, то должна существовать тесная связь между органами стандартизации и законодательными орга-

нами. Например, *EN15193-1:2017* [1] и *PD CEN TR15193-2:2017* [2] были разработаны для Евросоюза в целях обеспечения выполнения Директивы по энергоэффективности зданий [3].

Профессиональные и торговые ассоциации также могут помочь в деле продвижения процесса стандартизации, разрабатывая подходы к созданию наилучших практических методов и решений, обеспечивающих повышенную функциональность. Они также могут предоставить большое количество специалистов в области разработки стандартов.

Однако стандарты нуждаются в прочной научной базе, и поэтому при их разработке используются статьи в научных журналах и доклады на конференциях. Вклад науки, выражающийся в проведении новых исследований, способствует определению направлений стандартизации, позволяющих описать/усовершенствовать установившиеся подходы.

Поэтому при взгляде извне область стандартизации может показаться весьма сложной и запутанной (рис. 1).

Довольно трудно определить, кто в тех или иных организациях занимается разработкой стандартов и кого они представляют, так как это зависит от конкретной организации, членами которой эти люди являются, и от их роли в работе этой организации.

В то же время следует отметить, что этими организациями проводится большая работа, позволяющая наметить для специалистов-светотехников пути к достижению наилучших результатов.

2. Организации и представители

На международном уровне стандартизация обычно осуществляется в рамках Международной электротехнической комиссии (МЭК) в части стандартов на изделия и в рамках Международной организации по стандартизации (ИСО) в части стандартов на применение этих изделий. В Европе их аналогами являются Европейский комитет по стандартизации в области электротехники (CENELEC) в части стандартов на изделия и Европейский комитет по стандартизации (CEN) в части стандартов на применение этих изделий.

Международные стандарты могут разрабатывать и другие организации, такие как Международная комиссия по освещению (МКО) или, менее официально, различные промышленные консорциумы, например, *Zhaga*, всемирная организация предприятий светотехнической промышленности, целью которой является стандартизация

Рис. 1. Основы стандартизации



¹ Перевод с англ. Е.И. Розовского

	Общества	Ассоциации	Стандарты	Законы и директивы
Всемирные	CIE	WTO	ISO, IEC	ООН
Континентальные	IESNA, CIEChina, IESAustralia	NEMA CCI AMF	ANSI, ASTM CCC ASI..	Правительства государств
Европейские	(Lux Europa)	Lighting Europe	CEN, CENELEC	Евросоюз
Национальные, в отдельных странах, например	LiTG, SLL, ILP, LTG, SLG, AFE, NsVV, ...	ZVEI, FEEI, LIA, SdIE	DIN, BSI, ON, AFNOR, SNI,	Национальные законы, например, строительные нормы и правила, постановление об энергосбережении, ...
Представители	Узкие специалисты в области освещения	Специалисты компаний в области освещения	Уполномоченные национальные представители	Политики, лоббисты

Рис. 2. Национальные и международные организации и кого они представляют (*CIE* – Международная комиссия по освещению, *WTO* – Всемирная торговая организация, *ISO* – Международная организация по стандартизации, *IES* – Международная электротехническая комиссия, *IESNA* – Североамериканское светотехническое общество, *CIEChina* – Китайский национальный комитет МКО, *IESAustralia* – Австралийский национальный комитет МКО, *NEMA* – Национальная ассоциация производителей электрооборудования (США), *CCI* – Торгово-промышленная палата, *ANSI* – Американский национальный институт стандартов, *ASTM* – Американское общество по испытанию материалов, *CEN* – Европейский комитет по стандартизации, *CENELEC* – Европейский комитет по стандартизации в области электротехники, *LITG* – Германское светотехническое общество, *SLL* – Светотехническое общество Великобритании, *ILP* – Общество специалистов в области освещения (Великобритания), *AFE* – Ассоциация инженеров по эксплуатации зданий (США), *NsVV* – Нидерландское светотехническое общество, *ZVEI* – Центральное объединение предприятий электротехнической и электронной промышленности (Германия), *FEEI* – Ассоциация предприятий электротехнической и электронной промышленности (Австрия), *LIA* – Ассоциация предприятий светотехнической промышленности (Великобритания), *DIN* – Немецкий институт стандартов, *BSI* – Британский институт стандартов, *AFNOR* – Французская ассоциация по стандартизации)

компонентов светильников со светодиодами (СД).

Эти организации можно грубо разделить на четыре категории:

- Профессиональные сообщества, которые обычно связаны с конкретной сферой профессиональной деятельности и продвигают интересы как этой сферы в целом, так и своих членов в частности.

- Торговые ассоциации и промышленные консорциумы, которые обычно представляют интересы конкретной отрасли промышленности в части стандартов и норм и могут способствовать увеличению рыночных возможностей этой отрасли промышленности.

- Стандартизирующие организации, которые разрабатывают технические стандарты, содержащие требования, основанные на практическом опыте.

- Законодательные органы, например, правительства, которые принимают законы, обеспечивающие безопасность, выполнение требований стандартов и защиту потребителей.

При работе в этих организациях люди могут представлять самих себя, своих работодателей или свои страны (рис. 2).

Так что в рамках профессиональных сообществ человек обычно выступает сам по себе, если только он не занимает официальный пост, – в этом случае он представляет это сообщество. В случае промышленных ассоциаций человек обычно представляет компанию, а в случае стандартизирующих организаций он обычно представляет страну. Людям из научных организаций или из промышленности трудно принять непосредственное участие в процессе законотворчества, хотя они и могут повлиять на этот процесс через лоббистов или информируя политиков и государственные организации о том, что нужно и достижимо с практической точки зрения.

Для координации работы комитетов и организаций могут быть установлены официальные связи между ними, и в этом случае осуществляющий эту связь человек будет представлять соответствующую организацию. Например, член Технического комитета (ТК) 274 ИСО, ответственный за связь с МКО, будет представлять этот комитет в МКО.

Национальные стандартизирующие организации, например, Британский институт стандартов (*BSI*), отслеживают работу над стандартами,

осуществляемую на международном уровне, предлагают помощь в этой работе специалистам из своих стран и предоставляют отзывы на предлагаемые рабочие и предварительные документы. Они также голосуют за принятие документов, представленных на одобрение и публикацию. Например, *BSI* отслеживает работу, проводимую как *CEN/CENELEC*, так и *ИСО/МЭК*.

Все эти категории и входящие в них организации будут рассмотрены ниже.

3. Стандартизирующие организации

3.1. Технический комитет 274 «Свет и освещение» Международной организации по стандартизации (*ISO/TC274*)

На уровне международной стандартизации *ISO/TC274* является основным техническим комитетом по стандартизации в области освещения. Это сравнительно новый технический комитет, так как ранее на уровне ИСО освещение рассматривалось как один из факторов в рамках деятельности разных технических комитетов, которые не занимались разработкой именно светотехнических стандар-

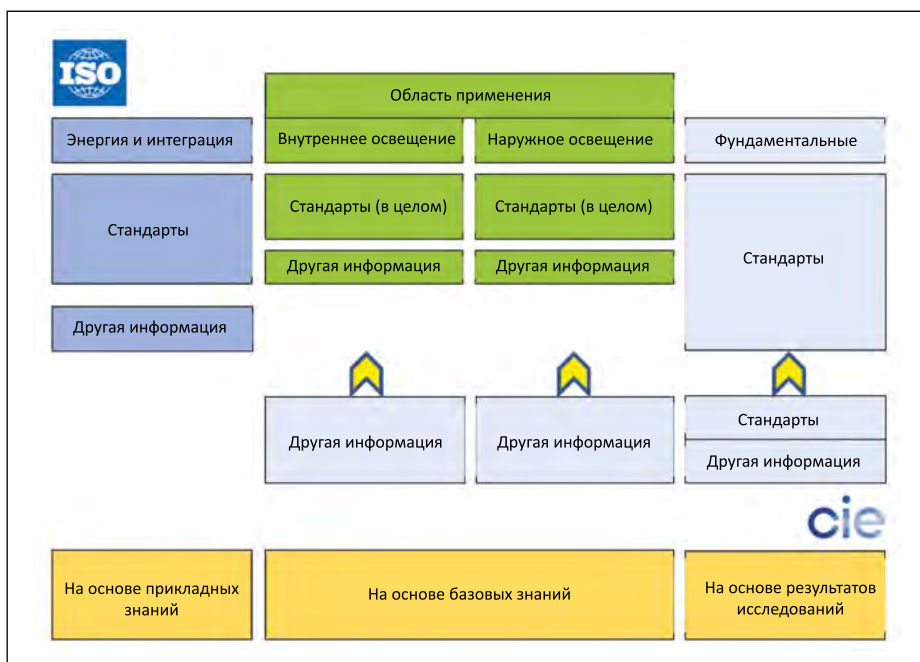


Рис. 3. Наглядное представление горизонтальных связей между ISO/TC 274 и МКО в области светотехники (источник: [36]) (ISO – ИСО, CIE – МКО)

тов. Например, освещение рассматривалось в рамках деятельности комитетов по стандартизации в области эргономики. Для обеспечения того, что освещение будет должным образом рассмотрено узкими специалистами в области светотехники и что цепочка аналогичных национальных комитетов, дающих замечания и голосящих по связанным с освещением стандартам, будет выбрана правильно, вопросы освещения были переданы ISO/TC274. Этот комитет тесно сотрудничает с МКО и координирует с ней программу своей работы. Это сотрудничество выливается в три возможных направления работы, зависящих от уровня сотрудничества, который считают уместным:

- Информационное взаимодействие: Конкретный вопрос полностью поручается одной из организаций, которая держит вторую в курсе своей работы.
- Сотрудничество: Одна из организаций играет ведущую роль во всей деятельности, однако в рабочих совещаниях могут принимать участие представители другой организации, которые имеют статус наблюдателей и обеспечивают техническую связь с этой другой организацией. Эти представители могут также вносить письменные предложения, которые они сочтут полезными для работы.
- Полное взаимодействие: Объединённые рабочие группы проводят

совместные совещания по стандартам при полном равноправии участников.

Всё это отражено на рис. 3, заимствованном из стратегического бизнес-плана ISO/TC274, в котором участие МКО заключается в предоставлении базовых знаний и результатов исследований, тогда как участие ISO/TC274 связано с прикладными знаниями. При разработке единых стандартов используются обе эти области знаний.

ISO/TC274 разработал следующие действующие стандарты:

- ISO 8995-1:2002 *Lighting of work places – Part 1: Indoor* (Освещение рабочих мест. – Часть 1: Рабочие места внутри зданий).
- ISO/CIE8995-3:2018 *Lighting of work places – Part 3: Lighting requirements for safety and security of outdoor work places* (Освещение рабочих мест. – Часть 3: Требования к освещению, обеспечивающие безопасность и защищённость рабочих мест вне зданий).
- ISO 30061:2007 *Emergency lighting* (Аварийное освещение).

На момент написания этой статьи у ISO/TC274 в работе находились четыре стандарта, технических условий и отчётов:

- ISO/CIE FDIS20086 *Light and lighting – Energy performance of lighting in buildings* (Свет и освещение. – Энергоэффективность зданий). В этом предварительном стандарте бу-

дет описана методика оценки энергоэффективности осветительных установок общего освещения нежилых зданий и расчёта или измерения количества энергии, требующегося для внутреннего освещения зданий или расходуемого на это освещение. Этот стандарт тесно связан с EN15193-1:2017 [1].

- ISO/WD TR21783 *Light and lighting – Integrative lighting – Non-visual effects* (Свет и освещение – Интегративное освещение. – Невизуальное воздействие). Этот предварительный технический отчёт будет содержать обзор опубликованных научных исследований невидуального воздействия света на людей, а также оценки связанных с этим вопросом материалов, полезных для практического применения или для оценки того, какие дополнительные сведения и проверки нужны для обеспечения безопасного и полезного освещения.

- ISO/CIE PRF TS22012 *Light and lighting – Maintenance factor determination – Way of working* (Свет и освещение. – Определение коэффициента технического обслуживания. – Способ работы). Эти предварительные технические условия будут содержать стандартизированный способ проведения работ по определению коэффициентов технического обслуживания установок внутреннего и наружного освещения с использованием методик, описанных в CIE154:2003 [37] и CIE097:2005 [38].

- ISO/TC274 WG2 *Commissioning process of lighting systems* (Процесс ввода в эксплуатацию осветительных установок). Эти технические условия будут содержать требования к процессу ввода в эксплуатацию осветительных установок. Эти требования будут включать в себя способы, методы и документацию для подтверждения работоспособности осветительных установок. Он будет содержать подробное описание процесса ввода в эксплуатацию осветительных установок без упора на технические характеристики отдельных частей этих установок.

Имеется ещё одна рабочая группа (ISO/TC274 JWG5 *Lighting for work places* (Освещение рабочих мест)), но она ещё не вышла на уровень разработки стандартов. Эта объединённая рабочая группа должна будет обновить действующий стандарт ISO 8995-1:2002 *Lighting of work places* –

Part 1: Indoor (Освещение рабочих мест. – Часть 1: Рабочие места внутри зданий).

При разработке стандартов всегда следует иметь представление о возможном будущем соответствующей техники и её применении, что обеспечивает своевременное появление требуемых стандартов. *ISO/TC274* определяет пути развития техники, как это показано на рис. 4, где:

- Адаптивное освещение – это освещение, реагирующее на обстановку или изменяющееся в соответствии с заданными заранее условиями, сохраняя при этом качество освещения на уровне, удовлетворяющем требованиям, соответствующим этим обстоятельствам или условиям [39].

- Интегративное освещение (*integrative lighting*) – это освещение, специально предназначенное для обеспечения благотворного физиологического и/или психологического воздействия на людей [39].

Кроме того, были выявлены такие ключевые моменты, как старение населения и энергоэффективность, особенно применительно к защите окружающей среды и глобальным изменениям климата. Изменение климата становится важным регулятором работы светотехнической промышленности, так как оно влияет на все стороны жизни, что приводит к росту его влияния на процесс стандартизации. Потребности в освещении со стороны всё больше стареющего, но всё ещё активного населения, требуют внимательного рассмотрения в рамках этого учитывающего энергопотребление сценария. Развитие цифровизации и Интернета вещей поможет освещению удовлетворить эти требования за счёт эффективной генерации света, если он нужен, и обеспечения того, что освещение соответствует потребностям отдельного человека, а не просто обеспечивает выполнение зрительной работы вообще.

3.2. Технический комитет 169 «Свет и освещение» Европейского комитета по стандартизации (CEN/TC169)

На уровне европейской стандартизации в области светотехники основным техническим комитетом является *CEN/TC169* Европейского комитета по стандартизации, в сферу деятельности которого входит стан-

Рис. 4. Технический прогресс в области освещения (источник: [36])



дартизация в области зрения, фотометрии и колориметрии, включая естественное и искусственное оптическое излучение в УФ, видимом и ИК диапазонах, а также вопросы применения, охватывающие все варианты использования света для внутреннего и наружного освещения, включая требования со стороны окружающей среды, энергетики и устойчивого развития, а также вопросы эстетического восприятия и не визуального биологического воздействия.

Этим комитетом были разработаны следующие стандарты, технические условия (TS) и технические отчёты (TR):

EN1837 Safety of machinery – Integral lighting of machines (Безопасность машин. Вмонтированное освещение).

EN1838 Lighting applications – Emergency lighting (Применение освещения. – Аварийное освещение).

EN12193 Light and lighting – Sports lighting (Свет и освещение. – Спортивное освещение).

EN12464 Light and lighting – Lighting of work places (Свет и освещение. – Освещение рабочих мест).

Part 1: Indoor work places (Часть 1. – Рабочие места внутри зданий).

Part 2: Outdoor work places (Часть 2. – Рабочие места вне зданий).

EN12665 Light and lighting – Basic terms and criteria for specifying lighting requirements (Свет и освещение. – Основные термины и критерии установления требований к освещению).

EN13032 Light and lighting – Measurement and presentation of photometric data of lamps and luminaires (Свет и освещение. – Измерение и представление фотометрических данных для ламп и светильников).

Part 1: Measurement and file format (Часть 1. – Измерение и формат файлов).

Part 2: Presentation of data for indoor and outdoor work places (Часть 2. –

Представление данных для рабочих мест внутри и вне зданий).

Part 3: Presentation of data for emergency lighting of work places (Часть 3. – Представление данных для аварийного освещения рабочих мест).

Part 4: LED lamps, modules and luminaires (Часть 4. – СД лампы и модули и светильники с СД).

Part 5: Presentation of data for luminaires used for road lighting (Часть 3. – Представление данных для светильников, используемых для освещения дорог).

CEN/TR13201–1 Road lighting – Part 1: Guidelines on selection of lighting classes (Освещение дорог. – Часть 1. – Руководство по выбору классов по освещению).

EN13201 Road lighting (Освещение дорог).

Part 2: Performance requirements (Часть 2. – Эксплуатационные требования).

Part 3: Calculation of performance (Часть 3. – Измерение параметров)

Part 4: Methods of measuring lighting performance (Часть 3. – Методы измерения параметров освещения).

Part 5: Energy performance indicators (Часть 3. – Показатели энергоэффективности).

EN14255 Measurement and assessment of personal exposures to incoherent optical radiation (Измерение и оценка индивидуального воздействия некогерентного оптического излучения).

Part 1: Ultraviolet radiation emitted by artificial sources in the workplace (Часть 1. – Ультрафиолетовое излучение искусственных источников света на рабочем месте).

Part 2: Visible and infrared radiation emitted by artificial sources in the workplace (Часть 2. – Видимое и инфракрасное излучение искусственных источников света на рабочем месте).

Part 3: UV–Radiation emitted by the sun (Часть 3. – Ультрафиолетовое излучение солнца).

Part 4: Terminology and quantities used in UV-, visible and IR-exposure measurements (Часть 4. – Термины и величины, используемые при измерении воздействия УФ, видимого и ИК излучения).

CR14380 Lighting applications – Tunnel lighting (Применение освещения. – Освещение тоннелей).

EN15193-1 Energy performance of buildings – Energy requirements for lighting – Part 1: Specifications, Module M9 (Энергоэффективность зданий. – Энергетические требования к освещению. – Часть 1. – Спецификация, модуль M9).

CEN/TR15193-2 Energy performance of buildings – Energy requirements for lighting – Part 2: Explanation and justification of EN15193-1, Module M9 (Энергоэффективность зданий. – Энергетические требования к освещению. – Часть 2. – Объяснение и обоснование EN15193-1, модуль M9).

EN16237 Classification of non-electrical sources of incoherent optical radiation (Классификация неэлектрических источников некогерентного оптического излучения).

EN16268 Performance of reflecting surfaces for luminaires (Характеристики отражающих поверхностей для светильников).

EN16276 Evacuation Lighting in Road Tunnels (Эвакуационное освещение дорожных тоннелей).

CEN/TR16791 Quantifying irradiance for eye-mediated non-image-forming effects of light in humans (Количественное определение энергетической освещённости глаза для осуществляемого через глаза не визуального воздействия света на людей).

EN17037 Daylight in buildings (Естественное освещение зданий).

CEN/TS17165 Light and lighting – Lighting system design process (Свет и освещение. – Процесс проектирования осветительных установок).

Разработка и поддержание подобного перечня документов, охватывающих самые разные вопросы, требует продуманной организации. Для этого *CEN/TC169* включает в себя большое количество рабочих групп (*WG*). Каждая из этих рабочих групп отвечает за один или несколько перечисленных выше стандартов:

- *WG 1 Basic terms and criteria* (Основные термины и критерии).

- *WG 2 Lighting of work places* (Освещение рабочих мест).

- *WG 3 Emergency lighting in buildings* (Аварийное освещение зданий).

- *WG 4 Sports lighting* (Спортивное освещение).

- *WG 6 Tunnel lighting* (Освещение тоннелей).

- *WG 7 Photometry* (Фотометрия).

- *WG 8 Photobiology* (Фотобиология).

- *WG 9 Energy performance of buildings* (Энергоэффективность зданий).

- *WG 11 Daylight* (Дневной свет).

- *WG 12 Joint Working Group with CEN/TC226 – Road lighting* (Объединённая рабочая группа, с *CEN/TC226 – Road lighting* (Освещение дорог)).

- *WG 13 Non-visual effects of light on human beings* (Невизуальное воздействие света на людей).

- *WG 14 ErP Lighting Mandate Management Group* (Группа управления работой в области освещения).

Каждая рабочая группа имеет руководителя, который организует и координирует её деятельность и отчитывается перед *CEN/TC169* как минимум два раза в год на ежегодном пленарном заседании ТК и на промежуточном собрании руководителей рабочих групп.

На момент написания этой статьи у *CEN/TC169* в работе находились семь документов: обновления *EN1837*, *EN13032-1*, *EN13032-4*, *EN12464-1* и *EN15193-1* и два новых документа по вопросам «*BIM Attributes for Luminaires and Sensors*» (Широкополосные соединительные модули для светильников и датчиков) и «*Guidance Notes on the use of dynamic signage systems*» (Инструкция по применению динамических систем световых указателей).

Опять же, как и в случае *ISO/TC274*, при разработке стандартов всегда следует иметь представление о возможном будущем соответствующей техники и её применении, что обеспечивает своевременное появление соответствующих стандартов. *CEN/TC169* выявляет внешние факторы, которые окажут влияние на освещение и, тем самым, на разработку стандартов, такие, как:

- Урбанизация – тенденция к расширению городских жилых пространств и увеличению плотности населения.

- Экологичность – потребность в уменьшении энергопотребления и сохранении природных ресурсов.

- Старение населения – потребность в качественном проектировании как внутренних, так и наружных пространств, в том числе освещения, для удовлетворения потребностей пожилых жителей или людей с ослабленным зрением.

- Взаимосвязь (*connectivity*) / Интернет вещей – усиливающаяся тенденция к установлению взаимосвязей между изделиями и услугами.

- Остекление – разработка окон и солнцезащитных устройств, способствующих переходу к почти не потребляющим энергию зданиям.

- Информационное моделирование зданий – потребность в содержащих большое количество данных виртуальных моделях, которые могут оказаться полезными на всём протяжении жизненного цикла здания и его компонентов.

4. Профессиональные сообщества

4.1. МКО

Международная комиссия по освещению (МКО) представляет собой профессиональную организацию, способствующую расширению знаний, связанных со светом и освещением, цветом и зрением, фотобиологией и формированием изображений. Она традиционно находится на передовых научных и технических позициях и признаётся Международной организацией по стандартизации в качестве органа международной стандартизации (см. раздел 3.1 и рис. 3).

Работа МКО разделена между шестью отделениями, каждое из которых может формировать технические комитеты (ТК) для выполнения конкретной работы, например, для разработки или актуализации технических отчётов или стандартов. После завершения работы ТК расформируются, в отличие от, например, *CEN/TC169*, в котором рабочие группы продолжают существовать и после выполнения конкретной работы. Эти отделения охватывают следующие направления:

Отделение 1 *Vision and Colour* (Зрение и цвет).

Отделение 2 *Physical Measurement of Light and Radiation* (Физические измерения света и излучения).

Отделение 3 *Interior Environment and Lighting Design* (Проектирование внутренней среды и светодизайн).

Отделение 4 *Transportation and Exterior Applications* (Освещение на транспорте и наружное освещение).

Отделение 6 *Photobiology and Photochemistry* (Фотобиология и фотохимия).

Отделение 8 *Image Technology* (Формирование изображений).

Каждое из отделений имеет своего руководителя, своего секретаря, своего редактора и нескольких заместителей руководителя, которые обеспечивают выполнение программы работы этого отделения.

МКО опубликовала большое количество технических отчетов и стандартов, многие из которых содержат фундаментальные знания, используемые при выработке требований для стандартов и руководств. Она непрерывно стремится к пониманию ключевых моментов и использует это понимание для формирования стратегии проведения исследований. Эти ключевые моменты в настоящее время включают в себя:

- Рекомендации в части здорового освещения и не визуального воздействия света.
- Качество цвета, излучаемого источниками света, с точки зрения восприятия и предпочтений людей.
- Адаптивное, умное и динамическое освещение,
- Зрительный облик: восприятие, измерение и метрики.
- Помощь в разработке специальных требований к освещению, и т.д.

4.2. *Lux-Europa* (Люкс-Европа)

Люкс-Европа представляет собой европейское светотехническое сообщество, членами которого являются представители национальных европейских светотехнических обществ.

Люкс-Европа не присваивает профессиональный статус и не вырабатывает технические нормы, однако она имеет большое значение для работы над стандартами, так как каждые 4 года проводит конференцию Люкс-Европа. Эта конференция предоставляет возможности для презентации результатов многочисленных исследований и обсуждения важных для Европы вопросов, таких как новые или ожидаемые законы и стандарты.

4.3. Светотехническое общество и Общество специалистов в области освещения (Великобритания)

Многие страны имеют свои собственные профессиональные организации, выпускающие практические руководства по многим вопросам светотехники. В Великобритании двумя основными профессиональными организациями в области светотехники являются Британское светотехническое общество (*SSL – Society of Light and Lighting*, букв. – Общество света и освещения), которое входит в Аккредитованный институт специалистов по инженерному оборудованию зданий (*Chartered Institute of Building Services Engineers*), и Общество специалистов в области освещения (*Institution of Lighting Professionals*)

SSL является «потомком» Британского светотехнического общества (*UK Illuminating Engineering Society*), которое было основано в 1909 г., а Общество специалистов в области освещения уходит корнями в Ассоциацию инженеров по освещению общественных мест (*Association of Public Lighting Engineers*), которая была основана в 1924 г. Эти организации в значительной степени дополняют друг друга при относительно малом наложении их деятельности. Они нацелены на распространение хорошего освещения и передового подхода к проектированию осветительных установок и на то, чтобы сделать освещение неотъемлемой частью характеризующегося малым энергопотреблением и экологичного будущего. Они также сотрудничают с правительством Великобритании в области освещения и придают своим членам признанный профессиональный статус.

Обе организации публикуют целый ряд документов, охватывающих отдельные области применения, важные законодательные акты и информацию по светотехнике. В целом, в основе этих документов лежат светотехнические стандарты, но иногда их содержимое может стимулировать работу над стандартами. Примером служит руководство по паразитному свету, которое содержится в *CIE150* [4]. Некоторое время требования, разработанные Обществом специалистов в области освещения [5], были более запретительными по сравнению с требованиями *CIE150*, но в последней ре-

дакции *CIE150* эти требования снова оказались гармонизированы.

Следует отметить, что *SSL* является членом Люкс-Европы от Великобритании.

5. Промышленные ассоциации

5.1. *LightingEurope*

LightingEurope является промышленной ассоциацией, представляющей светотехническую промышленность Европы. Ее задача состоит в том, чтобы отстаивать интересы светотехнической промышленности и защищать их в Брюсселе, работая с европейскими агентствами и Еврокомиссией для согласования политики Евросоюза с достижениями в области светотехники. Она старается продвигать эффективное освещение во благо глобальной окружающей среды, комфорта, здоровья и безопасности людей.

Для этого *LightingEurope* сводит специалистов отрасли и местных и европейских специалистов по выработке государственной политики в составе рабочих групп по конкретным аспектам политики в области освещения. Имеются следующие рабочие группы:

- Переход на СД: СД сделали возможными энергоэффективные решения, позволяющие внести в законодательство более амбициозные задачи в области энергопотребления. Однако важное значение имеют поддержание равновесия между энергоэффективностью и качеством освещения и сохранение базовых требований к качеству светильников с СД.

- Интеллектуальные системы освещения: По мере того, как здания становятся всё более «умными», освещение может оказаться основой этих «умных» домов, и благодаря использованию датчиков и устройств управления интеллектуальные системы освещения обеспечат пользователей и владельцев зданий более полным контролем над качеством, гибкостью и масштабируемостью осветительных установок. Аналогичным образом, разработка концепции «умного» города, в основе которой лежат интеллектуальные системы, обеспечит формирование общегородской сети из точек сбора информации и управления.

- Ориентированное на человека освещение: Свет обладает способностью стимулировать, расслаблять, взбадривать, улучшать когнитивную деятель-



Рис. 5. Развитие рынка светотехники (источник: [35])

ность, настроение и цикл сна-бодрствования людей, так что целью этой рабочей группы является продвижение идеи ориентированного на человека освещения посредством предоставления информации, организации научных исследований и мероприятий, предназначенных для тех, кто принимает решения в области законодательства и бизнеса. Следует отметить, что термин «ориентированное на человека освещение» (*human centric lighting*) эквивалентен используемому МКО и ИСО термину «интегративное освещение» (*integrative lighting*).

– Экономика замкнутого цикла: В основе экономики замкнутого цикла лежит минимизация отрицательного воздействия изделий на экологию, а это означает, что экономика замкнутого цикла включает в себя восстановление, переделку, повторное использование и повторное распределение изделий.

Промышленные ассоциации должны иметь представление о будущем, что обеспечивает своевременное появление соответствующих стандартов, просвещение законодателей и рынка с целью оповещение рынка о возможности появления новых рынков и предотвращения непредумышленного законодательного препятствования развитию новых идей и областей применения. У *LightingEurope* есть стратегическая дорожная карта, показывающая, как она представляет себе развитие светотехнического рынка и как это развитие будет способствовать

увеличению ценности света и качества осветительных установок (рис. 5).

Переход на СД и то, что внедрение СД техники уже идёт полным ходом, позволяет более широко использовать средства управления освещением. Цифровая природа СД освещения будет способствовать развитию интеллектуальных систем освещения и Интернета вещей, которые, в свою очередь, откроют дорогу для ориентированных на человека решений. Тем временем будет возрастать значимость экологичности, олицетворяемой экономикой замкнутого цикла.

Видны явные параллели между рис. 5 и рис. 4, отражающим точку зрения *ISO/TC274*, так что обе организации одинаково представляют себе пути развития осветительной техники и её применения.

5.2. LIA (Великобритания) и ZVEI (Германия)

Национальные торговые ассоциации должны представлять свою отрасль на рынке и в законодательных органах. Основное различие между *LIA* (*Lighting Industry Association* – Ассоциация предприятий светотехнической промышленности) и *ZVEI* (Центральное объединение предприятий электротехнической и электронной промышленности) состоит в том, что *LIA* связана исключительно со светотехникой, тогда как *ZVEI* представляет и электротехническую, и электронную промышленности Германии

и, тем самым, охватывает гораздо более широкое поле деятельности. При этом входящие в состав *ZVEI* отделения занимаются разными отраслями промышленности, и одно из них связано с освещением.

И *LIA*, и светотехническое отделение *ZVEI* являются членами *LightingEurope*, представляя интересы своих членов на европейской арене, и обе эти организации принимают активное участие в комиссиях по стандартизации, как национальных, так и международных.

У *LIA* и светотехнического отделения *ZVEI* имеются рабочие группы, состоящие из специалистов компаний, входящих в состав этих ассоциаций. Эти группы стараются отслеживать все интересующие их законодательные акты, сотрудничают с законодателями и высказывают им свои замечания. Кроме того, они рассматривают технические вопросы с целью обеспечить своих членов технической информацией и рекомендациями, которые могут быть использованы для развития светотехнического рынка. Так что в определённой степени национальные торговые ассоциации аналогичны *LightingEurope*, правда, на национальном уровне. Как бы то ни было, национальные ассоциации могут определять ключевые моменты и разрабатывать их на национальном уровне или же продвигать их в рамках *LightingEurope* для обеспечения более общеевропейского подхода, или, если они сочтут это полезным, и то, и другое.

6. Стандарты будущего

Для освещения наступило время перемен, и не только в части техники, такой как источники света или устройства с СД, но и в части практики освещения, которая перешла от выполнения определённых задач к освещению для отдельных людей и общества в целом, от чистого обеспечения возможности видеть к освещению, обеспечивающему ещё и благополучие людей и являющемуся средством связи, а также к миру взаимосвязанных устройств и Интернета вещей, когда освещение перестаёт быть только источником света, а становится ещё и источником информации.

Это вызов для стандартов. Стандарты – это не только руководства или результаты исследований, они содержат

фактические данные, основанные на наблюдениях и доказанных фактах. В них приводятся установленные значения параметров и критерии без указания того, как удовлетворить эти критерии. Это создаёт проблемы, так как радикально новые концепции и технические средства требуют проведения исследований и доказательств, и лишь после этого их можно ввести в стандарты. Кроме того, разработка стандарта обычно занимает по меньшей мере три года. Это значит, что стандарты могут отставать в своём развитии от новых изделий и областей применения, временами, намного. Если говорить о типичном жизненном цикле технической продукции (рис. 6), то это означает, что стандарт на применение этой продукции должен быть опубликован на стадии роста, тогда как стадия внедрения используется для накопления достаточного для выработки нормативных требований опыта работы с этим изделием. Примером может служить ориентированное на человека освещение, когда изделия и область применения уже есть, тогда как количество содержащихся в стандартах рекомендаций и проектных требований всё ещё очень ограничено.

Однако, как показано выше, каждая из организаций, задействованных в деле разработки стандартов, имеет свой взгляд на будущее, будь это стандартизирующая организация, торговая ассоциация или профессиональное сообщество. Эти точки зрения в значительной мере накладываются друг на друга, и если говорить о применении освещения, то они охватывают следующие области:

- Ориентированное на человека или интегративное освещение.
- Взаимосвязь и Интернет вещей.
- Содержательность (*inclusivity*)² в части зрительных возможностей.
- Экологичность.

Этим областям сопутствуют проблемы в части реализации, метрики и использования, и они могут вызывать обсуждение других вопросов, таких как цвет.

² См. ГОСТ Р 55348–2012 Системы управления проектированием. Словарь терминов, используемых при управлении проектированием, термин 3.180. – Прим. пер.

Рис. 6. Типичный график жизненного цикла технической продукции

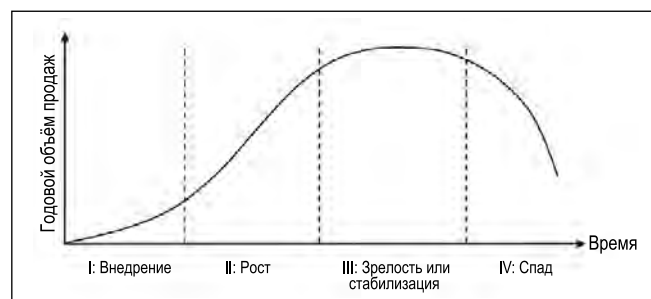
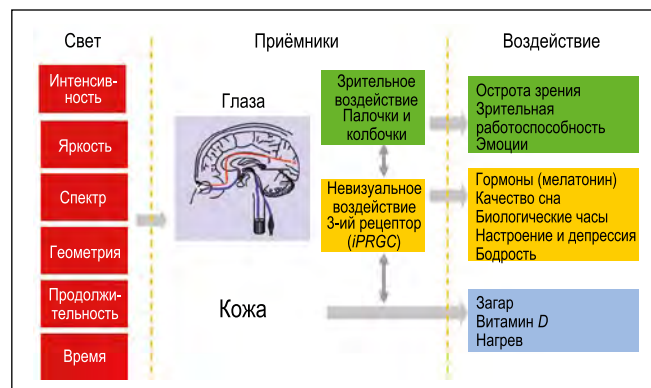


Рис. 7. Упрощённое описание воздействия света на людей



6.1. Ориентированное на человека или интегративное освещение

Как показано на рис. 7, люди взаимодействуют со светом разными способами. Сам свет обладает многими свойствами, которые формируют зрительную среду и эмоциональную, а также биологическую, реакцию. Эти разные реакции требуют новых метрик, так как существующие единицы измерения не соответствуют тому, что измеряют. Такие единицы, как люмен, кандела и люкс, относятся к зрению и основаны на кривой чувствительности глаза в условиях дневного зрения, являющейся компромиссом, ценность которого ставится под сомнение из-за того, что эта кривая неправильно учитывает реакцию колбочек S-типа (помимо прочего). Эти метрики не представляют интереса в случае фотобиологических реакций, за которые отвечают как зрительные, так и не визуальные рецепторы.

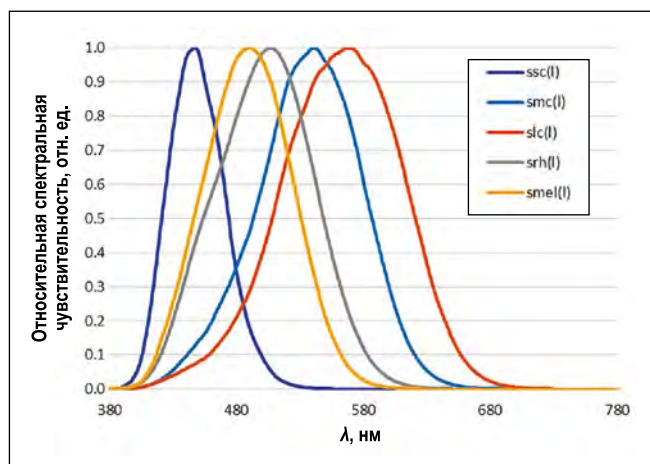
На рис. 8 приведена функция спектральной чувствительности для выработки мелатонина (*smel*), которая была получена Лукасом и др. [7]. Она сильно отличается как от опубликованных функций спектральной чувствительности МКО для колбочек S-, M- и L-типа (кривые *ssc*, *smc* и *slc* соответственно) для 10° наблюдателя, так и от функции спектральной чувствительности МКО в условиях ноч-

ного зрения для палочек (*srh*). Поэтому любые измерения, осуществляемые с использованием основанных на колбочках (дневное зрение) или на палочках (ночное зрение) привычных метрик, не дают представления о биологической реакции человека на свет. Из рис. 8 следует, что на циркадные процессы влияет не только плотность потока излучения, но и его спектральный состав, или, очень упрощённо, они зависят от уровня освещения и цветовой температуры.

Было предложено несколько метрик для измерения не визуального воздействия света. Так, в стандарте *WELL Buildings Standard* [8] используется единица измерения эквивалентный меланописический люкс (*Equivalent Melanopic Lux – EML*). Она получается из освещённости в рассматриваемом пространстве (*L*) и меланописического отношения (*R*), представляющего собой весовой коэффициент, соответствующий конкретному источнику света. Освещённость измеряют в вертикальной плоскости на высоте 1,2 м от уровня пола.

WELL Buildings Standard содержит электронную таблицу для проведения расчётов, основанных на приведённом в *CIE S026.E:2018* меланописическом спектре действия (*melanopic action spectrum*) и относительной спектральной световой эффективности МКО для дневного зрения *V(λ)* (<https://www.wellcertified.com/en>). Исходя из спект-

Рис. 8. Спектры действия α -opic [6]



рального состава излучения источника света рассчитывают меланопическую чувствительность и спектральную чувствительность, после чего полную меланопическую реакцию делят на полную зрительную реакцию, а затем умножают полученный результат на $2,18^3$. В результате

$$EML = L \cdot R \text{ [единица измерения – эквивалентный меланопический люкс]}. \quad (1)$$

Второе предложение было сделано светотехническим исследовательским центром Ренсселеровского политехнического института (*Lighting Research Centre, Rensselaer Polytechnic Institute*). М.С. Ри и др. предложили метрику «циркадный свет» (*Circadian Light*) [9], представляющую собой энергетическую освещённость на роговой оболочке глаза, взвешенную таким образом, чтобы учесть спектральную чувствительность циркадной системы человека, определяемую острым подавлением выработки мелатонина после одночасового воздействия излучения. Второй метрикой является циркадный стимул (*Circadian Stimulus (CS)*), представляющий собой эффективность спектрально взвешенной энергетической освещённости на роговой оболочке глаза, от пороговой ($CS = 0,1$) до насыщенной ($CS = 0,7$).

Как и в случае EML , электронная таблица для расчёта этих величин имеется в свободном доступе, или можно воспользоваться сетевым *online*-инструментом (<https://www.lrc.rpi.edu/cscalculator/>).

Это говорит об отсутствии как общепризнанной меры, обеспечивающей

возможность создания ориентированного на человека освещения, так и утверждённых предельных значений параметров.

Даже если допустить достижение соглашения относительно общепризнанных метрики и предельных значений, то всё ещё остаётся вопрос времени. При обсуждении биологических ритмов мы должны понимать, что это не то же самое, что физические ритмы смены дня и ночи в рамках характерных для нашей планеты 24-часовых циклов. Цикл сна-бодрствования отдельного человека может в большей или меньшей степени отличаться от естественного цикла смены дня и ночи, что может быть обусловлено режимом работы, социальными привычками, возрастом, полом или хроническими биологическими особенностями. Нет таких универсальных часов, с которыми были бы синхронизированы люди: каждый имеет свои собственные часы, синхронизированные именно с его циклом сна-бодрствования.

Вследствие этого ориентированное на человека освещение предполагает не только наличие некой меры циркадного потока излучения, но и изменение биологических параметров и освещения во времени. Поэтому, за исключением случаев сравнительно однородного населения с дополнительными потребностями, например, в домах для страдающих болезнью Альцгеймера, или, по меньшей мере, наличия относительно постоянного графика смены дневной и ночной деятельности, например, при работе в офисах с одной фиксированной рабочей сменой или на заводах, где график сменности может меняться, но при этом в каждый момент времени работа производится только в одну

смену, ориентированное на человека освещение потребует тщательного подхода, чтобы избежать предпочтения интересов одних потребителей и пренебрежения интересами других потребителей.

WELL Buildings Standard стремится учесть всё это, потребовав, чтобы равный 200 *EMS* уровень освещения был реализован по меньшей мере в период с 9:00 до 13:00. Однако это предполагает, что человек имеет нормальный дневной график работы, синхронизированный с естественным циклом смены дня и ночи. Во многих случаях это не так, и применение этой нормы может привести к тому, что ориентированное на циркадный ритм освещение будет не соответствовать биологическим часам обитателей здания.

Поэтому при отсутствии эффективного управления освещением ориентированное на человека освещение в общем случае можно применять только для определённых групп людей.

6.2. Взаимосвязь и Интернет вещей

При обсуждении достоинств расширения взаимосвязей и Интернета вещей следует учитывать, что несмотря на то, что датчики освещённости и устройства управления освещением используются на протяжении многих лет, во многих осветительных установках, как старых, так и новых, всё ещё не применяется ничего сложнее, чем самые простые устройства управления, которые обычно сводятся к ручным выключателям.

Еврокомиссия отметила это в своём документе «*Preparatory study of lighting systems Lot 37*» (Предварительное исследование систем освещения, лот 37), который был подготовлен её высокопоставленными сотрудниками [10]. В нём был сделан вывод, что:

- Максимальная экономия энергии в 28 странах Евросоюза в результате использования оптимизированных регулируемых систем освещения зависит от источника света сравнения.
- Максимальная полная годовая экономия энергии в 28 странах Евросоюза, обусловленная мерами, принятыми в части систем освещения, составит 20–29 ТВт·ч/год в 2030 г. и 48–56 ТВт·ч/год в 2050 г.
- Это примерно 10 (2030 г.) или 20 (2050 г.) процентов от полного, за

³ По-видимому, речь идёт о расчёте параметра R . – Прим. пер.

исключением жилого сектора, расхода энергии на освещение в 28 странах Евросоюза, если источники света будут использоваться, как обычно.

Для поддержки этого направления Европейский комитет по стандартизации (CEN) выпустил новые технические условия PD CEN/TS17165:2018 [11], которые содержат общие принципы создания осветительных установок, применимые к любому проекту освещения, включая освещение умных зданий. В этом документе приведены входные данные, требуемые для проектирования осветительных установок, и ожидаемые выходные данные (рис. 9).

Для создания энергоэффективных осветительных установок и для стимулирования применения средств управления освещением необходимо продемонстрировать экономию энергии. Соответствующие стандарты имеются и для зданий, и для дорог. В EN15193-1:2017 [1] подробно описан расчёт *LENI* (Lighting energy Numeric Indicator (количественный показатель энергетической эффективности искусственного освещения здания)). Этот показатель рассчитывают по формуле (2), где *LENI* – количественный показатель энергетической эффективности искусственного освещения здания, кВт·ч/(м² · год); *F_c* – экономия, обусловленная поддержанием постоянства освещённости в помещении; *P_i* – полная мощность всех установленных в помещении светильников, Вт; *F_o* – экономия, обусловленная использованием датчика занятости помещения; *t_D* – продолжительность работы искусственного освещения в светлое время суток, ч; *F_D* – экономия, обусловленная использованием датчиков естественной освещённости в помещении; *t_N* – продолжительность работы искусственного освещения в тёмное время суток, ч; *P_{ci}* – полная мощность, потребляемая устройствами управления светильников в режиме ожидания, Вт; *P_{em}* – полная мощность, потребляемая аварийным освещением в режиме ожидания, Вт; *A* – площадь помещения, м².

В стандарте приведён метод расчёта экономии энергии в результате использования средств управления освещением. Величину *LENI* можно определить и для существующих осветительных установок, либо измерив расход энергии на освещение, либо посредством оценок, основан-

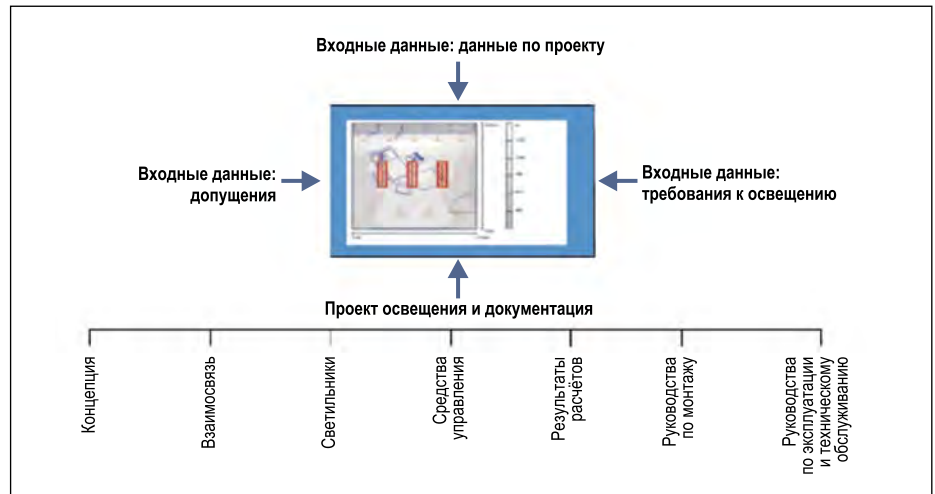


Рис. 9. Процесс проектирования осветительной установки и документация (источник: [11])

ных на результатах аудита осветительной установки. Третий метод показан на рис. 10.

Эквивалентный метод расчёта энергии, расходуемой на освещение дорог,

содержится в EN13201-5:2015 [12]. В нём вводится показатель «удельное годовое потребление энергии» (*Annual Energy Consumption Indicator*), который рассчитывают по формуле (3).

$$LENI = \frac{\left\{ F_c \times \frac{P_i}{1000} \times F_o \left[(t_D \times F_D) + t_N \right] \right\} + \left[t_y - (t_D + t_N) \right] \times (P_{ci} + P_{em})}{A}, \quad (2)$$

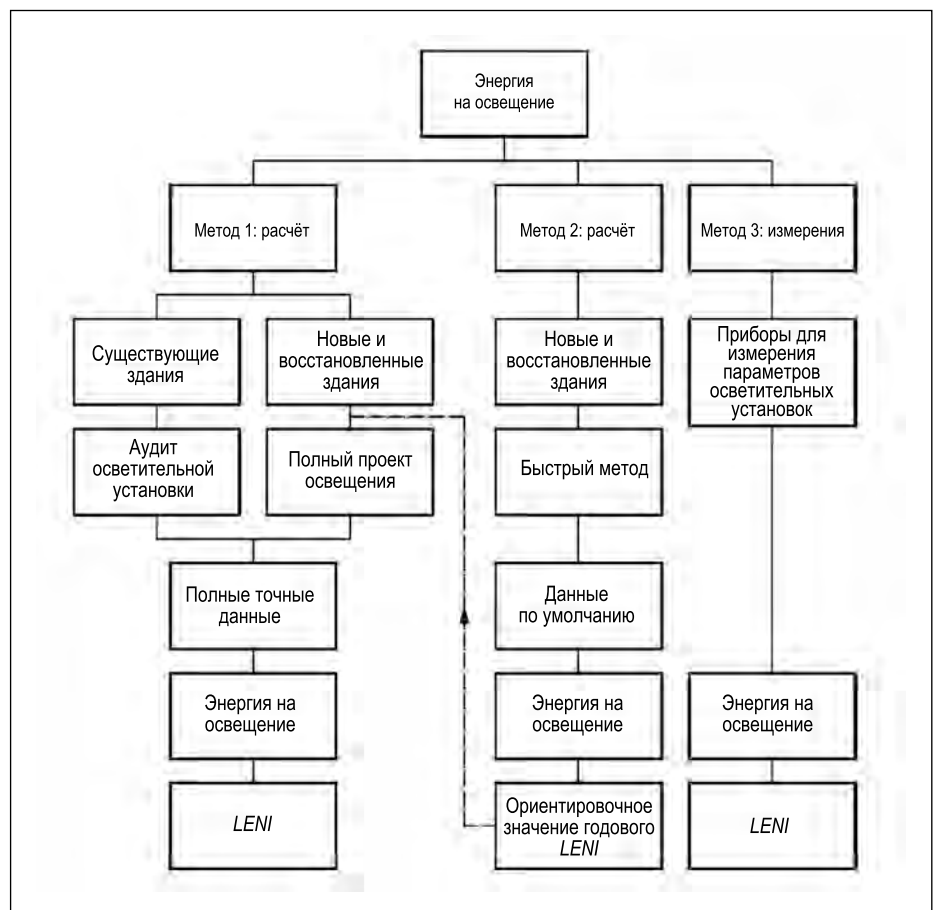


Рис. 10. Блок-схема, иллюстрирующая метод определения расходуемой на освещение энергии (источник: [1])

$$D_E = \frac{\sum_{j=1}^m (P_j \cdot t_j)}{A}, \quad (3)$$

где D_E – удельное годовое потребление энергии установкой дорожного освещения, Вт·ч/м²; P_j – мощность, потребляемая установкой в j -ый период работы, Вт; t_j – продолжительность j -го периода работы, ч; A – площадь участка, освещаемого рассматриваемой осветительной установкой, м²; m – количество периодов, соответствующих разным режимам работы.

Чтобы учесть мощность, потребляемую устройствами управления в режиме ожидания, при использовании этих устройств рабочий период будет включать в себя и дневные часы, когда освещение не работает. При использовании датчиков присутствия необходимо учитывать вероятность реализации всех уровней освещённости.

При наличии возможности рассчитывать потребление энергии и влияние устройств управления освещением требуется более широкое использование управляющего оборудования. Есть много рекомендаций по использованию устройств управления освещением. В *CIE122* [13] содержатся указания, позволяющие уравновесить качество освещения, комфорт потребителей и энергоэффективность при организации управляемого освещения нежилых зданий. Этот документ описывает основы организации управления освещением, содержит большой обзор литературы по применению средств управления и 12 таблиц, в которых проводится оценка использования управления освещением в разных областях применения. Этот отчёт позволяет также выбрать подходящую стратегию управления освещением, начиная с его применения и заканчивая прогнозируемыми результатами, или начиная с желаемых результатов и заканчивая стратегией управления освещением, позволяющей добиться этих результатов.

Альтернативным документом является разработанное Британской ассоциацией светотехнической промышленности (*UK Lighting Industry Association*) Руководство по управлению освещением (*Lighting Control Guide*) [14], которое содержит оценку преимуществ управления освещением, помогает подобрать устройства управления и источники света для

конкретных областей применения и включает в себя дерево принятия решений, облегчающее выбор наиболее подходящих средств управления освещением.

Основным моментом при использовании передовых систем управления является их аттестация, гарантирующая, что система работает должным образом. В этом случае очень большое значение имеет деятельность комитетов по стандартизации, например, рабочей группы *ISO/TC274 WG2 Commissioning process of lighting systems* (Процесс аттестации осветительных установок), предоставляющая точки отсчёта, на которые следует ориентироваться.

Разработка прогрессивных концепций, таких как Интернет вещей или умный город, влечёт за собой появление и рассмотрение многих дополнительных возможностей. В случае умного города это может включать такие моменты, как формирование социального портрета разных областей применения, например, в части:

- Ожидаемого возрастного состава пользователей в зависимости от времени дня и дня недели.
- Ожидаемой социальной деятельности в зависимости от времени дня и дня недели.
- Ожидаемых видов транспорта.
- Распространённости и видов преступной деятельности.
- Категории местности, например, обедневшие городские кварталы/городская местность/сельская местность, торговые площади/развлекательные пространства/жилые районы и т.д.

Освещение должно меняться в соответствии с изменениями его предназначения и особенностей жителей.

Аналогичным образом, в случае зданий можно сформировать картину использования пространства или потребления энергии. Датчики и программное обеспечение могут определить занятость помещений или отдельных столов, и эти данные могут быть визуализированы, позволяя оптимизировать использование помещений. Кроме того, использование датчиков освещённости и присутствия и управляющих устройств с отчётом времени позволяет свести потребление энергии к минимуму. Так что освещение зданий должно соответствовать выполняемой людьми работе, а не просто удовлетворять предъём-

ляемые этой работой требования, как если бы работа выполнялась неким «стандартным» человеком со «стандартными» зрительными возможностями и без каких-либо эмоциональных потребностей.

Ещё одной потенциальной областью применения прогрессивных устройств управления является аварийное освещение. В настоящее время это освещение обеспечивает возможность эвакуации людей из здания, но без оценки состояния здания и путей эвакуации. Так что оценка безопасности путей эвакуации ложится на каждого человека в отдельности, тогда как освещение и указатели остаются неизменными независимо от реальных условий. Совмещение аварийного освещения с другими системами жизнеобеспечения здания, такими как система пожарной сигнализации с дымовыми или тепловыми извещателями, позволят направлять перемещение находящихся в здании людей по потенциально опасным участкам, тогда как использование мониторов, способных регистрировать плотность людей в пределах различных участков и на путях эвакуации, позволит прокладывать пути в обход больших скоплений людей, облегчить и максимально ускорить процесс эвакуации. Однако этим системам присущи их собственные особенности и проблемы.

Проверка функциональности интеллектуальных систем аварийного освещения на практике усложняется по мере появления многочисленных взаимосвязей, в частности, с внешними системами. Автоматическая проверка была бы очень полезна, но она потребует тщательного подхода. Решающее значение будет иметь надёжность связи. Потеря связи с внутренними или внешними элементами отрицательно скажется на способности системы указывать находящимся в здании людям безопасное направление. Это особенно важно в случае давно существующих систем, на которые люди полагаются в деле обеспечения своей безопасности. Большое значение имеет кибербезопасность, так как подключение любой системы представляет собой угрозу для безопасности. Это относится не только к эвакуационному освещению, хотя и здесь обеспокоенность вызывает возможность активизации третьими лицами эвакуационной сигнализации при одновременном отключении систем эвакуации, – лю-

бая подключённая система может открыть доступ к чувствительным областям компьютерной сети. Поэтому работа систем освещения может оказаться в сфере интересов отделов информационных технологий и соответствующих специалистов.

Осознавая возрастание рисков, связанных с Интернетом вещей и увеличением взаимосвязей, Евросоюз разрабатывает новый документ, *EU Cybersecurity Act* (Акт о кибербезопасности) [15], который будет содержать схемы сертификации изделий на кибербезопасность. Сертификация будет осуществляться на базовом, важном (*substantial*) или высоком уровне, где:

- Базовый уровень обеспечивает минимизацию известных основных рисков.
- Важный уровень обеспечивает минимизацию известных угроз безопасности со стороны лиц с ограниченными умениями и возможностями.
- Высокий уровень обеспечивает минимизацию соответствующих последнему слову техники атак со стороны лиц со значительными умениями и возможностями.

Национальные правительства и организации также разрабатывают подобные руководства. В качестве примеров можно привести документы, опубликованные *CIBSE* (Великобритания) [16], *ZVEI* (Германия) (белая книга) [17] и Департаментом цифровых технологий, культуры, средств массовой информации и спорта Великобритании [18].

Однако по мере накопления данных и расширения использования Интернета вещей и интеллектуальных систем освещения возникает опасность нарушения прав личности. Поэтому развитие как техники, так и стандартов ограничиваются правовыми нормами. В Евросоюзе это *General Data Protection Regulation (GDPR)* (Общий регламент по защите персональных данных) [19]. Он на уровне Евросоюза охватывает обработку персональных данных в рамках деятельности организации по контролю или обработке данных, независимо от того, где – в Евросоюзе или за его пределами – осуществляется эта обработка. В область действия этого регламента входит отслеживание в пределах Евросоюза поведения отдельных лиц. Ключевые определения включают в себя:

– Персональные данные – любая информация, связанная с идентифици-

рованным или поддающимся идентификации физическим лицом.

– Поддающееся идентификации физическое лицо – физическое лицо, которое может быть идентифицировано, непосредственно или опосредованно, особенно посредством указания персональных данных, таких как имя, идентификационный номер, место жительства, сетевой идентификатор, или одного или нескольких параметров, позволяющих произвести физическую, физиологическую, генетическую, ментальную, экономическую, культурную или социальную идентификацию этого физического лица.

Так что охваченной оказывается любая информация, позволяющая установить местонахождение конкретного поддающегося идентификации физического лица, или даже более того, любая информация, относящаяся к текущему умственному состоянию (концепции умственно персонализированного ориентированного на человека освещения (*think personalised human-centric lighting concepts*)). Это распространится и на другие области, такие как использование смартфонов, облегчающих владельцам перемещение по умным городам или зданиям, причём выдача разрешений на сбор и использование данных подлежит тщательному рассмотрению.

6.3. Содержательность

Понятие «стандартный человек» существует давно. Рисунок Леонардо да Винчи «Витрувианский человек» (1490 г.) демонстрирует стандартизированные пропорции человеческого тела, в основу которых легли гораздо более ранние работы древнеримского архитектора Витрувия, который в третьем томе своего трактата «*De architectura*» [20] привёл взаимосвязь между идеальными пропорциями человеческого тела и геометрией. Стандартный человек важен потому, что он допускает использование подхода «один размер годится для всех» применительно к рабочим местам, жилым домам, общественным зданиям, мебели, бытовым приборам, транспорту и освещению. Стулья, столы, лестницы, двери и т.д. – все они проектируются применительно к стандартному человеку. Однако основанный на стандартном человеке подход приводит также и к дискриминации, так как

те, кто не соответствует норме, вынуждены или приспособиться к ней, или испытывать неудобства.

Это присуще всем областям, в том числе и освещению. Осветительные установки должны обеспечивать условия освещения, подходящие для большинства населения, но при этом обычно не учитываются те, кому требуются особые физические, психические или зрительные условия.

Содержательное проектирование (*inclusive design*)⁴ (другое название – универсальное проектирование (*universal design*)) – это проектирование для всех людей, независимо от их возможностей, и проектировщики несут ответственность за последствия своих проектов. При подобном проектировании следует учитывать последствия разных обстоятельств, от относительно очевидных, например, того, что глаза инвалида, сидящего в кресле-коляске, находятся на другой высоте, и следовательно, он по иному воспринимает блёккость, и до требующих более углублённого рассмотрения. Если рассматривать потерю зрения, то можно выделить три её основных типа:

- Люди с остаточным зрением, к которым относится большинство людей с потерей зрения. Обычно у них зрение хотя и достаточно плохое, чтобы их можно было считать слепыми или частично утратившими зрение, но всё ещё достаточно функциональное.

- Люди, пользующиеся тростью, которая помогает им перемещаться и используется, в основном, людьми с очень низким уровнем зрения, давая им возможность как воспринимать изменения уровня и текстуры, так и обнаруживать и идентифицировать препятствия.

- Люди с собаками-поводырями, которые составляют весьма немногочисленную группу людей с потерей зрения. Часто это одни из наиболее мобильных представителей этой группы.

К содержательности относится не только то, как мы освещаем пространство, но и то, где мы располагаем осветительные приборы. Например, если рассмотреть то, как эти люди перемещаются в пространстве и как на это влияет расположение светильников (исходя из линии зрения [21]), то мы получим следующее:

⁴ См. примечание 2 на с. 33.



Рис. 11. Изменение во времени содержания CO_2 в атмосфере (источник: NASA, <https://climate.nasa.gov/evidence/>)

• Люди с остаточным зрением

Наиболее важным источником информации служит тональный контраст (*tonal contrast*). Люди с остаточным зрением чувствуют себя комфортнее на широких, просторных, не загромождённых дорожках и в таких же пешеходных зонах. Решающим фактором всё ещё является зрение и, следовательно, свет. Что касается освещения, то светильники, слабо контрастирующие с фоном, оказываются почти невидимыми.

• Люди, пользующиеся тростью

Они полагаются, в основном, на тактильные и слуховые ощущения, и обычно стараются идти вдоль линии зданий. Им может помочь продуманное размещение осветительной арматуры в стороне от линии зданий.

• Люди с собаками-поводырями

Собак-поводырей натаскивают на движение по центру дорожки или ко-

ридора и на обход препятствий. Они также должны замечать перекрёстки и входы. Если собака-поводырь не может обнаружить пространство, достаточно большое, чтобы в нём поместиться, то она должна просто остановиться, оставляя своего владельца беспомощным. Продуманное размещение светильников и мебели в ключевых точках, таких как перекрёстки и входы в здания, помогает собакам-поводырям ориентироваться в этих зонах.

В стандартах на освещение эти вопросы часто рассматривают посредством относительно общих замечаний. В европейском стандарте *EN12464-1* [22] отмечено, что уровни освещения могут быть увеличены, если «зрительные способности работника хуже нормальных». Однако как и большинство стандартов, *EN12464-1* почти не содержит указаний, как это использовать на практике. Что касается более

информативных публикаций, то, например, в *CIE227:2017* [23] содержатся как ценные соображения по поводу причин уменьшения зрительных возможностей и того, что это значит, так и требования к освещению, позволяющие бороться с этими проблемами. Этот документ включает в себя рекомендации по требованиям к освещению, позволяющим пожилым людям перемещаться по путям эвакуации, о чём часто забывают при рассмотрении вопроса безопасности. В нём также обсуждаются некоторые возможности применения интегративного/ориентированного на человека освещения в части невидимого воздействия света на пожилых людей и людей со слабым зрением.

Воздействие света основано не только на зрительных возможностях глаз наблюдателей – свет действует также и на ментальном уровне, задействуя способность наблюдателя расшифровывать зрительно воспринимаемую им сцену. Наблюдатели, страдающие слабоумием, могут иметь хорошее зрение, но их способность понимать типичные особенности и воздействия, которые мы считаем сами собой разумеющимися, может быть нарушена. Тени становятся дырами в земле или гигантскими пауками и т.д., направление падения теней, например, при освещении объекта снизу, может вызывать опасения, а источники блёскоты приводят к дезориентации и замешательству. Информация по этому вопросу содержится, например, в [24–27].

6.4. Экологичность

Освещение обеспечивает потребность людей в свете, но в то же время оно оказывает глобальное воздействие на климат. На рис. 11 показан уровень содержания CO_2 в атмосфере на протяжении длительного промежутка времени, и очевидно, что этот уровень увеличился и продолжает быстро возрастать.

В отчёте, который был опубликован в 2013 г. [28], Программа Организации объединённых наций по окружающей среде (*UNEP*) отмечала, что «В мировом масштабе на освещение приходится почти 20 % потребляемой электроэнергии и 6 % выбросов CO_2 . По данным Международного энергетического агентства, примерно 3 % от мировой потребности в нефти мо-



Рис. 12. Основы экономики замкнутого цикла (источник: [35])

Оцениваемый параметр	Единица измерения	Стадия производства	Стадия строительства	Стадия использования	Конец жизненного цикла	Достижения и нагрузки, выходящие за рамки системы
		A1 – A3	A4, A5	B4, B6	C2 – C4	D
Потенциал закисления (AP)	кг SO ₂ , экв.	6,02·10 ⁻²	1,33·10 ⁻³	1,45	2,95·10 ⁻³	-2,91·10 ⁻²
Потенциал эвтрофикации (EP)	кг PO ₄ , экв.	5,90·10 ⁻³	2,66·10 ⁻⁴	0,13	3,69·10 ⁻⁴	-2,60·10 ⁻³
Потенциал глобального потепления (GWP100)	кг CO ₂ , экв.	20,8	1,23	522	5,35	-7,83
Первичная энергия, возобновляемая	МДж	47,5	0,825	2550	3,52	-15,6
Первичная энергия, невозобновляемая	МДж	348	7,41	9100	13,6	-97,8

Рис. 13. Выписка из экологической декларации изделия (источник: *Thorn Lighting Ltd, Product code 96628133*)

жет быть отнесено на освещение. Если не заняться этим немедленно, то приходится на освещение мировое потребление энергии к 2030 г. возрастёт на 60 %».

Кроме того, в отчёте Анхеля Гурриа (*Angel Gurría*), генерального секретаря Организации экономического сотрудничества и развития (*OECD*) [29], отмечалось, что «Увеличение потребления материалов в сочетании с экологическими последствиями добычи, обработки и утилизации этих материалов с большой вероятностью приведёт к возрастанию давления на материально-сырьевую базу нашей экономики и поставит под угрозу наше будущее благополучие».

Эти обстоятельства являются побудительной причиной того, что стандартизаторы и законодатели продвигают более энергоэффективные и экологичные решения и переход к экономике замкнутого цикла (рис. 12).

Псле стадии сбора, когда мы возвращаем изделия, их компоненты или материалы в производственную цепочку, при продвижении вдоль этой цепочки непрерывно возрастает воздействие на окружающую среду. Так что можно заметить, что предпочтительным вариантом в конце жизненного цикла изделия является повторное использование или восстановление изделия или его отдельных компонентов. Утилизация оказывает более сильное неблагоприятное воздействие на окружающую среду, так как для переработки отходов в новую полезную продукцию требуется больше технологических процессов.

Однако, как отмечено *UNEP* и показано на рис. 13, хотя конечная стадия жизненного цикла изделия и играет важную роль в деле оправдания связанных с этим изделием затрат на охрану окружающей среды, наиболее важное значение имеет предшествующая ей стадия использования. Представленная на рис. 13 выписка из экологической декларации изделия, составленной в соответствии с требованиями *EN ISO 14025* [30] и *EN15804* [31], показывает, что 99 % от соответствующего этому изделию потенциала глобального потепления приходится на стадию использования. Поэтому чрезвычайно важно, чтобы это изделие было максимально эффективным само по себе и чтобы оно использовалось наиболее эффективным образом.

В Европе имеются регламенты по экодизайну, призванные снять с продажи малоэффективные изделия и компоненты. В настоящее время действуют следующие регламенты:

- Регламент (*EC*) No. 244/2009, содержащий требования к бытовым лампам ненаправленного света [32].

- Регламент (*EC*) No. 245/2009, содержащий требования к люминесцентным лампам без встроенных пускорегулирующих аппаратов, разрядным лампам высокой интенсивности и пускорегулирующим аппаратам и светильникам, предназначенным для работы с этими лампами [33].

- Регламент (*EC*) No. 1194/2012, содержащий требования к лампам направленного света, лампам с СД и связанному с ними оборудованию [34].

Однако сейчас проводится работа по замене их одним регламентом, ко-

торый будет введён в действие 1 сентября 2021 г. Предельные значения эффективности будут рассчитываться при помощи следующего уравнения:

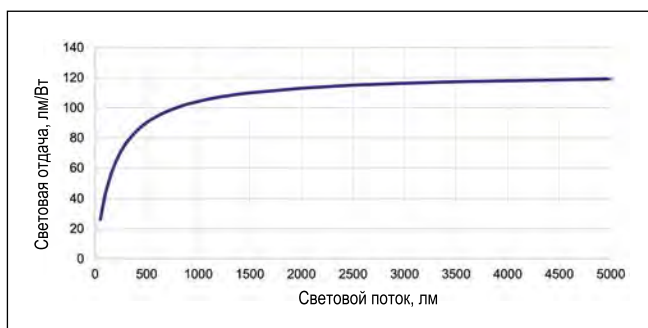
$$P_{omax} = C \cdot \left(L + \frac{\Phi_{use}}{F \cdot \eta} \right) \cdot R, \quad (4)$$

где P_{omax} – максимальная мощность в рабочем режиме, Вт; η – пороговая световая отдача, зависящая от типа источника света, лм/Вт; L – показатель потерь (*end loss factor*), зависящий от типа источника света, Вт; C – поправочный множитель, зависящий от характеристик источника света; F – показатель световой отдачи (*efficacy factor*) (1,0 для источников ненаправленного света и 0,85 для источников направленного света); R – множитель, зависящий от значения общего индекса цветопередачи (ИЦП) (0,65 для ИЦП ≤ 25, (ИЦП + 80)/160 для ИЦП > 25).

Результаты расчётов по уравнению (4) приведены на рис. 14, где предельные значения световой отдачи источников света составляют примерно 100–120 лм/Вт.

Следует понимать, что увеличение предельных значений световой отдачи источников света и светильников будет производить уменьшающийся эффект. По мере перехода на всё более энергоэффективные светильники отдача от замены и так уже эффективных изделий на более эффективные будет непрерывно уменьшаться. Поэтому в центре внимания окажутся уже не отдельные светотехнические изделия, а осветительные

Рис. 14. График предельных значений световой отдачи, основанный на уравнении (4)



установки в целом. Это нашло своё отражение в документе, составленном высокопоставленными сотрудниками Еврокомиссии [10], в котором был сделан уже упоминавшийся выше вывод: «Максимальная экономия энергии в 28 странах Евросоюза в результате использования оптимизированных регулируемых систем освещения зависит от источника света сравнения, а максимальная полная годовая экономия энергии, обусловленная мерами, предпринятыми в части систем освещения, составит 20–29 ТВт·ч/год в 2030 г. и 48–56 ТВт·ч/год в 2050 г. Это примерно 10 (2030 г.) или 20 (2050 г.) процентов от полного, за исключением жилого сектора, расхода энергии на освещение, если источники света будут использоваться, как обычно».

Так что забота об эффективности будет смещаться в сторону систем освещения в целом, с датчиками и устройствами управления, а экологичность будет двигаться по направлению к ремонтпригодным светильникам с заменяемыми СД источниками света и многократно используемыми компонентами.

7. Заключение

Из вышеизложенного следует, что мир стандартов и норм весьма сложен и старается удовлетворить потребности изменяющихся и развивающихся рынков и областей техники. Стандарты нацелены на создание системы мер для оценки пригодности технических решений, однако помимо этого они всё больше затрагивают такие вопросы, как экологичность и обеспечение безопасности.

По мере того, как мир, в котором мы живём, движется в будущее, возрастает роль автоматизации, изменяются взаимосвязи и демография, а задачи и функции преобразуются таким образом, чтобы удовлетворить тре-

бования общества 21-го века. Стандарты и нормы также должны развиваться, с тем, чтобы удовлетворять потребности новых поколений. Для понимания возможностей и последствий развития техники потребуются проведение исследований, результаты которых нужно будет использовать в документах, содержащих практические руководства.

Наши предшественники, работавшие в области светотехники, решали задачи количественного описания и законодательного оформления основных моментов, и этим же будет заниматься следующее поколение специалистов-светотехников, работающих в непрерывно изменяющемся и интересном мире, в котором стираются границы между профессиями, а зрение становится только одним из рассматриваемых при проектировании факторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. EN15193–1:2017. Energy performance of buildings. Energy requirements for lighting. Specifications, Module M9.
2. PD CEN/TR15193–2:2017. Energy performance of buildings. Energy requirements for lighting. Explanation and justification of EN15193–1, Module M9.
3. DIRECTIVE2010/31/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 19 May 2010 on the energy performance of buildings. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/.ELX_SESSIONID=FZMjThLLzfxmmMCQGp2Y1s-2d3Tjwtd8QS3pqdkkXZbwqGwlgY9KN%212064651424?uri=CELEX:32010L0031.
4. CIE150:2017. Guide on the limitation of the effects of obtrusive light from outdoor lighting installations. Vienna, Central Bureau CIE, 2017.
5. Guidance for the reduction of obtrusive light. Institution of Lighting Professionals. Rugby. <https://www.theilp.org.uk/documents/obtrusive-light/>
6. CIE S026/E:2018. CIE System for Metrology of Optical Radiation for ipRGC–Influ-

enced Responses to Light. Vienna: Central Bureau CIE, 2018.

7. Lucas, R.J., Peirson, S.N., Berson, D.M., Brown, T.M., Cooper, H.M., Czeisler, C.A., Figueiro, M.G., Gamlin, P.D., Lockley, S.W., O’Hagan, J.B., Price, L.L.A., Provencio, I., Skene, D.J., Briainard, G.C. Measuring and using light in the melanopsin age // Trends in Neurosciences.– 2014. – Vol. 137, No. 1. – P. 1–9.

8. The WELL Buildings Standard v1 with Q42018 addenda. International WELL Building Institute, New York, 2018.

9. Rea, M.S., Figueiro, M.G., Bierman, A., Hammer, R. Modelling the spectral sensitivity of the human circadian system // Lighting Research and Technology.– 2012. – Vol. 44, No. 4. – P. 386–396.

10. van Tichelen, P., Lam, W.C., Waide, P., Kemna, R., Vanhooydonck, L., Wierda, L. Preparatory study on lighting systems ‘Lot 37’. European Commission, 2016. http://ecodesign-lightingsystems.eu/sites/ecodesign-lightingsystems.eu/files/attachments/2016Preparatory_study_on_lighting_systemsTasks0_4_7final2.pdf

11. PD CEN/TS17165:2018. Light and lighting – Lighting system design process.

12. EN13201–5:2015. Road lighting Part 5: Energy performance indicators.

13. CIE222:2017. Decision Scheme for Lighting controls in Non-Residential Buildings. Vienna: Central Bureau CIE, 2017.

14. Lighting Control Guide. LIA, Telford, 2018. <https://www.thelia.org.uk/sites/default/files/resources/20181010%20LIA%20Lighting%20Control%20Guide%20October%202018%20issue.pdf>

15. Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on ENISA, the «EU Cybersecurity Agency», and repealing Regulation (EU) 526/2013, and on Information and Communication Technology cybersecurity certification (“Cybersecurity Act”). European Commission, 2017. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2017:477:FIN>.

16. DE.6.1 Cyber security in building service design. CIBSE, Balham. 2018. ISBN978–1–912034–06–2.

17. Horizontal Product Regulation for Cybersecurity. ZVEI, Frankfurt am Main. 2018. https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2018/November/Horizontale_Produktregulierung_fuer_Cybersicherheit_Whitepaper/ZVEI-Whitepaper_Horizontal_Product_Regulation_for_Cybersecurity_english.pdf.

18. Code of Practice for Consumer IoT security. UK Department for Digital, Culture, media and Sport. 2018. <https://www.gov.uk/government/publications/secure-by-design/code-of-practice-for-consumer-iot-security>.

19. REGULATION (EU) 2016/679 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 27 April 2016 on the protection

of natural persons with regard to the processing of personal data and on the free movement of such data, and repealing Directive 95/46/EC (General Data Protection Regulation). European Commission. 2016. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1549027470773&uri=CELEX:32016R0679>.

20. *Vitruvius*. The Ten Books on Architecture (translated Morgan, M.H.). Dover Publications Inc, 1998. ISBN978-0486206455.

21. *Atkin, A.* Sight Line: Designing Better Streets for People with Low Vision. Helen Hamelyn Centre. 2010. ISBN978-1-907342-28-8.

22. EN12464-1:2011. Light and lighting – Lighting of work places Part 1: Indoor work places.

23. CIE227:2017. Lighting for Older People and People with Visual Impairment in Buildings. Vienna: Central Bureau CIE, 2017.

24. *Torrington, J.M., Tregenza, P.R.* Lighting for people with dementia // Lighting Research and Technology.– 2107. – Vol. 39, No. 1. – P. 81–97.

25. *Sloane, P.D., Figueiro, M., Garg, S., Cohen, L.W., Reed, D., Williams, C.S., Preisser, J., Zimmerman, S.* Effect of home-based light treatment on persons with dementia and caregivers // Lighting Research and Technology.– 2015. – Vol. 147, No. 2. – P. 161–176.

26. Lighting your way to better vision. IES CG-1-09. New York: Illuminating Engineering Society of North America. 2009.

27. *McNair, D., Cunningham, C., Pollock, R.* Light and lighting design for people with dementia. University of Stirling. 2010. ISBN978 185769250 1.

28. THE RAPID TRANSITION TO ENERGY EFFICIENT LIGHTING: AN INTEGRATED POLICY APPROACH. The United Nations Environment Programme/Global Environment Facility. 2013.

29. Global Material Resources Outlook to 2060 Economic drivers and environmental consequences. OECD. 2018.

30. EN ISO 14025:2010. Environmental labels and declarations. Type III environmental declarations. Principles and procedures.

31. EN15804:2012+A1:2013. Sustainability of construction works. Environmental product declarations. Core rules for the product category of construction products.

32. COMMISSION REGULATION (EC) No 244/2009 of 18 March 2009 implementing Directive 2005/32/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for non-directional household lamps. European Commission. 2009. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1549030304631&uri=CELEX:32009R0244>

33. COMMISSION REGULATION (EC) No 245/2009 of 18 March 2009 implementing Directive 2005/32/EC of the European Parlia-

ment and of the Council with regard to ecodesign requirements for fluorescent lamps without integrated ballast, for high intensity discharge lamps, and for ballasts and luminaires able to operate such lamps, and repealing Directive 2000/55/EC of the European Parliament and of the Council. European Commission. 2009. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1549030396228&uri=CELEX:32009R0245>

34. COMMISSION REGULATION (EU) No 1194/2012 of 12 December 2012 implementing Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for directional lamps, light emitting diode lamps and related equipment. European Commission. 2012. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1549030464785&uri=CELEX:32012R1194>

35. LightingEurope Strategic Roadmap 2025 of the European Lighting Industry. LightingEurope. 2016. https://www.lightingeurope.org/images/160404-LightingEurope_Roadmap—final-version.pdf

36. STRATEGIC BUSINESS PLAN ISO/TC274. ISO. 2018. https://isotc.iso.org/livelink/livelink/fetch/2000/2122/687806/ISO_TC_274_Light_and_lighting_.pdf?no-deid=16594506&vnum=-2

37. CIE154:2003. The maintenance of outdoor lighting systems. Vienna: Central Bureau CIE, 2003.

38. CIE097:2005. Guide on the maintenance of indoor electric lighting systems. Vienna: Central Bureau CIE, 2005.

39. CIE DIS017:2016. ILV: International Lighting Vocabulary, 2nd Edition. Vienna: Central Bureau CIE, 2016.

Российские учёные определили условия для выращивания растений в Арктике и космосе

При поддержке Научного фонда ТГУ им. Д.И. Менделеева исследователи Сибирского ботанического сада ТГУ, Института сильноточной электроники СО РАН и ТПУ реализовали междисциплинарный проект, в рамках которого определялись



оптимальные параметры УФ излучения для предпосевной обработки семян и фотосинтетически активной радиации для выращивания хозяйственно-ценных растений (с учётом видовой, сортовой и возрастной особенностей растений). Найденный подход позволит выращивать разные культуры в условиях искусственного облучения, в том числе в замкнутых системах жизнеобеспечения и зонах критического земледелия, включая Арктику. Этот подход позволяет выращивать экологически чистые крепкие растения без «химии» в условиях ограниченного освещения.

Фоторегуляция растений перспективна для территорий со сложными климатическими условиями. Её можно использовать в установках замкнутого цикла. Однако результативным данный метод будет только при наличии высокотехнологичных источников излучения. Необходимы источники излучения нового поколения – энергоэффективные, безопасные и рентабельные.

Второй блок проекта был реализован совместно с ИСЭ СО РАН. Учёные отработали новый способ предпосевной обработки семян и выведения их из состояния покоя.

В качестве инструмента использовали УФ облучение экилампами, разработанными сотрудниками института. При этом дозовая зависимость определялась индивидуально для разных культур, в том числе для твёрдосемянных и труднопрорастаемых.

В ходе испытаний удалось получить новые данные о влиянии УФ облучения на посевные качества семян растений с длительным сроком хранения и низкой всхожестью (пшеница, рожь, донник, клевер и др.) и добиться улучшения данных показателей.

«Существуют разные способы выведения семян из состояния покоя, в том числе механические, химические, физические и т.д. – рассказывает зав. лабораторией физиологии и биотехнологии растений Сибирского ботанического сада ТГУ Т.П. Астафурова. – Вместе с исследователями ИСЭ СО РАН мы попытались найти более экологичный и эффективный подход. Полученные результаты в перспективе могут служить основой новой технологии обработки семян для улучшения их прорастания и повышения урожайности разных культур».

km.ru
13.02.2019



Питер Торнз (Peter Thorns), В. Сс. Окончил с отличием Сандерлендский политехнический университет, Великобритания. Руководитель департамента компании Thorn Lighting Ltd.,

Великобритания, по разработке стратегии в области освещения. Принимает активное участие в работе Международной организации по стандартизации, Европейского комитета по стандартизации, Отделения 3 МКО, Британской и европейской торговых ассоциаций. Член Аккредитованного института специалистов по инженерному оборудованию зданий (CIBSE) и Светотехнического общества Великобритании (SLL). Область научных интересов: использование света, ориентированное на человека освещение, проблемы экологии и энергоэффективность

Высшее образование по специальности «Светотехника и источники света» и переход к ФГОС 3⁺⁺

И.Н. МИРОШНИКОВА^{1,2}, В.Ю. СЧЕТКОВ¹

¹ Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва

² Институт нанотехнологий микроэлектроники РАН (ИНМЭ РАН), Москва

³ E-mail: MiroshnikovaIN@mpei.ru

Аннотация

В статье перечислены проблемы, сопровождавшие предшествующие федеральные государственные образовательные стандарты (ФГОС) по направлению «Электроника и нанoeлектроника» и учебные планы подготовки бакалавров по профилю «Светотехника и источники света», а также учебные планы подготовки магистров по программе «Теоретическая и прикладная светотехника». В связи с принятием ФГОС 3⁺⁺ и утверждением профессиональных образовательных стандартов светотехнической общестественности предложено включиться в обсуждение вопросов подготовки новых учебных планов.

Ключевые слова: ФГОС ВО, федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования, ФГОС ВПО, федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования.

Бакалавров и магистров в области светотехники готовят НИУ «МЭИ», Казанский государственный энергетический университет, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва (г. Саранск), Донской государственный технический университет (г. Ростов-на-Дону) и Санкт-Петербургский университет кино и телевидения.

При этом кафедра светотехники МЭИ была организована в 1933 г., т.е. это была первая такая кафедра, созданная в СССР.

В соответствии с приказами Министерства образования и науки Российской Федерации [1, 2], получившими общее название ФГОС 3⁺⁺, образовательные организации высшего образования обязаны перейти на обучение студентов по этим документам с 01 сентября 2019 г.

Прежде чем остановиться на нынешних проблемах, вспомним вчерашний день. В конце XX-го века на кафедре светотехники МЭИ было две специальности: «Светотехника и источники света» и «Оптико-электронные приборы и системы», и в рамках второй специальности выбор одного из трёх возможных направлений («Электроника и микроэлектроника», «Электротехника» и «Оптотехника») сопровождался серьёзными обсуждениями и по нескольким причинам был сделан в пользу первого направления. Главная из них связана с развитием науки и техники, а значит и многих дисциплин кафедры, в области электроники. Это, прежде всего, полупроводниковые (светодиодные) излучатели, системы управления освещением, пускорегулирующие аппараты для разрядных ламп, а немного позже – устройства управления для светодиодов. В настоящее время без светодиодных источников света уже трудно себе представить, например, и такие дисциплины кафедры, как «Световые приборы», «Конструирование и технология производства световых приборов», «Технологии светодизайна» и «Актуальные проблемы современной электроники». В новом учебном плане появление новых и развитие существующих программ по этим тематикам будет продолжено. Наша вторая специальность при этом достаточно органично перетекла в «Квантовую и оптическую электронику».

Вместе с тем, с 2000 по 2010 гг. в Министерстве образования Российской Федерации обучение производилось по направлениям подготовки дипломированного специалиста 654100 «Электроника и микроэлектроника», где наряду с дисциплинами федерального уровня и национально-регионального (вузовского) уровня были прописаны специальные дисциплины, в частности, для специально-

сти 180600 «Светотехника и источники света». Были чётко сформулированы не только названия дисциплин (Основы светотехники, Фотометрия, Осветительные установки, Световые приборы и пр.), но и краткое содержание этих дисциплин. Эти дисциплины определяли подготовку специалистов отрасли и соответствовали специальности.

Планы обучения студентов МЭИ объединяли планы специалистов и бакалавров по направлению 550700 «Электроника и микроэлектроника» (лучшие студенты заканчивали программу магистратуры техники и технологии тоже по этому направлению). Оба эти стандарта ВПО также содержали не только название дисциплин, но и их краткое содержание [3, 4].

С 2010 г. планы начали кардинально меняться. Уже в приказе Министерства образования и науки [3, 4] из направления 210100 «Электроника и нанoeлектроника» дисциплины и специальности исчезают, а взамен появляются «компетенции», общекультурные и профессиональные, и основная профессиональная образовательная программа (ОПОП, определяемая вузом в соответствии с примерной основной образовательной программой ВПО) с нормативными сроками обучения и трудоёмкостью в зачётных единицах (1 зачётная единица равна 36 академическим часам). Оговаривается область профессиональной деятельности бакалавров (магистров), в том числе, «теоретическое и экспериментальное исследование, математическое и компьютерное моделирование, проектирование, конструирование, технология производства, использование и эксплуатация материалов, компонентов, электронных приборов, устройств, установок вакуумной, плазменной, твердотельной, микроволновой, оптической, микро- и нанoeлектроники различного функционального назначения»... Вводятся виды профессиональной деятельности: проектно-конструкторская, производственно-технологическая, научно-исследовательская, организационно-управленческая, монтажно-наладочная, сервисно-эксплуатационная.

С этого момента выпускник должен обладать общекультурными и профессиональными компетенциями, и эта тенденция усиливается, хотя оценка достижения требуемых показате-

лей (знания, умения, навыки, в дальнейшем – индикаторы) определяются ОПОП вуза. Компетентностный подход с этого момента стал определяющим.

Отдельно подчёркивается, что высшие учебные заведения обязаны ежегодно обновлять основные образовательные программы с учётом развития науки, техники, культуры, экономики, технологий и социальной сферы. В этом федеральном государственном образовательном стандарте (ФГОС), так же, как и во ФГОСе [5, 6], было отмечено, что ОПОП должна содержать дисциплины по выбору обучающихся в объёме не менее одной трети вариативной части. Порядок формирования дисциплин по выбору обучающихся устанавливался учёный совет вуза.

Оговаривался также минимально необходимый для реализации, например, бакалаврской программы перечень материально-технического обеспечения, включающий в себя измерительные, диагностические, технологические комплексы, оборудование и установки, а также компьютеры, объединённые в локальные сети с выходом в Интернет, оснащённые лицензионными программно-методическими комплексами для решения задач в области электроники и нанoeлектроники.

Лабораторные практикумы магистров должны были быть оснащены экспериментальными установками в количестве, достаточном для выполнения лабораторных работ всеми обучающимися, осваивающими соответствующий профиль программы. Количество студентов, работающих одновременно на одной экспериментальной установке, не должно было превышать двух.

Естественно, что на основании этого ФГОС вузы, хотя бы теоретически, должны были получать средства, необходимые для такого материально-технического обеспечения, поэтому в последующих версиях эти пункты просто исчезли. Остались общие слова: «организация должна располагать на праве собственности или ином законном основании материально-техническим обеспечением образовательной деятельности (помещениями и оборудованием)» [1, 2].

Майские указы Президента России 2012 г. дали старт формированию государственной политики по развитию

Национальной системы квалификаций и легли в основу создания системы *профессиональных стандартов* как альтернативы существующей системе документов, регламентирующих рынок труда. 9 декабря 2013 г. Президент России В.В. Путин отметил, что: «Профессиональные стандарты должны стать подлинным ориентиром для системы образования, обязательным – и хочу это подчеркнуть – при разработке образовательных программ наших вузов, лицеев и колледжей». Президент России поручил Правительству России обязательный учёт положений профессиональных стандартов при формировании ФГОС ВО, после чего был организован процесс актуализации ФГОС на основе профессиональных стандартов.

Структура ФГОС 3++ [1, 2] существенно отличается от предыдущего стандарта ФГОС 3+ [5, 6], сам ФГОС носит рамочный характер при усилении статуса примерных основных образовательных программ (ПООП). Целью применения ФГОС ВО и ПООП является обеспечение единства образовательного пространства и современного уровня подготовки.

Основная ОПОП ВО по-прежнему самостоятельно разрабатывается и утверждается образовательной организацией (в нашем случае – НИУ «МЭИ») на основе требований ФГОС ВО и с учётом ПООП. ОПОП – это разработанный с учётом потребностей регионального рынка труда, требований федеральных органов исполнительной власти и отраслевых требований комплекс учебно-методических документов, регламентирующих цели, ожидаемые результаты, содержание, формы, условия и технологии организации образовательного процесса, оценку качества подготовки выпускника.

Оценка качества подготовки выпускника происходит по достижениям в освоении **компетенций**: универсальных общеобразовательных компетенций из ФГОС и профессиональных компетенций на основе профессиональных стандартов (соответственно УК, ОПК и ПК). В случае отсутствия профессиональных стандартов, ПК формируются на основе анализа требований к профессиональной деятельности, предъявляемых рынком труда, а также обобщения отечественного и зарубежного опыта, междуна-

родных норм и стандартов с учётом тенденций развития отрасли. Совокупность компетенций должна обеспечить готовность выпускника действовать в рамках выбранной области профессиональной деятельности и ограниченной сферы профессиональной деятельности.

При разработке ОПОП необходимо учесть мнения сторон (работодателей, абитуриентов, студентов, преподавателей), заинтересованных в необходимости обучения по данной ОПОП, определить области профессиональной деятельности выпускников, выбрать типы задач профессиональной деятельности, определить перечень основных объектов (или областей знаний).

Таким образом, особое внимание должно быть направлено на взаимодействие вузов (в нашем случае – НИУ «МЭИ») и работодателей.

Несмотря на то, что обучение студентов на кафедре светотехники МЭИ велось по направлению «Электроника и нанoeлектроника», специалисты высшей квалификации, т.е. кандидаты и доктора наук, защищались и продолжают защищаться по специальности ВАК 05.09.07 «Светотехника» [7], относящейся к группе специальностей 05.09.00 «Электротехника».

В 2017 г. журнал «Светотехника» организовал дискуссию по вопросу формулы специальности, и при этом было сделано следующее обобщение: «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», что существенно расширило предыдущий вариант («Научная специальность, объединяющая теоретические и экспериментальные исследования по совершенствованию существующих и разработке принципиально новых источников искусственного освещения и облучения»). В рамках специальности разрабатываются методы проектирования световых (осветительных) приборов, осветительных установок и фотометрических систем контроля, проводятся исследования процессов, происходящих в объёме газоразрядных и накальных источников излучения, элементах источников света, материалах и системах управления режимами работы источников све-

та. Исследования проводятся с целью создания высокоэффективных, экологически чистых источников света, обеспечивающих необходимое эстетическое восприятие объектов, комфорт, существенное снижение энергопотребления, экономичность в эксплуатации.

Уже исходя из сравнения этих формулировок видно, что предлагается расширить области исследований, а следовательно, и области подготовки специалистов.

В связи с отсутствием в ФГОС ВО регламентируемых дисциплин, у образовательных организаций, в данном случае, у НИУ «МЭИ», снова возникает целый ряд вопросов: если смотреть с точки зрения работодателей, то светотехника – это ближе к направлению «Электротехника» или к направлению «Электроника и наноэлектроника»? Каких компетенций (знаний, умений...) не хватает выпускникам?

Естественно, каждый вуз имеет своих постоянных работодателей, однако надо чётко понимать, что техническое образование невозможно без материальной и информационной поддержки: необходимы как техническое оснащение учебных и научных лабораторий современным оборудованием, так и чёткие формулировки, относящиеся к необходимым навыкам выпускников.

В настоящее время Министерством труда и социальной защиты утверждены профессиональные стандарты: для специалистов по световому дизайну и проектированию инновационных осветительных установок и для специалистов по разработке световых приборов со светодиодами. При этом экономическая деятельность, например, по первому профессиональному стандарту очень широка: здесь и производство электроламп и осветительного оборудования, и разработка архитектурных концепций, и разработка проектов, относящихся не только к электротехнике и электронной технике, но и к горному делу, химической технологии, дизайну и пр., и пр.!

На наш взгляд, подготовить специалиста со столь широкой сферой деятельности ни за 4, ни за 6 лет просто невозможно. Тем более что обобщённые трудовые функции, перечисленные в этом профессиональном стандарте, гораздо уже и ближе к традиционной подготовке специалистов.

Выпускники бакалавриата должны заниматься проектированием объектов светового дизайна и осветительных установок, после окончания магистратуры – выполнять концептуальные решения по объектам светового дизайна и проектированию осветительных установок.

Естественно, что вопросы маркетинга также должны быть затронуты.

Дизайнер светового решения должен совмещать, на первый взгляд, несомнимые обязанности: быть одновременно инженером и художником, разработать и концепцию освещения, и схему электроснабжения, подобрать аппаратуру и проследить правильность её установки. Однако у кафедры светотехники есть большой опыт в таком обучении. Ещё в 1995 г. профессором А.Б. Матвеевым и доцентом В.И. Петровым была создана уникальная специализация «Световая архитектура, дизайн и реклама». Она возникла благодаря большому опыту и таланту Александра Борисовича Матвеева, который в своё время параллельно обучению в МЭИ окончил Школу-студию МХАТ и был не только доктором технических наук, но и хорошим живописцем, а также художником более 25 спектаклей театра Советской армии и многих спектаклей других театров. В результате, более 20-ти лет основатели специализации и их ученики успешно обучают молодёжь в нашем вузе техническим знаниям и элементам художественного восприятия в рамках бакалавриата и дисциплин по выбору магистратуры, а также на курсах повышения квалификации по дополнительной программе обучения «Техника и дизайн освещения».

В этом 2018/2019 учебном году на кафедре светотехники, как на всём факультете, продолжается подготовка к новым учебным планам по ФГОС 3++. В действующем учебном плане подготовки бакалавров, принятом в 2016 г., были следующие общефакультетские дисциплины: «Наноэлектроника», «Схемотехника», «Основы технологии электронной компонентной базы», «Материалы электронной техники», «Теоретические основы светотехники», «Вакуумная и плазменная электроника», «Квантовая и оптическая электроника» и «Твердотельная электроника». Нам представляется, что все приведённые общефакультетские дисциплины должны сохранить-

ся, но работодатели и светотехническая общественность могут существенно помочь нам. Ждём предложений с разделами рабочих программ или отдельных тем, необходимых современному специалисту, особенно работающему по дисциплинам, упомянутым в данной статье.

Обсуждения преподавателями кафедры будущих дисциплин нового учебного плана подготовки бакалавров в самом разгаре, но нам представляется, что среди светотехнических дисциплин будут и традиционные, такие, как, «Основы светотехники», «Компьютерная графика», «Световые приборы», «Светотехнические установки», «Введение в светодизайн», «Источники оптического излучения», «Пускорегулирующие аппараты», и новые, например, «Конструирование и технология производства световых приборов со светодиодами», «Системы управления освещением» и «Светоизлучающие диоды».

Дискуссия по дисциплинам нового учебного плана подготовки магистров только началась, и кафедра светотехники НИУ «МЭИ» открыта для предложений и пожеланий. Обратим внимание на то, что в действующем плане уже есть дисциплины по проектированию освещения и светодизайну, например, «Технологии светодизайна», «Компьютерная графика в светотехнике», «Техника и дизайн освещения», «Моделирование и оценка светового окружения», «Естественное и искусственное освещение»; а также направления, где ядром являются светодиодные источники света и осветительные приборы с ними, например, «Тенденции развития источников света и пускорегулирующих аппаратов», «Техника и методы освещения», «Расчёт оптических систем световых приборов».

От редакции:

Мы предлагаем всем заинтересованным лицам высказывать на страницах нашего журнала предложения о совершенствовании системы обучения, непосредственно участвовать в улучшении материальной базы кафедры светотехники с целью повышения качества как подготовки выпускников, так и проведения курсов повышения квалификации сотрудников различных организаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Приказ Минобрнауки России от 19 сентября 2017 г. № 927 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – бакалавриат по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника».

2. Приказ Минобрнауки России от 22 сентября 2017 г. № 959 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – магистратура по направлению подготовки 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника».

3. Приказ Минобрнауки России от 21 декабря 2009 г. № 743 «ФГОС ВПО по направлению 210100 Электроника и нанoeлектроника (квалификация (степень) «бакалавр»)».

4. Приказ Минобрнауки России от 14 января 2010 г. № 31 ФГОС ВПО по направлению 210100 Электроника и нанoeлектроника (квалификация (степень) «магистр»)».

5. Приказ Минобрнауки России от 12 марта 2015 г. № 218 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника» (уровень бакалавриата)».

6. Приказ Минобрнауки России от 30 октября 2014 г. № 1407 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника» (уровень магистратуры)».

7. <https://teacode.com/online/vak/p05-09-07.html>.



Мирошникова Ирина Николаевна, доктор техн. наук. Окончила факультет электронной техники МЭИ (1982 г.). Директор института радиотехники и электроники им.

В.А. Котельникова НИУ «МЭИ», заведующая кафедрой электроники и микрoeлектроники НИУ «МЭИ», старший научный сотрудник ИНМЭ РАН



Снетков Владимир Юрьевич, кандидат техн. наук., доцент. Окончил в 1974 г. МЭИ (специальность «Светотехника и источники света»). Доцент кафедры «Светотехника» ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»

Cree представила новые светодиоды для растениеводства

Компания Cree объявила о запуске СД нового поколения *XLamp® XP-E2 Photo Red* (660 нм) и *Far Red* (730 нм), обеспечивающих прорыв в области растениеводства. Новые СД представляют собой дешёвую модернизацию СД предыдущего поколения, которая превосходит их до 1,68 раз. Они повышают эффективность фитооблучателей с СД, ускоряя их окупаемость и делая выращивание пищевых продуктов более доступным.

«Производители салата и помидоров в Великобритании, Нидерландах и Бельгии выбирают наши облучатели *Hyperion™*, в которых в качестве первичных источников света используются СД для растениеводства компании Cree, для своих больших современных тепличных хозяйств, – сказал Дж. Бартон, директор отделения *Grow Lighting* компании *Plessey Semiconductors*. – Нашим покупателям нравится, что светильники *Hyperion™* пришли

на смену светильников с НЛВД мощностью 1000 Вт, заменяя их один на один при 40 %-ной экономии энергии, что стало возможным благодаря СД компании Cree...».

Новые СД *XP-E2* обеспечивают возможность дешёвой модернизации существующих облучателей для растениеводства с СД серии *XP*, имея те же, что и СД предшествующего поколения, механические и оптические характеристики. Имея до 1,57 раз больший энергетический КПД в дальней красной области и до 1,21 раз – в красной, СД нового поколения *XP-E2* имеют наибольшие в своём классе потоки излучения и энергетические КПД.

led-professional.com
20.02.2019



МСК БЛ ГРУПП осветила теннисный клуб в Южно-Сахалинске

МСК «БЛ ГРУПП» осветила корты теннисного клуба «Сахалинец», который расположен в Южно-Сахалинске. Спортивное объединение имеет высокую социальную значимость: здесь в спортивных секциях дети занимаются большим теннисом, проводятся юниорские соревнования.

Важно отметить, что этот клуб продолжает череду проектов освещения теннисных кортов. Удалось использовать прожекторы торговой марки «GALAD» модельной линейки «Эверест LED», которые уже доказали на примерах других кортов, что способны создавать максимально комфортные условия освещения для игроков. GALAD – торговая марка светотехнической продукции, выпускаемой на отечест-

венных предприятиях МСК «БЛ ГРУПП». В то же время каждый спортивный объект имеет индивидуальное решение, поэтому творческий подход помог нам подобрать наилучший вариант с учётом особенностей этой игровой площадки.

Проект был реализован совместно с надёжным партнёром – компанией «Лайт Инжиниринг Групп».

bl-g.ru
19.02.2019



УФ-С диод средней мощности с кварцевыми окнами

Компания *Vishay Inter-technology, Inc.* представила новый керамический УФ диод поверхностного монтажа средней мощности, предназначенный для использования в стерилизации, санации и обеззараживании. Это изделие, типа *VLMU35CM00-280-120*, имеет кварцевое окно, обеспечивающее чрезвычайно большой срок службы.

Характеристики:

- Керамический корпус с кварцевым окном для монтажа на поверхность.
- Размеры: 3,5 × 3,5 × 1,2 мм.
- Прямой ток *I*: до 150 мА.
- Прямое напряжение: не более 4 В.
- Диапазон длин волн: 270–290 нм.
- Поток излучения (типичный): 12 мВт при *I* = 100 мА.
- Покрытие вводов: золото.
- Пайка: волной припоя.



- Чувствительность к влаге: *MSL 3* по стандарту *J-STD-020*.

Области применения:

- Стерилизация.
- Санация, обеззараживание.
- Идентификация газов, бактерий, ДНК, ...

Предназначенное для замены УФ ртутных ламп, изделие *VLMU35CM00-280-120* построено на базе *AlGaIn*-технологии, имеет угол излучения ± 60°, поток излучения до 18 мВт при *I* = 100 мА и не нуждается во внешних линзах.

Лучистые характеристики этого СД делают его идеальным для обеззараживания воды и воздуха, стерилизации поверхностей, санации в медицине и носимых санаторов. *VLMU35CM00-280-120* соответствует требованиям *RoHS*, не содержит галогенов и имеет маркировку «*Vishay Green*». Образцы нового УФ-С диода уже доступны.

led-professional.com
20.02.2019

Методика распознавания растительности на основе цветового и текстурного анализа *RGB* изображений

М.Ю. КАТАЕВ¹, М.М. ДАДОНОВА²

Томский государственный университет систем управления, Томск

¹ E-mail: kataev.m@sibmail.com

² E-mail: mashadad@mail.ru

Аннотация

В статье говорится, что *RGB*¹ изображения, полученные при помощи цифровых камер, можно использовать для решения задач распознавания типов поверхности Земли (растений). Приводится набор шагов, которые необходимо реализовать, чтобы обрабатывать изображения, полученные с борта беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), в режиме реального времени. Применение аналога вегетационного индекса позволяет выделить на *RGB* изображении растения, что увеличивает вероятность правильного распознавания типов поверхности (растений). Рассматриваются методики предварительной и тематической обработки изображений, необходимой для уверенного распознавания типов поверхности. Для задачи распознавания типа растительности применяется текстурный анализ. Приводятся результаты обработки реальных изображений.

Ключевые слова: изображения, беспилотные летательные аппараты, обработка изображений, текстурный анализ, типы поверхности.

1. Введение

Задача распознавания типов земной поверхности является важной для научной и практической деятельности. Одним из вариантов решения этой задачи является использование много- и гиперспектральных данных дистанционного зондирования Земли [1, 2]. Получение данных возможно с помощью космических и самолётных систем. Основные разработанные методики предполагают обработку изображений поверхности, полученных в отдельных спектральных каналах, расположенных в различных диапазонах спектра. Предварительное знание спектров отражения типов земной поверхности позволяет строить методики сегментации участков земной поверхности, а значит, автоматически устанавливать их принадлежность к определённым типам. Однако у этих наблюдений имеется характерная особенность, связанная со значительным влиянием на измерения искажающих факторов: измерительного прибора, освещённости земной поверхности и состояния атмосферы. Все эти факторы вносят неопределённость в проявление спектральных свойств изучаемых объектов (типов поверхности), а значит, приводят к уменьшению вероятности отличия одного объекта от другого.

Повысить эффективность обнаружения и распознавания объектов позволяет применение данных спектральных измерений, произведённых с борта беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Этот вид измерений используется для решения практических задач сельского хозяйства,

геологии, геофизики и МЧС [3]. Для этих целей разработано множество методик, основанных на анализе данных, полученных в специально подобранных сочетаниях спектральных каналов, в различных диапазонах спектра. Сложность обработки много- и гиперспектральных [4] данных связана с учётом особенностей процесса измерения и объёмом полученных данных. Получаемое многомерное изображение содержит пространственно-спектральную информацию, где каждый пиксель содержит вектор проявления спектрального поведения участка поверхности, состоящей из подучастков разных типов. Перед обработкой таких данных требуется предварительно учитывать особенности прохождения солнечного излучения через атмосферу до территории, занимаемой (отображаемой) данным пикселем. Изменчивость получаемых спектров для конкретного пикселя достаточно велика и зависит от времени года и состояния атмосферы.

Цифровые изображения, полученные с борта БПЛА, для целей обнаружения и распознавания применяются редко. В данной статье рассматривается подход, основанный на сочетании текстурного и цветового анализа [5, 6] получаемых изображений для выделения на изображении растительности и распознавания отдельных её типов.

2. Постановка задачи

Цифровая камера позволяет получить (измерить) изображение, обработка которых возможна методами компьютерного зрения [7]. Затем полученную информацию, чаще всего, *RGB* изображение или многоспектральные данные, обрабатывают с помощью соответствующих алгоритмов. Информация на *2D*-изображении представляет собой зафиксированное излучение, отражённое от объектов *3D*-мира. Качество изображения определяется техническими характеристиками измерительного устройства (цифровой камеры), интенсивностью отражённого излучения (зенитный и азимутальный углы солнца), типом, удалённостью отражающего объекта и фоном (сценой) [8]. Методы компьютерного зрения способны извлекать большое количество информации (цвет, геометрия, форма и др.) из изображений. В области обработки результатов измерений, полученных с помощью БПЛА, методы компьютерного зрения связаны с извлечением информации из полученных данных и их анализом.

Цифровое *RGB* изображение можно рассматривать как три двумерных матрицы, где каждая отдельная позиция в матрице соответствует пикселю. Для 8-битных изображений, значение измеренной величины в каждом пикселе меняется в диапазоне [0–255]. При разработке методик обработки необходимо понимать, что на изображении представлена информация, которая определяется, главным

¹ Цифровая модель изображения.

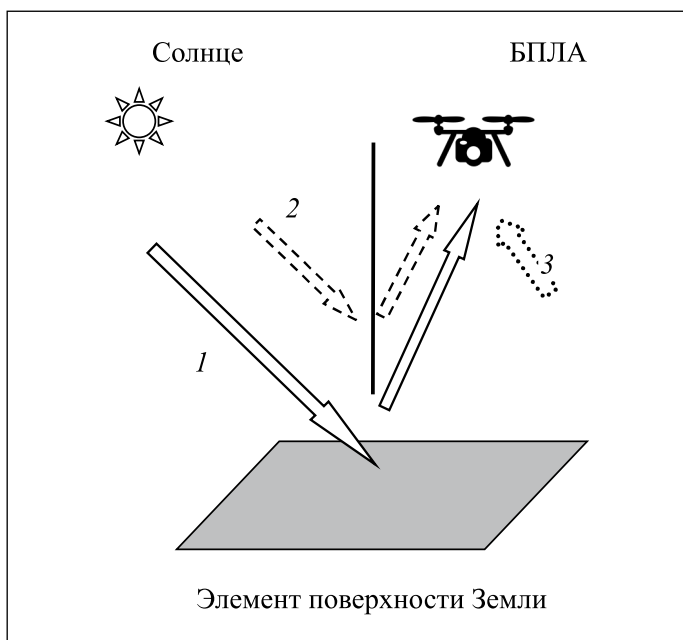


Рис. 1. Потoki солнечного излучения, попадающие на оптическое приёмное устройство, расположенное на борту БПЛА: 1 – излучение, отражённое от рассматриваемого участка, 2 – рассеянное в атмосфере излучение, 3 – диффузное излучение

образом, прямым и отражённым от различных типов поверхности солнечным излучением. При работе с изображениями, полученными оптическими измерителями, необходимо учитывать их радиометрические характеристики, параметры съёмки и состояние атмосферы. На рис. 1 приведена упрощённая схема того, как оптический измеритель, установленный на борту БПЛА на определённой высоте над поверхностью Земли, записывает информацию, которая зависит и от времени суток.

Как показано на рисунке, падающее на приёмник излучение определяется отражённым, рассеянным и диффузным потоками излучения солнца. Излучение солнца частично поглощается газами; или рассеивается в атмосфере, часть его поглощается и отражается различными типами поверхности. Измеренные данные нельзя напрямую сопоставить с отражением тех или иных типов поверхности, так как имеется множество факторов, от которых зависит попадающее на приёмник излучение, таких как: характеристики приёмника, настройки цифровой камеры, высота и угол наблюдения (съёмки), условия съёмки (азимут и высота солнца), атмосферные условия (газовый и аэрозольный состав атмосферы), отражательная способность поверхности. Поэтому перед тем, как обрабатывать полученные изображения, переводя содержащиеся в них данные в отражательную способность поверхности, необходимо выполнить геометрическую и радиометрическую калибровку [9].

3. Калибровка измеренных изображений с борта БПЛА

Совместная геометрическая и радиометрическая калибровка особенно необходима при сравнении наборов данных, собранных в течение нескольких периодов времени. Естественно, что в разные периоды времени приёмные устройства от одной и той же территории регистрируют

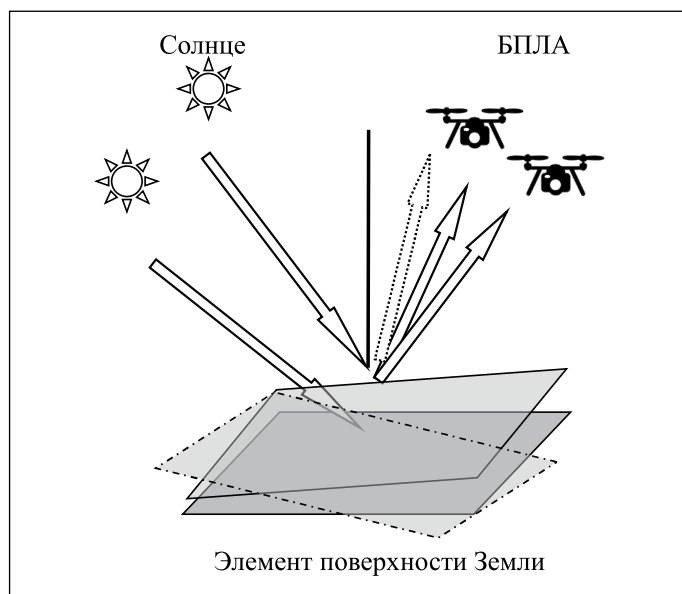


Рис. 2. Влияние условий измерения и угла наклона поверхности на потоки солнечного излучения, попадающие на оптическое приёмное устройство, расположенное на борту БПЛА

отличающиеся друг от друга данные, которые определяются условиями освещения и съёмки. Одним из отличий, регулярно возникающим при измерениях в реальном масштабе времени, является изменение высоты полёта и угла наблюдения, который зависит от скорости и направления ветра. Так как цифровые камеры имеют широкий угол поля зрения, то один и тот же участок поверхности будет измеряться в различных ракурсах, а различия во времени суток, в которое проводятся измерения, и состоянии атмосферы определяют изменение освещённости (рис. 2). Особенно это важно, когда поверхность имеет некоторый наклон, что приводит к изменению измеряемой величины, которая зависит от угла наклона измеряемой поверхности. Изменение положения БПЛА в зависимости от направления ветра приводит к изменению ориентации изображения относительно полученного ранее (см. рис. 2).

Радиометрическая коррекция позволяет привести все измеренные излучения к одинаковым условиям, т.е. учесть в измерениях значения зенитного и азимутного углов солнца, топографии и освещения (день года) [10,11]. Влияние атмосферы обусловлено рассеянием на аэрозолях и поглощением газами. Как правило, атмосферная коррекция при низкой высоте полёта БПЛА (100 м и ниже) практически не требуется. Однако в некоторых случаях, когда оптическая толщина аэрозоля или поверхностной дымки может достигать существенных значений, атмосферная коррекция должна быть применена [12]. Поскольку большинство природных объектов имеют анизотропные характеристики отражения, необходима компенсация топографического эффекта [13].

Коррекция измеренного изображения I_m на геометрию освещения солнцем и рельеф может быть представлена выражением:

$$I(i, j) = I_m(i, j) \cdot \cos(Z) / \{ \cos(Z) \cdot \cos(S(i, j)) + \sin(Z) \cdot \sin(S(i, j)) \cdot \cos(Az - As(i, j)) \}, \quad (1)$$

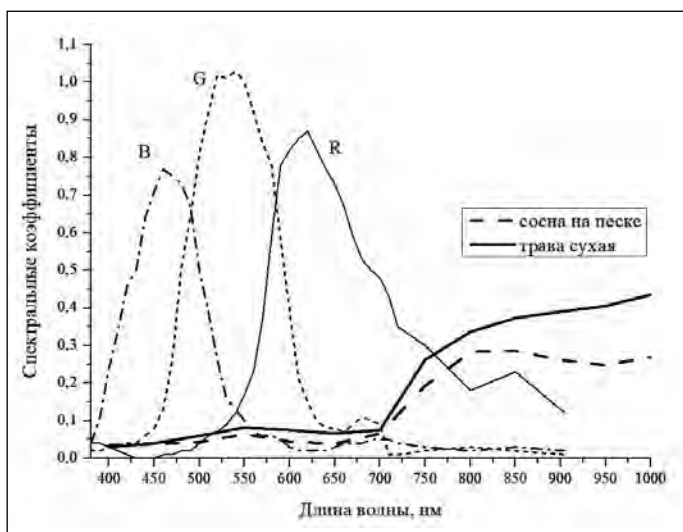


Рис. 3. Спектральный отклик в каналах RGB цифровой камеры Canon и спектральные коэффициенты отражения растительности

где $I(i, j)$ – скорректированное изображение, (i, j) – индексы текущего пикселя изображения, Z – зенитный угол солнца, S – угол наклона поверхности, Az – азимутальный угол солнца, As – азимутальный угол поворота поверхности относительно направления на север. Параметры рельефа (As и S) можно рассчитать по формулам, приведённым в [14, 15].

Геометрическая коррекция полученных изображений, обусловленная отклонениями траектории полёта от заданной под воздействием ветра, может быть выполнена с помощью методик, приведённых в [16, 17].

Следующим аспектом, требующим внимания для каждого изображения, полученного при полёте БПЛА над исследуемой территорией, является цветовая коррекция. Нами предлагается использовать для этих целей методику «серый мир» [18], когда предполагается, что сумма всех цветов на изображении даёт серый цвет. Рассчитав средние яркости по каждому из каналов, можно выполнить масштабирование всех последующих изображений относительно первого. Это приведёт к выравниванию яркости во всех измеренных изображениях.

Средняя яркость для каналов RGB может быть рассчитана по формулам:

$$\begin{aligned} \langle R \rangle &= \sum \sum R(i, j) / (N \cdot M); \langle G \rangle = \\ &= \sum \sum G(i, j) / (N \cdot M); \langle B \rangle = \sum \sum B(i, j) / (N \cdot M), \end{aligned} \quad (2)$$

где R, G и B – яркости для каналов R, G и B соответственно, N и M – число пикселей по горизонтали и вертикали изображения соответственно.

Рассчитать значение серого цвета изображения можно по формуле:

$$Grey = (w1 \cdot \langle R \rangle + w2 \cdot \langle G \rangle + w3 \cdot \langle B \rangle) / 3, \quad (3)$$

где $w1, w2$ и $w3$ – эмпирически подобранные коэффициенты (например, при анализе яркости $w1 = 0,213, w2 = 0,715, w3 = 0,072$, а при анализе освещённости $w1 = 0,299, w2 = 0,587, w3 = 0,114$).

Тогда преобразование яркости в каждом из каналов будет проводиться по формулам:

$$\begin{aligned} Rn(i, j) &= R(i, j) \cdot Grey / \langle R \rangle; Gn(i, j) = \\ &= G(i, j) \cdot Grey / \langle G \rangle; Bn(i, j) = B(i, j) \cdot Grey / \langle B \rangle, \end{aligned} \quad (4)$$

где Rn, Gn и Bn – новые значения в каналах изображения R, G, B , соответственно.

4. Индексы растительности

После того, как будут подготовлены измеренные изображения, можно решать разнообразные задачи тематической обработки. На первом шаге обработки необходимо решить задачу выделения зелени на остальном фоне (земля, строения и др.). Один из способов связан с расчётом цветового индекса растительности (*Color Vegetation Index*) [19], который объединяет отражённое от поверхности излучение двух или более спектральных полос, связанных с спектральными коэффициентами RGB цифровой камеры и характеристиками растительности (рис. 3). Для расчёта характеристик растительности из космоса популярным является нормализованный разностный вегетационный индекс (*NDVI – Normalised Difference Vegetation Index* [20]) так как он рассчитывается на основе зелёного (500 нм) и ближнего инфракрасного (800 нм) каналов. Вычисление разности между излучениями с этими двумя длинами волн позволяет выделить растительность на спутниковом изображении. Для типичной цифровой камеры, установленной на БПЛА, отсутствует ближнеинфракрасный канал, а красный канал лишь частично захватывает максимум спектрального коэффициента отражения растительности (рис. 3).

Тем не менее, вегетационный индекс *NDVI* можно рассчитать на основе данных цифровой камеры:

$$NDVI = (G - R) / (G + R). \quad (5)$$

Индекс видимой растительности (*VVI – visible vegetation index*) обеспечивает меру количества растительности согласно формуле [23]:

$$\begin{aligned} VVI &= [(1 - |(R - Ro) / (R + Ro)|) \times (1 - |(G - Go) / (G + Go)|) \times \\ &\times (1 - |(B - Bo) / (B + Bo)|)]^{(1/w)}, \end{aligned} \quad (6)$$

где R, G, B – красный, зелёный и синий каналы изображения, Ro, Go, Bo – эталонные значения каналов R, G, B для определённой цветовой схемы [24], а w – весовой показатель (чаще всего его полагают равным 1).

Можно рассчитать и такой индекс, как *Excess Green Index (ExG)*:

$$ExG = 2 \cdot G - R - B. \quad (7)$$

Одним из популярных вегетационных индексов для выделения растительности на RGB изображении является индекс *CC (canopy cover)*:

$$CC = (1 + L) \times ((G - R) \times (G + R + L)), \quad (8)$$

где L – почвенный фактор, равный $L = 0$ для чистой растительности и $L = 1$ для чистой почвы (типично принимают $L = 0,5$).

Текстурные коэффициенты для шаблона изображения капусты (см. рис. 5)

Текстурный коэффициент	Среднее значение	Дисперсия
$P1$	$2,592 \cdot 10^{-5}$	$6,528 \cdot 10^{-7}$
$P2$	$2,782 \cdot 10^4$	$9,342 \cdot 10^2$
$P3$	$2,857 \cdot 10^5$	$5,191 \cdot 10^3$
$P4$	$1,419 \cdot 10^2$	1,262
$P5$	$8,883 \cdot 10^{-4}$	$6,945 \cdot 10^{-5}$
$P6$	6,322	$7,962 \cdot 10^{-2}$
$P7$	$1,811 \cdot 10^{-3}$	$1,449 \cdot 10^{-4}$
$P8$	$2,101 \cdot 10^{-3}$	$1,521 \cdot 10^{-4}$
$P9$	$5,057 \cdot 10^{-2}$	$1,320 \cdot 10^{-3}$

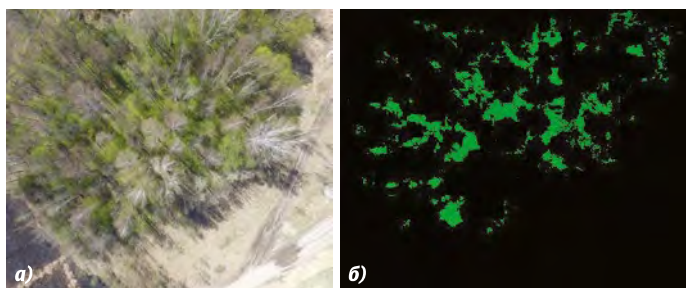


Рис. 4. Выделение растительности на изображении БПЛА: а – исходное RGB изображение, б – двухцветная маска растительности

Индексы (5) – (8) позволяют выделить на изображении области, которые заняты растительностью, а не другими объектами. На рис. 4 показан результат выделения растительности на изображении, полученном БПЛА с высоты 15 м, с использованием фильтров на основе формул (7) – (8).

5. Методика распознавания растений с помощью текстурного анализа

После того, как было подвергнуто коррекции полученное с борта БПЛА изображение и проведено выделение растений на изображении (рис. 4б), можно применить метод текстурного анализа для определения типа растения. Для распознавания типа растения необходимо на предварительном этапе обработать изображение с известным растением и получить некоторый шаблон (фон убран и присутствует только растение). Далее, проведя сравнительный цветовой и текстурный анализ нового изображения и шаблона, можно определить тип растения. Выделенное растение обладает определённой формой, площадью и контур которой можно измерить.

Для решения этой задачи необходимо представить изображение в виде оттенков серого, используя выражение:

$$I_g = 0,299 \cdot B + 0,587 \cdot G + 0,114 \cdot R. \quad (9)$$

Далее, для серого изображения находим текстурные признаки:

– Среднеквадратичное значение:

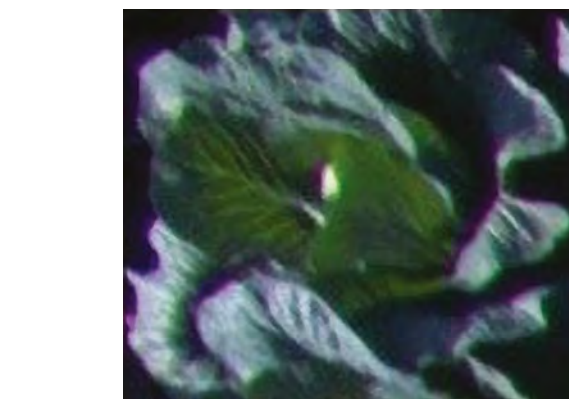


Рис. 5. Шаблон изображения капусты

$$P1 = \frac{\sum \sum (I_n(i, j))^2}{N \cdot M}, \quad (10)$$

где $I_n(i, j) = I_g(i, j) / \sum \sum I_g(i, j)$.

– Коэффициент корреляции:

$$P2 = \frac{\sum \sum (I_n(i, j) - P1)^2}{\sum \sum (I_n(i, j))^2}. \quad (11)$$

– Контраст (отображает перепады яркости на разных участках изображения):

$$P3 = \sum \sum (i-j)^2 I_g(i, j). \quad (12)$$

– Несходство (разброс, перепады значений):

$$P4 = \sum \sum |i-j| I_g(i, j). \quad (13)$$

– Гомогенность (относительно маленькие значения этого параметра свидетельствуют о малом отличии данных друг от друга):

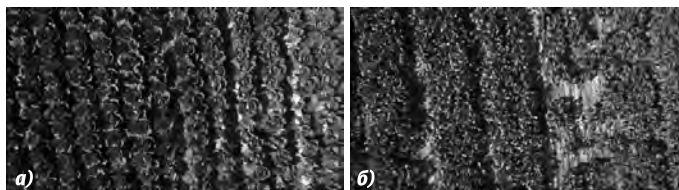
$$P5 = \sum \sum \{I_g(i, j) / (1 - (i-j)^2)\}, \quad (14)$$

или

$$P9 = \sum \sum \{I_g(i, j) / (1 - |i-j|)\}. \quad (15)$$

– Энтропия (мера необратимого рассеивания энергии):

Рис. 6. Тестовые изображения
изображения участков поля,
засеянные: а – капустой, б – свёклой



$$P6 = \sum \sum \{I_g(i, j) \cdot I_g(i, j)\}. \quad (16)$$

– Максимум (максимальное значение интенсивности пикселя (i, j)):

$$P7 = \max(I_g(i, j)). \quad (17)$$

– Энергия (характеризует протяжённость и изломанность контура):

$$P8 = \sum \sum I_g(i, j)^2. \quad (18)$$

Далее, рассчитав по формулам (10) – (18) текстурные признаки для шаблона искомого объекта и произвольно взятой области изображения, посредством сравнения можно определить принадлежность области к объекту. Сравнение проводится посредством расчёта близости значений текстурных признаков с учётом знака:

$$C = \sum \{(P_s(i) - P(i)) / (P_s(i))\}, \quad (19)$$

где P_s, P – текстурные признаки для шаблона и области изображения.

6. Результаты численных экспериментов

В качестве примера работы предлагаемой нами методики были взяты результаты съёмки территории поля с посевами капусты и свёклы. На рис. 5 показан шаблон изображения капусты, для которого были проведены все представленные в статье процедуры коррекции и вычислены текстурные коэффициенты, приведённые в таблице.

На рис. 6 показаны тестовые изображения участков поля засеянные капустой (6а) и свёклой (6б).

Затем изображения обрабатывали с целью разделить их на блоки, содержащие отдельные, однородные области, для которых по формулам (10) – (18) рассчитывались текстурные $P1 - P9$, которые сравнивались с признаками для шаблона по формуле (19). В итоге, в среднем по всем блокам для изображения 6а процент верного угадывания для критерия $C > 0.9$ составил 88 %, а при сопоставлении шаблона с изображением 6б он был равным 5 %. Часть изображений, на которых находилась открытая земля, была нераспознана.

7. Заключение

Технологии мониторинга с помощью беспилотных летательных аппаратов постепенно проникают во многие сферы науки и практики. Технологические задачи разработки БПЛА, построения маршрутов, измерений уже переведены в обычный, рутинный режим. Однако программ обработки и, тем более, анализа получаемой с борта БПЛА информации пока недостаточно, и решаются лишь некото-

рые задачи. Одной из задач, которая чаще всего решается с помощью много- и гиперспектральной аппаратуры, является классификация типов поверхности. Такой тип измерений позволяет решать задачи классификации с хорошей точностью, но является достаточно дорогостоящим и требовательным по условиям измерений. Более простой способ, предлагаемый в статье, основывается на использовании обычной *RGB* цифровой камеры. Так как атмосферные условия получения цифровых изображений постоянно меняются, то для приведения всех изображений к одним условиям проводится геометрическая и радиометрическая коррекция. Для решения задачи распознавания типов поверхности (в статье рассматриваются несколько видов растений) нами используется текстурный анализ. Приведённые в работе результаты говорят о хорошей точности распознавания типов растений по *RGB* изображениям с борта БПЛА. Отметим, что алгоритм текстурного анализа, применённый в данной работе, является достаточно простым, и при использовании более сложных модификаций должен позволить получить более значимые точности распознавания типов поверхности земли и, в частности, растений.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ, проект № 8.8184.2017/8.9 «Методология создания систем энергогенерирующих и энергопреобразующих устройств для наземных и бортовых комплексов наземного, космического и подводного базирования» и молодёжного проекта по программе «УМНИК».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кашкин В.Б. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений: учеб. пособие / В.Б. Кашкин, А.И. Сухонин. – М.: Логос, 2001.– 264 с.
2. Чандра А.М. Дистанционное зондирование и географические информационные системы / А.М. Чандра, С.К. Гош. – М.: Техносфера, 2008.– 312 с.
3. Фетисов В.С. Беспилотная авиация: терминология, классификация, современное состояние. – Уфа: Фотон, 2014.– 217 с.
4. Старовойтов В.В. Цифровые изображения: от получения до обработки / В.В. Старовойтов, Ю.И. Голуб. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2014.– 202 с.
5. Янишин В.В., Калинин Г.А. Обработка изображений на языке Си для IBM PC: Алгоритмы и программы. – М: Мир, 1994.– 240 с.
6. Прэнт У. Цифровая обработка изображений. – М.: Мир, 1982, Т. 1–2.– 1104 с.
7. Шатицко Л., Стокман Дж. Компьютерное зрение = Computer Vision. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2006.– 752 с.
8. Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю., Бондаренко А.В, Ососков М.В., Моржин А.В. Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения. – М.: Физматкнига, 2010.– 672 с.
9. Hruska, R., Mitchell, J. Anderson, M., Glenn, N.F. Radiometric and geometric analysis of hyperspectral imagery acquired from an unmanned aerial vehicle // Remote Sens.– 2012. – No. 4. – P. 2736–2752.

10. *Shepherd, J.D., Dymond, J.R.* Correcting satellite imagery for the variance of reflectance and illumination with topography // *Int. J. Remote Sens.*– 2003. – Vol. 24. – P. 3503–3514.

11. *Hruska, R., Mitchell, J., Anderson, M., Glenn, N.F.* Radiometric and geometric analysis of hyperspectral imagery acquired from an unmanned aerial vehicle // *Remote Sens.*– 2012. – No. 4. – P. 2736–2752.

12. *Colomina, I., Molina, P.* Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review // *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*– 2014. – Vol. 92. – P. 79–97.

13. *Huang, W., Zhang, L., Li, P.-X.* A Topographic Correction Approach for Radiation of RS Images by Using Spatial Context Information // *Acta Geodaetica Et Cartographica Sinica.*– 2006. – Vol. 35, No. 8. – P. 286–290.

14. *Dybayah, R., Rich, P.* Topographic solar radiation models for GIS // *International Journal of Geographical Information Systems.*– 1995. – No. 9. – P. 405–419.

15. *Bolstad, P.V., Smith, J.L.* An Evaluation of DEM Accuracy: Elevation, Slope Aspects // *Photographic Engineering and Remote Sensing.*– 1994. – Vol. 60, No. 11. – P. 1327–1332.

16. *Toutin, T.* Geometric Processing of Remote Sensing Images: Models, Algorithms and Methods // *International Journal of Remote Sensing.*– 2004. – Vol. 25, No. 10. – P. 1893–1924

17. *Kim, J., Kim, T.* Fast and robust geometric correction for mosaicking UAV images with narrow overlaps // *International Journal of Remote Sensing.*– 2017. – Vol. 38, No. 8–10. – P. 2557–2576.

18. *Reinhard, E., Adhikhmin, M., Gooch, B., Shirley, P.* Color transfer between images // *IEEE Computer graphics and applications.*–2001. – Vol. 21, No. 5. – P. 34–41.

19. *Meyer, G.E., Neto, C.J.* Verification of color vegetation indices for automated crop imaging applications // *Computers and electronics in agriculture.*– 2008. – Vol. 63, No. 2. – P. 282–293.

20. *Bannari, A., Morin, D., Bonn, F., Huete, A.R.* A review of vegetation indices // *Remote Sensing Reviews.*– 1995. – Vol. 13. – P. 95–120.

21. *Haralick, R.M.* Statistical and structural approaches to texture // *Proc. of the IEEE.*– 1979. – Vol. 67, No. 5. – P. 786–804.

22. *Palm, C.* Color texture classification by integrative cooccurrence matrices // *Pattern Recognition.*– 2004. – Vol. 37, No. 5. – P. 965–976.

23. <http://phl.upr.edu/projects/visible-vegetation-index-vvi>.

24. <https://colorscheme.ru>.



Катаев Михаил Юрьевич, доктор техн. наук. Закончил Томский государственный университет по специальности «Инженер оптик-исследователь» (1984 г.). Профессор кафедры автоматизированных систем управления (АСУ) Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР), профессор Юргинского технологического института (филиала) Национального исследовательского Томского политехнического университета. Научный руководитель Центра космического мониторинга Земли ТУСУР



Даднова Мария Михайловна. Магистрант кафедры автоматизированных систем управления (АСУ) Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)

Китай разрабатывает первую космическую солнечную электростанцию

Китай планирует построить на околоземной орбите первую в истории космическую солнечную электростанцию (КСЭ). Её соберут на высоте 36 тыс. км над Землёй, где независимо от времени суток, метеорологических условий и атмосферного воздействия планеты, она сможет эффективно и, главное, постоянно проводить сбор солнечной энергии для последующей её передачи на наземные станции.



Вырабатываемая ею электроэнергия будет преобразовываться в «микроволны или лазерный луч» для передачи на специальные коллекторы на Земле. Проект станции был предложен китайскими инженерами ещё 2015 г., и сейчас специалисты Китайской академии космических технологий (КАКТ) ведут разработку раннего экспериментального образца КСЭ.

КСЭ сможет обеспечивать поставку электроэнергии практически постоянно и в 6 раз эффективнее, чем любая имеющаяся на Земле солнечная ферма.

Реализация проекта будет проходить в несколько этапов. В течение 2021–2025 гг. в стратосферу планируется запустить несколько компактных образцов КСЭ для сбора солнечной энергии и проведения испытаний по её передаче на наземный коллектор. К 2030 г. учёные хотят вывести на околоземную орбиту КСЭ мегаваттного класса, а к 2050 г. – гигаваттного.

По словам вице-президента КАКТ, Китай может стать первой в мире страной, которая создаст КСЭ, обладающую реальной практической ценностью.

Отмечается, что основная техническая сложность в развёртывании подобной станции на орбите заключается не в технологиях сбора солнечной энергии – необходимые разработки уже есть. Главная проблема – это вес станции, который, согласно текущим оценкам, будет составлять около 1000 т. Вес той же МКС более, чем вдвое меньше и составляет около 400 т.

В настоящий момент китайские специалисты изучают как один из способов решения этой проблемы использование роботов и технологии 3D-печати для непосредственного строительства КСЭ прямо в космосе. Кроме того, поскольку собранную КСЭ энергию планируется преобразовывать в энергию СВЧ излучения для передачи на наземные коллекторы, учёные также хотят изучить вопрос потенциального влияния СВЧ излучения станции на атмосферу и экологию планеты.

Ожидается, что орбитальная КСЭ поможет снизить загрязнение воздуха от многочисленных наземных электростанций, работающих на ископаемых видах топлива. Кроме того, в качестве одной из возможных перспектив называется использование КСЭ как источника энергии для нужд развивающейся программы освоения дальнего космоса.

Источник новости добавляет, что Япония, Индия, а также некоторые Европейские страны тоже ведут обсуждение идей использования солнечной энергии в космосе.

hi-news.ru
16.02.2019

Применение мощных светодиодов для одновременных измерений характеристик рассеяния излучения и флуоресценции в морской воде

М.Е. ЛИ, Е.Б. ШИБАНОВ, О.В. МАРТЫНОВ

Морской гидрофизический институт РАН, Севастополь
E-mail: oleg.martynov.49@mail.ru

Аннотация

Исследования по рассеянию излучения и флуоресценции в морской среде необходимы для более точного описания закономерностей распространения излучения в верхних слоях океана и диагностики экологического состояния морских акваторий. Применение мощных (сверхъярких) светодиодов позволило разработать уникальный метод и прибор для исследования рассеивающих свойств и флуоресценции природных вод. Приведены краткие описания конструкции прибора (нефелометра) и результатов его испытаний. Главное преимущество предлагаемого метода – контролируемый учёт влияния когерентного рассеяния на результаты измерений. При этом измерения характеристик всех типов рассеяния выполняются одним прибором в одной пробе.

Ключевые слова: мощные светодиоды, нефелометр, рассеяние излучения водой, флуоресценция природных вод.

Введение

Проведённые в последние годы Морским гидрофизическим институтом РАН исследования гидрооптических свойств морской воды выявили настоятельную необходимость применения новых подходов к измерениям индикатрисы рассеяния излучения, для объяснения причин несоответствия теории молекулярного рассеяния чистых вод данным натурных измерений [1, 2]. По данным об индикатрисе рассеяния излучения можно восстановить такие характеристики взвеси в воде как распределение частиц по размерам: разделить их на крупную и мелкую фракции [3]; определить показатель преломления частиц [4]; зависимость рассеивающих свойств микрочастиц от их размеров [5] и сум-

марную концентрацию взвеси без разделения на минеральную и органическую составляющие [6]. Несмотря на то, что знание индикатрисы рассеяния так значимо для оптики океана, измерений индикатрис в натурных условиях проведено немного из-за сложности создания аппаратуры для таких измерений. Основная проблема заключается в том, что для измерений индикатрис рассеяния во всём диапазоне углов рассеяния необходимы такие источники излучения (ИИ), которые имели бы как очень малые размеры светящего тела, так и высокую световую отдачу. Появившиеся в последние годы некоторые мощные светодиоды (СД) не только наиболее оптимально совмещают в себе эти противоречивые требования, но и позволяют выбирать необходимые спектральные участки в диапазоне 350–780 нм.

Новый подход к измерениям угловой функции рассеяния излучения и флуоресценции

Успехи в создании полупроводниковых источников излучения позволяют отойти от применения в спектральных

гидрооптических приборах в качестве ИИ галогенных ЛН (ГЛН). Световая отдача современных мощных СД выше, чем у ГЛН. Расчёты показывают, что применение СД в качестве ИИ вместо ГЛН даёт выигрыш по потоку излучения в одинаковых спектральных интервалах в десятки раз, а в коротковолновой области спектра даже в сотни [7]. Спектры излучения СД сравнительно узки (15–35 нм), и потому их излучение допустимо считать квазимонохроматическим. Наши предварительные оценки показали, что яркость излучения СД на два порядка выше, чем у ранее использовавшейся ГЛН мощностью 12 Вт. С уменьшением пиковой длины волны излучения λ_p преимущества СД перед ГЛН усиливаются (рис. 1).

Применение мощных СД в качестве ИИ позволило разработать уникальный метод и прибор для исследования рассеивающих свойств и флуоресценции природных вод. Нами проведена модернизация уникального полярного нефелометра, которая позволила существенно расширить его функциональные возможности и обеспечить возможность не только измерения индикатрисы рассеяния во всём диапазоне углов рассеяния, но и флуоресценции разных видов клеток фитопланктона и растворённого органического вещества [7]. Новый многофункциональный полярный нефелометр для новейших исследований по рассеянию излучения и флуоресценции является измерителем рассеяния излучения третьего поколения, в котором развёртка по углу осуществляется по принципу работы перископа – путём вращения специальной стеклянной

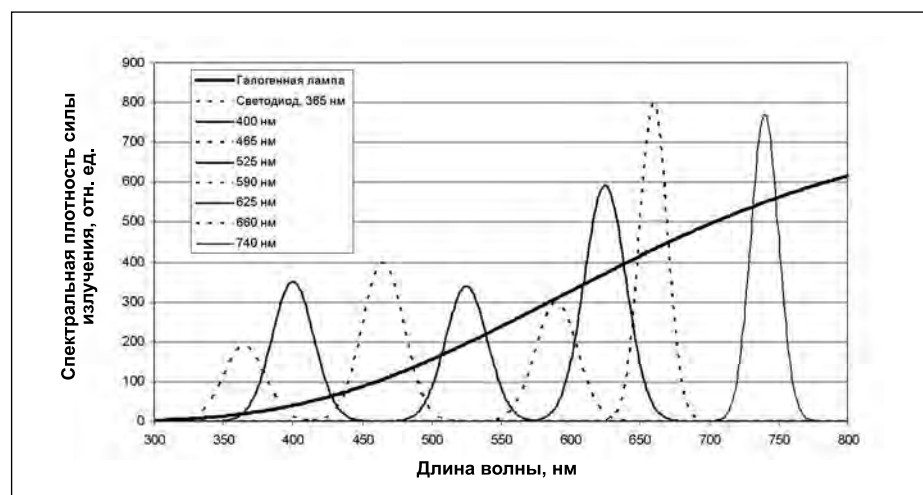


Рис. 1. Относительные спектры излучения СД и ГЛН с температурой тела накала 2900 К

призмы вокруг оси фотоприёмного устройства.

В результате использования мощных СД в качестве ИИ в усовершенствованном полярном нефелометре появилась возможность регистрировать сигнал от некогерентного рассеяния. Для этого блок излучения нефелометра был дополнен специальным механизмом смены СД, а фотоприёмный блок – механизмом смены светофильтров, управляемых компьютером. Если спектры излучения и пропускания приходятся на один спектральный участок, измеряется обычное, когерентное рассеяние, а если на разные участки – флуоресценция и рассеяние Рамана. Наличие и уровень паразитной засветки контролируется по угловой структуре измеряемого сигнала. В новом приборе использованы высокие технологии проектирования и современные электронные компоненты. Функциональная схема варианта прибора для измерений объёмного рассеяния и флуоресценции разного вида клеток фитопланктона и растворённого органического вещества ясна из рис. 2.

В данной версии нефелометра в качестве ИИ впервые в мировой практике применён набор из 8 мощных узкополосных разноспектральных СД с $\lambda_p = 365, 400, 465, 525, 590, 625, 660$ и 740 нм и шириной спектра излучения от 10 до 20 нм [7]. СД равномер-

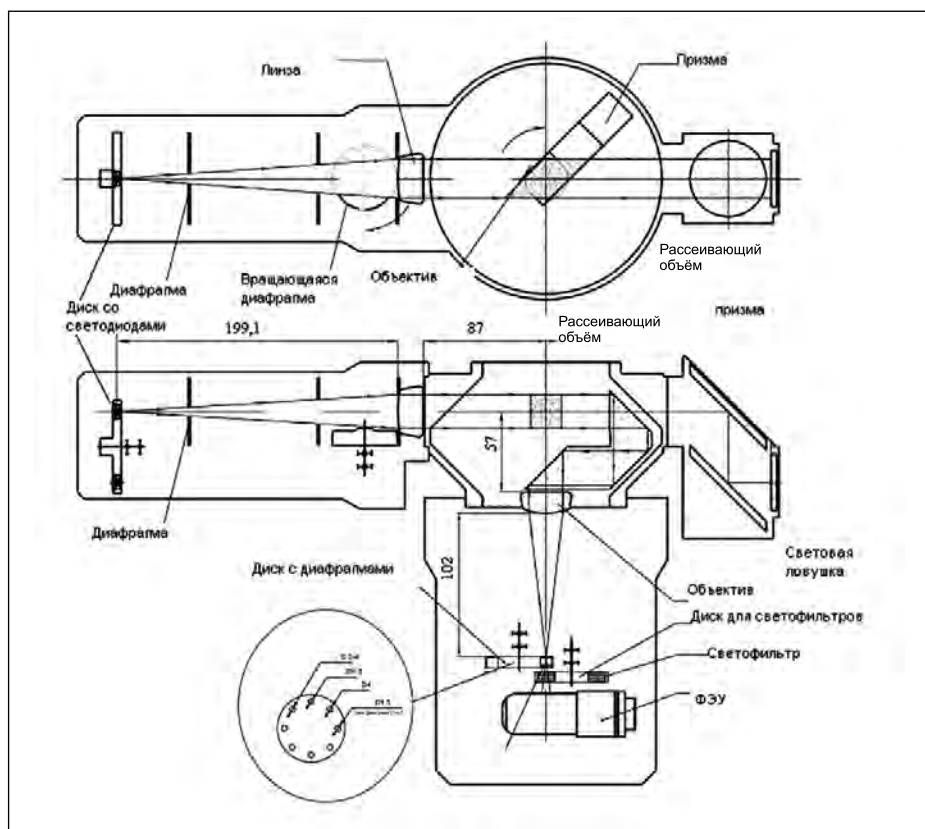


Рис. 2. Принципиальная схема измерений характеристик рассеяния излучения новым нефелометром

но установлены по окружности через 45° на поворотном диске, представляющем собой радиатор, выполненный в виде цилиндра с диагональными охлаждающими рёбрами. Смена СД производится с помощью шагово-

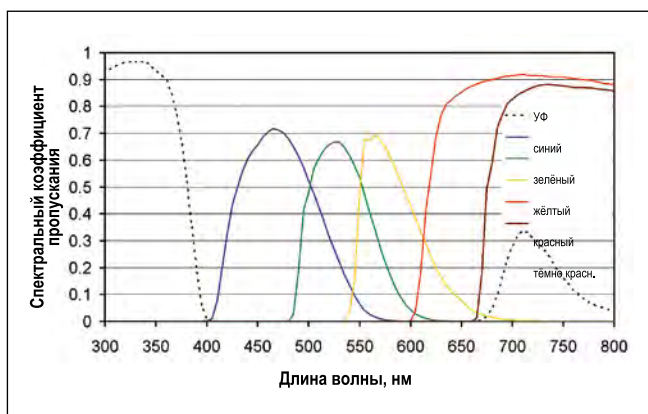
го двигателя, который по сигналу микропроцессора поворачивает радиатор со светофильтрами на заданный угол. Питание СД производится путём подачи напряжения на две подпружиненные щётки, которые скользят по пово-

Таблица

Рассчитанные значения доли принимаемого когерентного излучения и эффективной длины волны

Светофильтр λ_p , нм	УФ	Синий	Зелёный	Жёлтый	Красный	Тёмно-красный
365	0,88; 363 нм	0,003; 418 нм	$<10^{-5}$	$<10^{-4}$	$<10^{-6}$	$<10^{-6}$
400	0,036; 390 нм	0,018; 412 нм	$<10^{-5}$	0,0001; 400 нм	$<10^{-6}$	$<10^{-6}$
465	$<10^{-6}$	0,669; 465,1 нм	0,0223; 496 нм	0,0001; 465 нм	$<10^{-6}$	$<10^{-6}$
525	$<10^{-6}$	0,283; 516 нм	0,592; 525 нм	0,0648; 554 нм	$<10^{-6}$	$<10^{-6}$
590	$<10^{-6}$	0,003; 565 нм	0,124; 578 нм	0,51; 586 нм	0,044; 617 нм	$<10^{-6}$
625	$<10^{-4}$	$<10^{-4}$	0,0106; 604 нм	0,225 617 нм	0,56; 631 нм	0,0006; 674 нм
660	0,026; 692 нм	$<10^{-6}$	0,0008; 616 нм	0,068; 642 нм	0,851; 660 нм	0,176; 685 нм
740	0,217; 732 нм	$<10^{-6}$	$<10^{-6}$	0,0008; 713 нм	0,919; 739 нм	0,879; 739 нм

Рис. 3. Относительные спектры пропускания светофильтров



рачивающемуся вместе с радиатором дисковому коллектору с восемью контактными секторами, соединёнными с соответствующими СД.

Эти СД излучают значительно сильнее ГЛН, что заметно снижает долю случайных шумов ФЭУ при измерении малых потоков излучения в области больших углов рассеяния и малых уровней флуоресцентного свечения. Значительно меньшие размеры светящего тела СД, чем у ГЛН, позволяют снижать расходимость пучка ИИ и таким образом повышать разрешение по углу при проведении измерений индикатрис рассеяния. Существенным преимуществом использования СД также является повышенный срок службы ИИ на их основе. Гарантированный срок службы СД, составляющий 100000 ч и более, позволяет их использовать в оптических приборах в течение всего времени их многолетней эксплуатации. При этом известно, что, например, замена перегоревшей ГЛН сопряжена с проведением трудоёмких юстировки и калибровки прибора, съедающих много времени и иногда приводящих к потерям данных, особенно в условиях полевых экспедиций. Ещё одно преимущество использования СД – возможность управления яркостью излучения, а значит и яркостью рассеянного излучения, путём изменения силы излучения СД. Кроме того, именно использование СД повышенной мощности (яркости) позволяет этим же прибором измерять и флуоресцентные характеристики морской воды.

Для того, чтобы полярный нефелометр мог измерять как угловую функцию рассеяния излучения, так и характеристики флуоресценции морской воды, фотоприёмное устройство поляриметра должно быть снабжено набором светофильтров с максима-

ми пропускания строго подобранными под λ_p СД. Разные сочетания пар СД-светофильтр позволяют регистрировать как сигнал, близко соответствующий когерентному рассеянию, так и характеристики флуоресценции на одной длине волны при возбуждающем сигнале на другой. Для этого фотоприёмное устройство дополнено набором соответствующих светофильтров из цветного стекла (рис. 3).

Установка светофильтров перед ФЭУ позволяет контролировать эффекты некогерентного рассеяния и измерять характеристики флуоресценции.

В таблице приведены вычисленные значения доли принимаемого когерентного излучения и значения эффективной длины волны для всех возможных сочетаний СД-светофильтр в приборе. Ячейки со значениями, выделенными жирным шрифтом, следует рассматривать как допустимое для измерения когерентного рассеяния сочетание СД-светофильтр. Сочетания СД-светофильтр, близкие к диагонали «матрицы флуоресценции», позволяют измерять показатели когерентного рассеяния. Если доля последнего мала, то существует принципиальная возможность измерять показатели некогерентного рассеяния.

Заключение

Применение современных мощных (сверхъярких) СД позволило разработать уникальный метод и прибор для исследования рассеивающих свойств природных вод.

Главное преимущество предлагаемого метода – контролируемый учёт влияния когерентного рассеяния. При этом измерения двух типов рассеяния выполняются одним прибором в одной пробе.

Другое достоинство нефелометрического метода – возможность проводить флуориметрические измерения при достаточной близости относительных спектров излучения ИИ и спектров пропускания светофильтров приёмника.

Разработка нового метода выполнена по проекту РФФИ 16-05-00062 «Исследование спектральных характеристик когерентного и некогерентного рассеяния излучения в морской воде».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Shybanov E.B., Berton J.F., Lee M.E., Zibordi G.* Hypothesis of the Spatial Adjustment of Optical Inhomogeneities of Water and Its Confirmation through Experiments on Measurements of Light Scattering // *JETP Letters.* – 2010. – Vol. 92, No. 10. – P. 671–675.
2. *Шибанов Е.Б., Бертон Ж.-Ф., Ли М.Е., Зиборди Дж.* Увеличение рассеяния излучения при смешивании чистых вод различной плотности // *Морской гидрофизический журнал.* – 2011. – № 4. – С. 36–42.
3. *Копелевич О.В.* Малопараметрическая модель оптических свойств морской воды / *Оптика океана. Т. 1. Физическая оптика океана* / Отв. ред. А.С. Монин. – М.: Наука, 1983. – С. 208–234.
4. *Twardowski M.S., Boss E., MacDonald J.B., Pegau W.S., Barnard A.H., Zaneveld J.R.V.* A model for estimating bulk refractive index from the optical backscattering ratio and the implications for understanding particle composition in case I and case II waters // *J. Geophys. Res.* – 2001. – Vol. 106. – P. 14129–14142.
5. *Ли М.Е., Мартынов О.В., Шибанов Е.Б.* Некоторые результаты измерений индикатрис рассеяния в широком диапазоне углов в искусственных средах и природных водах / *Экологическая безопасность прибрежных и шельфовых зон и комплексное использование ресурсов шельфа* / Под. ред. В.А. Иванова. – Севастополь: МГИ НАНУ, 2003. – С. 12.
6. *Шифрин К.С.* Введение в оптику океана. – Л.: Гидрометеоиздат, 1983. – 280 с.
7. *Lee M.E., Marlon L.R.* A New Method for the Measurement of the Optical Volume Scattering Function in the Upper Ocean // *JAOT.* – 2003. – Vol. 20. – P. 563–571.
8. *Ли М.Е., Мартынов О.В., Шибанов Е.Б.* Новые принципы измерения индикатрисы рассеяния в широком диапазоне углов. / *Экологическая безопасность прибрежных и шельфовых зон и комплексное использование ресурсов шельфа* / Под. ред. В.А. Иванова. – Севастополь: МГИ НАНУ, 2003. – С. 194–211.
9. *Карабашев С.Г.* Флуоресценция в океане. – Л.: Гидрометеоиздат, 1987. – 200 с.

10. *Porto S.P.S. Angular Dependence and Depolarization Ratio of the Raman Effect // JOSA.* – 1966. – Vol. 56, No. 11. – P. 1585–1589.

11. *Лу М.Е., Шибанов Е.Б., Мартынов О.В.* Преимущества использования сверхъярких светодиодов в приборах для исследования рассеяния излучения морской водой // Труды VIII Международной конференции «Современные проблемы оптики естественных сред (ONW-2015)». – Санкт-Петербург, 8–12.09.2015. – С. 267–271.

12. *Maffione R.A., D.R. Dana* Instruments and methods for measuring the backward-scattering coefficient of ocean waters // *Appl. Opt.* – 1997. – Vol. 36. – P. 6057–6067.



Ли Михаил Ен Гон, 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



Шибанов Евгений Борисович, кандидат физ.-мат. наук. Окончил в 1983 г. Московский физико-технический институт. Старший научный сотрудник отдела Оптики и биофизики моря Морского гидрофизического института РАН.

Область научных интересов: оптическая океанография, дистанционное зондирование океана, рассеяние излучения в морской воде, экспедиционные биооптические исследования



Мартынов Олег Викторович, кандидат техн. наук. Окончил в 1972 г. Севастопольский приборостроительный институт. Старший научный сотрудник отдела

оптики и биофизики моря Морского гидрофизического института РАН. Область научных интересов: оптическая океанография, гидрооптические приборы, дистанционное зондирование океана

ВРИО Губернатора Санкт-Петербурга ознакомился с объектами реконструкции наружного освещения Санкт-Петербурга, реализованными на средства ПАО «Газпром»

8 ноября действующий глава города Александр Беглов и Председатель Правления ПАО «Газпром» Алексей Миллер осмотрели улицы Санкт-Петербурга, которые благоустраиваются в рамках благотворительных программ ПАО «Газпром» в 2018–2019 годах. Эта работа проводится в рамках Соглашения о сотрудничестве между Правительством Санкт-Петербурга и ПАО «Газпром».

В перечень осмотренных объектов делегации вошли адреса с декоративными опорами уличного освещения, реализованными при участии СПб ГУП «Ленсвет», Ассоциации «Невский свет». Руководитель СПб ГУП «Ленсвет» С.В. Мителев отчитался о проделанной работе по созданию объектов декоративного наружного освещения, представив информацию по Суворовскому и Лиговскому проспектам, Миллионной улице. Отличительная черта нового облика улиц – отсутствие проводов: все коммуникации убираются в подземные коллекторы, тем самым открывая вид на исторические здания. Винтажный стиль фонарей дополняют современные энергоэффективные источники света, обеспечивающие необходимый уровень освещения согласно установленным нормам.

Освещение Суворовского проспекта осуществляется с применением 79 чугунных декоративных опор высотой свыше 10 метров. По итогам работ демонтировано 158 подвесных светильников, 2,4 км воздушной сети электроснабжения. На вечерней перспективе Суворовского проспекта с декоративными опорами открывается вид на подсветку Смольного собора, первого объекта сотрудничества СПб ГУП «Ленсвет» с ПАО «Газпром» в 2007 году.

В 2017–2018 годы при участии СПб ГУП «Ленсвет» реализован объект декоративного наружного освещения по Лиговскому проспекту от Кузнечного переулка до набережной Обводного канала. Особенность проекта – выделенную полосу движения общественного транспорта освещают 260 светодиодных светильников, смонтированных в ограждения. Искусственными источниками света выделена архитектурная доминанта магистрали – Крестовоздвиженский казачий собор. В 2018 году рамках очередного этапа реконструкции по Лиговскому проспекту, на участке от Невского проспекта до улицы Некрасова протяженностью 780 метров, до конца ноября будет установлен 51 стилизованный фонарь, проложено 6,2 км кабельных линий.

Миллионную улицу от Суворовской площади до набережной Зимней канавки по обеим сторонам дорожного покрытия украсят 50 декоративных опор, увенчанных 100 светильниками. Подвесная сеть будет демонтирована, электроснабжение будет осуществляться по кабельным линиям. Вечерний облик полу-



чат фасады зданий, выходящие на Суворовскую площадь.

За последние два года благодаря внебюджетным источникам финансирования реализацию получил проект архитектурно-художественной подсветки церкви Воскресения Христова у Варшавского вокзала.

Всего за 2007–2018 годы в рамках сотрудничества СПб ГУП «Ленсвет» с ПАО «Газпром» установлено более 1500 новых торшеров, которые гармонично вписались в архитектурный облик Санкт-Петербурга. Вместе с художественной подсветкой фасадов домов они преобразили ночной облик города и создали неповторимую атмосферу. Центр города уже стал визитной карточкой для туристов и любимым местом прогулок жителей.

В настоящее время ведётся подготовка к работам по строительству наружного освещения в разделительной полосе по Московскому проспекту (от набережной Обводного канала до площади Победы), включая реконструкцию освещения на площади Победы, площади Труда, набережной Адмиралтейского канала, Конногвардейского бульвара, Большого проспекта Петроградской стороны, капитального ремонта освещения Невского проспекта, реконструкции наружного освещения набережной реки Мойки (от Невского проспекта до Певческого моста), строительства художественной подсветки доминант зданий по Литейному проспекту (Литейный просп., д. 20), улице Рубинштейна (ул. Рубинштейна, д. 40/11), Пушкинской улице (ул. Пушкинская, д. 19). На очереди – подсветка малых мостов, пересекающих основные реки и каналы исторического центра, являющиеся составной частью туристических маршрутов.

Созданные за счёт средств ПАО «Газпром» линии наружного освещения и устройства художественной подсветки безвозмездно передаются Ассоциацией «Невский свет» городу Санкт-Петербург и закрепляются на праве хозяйственного ведения за СПб ГУП «Ленсвет». На сегодня подарено более 50 объектов инженерной инфраструктуры. Созданные объекты отличаются высокими эксплуатационными характеристиками, также ряд объектов отмечен грамотами и дипломами отраслевых конкурсов.

Источник: Пресс-служба СПб ГУП «Ленсвет»

Индукционная УФ лампа на основе ртутного разряда НД в замкнутой бесферритной трубке

П.В. СТАРШИНОВ¹, О.А. ПОПОВ¹, И.В. ИРХИН², В.А. ЛЕВЧЕНКО³,
В.Н. ВАСИНА¹

¹ ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ», ² ФГУП «ВЭИ», ³ НПО «ЛИТ», Москва
E-mail: popovoleg445@yahoo.com

Аннотация

Проведено экспериментальное исследование характеристик бесферритной индукционной УФ лампы длиной 500 мм и шириной 130 мм, образованной замкнутой разрядной кварцевой трубкой с внутренним диаметром 25 мм. Индукционный разряд возбуждался на частоте 1,7 МГц в интервале мощности разрядной плазмы P_{pl} 52–112 Вт в смеси паров ртути ($\sim 10^{-2}$ мм рт. ст.) и аргона (1,0 мм рт. ст.) с помощью 3-витковой катушки индуктивности, размещённой по «внутреннему» периметру замкнутой трубки. С ростом P_{pl} : а) мощность потерь в проводе катушки вначале снижалась от 37 до 22 Вт ($P_{pl} = 84$ Вт), а затем росла до 44 Вт; 2) поток УФ излучения лампы в ртутной линии 254 нм монотонно рос от 28 до 72 Вт; 3) энергетический КПД лампы в линии 254 нм вначале возрастал от 31 до 48,5 % ($P_{pl} = 84$ Вт), а затем немного спадал – до 46 %; 4) энергетический КПД разрядной плазмы в линии 254 нм монотонно рос от 53 до 65 %.

Ключевые слова: УФ излучение, индукционный разряд, замкнутая трубка, ртутная лампа, разрядная плазма НД, катушка индуктивности.

Введение

Индукционные ртутные лампы НД – перспективные источники УФ излучения [1–4]. Благодаря отсутствию внутренних электродов они могут работать при относительно низких давлениях инертного газа (0,05–0,5 мм рт. ст.), обеспечивающих максимум энергетического КПД разрядной плазмы (η_{pl}) в резонансных линиях ртути 185 и 254 нм [3, 4]. Это открывает возможность создания в широком интервале мощностей эффективных источников УФ резонансного излучения, используемого для очистки воды, воздуха и др.

Особый интерес представляют бесферритные индукционные лампы, в которых ВЧ ртутная плазма возбуждается в замкнутых трубках с помощью катушки индуктивности, размещённой по периметру трубки, внешнему или внутреннему [5]. Такая конструкция позволяет обходиться без кольцевых ферромагнитных магнитопроводов, снижающих надёжность работы лампы и повышающих её себестоимость. Известны исследования характеристик бесферритных индукционных люминесцентных осветительных ламп со стеклянными замкнутыми разрядными трубками относительно большого диаметра, 35–70 мм, [5–7]. Однако авторы не нашли публикаций по бесферритным индукционным ртутным лампам НД с замкнутыми кварцевыми трубками как источникам УФ излучения.

Рис. 1. Схематический эскиз бесферритной индукционной лампы с замкнутой разрядной трубкой: 1 – разрядная трубка; 2 – катушка индуктивности; 3 – амальгама; ВЧ – высокочастотное напряжение

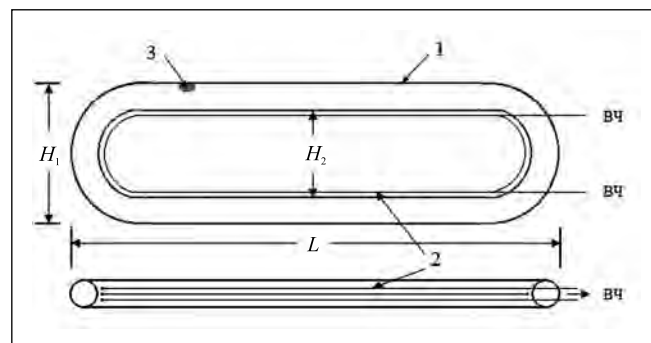
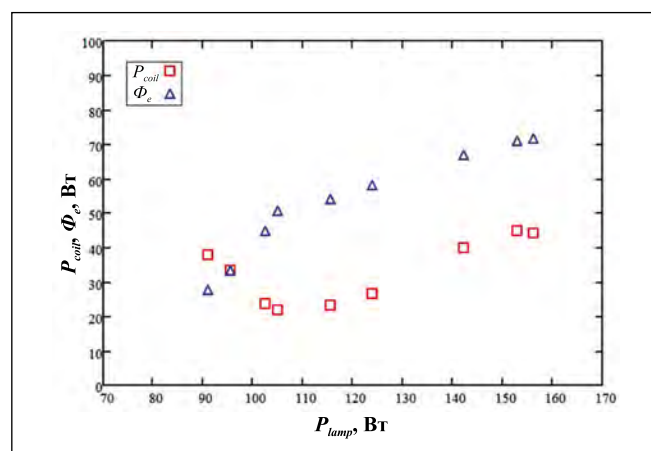


Рис. 2. Экспериментальные зависимости мощности потерь в проводе катушки P_{coil} и потока излучения лампы в линии 254 нм Φ_e от мощности лампы P_{lamp}



Ниже приводятся результаты собственных экспериментальных исследований характеристик УФ бесферритной индукционной ртутной лампы с замкнутой кварцевой разрядной трубкой (колбой) внутреннего диаметра 25 мм, в которой плазма возбуждается катушкой индуктивности, размещённой по «внутреннему» периметру лампы.

Экспериментальная установка и методики измерений

Индукционный разряд зажигался на частоте f 1,7 МГц в замкнутой кварцевой трубке со стенками толщиной 1,5 мм и с внутренним диаметром 25 мм. Лампа имела форму вытянутого кольца длиной L 500 мм и шириной H_1 130 мм с расстоянием между длинными параллельными участками разрядной трубки H_2 75 мм и длиной замкнутой осевой линии L_{pl} 1060 мм (рис 1). ВЧ индуктор состоял из 3-витковой катушки индуктивности из медного провода диаметром 2,5 мм с удельным погонным сопротивлением $8 \cdot 10^{-4}$ Ом/см, размещённой по «внутреннему» периметру лампы. Давление паров ртути в разрядной трубке поддерживалось оптимальным (по максимуму потока излучения лампы в линии 254 нм Φ_e) температурой

ртутно-индиевой амальгамы, размещённой на стенке трубки. Давление буферного газа Ar – 1,0 мм рт. ст.

Измерения Φ_e проводились с помощью радиометра $IL1700$ и фотометрической головки $SED240/W$ с косинусной угловой характеристикой [2]. Измерения проводились при мощности комплекта P_k , равной 102–165 Вт и суммирующей: а) мощность потерь в ВЧ генераторе P_g ; б) мощность лампы P_{lamp} , включающую в себя мощность потерь в проводе катушки индуктивности P_{coil} и мощность плазмы индукционного разряда P_{pl} ¹. Лампа размещалась в чёрном заземлённом металлическом коробе с чёрным экраном в плоскости, перпендикулярной «плоскости» лампы. В коробе имелась щель шириной Δ 30 мм в «плоскости» лампы. Расстояние от приёмника излучения (ПИ) до щели $d = 150$ см, а расстояние от щели до лампы $\ell = 10$ см, что позволяло «вырезаемый» щелью участок лампы считать точечным источником [3]. Φ_e рассчитывался согласно [2, 3]:

$$\Phi_e = \pi^2 \cdot h \cdot d \cdot i \cdot L / (\Delta \cdot S), \quad (1)$$

где $h = \ell + d$ – расстояние от лампы до ПИ, i – фототок ПИ, S – интегральная чувствительность ПИ.

Значение КПД генератора мощности η_g , определяемого как $\eta_g = 1 - (P_g/P_k)$, при работе на частоте f 1,7 МГц равнялось 0,9, а значение P_{coil} находилось методом замещения в отсутствие в лампе разряда [5, 8].

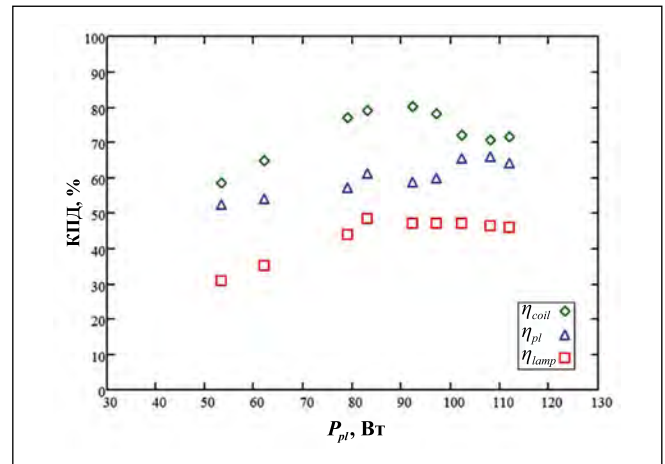
Результаты измерений и их обсуждение

Как видно из экспериментальных зависимостей P_{coil} и Φ_e от P_{lamp} (рис. 2), с ростом P_{lamp} : а) P_{coil} уменьшается от 39 Вт ($P_{lamp} = 92$ Вт) до своего минимума в 22 Вт ($P_{lamp, min} = 105$ Вт), а затем возрастает до 44 Вт ($P_{lamp} = 156$ Вт); б) Φ_e «быстро» растёт от 28 Вт ($P_{lamp} = 92$ Вт, $P_{pl} = 53$ Вт) до 45 Вт ($P_{lamp, min} = 105$ Вт, $P_{pl, min} = 84$ Вт), а затем «медленно» – до 72 Вт ($P_{lamp} = 156$ Вт). При этом обе зависимости хорошо коррелируют друг с другом.

Как видно из трёх других экспериментальных зависимостей (рис. 3),

¹ При $f < 10$ МГц мощностью электромагнитного излучения, рассеиваемой катушкой, можно пренебречь.

Рис. 3. Зависимости КПД катушки индуктивности η_{coil} и энергетических КПД лампы (η_{lamp}) и разрядной плазмы (η_{pl}) в линии 254 нм от мощности плазмы P_{pl} .



с ростом P_{pl} : а) энергетический КПД лампы в линии 254 нм η_{lamp} ($\eta_{lamp} = \Phi_e/P_{lamp}$) возрастает от 32 % ($P_{pl} = 53$ Вт) до 46 % ($P_{pl} = 84$ Вт), а затем незначительно снижается – до 44 % ($P_{pl} = 112$ Вт); б) η_{pl} ($\eta_{pl} \approx \Phi_e/P_{pl}$ ²) практически линейно возрастает от 52 до 66 %; в) КПД катушки индуктивности η_{coil} ($\eta_{coil} = 1 - P_{coil}/P_{lamp}$) возрастает от 59 % ($P_{pl} = 53$ Вт) до 81 % ($P_{pl} = 84$ Вт) и затем спадает до 71 % ($P_{pl} = 112$ Вт). Попутно отметим, что $\eta_{lamp} = \eta_{coil} \cdot \eta_{pl}$.

Рост P_{coil} с ростом P_{pl} и сопровождающий его спад η_{coil} и η_{lamp} видимо, связаны со скин-эффектом в ВЧ индукционном разряде (достаточно высокой плотности) на частотах в сотни кГц и выше [9]. Скин-эффект характеризуется «выталкиванием» ВЧ электрического поля из области плотной плазмы (вблизи оси трубки) и «прижиманием» его к стенкам разрядной трубки, где расположен провод катушки и максимальна напряжённость ВЧ электрического поля [10]. В результате повышается средняя по сечению разрядной трубки напряжённость ВЧ электрического поля \vec{E}_{pl} , растёт ВЧ напряжение на плазменном витке U_{pl} ($U_{pl} = \vec{E}_{pl} \cdot A_{pl}$) и, в соответствии с трансформаторной моделью индукционного разряда, возрастают ВЧ напряжение и ток катушки индуктивности I_{coil} ; а, следовательно, и P_{coil} ($P_{coil} = (I_{coil})^2 \cdot R_w$), где R_w – сопротивление катушки.

Однако на генерацию УФ излучения скин-эффект заметен не влияет, о чём свидетельствует практическая линейность зависимости $\eta_{pl}(P_{pl})$ во всём исследованном интервале P_{pl} (52–112 Вт).

² Измеряемый Φ_e меньше излучаемого плазмой, отсюда и приближительность этого равенства. – Прим. ред.

Стоит отметить, что при определении η_{lamp} не учитывалась экранировка УФ излучения витками катушки индуктивности, покрывающими 3–5 % площади поверхности разрядной трубки. В результате часть УФ излучения поглощается в катушке, и потому реальный поток УФ излучения лампы ниже измерявшегося потока Φ_e , согласно выражению (1). Соответственно этому, уточнённый $\eta_{lamp} = \eta_{coil} \cdot \eta_w \cdot \eta_{pl}$, где $\eta_w \approx 1 - (d_w/(\pi d_{tr}))$ – коэффициент экранировки разрядной трубки катушкой индуктивности, d_w – диаметр провода катушки, d_{tr} – внешний диаметр разрядной трубки.

Заключение

– Получены высокие значения η_{pl} , 60–65 %, индукционной бесферритной лампы с замкнутой разрядной трубкой диаметром 25 мм, работающей на частоте 1,7 МГц при удельных мощностях плазмы (УМП) 0,8–1,0 Вт/см. Они превышают таковые индукционных бесферритных линейных УФ ламп, работающих на частотах 1–4 МГц при УМП порядка 1 Вт/см [4], и УФ ламп трансформаторного типа, работающих при УМП 1 Вт/см на частоте 265 кГц [2, 3].

– При этом P_{coil} относительно велика, 20–50 Вт, а η_{coil} относительно невысок, 70–80 %. Однако благодаря высоким значениям η_{pl} значения η_{lamp} при УМП 0,8–1,0 В/см составляют 45–46 %, что выше, чем у бесферритных линейных индукционных УФ ламп [4, 11] и трубчатых электродных УФ ламп, работающих на частотах в 20–80 кГц (низких) [12].

– Повышения η_{pl} можно добиться, снизив давление инертного газа (Ar) до 0,2–0,3 мм рт. ст. При таких давлениях наблюдалась максимальная эф-

фактивность генерации УФ излучения ртутной плазмой в лампе трансформаторного типа с замкнутой разрядной трубкой с внутренним диаметром 16,6 мм [3].

– Повышения η_{lamp} можно добиться, повысив η_{coil} снижением P_{coil} . Для этого можно: а) использовать для изготовления катушки индуктивности провод с малым удельным погонным сопротивлением, $< 3 \cdot 10^{-4}$ Ом/см, (литцендрат) [5, 6]; б) уменьшить I_{coil} увеличением числа витков в ней до 5–6 [13]; в) повысить f до 6–9 МГц [13].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исупов М.В., Кротов С.В., Литвинцев А.Ю., Уланов И.М. Индукционная ультрафиолетовая лампа // Светотехника.– 2007.– № 5. – С. 37–40.
2. Левченко В.А., Попов О.А., Свитнев С.А., Старшинов П.В. Экспериментальные исследования электрических и оптических характеристик безэлектродной УФ лампы трансформаторного типа // Светотехника.– 2014.– № 6. – С. 39–43.
3. Левченко В.А., Попов О.А., Свитнев С.А., Старшинов П.В. Электрические и излучательные характеристики лампы трансформаторного типа с разрядной трубкой диаметром 16,6 мм // Светотехника.– 2016.– № 1. – С. 41–44.
4. Свитнев С.А., Попов О.А., Левченко В.А., Старшинов П.В. Характеристики бесферритного индукционного разряда низкого давления. Часть 2. Излучательные характеристики плазмы // Успехи прикладной физики.– 2016.– № 4. – С. 372–384.
5. Popov O.A., Chandler R.T. Ferrite-free High Power Electrodeless Fluorescent Lamp Operated at a Frequency of 160–1000 kHz // Plasma Sources Science and Technology.– 2002. – Vol. 11. – P. 218–227.
6. Попов О.А., Никифорова В.А. Индукционный бесферритный источник света мощностью 300–400 Вт на частоте 200–400 кГц // Вестник МЭИ.– 2010.– № 2. – С. 159–164.
7. Попов О.А., Старшинов П.В., Васина В.Н. Безэлектродная бесферритная индукционная люминесцентная ртутная лампа с замкнутой разрядной трубкой // Светотехника.– 2018.– № 2. – С. 75–77.
8. Piejak R.B., Godyak V.A., Alexandrovich B.M. A Simple Analyses of an Inductive RF Dis-charge // Plasma Sources Sci. Technol.– 1992.– № 1. – P. 179–185.
9. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. – М.: Наука, 1987. – 591 с.
10. Никифорова В.А., Попов О.А. Пространственное распределение параметров плазмы в бесферритном разряде замкнутого типа // Вестник МЭИ.– 2010.– № 5. – С. 114–119.

11. Свитнев С.А., Попов О.А., Левченко В.А. Характеристики высокочастотной 13,56 МГц бесферритной индукционной ультрафиолетовой лампы // Прикладная физика.– 2015.– № 6. – С. 92–96.

12. Ультрафиолетовые технологии в современном мире: Коллективная монография / Под ред. Ф.В. Кармазинова, С.В. Костюченко, Н.Н. Кудрявцева, С.В. Храменкова. – Долгопрудный: Изд. дом «Интеллект», 2012.– 391 с.

13. Свитнев С.А., Попов О.А., Левченко В.А., Старшинов П.В. Характеристики бесферритного индукционного разряда низкого давления. Часть 1. Электрические характеристики ВЧ индуктора // Успехи прикладной физики.– 2016.– № 2. – С. 139–149.



Старшинов Павел Валерьевич, магистр техн. наук. Окончил в 2015 г. кафедру «Светотехника» НИУ «МЭИ». Аспирант этой кафедры



Попов Олег Алексеевич, доктор техн. наук. Окончил в 1965 г. МЭИ. Профессор кафедры «Светотехника» НИУ «МЭИ»



Ирхин Игорь Вячеславович, кандидат техн. наук. Ведущий инженер ГРУПП «ВЭИ»



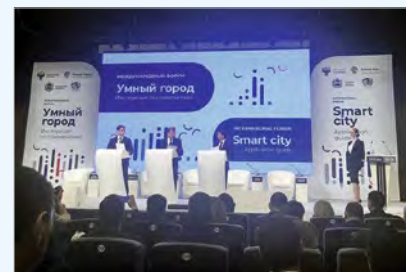
Левченко Владимир Александрович, кандидат физ.-мат. наук. Окончил МФТИ. Зам. заведующего лабораторией НПО «ЛИТ»



Васина Виктория Николаевна, студент кафедры «Светотехника» НИУ «МЭИ»

Международный форум «умных городов» в Калуге

15 марта в Калуге при поддержке Минстроя России и ООН-Хабитат завершился свою работу двухдневный Международный форум, который собрал порядка 400 участников – ведущих российских и международных экспертов в сфере цифровизации, представителей федеральных и региональных органов власти, IT-разработчиков и мэров пилотных городов проекта «Умный город». Исполнительный директор Национального центра государственно-частного партнёрства Максим Ткаченко в своём выступлении затронул вопросы взаимодействия государства и бизнеса при реализации проектов «Умных городов». Основанием для доклада, как мы поняли, стало совместное исследование АНО «Национального Центра ГЧП», Ассоциации «ЖКХ и городская среда» и LECAP при поддержке Минстроя России, целью которого стало обобщение удачных практик применения механизмов ГЧП для создания инфраструктуры «умных городов» по состоянию на ноябрь 2018 года.



М. Ткаченко предложил на рассмотрение аудитории несколько кейсов, демонстрирующих наиболее успешные механизмы реализации ГЧП, в числе которых по итогам 2018 года отметил реконструкцию и эксплуатацию систем наружного освещения в городе Волгограде.

Напомним, что Концессионное соглашение (115-ФЗ) между Администрацией Волгограда и частным партнёром ООО «Светосервис-Волгоград», входящим в состав Международной светотехнической корпорации «БЛ ГРУПП», заключено в начале 2018 года сроком на 15 лет. В рамках соглашения проводятся работы по реконструкции, капитальному ремонту и строительству новых объектов наружного освещения города.

www.bl-g.ru

interlight
RUSSIA

intelligent building
RUSSIA

Международная выставка электротехники,
светотехники и автоматизации зданий

10–13 сентября 2019

ЦВК «Экспоцентр»
Москва

Light



Технический свет



Декоративный свет



Компоненты



Лампы



LED-технологии

Building



Электротехника



Автоматизация зданий



Умный дом



Интегрированные системы безопасности



Умный город

Исследование гербицидного действия ультрафиолетового излучения на старые бумажные документы¹

А. МОНДАЛ¹, К. ГХОШ^{1,2}

¹ Южнокалькутский политехнический университет, Колката, Индия

² Джадавпурский университет, Колката, Индия

Email: kamalikaghosh4@gmail.com

Аннотация

В непрерывно изменяющемся мире культурное наследие, особенно в виде документов, имеет важное значение для цивилизованных стран. Документы, особенно, бумажные, являются органическими объектами, которые предрасположены к образованию бактерий. В большинстве архивов наблюдалось разрушение бактериями важных документов, так что их консервация имеет большое значение. При этом, хорошо спроектированные осветительные установки позволяют использовать фотобиологическое воздействие света, то есть убивать бактерии УФ излучением источника света. Были проведены экспериментальные исследования различных бумажных документов, подвергнутых воздействию имеющего разную интенсивность УФ излучения. В ходе этих исследований регистрировалось как начальное содержание бактерий в образцах, так и их содержание после воздействия имеющего разную интенсивность УФ излучения. Полученные результаты были проанализированы и представлены в данной статье. Как и ожидалось, облучение привело к положительному результату. Если эту методику удастся применить для консервации содержащихся в архивах бумажных документов, то это будет способствовать сохранению нашего культурного наследия, что очень важно для развития общества.

Ключевые слова: архивы, бактерии, консервация, наследие, освещение, метод *swar*.

1. Предыстория

Биологическое разрушение можно определить как любое нежелательное изменение свойств материала, вызванное жизнедеятельностью живых организмов [1, 2] и отличающееся от

изменений, обусловленных химическим, механическим, физическим воздействием. Биологические факторы, приводящие к разрушению, называют биологическими разрушителями (*bio deteriogen*), к которым относятся самые разные объекты, от микроорганизмов, таких, как грибки, до высших растений. Так как органические материалы, которые наиболее уязвимы к биологическому воздействию, используются во многих предметах культурного наследия, а повышенные температура и влажность приводят к ослаблению этих материалов и стимулируют как рост, так и размножение биологических разрушителей, то

защита коллекций от этих разрушителей является очень важной задачей.

Обеспечение сохранности материалов исторических объектов, особенно органических, таких как ткани, бумага, дерево, пальмовые листья и т.д., заслуживают большого внимания и проведения исследований на предмет увеличения срока жизни физических объектов, содержащих мудрость прошлых лет [3, 4]. Свет, как естественный, так и искусственный, является одним из факторов окружающей среды, которые следует контролировать для сохранения этого важного исторического наследия как в национальных архивах и исторических зданиях, так и в библиотеках и музеях. В настоящее время хорошо известно, что микроорганизмы ответственны за разрушение хранящегося в архивах культурного наследия. Скорость размножения микроорганизмов на хранящихся в архивах объектах, особенно изготовленных из бумаги, ткани, дерева, пальмовых листьев и бересты, определяется двумя основными факторами: химическим составом подложки и окружающими условия-

Рис. 1. Выбранные образцы бумаги: 60-летняя (слева) и 40-летняя (справа) бумага

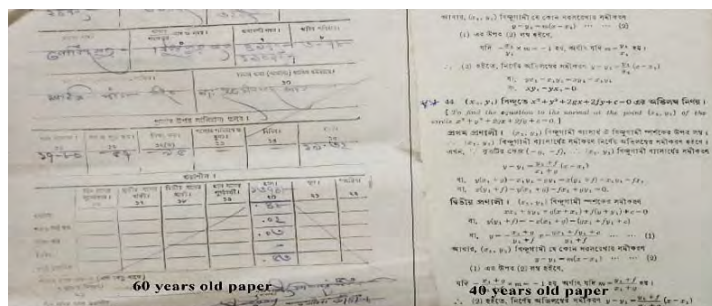


Рис. 2. Экспериментальная УФ лампа



Рис. 3. Ламинарный расходомер (слева) и автоклав (справа)

¹ Перевод с англ. Е.И. Розовского

Классификация диапазонов УФ излучения

Диапазон УФ излучения	Длины волн, нм
УФ-А	400–315
УФ-В	315–280
УФ-С	280–100


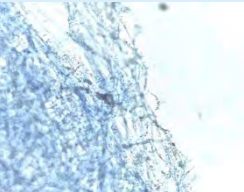
Таблица 2

Характеристики УФ ламп

Характеристика	Лампа низкой интенсивности	Лампа высокой интенсивности
Тип	T5 Slim Line	T5 Slim Linkable
Мощность, Вт	4	8
Длина, футы/см	2/61	2/61
Коррелированная цветовая температура, К	2700	6400
УФ облучённость на расстоянии 2 фута (61 см), мкВт/м ²	306	612
Напряжение питания, В	220–240	220–240
Ресурс, ч	7500	8000

Таблица 3

Изображение в натуральную величину и под микроскопом колоний бактерий до обработки УФ излучением (бумага возрастом 60 лет)

Количество колоний до обработки УФ излучением	Изображение в натуральную величину	Изображение под микроскопом
Чашка Петри 1: 10 колоний		
Чашка Петри 2: 60 колоний		

ми, такими как наличие питательных веществ, благоприятные температурные условия, влажность и т.д. Инженеру-светотехнику следует выбрать пути и средства разрушения при помощи света таких микроорганизмов, как грибки, микроскопические водоросли, бактерии и т.д. Нами была предпринята попытка реализовать это при помощи УФ излучения, наличествующего в излучении искусственных источников света, в первую очередь, ртутных. В статье приводится краткое описание того, как вид и интенсивность УФ излучения, а также время экспонирования, влияют на разрушение микробов, таких как грибки, микроскопические водоросли и бактерии, или регулируют их рост.

2. Последовательность проведения экспериментов [7, 8]

- Получение старых предметов, таких как бумага, из хранилищ культурного наследия.

- Приобретение на рынке УФ ламп разной мощности.

- Приготовление среды Чапека-Докса для выращивания бактерий и грибов.

- Сбор заражённых бактериями и грибами образцов изготовленной вручную или машинным способом бумаги и ткани для начальной стадии метода *swab* (т.е. до начала УФ облучения). Идентификация бактерий и подсчёт их концентрации на образцах.

- УФ облучение объекта в ламинарном расходомере с разной интенсивностью в течение определённого времени.

- Сбор бактерий и грибов с бумаги и ткани после воздействия УФ излучения.

- Сравнение концентрации бактерий на предметах культурного наследия до и после воздействия УФ излучения.

3. Получение старых предметов из хранилищ культурного наследия

Вначале из хранилищ были получены образцы изготовленной вручную и машинным способом бумаги возрастом сорок и шестьдесят лет. Эти куски бумаги могли содержать подписи и официальные записи, соответствующие конкретным моментам времени и событиям (рис. 1).

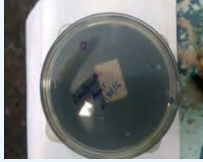






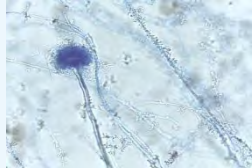
4. Приобретение УФ ламп разной мощности

Солнце является естественным источником света с широким спектром излучения, который можно грубо разбить на радиоволновое, микроволновое, инфракрасное, видимое, ультрафиолетовое, рентгеновское и гам-

ма излучение. Если говорить об УФ излучении, то оно представляет собой электромагнитное излучение с длинами волн в интервале от 100 до 400 нм, короче чем у видимого света, и длиннее, чем у рентгеновского излучения (табл. 1).

В данном исследовании для минимизации концентрации бактерий

Изображение в натуральную величину и под микроскопом колоний бактерий после обработки УФ излучением (бумага возрастом 60 лет)

Чашка Петри 1					
Длительность облучения, ч	УФ облучённость	Доза [1, 2], мДж/см ²	Количество колоний в образце А после обработки УФ излучением, шт.	Изображение в натуральную величину	Изображение под микроскопом
3	Высокая (612 мкВт/м ²)	1,836	4		
	Низкая (306 мкВт/м ²)	0,918	5		
Чашка Петри 2					
Длительность облучения, ч	УФ облучённость	Доза [1, 2], мДж/см ²	Количество колоний в образце А после обработки УФ излучением, шт.	Изображение в натуральную величину	Изображение под микроскопом
6	Высокая (612 мкВт/м ²)	3,672	17		
	Низкая (306 мкВт/м ²)	1,836	29		

на старых объектах использовались две разные лампы (рис. 2), создававшие облучённости, равные 612 и 306 мкВт/м².

5. Необходимые для проведения экспериментов главные и второстепенные приборы

- **Ламинарный расходомер (рис. 3, слева):** Являясь частью лабораторного обеззараживающего оборудования, он включает в себя УФ лампу. Обычно эту лампу, установленную в ламинарном боксе или боксе биологической защиты, включают в то время, когда

бокс не используется, чтобы поддерживать рабочую зону в чистом и незагрязнённом состоянии.

- **Автоклав (рис. 3, справа):** Автоклав используется главным образом для обеззараживания хирургических и лабораторных инструментов, фармацевтических объектов и других изделий. В нём можно обеззараживать твёрдые тела, жидкости, полости и инструменты разной формы и размеров. Автоклавы имеют разные размеры, форму и функциональное назначение. Простейший автоклав похож на скороварку: в нём для уничтожения бактерий, спор и микробов, устойчивых

к кипятку и сильным моющим средствам, используется сила пара.

- **Инкубатор:** Инкубатор используется для культивирования микроорганизмов и клеток. В инкубаторе поддерживаются оптимальные температура, влажность и прочие условия, например, содержание CO (CO_2) и кислорода в наполняющем инкубатор воздухе. В данном эксперименте инкубатор использовался для выращивания при заданных условиях собранных с образцов бактерий.

- **Характеристики ламп:** В этих экспериментах для минимизации концентрации бактерий на старых объек-

Изображение в натуральную величину и под микроскопом колоний бактерий до обработки УФ излучением (бумага возрастом 40 лет)

Количество колоний до обработки УФ излучением	Изображение в натуральную величину	Изображение под микроскопом
Чашка Петри 3: 5 колоний		
Чашка Петри 4: 15 колоний		

тах использовались две разные лампы (табл. 2).

6. Используемый способ уменьшения количества бактерий и грибов на старых объектах

Метод *swap*:

1. Отбор образцов для проведения экспериментов.

2. Подготовка агаровой среды Чапека-Докса и стерилизация её и агаровой пластины в автоклаве при температуре 121 °С в течение 15 мин для удаления имеющихся бактерий и грибов, после чего агаровую среду наливают в чашку Петри, в которой бактерии и грибки можно выращивать в благоприятных условиях.

3. Бактерии и грибки отбирают с образцов и выдерживают на агаровой пластине в инкубаторе при температуре воздуха 28 °С на протяжении 5–6 дней.

4. По истечении 5–6 дней подсчитывают количество колоний бактерий и грибов, выращенных в чашках Петри или на агаровых пластинах в агаровой среде.

5. Образцы, размещённые на расстоянии 2 футов (61 см) от источника излучения, обрабатывают УФ излучением в ламинарном расходомере в течение, соответственно, трёх или четырёх часов.

6. После обработки УФ излучением образцы переносят на новые агаровые пластины, опять помещают в инкубатор и выдерживают в нём при той же

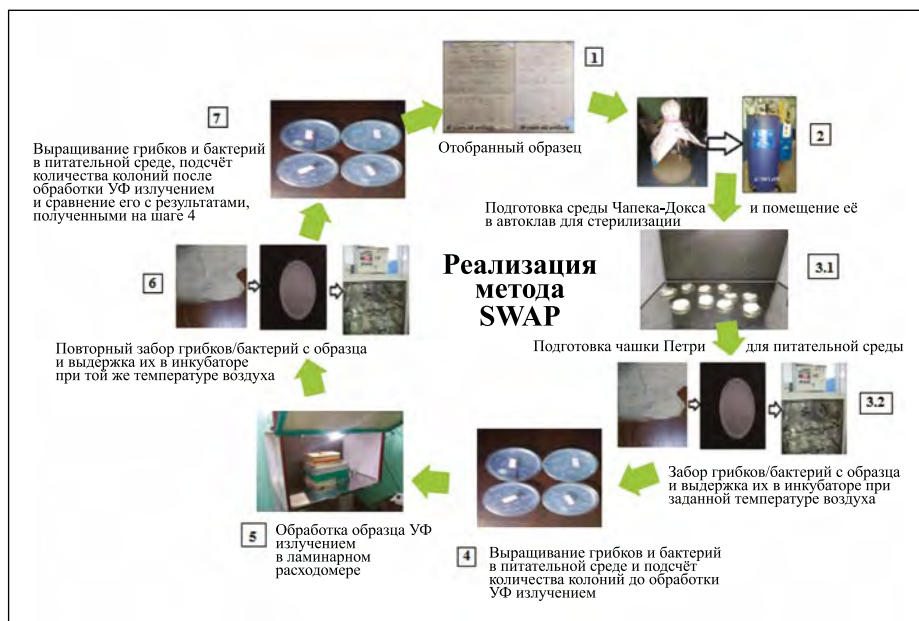


Рис. 4. Последовательность реализации метода *swap*

температуре воздуха (28 °С) на протяжении 5–6 дней.

7. По истечении 5–6 дней снова подсчитывают количество выращенных колоний бактерий и грибов. Проводят сравнение с количеством колоний до обработки УФ излучением и определяют, уменьшилось их количество или нет.

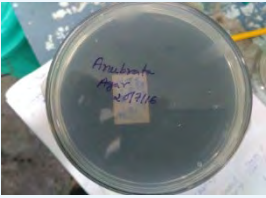


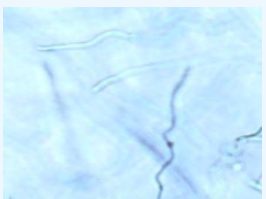



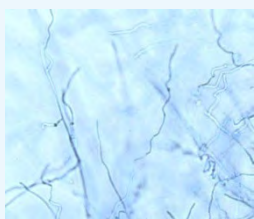
7. Анализ результатов эксперимента

Результаты, полученные до и после обработки УФ излучением образцов типа А (60-летняя бумага), представлены, соответственно, в табл. 3 и 4.

Результаты, полученные до и после обработки УФ излучением образцов типа В (40-летняя бумага), представлены, соответственно, в табл. 5 и 6.

Таким образом, было предпринято несколько попыток уничтожить бактерии на заражённых образцах без разрушения самих исследуемых образцов. При этом использовались подходящие источники света, УФ излучение которых успешно уменьшило количество колоний бактерий на заражённых образцах без негативных последствий для них самих. Анализ полученных результатов представлен в табл. 7.

Изображение в натуральную величину и под микроскопом колоний бактерий после обработки УФ излучением (бумага возрастом 40 лет)

Чашка Петри 3					
Длительность облучения, ч	УФ облучённость	Доза [1, 2], мДж/см ²	Количество колоний в образце В после обработки УФ излучением, шт.	Изображение в натуральную величину	Изображение под микроскопом
3	Высокая (612 мкВт/м ²)	1,836	2		
	Низкая (306 мкВт/м ²)	0,918	3		
Чашка Петри 4					
Длительность облучения, ч	УФ облучённость	Доза [1, 2], мДж/см ²	Количество колоний в образце В после обработки УФ излучением, шт.	Изображение в натуральную величину	Изображение под микроскопом
6	Высокая (612 мкВт/м ²)	3,672	4		
	Низкая (306 мкВт/м ²)	1,836	7		

8. Выводы

Это экспериментальное исследование было посвящено фотобиологическому действию света, т.е. уничтожению бактерий УФ излучением, которое делят на УФ-А, УФ-В и УФ-С. В этом исследовании использовался источник УФ-В излучения при разных значениях УФ облучённости и разных продолжительностях облучения. Полученные результаты говорят о том, что разрушение бактерий

происходит должным образом и зависит от дозы УФ излучения. Инженеры-светотехники смогли предложить хорошее решение задачи консервации документов и выбрать подходящее для этого освещение [12], применив УФ излучение и не прибегая к использованию химикатов, которые обычно повреждают архивные документы. Однако эксперименты проводились при сравнительно низком уровне УФ облучённости, соответствующем реализуемому в залах

музеев. Изредка, через определённые промежутки времени, архивные документы можно подвергать более интенсивному облучению в, например, ламинарном расходомере или аналогичном устройстве, которые вряд ли можно найти в музеях.

Авторы признательны д-ру Джойдипу Мукхерджи (*Joydeep Mukherjee*), доценту, а затем руководителю Школы науки, техники и проектирования освещения Джадавпурского университета, и д-ру Субарне Бхатачарья

Анализ колоний бактерий

Образец	Номер чашки Петри	Начальное количество колоний, шт.	УФ облучённость, мкВт/м ²	Длительность облучения, ч	Доза [1, 2], мДж/см ²	Конечное количество колоний, шт.	Уменьшение, %	Комментарии
A	1	10	612	3	1,836	4	60,00	При одной и той же длительности облучения увеличение облучённости вдвое приводит к уменьшению количества колоний только на 10 %
A	1	10	306	3	0,918	5	50,00	
A	2	60	612	6	3,672	17	71,66	В случае большей интенсивности увеличение длительности приводит к улучшению результата на 11,66 %
A	2	60	306	6	1,836	29	51,66	Не очень эффективно при меньшей облучённости
B	3	5	612	3	1,836	2	60,00	В случае меньшей концентрации при одной и той же длительности облучения увеличение облучённости вдвое приводит к уменьшению количества колоний только на 20 %
B	3	5	306	3	0,918	3	40,00	
B	4	15	612	6	3,672	4	73,33	В случае большей облучённости увеличение длительности приводит к улучшению результата на 10 %
B	4	15	306	6	1,836	7	53,33	Не очень эффективно при меньшей облучённости

(Subarna Bhattacharya), доценту этой же школы, как за разрешение воспользоваться их лабораторией, так и за помощь в проведении экспериментальных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kowalski, W. Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook UVGI for Air and Surface Disinfection. – London, New York: Springer Heidelberg Dordrecht. ISBN978-3-642-01998-2, e-ISBN978-3-642-01999-9 DOI 10.1007/978-3-642-01999-9.

2. Bolton, J.R. Ultraviolet Applications Handbook. 3rd Ed., updated. Photosciences Inc. 628 Cheriton Cres., NW, Edmonton, AB, Canada T6R2M5

3. Elottol, M.A., Bahauddin, A. A Competitive Study on the Interior Environment and the Interior Circulation Design of Malaysian Museums and Elderly Satisfaction, *Journal of Sustainable Development*, Vol. 4, No. 3, 2011.

4. Maev, R. Gr., Green, R.R. Jr., Siddiolo, A.M. Review of advanced acoustical imaging acoustical imaging techniques for nondestructive

evaluation of art objects // RNDE.– 2006. – Vol. 17. – P. 191–204.

5. Berger, G.A., Russell, W.H. Interaction between Canvas and Paint Film in Response to Environmental Changes // *Studies in Conservation*.– 1994. – Vol.39, No.2. – P. 73–86.

6. Sayre, E.V., Majewski, L.J. Technical Investigation of the Deterioration of the Paintings // *Studies in Conservation*.– 1963. – Vol.8, No.2. – P. 42–54.

7. Guidelines for Control and Prevention of Termite Infestation in Archives and Libraries // New Delhi: National Archives of India, 1991.

8. Jeyraj, V. Care of Archival Materials // Thanjavur Saraswati Mahal Series No: 395.– 1995.

9. Repair and Preservation of Records // New Delhi: National Archives of India.– 1988.

10. Kizlasov, L.R. Arheologicheskie issledovaniya na gorodishe Ak-Beshim v 1953–1954 gg. // Trudi Kirgizskoy arheologo-etbographicheskoy ekspedicii. T. 2. M., 1959.

11. McCrone, W.C. Microscopical examination of art and archeological objects // SPIE Conf. on Scientific Detection of Fakery in Art. SPIE, 1998. – Vol. 3315. – P. 1–9.

12. Florentine, F. Museums and the Green World // LD+A Museum on Display.– 2009. – Vol. 39, No. 2. – P. 47–49.



Анубрата Мондал (Anubrata Mondal), M. Tech.

Зав. кафедрой электротехники Южно-калкатского политехнического университета, Колката, Индия



Камалика Гхош (Kamalika Ghosh),

Ph.D. Доцент Школы науки, техники и проектирования освещения Джадавпурского университета. Пожизненный член Института

инженеров, Индия, и Индийского общества инженеров-светотехников. Автор 50 статей



Международная
светотехническая
корпорация



БОУС ЛАЙТИНГ ГРУПП

Первые результаты частно – государственного партнерства!

2018 год, город Волгоград: установлено **232** оцинкованные опоры и **1 918** светодиодных светильника, протяженность модернизированных линий составляет **65 140** километров.



ООО «Светосервис-Волгоград»
400107, г. Волгоград, ул. Карла
Либкнехта, 4



svetoservis.ru



+7 (8442) 36-63-32
+7 (8442) 36-63-31

На фото: Астраханский мост, светодинамическая подсветка выполнена компаниями МСК «БЛ ГРУПП»

Оценка погрешности измерения показателя ослабления света морской водой в мутных водах арктических морей

В.И. БУРЕНКОВ¹, С.В. ШЕБЕРСТОВ, В.А. АРТЕМЬЕВ, В.Р. ТАСКАЕВ

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва

¹E-mail: bur-07@yandex.ru

Аннотация

Статья посвящена оценке погрешности определения показателя ослабления света морской водой методом Монте-Карло. Измерения показателя ослабления света и его вертикального распределения являются наиболее распространённым видом гидрооптических наблюдений, так как он широко используется для изучения распространения света в морской среде. Кроме того, показатель ослабления тесно связан с концентрацией взвешенного вещества и может использоваться для её оценки. Как правило, измерения показателя ослабления проводятся при небольшой базе прибора в достаточно прозрачных водах. При этом методические погрешности определения показателя ослабления невелики. Однако на практике встречаются случаи очень мутных вод (придонные нефеловидные слои), где погрешности измерения показателя ослабления существенно возрастают из-за многократного рассеяния в пределах базы прибора. Оценки таких погрешностей и рассматриваются в настоящей работе. Наиболее подробно рассмотрено влияние индикатрисы рассеяния на рассматриваемые погрешности. Кроме того, изучено влияние на погрешности измерения показателя ослабления длины базы прибора и угла зрения приёмной системы. Даны соответствующие оценки.

Ключевые слова: показатель ослабления света, нефеловидные слои, метод Монте-Карло, погрешность измерения, закон Бугера, многократное рассеяние.

1. Введение

Измерения показателя ослабления света морской водой c и его вертикального распределения в настоящее время являются наиболее распространённым видом гидрооптических наблюдений.

Величина показателя ослабления (вместе с другими гидрооптическими параметрами) существенно влияет на распространения солнечного излучения (и излучения искусственных источников света) в водной толще.

Как показали многочисленные наблюдения, величина показателя ослабления достаточно тесно связана с концентрацией взвешенного вещества и может использоваться для её оценки [1, 2]. Здесь следует отметить, что гидрооптические измерения имеют определённое преимущество, поскольку они проводятся непрерывно в пространстве и времени, в то время как геологические методы требуют продолжительного времени.

Отметим, что в последнее время измерения показателя ослабления широко используются для изучения различных биогеохимических процессов в океане (из последних публикаций см., например, [3–5]).

Метод измерения показателя ослабления света основан на законе Бугера $P = P_0 \cdot e^{-cL}$, где P_0 и P – световые потоки до и после прохождения света в воде расстояния L , c – величина показателя ослабления. Для корректного определения величины c необходимо, чтобы выходящий из прибора световой

пучок имел малую расходимость, а приёмная система имела малый угол зрения. В достаточно прозрачных водах величина $\tau = c \cdot L$ относительно невелика, однако бывают ситуации, когда она существенно больше единицы (например, в мутных водах в районах речных стоков или в придонных нефеловидных слоях), и в этом случае необходимо учитывать многократное рассеяние света вдоль оси пучка. Этой цели главным образом и посвящена настоящая работа. Отметим, что применение метода Монте-Карло для оценки погрешности измерения показателя ослабления выполнено впервые.

2. Прозрачномер ПУМ. Оптическая схема и характеристики прибора

На рис. 1 показана оптическая схема прозрачномера ПУМ (прозрачномер универсальный малогабаритный), который в последнее время используется в экспедиционных исследованиях Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН [6].

Прибор построен по классической двухканальной оптической схеме с одним источником света и одним фотоприёмником, опорный канал находится внутри корпуса. Основным преимуществом двухканальной оптической схемы является то, что при нормировке уровня измерительного сигнала по опорному (что необходимо для расчёта показателя ослабления) исключаются нестабильности источника света и фотоприёмника.

В измерительном канале, излучатель 1, в качестве которого используется мощный светодиод, через полу-

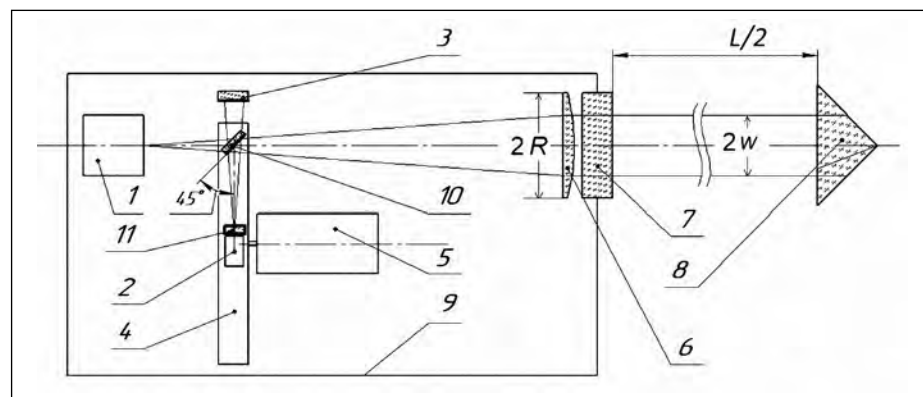


Рис. 1. Оптическая схема прозрачномера ПУМ: 1 – излучатель, 2 – фотоприёмник, 3 – сферическое зеркало, 4 – оптический модулятор, 5 – электродвигатель, 6 – коллиматор, 7 – иллюминатор, 8 – триппель-призма, 9 – герметичный корпус прибора, 10 – полупрозрачное зеркало, 11 – интерференционный фильтр

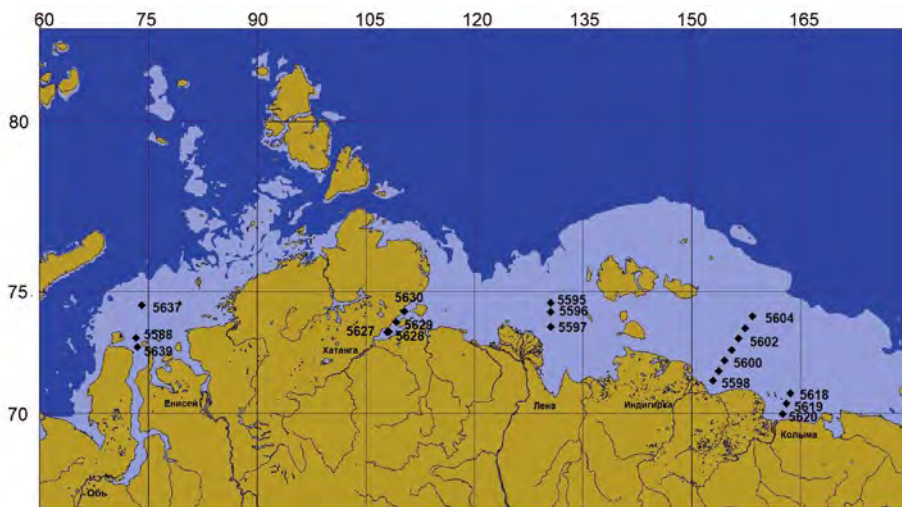


Рис. 2. Станции 69-го рейса научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш»

прозрачное зеркало 10, коллиматор 6 и иллюминатор 7 посылает луч света в исследуемую среду (морскую воду). Отражённый трипсель-призмой 8 луч через иллюминатор 7 опять поступает внутрь прибора, проходит через объектив 6 и, отразившись от полупрозрачного зеркала 10, поступает на фотоприёмник 2. В опорном канале луч света через полупрозрачное зеркало 10 поступает на сферическое зеркало 3, отразившись от которого он через это же полупрозрачное зеркало также поступает на фотоприёмник, на входе которого стоит интерференционный фильтр 11, пропускающий излучение с длиной волны излучателя (532 нм) и имеющий полосу пропускания с шириной 20 нм.

Для расчёта показателя ослабления используются 2 дополнительных канала. Канал темнового сигнала предназначен для расчёта фонового сигнала при выключенном излучателе и используется для компенсации температурного дрейфа фотоприёмника (фоновый сигнал при этом вычитается из опорного сигнала). Канал засветки используется для расчёта фонового сигнала (сигнала засветки) от рассеянного водой света, который попадает в измерительный канал. Сигнал засветки измеряется при выключенном излучателе и вычитается из сигнала измерительного канала. Для дополнительного уменьшения уровня внешней засветки используется узкополосный интерференционный фильтр 11, согласованный по спектральным характеристикам с излучателем. Формирование и последовательность поступления световых потоков четырёх каналов на

вход фотоприёмника 2 обеспечивает оптический модулятор 4, установленный на оси электродвигателя 5. Кроме перекрытия оптических потоков, модулятор формирует синхроимпульсы, управляющие включением излучателя 1 и позволяющие выделить из импульсного сигнала на выходе фотоприёмника составляющие, соответствующие световым потокам в каждом из четырёх каналов.

За время эксплуатации прозрачномера ПУМ неоднократно модернизировался. В частности, помимо места стандартной установки трипсель-призмы на расстоянии $L/2=30$ см от иллюминатора, для измерения в очень мутных водах предусмотрена установка трипсель-призмы на расстоянии $L/2=5$ см.

Основные оптические параметры прозрачномера ПУМ:

- | | |
|------------------------|-------------------------------------|
| Расходимость пучка: | $2\cdot\theta_0 = 12'$
(в воде). |
| Угол зрения приёмника: | $2\cdot\theta = 20'$. |
| Ширина пучка: | $2w = 20$ мм. |
| Короткая база: | $L = 10$ см. |
| Длинная база: | $L = 60$ см. |
| Диаметр коллиматора: | $2\cdot R = 35$ мм. |

3. Примеры измерений вертикальных профилей показателя ослабления в водах высокой мутности

Представленные ниже измерения были выполнены в 69-ом рейсе научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш» в 2017 г. Район исследований был обширным – от

Баренцева до Восточно-Сибирского моря.

Распределению показателя ослабления в рассматриваемых водах свойственна высокая пространственно-временная изменчивость. Здесь наблюдаются как воды, приближающиеся по величине c к прозрачным океанским, так и сильно замутнённые воды, в которых величина $\tau = c\cdot L$ существенно больше единицы. Положение станций, где были обнаружены anomalно высокие значения c ($c > 10$ м⁻¹), показано на рис. 2.

Как правило, такие воды наблюдаются в придонных слоях (так называемые придонные нефелоидные слои, вызванные взмучиванием донных осадков). В устье реки Хатанги вода anomalно мутная ($c > 40$ м⁻¹) от поверхности до дна. Примеры результатов измерений, проведённых в таких водах, приведены на рис. 3.

Как видно на рисунке, на всех графиках присутствуют придонные нефелоидные слои, где значения показателя ослабления c превышают 20 м⁻¹ (в отдельных случаях величина c превосходила 50 м⁻¹). Очевидно, что для таких слоёв надо принимать во внимание многократное рассеяние света на длине базы L . Во всех случаях, когда величина τ оказывалась больше чем 9, чувствительность прибора с длинной базой оказывалась недостаточной, тогда как измерения с короткой базой давали удовлетворительный результат (рис. 3).

Измерения вертикального распределения показателя ослабления в придонных слоях хорошо подтверждаются прямыми измерениями концентрации взвеси. Соответствующий пример приведён на рис. 3б.

4. Использование метода Монте-Карло для оценки погрешностей определения показателя ослабления

В качестве параметра оценки погрешности была выбрана величина $\delta c = c - c_{meas}$, где $c_{meas} = \ln(P_0/P)/L$. В [7] рассматривалась задача о распространении узкого пучка света, сводящаяся, по существу, к вычислению величины P в зависимости от параметров R , L и оптических свойств среды. Однако надо отметить отличие в постановке задачи по сравнению с нашим случаем: изучалось распределение облучённости

на некотором расстоянии от источника, т.е. угол зрения приёмника θ был равен 90° , тогда как в нашем случае $\theta = 10'$, и, как будет показано ниже, это отличие весьма существенно.

Погрешность определения показателя ослабления c , обусловленная попаданием в приёмник рассеянного света, рассчитывалась методом Монте-Карло. Использовался простейший вариант этого метода – прямое моделирование траекторий фотонов [8, 9]. Для каждого фотона моделировались процессы поглощения и рассеяния в среде, отражение от трипель-призмы, попадание обратно в иллюминатор. При этом учитывались только те фотоны, для которых угол падения не превосходил величины θ .

Рассмотрим сначала зависимость параметров расчёта от индикатрис рассеяния. В отличие от задач дистанционного зондирования, где результат определяется, в основном, поведением индикатрисы в задней полусфере, здесь наиболее существенно рассеяние на малые углы порядка 1° , которое определяет попадание рассеянного света на фотоприёмник. Зависимость результатов расчётов от индикатрисы рассеяния, в отличие от других рассматриваемых ниже параметров, которые заранее известны или задаются априори, наиболее неопределённая. Здесь приходится использовать только литературные данные.

Экспериментальные данные по индикатрисам рассеяния, измеренным в Индийском океане на глубинах меньше чем 100 м и больше чем 100 м, содержатся в монографии «Оптика океана», том 1, часть II, глава 7 [10]. В дальнейшем эти индикатрисы будем обозначать как $ind1$ и $ind2$ соответственно.

В той же монографии в табл. 8.6 приведены индикатрисы для чистой воды и для мелкой и крупной взвеси. Для крупной фракции (биогенная взесь) спектр размеров частиц принимался в виде распределения типа Юнге $r^{-\nu}$, где $\nu = 3$. Показатель преломления частиц равен 1,03. Для мелкой взвеси (терригенная взесь) принималось составное распределение в диапазоне радиусов частиц от 0,01 до 1,3 мкм. Показатель преломления частиц в этом случае равен 1,15. Индикатрисы рассеяния для крупной и мелкой фракций будем обозначать, соответственно, как Kl и Ks .

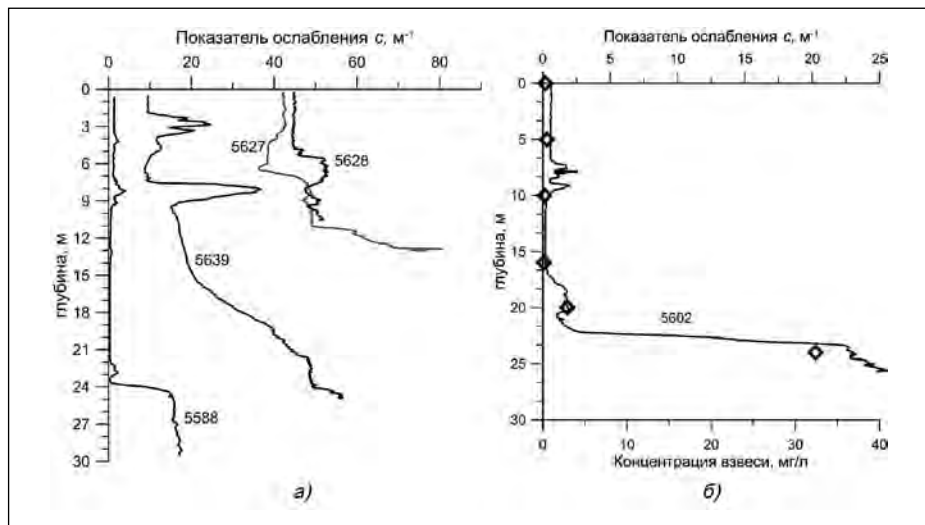


Рис. 3. Примеры измерений вертикальных профилей показателя ослабления света в водах высокой мутности. Номера станций указаны на графиках. а – ст. 5627 и 5628 – устье р. Хатанги, ст. 5588 и 5639 – Карское море; б – ст. 5602 – Восточно-Сибирское море в районе устья р. Индигирки. Ромбами показана концентрация взвеси. Хорошо виден мощный придонный нефелоидный слой

В [11] приведены результаты измерения индикатрисы рассеяния в прибрежных водах (залив Сан Диего) и в водах открытого океана в диапазоне углов от $0,1$ до 175° . (Эти данные воспроизведены в книге [12] и на сайте <http://www.oceanopticsbook.info/view/references/publications>).

Если предположить, что единственным существенным параметром, имеющим размерность длины, в данной задаче является величина L , то для заданной индикатрисы безразмерная величина $\delta c \cdot L$ зависит только от безразмерного параметра $\tau = c \cdot L$. График такой зависимости представлен на рис. 4. Можно заметить, что при достаточно больших значениях параметра τ для некоторых индикатрис, в частности, для индикатрисы Kl , это предположение не выполняется – при одинаковом значении параметра τ величина $\delta c \cdot L$ для длинной базы меньше, чем для короткой. Причина заключается в том, что кроме параметра L , в задаче имеются и другие параметры, имеющие размерность длины, в частности, радиус коллиматора R . Зависимость величины δc от параметра R существенна при $R < L \cdot \operatorname{tg} \psi$, где ψ – угол расходимости пучка фотонов, падающих на мишень под углом, меньшим угла зрения приёмника θ . Величина угла ψ существенно зависит от индикатрисы рассеяния – чем сильнее вытянута вперёд индикатриса, тем меньше этот угол. Условие $R > L \cdot \operatorname{tg} \psi$ при короткой базе выполняется для лю-

бых индикатрис, тогда как при длинной базе это не всегда так.

Зависимости величины δc от угла зрения приёмника для различных индикатрис приведены на рис. 5. Для прибора ПУМ этот угол составляет $0,167^\circ$. Сама по себе эта зависимость достаточно очевидна: чем больше угол зрения приёмника по сравнению с расходимостью пучка, тем больше влияние рассеянного света и тем больше погрешность определения показателя ослабления

Выполненные расчёты показывают, что изменения величины расходимости пучка слабо влияют на величину погрешности определения c (естественно, если расходимость пучка существенно меньше угла зрения приёмника). Кроме того, расчёты показывают, что изменение ширины пучка слабо влияет на результаты (если она существенно меньше диаметра иллюминатора).

Отметим, что величина поглощения, естественно, не влияет на отклонение от закона Бугера. Её увеличение приводит лишь к уменьшению относительной погрешности определения показателя ослабления.

5. Оценка погрешностей определения показателя ослабления в поверхностных слоях арктических морей

Выше было продемонстрировано весьма существенное влияние индикатрисы рассеяния в области ма-

Рис. 4. Зависимости $\delta c \cdot L$ от оптической толщины для различных индикатрис: 1 – *ind1*, 2 – *ind2*; 3 – *Kl*, 4 – *Ks*, 5 – *Petzold*. Сплошные линии – короткая база (0,1 м), штриховые линии – длинная база (0,6 м)

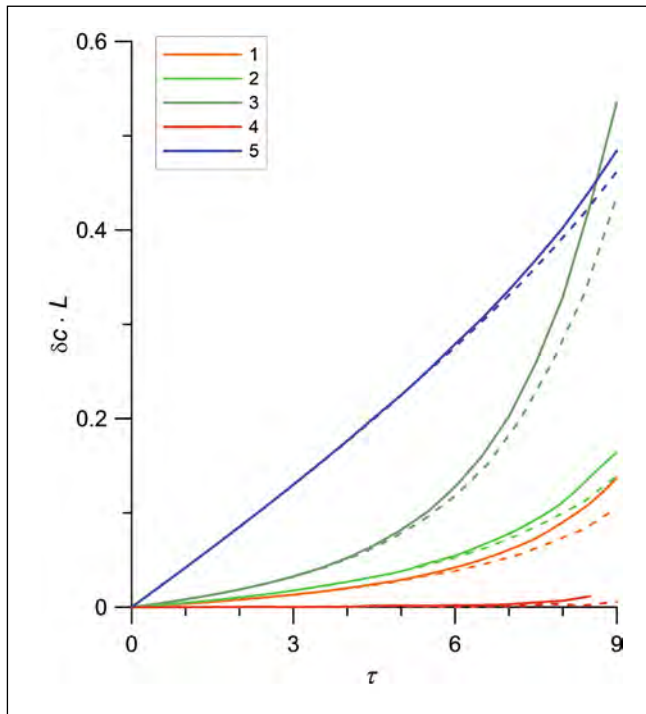
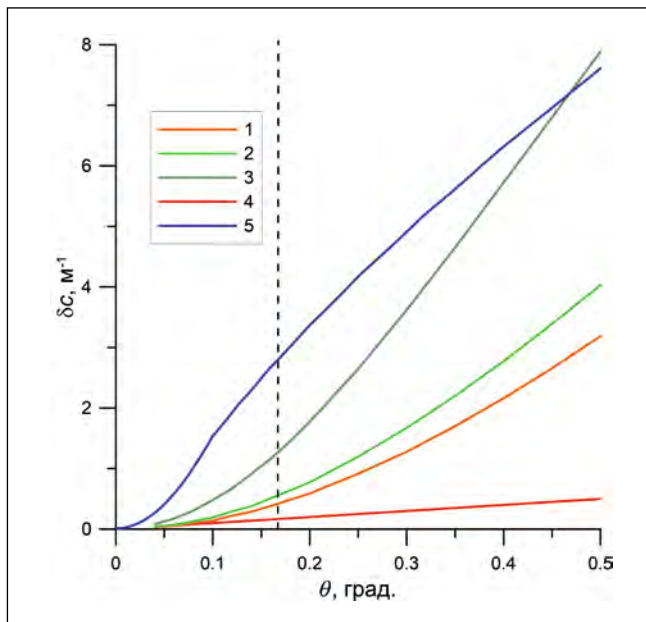


Рис. 5. Зависимости величины δc от угла зрения приёмника θ для различных индикатрис: 1 – *ind1*, 2 – *ind2*; 3 – *Kl*, 4 – *Ks*, 5 – *Petzold*. Вертикальная штриховая линия показывает значение параметра θ для прибора ПУМ



лых углов на погрешность определения показателя ослабления. Ниже мы рассмотрим возможность определения ошибки показателя ослабления в поверхностном слое с учётом индикатрисы рассеяния. Эта возможность основана на тесной связи между показателем рассеяния назад $b_b = 2 \cdot \pi \cdot b \cdot \int_{\pi/2}^{\pi} b_{s,i}(\gamma) \sin(\gamma) d\gamma$, где b – показатель рассеяния морской воды, и коэффициентом яркости водной толщи $\rho = \pi \cdot L_u / E_d$, где L_u – яркость восходящего излучения, E_d – облучённость, создаваемая нисходящим потоком

излучения – непосредственно под поверхностью моря, $\rho(\gamma)$ – индикатриса рассеяния. Измерение коэффициента яркости водной толщи может быть выполнено как контактными, так и дистанционными (с помощью спутниковых сканеров цвета) методами.

Простое и в то же время достаточно точное выражение, описывающее зависимость коэффициента яркости моря от первичных гидрооптических характеристикам, приведено в [13]: $\rho = 0,0922 \cdot \pi \cdot b_b / a$, где a – показатель поглощения морской воды, откуда

$$b_b = 3,45 \cdot \rho \cdot a. \quad (1)$$

Соотношение между показателями поглощения a и ослабления c получено по данным измерений, проведённых в Баренцевом море в 1998 г. (измерения выполнялись как в мутных водах Печорского моря, так и в относительно прозрачных водах западной части Баренцева моря). При этом проводились одновременные измерения показателя диффузного ослабления облучённости K_d на длине волны 530 нм и показателя ослабления c . Согласно [14], соотношение между a и K_d имеет вид $K_d = D_0(\theta) \cdot k_1 \cdot (a + b_b)$. Учитывая, что измерения проводились при зенитных углах Солнца около 60° , можно принять для приближённых расчётов $D_0(\theta) \cdot k_1 = 1,3$ (см. [14, табл. 4]). Отсюда определяется величина $a(530)$ (величина b_b может быть оценена из приближённой формулы $b_b = 0,018 \cdot c / b$ [15]). График зависимости показателя поглощения от показателя ослабления по данным измерений, проведённых в Баренцевом море в 1998 г., приведён на рис. 6. Как видно, наблюдается достаточно тесная корреляция между рассматриваемыми параметрами (коэффициент детерминации $r^2 = 0,9$). Соответствующее уравнение регрессии имеет вид $a(530) = 0,0983 \cdot c(530) + 0,05$, откуда с учётом (1) получаем:

$$\begin{aligned} b &= 0,902 \cdot c - 0,05, \\ b_b &= \rho \cdot (0,335 \cdot c + 0,252). \end{aligned} \quad (2)$$

Для оценки индикатрисы рассеяния использовалась двухпараметрическая модель светорассеивающих свойств морской воды [16], согласно которой показатель рассеяния на угол γ $b(\gamma)$ может быть представлен как сумма вкладов от рассеяния чистой морской водой $b_w(\gamma)$ и мелкой и крупной взвесей ($b_s(\gamma)$ и $v_l \cdot b_l(\gamma)$ соответственно):

$$b(\gamma) = b_w(\gamma) + v_s \cdot b_s(\gamma) + v_l \cdot b_l(\gamma), \quad (3)$$

где v_s и v_l – объёмные концентрации мелкой и крупной взвесей соответственно; таблицы функций $b_w(\gamma)$, $b_s(\gamma)$ и $b_l(\gamma)$ для длины волны 550 нм приведены в [10]. Для пересчёта к рабочей длине волны прозрачного моря используем формулы для спектральной зависимости: $b_w \sim \lambda^{-4,3}$, $b_s \sim \lambda^{-1,7}$, $b_l \sim \lambda^{-0,3}$.

Для нахождения параметров модели v_s и v_l проинтегрируем (3) сначала по всей сфере, а затем по задней полусфере. В результате получится пара

линейных уравнений с двумя неизвестными

$$b = b_w + v_s b_s + v_l b_l; b_b = \frac{1}{2} b_w + v_s b_{bs} + v_l b_{bl} \quad (4)$$

где b_w – показатель рассеяния чистой

морской воды, $b_{s,l} = 2\pi \int_0^\pi b_{s,l}(\gamma) \sin(\gamma) d\gamma$,

$$b_{bs,l} = 2\pi \cdot \int_{\pi/2}^\pi b_{s,l}(\gamma) \sin(\gamma) d\gamma.$$

Решая уравнения (4) с учётом (1) и (2), подставляя полученные параметры v_s и v_l в (3) и умножая результат на нормировочный множитель $4\pi/b$, получаем индикатрису рассеяния, а следовательно, и все параметры, необходимые для расчёта методом Монте-Карло.

На рис. 7 показаны результаты оценки зависимости ошибки измерения показателя ослабления, обусловленной многократным рассеянием, от коэффициента яркости водной толщи для различных значений параметров L и c . Здесь, как и на рис. 4, отличие значений безразмерного параметра $\delta c \cdot L$ для одинаковых значений τ , но различных L , обусловлено тем, что при длинной базе величина $L \cdot \tan(\psi)$ (ψ – угол расхождения светового пучка) превышает радиус коллиматора.

Оценка ошибки измерения показателя ослабления c использованием параметра ρ возможна только для приповерхностных слоёв. Возможные значения величины ρ для данного региона можно оценить по спутниковым данным или данным контактных измерений, например, с помощью плавающего спектрорадиометра [17]. В 69-ом рейсе научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш» интересные нас приповерхностные слои повышенной мутности были отмечены на станциях 5627 и 5628 в устье реки Хатанги (рис. 2, 3). Судовые измерения ρ на этих станциях не выполнялись. Возможность оценки этого параметра с помощью спутниковых данных рассмотрена ниже.

Файлы данных спутниковых сканеров цвета океана *MODIS Aqua* и *MODIS Terra* содержат параметр $R_{rs}(\lambda) = L_u^+ / E_d^+$ (L_u^+ – яркость восходящего излучения, E_d^+ – облучённость, создаваемая нисходящим потоком над поверхностью) для длины волны $\lambda = 531$ нм. Величина ρ с хорошей точностью может быть вычислена

Рис. 6. Связь между показателями поглощения и ослабления в Баренцевом море (1998 г.)

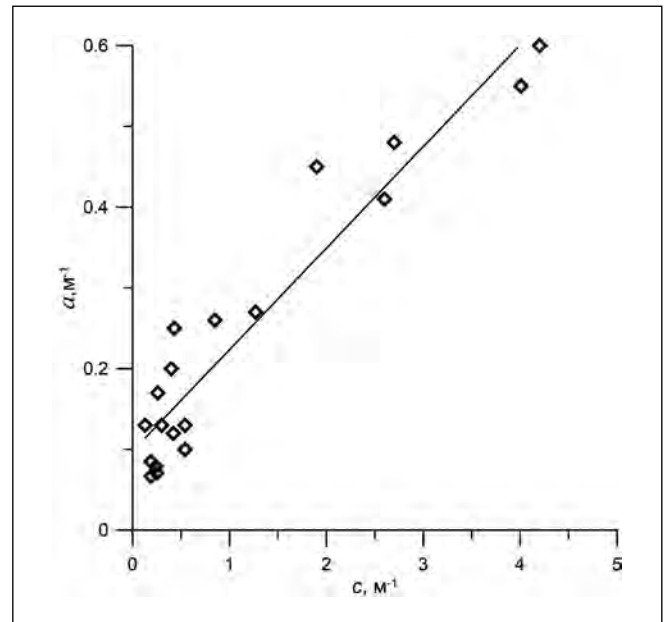
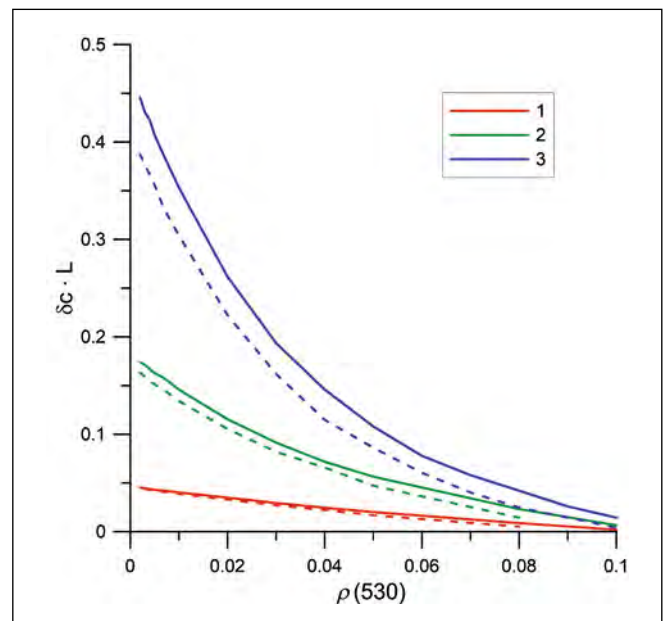


Рис. 7. Зависимость ошибки оценки показателя ослабления, обусловленной многократным рассеянием, от коэффициента яркости водной толщи: 1 – $\tau = 3$; 2 – $\tau = 6$; 3 – $\tau = 8$. Сплошные линии – $L = 0,1$ м, штриховые линии – $L = 0,6$ м



по формуле $\rho(\lambda) = R_{rs}(\lambda) / (0,495 \cdot R_{rs}(\lambda) + 0,165)$ [18]. Данные с точной привязкой к координатам и времени измерения для станций 5627 и 5628 отсутствуют, однако можно предположить, что искомое значение ρ лежит в интервале между минимальным и максимальным значениями этой величины для данного региона в течение месяца. По данным *MODIS Aqua* были вычислены средние значения ρ для каждого дня августа 2017 г. по внутренности контура, охватывающего устье реки Хатанги (в сентябре данные для этого региона отсутствовали из-за сплошной облачности). Среднее значение оказалось равным 0,044, максимальное – 0,069, минимальное – 0,017. Из данных, показанных на рис. 7, следует,

что при использовании короткой базы $L=0,1$ м, при минимальном значении ρ относительная ошибка определения показателя ослабления составляет 4 % для $c = 80 \text{ м}^{-1}$ и 2 % для $c = 20 \text{ м}^{-1}$.

6. Заключение

1. Величина индикатрисы рассеяния весьма существенно влияет на погрешность определения показателя ослабления (чем более вытянута индикатриса, тем эта погрешность больше). Отметим, что речь идёт о рассеянии на углы порядка 1° . При измерениях в поверхностных слоях для оценки индикатрисы рассеяния можно использовать величину коэффициента яркости на длине волны 530 нм

ρ (530). При этом ошибка определения c мала в тех случаях, когда вклад крупной взвеси в рассеяние на малые углы незначителен (значения $\rho(530)$ достаточно велики). При преобладании в малоугловом рассеянии крупной взвеси рассматриваемая ошибка заметно возрастает (значения $\rho(530)$ достаточно малы). При измерениях показателя ослабления в глубинных слоях (в частности, в придонном нефеллоидном слое) данные об индикатрисе, естественно, отсутствуют, и для оценки погрешности показателя ослабления следует использовать данные, приведённые в [10].

2. Длина базы прибора существенно влияет на ошибку определения c при больших оптических толщинах $\tau = c \cdot L$ (до нескольких десятков процентов). Поэтому для измерений показателя ослабления в мутных водах следует использовать малую базу, для которой ошибки определения c , вызванные многократным рассеянием на длине базы, существенно снижаются.

3. Выполненные расчёты показывают, что угол зрения приёмника существенно влияет на погрешность определения c . Поэтому для измерений следует использовать приборы с расходимостью пучка, существенно меньшей угла зрения приёмника. Кроме того, расчёты показывают, что изменение ширины пучка слабо влияет на результаты (естественно, если радиус пучка меньше радиуса входного отверстия приёмника).

4. Приведённые результаты измерений и выполненные расчёты свидетельствуют о том, что прозрачномер ПУМ с короткой базой может быть рекомендован для измерения показателя ослабления в водах высокой мутности.

Работа выполнена в рамках государственного задания (тема N 0149–2018–0002, руководитель П.О. Завьялов). Авторы признательны О.В. Копелевичу за внимание к работе и ценные замечания. Авторы благодарят М.Д. Кравчишину за предоставленные данные по концентрации взвеси.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буренков В.И., Купцов В.М., Сивков В.В., Шевченко В.П. Пространственное распределение и дисперсный состав взвеси в море Лаптевых в августе–сентябре 1991 // Океанология.– 1997. – Т. 37, № 6. – С. 920–927.

2. Лисицын А.П., Шевченко В.П., Буренков В.И. Гидрооптика и взвесь арктических морей // Оптика атмосферы и океана.– 2000. – Т. 13, № 1. – С. 71–79.

3. Ramirez-Pérez, M., Rüdiger, R., Torrecilla, E., Píera, J. Cost-Effective Hyperspectral Transmissometers for oceanographic Applications: Performance Analysis // Sensors.– 2015. – Vol. 15. – P. 20967–20989; doi:10.3390/s150920967.

4. Moore, C., Barnard, A., Fietzek, P., Lewis, M.R., Sosik, H.M., White, S., Zielinski, O. Optical tools for ocean monitoring and research // Ocean Sci.– 2009. – Vol. 5. – P. 661–684.

5. Копелевич О.В. Использование видимого излучения при освоении и изучении морей и океанов // Светотехника.– 2017 – № 2. – С. 13–22.

6. Artemiev, V.A., Taskaev, V.R., Burenkov, V.I., Grigoriev, A.V. A multi-purpose compact transmissometer // Proc. of the III Int. Conf. «Current Problems in Optics of Natural Waters» – ONW'2005. – St. Petersburg, Russia, 2005.

7. Долин Л.С., Савельев В.А. Новая модель размытия светового пучка в среде с сильно анизотропным рассеянием // Известия АН, физика атмосферы и океана.– 2000. – Т. 36, № 6. – С. 794–801.

8. Ермаков С.М., Михайлов Г.А. Статистическое моделирование. – М: Наука, 1982.– 296 с.

9. Каргин Б.А. Статистическое моделирование поля солнечной радиации в атмосфере – Новосибирск: ВЦ СО АН СССР, 1984.– 206 с.

10. Копелевич О.В. Малопараметрическая модель оптических свойств морской воды // Оптика океана. – М.: Наука – 1983. – Том 1. – С. 208–234.

11. Petzold, T.J. Volume scattering functions for selected ocean waters. // Scripts Inst. Oceanogr. Report SIO, 1972. – P. 72–78

12. Mobley, C.D. Light and water. Radiative transfer in natural waters. – Academic Press.– 1994.

13. Morel, A., Gentili, B. Diffuse reflectance of oceanic waters. Bidirectional aspects // Appl. Optics.– 1993. – Vol. 32. – P. 6864–6879.

14. Gordon, H.R. Can the Lambert-Beer Law be applied to the diffuse attenuation coefficient of ocean water // Limnol, Oceanogr.– 1989. – Vol. 35, No. 8. – P. 1389–1409.

15. Levin, I.M. Relation between the seawater optical properties at 550 nm: estimate of its accuracy and extension to case 1 waters // Proc. of the III Int. Conf. «Current

Problems in Optics of Natural Waters» – ONW'2005. – St. Petersburg, Russia, 2005.

16. Копелевич О.В., Гуцин О.А., О статистических и физических моделях светорассеивающих свойств морской воды // Известия АН СССР, физика атмосферы и океана.– 1983. – Т. 14, № 9. – С. 967–973.

17. Артемьев В.А., Буренков В.И., Вортман М.И., Григорьев А.В., Копелевич О.В., Храпко А.Н. Подспутниковые измерения цвета океана: новый плавающий спектрорадиометр и его метрология // Океанология.– 2000. – Т. 40, № 1. – С. 148–155.

18. Lee, Z., Carder, K.L., Mobley, C.D., Steward, R.G., Patch, J.S. Hyperspectral remote sensing for shallow waters. I. A semi-analytical model // Applied Optics.– 1998. – Vol. 37, No. 27. – P. 6329–6338.



Буренков Владимир Иванович, кандидат физико-математических наук (1975 г.). Окончил МФТИ (1970 г.). Ведущий научный сотрудник ИО РАН



Шеберстов Сергей Валентинович. Окончил механико-математический факультет МГУ (1967 г.). Старший научный сотрудник ИО РАН



Артемьев Владимир Александрович. Окончил радиотехнический факультет Московского авиационного института (1973 г.). Старший научный сотрудник ИО РАН



Таскаев Валерий Романович. Окончил физический факультет МГУ (1980 г.). Ведущий инженер ИО РАН

Использование дисплейных технологий для освещения

В.В. БЕЛЯЕВ^{1, 2}, К.Д. НЕССЕМОН¹, А.А. БЕЛЯЕВ²

¹Российский университет дружбы народов (РУДН), ²Московский государственный областной университет (МГОУ), Москва
E-mail: vic_belyaev@mail.ru

Аннотация

Обзорно рассмотрен современный уровень развития ряда дисплейных технологий, которые используются или могут использоваться для создания новых перспективных светотехнических решений. Особое внимание уделено технологиям на основе органических светодиодов и жидких кристаллов. Приведены примеры их применения в автостроении и архитектуре с учётом разных экономических показателей и ограничений медико-гигиенического и эргономического характера.

Ключевые слова: светотехника, оптоэлектроника, светотехнические характеристики, твердотельные и органические светодиоды, дисплейные технологии, нанотехнология.

Развитию светотехники сегодня значительно способствует появление новых разработок в разных областях техники, прежде всего в оптоэлектронике и оптике. Это приводит к появлению новых рыночных ниш приборов с улучшенными светотехническими характеристиками или функциональными возможностями. Классическим примером стали светодиоды (СД) и светильники с СД. Их использование более безопасно, экологично и эргономично с разных точек зрения, чем других осветительных устройств [1].

Значительные перспективы для светотехники несёт в себе такая область науки и техники, как средства отображения информации или дисплеи. Некоторые дисплейные технологические разработки, в том числе органические светодиоды (ОСД), изначально предназначались для формирования плоского изображения без использования заднего освещения, но оказались перспективны и для создания плоских и очень тонких источников света (ИС) [2]. Другой важной плоскопанельной дисплейной технологией является жидкокристаллическая (ЖК).

Поскольку в ЖК дисплеях (ЖКД) заднее освещение необходимо, развитие этой технологии потребовало разработки многих видов комплектов для формирования и управления световым пучком – ЛЛ, СД, световодных пластин и других элементов.

Развитие нанотехнологий привело к появлению материалов, влияющих на световую отдачу и спектральный состав уже существующих ИС или оптических элементов. Одним из самых известных таких материалов, уже промышленно выпускаемых, являются квантовые точки.

Развитие дисплейных технологий требует разных эргономических исследований – тщательного изучения зрительной системы человека и влияния на неё ИС с разным спектральным составом и возможностью светорегулирования во времени. Одно из быстро развивающихся направлений – автомобильные дисплеи, дисплеи для промышленного и военного применения и др., в котором важной частью является управление светом.

В настоящем обзоре кратко рассмотрен современный уровень разных дисплейных технологий, которые используются или могут использоваться для создания новых перспективных светотехнических решений.

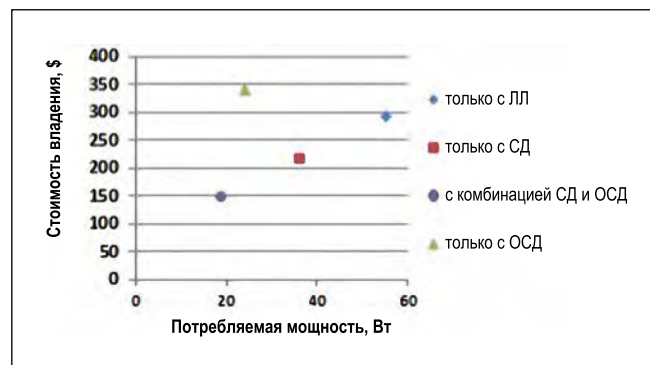
Ведущие мировые компании *Konica Minolta*, *LG Chem*, *AcuityBrands*, *OLEDWorks*, *BMW*, *Audi* и др. разрабатывают и производят разные виды осветительных приборов (ОП) с ОСД,

имеющие новые функциональные возможности по сравнению с традиционными [2]. ОП с ОСД могут быть плоскими и, одновременно, гибкими и очень тонкими, и способными накладываться на поверхности практически любой формы и кривизны. Большим достоинством является возможность варьирования их спектров излучения в пространстве и времени. Современные ОСД технологии позволяют создавать ОП с достаточно большими яркостью и световой отдачей, адаптированные к применению в экстремальных внешних условиях, например в автомобилях, некоторые части которых испытывают большие механические и температурные нагрузки.

В нише полупроводниковых осветительных технологий доминирует всё более дешёвое освещение СД ИС, но быстро развивается и коммерциализируется освещение ОСД ИС, дополняющее по характеристикам и возможностям первое. На основе ОСД можно создавать ИС большой площади с диффузным излучением и отличным качеством цветопередачи. При этом использование пластмассовых подложек позволяет изготавливать ОП любой формы, кривизны, очень тонкие и лёгкие. В отличие от большинства ОП традиционного типа ОП на основе ОСД не вызывают ослепления, и их цену значительно снижает исключение таких компонентов, как рассеиватели, что, кстати, благоприятно сказывается и на световой отдаче ОП.

Сегодня многие компании в мире производят осветительные панели на основе ОСД для ряда применений, включая одно из главных – освещение автомобилей. Такие компании, как *Audi*, *BMW* и др., показали, что специальные ОП на основе ОСД дают большую свободу конструирования, чем другие, прежде всего, благодаря ОСД панелям произвольной формы

Рис. 1. Оценки стоимости владения потолочных светильников с ЛЛ, СД, ОСД и комбинацией СД и ОСД для офисного пространства (на 2020 г.)



Перспективные характеристики белых ОСД источников света

Характеристика	Цель и практический предел
Световая эффективность излучения	350 лм/Вт
Внутренняя квантовая эффективность	95 %
Световая отдача пикселя	180 лм/Вт при яркости 3000 кд/м ²

Рис. 2. Количество СД для внутреннего освещения одного автомобиля премиум-класса (по данным компании BMW)

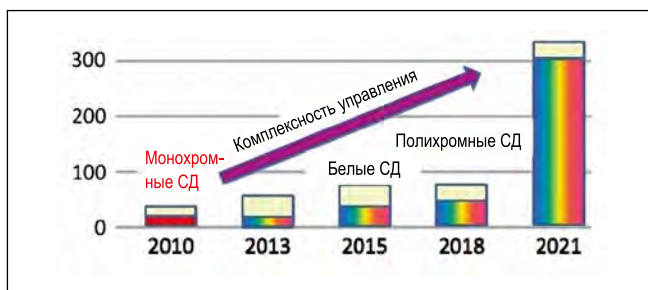
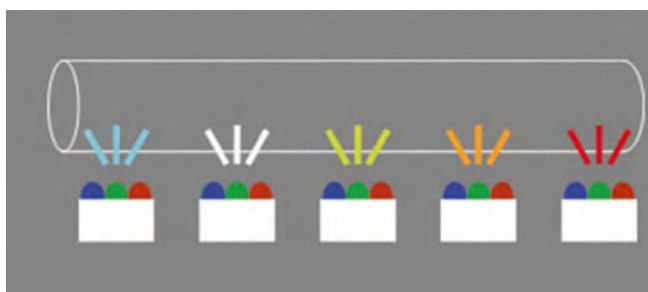


Рис. 3. Цветное освещение интерьера автомобиля моно- или полихромными СД с использованием световода и устройства цветорегулирования



с чрезвычайно однородным свечением [3]. Кроме того, представляет интерес использование пластмассовых ОП с ОСД в интерьерах самолётов.

Целевые и перспективные показатели ОП на основе белых ОСД приведены в табл. 1 [3].

Что касается экономичности этих ОП, то, по оценке Минэнерго США [4], по сравнению с традиционными потолочными светильниками плоские светильники на основе ОСД, например, при использовании в коридорах снижают энергопотребление на 73 %, что на уровне 2020 г. позволит сэкономить до \$1,7 млрд в год. Приведённые на рис. 1 прогнозы на 2020 г. по стоимости владения 4-х видов потолочных светильников при одинаковом уровне освещения ими офисного пространства площадью 6 м² за 10 лет (точнее, с учётом нерабочего времени офиса, 20800 ч горения) явно показывают «лидерство» светильника с комбинацией СД и ОСД и «аутсайдерство» светильника только с ОСД. Последний уступает здесь не только светильнику с СД, но даже светильнику с ЛЛ.

Предполагается, что на уровне 2020 г. стоимость 1000 лм составит \$30 для светильников с ЛЛ, \$24 для светильников с СД и \$100 для светильников с ОСД.

Минэнерго США составило дорожные карты до 2025 г. по световой отдаче и стоимости производства ОСД панелей (табл. 2 и 3). При этом считается, что общий индекс цветопередачи R_a будет выше 80, а коррелированная цветовая температура $T_{ки}$ составляет 3000 К. В течение десятилетия световая отдача должна возрасти в 2,5 раза за счёт улучшения эффективности материалов и управляющих устройств (УУ). Это должно быть достигнуто многократным увеличением капитальных затрат на создание производства ОСД панелей, по техническим и экономическим характеристикам сравнимых с ЖК панелями. При этом должна существенно снизиться стоимость всех материалов и производственных операций. И в результате стоимость производства 1 м² ОСД панелей за 10 лет должна снизиться в 33 раза.

В работе [5] рассмотрены возможности формирования адаптируемых к разным внешним условиям комфортных вариантов освещения. Стратегия энергетически эффективного освещения направлена на обеспечение нужного уровня и спектрального состава света в нужном месте и в нужное время. При этом соответствующий адаптивный светильник должен содержать яркий источник белого света и неяркий янтарного света, интегрированные с датчиками освещённости и присутствия. Сигнал датчика освещённости используется для выключения обоих ИС днём и включения ночью. Сигнал другого датчика используется для включения яркого белого света во время присутствия человека и выключения во время отсутствия.

Сегодня автопроизводители продолжают требовать всё большей «функциональности» СД для поддержки инновационных дополнений к автомобилям и улучшения разглядывания или считывания информации с соответствующих устройств с СД в дневное время. Если в 2010 г. типичный автомобиль, поступающий в продажу, содержал 50 СД, то к 2021 г. их количество должно возрасти до более, чем 300 (рис. 2) [6]. Этот прирост происходит, в основном, за счёт использования СД трёх основных цветов (красный, зелёный и синий), связанных в единый ИС. В этом случае нужно разрабатывать соответствующие УУ с широтно-импульсной модуляцией для получения определённых цветов, что добавляет нежелательную усложнённую по сравнению с системами, использующими платформы с белыми и монохромными СД, доминировавшими на рынке ещё несколько лет назад.

Из рис. 3 видно, что интересные возможности автомобильного освещения разного спектрального состава и интенсивности даёт использование световодов с торцевым или боковым расположением моно- или полихромных СД.

ОСД ИС гибки, легки и тонки, но, несмотря на такую уникальность, в развитии рынка этих изделий есть серьёзные проблемы. Для расширения рынка компания *Konica Minolta* предложила для гибких ОСД концепцию «истинной ценности» («TRUE VALUE») [4]. Главной ценностью в ней считается «излучаемый поверхностью однородный свет в чрезвычай-

Дорожная карта до 2025 г. по ОП с ОСД

Характеристика	2015	2017	2020	2025	Цель
Световая отдача (панели), лм/Вт	60	100	125	160	190
Оптическая эффективность, %	100			90	
КПД УУ, %	85			90	95
КПД ОП, %				81	86
Световая отдача ОП, лм/Вт	51	85	106	130	162

но тонком установочном пространстве». Эту ценность повышают три основных движителя: «уменьшение веса», «управление светом «*Twilight*» и «возможность касаться ОП, не обжигаясь»; в случае прозрачных ОП может быть ещё один движитель – «невидимое волшебство».

В результате разные гибкие ОСД ИС могут встраиваться в обычные предметы: зонтики, веера, одежду, подвесные движущиеся конструкции (мобили) и т.п.

Помимо «классических» квантовых точек в люминесцентных материалах широко применяются перовскитные наночастицы. В частности, есть сообщение [7] о недавнем изобретении органических и неорганических гибридных перовскитов (ОНГП), вводимых в состав композитных полимерных плёнок, с большой эффективностью фотолюминесценции, высокой монохромностью (полуширина спектральной линии < 20 нм), беспрецедентной стойкостью к воде и нагреву, применимостью в заднем освещении в ЖК дисплеях, а также в датчиках и светотерапии. С использованием квантовых точек и ОНГП уже созданы и производятся СД с квантовыми точками (QLED), способные превзойти ОСД по цветовой гамме, энергоэффективности и стоимости (рис. 4). Ожидается, что световая эффективность излучения соответствующих ИС на основе QLED превысит 359 лм/Вт, а R_a составит не менее 91.

Правда, пока время жизни таких приборов не дотягивает до 30000 ч, требуемых для применения в ОП. Сейчас оно составляет 2000 ч при яркости 500 кд/м² и 7000 ч при яркости 100 кд/м² [8].

Компания *OLEDWorks LLC* разработала второе поколение высокоэффективных ОСД панелей янтарно-

го света для здравоохранения [9]. По сравнению с панелями первого поколения световая отдача их поднята до 60 лм/Вт за счёт использования фосфоресцентных материалов. Кроме того, слоистая конструкция обеспечивает увеличение срока службы и однородности свечения.

Компания *Pixelligent Technologies LLC* разработала технологию производства материала «*PixClear*»[®] на основе дисперсий и нанокompозитов с нанокристаллами ZrO_2 , который по-

зволяет сделать коэффициент извлечения света в ОСД ИС больше 100 % [10]. В этих материалах значительно увеличен показатель преломления мономеров и полимеров при содержании наночастиц ZrO_2 до 90 %. При этом прозрачность материала в видимом диапазоне высокая.

Обычно ЖК устройства используются для формирования или обработки изображений. Но в последние годы интенсивно развивается создание ЖК приборов для применений, например,

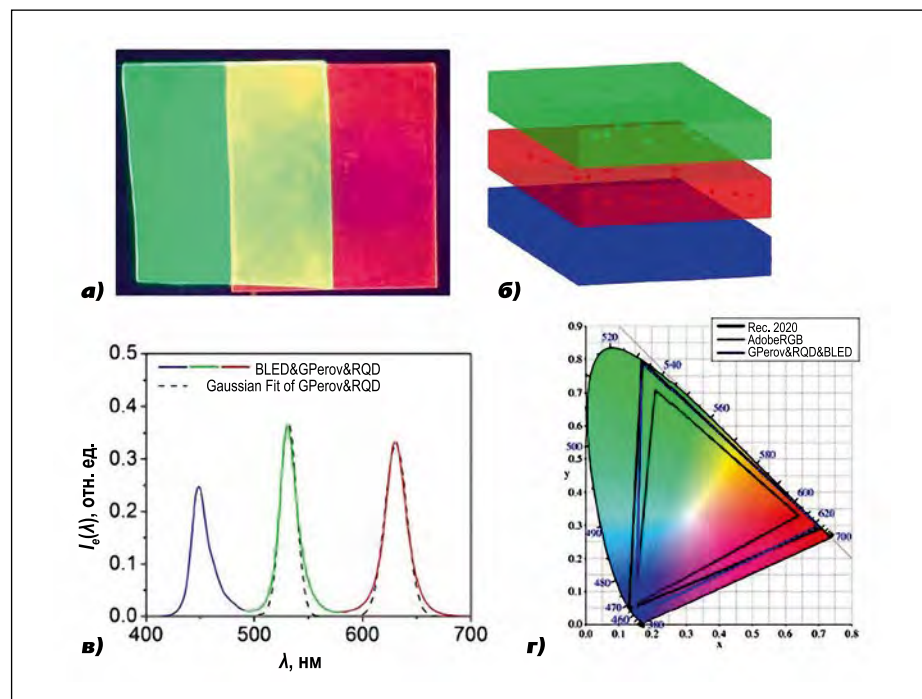


Рис. 4. Применение специальной композитной плёнки в качестве светопреобразователя в заднем освещении дисплея с широкой цветовой гаммой: а – изображение композитной плёнки с красными квантовыми точками и полистиролом, а также с зелёным метилминброматом свинца ($MAPbBr_3$) и полистиролом (под действием УФ облучения); б – схема генерации белого света путём интеграции плёнок, указанных выше, с синим СД; в – спектр белого излучения системы с вышеуказанными плёнками (зелёной и красной), используемыми в качестве преобразователей излучения синего СД. Пунктирные линии – гауссовские аппроксимации зелёной и красной составляющих спектра; г – диаграммы цветности для белой светодиодной системы (синяя линия), для системы с RGB спектром «*Adobe*» (серая линия) и для системы, соответствующей рекомендации МКО на 2020 г. (чёрная линия) в сравнении с диаграммой цветности МКО 1931

Дорожная карта до 2025 г. по стоимости производства ОСД панелей

Параметр	2015	2016	2018	2020	2025
Площадь подложки, м ²	0,17	0,17	1,38	2,7	5,5
Капитальные затраты, \$ млн	75	75	200	300	400
Длительность производственного цикла, мин	3	2	1,5	1	1
Производительность, тыс. м ² / год	14	25	300	1000	2400
Амортизационные издержки, \$/м ²	1050	600	125	60	35
Стоимость органических материалов, \$/м ²	200	150	100	35	15
Стоимость неорганических материалов, \$/м ²	200	200	120	50	30
Стоимость работы, \$/м ²	150	100	20	10	5
Другие фиксированные затраты, \$/м ²	75	50	15	10	5
Полная стоимость без учёта выхода годной продукции, \$/м ²	1675	1.100	355	160	90
Выход годной продукции, %	50	60	70	80	90
Полная стоимость, \$/м ²	3350	1850	550	200	100

в автофарах или в наружном архитектурном освещении. ЖК материалы для таких применений должны обладать дополнительной устойчивостью к экстремальным внешним условиям, а также к очень яркому свету. Для достижения нужных оптических характеристик при использовании в архи-

тектурном освещении у ЖК должно быть очень высокое двулучепреломление при высокой устойчивости к воздействию света. В немецкой компании *Merck* такие ЖК смеси разработали, а в компании *Hella KGaA Hueck & Co* [11, 12] создали конструкцию светильника с использованием этих

ЖК для работы в суровых условиях (рис. 5). Новая монохромная конструкция отличается наличием двойной поляризации света (вертикальной и горизонтальной), и её эффективность преобразования обычного света в поляризованный составляет 76 %. ИС представляет собой ЖК матричную панель с относительно низким разрешением.

На рынке становятся предпочтительными конструкции, которые позволяют потребителям приспосабливать их к персональным нуждам. Одним из способов решения этого вопроса – добавление в них светорегулятора. Хорошо известный пример в этом отношении – серия «умных» светотехнических изделий «Hue» компании *Philips Lighting*. А недавно компания *LensVector* разработала способы изменения формы светового пятна при местном освещении. В них могут использоваться ЖК элементы для управления направлением света или его фокусировки (рис. 6) [13].

В исследовании, выполненном в Национальном университете Цинхуа (Синьчжу, Тайвань), показано, что для получения «хорошего» для пользователя освещения не надо гнаться лишь за показателями световой отдачи и энергосбережения [14]. Учёные исследовали процесс подавления се-

Рис. 5. Схематическая конструкция светильника направленного действия с ЖК источником света

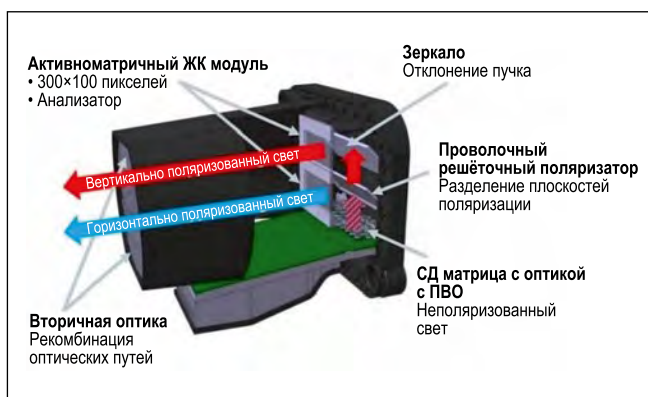


Рис. 6. Две концепции световодов для архитектурного применения: фокусировка или изменение формы и регулировка направленности

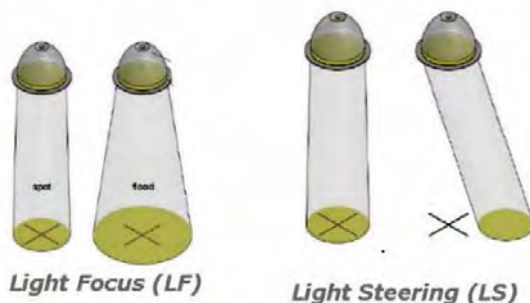


Таблица 4

Влияние изменения $T_{ки}$ на предельно допустимое время облучения сетчатки t при освещённости 500 лк.

$T_{ки}, K$	Чёрное тело	СД	ОСД
	t, c		
2000	407	370	369
3000	146	155	153
5000	63	74	70
8000	40	50	47



Рис. 7. Пример использования самосветящейся дисплейной панели для создания циркадно эффективного (синего) или циркадно неэффективного (красного) света в зависимости от времени суток

креции мелатонина под действием ИС трёх видов (чёрного тела, СД и ОСД) при значениях $T_{ки}$ от 2000 до 8000 К. В табл. 4 приведены максимально допустимые по фотобиологической безопасности [14] времена облучения сетчатки для трёх этих ИС.

При этом обычно считается, что белый свет при $T_{ки}$ порядка 6000 К эргономически больше подходит для дисплеев телевизоров, мониторов и сотовых телефонов, чем свет при $T_{ки}$ 7000 К (относительно большей синевы).

Сочетание «хорошего» света с энергосберегающими технологиями позволяет избежать нарушений сна и риска повреждений или заболеваний сетчатки.

В Центре светотехнических исследований при Политехническом институте Ренсселера (США) проведено исследование по синхронизации циркадных ритмов с местным временем с разными группами людей, в том числе страдающими некоторыми неврологическими заболеваниями [15]. Частью исследования было изу-

чение потенциально полезного влияния светоизлучающих дисплейных панелей на сон и настроение. В пилотных экспериментах использовалась 70-дюймовая дисплейная панель японской компании Sharp, тип которой (плазменная или ЖК) в публикации не указан. В эксперименте, длившемся одну неделю, больные болезнью Альцгеймера в течение светового дня с 7 утра до 6 вечера сидели за столом, представлявшим собой светящуюся дисплейную панель. В назначенное время они принимали пищу за этим столом. Стол можно было использовать и как сенсорный экран для игр и развлечений. В результате наблюдалось существенное улучшение сна, уменьшение депрессии и возбудимости. В зависимости от времени дня свечение панели было синим или красным как, например, на рис. 7, что позволяло регулировать циркадные ритмы. Кроме того, в помещениях вешали дисплейные панели в вертикальном положении, чтобы свет от них достигал дна сетчатки. Это не

всегда получается при потолочном расположении ИС.

Заключение

Приведён краткий обзор современных безопасных, экологических и эргономичных технологий осветительных устройств на основе СД и ОСД и использования некоторых новых композитных материалов. Рассмотрены новые области применения таких устройств с учётом экономических перспектив; отмечена возможность использования таких технологий в медицине.

Благодарности

Работа выполнена по проекту № 17–47–500752 Российского фонда фундаментальных исследований и Правительства Московской области (при частичной поддержке).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юнович А.Э. Светодиоды и их применение для освещения / Под ред. проф. Ю.Б. Айзенберга. – М.: Знак, 2011.
2. Усов Н.Н. Перспективы применения органических светодиодов для отображения информации и освещения // Светотехника.– 2011.– № 5. – С. 4–14.
3. Hack M., Weaver M.S., Brown J.J. Status and Opportunities for Phosphorescent OLED Lighting / SID Symposium Digest of Technical Papers, 2017. – P. 187–190.
4. Nagata A., Mitsui S., Iwamatsu N., Suzuki A., Kubota R., Hiraga A., Yamamoto N., Takemoto N., Tsujimura T. The «TRUE VALUE» of Flexible OLED – One and Only Design and Experience / Там же. – P. 691–694.
5. Papamichael K. Adaptive Lighting for Energy-Efficient Comfort and Wellbeing / Там же. – P. 306–309.
6. Automotive Interior Lighting Control Redefined. URL: <https://www.led-professional.com/resources-1/articles/interior-automotive-lighting-control-redefined>, 28.12.2017 (дата обращения: 21.08.2018).
7. Dong Y. Solution Processable Luminescent Nanomaterials for Display, Lighting and Beyond / SID Symposium Digest of Technical Papers, 2017. – P. 272–275.
8. Dong Y. et al. / Там же. – P. 270–273.
9. Lee D., Spindler J., Kondakova M., Pletten A., Boroson M. Amber OLED Lighting Technology Development and Application / Там же. – P. 91–94.
10. Guschl P.C., Wang X., Weinstein M.A. Ink-Jet Printing of High-Index Zirconia Nanocomposite Materials / Там же. – P. 942–944.

11. Reinert-Weiss C.J., Baur H., Nusayer S.A.A., Duhme D., Fruehauf N. Development of active matrix LCD for use in high-resolution adaptive headlight // Journal of the SID. – 2017. – Vol. 25, No. 2.

12. BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung Germany), Announcement of the project «Volladaptive Lichtverteilung für eine intelligente, effiziente und sichere Fahrzeugbeleuchtung (VoLiFa 2020)». URL: <http://www.photonikforschung.de/forschungsfelder/beleuchtungled/intelligente-beleuchtung/> (дата обращения: 01.06.2018).

13. Jou J.-H., Singh M., He Z.-K., Su Y.-T. Definition and Design of a Good Light / SID Symposium Digest of Technical Papers, 2017. – P. 1812–1813.

14. ГОСТ Р МЭК 62471-2013 «Лампы и ламповые системы. Светобиологическая безопасность».

15. Figueiro M.G. Biological Effects of Light: Can Self-luminous Displays Play a Role? // Information Display. – 2018. – Vol. 34, No. 1. – P. 6–9.

Лу Бедокс (*Lou Bedocs*) (1942–2019)



В феврале этого года скончался после тяжёлой болезни на 77 году жизни выдающийся специалист-светотехник, крупнейший деятель международной стандартизации в области светотехника бывший технический руководитель фирмы *Thorn Lighting Limited, United* (Англия), постоянный активный член международной редколлегии нашего журнала «*Light & Engineering*» (с 1993 года) и объединённой редколлегии журнала «Светотехника / *Light & Engineering*».

Лу (его настоящее имя Laios) родился в Венгрии и после долгих перипетий послевоенного времени оказался в Англии, где окончил среднюю школу.

Благодаря исключительной энергии, неистощимому оптимизму и огромной любознательности нашёл работу в ведущих светотехнических фирмах «*Thorn Lighting Industries*», а затем и в «*Atlas*». С тех пор он увлёкся светотехникой, которая и стала делом его жизни, 60 лет из которой Лои отдал успешной работе на фирме *Thorn*.

Лу Бедокс творчески и активно сотрудничал с многими международными организациями (*ISO, CEN, BSI, CIE, CLL, Lux-Europa*), награждён целым рядом Золотых и Серебряных медалей. Возглавлял работу по подготовке ряда важнейших Европейских стандартов.

Ушёл от нас не только великолепный специалист и общественный деятель, ушёл чудесный, открытый и добрый человек, память о котором навсегда останется в наших сердцах и душах.

Члены редколлегии журнала «Светотехника / *Light & Engineering*», в том числе хорошо знавшие покойного и много лет сотрудничавшие с ним Ю.Б. Айзенберг и Р.И. Столяревская



Белиев Виктор Васильевич, доктор техн. наук, профессор. Окончил в 1974 г. МФТИ по специальности «Автоматика и электроника». Зав. кафедрой теоретической физики МГОУ

и профессор департамента механики и механики Инженерной академии РУДН. Член (Fellow) Международного общества информационных дисплеев (SID)



Нессемон Кемонекле Донатиен, переводчик в сфере профессиональной коммуникации (французский и русский языки). Окончил в 2012 г. Институт иностранных языков РУДН



Белиев Андрей Андреевич, эколог. Окончил в 2015 г. МГОУ по специальности «Геоэкология». Инженер учебно-научной лаборатории теоретической и прикладной нанотехнологии МГОУ

Бистатическая подводная оптико-электронная связь. Полевые эксперименты 2017–2018 гг.

В.В. БЕЛОВ, В.Н. АБРАМОЧКИН, Ю.В. ГРИДНЕВ, А.Н. КУДРЯВЦЕВ,
М.В. ТАРАСЕНКОВ, А.В. ФЕДОСОВ

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН (ИОА СО РАН), Томск
E-mail: belov@iao.ru

Аннотация

Рассмотрены результаты экспериментов с подводными бистатическими оптико-электронными системами связи, в которых источником информации и полезным сигналом является рассеянное лазерное излучение. В полевых условиях получены дальности передачи информации до 40 м в озёрной воде.

Ключевые слова: естественная водная среда, оптическая бистатическая связь, рассеяние, вероятности и СКО ошибок связи, фотоэлектронные умножители.

Введение

В работах [1–3] рассмотрены возможности и варианты создания подводных бистатических оптико-электронных систем связи (ОЭСС), в которых источником информации и полезным сигналом является рассеянное или отражённое оптическое излучение (в частности, лазерное)¹.

Теоретические исследования передаточных свойств бистатических каналов ОЭСС ведутся в рамках теории переноса коротковолнового излучения в рассеивающих и поглощающих средах (каковыми являются атмосфера и водные среды) и теории анализа линейных систем. При этом связь между яркостью излучения в заданной точке и в заданном направлении в среде с её оптическими характеристиками определяет уравнение переноса излучения, которое в интегро-дифференциальной форме имеет вид

$$\frac{1}{c} \frac{\partial I}{\partial t} + (\boldsymbol{\omega}, \text{grad } I) = -\beta_{\text{ext}} I + \beta_{\text{sc}} \int_{\Omega} I(\mathbf{r}, \boldsymbol{\omega}') g(\mathbf{r}, \boldsymbol{\omega}, \boldsymbol{\omega}') d\boldsymbol{\omega}' + \Phi_0(\mathbf{r}, \boldsymbol{\omega}),$$

¹ В зарубежной литературе бистатические ОЭСС чаще называют *Non Line of Sight (NLOS)* ОЭСС, и иногда те из них, в которых полезным сигналом служит отражённое излучение, называют *Direct NLOS* ОЭСС, а в которых – рассеянное излучение, – *Non Direct NLOS* ОЭСС.

где $I = I(\lambda, \mathbf{r}, \boldsymbol{\omega})$ – яркость излучения на длине волны λ в точке \mathbf{r} в направлении $\boldsymbol{\omega}$; c – скорость света; $\beta_{\text{ext}}(\lambda, \mathbf{r})$ – коэффициент ослабления на длине волны λ в точке \mathbf{r} ; $\beta_{\text{sc}}(\lambda, \mathbf{r})$ – коэффициент рассеяния на длине волны λ в точке \mathbf{r} ; $g(\lambda, \mathbf{r}, \boldsymbol{\omega}, \boldsymbol{\omega}')$ – индикатриса рассеяния на длине волны λ в точке \mathbf{r} в направлении $\boldsymbol{\omega}$; $\boldsymbol{\omega}'$ – направление распространения излучения до рассеяния; Φ_0 – функция источника в точке \mathbf{r} в направлении $\boldsymbol{\omega}$.

Это уравнение: а) линейно относительно I и потому анализ передаточных свойств бистатических каналов связи целесообразно проводить в рамках теории линейных систем, т.е. исследовать реакцию канала $h(t)$ на входной $\delta(t)$ -импульс в зависимости от входных параметров ОЭСС; б) не имеет общего аналитического решения и потому для его решения в приложениях, связанных с коммуникационными подводными бистатическими ОЭСС, используют разные алгоритмы метода Монте-Карло (от алгоритмов прямого моделирования [4] до модификаций двойных локальных оценок [5]).

В публикациях [6–10] рассмотрены результаты моделирования методом Монте-Карло импульсных реакций подводных каналов связи, с помощью которых оценены предельные дальности действия конкретных вариантов подводных *Direct NLOS* ОЭСС. Они составили от 5 до 100 м в зависимости от варьируемых параметров ОЭСС и оптического состояния водной среды. В [10] учтено влияние случайных наклонов волны на поверхности раздела атмосфера-вода на дальности действия ОЭСС, а в [9] оценено влияние оптико-геометрических условий формирования бистатических каналов на вероятность ошибок связи.

В работе [11] предложена аналитическая модель принимаемого бистатического сигнала и приведены результаты экспериментов в бассейне при расстояниях источник-приёмник (их называют базовыми) L до 50 м. Сравнение теоретических оценок ослабления сигналов показало, что предложенная модель неплохо согласуется с измерениями в экспериментах при L от 10 до 50 м. На этих трассах сигнал ослабевает на 6–10 дБ в зависимости от оптического состояния воды и направленной ориентации оптических осей источника и приёмника. В этой же работе приводятся результаты экспериментов в Вудсхоуловском океанографическом институте (*Woods Hole Oceanographic Institution*, США), где в разных водоёмах (от бассейнов до доков) подводная оптическая связь осуществлена в замутнённой воде на расстояниях до 40 м. В статье [12] обсуждаются результаты наших первых экспериментов в *естественной водной среде* с бистатическими ОЭСС².

Аппаратура, геометрические схемы и результаты экспериментов

Цель настоящей работы состояла в том, чтобы на основе полевых экспериментов 2017–2018 гг., выполненных при испытаниях в *естественном* водоёме подводных бистатических ОЭСС (с разномощными источниками излучения и разной средней мощностью), сравнить их по дальности действия и качеству подводной связи (по уровням ошибок связи и их среднеквадратического отклонения (СКО)). Поскольку эти характеристики зависят от оптического состояния водной среды, то представляло интерес сравнить их при проведении экспериментов в разное время года (зимой, когда вода менее замутнена, и весной, когда в водоём поступают аэрозоль из атмосферы и стоки с окружающей озеро территории).

Подробное описание методики экспериментов 2017–2018 гг. и использованной в них аппаратуры приведено в [14]. Вкратце повторим его. В качестве импульсных источников излучения использовались «зелёный» лазер на парах бромида меди (пико-

² Полевым испытаниям бистатических ОЭСС в атмосфере посвящены, например, работы [13–15].

Рис. 1. Геометрические схемы экспериментов:
 а – вид сбоку: «зелёный» лазер на берегу озера и «синий» лазер в воде; б – вид сверху: направление оптических осей излучателя и приёмной системы

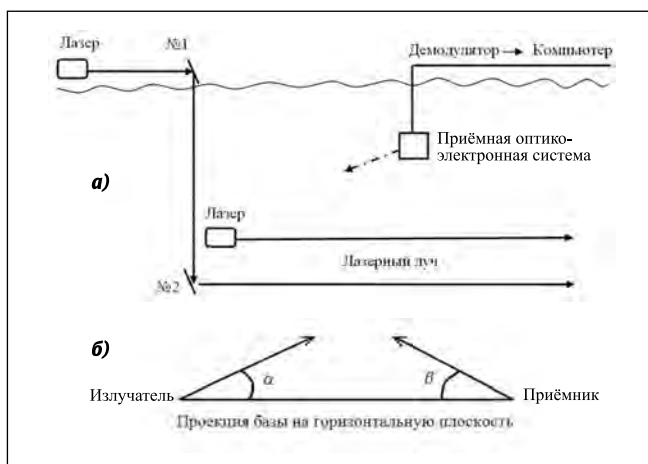
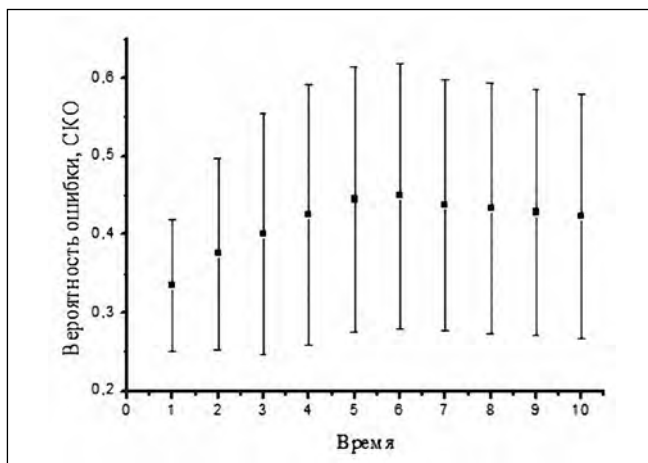


Рис. 2. Фотография участников экспериментов, перемещающих приёмный блок по озеру, и основных блоков лабораторного макета ОЭСС



Рис. 3. Зависимости оценочных значений вероятности ошибок и интервалов СКО (вертикальные линии) от времени «зондирования» качества подводного канала (условия связи – по тексту)



вая $\lambda = 510,6$ нм), созданный в ИОА СО РАН, и «синий» лазерный модуль *B2000* (пиковая $\lambda = 445,0$ нм), переведённый в импульсный режим. Зондирование качества каналов связи в реальном масштабе времени осуществлялось на основе оценок выборок средних значений и СКО ошибок связи. С этой целью по каналам связи передавался тестовый графический периодический сигнал. Эксперименты 2015–2016 гг. производились как в водной среде, так и через лёд в воду и из воды [12].

Средняя мощность импульсного «зелёного» лазера в экспериментах 2017–2018 гг. составляла 4–6 Вт,

а «синего» – 13–20 мВт, расходимость лазерных пучков не превышала 1° , а поле зрения приёмной системы – 2° .

Геометрические схемы ориентации приёмников и источников излучения, реализованные в экспериментах, приведены на рис. 1.

Место проведения экспериментов – озеро Боярское в окрестности Томска. Согласно [16, 17], можно предполагать, что о. Боярское относится к эвтрофному трофическому типу с оптическими характеристиками, близкими к воде о. Лапа Алтайского края. Оно, как и о. Боярское, – непроточное озеро-старица, расположенное в окрестности города. Эксперимен-

ты с «зелёным» лазером проводились в феврале и мае 2017 г. Ввод «зелёного» лазерного излучения зимой осуществлялся с помощью двух зеркал, № 1 и № 2 (рис. 1, а), через лунку во льду (толщина ледяного покрова достигала 50 см, а глубина озера в местах проведения экспериментов – 6 м). Частота следования импульсов излучения лазера составляла 11 кГц, а их длительность – (20–40) нс. В состав приёмного блока в 2017 г. был включён фотоумножитель ФЭУ-84. Приёмный блок опускался в воду также через лунку во льду на расстоянии до 70 см от нижней границы льда. Результаты получены для L от 5 до 25 м и обсуждены в работе [13]. Особенность геометрической схемы экспериментов под водой (т.е. не через ледяной слой) состояла в том, что глубины погружения приёмного блока и лазерного луча были разными. Такие схемы организации связи называют некомпланарными. Оптические оси излучателя и приёмной системы были параллельны нижней границе льда, не пересекались и отстояли друг от друга на 20 см. Средняя мощность излучения лазера, падающего на первое зеркало, не превышала 4 Вт.

Обратимся к результатам испытаний в летнее время (в мае) того же года, на том же озере, с теми же лабораторным макетом и геометрической схемой организации коммуникационного канала, что и в феврале (рис. 1), но при мощности лазерного излучения 6 Вт. При этом приёмный блок и лазерный источник погружались на глубину 1 м от водной поверхности. На фотографии (рис. 2) показаны основные блоки лабораторного макета ОЭСС и участники экспериментов. Одна из основных задач этих экспериментов состояла в определении предельного L при фиксированных характеристиках и параметрах излучателя и приёмного блока. В экспериментах при каждом значении L фиксировался угол α и изменялся угол θ (рис. 1, б). В реальном масштабе времени оценивались вероятности ошибок связи и их СКО. В каждом сеансе связи, длившемся от 7 до 30 мин, передавалось от 7000 до 90000 символов. Каждый эксперимент длился от 1 до 3 ч. L последовательно увеличивалось с шагом 5 м, начиная с 5 м. Предельная L составила 40 м. Этот результат близок к ранее полученному в искусственных и естественных водоёмах [11].

На рис. 3 приведён один из результатов «зондирования» качества подводного канала при $L = 40$ м. Критерии качества: выборочное среднее и СКО ошибок связи (ось ординат на рис. 3) и условное время (ось абсцисс). Значения углов α и β (рис. 1, б). – $8,5$ и $75,0^\circ$ соответственно.

В отличие от результатов, полученных в зимнее время (февраль) при $L = 25$ м [12] и близких к указанным значениям α и β , качество летнего (май) канала связи оказалось существенно хуже зимнего. Это можно объяснить тем, что увеличение L приводит к снижению плотности энергии на входном зрачке приёмной системы, которое в данных экспериментах не компенсируется увеличением мощности лазерного излучения с 4 до 6 Вт. Другая причина ухудшения качества подводного коммуникационного канала состоит в том, что в открытом водоёме мутность воды в летнее время выше, чем в зимнее, когда водоём покрыт льдом и в него не поступают повышающие его мутность вещества (см., напр., [16, 17]).

В 2018 г. в лабораторный макет бистатической ОЭСС были внесены изменения: ФЭУ-84 был заменён на фотоумножитель УФК-4Г-2 (производитель ООО «Катод», Новосибирск), в состав оптического блока приёмной системы введён фильтр *Semrock FF01-442/42-25* и в качестве излучателя использован полупроводниковый лазер на основе модуля *B2000* при средней мощности в импульсном режиме 20 мВт (пиковая $\lambda = 445,0$ нм). В феврале 2018 г. с этим (модифицированным) макетом ОЭСС были проведены эксперименты, аналогичные осуществлённым в 2015 г. с «синим» лазером со средней мощностью 13 мВт при том же значении L (рис. 1). Сравним качество подводных бистатических каналов связи для двух вариантов приёмных систем. Пример результатов оценок вероятностей и СКО ошибок связи в «синем» подводном зимнем канале, заимствованный из [12], приведён на рис. 4.

На рис. 5 показан один из результатов оценки качества «синего» подводного бистатического канала ОЭСС во время экспериментов в феврале 2018 г. Как видим, качество «синего» канала в 2018 г. на порядок выше, чем в 2015 г. Если обратиться к геометрическим характеристикам схем формирования каналов связи, то в 2018 г.

Рис. 4. Аналогично рис. 3. «Синий» лазер и приёмник в воде, на уровне 10 см от нижней кромки льда. $L = 10$ м, $\alpha = 3^\circ$ и $\beta = 2^\circ$

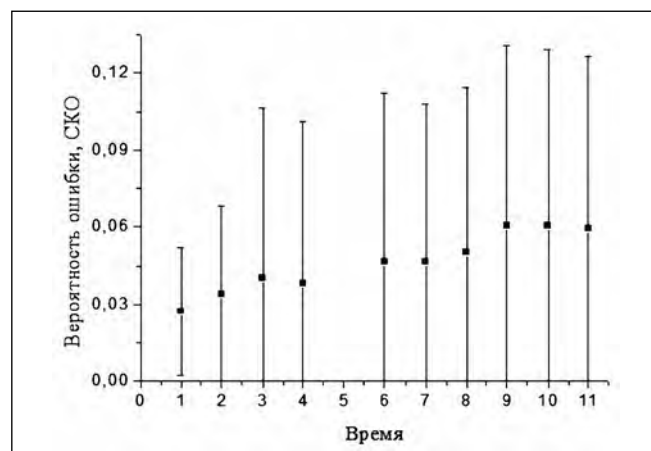


Рис. 5. Аналогично рис. 3 и 4. «Синий» лазер и приёмник в воде, на уровне 43 см от нижней кромки льда. $L = 10$ м, $\alpha = 31^\circ$ и $\beta = 25^\circ$

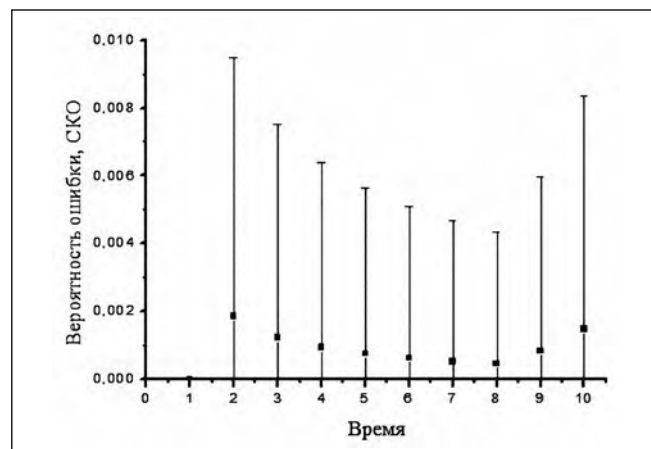
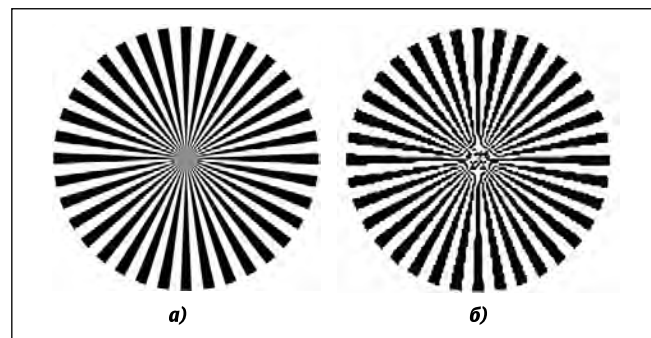


Рис. 6. Исходная секторная мира (а) и принятое её изображение (б)



они были менее оптимальны, чем в 2015 г. Углы α и β в первом случае соответствовали ситуации, когда приёмник ориентировался на источник, а во втором – на участок лазерного луча, удалённый от источника. Средняя мощность лазерного излучения во втором случае выше, чем в первом в 1,5 раза, но не даёт повышения качества канала связи на порядок. Следовательно, причина существенного повышения качества связи в 2018 г. состоит в использовании фотоумножителя УФК-4Г-2.

В 2018 г. проведены эксперименты по передаче по подводной бистатической ОЭСС информации в виде изображений плоского тестового объек-

та (секторная мира). На рис. 6 приведены изображения этого объекта для условий связи по рис. 5.

Заключение

Экспериментально подтверждена возможность создания функционирующих оптико-электронных систем бистатической подводной связи на рассеянном лазерном излучении в видимом диапазоне длин волн в озёрной воде при базовых расстояниях между источником и приёмником L до 40 м, что согласуется с результатами работы [11].

Есть основания полагать, что дальность действия таких ОЭСС может

доходить до сотен метров за счёт применения существенно более мощных лазерных источников и более чувствительных фотоприёмников. При этом нами показано, что использование современных фотоумножителей типа УФК-4Г-2 вместо ФЭУ-84 повышает качество связи на порядок.

Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках Приоритетного направления П.10, проект П.10.3.3 «Прямые и обратные задачи зондирования атмосферы и земной поверхности, атмосферная коррекция и коммуникационные оптико-электронные системы на рассеянном лазерном излучении».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов С., Огнев Б., Поляков С. Система оптической связи в водной среде // Первая миля.– 2014.– № 2. – С. 46–51
2. Arnon S., and Kedar D. Non-line-of-sight underwater optical wireless Communication network // J. Opt. Soc. Am. A. – 2009. Vol. – 26, No. 3. pp. 530–539.
3. Hanson F., Radic S. High bandwidth underwater optical communication // Appl. Opt. 2008. – Vol. 47, No. 2. – P. 277–283.
4. Ding H., Chen G., Majumdar A.K., Sadler B.M., Xu Z. Modeling of Non-Line-of-Sight Ultraviolet Scattering Channels for Communication // IEEE Journal on selected areas in communications.– 2009. – Vol. 27, No. 9. – P. 1535–1541.
5. Белов В.В., Тарасенков М.В. Три алгоритма статистического моделирования в задачах оптической связи на рассеянном излучении и бистатистического зондирования // Оптика атмосферы и океана.– 2016. – Т. 29, № 05. – С. 397–403.
6. Jagadeesh V.K., Choudhary A., Bui F.M., Muthuchidambaranathan P. Characterization of Channel Impulse Responses for NLOS Underwater Wireless Optical Communications / 2014 4th Int. Conf. on Advances in Computing and Communications (ICACC), Cochin, India, 27–29 Aug. 2014: IEEE, 2014. – P. 77–79.
7. Jasman F., Green R.J. Monte Carlo Simulation for Underwater Optical Wireless Communications / 2013 2nd Int. Workshop on Optical Wireless Communications, Newcastle upon Tyne, UK, 21–21 Oct. 2013. DOI: 10.1109/IWOW.2013.6777789.
8. Choudhary A., Jagadeesh V.K., Muthuchidambaranathan P. Pathloss analysis of NLOS Underwater Wireless Optical Communication channel // 2014 Int. Conf. on Electronics and Communication Systems (ICECS), Coimbatore, India, 13–14 Feb. 2014: IEEE, 2014. – P. 1–4.
9. Tang S, Dong Y, Zhang X. On Path Loss of NLOS Underwater Wireless Optical Communication Links / 2013 MTS/IEEE OCEANS –

Bergen, Norway, 10–14 June 2013: IEEE. DOI: 10.1109/OCEANS-Bergen.2013.6608002.

10. Gabriel C., Khalighi M., Bourennane S., Léon P., Rigaud V. Monte-Carlo-Based Channel Characterization for Underwater Optical Communication Systems // Journal of Optical Communications and Networking.– 2013. – Vol. 5, No. 1. – P. 1–12.

11. Doniec M., Angermann M., Rus D. An End-to-End Signal Strength Model for Underwater Optical Communications // IEEE Journal of Oceanic Engineering.– 2013. – Vol. 38, Iss. 4. – P. 743–757. DOI: 10.1109/JOE.2013.2278932.

12. Belov V.V., Abramochkin V.N., Gridnev Yu.V., Kudryavtsev A.N., Tarasenkov M.V., Fedosov A.V. Bistatic Optoelectronic Communication Systems: Field Experiments in Artificial and Natural Water Reservoirs // Atmospheric and Oceanic Optics.– 2017. – Vol. 30, No. 4. – P. 366–371. DOI: 10.1134/S1024856017040042.

13. Belov V.V. Optical communication on scattered laser radiation // Proc. SPIE.– 2017. – Vol.. 10466. CID:10466 0H. [10466–24].

14. Белов В.В., Тарасенков М.В., Абрамочкин В.Н., Иванов В.В., Федосов А.В., Гриднев Ю.В., Троицкий В.О., Димаки В.А. Атмосферные бистатистические каналы связи с рассеянием. Часть 2. Полевые эксперименты 2013 г. // Оптика атмосферы и океана.– 2014. – Т. 27, № 8. – С. 659–664.

15. Абрамочкин В.Н., Белов В.В., Гриднев Ю.В., Кудрявцев А.Н., Тарасенков М.В., Федосов А.В. Оптико-электронная связь в атмосфере на рассеянном лазерном излучении. Полевые эксперименты // Светотехника.– 2017.– № 4. – С. 24–30.

16. Суторихин И.А., Букастый В.И., Акулова О.Б. Спектральная прозрачность воды в разнотипных озёрах Алтайского края. – Барнаул: Изд-во АлтГУ, 2015.– 145 с.

17. Суторихин И.А., Букастый В.И., Литвиных М.Е., Эккердт К.Ю. Влияние взвешенного вещества на спектральную прозрачность озёр Алтайского края / Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы: Тезисы докладов XXII Международного симпозиума. – Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2016. – С. 93.



Белов Владимир Васильевич, доктор физ.-мат. наук, профессор. Окончил в 1971 г. ТГУ. Зав. лабораторией РОС ИОА СО РАН. Заслуженный деятель науки РФ. Область научных интересов:

теория переноса оптического излучения в рассеивающих и поглощающих средах, теория лазерного зондирования, теория видения, атмосферная коррекция аэрокосмических изображений земной поверхности, метод Монте-Карло, многократное рассеяние



Абрамочкин Владимир Николаевич, кандидат физ.-мат. наук. Окончил в 1992 г. Военно-воздушную инженерную академию им. Н.Е. Жуковского. Старший научный сотрудник ИОА СО РАН. Область

научных интересов: оптико-электронная связь



Гриднев Юрий Владимирович, инженер. Окончил в 1981 г. ТПИ. Научный сотрудник ИОА СО РАН. Область научных интересов: системное программирование



Кудрявцев Андрей Николаевич, инженер. Окончил в 2003 г. ТУСУР. Ведущий электроник ИОА СО РАН. Область научных интересов: измерители мощности лазеров, устройства стробирования лазера, электронные схемы, ПЛИСы, микроконтроллеры, сода

ры



Тарасенков Михаил Викторович, кандидат физ.-мат. наук. Окончил в 2007 г. ТГУ. Старший научный сотрудник ИОА СО РАН. Область научных интересов: анализ закономерностей формирования

изображений через атмосферу, атмосферная коррекция изображений в видимом и УФ диапазонах излучения, теоретические исследования по каналам связи вне прямой видимости



Федосов Андрей Васильевич, техник. Окончил Радиомонтажное училище. Техник ИОА СО РАН. Область научных интересов: электроника



Международная
светотехническая
корпорация



БООС ЛАЙТИНГ ГРУПП

ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ С **ЭМПРА** ПРИМЕНЯЮТСЯ
В ПРОМЫШЛЕННЫХ И СЕЛЕКЦИОННЫХ ТЕПЛИЦАХ, ЗИМНИХ САДАХ
И ОРАНЖЕРЕЯХ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ ОВОЩНЫХ, САЛАТНЫХ,
ЦВЕТОЧНЫХ И ДРУГИХ КУЛЬТУР



СРОК СЛУЖБЫ
БОЛЕЕ 10 ЛЕТ



СТЕПЕНЬ
ЗАЩИТЫ



КЛИМАТИЧЕСКОЕ
ИСПОЛНЕНИЕ – Y5



КЛАСС I



431900, Республика Мордовия,
п. Кадошкино,
ул. Заводская, 1



ketz@moris.ru
galad.ru



(83448) 2-31-21,
2-39-75, 2-32-40,
2-34-53

Компьютерное моделирование и рекомендации по реставрации 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

На базе предшествующих обследований авторами исторических окон главного здания ГМИИ им. А.С. Пушкина [1] с помощью сертифицированного программного комплекса проведён многовариантный анализ способов повышения эффективности существующих светопрозрачных конструкций. Разработаны рекомендации по реставрации исторических светопрозрачных конструкций, являющихся частью данного памятника культурного наследия, охраняемого государством.

Ключевые слова: реставрация, историческая светопрозрачная конструкция, рама, переплёт, импост, компьютерное моделирование, компьютерные расчёты, сопротивление теплопередаче, воздухопроницаемость, конденсат, рекомендации.

В результате обследований исторических светопрозрачных конструкций [1] стало очевидно, что они не соответствуют современным требованиям ни по сопротивлению теплопередаче, ни по воздухопроницаемости. При сохранении металлических рам (по закону об охране памятников культурного наследия и заданию Заказчика [2]) требовалось провести масштабные компьютерные расчёты по определению оптимальных вариантов реставрации окон.

Расчёт теплотехнических характеристик исторических и предлагаемых для реконструкции светопрозрачных конструкций, а также распределения температур на внутренних поверхностях остекления и профилей металлических рам проводился в соответствии с сертифицированным программным комплексом «WINDOW – TECT» (версия 2017) [3] при разных граничных условиях для каждого из сравни-

ваемых вариантов заполнения светопрозрачных конструкций.

Методика расчётов основана на моделировании стационарного процесса теплопередачи через строительные конструкции с использованием программного обеспечения для персональных компьютеров и теплотехнического расчёта фрагментов ограждающих конструкций зданий (включая светопрозрачные ограждения), их систем остекления и узлов примыкания оконных блоков к стеновым проёмам.

Данная методика позволяет осуществлять:

- сопоставительный анализ по приведённому сопротивлению теплопередаче вариантов светопрозрачных ограждающих конструкций разного назначения;

- выбор, на основе проведённых теплотехнических расчётов, оптимальных конструктивных решений;

- определение размеров зон одномерного и двумерного температурных полей светопрозрачных конструкций при подготовке к проведению испытаний в климатической камере;

- оценки температурного режима узлов примыкания оконных блоков к стеновым проёмам и выбора наиболее рационального конструктивного решения монтажных швов.

Для проведения расчётов были выбраны 6 следующих вариантов исполнения светопрозрачных конструкций:

1) существующая историческая светопрозрачная конструкция в соответствии с детальными обмерами в ходе натурных обследований; светопрозрачное заполнение – прозрачные стёкла М1 толщиной 6 мм в наружной и внутренней металлических рамах;

2) то же, что вариант 1, но светопрозрачное заполнение – солнцезащитное стекло толщиной 6 мм в наружной металлической раме и стекло с твёрдым теплоотражающим покры-

тием (К-стекло) толщиной 6 мм во внутренней металлической раме;

3) то же, что вариант 1, но светопрозрачное заполнение – солнцезащитное стекло толщиной 6 мм в наружной металлической раме и однокамерный стеклопакет 4–10Ar-4И с внутренним теплоотражающим стеклом во внутренней металлической раме;

4) то же, что вариант 1, но светопрозрачное заполнение – однокамерный стеклопакет с наружным солнцезащитным стеклом 4СЗ-10Ar-4 в наружной металлической раме и однокамерный стеклопакет 4–10Ar-4И с внутренним теплоотражающим стеклом во внутренней металлической раме;

5) то же, что вариант 1, но светопрозрачное заполнение – однокамерный стеклопакет с наружным солнцезащитным стеклом и внутренним теплоотражающим стеклом 4СЗ-10Ar-4И в наружной металлической раме и теплоотражающее стекло с мягким низкоэмиссионным покрытием с повышенной стойкостью к истиранию толщиной 6 мм во внутренней металлической раме;

6) наружная рама остаётся исторической, а внутренняя металлическая рама заменена на аналогичную по размерам, но изготовленную из современного стеклопластика; светопрозрачные заполнения – как в варианте 5.

Внутренние микроклиматические условия для расчётов принимались в соответствии с проектом реконструкции главного здания ГМИИ им. А.С. Пушкина (далее – ГМИИ): температура (20 ± 1) °С и относительная влажность воздуха (50 ± 5)%.

В расчётах для всех вариантов использовалась, согласно СП [4, табл. 3.1], температура наружного воздуха – 28 °С. Однако для варианта 1 и лучшего из вариантов 2–5 (по результатам предварительных расчётов) проводились оценки теплотехнических параметров ограждающих конструкций и при других температурах наружного воздуха: – 30, – 20, – 15, – 10, 0, + 10 и + 21 °С для варианта 1 и – 20, – 15, – 10 и 0 °С для варианта 5.

При проведении комплекса расчётов оценивались приведённое сопротивление теплопередаче для всех вариантов светопрозрачных конструкций и возможность образования кон-

денсата на внутренних поверхностях остекления.

Результаты компьютерных расчётов сведены в таблицу.

Из таблицы видно, что светопрозрачные конструкции, изготовленные в соответствии с вариантами 3 и 4 (строки 10 и 11) удовлетворяют теплотехническим требованиям всех действующих нормативных документов и являются лучшими по температуре остекления. Однако при установке стеклопакетов во внутреннюю металлическую раму из-за изменения режима поступления тепла в межстекольное пространство резко повышается вероятность появления конденсата на угловых элементах внутренней металлической рамы.

На основании проведённых исследований разных вариантов реконструкции исторических светопрозрачных конструкций эксперты предложили для использования вариант 5 (соответствующее распределение температур – на рис. 1).

По результатам многочисленных натуральных обследований исторических окон 1-го этажа основного здания ГМИИ были сделаны следующие основные выводы:

- исторические светопрозрачные конструкции требуют незамедлительной реконструкции;

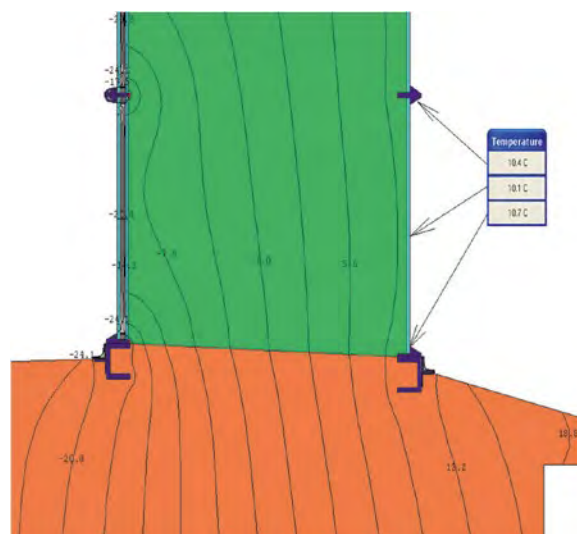
- характеристики светопрозрачных конструкций (приведённое сопротивление теплопередаче, воздухопроницаемость) не соответствуют действующим нормативным документам, а при условии сохранения исторических светопрозрачных конструкций достаточно сложно добиться выполнения требований действующих нормативных документов к приведённому сопротивлению теплопередаче [5], но значительное повышение их теплотехнической эффективности возможно;

- температура на внутренних поверхностях существующих исторических светопрозрачных конструкций ниже температуры точки росы практически при всех отрицательных температурах наружного воздуха, что вызывает обильный конденсат;

- конденсат, образующийся на внутренних поверхностях светопрозрачных конструкций в холодные периоды года, отрицательно влияет на произведения искусства, экспонируемые в музее;

- в светопрозрачных конструкциях, выходящих на восточные, южные

Рис. 1. Распределение температур по внутренней поверхности нижней части светопрозрачной конструкции, изготовленной по варианту 5, при наружной температуре воздуха минус 28 °С



и западные фасады главного здания ГМИИ, необходимо предусмотреть специальные солнцезащитные устройства и рассеивающие прямой солнечный свет шторы.

В связи с тем, что однозначным и неоспоримым требованием [2] является сохранение исторических светопрозрачных конструкций, установленных в 1912 г., основной целью разработанных нами рекомендаций стало восстановление и повышение эффективности металлических рам, исключение образования конденсата на внутренних поверхностях окон и защита произведений искусства от прямых солнечных лучей с использованием самых современных строительных технологий.

Разработанные рекомендации, основанные на результатах натуральных обследований и компьютерного моделирования разных вариантов остекления в исторических светопрозрачных конструкциях, разбиты на 6 разделов, связанных с совершенствованием отдельных элементов конструкции.

1. Реставрация металлических рам исторических светопрозрачных конструкций

Металлические рамы поражены масштабной коррозией. В этой связи при их реставрации (может быть, больше подходит слово «восстановление») ¹ необходимо:

¹ При этом эксперты опасаются, что некоторые детали рам не подлежат восстановлению и потребуют замены (в частности, наверняка нуждается во многих рамах в замене стальной уголок под нижней внутренней декоративной накладкой, наиболее подвергавшийся воздействию конденсата, а также нижние внутренние части главного вертикального импоста).

- демонтировать как внутренние, так и наружные рамы;

- провести их очистку от следов многочисленных покрасок, проведённых за последние сто лет;

- разобрать на составные части металлические рамы (в том числе, главный вертикальный импост, состоящий из значительного числа элементов);

- провести тщательную очистку от ржавчины и обработку современными антикоррозионными составами абсолютно *всех* элементов конструкций;

- при возможной замене исторических элементов «новоделами» в связи с полной невозможностью их восстановления исключить применение современных материалов, которые могут вступить в электрохимическую реакцию с историческими;

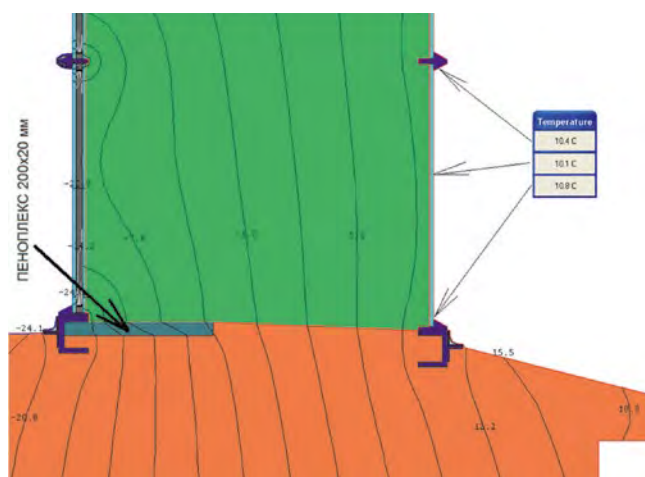
- новую окраску элементов металлических рам следует провести *только* после проведения указанных выше мероприятий.

2. Модернизация узлов примыкания

В настоящий момент светопрозрачные конструкции закреплены напрямую к стене, что повышает вероятность возникновения на них конденсата из-за негативного влияния ограждающих конструкций.

Необходимо провести теплоизоляцию исторических оконных рам от

Рис. 2. Утепление периметра наружной металлической рамы



ограждающих конструкций с использованием современных материалов.

С этой целью – после снятия для реставрации металлических рам (см. первую из наших рекомендаций) – следует провести штробление стен в зонах установки наружных металлических рам, установить в полученные пазы современный эффективный теплоизоляционный материал, например, пеноплэкс, и только потом устанавливать исторические светопрозрачные конструкции на место.

Рекомендуемое сечение теплоизоляционного материала – 200 (ширина) × 20 (глубина) мм. На рис. 2 приведён один из вариантов рекомендуемого утепления периметра светового проёма при реставрации исторических светопрозрачных конструкций.

3. Совершенствование герметизации исторических светопрозрачных конструкций

При монтаже восстановленных исторических светопрозрачных конструкций в световые проёмы необходимо обеспечить максимальную герметизацию внутренней металлической рамы, чтобы, по возможности, исключить поступление внутреннего влажного воздуха в межстекольное пространство с целью минимизации вероятности образования конденсата на внутренней поверхности наружной металлической рамы.

С этой же целью необходимо восстановить и отрегулировать историческую фурнитуру форточек (как в наружной, так и, особенно, во внутренней металлических рамах) и открывать их только в случаях крайней необходимости. Притворы форточек следует оборудовать современным са-

моклеющимся губчатым материалом (в настоящее время имеется море таких герметиков).

При проведении герметизации наружной металлической рамы следует предусмотреть продухи для обеспечения естественной вентиляции межстекольного пространства и доступа в холодный период года относительно сухого наружного воздуха с целью минимизации образования конденсата на внутренней поверхности наружной металлической рамы. Общая длина отверстий для обеспечения естественной вентиляции межстекольного пространства не должна превышать 1–3 % от общего периметра стыка окна с ограждающей конструкцией.

4. Совершенствование остекления исторических светопрозрачных конструкций

В ходе проведённых в рамках выполнения настоящей работы натурных [1] и компьютерных исследований в результате оценки 6 вариантов реконструкции исторических светопрозрачных конструкций был выбран вариант 6 (см. выше).

Именно этот вариант обеспечивает наилучшие температуры внутренних поверхностей остекления, исключаяющие возникновение конденсата при нормируемой в Москве температуре наружного воздуха: – 28 °С.

Приведённое сопротивление теплопередаче такой светопрозрачной конструкции будет составлять 0,58 м²·°С/Вт, что соответствует требованиям СП [5] (0,54 м²·°С/Вт) для климатических условий Москвы. Однако при введении в действие Изменения № 1 к вышеуказанному СП (что предполагается в ближайшее время)

нормируемое приведённое сопротивление теплопередаче окон будет составлять не менее 0,70 м²·°С/Вт.

В стеклопакете, который будет установлен в наружной металлической раме, рекомендуется использовать «тёплую» дистанционную рамку «SWIGGLE STRIP», которая минимально изменит внешний вид исторических светопрозрачных конструкций. Верхний цвет герметика можно выбрать чёрным (как у самой рамы), а толщину рамки – минимальной из всех других доступных вариантов.

Между стеклопакетом и металлической рамой следует установить стандартные пластиковые подкладки минимально возможной толщины, а закрепить стеклопакет следует одним из герметиков для структурного остекления по его периметру. Так же закреплять следует и стекло во внутренней металлической раме.

Полочка металлической рамы, куда будет установлен стеклопакет, имеет ширину 21 мм, поэтому невозможно использовать более эффективные пакеты, с дистанционными рамками шириной 12–16 мм. Однако и предлагаемый тип стеклопакета (4СЗ-10Аг-4И) толщиной 18 мм обеспечивает необходимые температуры на внутренней поверхности стекла.

В связи с тем, что в верхних четвертях исторической светопрозрачной конструкции на стекле установлены металлические накладки, следует предусмотреть установку между накладками и стеклом/стеклопакетом пористых лент на основе двустороннего скотча (на рынке имеется большой выбор таких материалов).

В случае необходимости для повышения безопасности возможно нанесение полимерной плёнки на стекло, расположенное во внутренней металлической раме так же, как это есть на данный момент.

5. Исключение образования конденсата на металлических переплётах

Одни из наиболее критичных с точки зрения образования конденсата элементов исторических светопрозрачных конструкций – металлические переплёты, особенно главный вертикальный массивный металлический импост.

Обобщённые результаты компьютерных расчётов вариантов реконструкции исторических светопрозрачных конструкций

$(R^{np}_o$ – приведённое сопротивление теплопередаче, t_n – температура наружного воздуха, $t_{ост}$ – температура по центру внутреннего стекла, $t_{рам}$ – температура внутренней поверхности металлической рамы)

Вариант остекления	R^{np}_o , м ² ·°С/Вт	t_n , °С	$t_{ост}$, °С	Возможность образования конденсата	$t_{рам}$, °С	Возможность образования конденсата
1	0,34	-30	-1,9	да	-1,1	да
		-28	-1,0		-0,4	
		-20	3,2		3,5	
		-15	4,8		5,5	
		-10	6,8		7,7	
		0	11,2	да**	11,5	да**
		10	15,6	нет	15,8	нет
		21	20,4		20,4	
2	0,38	-28	-0,8	да	-0,4	да
3	0,56	-28	13,0	нет	-8,0	
4	0,67	-28	14,6		-2,7	
5	0,58	-28	11,4	да**	10,4	да**
		-20	11,5		11,1	
		-15	12,6	нет	12,0	нет
		-10	13,6		13,1	
		0	16,1		15,6	
6	0,66	-28	5,8	да	12,8	

Примечания:

* – только в одной ситуации (температура воздуха: 19 °С, относительная влажность воздуха: 45 % – температура точки росы: -6,81 °С) исключено появление конденсата;

** – только в одной ситуации (температура воздуха: 21 °С, относительная влажность воздуха: 55 % – температура точки росы: -11,62 °С) возможно появление конденсата.

Практически при всех отрицательных температурах наружного воздуха на его внутренней поверхности также регистрировались минусовые температуры, что, несомненно, будет способствовать появлению на них конденсата, а в особо экстремальных ситуациях – инея.

Для улучшения температурного режима этого элемента конструкции предлагается установить на его невидимую часть в межстекольном пространстве специальную накладку, выполненную, например, из экструдированного вспененного ПВХ, окрашенную в чёрный цвет (чтобы она не выделялась на фоне металлической рамы) которая значительно повысит температуру на внутренней поверхности главного вертикального имп-

оста исторической светопрозрачной конструкции.

Согласно варианту 5, рекомендуемому к использованию при указанной реконструкции исторических светопрозрачных конструкций, необходимо с помощью аналогичных накладок утеплить главный вертикальный импост только наружной металлической рамы изнутри межстекольного пространства (рис. 3).

При большинстве отрицательных уличных температур возможно появление конденсата и на внутренних поверхностях основных переплётов внутренних металлических рам.

Нами предлагается скрытая от взгляда из помещения прокладка в межстекольном пространстве по периметру этих переплётов специальных

греющих шнуров. Рекомендуется использование регулируемых по температурным режимам шнуров из композитных материалов с максимальными температурами до 38 °С (на рынке есть много вариантов таких изделий).

Следует обеспечить свободную конвекцию тёплого воздуха от отопительных приборов, которые сегодня закрыты декоративными решётками и подоконниками. Для этого необходимо сделать перфорацию подоконников (установить в них специальные вентиляционные решётки, вариантов которых на рынке множество).

Одно из возможных решений проблемы повышения температуры внутренних поверхностей остекления и металлических рам – установка в межстекольном пространстве те-

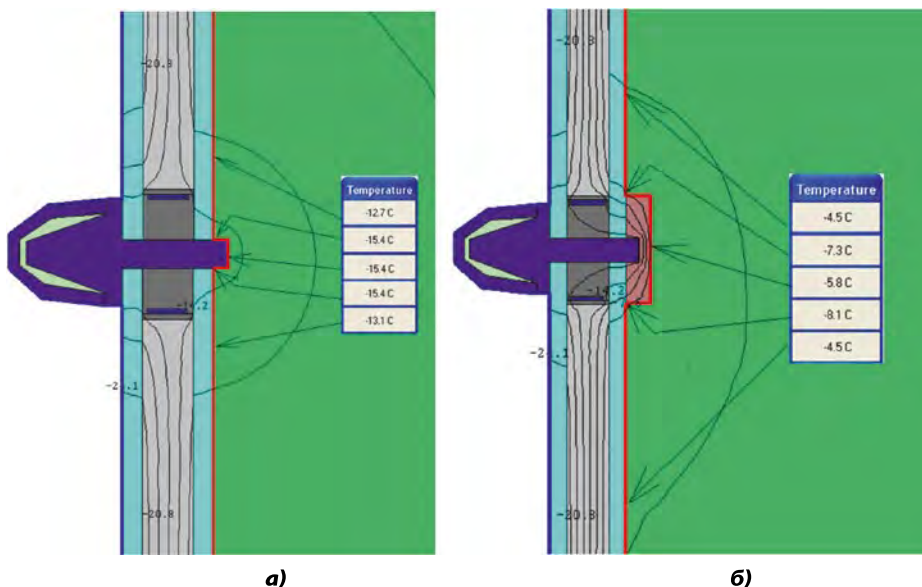


Рис. 3. Температурные поля в зоне главного вертикального импоста наружной металлической рамы без установленного нащельника (а) и с ним (б), рассчитанные по варианту 5

пловых конвекторов, но это представляется не самым лучшим решением вопроса исключения образования конденсата на остеклении.

6. Повышение визуального комфорта

Значительное число светопрозрачных конструкций главного здания ГМИИ ориентировано на солнечные румбы горизонта.

Помимо того, что чрезмерное поступление прямой и рассеянной солнечной радиации в помещения оказывает отрицательное действие на эффективность систем кондиционирования воздуха, прямой солнечный свет может негативно влиять на произведения искусства и мешать их восприятию.

В этой связи эксперты предлагают устанавливать в межстекольном пространстве специальные солнцезащитные шторы с электроприводом. Такие солнцезащитные устройства есть в производственных программах многих фирм.

Из-за того, что между внутренней и наружной металлическими рамами установлены металлические скобы, которые, помимо функции лестницы, играют роль связи между рамами, практически невозможно устанавливать целиковые солнцезащитные шторы – их будет необходимо делить на две части.

Авторы очень рассчитывают на то, что:

- проведённые исследования и разработанные рекомендации по реконструкции очень непростых исторических светопрозрачных конструкций одного из значительных федеральных памятников культуры, позволят привлечь внимание специалистов на необходимость учёта особенностей окон старых конструкций при реставрации старинных зданий, а также покажут основные направления этой работы;

- после проведения комплексной реконструкции фасады главного здания ГМИИ войдут в очередной сборник достижений Международного совета по сохранению памятников (англ. *International Council on Monuments and Sites*) [6], в которых отводится внимание и светопрозрачным конструкциям.

Авторы готовы участвовать в аналогичных работах и в других исторических зданиях – они достойны того, чтобы все их элементы, с одной стороны, соответствовали замыслу архитекторов, а с другой – отвечали современным требованиям по энергосбережению. Сегодня есть очень много возможностей с помощью современных оконных технологий дать новую жизнь старинным светопрозрачным конструкциям.

Огромную благодарность авторы приносят сотрудникам ООО «ГК «РО-БИТЕКС» Н. Румянцеву и И. Истоминой за помощь в расчётах и подготовке рекомендаций по реконструкции исторических светопрозрачных конструкций ГМИИ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Спиридонов А.В., Умнякова Н.П. Обследование состояния (общее и инструментальное) исторических светопрозрачных конструкций ГМИИ им. А.С. Пушкина // Светотехника – 2019. – № 1. – С. 39–43.
2. «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 Федеральным государственным унитарным предприятием «Центральные научно-реставрационные проектные мастерские»].
3. Руководство пользователя программным комплексом «WINDOW-TEST» в составе программ THERM, WINDOW. – М.: АПРОК-ТЕСТ, 2006 г., 140 с.
4. СП 131.13330.2012. «Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23–01–99».
5. СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий», Актуализированная редакция СНиП 23–02–2003.
6. International Charters for Conservation and Restoration. Chapter 1. Monuments and Sites. – ICOMOS, 2004. – 184 p. URL: http://openarchive.icomos.org/431/1/Monuments_and_Sites_1_Charters.pdf (дата обращения 20.09.2018).



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

Елисееву Николаю Петровичу – 75 лет!

Исполнилось семьдесят пять лет со дня рождения известного специалиста в светотехнике и замечательного педагога, доцента кафедры светотехники Национального исследовательского университета «МЭИ».

Елисеев Николай Петрович окончил Московский Энергетический институт в 1968 году и был оставлен в МЭИ для углублённого изучения французского языка. С 1969 по 1971 г. он работал ассистентом кафедры Теоретических основ электротехники МЭИ. После прохождения с 1971 по 1973 г.г. армейской службы Николай Петрович пришёл работать на кафедру светотехники, сначала в должности младшего научного сотрудника. В январе 1973 г. он стал ассистентом, а в 1986 г. – доцентом кафедры светотехники.

За 45 лет работы на кафедре, несмотря на «перестройки» и «реформы», обрушившиеся в последние десятилетия на нашу страну, Елисеев Н.П. подготовил высококвалифицированных специалистов в самых разных областях знаний: от электротехники – до фотометрии, источников оптического излучения и автоматизации управления освещением.

В течение многих лет Николай Петрович ведёт практические занятия по «Основам светотехники» и «Физиологической оптике», руководит выполнением расчётных заданий, закладывая фундамент светотехнических знаний у студентов младших курсов. Готовил бакалавров, инженеров и магистров, читая лекции и проводя практические занятия и лабораторные работы по разработанным им программам и электронным учебно-методическим комплексам по дисциплинам: «Пускорегулирующие аппараты и системы управления освещением», «Автоматизация исследований в светотехнике»,



«Тенденции развития источников света и пускорегулирующих аппаратов». В последние годы Николай Петрович уделяет большое внимание подготовке специалистов по светодиодным источникам света.

Николай Петрович руководит студентами, выполняющими выпускные бакалаврские работы, дипломные проекты и магистерские диссертации. Работы его воспитанников всегда отличает высокий уровень знаний и глубина проделанной ими исследовательской работы.

Елисеев Н.П. входит в состав Государственных экзаменационных комиссий по защитам выпускных работ бакалавров, дипломных проектов и магистерских диссертаций по специальностям «Светотехника и источники света» и «Квантовая и оптическая электроника». Как правило, студенты Николая Петровича получают за свои работы самые высокие оценки, однако, ещё более важно, что они становятся настоящими профессионалами и всегда тепло говорят о Николае Петровиче, называя его своим Учителем.

Николай Петрович более пятнадцати лет активно участвует в работе Центра подготовки и переподготовки «Прикладная светотехника», являясь на

них одним из лучших лекторов, увлекающих своими знаниями и темпераментом слушателей из разных регионов России. В настоящее время он является одним из организаторов и исполнителей выездных курсов повышения квалификации сотрудников лихославльского завода светотехнических изделий

Николай Петрович Елисеев активно участвует в научно-исследовательской работе кафедры. Результаты его исследований и разработок, в том числе и инновационных источников света, докладывались на отечественных и международных конференциях; по ним опубликовано более 50 научных публикаций, получены авторские свидетельства и патенты.

Елисеев Н.П. всегда занимает активную позицию в любых кафедральных делах. Присущие юбиляру глубина и вдумчивость, позволяют ему быть талантливым исследователем и отличным организатором. Он много лет был профоргом кафедры, членом группы народного контроля факультета, заместителем декана ЭТФ, уже многие годы успешно возглавляет отдел «Источники света и ПРА» кафедры.

Мы поздравляем мудрого педагога, талантливого инженера и умелого исследователя Елисеева Николая Петровича с юбилеем и желаем ему здоровья и творческих успехов. От души поздравляем также его жену – опытного преподавателя МВТУ имени Н.Э. Баумана и дочь – выпускницу кафедры, отличного светотехника и психолога МЧС с таким важным событием в семье.

*Редколлегия,
сотрудники кафедры
светотехники НИУ «МЭИ»
и многочисленные ученики.*

Облучательная установка с УФ диодами и микропроцессорной системой автоматического управления дозой

Р.Г. БОЛЬШИН¹, Н.П. КОНДРАТЬЕВА^{2*}, М.Г. КРАСНОЛУЦКАЯ¹

¹НОУ ДПО «УНИЦ «Омега» и ²ИжГСХА, Ижевск

* E-mail: aep_isha@mail.ru

Аннотация

Сообщается о разработке и апробации облучательной установки с УФ диодами для предпосевной обработки семян хвойных культур, снабжённой – для поддержания требуемой дозы УФ облучения – оригинальной микропроцессорной системой автоматического регулирования дозы.

Ключевые слова: микропроцессорная система, автоматическое регулирование дозы, УФ облучение семян, хвойные культуры, УФ диоды, доза УФ облучения.

Введение

Воздействие человека на природу не всегда положительно, и возникает необходимость в разработке и применении специальных мер для сохранения биологических ресурсов Земли, в том числе хвойных культур. В конце 1993 г. вступило в действие международное соглашение «Конвенция о биологическом разнообразии». В России основные положения Конвенции отражены в программах «Биологическое разнообразие лесов России» (1995) и «Леса России» (1997). Для реализации этих программ в 2006 г. был принят Лесной кодекс, в котором говорится, что для воспроизводства лесов должны использоваться лишь сортовые семена [1–3].

Из всего многообразия способов активации ростовых процессов семян мы выбрали предпосевную обработ-

ку, потому что этот способ основан на природных механизмах и, соответственно, не причиняет вреда здоровью людей и относительно дешёв. К тому же, анализ литературы показал, что обработка семян сельскохозяйственных растений УФ облучением (УФО) даёт положительные результаты, заключающиеся в повышении всхожести и сокращении расхода семян, получении дружных всходов [4–7].

Наиболее распространённые источники излучения для УФО – экологически опасные ртутные лампы НД и ВД, а возможность УФО с помощью современных УФ диодов (УФД), в том числе с использованием программируемых логических контроллеров для поддержания требуемой дозы УФО, изучена недостаточно. Особенно это касается УФО семян хвойных культур¹, и в первую очередь ели финской.

Известно, что механизм взаимодействия УФ излучения с семенами заключается в значительном ускорении синтеза функционально активных веществ путём активации фенольного метаболизма в клетках растений [10]. Поэтому исследования по повышению производительности лесных земель благодаря повышению всхожести посадочного материала с помощью предпосевного УФО семян деревьев и кустарников имеют большую научную и практическую перспективу. В то же время конкретные дозы УФО во многом носят региональный характер, так

как изменения, происходящие в растительных клетках под действием УФ излучения, зависят от вида ткани, стадии развития биологического организма, его генотипа, селекционного материала, а также от длительности периода облучения. Только малые дозы УФО, провоцируя свободнорадикальные реакции, ускоряют биосинтез ферментов [11].

В отношении семян ели финской влияние УФ излучения изучено недостаточно. Поэтому разработка экологичной (безртутной) УФ облучательной установки на базе УФД с микропроцессорной системой автоматического управления (МСАУ) дозой УФО для предпосевной обработки семян этой хвойной культуры – актуальная задача. Соответственно, целью настоящей работы была разработка такой облучательной установки, позволяющей экспериментально определять наиболее эффективную по всхожести семян ели дозу УФО.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи: 1) разработать УФ облучательную установку на базе УФД с МСАУ дозой УФО; 2) провести испытания этой установки на эффективность предпосевной обработки семян ели финской.

Основная часть

В работах проф. Д.А. Корепанова и его аспирантов по повышению грунтовой всхожести семян декоративных культур использовалась УФ КЛЛ типа *LH26-FS/BLB/E27* бренда «*Camelion*», с широким спектром излучения в зоне УФО-А (315–400 нм), [12–19]. А в наших опытах использовались УФД типа *3528 UV SMD LED* (полоса излучения 395–400 нм) бренда «*Hyelesiontek*» (табл. 1) и изучалось влияние на всхожесть семян ели финской, соответственно, крайнего правого участка этой зоны.

Для этого была разработана соответствующая УФ облучательная

¹ Хвойные культуры задерживают пыль в 30 раз больше, чем осина, в 12 раз больше, чем берёза, а фитонцидов выделяют в 2 раза больше, чем лиственные породы. Поэтому для озеленения городов более целесообразно использовать именно хвойные культуры – вечнозелёные, неприхотливые, более долговечные, чем лиственные, и сохраняющие свои декоративные свойства круглый год [8–10].

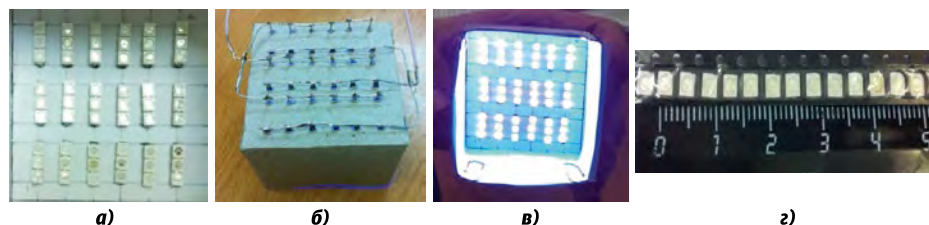


Рис. 1. Расположение (а), крепление и пайка (б), включённое состояние (в) и размеры (z) УФ диодов в облучательной установке

Таблица 1

Технические данные УФ диода

Производитель	<i>Hyelesiontek</i>
Диапазон длин волн, нм	395–400
Тип линзы	сферическая
Тип корпуса	<i>SMD3528</i>
Поток излучения, мВт	10
Напряжение на диоде, В	3,0–3,4
Ток диода, мА, менее	15
Размеры, мм	3,5 × 2,8 × 1,9



Таблица 2

Исследуемые дозы УФ облучения

Время экспозиции	Доза УФ облучения	Время экспозиции	Доза УФ облучения
мин	кДж/м ²	мин	кДж/м ²
Семена ели финской 2 класса качества		Семена сосны обыкновенной 3 класса качества	
18	11,9	18	11,9
22	14,5	25	16,5
26	17,2	30	19,8

Рис. 2. УФ облучатель и прибор «ТКА – ПКМ»

установка для обработки семян [19–21]. УФ облучатель установки (рис. 1 и 2) имел размеры 50×40×40 мм и общую мощность около 1,6 Вт. Для достаточно интенсивного и равномерного облучения в нём использовался модуль из 54 указанных маломощных УФД.

Для измерения облучённости на рабочей поверхности использовался прибор комбинированный «ТКА – ПКМ» (рис. 2). При высоте подвеса облучателя 2 см («рабочей») она составляла 1,6 Вт/м².

Таблица 3

Результаты экспериментов

Номер варианта	Время облучения, мин	Всхожесть, %	Плесень, %	Не взошло, %	Повышение всхожести, %
Семена ели финской 2 класса качества					
Контроль	0	62	4	38	-
2	18	86	0	14	+24
3	22	74	6	20	+12
4	26	80	4	16	+18

Далее, учитывая, что при облучении семян разных культур необходимо автоматически поддерживать наиболее эффективную для них дозу УФО, например, с помощью программируемых логических контроллеров, мы – на базе платы «*Arduino uno*» – создали МСАУ дозой УФО. В плату вмонтирован микроконтроллер *ATmega328*, достоинством которого является удобство написания алгоритма программы на ПК и удобство загрузки программы в микроконтроллер. В последний загружается протокол «*Firmata*» для коммуникации между микроконтроллером и программным обеспечением, установленным на ПК. Все исходные данные находятся в программе, написанной на ПК в среде программирования «*Processing*». ПК (посредством *USB*-интерфейса) обменивается данными с платформой «*Arduino*» и управляет микроконтроллером [19–24].

Для поддержания требуемой дозы УФО необходимо корректировать время работы УФО, для чего исполь-

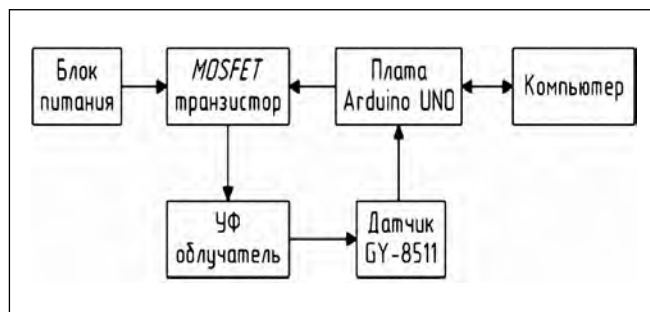


Рис. 3. Структурная схема микропроцессорной системы управления (МСАУ) дозой УФ облучения

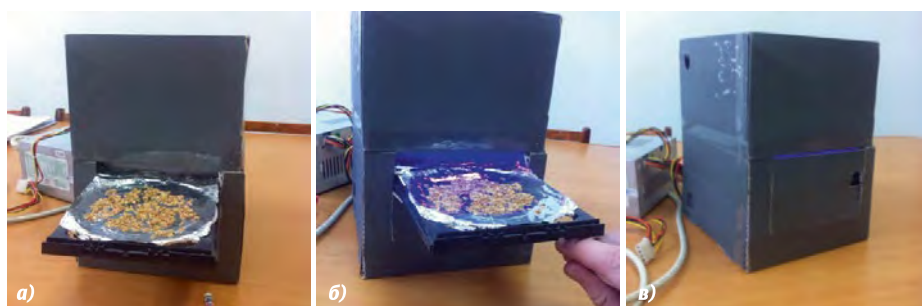


Рис. 4. УФ облучательная установка:

а – семена подготовлены к облучению; б – УФ диоды включены и через мгновение лоток задвинется внутрь установки; в) идёт облучение семян

зается подходящий датчик излучения в указанном спектральном диапазоне, при помощи которого МСАУ (рис. 3) отслеживает изменение облучённости.

Для усиления сигнала применены полевые транзисторы (тип STP16NF06). Транзистор в зависимости от задания, которое ему передаёт микроконтроллер, управляет проходящим током, приводя этим в действие УФ облучатель [25–27]. В результате семена в этой компактной УФ установке (рис. 4) облучались.

Результаты и их обсуждение

Испытания энергоэффективной компактной и экологичной облучательной установки с УФ диодами проведены в январе 2017 г. в Автономном учреждении Удмуртской республики «Удмуртлес» на семенах ели финской и сосны обыкновенной. Количественные показатели энергии прорастания и всхожести семян определялись по ГОСТ 13056.6–97 «Семена деревьев и кустарников». Результаты приведены в табл. 2 и 3. Они показали, что

УФ излучение на длинах волн 395–400 нм положительно действует на семена ели финской, повышая её класс качества со 2-го в 1-й, а разработанная УФ облучательная установка является энергоэкономичной и экологичной (безртутной).

Заключение

Разработана энергосберегающая экологичная УФ облучательная установка с МСАУ дозой УФО, предназначенная для обработки семян перед посевом.

Выявлена наиболее эффективная доза УФО облучения, которая повышает класс качества семян.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Краснолуцкая М.Г., Кондратьева Н.П., Романов В.Ю., Чефранова М.Н., Нуреева Т.В., Корепанов Д.А. Большин Р.Г. Перспективы использования электротехнологии для повышения посевных качеств семян УФ излучением // Известия Международной академии аграрного образования. – 2015. – Т. 1, № 24. – С. 10–13.
2. Кондратьева Н.П., Духтанова Н.В., Краснолуцкая М.Г., Литвинова В.М., Большин Р.Г. Компактная светодиодная ультрафиолетовая облучательная установка для предпосевной обработки семян хвойных растений // Вестник ВИЭСХ. – 2017. – № 2 (27). – С. 62–69.
3. Краснолуцкая М.Г. Кондратьева Н.П., Белов В.В., Большин Р.Г. Электротехнологии и электрооборудование, обеспечивающие оптимальный состав фотосинтетически активной радиации для растений защищённого грунта // Известия Международной академии аграрного образования. – 2015. – Т. 1, № 25. – С. 111–114.
4. Краснолуцкая М.Г., Кондратьева Н.П., Большин Р.Г. Энергоэффективные энергосберегающие светодиодные облучательные установки // Вестник ВИЭСХ. – 2016. – № 3 (24). – С. 48–53.
5. Краснолуцкая М.Г. Кондратьева Н.П., Коломиец А.П., Большин Р.Г. Повышение эффективности светодиодный фитоустановок (LED-фитоустановок) в защищённом грунте // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – № 4 (49). – С. 59–69.
6. Стерхова Т.Н., Кондратьева Н.П., Корнаухов П.Д., Кондратьева М.Г. Триер с УФ излучателем / Патент № 2589781 РФ. 2016. Бюл. 10.
7. Васенев Е.А., Романов В.Ю., Корепанов Д.А., Кондратьева М.Г., Нигматуллин С.И. Механизм подъёма (опускания) источника излучения устройства для предпосевной обработки семян / Патент на ПМ № 150044 РФ. 2015. Бюл. 3.
8. Кондратьева Н.П., Корепанов Д.А., Краснолуцкая М.Г., Большин Р.Г. Предпосевная обработка семян декоративных растений хвойных пород ультрафиолетовым

излучением / Инновации в сельском хозяйстве. – 2017. – № 2 (23). – С. 45–54.

9. Кондратьева Н.П., Краснолуцкая М.Г., Зембеков Ю.С., Большин Р.Г. Светодиодная УФ установка для облучения семян // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. – 2017. – № 19. – С. 269–272.

10. Дубров А.П. Действие ультрафиолетовой радиации на растения. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 124 с.

11. Рогожин В.В. Физиолого-биохимические механизмы формирования гипобиотических состояний высших растений / Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – Иркутск, 2000. – 59 с.

12. Корепанов Д.А., Романов В.Ю., Лоценов П.Ю., Богатырёв М.Д. Влияние длинноволнового УФ облучения на превышение посевных качеств семян PINUS SILVESTRIS L // Лесотехнический журнал. – 2014. – Т. 4, № 1(13). – С. 27–30.

13. Корепанов Д.А., Романов В.Ю., Васенев Е.А., Нигматуллин С.И. Установка для повышения посевных качеств семян длинноволновым УФ облучением // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. – 2014. – № 1 (21). – С. 62–68.

14. Пигалин Д.И., Корепанов Д.А., Гончаров Е.А. Улучшение морфофизиологических показателей туи западной под влиянием УФ облучения / Международная молодёжная научная конференция по естественнонаучным и техническим дисциплинам «Научному прогрессу – творчество молодых»: материалы и доклады: в 3 частях. – Поволжский государственный технологический университет (Йошкар-ола), 2013.

15. Корепанов Д.А., Чиркова Н.М., Бывальцев А.В., Украинцев В.С. Повышение грунтовой всхожести семян декоративных растений УФ-облучением // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. – № 3 (32). – С. 76–78.

16. Кондратьева Н.П., Корепанов Д.А., Бывальцев А.В., Перевозчиков Е.А. Ультрафиолетовое облучение семян декоративных растений туи западной и ели колочей // Известия Международной академии аграрного образования. – 2011. – № 12. – С. 13–15.

17. Украинцев В.С., Корепанов Д.А., Кондратьева Н.П., Бывальцев А.В. Влияние УФ облучения на повышение посевных качеств семян хвойных пород // Вестник Удмуртского университета. Серия: Биология. Науки о Земле. – 2011. – № 1. – С. 132–137.

18. Корепанов Д.А., Бывальцев А.В., Украинцев В.С., Караваяев Е.С. Повышением посевных качеств семян хвойных пород ультрафиолетовым облучением // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2010. – № 4 (25). – С. 34–38.

19. Кондратьева Н.П., Большин Р.Г., Краснолуцкая М.Г., Зембеков Ю.С. Энергосберегающая установка для УФ облучения семян перед посевом / Материалы XIII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики» в рамках IV Всероссийского светотехнического форума с международным участием / Отв. ред. О.Е. Железникова. – Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2017. – С. 40–45.

20. Кондратьева Н.П., Краснолуцкая М.Г., Зембеков Ю.С., Большин Р.Г. Светодиодная УФ установка для облучения семян / Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства: Мосоловские чтения: материалы международной научно-практической конференции. – Марийский государственный университет (Йошкар-Ола), 2017. – С. 269–271.

21. Кондратьева Н.П., Большин Р.Г., Краснолуцкая М.Г., Ильясов И.Р., Зембеков Ю.С., Литвинова В.М. Разработка структурной схемы и алгоритма работы ультрафиолетовой светодиодной облучательной установки // Агротехника и энергообеспечение. – 2017. – № 3 (16). – С. 50–57.

22. Большин Р.Г., Ильясов И.Р., Кондратьева Н.П., Корепанов Р.И., Краснолуцкая М.Г., Литвинова В.М., Филатова О.М. Разработка микропроцессорной системы дозирования фотосинтетически активной радиации // Вестник НГИЭИ. – 2017. – № 9 (76). – С. 46–56.

23. Краснолуцкая М.Г. Программа для системы автоматического регулирования параметров микроклимата в помещениях / Свид. о гос. рег. программ для ЭВМ 2016617931 РФ, 2016.

24. Кондратьева Н.П., Большин Р.Г., Краснолуцкая М.Г., Корепанов Р.И., Ильясов И.Р., Литвинова В.М., Сомова Е.Н. Результаты опытов по дозированию фотосинтетически активной радиации микропроцессорной системой, управляющей работой LED фитоустановками // Вестник ВИЭСХ. – 2017. – № 3 (28). – С. 56–64.

25. Кондратьева Н.П., Большин Р.Г., Краснолуцкая М.Г., Корепанов Р.И., Ильясов И.Р., Батурин А.И., Литвинова В.М., Филатова О.М. Разработка микропроцессорных систем автоматического управления работой светодиодных облучательных установок // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 4 (53). – С. 72–80.

26. Кондратьева Н.П., Корепанов Р.И., Ильясов И.Р., Большин Р.Г., Краснолуцкая М.Г., Сомова Е.Н., Маркова М.Г. Эффективность микропроцессорной системы

автоматического управления работой светодиодных облучательных установок / Сельскохозяйственные машины и технологии. 2018. Т. 12. № 3. С. 32–37.

27. Кондратьева Н.П., Владыкин И.Р., Баранова И.А., Юран С.И., Батурин А.И., Большин Р.Г., Краснолуцкая М.Г. Разработка системы автоматического управления электрооборудованием для реализации энергосберегающих электротехнологий / Вестник НГИЭИ. 2018. № 6 (85). С. 36–49.



Большин Роман Геннадьевич,

кандидат техн. наук. Окончил в 2004 г. Ижевскую государственную сельскохозяйственную академию. Преподаватель Негосударственного

образовательного учреждения дополнительного профессионального образования «Учебно-научный инновационный центр «Омега» (НОУ ДПО «УНИЦ «Омега»). Область научных интересов: сельскохозяйственная светотехника, микропроцессорные системы управления, информационные системы, электробезопасность



Кондратьева Надежда Петровна,

доктор техн. наук, профессор. Окончила в 1978 г. Челябинский институт механизации и электрификации сельского хозяйства.

Зав. кафедрой «Автоматизированный электропривод» Ижевской государственной сельскохозяйственной академии (ИжГСХА). Имеет свою научную школу в области сельскохозяйственной светотехники и занимается разработкой энергосберегающих световых технологий для предприятий АПК. Имеет звание «Почётный работник высшего профессионального образования Российской Федерации»



Краснолуцкая Мария Геннадьевна,

кандидат техн. наук. В 2013 г. окончила ИжГСХА. Преподаватель НОУ ДПО «УНИЦ «Омега». Область научных интересов: сельскохозяйственная све-

тотехника, энергосбережение в светотехнике

Физики из МФТИ открыли в полупроводниках эффект, ранее считавшийся невозможным

Исследователи из МФТИ обнаружили, что суперинжекция возможна и в гомоструктурах. Это открывает принципиально новые возможности в создании световых источников. Игорь Храмцов и Дмитрий Федянин из лаборатории нанооптики и плазмоники Центра фотоники и двумерных материалов МФТИ сделали открытие, позволяющее кардинальным образом изменить взгляд на принципы построения светоизлучающих устройств. Они выяснили, что для достижения суперинжекции достаточно использовать лишь один материал, причём можно использовать большинство известных полупроводников.

«Если в случае кремния и германия для суперинжекции требуются криогенные температуры, что ставит под вопрос ценность этого эффекта, то в таких материалах, как алмаз и нитрид галлия, сильная суперинжекция может наблюдаться уже при комнатной температуре», – отмечает Дмитрий Федянин.

Согласно опубликованной статье, суперинжекция в алмазном диоде позволяет превзойти предел максимальной, как ранее считалось, концентрации электронов в алмазе в 10 тысяч раз. Таким образом, на основе алмаза можно создать, например, ультрафиолетовые светодиоды, которые будут в тысячи раз ярче, чем предсказывали самые оптимистичные теоретические расчёты, выполненные ранее.

Благодаря тому, что суперинжекция может наблюдаться в гомоструктурах на основе многих полупроводниковых материалов – начиная от хорошо известных нитрида галлия и карбида кремния и заканчивая недавно открытыми двумерными материалами, – этот эффект открывает новые возможности для создания высокоэффективных синих, фиолетовых, ультрафиолетовых и белых светодиодов; источников излучения для оптической передачи данных по воздуху (Li-Fi); новых видов лазеров; передатчиков для квантового интернета; а также оптических устройств для ранней диагностики заболеваний.

www.naked-science.ru



Международная
светотехническая
корпорация



БООС ЛАЙТИНГ ГРУПП



МЫ РИСУЕМ СВЕТОМ!

В Красноярске в августе 2018 года была запущена архитектурная светодинамическая подсветка Коммунального моста. Это – первый железобетонный мост в стране и визитная карточка города. В реализации проекта участвовали сразу несколько компаний, входящих в состав МСК «БЛ ГРУПП». Благодаря установке светодиодных RGBW-прожекторов со специальной оптикой, архитектурное освещение позволяет реализовать 8 цветодинамических сценариев. Посвящённые различным торжествам программные сценарии разрабатывались в формате видеорядов, в которых поочерёдно менялись различные цвета. Их список можно дополнять бесконечно, ведь оборудование позволяет использовать до 16 миллионов цветов.



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



bl-g.ru



+7 (495) 785-20-95

На фото: Коммунальный мост, г. Красноярск.

Воссоздание тибетского традиционного освещения в современной библиотеке¹

С. ЧЖАО^{1*}, С. ЧЖАН², К. ЦУЙ³

¹ Компания *Brandston Partnership Inc.*, Нью-Йорк, США,

² Школа архитектуры Университета Цинхуа, Пекин, КНР,

³ Компания *China Architecture Design & Research Group*, Пекин, КНР.

* E-mail: zhaoxf07@gmail.com

Аннотация

В статье описан основанный на результатах проведённых исследований процесс проектирования освещения библиотеки уезда Юйшу, новой библиотеки, которая была построена после землетрясения 2010-го года. Целью проекта было воссоздание традиционного для Тибета освещения в этой современной библиотеке, не жертвуя при этом функциональностью освещения. Проведённые исследования включали в себя анализ литературных данных, посещение объекта и проведение измерений, опрос пользователей и моделирование естественного освещения.

Ключевые слова: проект освещения, традиционная тибетская архитектура, оценка освещения, моделирование естественного освещения.

1. Предыстория проекта

1.1. Реконструкция после землетрясения

В 2010 году в уезде Юйшу провинции Цинхай Тибетского автономного округа Китая произошло землетрясение магнитудой 6,9. В г. Гьегу, столице уезда Юйшу, были разрушены 85 % зданий. План восстановления разрушенных землетрясением зданий включал в себя библиотеку, театр, кинотеатр и культурный центр. Библиотека уезда Юйшу (далее – библиотека Юйшу) была спроектирована и построена как центральный элемент реконструкции города и уезда после землетрясения [1].

1.2. Уникальное традиционное архитектурное освещение

В Китае Юйшу относят к климатической зоне I по освещению, характе-

ризующейся равным 28000 лк средним значением естественной освещённости [2]. Находясь на высоте 3700 м, Юйшу имеет суровый горный субарктический климат с 2496 солнечными часами в год (солнечным называют период, на протяжении которого величина прямой солнечной облучённости превышает пороговое значение 120 Вт/м² [3]). Холодный климат, большие перепады температуры днём и ночью и сильное ультрафиолетовое излучение исторически привели к преобладанию замкнутых архитектурных форм с уменьшающими потери тепла маленькими окнами и толстыми стенами и с атриумами, обеспечивающими попадание дневного света в общественные здания [4]. Эта традиционная архитектурная форма влечёт за собой особое освещение, которым ежедневно пользуются местные жители, причём 97 % из них являются тибетцами, повседневная жизнь которых основана на тибетской культуре. Новая библиотека Юйшу, предназначенная для местных жителей, должна обеспечивать их всеми преимуществами современной библиотеки, оставаясь в рамках традиционной тибетской архитектуры по своим геометрическим очертаниям, внутренней мебелировке и освещению. Это библиотека Юйшу и для Юйшу, и она не должна походить на библиотеки Пекина, Нью-Йорка или Лондона.

1.3. Проектная задача

Проблема очевидных различий между новым и традиционным архитектурным освещением постоянно сопутствует проектам реконструкции Юйшу после землетрясения. Новые общественные здания придерживались традиционных пространственных форм и стилей оформления, тогда как их освещение организовывали в соответствии с действующими в Китае нормативными документами: стан-

дарту на естественное освещение зданий *GB/T 50033–2013* и стандарту на освещение зданий *GB50034–2013* [5, 6]. Просто придерживаясь этих стандартов, разработчики ряда проектов обеспечили в некоторых новых зданиях избыточное естественное или искусственное освещение. Это привело к увеличению уровней освещённости и уменьшению яркостного контраста, что вступает в противоречие с традиционным для Тибета освещением.

В случае искусственного освещения, согласно стандарту *GB50034–2013* [6], в читальных залах библиотек освещённость должна составлять 300 лк. Согласно рекомендациям, приведённым в Справочной книге по светотехнике Северо-американского светотехнического общества [7], уровень освещённости в библиотеке при чтении/учёбе должен составлять 300–500 лк. А согласно стандарту *GB/T 50033–2013* [5], в читальных залах библиотек коэффициент естественной освещённости (КЕО) должен составлять не менее чем 2 %. В разделе 2.2.1 английского руководства [8] говорится, что «При меньшем чем 2 % среднем значении КЕО комната выглядит мрачной, и в ней, скорее всего, будет часто использоваться искусственное освещение». Стандарт *GB/T 50033–2013* [5] гармонизирован с [8].

Возникает вопрос: если удастся количественно описать традиционное освещение, то можно ли будет таким образом спроектировать современное освещение, чтобы оно приблизилось к традиционному? И именно этот вопрос мы задали в начале этого основанного на результатах проведённых исследований проектирования.

2. Связь между новой библиотекой и традиционным молельным домом

2.1. Библиотека Юйшу

Библиотека Юйшу имеет 4 этажа общей площадью 4300 м². Архитекторы учли особенности традиционной тибетской архитектуры и использовали её архитектурные элементы, в том числе маленькие окна и атриум, послужившие базой для дальнейшего проектирования, целью которого являлось воссоздание традиционного освещения. Размеры окон увеличива-

¹ Перевод с англ. Е.И. Розовского

Читальные зоны библиотеки Юйшу

Читальная зона	Количество мест, шт.	Источник естественного света	Может ли естественное освещение обеспечить нормируемую освещённость 300 лк?
Атриум, центр	24	Клерестория атриума	Нет
Атриум, периметр	72	Клерестория атриума	Нет
Стенная ниша	76	Боковые окна	Да

ются от основания до верха здания, а атриум представляет собой ключевое пространство библиотеки с клересторией² в качестве основного источника естественного освещения (рис. 1). В библиотеке предусмотрены три читальные зоны (табл. 1).

2.2. Выбор варианта традиционного тибетского освещения

Традиционная тибетская архитектура – это широкое понятие, включающее в себя общественные культовые здания и частные жилые дома, из которых лучше всего изучены тибетские буддийские монастырские здания. Монастыри объединяли в себе религиозное самосознание, эстетические представления, местные особенности и прогрессивные для своего времени строительные технологии [4]. Из всех зданий тибетских монастырей, моленные дома являются наиболее значимыми местами религиозной активности, в которых монахи молятся³ ежедневно, а прихожане – во время религиозных праздников. Зрительные задачи, реализуемые в молельном доме, аналогичны задачам, которые стоят перед посетителями библиотек. По своему предназначению и геометрии пространства центральная молитвенная зона аналогична атриуму библиотеки Юйшу.

Традиционное тибетское освещение является результатом реакции архитекторов на местный климат и культурные традиции. Для систем освещения традиционных тибетских зданий

Рис. 1. Физическая модель библиотеки Юйшу (слева) и система окон (справа)



характерны маленькие окна в толстых стенах, обеспечивающая поступление дневного света клерестория, высокий яркостной контраст, низкая средняя освещённость и наличие тёмных зон. В типичных молельных домах явно прослеживаются пути поступления дневного света. В большинстве молельных домов дневной свет поступает в молельную зону через поднятую над крышей клересторию.

Рассматриваемый главный молельный дом находится в монастыре Дамкар (*Damkar Monastery*), построенном примерно в 1190 г. (династия Сун) и использовавшимся для проведения местных религиозных праздников и для повседневных молитв. Главный молельный дом и библиотека Юйшу предназначены для выполнения одних

и тех же зрительных задач и имеют одинаковые пути поступления дневного света. Оценка освещения главного молельного дома монастыря Дамкар осуществлялась посредством выезда на место, проведения измерений, опроса и моделирования.

3. Методика: мост между исследованиями и практикой проектирования

Целью проекта было воссоздание традиционного освещения в новой библиотеке на основе результатов оценки освещения традиционного молельного дома. Метод был разработан применительно к общему случаю, когда оценку соблюдения местных традиций и правильности использования архитектурных элементов производят как пользователи, так и проектировщики новых зданий. Методика состоит из следующих этапов:

а) количественное описание традиционного естественного освещения посредством моделирования и полевых измерений;

² Клересторией в архитектуре называют поднятую выше окружающих крыш центральную часть здания с окнами, через которые в здание поступал свет. – Прим. пер.

³ В оригинале используется термин «*chanting*», означающий ритуальные песнопения или чтение нараспев. В переводе для простоты используется термин «молитва» и его производные. – Прим. пер.

Рис. 2. Методологическая схема основанного на результатах исследований проектирования

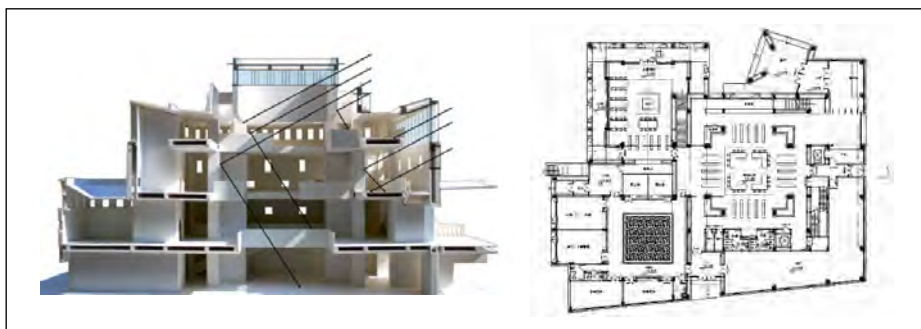
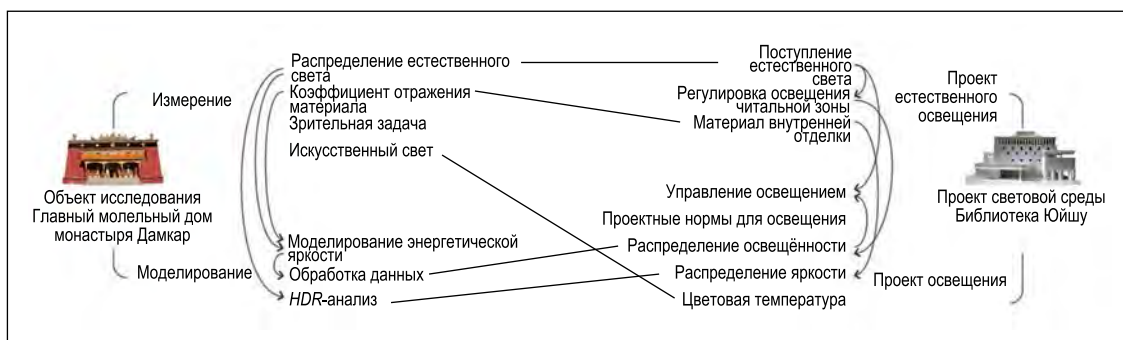


Рис. 3. Поперечное сечение библиотеки Юйшу: схема поступления естественного света (слева) и план 1-го этажа (справа)

б) перенос традиционного естественного освещения в новое здание и обеспечение выполнения требований к уровню освещённости в современной библиотеке;

в) оценка проекта освещения библиотеке посредством моделирования как естественного, так и искусственного освещения, корректировка расположения мебели, материалов интерьера и графика работы светильников для достижения желаемого результата и уменьшения энергопотребления.

Методика служит основой для проведения исследований и проектирования и предназначена для переноса результатов исследований в практику проектирования. Методика объе-

динения исследований и проектирования освещения проиллюстрирована на рис. 2.

4. Исследование освещения главного молельного дома

4.1. Объекты исследования

Библиотека Юйшу имеет четырёхэтажный атриум, который не способен обеспечить удовлетворяющее современным требованиям освещение читальной зоны первого этажа. Во время работы библиотеки естественное освещение должно быть дополнено искусственным. Объектом исследования является атриум (рис. 3).

Таблица 2

Сравнение зданий главного молельного дома и библиотеки Юйшу

Здание	Главный молельный дом	Библиотека Юйшу
Местоположение	33°0' с.ш., 97°8' в.д.	33°0' с.ш., 97°0' в.д.
Год возведения	1190, 1981 (восстановлен)	2012
Количество этажей	4	4
Площадь атриума первого этажа, м ²	633	784
Количество мест на первом этаже	24	24
Посетители	Монахи и местные жители	Монахи и местные жители

Модели главного молельного дома и библиотеки Юйшу были сформированы в программе *Rhinoceros* на основе результатов обмеров зданий (табл. 2).

4.2. Полевые измерения и опрос пользователей

Полевые измерения, производившиеся в главном молельном доме, охватывали КЕО и коэффициенты отражения и пропускания материалов, а также тщательное изучение поведения пользователей. КЕО измеряли для последующей калибровки результатов моделирования, необходимой в связи с упрощением модели, в которой не учитывались элементы декора и конструкции. Коэффициенты отражения измерялись при помощи спектрофотометра, а полученные результаты использовались в модели.

Среднее значение КЕО в главном молельном доме оказалось равным 0,22 %, тогда как нормируемое минимальное значение КЕО для читальных залов библиотек равно 2 % [5]. Однако монахи используют для молитв центр атриума, где благодаря наличию прямого солнечного света обеспечиваются наилучшие условия естественного освещения. Время вознесения молитв наступает тогда, когда солнечный свет попадает в центр атриума. В полдень солнечного дня освещённость в читальной зоне может достигать 200 лк. Когда после полудня в атриуме становится темно, наступает время уборки и ремонтных работ. На рис. 4, где отражены различия между временем молитв и временем уборки, продемонстрирована ограниченность КЕО как показателя наличия естественного освещения.

Наблюдения и опросы пользователей (15 монахов, использующих атриум каждый день) позволили из первых рук получить информацию о том, как пользователи реагируют на

Рис. 4. Главный молеальный дом 8 декабря 2012 г. в 12:00 (вверху) и в 16:00 (внизу)

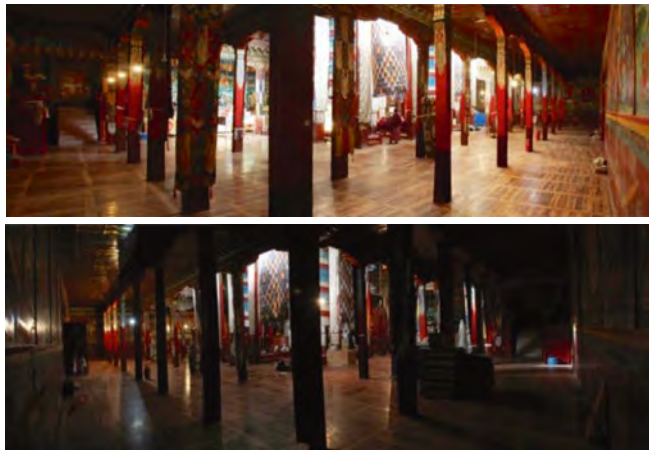


Рис. 5. Молитвенник (вверху) и типичное положение при молитве в главном молеальном доме (внизу)

освещение. Все опрошенные сказали, что естественного освещения молящимся хватало. Во время молитвы монахи сидят на сиденьях высотой 400 мм. Все зачитываемые тексты написаны тибетским шрифтом *Uchen* примерно 11-го размера на бумаге с коэффициентом отражения 0,91 (рис. 5).

4.3. Автономность естественного освещения и распределение освещённости

Для моделирования годового изменения естественного освещения главного молеального дома использовался подключаемый блок *DIVA-for-Rhino* программы *Rhinoceros*. Оценка годичной автономности естественного освещения (DA – *daylight autonomy*⁴) была основана на метеорологических данных, содержащихся в файле *EnergyPlus weather file of Yushu, Qinghai* [9]. Эта оценка производилась с учётом местных климатических условий, что очень важно для данного проекта: местный климат характеризуется большим количеством солнечного света на протяжении почти всего года, следствием чего и являются уникальные архитектурные решения и соответствующее им освещение. Если в качестве критерия оценки DA использовать значение освещённости E_{DA} , равное 50 лк, то она оказалась высокой (50 %) только в центре атриума, где монахи сидят и молятся. Пространство около стен освещено хуже,

и для него DA оказалась равной всего 10 %, – правда, это пространство используется только для перемещения. Приведённые на рис. 6 результаты расчётов автономности естественного освещения говорят о том, что большие тканые драпировки, используемые для украшения главного молеального дома, играют важную роль в отражении прямого солнечного света, поступающего из выходящих на юг окон клерестории, обеспечивая в результате равномерное и яркое освещение центральной читальной зоны.

Для количественного описания естественного освещения были выбраны молитвенные периоды с 9:00 до 12:00, типичные для 20–22 марта, 20–22 июня, 20–22 сентября и 20–22 декабря. Значения накопленной освещённости (*accumulated illuminance*), реализующиеся в рассматриваемых точках на протяжении выбранных периодов, были взяты из файлов данных, сформированных в результате моделирования годичной автономности естественного освещения. Соответствующие молеальным периодам выбранных дней значения накопленной освещённости использовались для по-

лучения распределения естественной освещённости. Применительно к горизонтальным поверхностям, среднее значение накопленной освещённости определялось для 9 контрольных точек в случае читальной зоны (R) и для 30 контрольных точек в случае проходов (C). Отношение накопленных освещённостей, соответствующих этим зонам ($R: C$), лежало в пределах от 8,5:1 до 10:1.

Применительно к вертикальным поверхностям, среднее значение накопленной освещённости определялось для 4-х контрольных точек в случае верхней зоны (T), для 30-ти контрольных точек в случае зоны клерестории (C) и для 4-х контрольных точек в случае нижней зоны (B). Так как в зону клерестории попадал прямой солнечный свет, то для неё отношение накопленных освещённостей было непостоянным. Отношение накопленных освещённостей, соответствующих верхней и нижней зонам ($T: B$), лежало в пределах от 8:1 до 6:1.

Эти характерные для главного молеального дома отношения были взяты за основу при выборе соотноше-

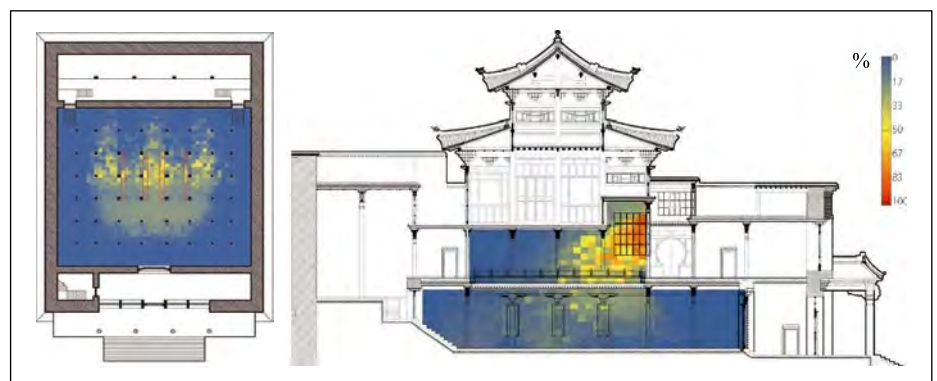


Рис. 6. Распределение DA для времени занятости по горизонтальной ($E_{DA} = 50$ лк) (слева) и вертикальной ($E_{DA} = 100$ лк) (справа) поверхностям

⁴ *Daylight Autonomy (DA)* – это выраженное в процентах суммарная годовая продолжительность дневного времени, на протяжении которого освещённость в рассматриваемой точке превышает заданное значение E_{DA} . – Прим. пер.

Сопоставление естественного и искусственного освещения главного молельного дома и библиотеки Юйшу

	Естественное освещение		Искусственное освещение	
	Имеет место в главном модельном доме	Проект библиотеки Юйшу	Имеет место в главном модельном доме	Проект библиотеки Юйшу
Геометрия пространства и пути поступления естественного света	Высокий атриум с клересторией, маленькие боковые окна	Высокий атриум с клересторией, маленькие боковые окна	Сведений нет	Сведений нет
Читальная зона и естественное освещение	Посадочная зона в центре атриума (участок с наилучшей автономностью естественного освещения)	Переделать посадочную зону на основе результатов моделирования автономности естественного освещения	Ночью монахи используют свечи или СД лампы с аккумуляторами	Дополнительная электрическая подсветка на местах для сидения
Освещённость на рабочей плоскости	Измеренное значение во время молитвы – 200 лк (освещённость, средняя для 24-х мест)	Стандартные 300 лк	Свечи горят около статуй, для чтения не предназначены	Дополнительное электрическое освещение, обеспечивающее нормированный уровень освещённости
Период чтения	9:00–17:00	9:00–12:00 летом, 9:30–12:30 зимой	Сведений нет	Сведений нет
Детали в поле зрения (отношение яркостей)	40:2:1 (клерестория: потолок: пол)	Другой материал стен для подбора коэффициента отражения	Сведений нет	Увеличенная освещённость от клерестории

ний освещённостей для библиотеки Юйшу.

4. HDR-анализ и распределение яркости

Анализ фотографий с расширенным динамическим диапазоном (*HDR*) был использован применительно к распределению яркости в главном молельном доме. На *HDR*-фотографиях клерестории главного молельного дома потолок и тканые драпировки имели наибольшую яркость, тогда как стены проходов имели наименьшую яркость. На *HDR*-фотографиях атриума главного молельного дома наибольшую яркость имела статуя Будды. Высокая яркость наблюдалась и на лицах монахов, сидящих около этой статуи. Яркости основных поверхностей продемонстрированы на рис. 7. Эти распределения яркости были взяты за основу при проектировании освещения библиотеки Юйшу.

5. Процесс проектирования освещения

Для передачи местного колорита архитекторы используют геометрию пространства и отделку мебели. Проектировщики освещения для достижения этой же цели полагаются на сочетание естественного и искусственного

освещения. При проектировании освещения библиотеки Юйшу за основу было взято традиционное для Тибета освещение главного молельного дома (табл. 3).

После количественного описания распределений освещённости и яркости в главном молельном доме начался процесс проектирования, включавший в себя разработку и междисциплинарное согласование концепции и выбор и установку светильников. Создание осветительной установки завершилось осуществлявшейся на месте наладкой оборудования, позволившей реализовать выбранное распределение характеристик и, в то же время, удовлетворить нормативные требования. По завершении проектирования, в основу которого были положены распределения освещённости и яркости в главном молельном доме, мы воспользовались программой *Dialux* для сравнения уровней освещённости и яркости с планировавшимися и для выбора осветительных приборов. Результаты моделирования искусственного освещения показали, что отношение освещённостей в читальной зоне и в проходах библиотеки Юйшу оказалось равным 6:1. В дневное время при наличии поступающего из атриума естественного света это отношение возрастёт до значения, близкого к наблюдавшемуся в случае главно-

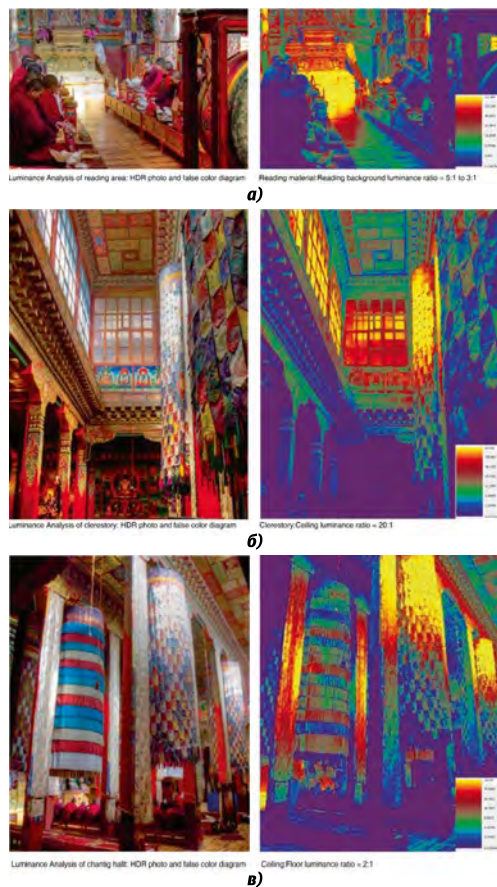
го молельного дома (от 8,5:1 до 10:1). И освещённости в читальной зоне, и освещённости в проходах удовлетворяли нормативным требованиям (300 и 100 лк соответственно). Что касается вертикальных поверхностей, то отношение освещённостей в окрестности потолка и пола составило 4:1, что близко к значению, наблюдавшемуся в случае главного молельного дома (от 4:1 до 6:1). Расчётное распределение яркости в библиотеке Юйшу оказалось похожим на наблюдавшееся на *HDR*-фотографиях распределение яркости в главном молельном доме.

Библиотека Юйшу была открыта для местных жителей и монахов в декабре 2013 г. Естественное освещение библиотеки Юйшу показано на рис. 8.

6. Заключение и обсуждение

Традиционное освещение было воспроизведено в новом здании посредством создания такого же распределения освещения и сотрудничества с архитекторами с целью формирования путей поступления дневного света, правильного выбора коэффициентов отражения основных поверхностей и изменения местоположения читальных зон. Однако в настоящее время глаза пользователей используются и для выполнения новых зрительных задач, которые в период возведения

Рис. 7. HDR-анализ распределения яркости в главном молельном доме: а – читальная зона, HDR-фотография (слева) и изображение в псевдоцветах (справа); отношение яркостей материала для чтения и фона – от 5:1 до 3:1; б – клерестория, HDR-фотография (слева) и изображение в псевдоцветах (справа); отношение яркостей окон и потолка 20:1; в – молельный дом, HDR-фотография (слева) и изображение в псевдоцветах (справа); отношение яркостей потолка и пола 2:1



традиционных зданий зачастую не существовали, например, чтение отображаемой на экранах компьютеров информации. Учитывая наличие этих новых зрительных задач, следует дополнительно рассмотреть вопрос приемлемости этой методики проектирования нового освещения на базе традиционного.

На ранней стадии проектирования проектировщик освещения, архитектор и клиент обсуждали возможности в части исключения блёскости и использования естественного освещения. Однако, во-первых, следует учесть то обстоятельство, что финансирование этого проекта было ограниченным в связи с ограниченностью объёмов финансирования всех работ по восстановлению Юйшу после катастрофического землетрясения. Из-за ограниченного финансирования возможность использования управляемых датчиками естественной освещённости солнцезащитных устройств с электроприводами и светорегулируемых светильников даже не рассматривалась. Во-вторых, местные жители любят солнечный свет. В результате опросов монахов из монастыря Дамкар мы установили, что в отведённое на молитвы время в читальную зону

через клересторию попадал прямой солнечный свет. Большинство пользователей считали, что прямой солнечный свет обеспечивал связь между искусственной средой внутри здания и естественной средой вне здания. В-третьих, в этой библиотеке имеются 172 посадочных места, расположенные в атриуме и вдоль фасада, в которых наличествует естественное освещение. Учитывая количество посетителей, если в одной из зон будет наблюдаться чрезмерная блёскость, то всегда найдутся свободные места в других зонах.

Количественное исследование традиционного освещения обеспечивает надёжную базу для проектирования, основанного на выраженных количественно сопоставимых показателях, таких как освещённость и яркость. Для обеспечения наилучшего освещения новой библиотеки была разработана и проверена многогранная методика проектирования. Само по себе, естественное освещение не способно удовлетворить современные требования к читальным зонам этой библиотеки. Использование искусственного освещения может обеспечить гораздо большие возможности в части выбора времени и места для чте-



Рис. 8. Фотографии библиотеки Юйшу (автор – Жуй Цзэн (Rui Zeng))

ния. HDR-анализ соответствует тому, что видят люди, но только в какой-то один момент времени, так что следует тщательно выбирать типичные для всего года условия, которые отражали бы реальную ситуацию. Однако использование искусственного освещения усугубит опасность того, что при этом будет принесено в жертву традиционное освещение. Небрежная организация естественного освещения и зависимость от искусственного освещения могут привести к утрате традиционной среды внутри здания. Это также послужило побудительной причиной для разработки и реализации описанной методики. Все осветительные приборы в передней зоне здания содержат СД источники света или люминесцентные лампы с общим индексом цветопередачи, большим чем 80. В атриуме и читальных зонах реализовано тёпло-белое освещение с коррелированной цветовой температурой 3000 К. Периметр клерестории освещался светом с коррелированной цветовой температурой 4000 К, омывающим вертикальные поверхности под клересторией, что создавало контраст между читальной зоной и клересторией и имитировало холодно-белый оттенок попадающего в здание света неба.

В 2012 г., когда в рамках данного проекта производилось моделирование естественного освещения, в китайских стандартах единственным параметром для расчёта естественного освещения являлся КЕО, причём какие-либо дополнительные параметры отсутствовали тогда и в стандар-

тах и рекомендациях других стран. Однако в настоящее время (2018 г.) в большинстве стандартов КЕО не используется. Северо-американское светотехническое общество одобрило метод расчёта, изложенный в стандарте «Пространственная автономность естественного освещения и годовая доза солнечного света» [10]. В некоторых распространённых системах сертификации экологичности зданий, таких как *LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)*⁵ – Лидерство в энергоэкономичном и экологичном проектировании [11], содержатся рекомендации в части естественного освещения. Согласно [11], для удовлетворения требований *LEED* к естественному освещению (*Daylight Credit*) необходимо обеспечить пространственную автономность естественного освещения (300 лк, 50 %), равную 55 % (2 точки) или 75 % (3 точки), при годовой дозе солнечного излучения (1000 лк, 250 ч), меньшей чем 10 % во всех регулярно занятых участках пола.

Авторы благодарят архитекторов студии *Cui Kai Studio*, входящей в *China Architecture Design & Research Group*, предоставивших архитектурные данные и консультации, которые очень помогли в работе, а также Цзюньмэй Чжаси (*Junmei Zhaxi*) из Центра сохранения и исследования тибетского культурного наследия *THUPDI* за помощь в получении чертежей главного молельного дома монастыря Дамкар и установлении контактов местными жителями. Мы также хотели бы выразить нашу признательность монахам и монахиням монастыря Дамкар, которые в процессе этого исследования делились с нами своим опытом пользователей и мудростью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yushu Post-earthquake Recovery and Reconstruction Master Plan // Yushu Post-earthquake Recovery and Reconstruction Group, 2010.
2. He, Y., Lin, Y. Analysis of China's Daylighting Climate with P G D Diagram // Journal of Civil, Architectural & Environmental Engineering.– 2010.

⁵ Одна из самых популярных программ по сертификации «зелёных» зданий, которая используется во всём мире. – Прим. авт.

3. Measurement of Sunshine Duration, Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation // World Meteorological Organization, 2008.

4. Zongwei, X. Introduction to Tibetan Traditional Architecture. – Beijing: China Architecture and Building Press, 2004.

5. GB/T 50033–2013. Standard for Daylighting Design of Buildings.

6. GB50034–2013. Standard for Lighting Design of Buildings.

7. The Lighting Handbook, 10th Edition, IESNA, 2011.

8. LG10: Daylighting and window design. CIBSE Lighting Guide, 1999.

9. National Renewable Energy Laboratory (NREL) (2005), https://energyplus.net/weather-location/asia_wmo_region_2/CHN//CHN_Qinghai.Yushu.560290_CSWD_Energy_Plus_Weather_Data.

10. LM-83–12 IES Spatial Daylight Autonomy (SDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE). IES, 2012.

11. LEED V4, 2013.

12⁶. Inanici, M., Galvin, J. Evaluation of high dynamic range photography as a luminance mapping technique. Lawrence Berkeley National Laboratory, 2004.

⁶ В тексте статьи ссылки на эту работу нет. – Прим. пер.



Сюфан Чжао (Xiufang Zhao).

Старший проектировщик освещения компании *Brandston Partnership Inc.*, Нью-Йорк, США



Синь Чжан (Xin Zhang),

Ph.D. Доцент факультета архитектуры и строительства Школы архитектуры Университета Цинхуа, Пекин, КНР. Член Международной

ассоциации светодизайнеров



Кай Цуй (Kai Cui).

Академик Китайской строительной академии. Главный архитектор компании *China Architecture Design & Research Group*, Пекин, КНР

ВМФ получил ослепляющую и вызывающую галлюцинации у врага аппаратуру

В ВМФ России начались поставки станций визуально-оптических помех 5П-42 «Филин», ослепляющих противника, сообщили «РИА Новости» со ссылкой на холдинг «Росэлектроника» (входит в «Ростех»). Пока два комплекта аппаратуры установлены на фрегатах «Адмирал флота Советского Союза Горшков» и «Адмирал флота Касатонов», позже планируется установка ещё на двух фрегатах проекта 22350, которые строятся на судостроительном заводе «Северная верфь».



Станция предназначена для глушения визуально-оптических и оптико-электронных каналов наблюдения и прицеливания стрелкового оружия в ночное и сумеречное время суток, а также для подавления оружия ближнего боя, которое применяют против надводных кораблей и катеров ВМФ. Работа «Филина» основывается на модуляции яркости светового излучения. Холдинг отметил, что колебания яркости излучения низкой частоты за счёт возбуждения зрительных нервов вызывают «временные обратимые расстройства органов зрения».

По информации «Росэлектроники» испытатели-добровольцы отметили невозможность вести прицельную стрельбу из стрелкового оружия на дальности до 2 км из-за того, «что цель не видно». 20 % из них замечали галлюциногенный эффект воздействия, который описали как «пятно света плавает перед глазами», 45 % жаловались на головокружение, тошноту, признаки дезориентации в пространстве. Холдинг отметил, что система позволяет на дальности до 5 км подавлять и приборы ночного видения, лазерные дальнометры ИК диапазона, а также системы наведения противотанковых управляемых ракет.

znak.com
02.02.2019

ПАМЯТИ ПАШКОВСКОГО Р.И. (1931–2019)

21 февраля 2019 года ушёл из жизни известный светотехник, один из ведущих проектировщиков осветительных установок и силового оборудования, постоянный автор нашего журнала Рувим Израилевич Пашковский.

Р.И. Пашковский родился в Ленинграде. В 1951 году окончил Ленинградский кинотехникум и в 1963 году – электротехнический факультет Ленинградского института киноинженеров.

1951–1953 гг. – служба в Советской Армии, 1959–1982 гг. – работа в институте «Ленпроект», инженер, главный специалист-электрик института.

В составе авторских коллективов проектировал и принимал участие в строительстве в Ленинграде Большого концертного зала «Октябрьский», аэровокзала, аэропорта «Пулково», выставочного комплекса «Экспо» в Гавани, музеев Петродворца, общественных зданий различного назначения и жилых домов.

1982–2000 гг. – главный технолог треста «Электромонтаж-55». Затем главный специалист-электрик архитектурного бюро, участвовал в обучении проектировщиков-электриков, приезжающих в Учебно-методический центр в Санкт-Петербурге.

Много лет работал учёным секретарём и заместителем председателя бюро светотехнической секции Центрального правления НТОЭ и ЭП.

С 1979 года – общественный корреспондент журнала «Светотехника», автор статей в журнале «Светотехника» и соавтор двух книг по светотехнике.

Рувим Израилевич всегда отмечал и гордился совместной работой в «Ленпроекте» под руководством Волоцкого Н.В., работой и учёбой у выдающихся специалистов проф. Ти-



ходеева П.М., Шайкевича А.С., Кнорринга Г.М., Лазарева Д.Н., Дадиомова М.С.

Р.И. Пашковский широко известен всем светотехникам, как один из ведущих проектировщиков осветительных установок и силового оборудования, постоянный автор нашего журнала и фактический руководитель раздела «Практика проектирования светотехнических установок», постоянно, на протяжении многих десятилетий питавшего журнал современными нормативными и другими материалами.

От нас ушёл уникальный человек по своим профессиональным качествам и эрудиции, по свойствам общественного деятеля и человеческой природы. Профессионал высшей пробы по проектированию осветительных установок любого назначения, единственный в своём роде знаток всей нормативно-технической документации, как в области светотехнических, так и электротехнических, противопожарных требований, требований к аварийному и эвакуационному освещению, а также условий обеспечения надёжной и длительной работы ОУ.

По своей собственной инициативе, без напоминаний и зака-

зов Рувим Израилевич к каждому номеру журнала на протяжении двух с лишним десятилетий готовил полновесные, бесценные для проектировщиков справочные материалы. И делал это всегда точно и вовремя, на добровольных началах без оплаты, получая удовольствие от чувства выполнения общественного долга, как он себе это представлял.

Ниже мы приводим бесценный список этих материалов, для журнала «Светотехника» за последние годы (37 наименований за период 2010–2019 гг.)

Нам стыдно признаться, что мы не нашли способа за все эти годы отблагодарить Р.И. Пашковского за чудовищную работу, написать статью о нем в журнале, устроить тематический вечер с его участием при его жизни. Только в 2017 году мы наградили его, как лучшего автора справочных материалов, памятным знаком.

Как человек Рувим Израилевич отличался добротой, отзывчивостью, готовностью объяснить, открытостью и вместе с тем определённой замкнутостью и сосредоточенностью. Он был верным товарищем и замечательным семьянином (с женой Лилией Яковлевной, которой мы выражаем искренние соболезнования, он прожил в любви свыше 60 лет). Блестящий пример для молодого поколения. Он ушёл, далеко не полностью передав свой мощный потенциал.

Выражая сочувствие семье покойного, мы сохраним в своих сердцах память об удивительном человеке и труженике Рувиме Израилевиче Пашковском.

**Редколлегия, редакция
«Светотехника», ученики
и товарищи покойного**

Перечень материалов Р.И. Пашковского в журнале «Светотехника» (за 2015–2019 гг.)

Жилые многоквартирные дома. Управление и питание общедомового освещения.	2019 г. № 1
О своде правил СП 256.1325800.2016 «Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа» (2 часть).	2018 г. № 6
О своде правил СП 256.1325800.2016 «Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа».	2018 г. № 5
Освещение палат медицинских организаций.	2018 г. № 2
Расчет минимального тока однофазного короткого замыкания в конце защищаемой линии.	2018 г. № 1
Область применения в электроустановках устройств защитного отключения.	2017 г. № 6
Область применения в электроустановках устройств защитного отключения.	2017 г. № 5
О требованиях к электроустановкам для ванных и душевых комнат.	2017 г. № 2
Нормативные требования, касающиеся освещения светодиодами.	2017 г. № 1
Аварийное освещение. Нормативные документы.	2016 г. № 6
Искусственное освещение медицинских учреждений.	2016 г. № 4
Панель противопожарных устройств здания.	2016 г. № 3
ГОСТ Р 50571.7.702–2013/МЭК 60364–7–702:2010 «ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ НИЗКОВОЛЬТНЫЕ. ЧАСТЬ 7. Требования к специальным установкам или местам их размещения. Раздел 702. Плавательные бассейны и фонтаны»	2016 г. № 2
ГОСТ Р 50571.4.42–2012/МЭК 60364–4–42:2010 «ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ НИЗКОВОЛЬТНЫЕ. ЧАСТЬ 4–42. Требования по обеспечению безопасности. Защита от тепловых воздействий».	2016 г. № 1
ГОСТ Р 50571.5.52–2011/МЭК 60364–5–52:2009 «ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ НИЗКОВОЛЬТНЫЕ. ЧАСТЬ 5–52. Выбор и монтаж электрооборудования. Электропроводки».	2015 г. № 6
Национальные стандарты комплекса ГОСТ Р 50571	2015 г. № 5
О ГОСТ Р 50571.5.54–2013/МЭК 60364–5–54:2011 «ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ НИЗКОВОЛЬТНЫЕ. ЧАСТЬ 5–54. Выбор и монтаж электрооборудования. Заземляющие устройства, защитные проводники уравнивания потенциалов»	2015 г. № 4
Категории надежности электроснабжения многоквартирных жилых общественных зданий.	2015 г. № 3
Требования нормативных документов, касающихся проектирования электроустановок зданий, сооружений и наружных установок.	2015 г. № 2

Первое в 2019 году заседание Бюро НТС «Светотехника»

20 февраля 2019 г. под председательством генерального директора ВНИСИ имени С.И. Вавилова А.Г. Шапаруняц состоялось заседание бюро отраслевого НТС «Светотехника». На заседании присутствовали 11 членов бюро, секретариат НТС и 8 приглашённых специалистов.

По первому вопросу повестки дня выступали студентки второго курса магистратуры НИУ «МЭИ». Качалина М.Д. представила промежуточную презентацию будущей магистерской диссертации на тему «Исследование осветительных установок на базе светодиодных источников света для многоярусных систем выращивания растений». Она отметила, что актуальность работы в том, что многоярусные системы выращивания растений позволяют рациональнее использовать площади защищённого грунта; увеличить «полезную» площадь теплицы и, соответственно, выход готовой продукции с единицы объёма; приспособлять неиспользуемые, брошенные здания, в том числе и многоэтажные, что значительно удешевляет проект и сокращает сроки окупаемости; компактно разместить производственные площади; значительно сократить энергетические затраты (отопление) на единицу продукции; круглогодично использовать теплицы, что особенно важно для неблагоприятных климатических условий. Практическая значимость такого подхода связана с решением ключевых проблем многоярусных установок для выращивания растений, а именно: выделением тепла облучающей установкой и его влиянием на характеристики светодиодных облучательных приборов; выбор специфических спектров для эффективного выращивания различных светокультур; реализацию полученного эффективного спектра в облучательных установках. Задачами являются: исследование изменения спектральных характеристик источников света в зависимости от тепловых параметров окружающей среды, кристалла, а также типов кристаллов и времени работы; исследование влияния системы охлаждения на параметры источников света; определение оптимальной энергетической эффективности облучательной установки. Названные исследования планируется проводить на многоярусной установке для выращивания растений, созданной во ВНИСИ имени С.И. Вавилова.

Докладчику были заданы вопросы, а по результатам доклада и ответов бюро постановило: точнее сформулировать цель и задачу собственной работы Качалиной М.Д., а после защиты магистерской диссертации ей рекомендовано подготовить статью в журнал «Светотехника».

Николаева И.Т. выступила с сообщением по теме магистерской диссертации. Цель работы – определение области Вебера-Фехнера зрительной системы для исследования влияния яркости адаптации на пороговые контрасты для монохроматических объектов. Конкретные задачи: разработка методики экспериментального исследования влияния яркости адаптации к монохроматическим излучениям в области Вебера-Фехнера; разработка установки для экспериментальных исследований; получение экспериментальных зависимостей пороговых контрастов от яркости адаптации для трёх длин волн монохроматического излучения; обработка результатов эксперимента и расчёт распределения чувствительности по полю зрения при изменении яркости адаптации. Сформулированы требования к экспериментальной установке: в ней должна варьироваться яркости объекта и адаптации в широком диапазоне величин, причём в канале объекта должна быть плавная регулировка яркости; должна быть предусмотрена возможность изменять длину волны в каналах объекта и фона. Доложена методика получения экспериментальных результатов; выбраны требуемые значения варьируемых параметров (яркости объекта и фона, длина волны объекта, нулевой отсчёт оптического клина); получены результаты пробных экспериментов в рамках тренировки наблюдателей и окончательные данные экспериментов на обученных наблюдателях; и наконец, расчёт по экспериментальным результатам значений порогового контраста. В дальнейшем предполагается: получение дополнительных данных на зелёном, красном и синем светодиодах, а также уточнение зависимостей порогового контраста от яркости адаптации для различных размеров объекта и оформление пояснительной записки к магистерской диссертации.

Докладчику были заданы вопросы, а по результатам доклада и ответов бюро постановило: Николаевой И.Т., после обсу-

ждения с научным руководителем, точнее сформулировать задачи работы и внести корректировки в работу в соответствии с прозвучавшими замечаниями.

По второму вопросу повестки дня выступила аспирантка кафедры Мешкова Т.В. Тема доклада: «Оценка качественных показателей освещения по пространственно-угловому распределению яркости». Целью данной работы является исследование критерия качества освещения, разработка методики его определения и апробация в экспериментальных и реальных условиях. Задачи исследования: создать экспериментальную установку на основе светодиодов для исследования дискомфорта; провести проверку экспериментальной установки с помощью классического эксперимента; сформулировать критерий качества освещения, основанный на обобщении понятия контраста, как градиента распределения яркости в поле зрения; апробировать критерий качества освещения в экспериментальных условиях; проверить корректность работы критерия качества освещения в реальных условиях. Выводы автора: по результатам натуральных экспериментов, в Московском и Петербургском метрополитенах выявлено, что показатель *UGR* неинформативен при расчёте помещений с большим количеством отражающих поверхностей, в то время как предложенный докладчиком критерий качества освещения коррелирует с оценками наблюдателей; в работе было введено и сформулировано новое понятие «критерий качества освещения» – степень комфорта при нахождении в помещении с определённой осветительной установкой, это позволяет определять качество осветительной установки на основании пространственно-углового распределения яркости, решается задача оценки в реальных условиях без допущения о равномерном распределении яркости точечного блескового источника; разработанная и апробированная в реальных условиях шкала и методика распознавания каждого из делений шкалы для испытуемых, что позволяет проводить дальнейшие исследования в этой области на аналогичных экспериментальных установках с источниками неравномерной яркости неопределённой формы; экспериментальным путём доказано, что основными параметрами, которые влияют на критерий качества освещения являются: распределение яркости в сцене и зрительная адаптация, отсюда, при доработке формулировки, есть возможность применения метода локальных оценок и более точного моделирования

осветительных установок, это позволит моделировать осветительную установку на заданное качество освещения, экспериментальным путём доказана гипотеза о критерии качества освещения в рамках решения зрительной задачи; создана экспериментальная установка на основе светодиодов, позволяющая исследовать ощущение дискомфорта в зависимости от пространственно-углового распределения яркости в поле зрения. Научные положения, выносимые на защиту и научная новизна: предложенный критерий качества может являться расширением показателя *UGR* для сцен с поверхностями с зеркальным отражением; предложенная методика позволяет исследовать яркость на границе комфорт-дискомфорт при условии неравномерного распределения яркости в поле зрения наблюдателя от источников неопределённой формы; установка, основанная на светодиодах, позволила исследовать яркость на границе комфорт-дискомфорт по пространственно-угловому распределению яркости в поле зрения, на основе успешно пройденной проверки экспериментальной установки, подтвердилась корректность экспериментальной установки и методики проведения исследования; высокая корреляция результатов экспертной оценки качества освещения станций метрополитена и данных расчёта предложенного критерия качества освещения позволяет говорить о корректности его

работы в реальных условиях; анализ полученных результатов в ходе эксперимента по проверке критерия качества освещения в экспериментальных и реальных условиях обосновывает возможность проектирования осветительной установки на заданное качество на основе пространственно-углового распределения яркости.

Докладчику были заданы вопросы, а по результатам доклада и ответов бюро постановило: продолжить обсуждение данной работы на заседании кафедры светотехники НИУ «МЭИ». После обсуждения и внесения в доклад и в текст необходимых корректировок Мешковой Т.В. рекомендовано подготовиться к защите данной диссертации на кафедре светотехники НИУ «МЭИ».

По третьему вопросу были заслушаны сообщения Шерри Н.С. и Юшкова Д.Д. Тема доклада: «Паспорт специальности. Обсуждение варианта, подготовленного для направления в Министерство образования и науки РФ». Присутствующим на бюро был представлен проект паспорта специальности: «05.09.07 Светотехника». В дискуссии приняли участие Будак В.П. и Григорьев А.А. Принято решение ознакомить с представленным вариантом паспорта специальности всех членов НТС «Светотехника» и широкую светотехническую общественность. Просим высказать замечания и предложения, направив их в редакцию журнала или на

почту НТС. Текст проекта нового паспорта специальности приведён в конце данного отчёта о заседании бюро.

По четвёртому вопросу повестки дня выступила Шахпарунянц А.Г. Тема доклада: «О международной научно-технической конференции по применению светодиодных фитооблучателей, 2019 г. и конференции «Свет в музее», 2020 г. Она отметила, что проведение Международной научно-технической конференции по применению светодиодных фитооблучателей запланировано на 09–10 сентября 2019 г. в г. Москве. На 2019 год намечены два расширенных заседания НТС «Светотехника» и ещё четыре заседания бюро НТС. Участникам заседания бюро НТС предложено активно присылать доклады на Международную научно-техническую конференцию по применению светодиодных фитооблучателей. Сбор тезисов докладов будет проходить до 15 мая 2019 г. Кроме того, на апрель 2020 года запланировано проведение Международной светотехнической конференции «Свет в музее» и *LUX PACIFICA 2020* в Государственном Эрмитаже г. Санкт-Петербург.

В заключение отмечу, что участники заседания активно участвовали в обсуждении всех вопросов повестки дня и формулировали итоговые предложения.

**Учёный секретарь НТС
«Светотехника» Снетков В.Ю.**

Проект паспорта специальности «05.09.07 Светотехника»

Шифр специальности: 05.09.07 Светотехника

Формула специальности:

Научная специальность, изучающая на основе фотометрических представлений светового поля проблемы всех областей использования света для освещения, в технологических целях, медицине и сельском хозяйстве. Светотехника – область науки и техники, предметом которой являются разработка способов генерации, пространственного перераспределения оптического излучения и оптимизация количественных и качественных показателей светового поля.

Области исследований:

1. Технологии и процессы, происходящие при генерации света с целью оптимизации светотехнических и эксплуатационных параметров существующих и создания принципиально новых источников света.
2. Устройства, обеспечивающие оптимальную работу и управление источниками света, осветительными приборами, осветительными и облучательными установками.
3. Моделирование и оптимизация оптических систем осветительных приборов, обеспечивающих заданные светотехнические параметры приборов.

4. Теоретические и экспериментальные исследования, математическое моделирование распространения оптического излучения и его воздействия на биологические и другие объекты с целью выявления оптимальных параметров световой среды и результатов облучения.

5. Методы и средства измерения параметров источников света, осветительных приборов, осветительных, облучательных, светосигнальных установок и фотометрических характеристик материалов.

6. Методы и средства естественного и совмещённого освещения зданий, помещений обеспечивающие улучшение количественных и качественных показателей осветительных и облучательных установок.

Отрасль наук:

технические науки (по специальности не рассматриваются работы, основным содержанием которых является оптимизация структуры и режимных параметров источников электропитания для осветительными приборами и осветительных установок).

*Паспорт специальности разработан рабочей группой:
Айзенберг Ю.Б., Будак В.П., Григорьев А.А., Юшков Д.Д.*

В Лихославле введён в эксплуатацию автоматизированный литейный комплекс

21 февраля на ЛЗСИ «Светотехника» состоялся торжественный запуск нового автоматизированного комплекса литья алюминия под давлением.

В торжественной церемонии открытия комплекса приняли участие: президент МСК «БЛ ГРУПП» Георгий Боос, генеральный директор завода Борис Данилов, исполняющий обязанности министра промышленности Тверской области Сергей Расторгуев, а также представители различных ведомств, муниципальных образований, бизнес-сообщества, сотрудники завода и журналисты.

Новый литейный комплекс собственной разработки расширяет возможности производства и увеличивает номенклатуру выпускаемых светильников. Оборудование даёт возможность отливать крупногабаритные алюминиевые детали весом до 15 кг. Такие отливки позволят заводу выпускать мощные прожекторы и крупногабаритные светильники для освещения улиц, автотрасс, дорожных развязок, спортивных мероприятий и больших общественных пространств.

Новый литейный комплекс, с усилием в 1250 тонн, обеспечит изготовление одной единицы крупногабаритного алюминиевого корпуса всего за 94 секунды полного цикла технологического цикла.

В своём выступлении на запуске нового оборудования Георгий Боос отметил, что ЛЗСИ «Светотехника», отпраздновавшая своё 70-летие в 2017 году, входит в состав МСК «БЛ ГРУПП» с 1995 года. За это время корпорация инвестировала в предприятие более 3,5 млрд рублей. Завод динамично развивается, расширяется номенклатура продукции, увеличиваются объёмы поставок. В составе корпорации завод стал современным, высокотехнологичным предприятием полного цикла с объёмом производства около 2 млрд руб.

Он также подчеркнул, что введение комплекса приведёт к снижению себестоимости продукции, что станет дополнительным конкурентным преимуществом. И это очередной этап стратегического развития предприятия. Изготовленное на предприятии оборудование будет активно использоваться не только в российских, но и в международных проектах МСК «БЛ ГРУПП».

«Сегодня предприятие в Лихославле – одно из самых современных в Европе, – продолжил Георгий Боос, – мы имеем большой опыт литья и долго к этому шли, обучались. Теперь мы можем отливать детали толщиной даже полтора-два миллиметра. Нам важна высокая производительность и безупречное качество. Крупные детали, которые мы вынуждены были брать у других поставщиков, не всегда соответствовали мировым стандартам. И, в свою очередь, мы не могли поставлять изделия, которые собирали из них, на экспорт».

«Запуск нового комплекса даёт ощущение не завершения важного дела, а того, что мы стоим в начале большого пути, – подытожил генеральный директор завода «Светотехника» Борис Данилов, – и в этом нет сомнений: Лихославльский завод задаёт тенденции и безукоризненно держит марку одного из лидеров отрасли. Здесь не только изготавливают светильники и прожекторы, но и формируют световые решения, делающие жизнь ярче и безопаснее».

После торжественного запуска нового комплекса была отлита первая деталь, на которой гости поставили свои автографы.

На заводе также ввели в эксплуатацию станок плазменной резки, что позволит увеличить производство деталей из толстолистовой стали, повысить производительность труда и эффективность использования металла.

Сегодня ЛЗСИ «Светотехника» работает в режиме полного цикла, предлагает интересные дизайнерские и технические решения, выпускает более 125 серий светильников, которые используют для освещения улиц, дорог, парков, зданий и микрорайонов, стадионов, пассажирских вагонов, промышленных предприятий и многого другого.

В тот же день в Твери состоялась встреча губернатора Тверской области Игоря Рудени с Георгием Боосом. Глава региона отметил социальную роль ЛЗСИ «Светотехника» – крупнейшего работодателя в Лихославльском районе.

28 февраля губернатор Игорь Руденя, в рамках рабочего визита в Лихославль, посетил Лихославльский завод светотехнических изделий «Светотехника». Глава региона осмотрел производственные помещения предприятия, в том числе, те цеха, где 21 февраля было введено в эксплуатацию новое оборудование – высокотехнологичный роботизированный литейный комплекс и участок плазменной резки, а также музей ЛЗСИ.

На встрече с журналистами по итогам посещения, губернатор дал комментарий о возможности реализации совместного с предприятием проекта по повышению уровня освещения ряда объектов в Тверской области: «В рамках проекта планируется обеспечить подсветку ключевых зданий в муниципалитетах, центральных площадей, памятников героям Великой Отечественной войны, храмов. Надеюсь, что программа, рассчитанная на несколько лет, начнёт реализовываться со следующего года».

Евгений Серый, спецкорреспондент журнала «Светотехника»



Фото: МСК «БЛ ГРУПП»



Фото: АиФ/Владимир Моисеев

**Оформить подписку или купить статью Вы можете на сайте журнала
«Светотехника / Light & Engineering»
www.e-l-journal.com**

Стоимость подписки на журнал «Светотехника» на 2019 год

№	Наименование журнала	Версия	Период	Цена	Кол-во
1	«Светотехника»	бумажная	2 месяца	1 500 руб.	1 экз.
2	«Светотехника»	электронная	2 месяца	1 000 руб.	1 экз.
3	«Светотехника»	бумажная	Полугодие	4 500 руб.	3 экз.
4	«Светотехника» для физ.лиц	электронная	Полугодие	3 000 руб.	3 экз.
5	«Светотехника» для юр.лиц	электронная	Полугодие	6 000 руб.	3 экз.
6	«Светотехника»	бумажная	Год	9 000 руб.	6 экз.
7	«Светотехника» для физ.лиц	электронная	Год	6 000 руб.	6 экз.
8	«Светотехника» для юр.лиц	электронная	Год	12 000 руб.	6 экз.

**Подписка на детское приложение к научно-техническому журналу
«Светотехника». Второе полугодие 2019 года**

№	Наименование журнала	Версия	Период	Цена	Кол-во
1	«Светотехника» для детей	бумажная	2-е полугодие	1 800 руб.	2 экз.
2	«Светотехника» для детей	электронная	2-е полугодие	900 руб.	2 экз.

СПЕЦИАЛЬНОЕ ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПРИ ГОДОВОЙ ПОДПИСКЕ!!!

№	Наименование журнала	Версия	Период	Цена	Кол-во
1	«Светотехника» + «Светотехника» для детей	бумажная	Год	9 180 руб.	6+2 экз.
2	«Светотехника» + «Светотехника» для детей	электронная	Год	6 100 руб.	6+2 экз.

Стоимость журнала «Light & Engineering» на 2019 год

№	Наименование журнала	Версия	Период	Цена	Кол-во
1	«Light & Engineering»	бумажная	2 месяца	35 Евро	1 экз.
2	«Light & Engineering»	электронная	2 месяца	30 Евро	1 экз.
3	«Light & Engineering»	бумажная	Полугодие	70 Евро	3 экз.
4	«Light & Engineering» для физ.лиц	электронная	Полугодие	60 Евро	3 экз.
5	«Light & Engineering» для юр.лиц	электронная	Полугодие	225 Евро	3 экз.
6	«Light & Engineering»	бумажная	Год	140 Евро	6 экз.
7	«Light & Engineering» для физ.лиц	электронная	Год	120 Евро	6 экз.
8	«Light & Engineering» для юр.лиц	электронная	Год	450 Евро	6 экз.

**Стоимость статьи из журналов «Светотехника»
и «Light & Engineering» на 2019 год**

№	Наименование журнала	Версия	Кол-во	Цена
1	«Светотехника»	электронная	1 экз. статьи	400 руб.
2	«Light and Engineering»	электронная	1 экз. статьи	5 Евро

Адрес редакции: 129626, г. Москва, Проспект Мира, д. 106, офис 331
Тел. (495) 682-58-46, 682-19-04; E-mail: lav@e-journal.com



Международная
светотехническая
корпорация



БООС ЛАЙТИНГ ГРУПП

Преимущества выбора OPORA ENGINEERING



КАЧЕСТВО СВАРНОГО ШВА - ПРОЧНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ



**СТАЛЬ - ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ СТАЛИ В ЗАВИСИМОСТИ
ОТ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ**



ГАРАНТИРОВАННЫЙ СРОК СЛУЖБЫ - 25 ЛЕТ

www.opora-e.com



Московский концертный зал «Зарядье»
Освещение фойе: зона входа, световая графика на фоне заливающего освещения.
Фотография: А. Народицкий