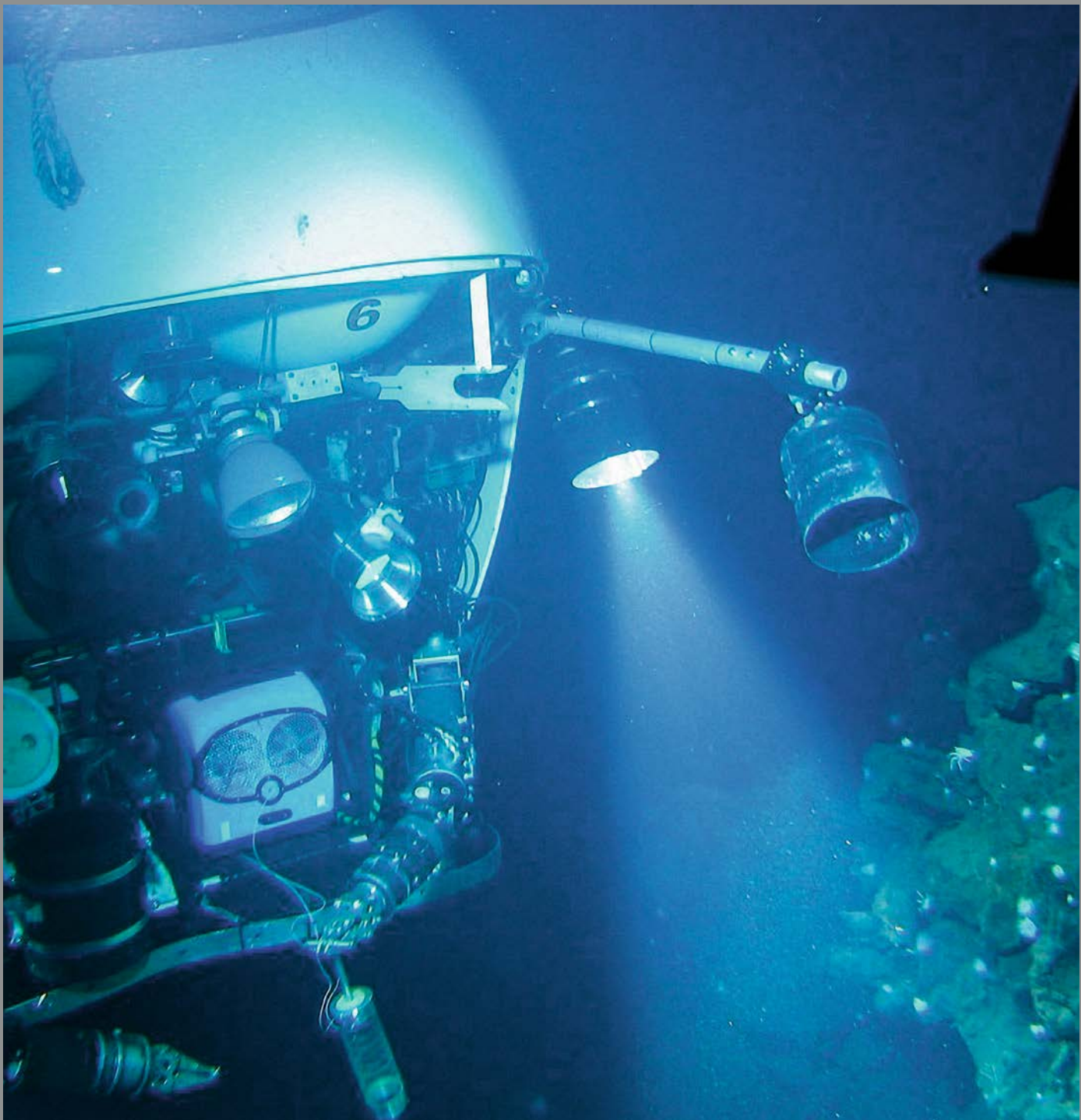


# СВЕТО 2·2017 ТЕХНИКА



# interlight

MOSCOW

powered by light + building

Международная выставка декоративного  
и технического освещения, электротехники  
и автоматизации зданий

**7 - 10 ноября 2017**

ЦВК «Экспоцентр»

Москва



[www.interlight-moscow.ru](http://www.interlight-moscow.ru)



messe frankfurt

# ОСВЕЩЕНИЕ МАГАЗИНА «МОСКОВСКИЙ ЮВЕЛИРНЫЙ ЗАВОД»

ТРЦ «АФИМОЛЛ СИТИ»  
МОСКВА, РОССИЯ



«Московский ювелирный завод» – одно из старейших ювелирных предприятий России. История завода насчитывает уже более 90 лет, на протяжении которых он не только выступает гарантом качества и надёжности собственной продукции, но и соответствует всем трендам и веяниям столь переменчивой моды. Предприятие владеет более чем 300 магазинами в более чем 100 городах России.

Один из крупнейших магазинов расположен в ТРЦ «АФИМОЛЛ Сити». При его строительстве использовались самые передовые технологии - динамические экраны, специальная подсветка витрин и самые современные источники света для общего освещения.

Проектировщик, компания «ЭТК СФ», имея большой опыт по работе с продукцией Vossloh-Schwabe, для освещения магазина использовал светодиодные модули серии «ShopLine 111», которые установил в свои карданные светильники.

В качестве блоков питания аварийного освещения установлены модули ЕМСс 180 с аккумуляторными батареями на 1 час непрерывной работы. Данные модули были специально разработаны для светодиодных источников света.

Светодиодные модули дали приятный теплый цвет, 3000 К, и высокий CRI, 85.

## ShopLine 111

- ☛ **СВЕТОВОЙ ПОТОК: ОТ 1500 ДО 4000 ЛМ**
- ☛ **ТРИ РАЗЛИЧНЫХ УГЛА ИЗЛУЧЕНИЯ  
УНИВЕРСАЛЬНЫЙ РЕТРОФИТ**
- ☛ **ДЛИТЕЛЬНЫЙ СРОК СЛУЖБЫ:  
ДО 50 000 Ч (L90; B10)**
- ☛ **ВЫСОКАЯ СВЕТОВАЯ ОТДАЧА: ДО 132 ЛМ/Вт  
ПРИ T<sub>p</sub> = 65 °С**



**Старт-Финиш**  
Светотехническая  
Компания

**Компания «ЭТК СФ»**

+7 (495)771-22-21

roman@startfinish.ru | www.startfinish.ru

**УЧРЕДИТЕЛЬ:**

ООО «Редакция журнала «Светотехника»

Шеф-редактор  
**Ю.Б. Айзенберг**, д.т.н., проф., академик  
АЭН РФИ.о. главного редактора  
**В.П. Будаков**, д.т.н., проф.; BudakVP@gmail.comЗам. главного редактора и научный редактор  
англоязычной версии  
**Р.И. Столяревская**, д.т.н.; lights-nr@inbox.ru**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:****Г.В. Боос**, председатель редакционной  
коллегии, к.т.н., НИУ «МЭИ», Москва**С.Г. Ашурков**, к.т.н., Москва**В.Е. Бугров**, д.ф.-м.н., проф., Университет  
ИТМО, С.-Петербург**Н.В. Быстрянцева**, к. арх., Университет ИТМО,  
С.-Петербург**Л.П. Варфоломеев**, к.т.н., Москва**П.П. Зак**, д.б.н., проф., ИБХФ РАН, Москва**А.А. Коробко**, к.т.н., УК «БЛ Групп», Москва**Л.Г. Новаковский**, к.т.н., Фарос-Алеф, Москва**А.Т. Овчаров**, д.т.н., проф., ТГАСУ, Томск**Л.Б. Прикупец**, к.т.н., ВНИСИ

им. С.И. Вавилова, Москва

**В.М. Пятигорский**, к.т.н., ВНИСИ

им. С.И. Вавилова, Москва

**А.К. Соловьёв**, д.т.н., проф., НИУ «МГСУ»,  
Москва**К.А. Томский**, д.т.н., проф., СПбГИКИТ,  
С.-Петербург**А.Г. Шахпарунянц**, к.т.н., ВНИСИ

им. С.И. Вавилова, Москва

**Н.И. Щепетков**, д. арх., МАРХИ (ГА), Москва**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: journal.svetotekhnika@mail.ru

Интернет: www.sveto-tekhnika.ru

Электронная версия журнала: www.elibrary.ru

**РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА:**

Генеральный директор

**Н.С. Шерри**; sherri@bl-g.ru

Старший научный редактор

**Е.И. Розовский**; lamptech@mail.ru

Научный редактор

**С.Г. Ашурков**; svetlo-nr@yandex.ru

Выпускающий редактор

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

Зав. редакцией

**Л.В. Шелатуркина**; zav.red@list.ru

Менеджер-референт

**М.И. Титаренко**; zav.red@list.ru

Администратор сайта

**Е.М. Новикова**

Стилист английской версии

**М.Д. Виноградова**

Секретарь редакции

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

Дизайнер-верстальщик

**А.М. Богданов**

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 22.03.17

Подписано в печать 14.04.17

Формат 60x88 1/8. Печ.л. 10,00

Тираж 1200

Отпечатано в типографии ООО «Агентство Море»

101898, Москва, Хохловский пер., д. 9

# СОДЕРЖАНИЕ

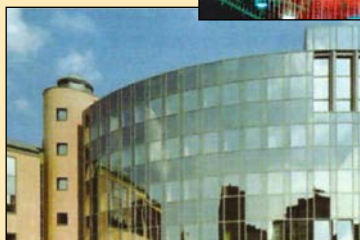
## В НОМЕРЕ

**Бизнес и инновации****4, 22, 31, 43, 52, 62, 69****Варфоломеев Л.П.** Светотехническое оборудование  
пилотируемых космических аппаратов**6****Копелевич О.В.** Использование видимого излучения  
при освоении и исследовании морей и океанов**13****Ильина Е.И., Частухина Т.Н.** Специальная оценка освещения  
рабочих мест**23****Соловьёв А.К.** Зеркальные фасады: их влияние  
на освещение противостоящих зданий**28****Дарула С., Ференчикова М.** О естественном освещении  
в школах в учебное время**32****Бьюккиначи Б., Гюлер Ё., Онайгил С., Юртсевен М.Б.**Сравнение результатов расчётов дорожного освещения  
с результатами измерений с использованием  
традиционных яркомеров и фотояркомеров**38****Атилган Л.Е., Юртсевен М.Б.** Тепловой расчёт специального  
фонаря с СД для исторических турецких мечетей**44****Чебаллос Л. Гарсиа, Диаз Ж.Р. Де Андрус** Функциональная  
единица для оценки жизненного цикла световой точки  
уличного освещения**53****Альков С.В., Белов М.Л., Городничев В.А.** Приближённая  
формула для углового распределения облучённости  
от неровной поверхности со сложной индикатрисой  
отражения**57****Будаков В.П.** Рецензирование научных работ**63****СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ****Пашковский Р.И.** О требованиях к электроустановкам  
для ванных и душевых комнат**66**

# 2 • 2017

## МАРТ • АПРЕЛЬ

# СВЕТО ТЕХНИКА



### ХРОНИКА

**Богданов А.А.** О стандарте АПСС «Требования к техническим и эксплуатационным параметрам светодиодных светильников»

27

**Долин Е.В.** IV Всероссийский светотехнический форум в Саранске

70

**Железникова О.Е.** О проведении XIII Всероссийской с международным участием научно-технической конференции «Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики»

71

**Глазунов А.Т.** Валентин Александрович Фабрикант (к 110-летию со дня рождения)

74

**Векленко Б.А.** К 110-летию юбилею В.А. Фабриканта

76

Памяти О.М. Михайлова

73

### ИНФОРМАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

**Правила** оформления рукописей

78

**Освещение** магазина светильниками со светодиодными модулями *Vossloh-Schwabe*

1

«*Interlight Moscow powered by light+building*» (анонс)

2 с. обл.

**Предложение** по реконструкции освещения от компании *GALAD*

3 с. обл.

**Многофункциональные** модули *Vossloh-Schwabe* со светодиодами

4 с. обл.

## Ассоциация Производителей Светодиодов и Систем на их основе утвердила свой первый стандарт

Первый стандарт Ассоциации СТО.69159079–01–2017 «Светильники светодиодные. Требования к техническим и эксплуатационным параметрам» вступает в действие с 1 сентября 2017 г.

Требования стандарта обязали выполнять все члены АПСС. СТО не противоречит действующим стандартам и является основой для разработки технических требований и технических условий всеми участниками рынка, готовыми следовать принципам честной конкуренции.

СТО вообрал в себя лучшие практики и опыт лидеров производства с огромным стажем, чья совокупная доля в объёме национального производства светотехнических изделий со светодиодами превышает 60 % в стоимостном выражении.

Ведущий эксперт по нормативно-техническому регулированию ОАО «ИНТЕР РАО Светодиодные системы», член Правления АПСС и Председатель комитета по стандартизации и НПА АПСС Александр Богданов прокомментировал новость: «Преследуемые профессиональным светотехническим сообществом цели очевидны: профессионально установить комплекс технически обоснованных требований, гарантирующих надлежащее качество продукции во всех объективно востребованных аспектах применения и эксплуатации; опробовать документ на себе и показать его практическую и экономическую целесообразность; предложить документ для рассмотрения и принятия на вооружение федеральным органам исполнительной власти. Данный подход – это общемировая практика, суть которой – в том, что никто, кроме производителей-профессионалов, не знает лучше и не сможет более грамотно установить требования к своему отраслевому продукту. Требования, которые будут подкреплены экономическими, а в перспективе, возможно, и не только финансовыми, гарантиями».

Данный стандарт распространяется на осветительные приборы со светодиодными источниками света для внутреннего или наружного освещения, предназначенные для работы в сетях переменного и постоянного тока напряжением до 1000 В.

СТО устанавливает общие требования к осветительным приборам, к их фотометрическим, колориметрическим и электрическим параметрам, требования к электромагнитной совместимости, эксплуатационным параметрам и безопасности, а также требования к надёжности и гарантийные обязательства.

[www.russianelectronics.ru](http://www.russianelectronics.ru)  
09.03.2017

## Wi-Fi уходит в прошлое? Будущее ИК сетей

Современные сети *Wi-Fi* могут передавать данные со скоростью от 0,45 до 1 Гбит/с. Исследователь из Технического университета Эйндховена (Нидерланды) Джоан О в своей диссертации предложила заменить их инфракрасными сетями, которые способны посылать информацию на большие расстояния со скоростью 42,8 Гбит/с.

В данный момент широко используются *Wi-Fi*-модули стандартов «802.11b/g/n/ac». Роутеры передают данные с помощью радиоволн, поэтому часто возникают помехи, особенно при одновременной работе нескольких передатчиков. В своём эксперименте Джоан О использовала ИК излучатели с антеннами и достигла скорости передачи данных 42,8 Гбит/с на расстояние 2,5 м. Исследовательница предлагает установить несколько таких устройств в комнате и передавать информацию с более высокой скоростью и на большие расстояния без помех. К сожалению, в отличие от радиоволн, ИК излучение не может проникать сквозь стены, поэтому инновационный передающий модуль должен быть установлен в каждом помещении квартиры. Пока систему тестировали только для скачивания данных.

<https://hi-tech.mail.ru>  
20.03.2017

## Волна нитевидных светодиодных ламп по разумным ценам достигла Европы и США

Компания *LEDinside*, являющаяся отделением компании *TrendForce*, сообщила, что в феврале этого года средняя мировая отпускная цена (СМОЦ) СД ламп прямой замены (СДЛПЗ) ламп накаливания (ЛН) мощностью 40 Вт достигла \$6,8, что на 0,6 % меньше, чем в предыдущем месяце. Что касается СДЛПЗ 60-Вт ЛН, то их СМОЦ в этом же месяце была \$8,2, что на 2,1 % ниже, чем в январе.



Преимуществом нитевидных ламп являются большая, чем у традиционных СДЛПЗ, световая отдача и в среднем гораздо меньшая цена.

При этом, например, компания *Philips* выпустила в феврале на рынок четыре новых изделия. Все они были нитевидными СДЛПЗ.

В целом, сочетание появления новых дешёвых изделий и кампании по продвижению привело к удешевлению традиционных СДЛПЗ 40- и 60-Вт ЛН как в Великобритании, так и в Германии. В Японии их цены уменьшились на 2,4 %, а в остальных частях Азии остались неизменными.

[www.ledinside.com](http://www.ledinside.com)  
08.03.2017

## Новые сверхплоские устройства компании Osram для современных светильников



Современные сверхплоские изделия *Osram* серии «*UltraFlat*» позволят создавать уникальные дизайнерские светильники, эффективная установочная высота которых всего 11 мм. В серию входят сверхплоские устройства управления (УУ) и широкий набор соответствующих СД модулей (СДМ) разной длины и цвета излучения.

Новое УУ постоянного тока *Osram* «*Optoelectronic UltraFlat DALI*» идеально подходит для современных линейных светильников, имея лучший на рынке сверхплоский корпус высотой всего 11 мм, набор программируемых опций («*DALI*», «*LEDset2*», «*NFC*»), регулируемый выходной ток, низкий коэффициент пульсации тока (менее 1 %), возможность непрерывного регулирования светового потока (от 1 до 100 %, полностью аналоговое) и высокий КПД (до 93 %).

Данное УУ идеально дополняет небольшой высокоэффективный СДМ *Osram* «*PrevaLED Linear Slim*» и столь же сверхкомпактный (50×20×11 мм) датчик *Osram* «*UltraFlat*» с зонами охвата в 6×6 м (движение) и 4×4 м (присутствие) при высоте подвеса в 3 м.

Клиенты *Osram* получают дополнительные гарантии безопасности своих проектов благодаря обширной системе гарантийных обязательств. При необходимости *Osram* может оказывать им помощь в разработке заказных решений.

[www.led-professional.com](http://www.led-professional.com)  
01.03.2017

## Светодиодные модули направленного света с повышенной световой отдачей и новыми цветами излучения

Компания *Tridonic* усовершенствовала кристаллы своих СД модулей (СДМ) «*SLE*» и одновременно расширила их цветовую палитру. К цветам «*ART*» (искусство), «*FOOD*» (продовольствие) и «*FASHION*» (мода), каждый из которых был оптимизирован для определённой области применения, теперь добавился «*TINGE*» («оттенки»), который делает тёплые тона более яркими. В режиме полной мощности все варианты имеют большую световую отдачу (СО) и в настоящее время выпускаются со светоизлучающей поверхностью диаметром 17 мм.



## Излучающие в УФ-С области диоды на основе GaN

Группа исследователей из Корнелльского университета (США), работающая в сотрудничестве с коллегами из Университета Нотр-Дам (США), сообщила об успехах в создании нового небольшого диода, излучающего в области УФ-С.



Используя в качестве активных областей управляемые на атомарном уровне монослои GaN и AlN, эта группа продемонстрировала возможность генерации диодами УФ-С излучения в диапазоне волн 232–270 нм. Полученная ею пиковая длина волны излучения 232 нм рекордно короткая (при использовании GaN в качестве излучающего материала). Предшествующий рекорд – 239 нм – был поставлен в Японии.

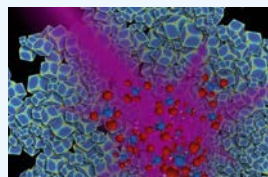
Соответствующая статья, «*MBE-grown 232–270 nm deep-UV LEDs using monolayer thin binary GaN/AlN quantum heterostructures*», опубликована 27 января в журнале «*Applied Physics Letters*».

При этом одна из основных проблем УФ излучающих диодов – их энергоэффективность, определяемая коэффициентом инжекции (КИ), внутренним квантовым выходом (КВК) и коэффициентом выхода излучения (КВИ). В области УФ-С понижены все три эти составляющие, но исследователи установили, что замена привычного AlGaIn на GaN повышает КВК и КВИ, а КИ может увеличиваться поляризационно-индуцированным легированием областей отрицательных (электроны) и положительных (дырки) носителей.

УФ-С излучающие диоды, помимо УФ обеззараживания, будут применяться для сохранения продуктов питания и проверки подлинности купюр.

www.compoundsemiconductor.net  
05.03.2017

## Технология превращения CO<sub>2</sub> в топливо под воздействием излучения



В течение многих лет учёные-химики занимаются поисками катализатора, способствующего реакции преобразования атмосферного углекислого газа в метан, который является сам по себе одним из основных видов топлива и сырьём для производства топлива других видов. И недавно

учёные из Дюкского университета (Дарем, С. Каролина, США) нашли ещё один высокоэффективный катализатор: крошечные наночастицы из родия, которые способствуют упомянутому выше химическому преобразованию под воздействием УФ излучения.

К сожалению, родий – один из самых редких химических элементов на Земле. Однако он играет достаточно важную роль в нашей повседневной жизни, он широко используется в различной измерительной технике и выступает в качестве катализаторов реакций, используемых при производстве лекарственных препаратов, моющих средств и другой бытовой химии. Родий также используется в каталитических конвертерах, делающих выхлопные газы автомобилей менее опасными для окружающей среды.

Сначала учёные пытались использовать для преобразования CO<sub>2</sub> в метан высокую температуру. Когда родиевые наночастицы были нагреты до температуры в 300 °С, начались химические реакции, действительно вырабатывающие метан. Однако при этом было производилось и такое же количество угарного газа. Но после того, как наночастицы стали облучать мощной УФ лампой, выход метана увеличился до 100 %, а выход угарного газа упал, соответственно, до нуля.

А сейчас учёные работают над способом, которым можно заставить идти химические реакции под воздействием естественного солнечного света. И в случае успеха данного мероприятия у человечества может появиться ещё один тип альтернативной энергетики.

www.nanonewsnet.ru  
21.03.2017

Эти светорегулируемые СДМ, для светильников направленного и направленного вниз света, поражают не только своей повышенной на 30 % СО и лучшей цветопередачей, но и усовершенствованным жёстким 50-мм корпусом, который удовлетворяет требованиям ZHAGA. Новая версия с 17-мм излучающей поверхностью заполняет промежуток между 15- и 19-мм СДМ, что обеспечивает возможность выбора углов излучения для светильников направленного света.

Благодаря большей СО новых СДМ, при той же, что и у предшествующих моделей, потребляемой мощности реализуется больший световой поток. Они совместимы со всеми стандартными устройствами управления, что позволяет приспосабливать их для разных областей применения.

Усовершенствование кристаллов привело также к улучшению цветопередачи СДМ без снижения СО. В частности, был улучшен индекс цветопередачи  $R_g$ . СДМ цвета «FASHION» теперь имеют  $R_g = 95$ , а цвета «ART» – даже 98.

СДМ цвета «FOOD» с их разными спектрами («золото», «золото+», «мясо», «незамороженное мясо» и «рыба») подобраны для разных видов продовольствия. Цвета выглядят насыщенными. Тёмно-коричневые тона придают хлебобулочным изделиям более «хрустящий» вид, тёплые оттенки красного – мясу и колбасе свежий и сочный вид, тогда как холодный свет подчёркивает свежесть рыбы и морепродуктов.

СДМ цвета «ART» дают беспрецедентное качество света и отличное освещение даже самых «требовательных» музейных экспонатов. Используемый здесь полноспектральный подход обеспечивает прекрасную цветопередачу с  $R_g = 98$ .

СДМ «FASHION» оживляют цвета модных вещей. Каждый показ мод исключителен. Все цвета, от ярких белых и насыщенных цветных тонов до бледных пастельных, должны выглядеть правдоподобно. СДМ с  $R_g = 95$  не приводят к выцветанию экспонатов даже после длительного облучения.

Теперь к палитре «FASHION» добавлен модный цвет «TINGE». На графике цветности МКО он расположен непосредственно под линией чёрного тела. Его слегка более тёплый оттенок придаёт тканям и аксессуарам, особенно многоцветным, более яркий вид.

www.led-professional.com  
08.03.2017

## ГК «IEK» – за Честную позицию и Соответствие в светотехнике

Группа компаний «IEK» – активный участник проекта «Соответствие в светотехнике» («СвС»), инициированного Ассоциацией «Честная позиция», и входит в состав рабочей группы проекта.



В настоящее время в рамках проекта проводятся важные мероприятия, направленные на исключение из производства и торгового оборота светильников со светодиодами (ССД), характеристики которых не соответствуют законодательным требованиям и (или) заявленным параметрам.

До 1 февраля 2017 г. поставщики и производители светотехнической продукции – участники проекта «СвС» – привели технические характеристики ССД в соответствие с принятыми нормативами и должны поставлять продукцию, соответствующую всем требованиям.

С 1 апреля 2017 г. начнётся тестирование ССД, поступающих на склады дистрибьюторов. Рабочая группа «СвС» утвердила «Список минимальных требований и параметров светильников», которые определены в соответствии с Законодательством РФ и должны соблюдаться всеми участниками рынка в обязательном порядке.

Вместе с другими производителями и поставщиками светотехнической продукции ГК «IEK» подписала «Соглашение о соблюдении норм и стандартов в производстве светотехнической продукции» и уверена, что соблюдение производителями и дистрибьюторами правил этого соглашения будет способствовать развитию цивилизованных бизнес-отношений и защите потребителей от некачественной продукции.

www.iek.ru  
09.03.2017

# Светотехническое оборудование пилотируемых космических аппаратов

Л. П. ВАРФОЛОМЕЕВ

E-mail: galeo.varfol@yandex.ru

## Аннотация

Представлена ретроспектива достижений отечественных научных, проектных и производственных предприятий во главе с ВНИСИ по созданию осветительных и облучательных приборов для пилотируемых космических аппаратов.

**Ключевые слова:** космос, пилотируемый космический аппарат, светильник, облучатель, ВНИСИ.

Всё связанное с освоением космоса долгие годы в СССР считалось секретным, и первой открытой публикацией по «космической светотехнике» явилась статья [1]. Чтобы её опубликовать, пришлось привлечь космонавта Ю. П. Артюхина, отлетавшего 15 дней на станции «Салют-3». В статье в самом общем виде были сформулированы основные задачи освещения космических объектов, предназначенных для длительных полётов.

Станции «Салют» (начиная с «Салюта-3») — первые космические объекты, осветительное оборудование которых было полностью разработано и изготовлено во ВНИСИ. До этого для освещения пилотируемых космических аппаратов (ПКА) использовались ЛН и светильники СЛ-3 (с ЛЛ типа ЛБ4—2ВУ), разработанные в ОКБ Лётно-испытательного института им. М. М. Громова. В светильнике использовались две ЛЛ мощностью 4 Вт со световым потоком по 90 лм, причём одновременно обе лампы могли работать не более 3 ч в сутки. И понятно, что освещённость рабочих поверхностей была на уровне подсобных помещений (не выше 30 лк).

Первые научные успехи в определении требуемых условий освещения ПКА связаны с работами С. М. Залкинд из ГосНИИ Гражданской авиации, по которым она в 1972 г. защитила диссертацию. Результаты последней легли в основу отраслевых норм Министерства общего машиностроения, согласованных с Минздравом СССР, и впервые были реализованы

именно на станции «Салют». С точки зрения СНиП и других регламентирующих документов эти нормы совершенно не удовлетворяли требованиям к обеспечению нормальных условий жизнедеятельности людей, тем более в тяжелейших условиях длительного космического полёта. Освещённость на рабочих поверхностях и в местах отдыха должна была достигать до 100 лк, а освещённость вспомогательных помещений — до 30 лк. Регламентировался тип источника света — ЛЛ белого света, а неравномерность распределения яркости в поле зрения и другие параметры освещения не регламентировались никак.

Чем вызывались столь низкие требования к условиям освещения? Прежде всего, баснословной ценой электроэнергии на ПКА и вывода на орбиту полезного груза. По американским источникам за 1970 г., стоимость подъёма 1 кг груза на орбиту составляла \$2200, стоимость 1 кВт мощности солнечных батарей — \$25000 [2]. На всю систему внутреннего освещения станции «Салют-5» при проектировании выделялось 250 Вт среднеуточной мощности и суммарная масса 14 кг. Надо сказать, что первая часть этих требований была выполнена, а вторая — нет (суммарная масса системы внутреннего освещения составила около 24 кг).

Важная особенность освещения ПКА — в том, что единственный источник электроэнергии на них — солнечные батареи с подзаряжаемыми от них аккумуляторами. Суммарная площадь солнечных батарей на МКС составляет около 2000 м<sup>2</sup>, а их мощность — 110 кВт. В российском сегменте традиционно используется напряжение 28 В, в американском — 124 В, а в японском — 28, 50 и 124 В. Наличие только постоянного напряжения затрудняет использование ЛЛ, так как во избежание катодореза они могут работать только на переменном токе. Поэтому обязательным элементом светильников с ЛЛ является преобразователь постоянно-

го напряжения в переменное. ЛН могут одинаково успешно работать как на постоянном, так и на переменном токе, создают проблему стабилизации напряжения. Дело в том, что бортовое напряжение имеет очень широкий разброс (плюс 7 — минус 4 В при номинале 27 В). Параметры ЛН, в первую очередь срок службы и световой поток, очень сильно зависят от напряжения, и потому неперенным узлом всех светильников с ЛН является стабилизатор напряжения.

Первым ПКА с приемлемыми условиями освещения был «Союз-19», созданный для советско-американской космической программы «ЭПАС» (Экспериментальная программа «Аполлон-Союз»). Специально для неё в короткий срок были разработаны светильники рабочего и местного освещения СД1—5М и СД1—6, а для освещения при телерепортажах — светильник СГ2—9. Первые два светильника — с U-образной амальгамной ЛЛ мощностью 8 Вт, а третий — с ГЛН мощностью 27 Вт. По конструкции светильники с ЛЛ одинаковы, но при этом СД1—6 — первый в мире «космический» светильник с регулируемым световым потоком (осевая сила света варьируется от 1 до 40 кд). По требованию ВНИИ телевидения, ответственного за телередачу с орбиты, в этих светильниках использовались ЛЛ «ЛДЦ», обеспечивающие лучшее по сравнению с ЛЛ «ЛБ» качество цветопередачи.

Освещённость рабочих мест в «Союзе-19» составляла около 200 лк и могла плавно снижаться космонавтами до 2—5 лк в зависимости от характера выполняемой работы. Освещённость при чёрно-белых телерепортажах достигала 300 лк, при цветных — около 100 лк и обеспечивала телерепортажи и киносъёмки вполне приемлемого качества. Надо сказать, что первое впечатление от освещения на «Союзе» у прибывших в Звёздный городок на тренировки американских астронавтов — потрясение, так как освещение «Аполлона» в то время было значительно хуже, а о возможности светорегулирования светильников с ЛЛ они даже не подозревали.

Светильники СД1—5М и СД1—6 (рис. 1) состоят из двух блоков — жёстко устанавливаемого на борту корабля блока питания и съёмного светового блока. Световой блок изготовлен из самого ударопрочного пластика — по-





Рис. 1. Светильник СД1–5М (СД1–6): а – в сборе; б – световой блок с тыльной стороны; в – блок питания

ликарбоната. Электрическое соединение блоков осуществляется разъёмом РС 10Б, а фиксация светового блока на блоке питания – откидными замками. Такая конструкция светильников была использована и в последующих разработках, показав высокую надёжность и удобство в эксплуатации в многочисленных полётах и многолетней работе на станциях «Салют» и «Мир» и на МКС.

В связи с явно недостаточными уровнями освещения по действовавшим в то время нормам, во ВНИСИ с привлечением специалистов из ИМБП, ГОИ, КБ общего машиностроения им. В.П. Бармина, Института авиационной и космической медицины (ИКМ) и НИИ технической эстетики (ИТЭ) в 1977–80 гг. была выполнена крупная НИР («Исследование путей создания рациональной осветительной установки для замкнутых экологических объектов»), результаты которой частично опубликованы [3–9]. Для проведения длительных экспериментов были разработаны и созданы две уникальные осветительные установки.

В сурдобарокамере ИКМ были смонтированы четыре светильника с шестью ЛЛ мощностью 18 Вт в каждом. Питание ламп осуществлялось током высокой частоты (20 кГц), с возможностью независимого регулирования светового потока из двух мест – изнутри и снаружи камеры. В двух светильниках использовались ЛЛ «ЛБ» и в двух – ЛЛ «ЛДЦ». Участники эксперимента, работавшим внутри камеры, предоставлялась возможность самим устанавливать желаемый уровень освещённости рабочих мест в диапазоне 0–350 лк, а также желаемый спектр излучения ламп. Ограничений по потребляемой мощности не было. Экспериментаторы-операторы занимались непрерывной трёхсуточной операторской работой,

очень близкой к реальной деятельности космонавтов в полёте. Для имитации невесомости операторы находились в ортостатическом положении (лёжа на спине с наклоном оси тела на 6° головой вниз). У всех операторов замерялись физиологические параметры – артериальное давление и частота сердечных сокращений. Зрительная работоспособность и состояние зрительного анализатора определялись методами корректурных проб, ахроматической адиспараметрии, контрастной чувствительности и критической частоты слияния мельканий. Без определённой периодичности по несколько раз в сутки регуляторами снаружи камер устанавливались уровни освещённости, отличные от выбранных операторами внутри камер, с тем, чтобы они вновь устанавливали желаемый уровень.

В другой экспериментальной установке определялась желаемая освещённость мест отдыха (уровень, равномерность распределения яркости, насыщенность помещения светом, цветность излучения, цветовая отделка помещений). Для этого в полномасштабных макетах реальных помещений были смонтированы установки карнизного освещения с использованием стандартных ЛЛ «ЛБ», «ЛЕ» и «ЛДЦ», а также специально для этого разработанных цветных ЛЛ (красных, зелёных и синих) мощностью по 36 Вт. Как и в светильниках для сурдобарокамеры, ЛЛ питались током высокой частоты и могли регулироваться. Экспериментаторы по своему желанию устанавливали уровни освещённости и спектр излучения при разной цветовой отделке стен помещения, обеспечивающие наиболее комфортные условия для отдыха.

В результате этих экспериментов (послуживших основой диссертаций О.И. Окары (1980) и Т.С. Леоновой (1982)) было установлено:

- Уровень освещённости, обеспечивающий комфортные условия для работы при длительном пребывании в замкнутых экологических объектах, составляет около 200 лк с ЛЛ «ЛДЦ» и около 270 лк с ЛЛ «ЛБ».

- ЛЛ «ЛДЦ» с точки зрения зрительной работоспособности и утомления оказались не хуже, чем ЛЛ «ЛБ» (по-видимому, это связано с отсутствием пульсаций светового потока при высокочастотном питании ламп).

- Для создания комфортных условий работы система освещения должна обеспечивать возможность регулирования уровней освещённости, а для отдыха – и спектра излучения.

- Для снижения неблагоприятного влияния длительного пребывания операторов в небольшом замкнутом пространстве в зонах отдыха желательно обеспечивать светоцветовую динамику.

Для реализации этих требований во ВНИИИС по заданию ВНИСИ была разработана серия восьмиваттных ЛЛ, устойчивых к воздействию высоких механических и климатических нагрузок (ЛЛ «ЛБ», «ЛЕ» и «ЛДЦ» ЛЛ красных, зелёных и синих), а также эритемных и бактерицидных ртутных ламп НД. На базе всех этих ламп во ВНИСИ были созданы светильники, уже более тридцати лет успешно функционирующие в космосе и до сих пор являющиеся основными средствами освещения российских модулей МКС.

Указанные специальные ЛЛ, созданные в начале 80-х гг., до сих пор остаются на уровне лучших мировых образцов (так, световая отдача красных и зелёных ЛЛ – 75 лм/Вт, ЛЛ «ЛБ» – 55 лм/Вт; их гарантированный срок службы (с вероятностью безотказной работы 0,95) – 5000 ч.

ЛЛ ЛБ8–4 и ЛДЦ8 продолжают оставаться основными источниками света для российских модулей МКС,

Рис. 2. Светильник СД1-8 (СД1-7)



Рис. 3. Светильник СПР-1 (переносной репортажный)



Рис. 4. Светильник СР-2



и с ними разработаны светильники СД1-7, СПР-1 и СР-2 (рис. 2-4).

Светильник СД1-7 был основным средством освещения на станции «Мир» [10], на котором стационарно устанавливалось 17 таких светильников с двумя ЛЛ ЛБ8-4 или ЛДЦ8. Лампы работали от одного преобразователя напряжения и могли включаться раздельно. Частота выходного напряжения – 20 кГц, что полностью исключает пульсации светового потока ламп и акустические помехи от светильника. По конструкции светильник аналогичен названным выше светильникам СД1-5М и СД1-6: жёстко закреплённый на борту блок питания и съёмный световой блок из поликарбоната, фиксируемый откидными замками. Плавная регулировка светового потока не предусматривалась. Позднее был разработан светильник СД1-8, полностью совпадавший с СД1-7 по конструкции, но позволявший регулировать световой поток в пределах (100-1)%. Однако

по указанным ниже причинам работа над этим светильником завершилась на этапе создания опытного образца, и в реальных космических полётах он не участвовал.

Для освещения при телерепортажах и кинофотосъёмках на станции «Мир» был разработан светильник СПР-1 (рис. 3). Он выполнен в виде моноблока с шестью 8-ваттными ЛЛ, для защиты которых выходное отверстие светильника перекрыто пластиной из особо прочного ПММА – СО 140, толщиной 4 мм. На торцевых сторонах корпуса – две ручки (для удобства переноски и работы). Таких светильников на станции было четыре. Они могли легко крепиться в любом месте станции не только с помощью кронштейнов, прикрепляемых к специальной площадке с тыльной стороны корпуса невыпадающими винтами, но и с помощью наклеек из «ворсовой молнии». Светильники СПР-1 использовались космонавтами очень широко не только при телерепортажах

и киносъёмках, но и всегда, когда требовалась повышенная освещённость.

Ещё один «космический» светильник – СР-2 (рис. 4) – по электрической схеме и параметрам аналогичен светильнику СПР-1, но крепится стационарно. Светильники СР-2 и сегодня успешно работают в российских модулях МКС.

Наконец, был разработан и дополнительный вариант универсального светильника, пригодного как при освещении репортажей и съёмки, так и для рабочего освещения – СР-3 (рис. 5). Светильник содержит три съёмных световых блока, унифицированных с основным светильником рабочего освещения СД1-7, которые крепятся к общему блоку питания откидными замками. Каждый блок может включаться независимо от других, что делает осветительную установку с такими светильниками достаточно гибкой. Как и переносной репортажный светильник СПР-1, светильник СР-3 рассчитан на разные способы его крепления и переноски.

К сожалению, распад СССР и последовавшее за ним разрушение единой ракетно-космической отрасли промышленности не позволили полностью реализовать создание комфортной рабочей среды в ПКА. Тем не менее с июля 1997 г. начал действовать ГОСТ [11], регламентирующий некоторые параметры освещения, полученные в результате НИР 1977–80 гг. Он создан без участия ВНИСИ (раздел по освещению создан ИМБП по результатам указанной НИР), и потому с светотехнической точки зрения местами не вполне корректен. В табл. 1 приведены нормируемые в нём требования к освещению.

При этом:

- в обитаемых отсеках должны предусматриваться следующие виды освещения: общее (рабочее); дежурное; аварийное; для обеспечения телерепортажей и кинофотосъёмки; переносное для ремонтных работ; переносное с автономным питанием;

- в техническом обоснованных случаях допускается совмещать виды освещения. При отключении дежурного освещения автоматически должно включаться аварийное. Должны быть предусмотрены: местное освещение, включение рабочего освещения у спальных мест космонавтов и возможность полного выключения освещения, в том числе дежурного;

– в обитаемом отсеке должны быть исключены: образование бликов на отражающих поверхностях приборов, иллюминаторов, приборных досок; слепящее действие на космонавтов; затемнение рабочего оборудования при выполнении рабочих операций космонавтами; воздействие прямых солнечных лучей на глаза космонавта;

– освещённость при аварийном освещении должна составлять не менее 20 % от значений, указанных в табл. 1, но не менее 20 лк;

– для обеспечения оптимальных условий восприятия информации с приборов должно предусматриваться управление освещением средств индикации. Средства освещения обитаемых отсеков должны обеспечивать плавную регулировку освещённости от 300 до 50 лк.

При выполнении космической программы «Буран» (аналога американской «Space-Shuttle») для освещения негерметичной погрузочно-разгрузочной площадки был разработан светильник СГ2–12 (рис. 6), с ГЛН. Такой выбор источника света обусловлен невозможностью работы разрядных ламп, в том числе ЛЛ, в заданном интервале температур, а светодиодов, по сути, тогда ещё не было. В светильнике использована ГЛН мощностью 40 Вт: КГСМ27–40. Поскольку бортовое напряжение имеет широкий разброс, светильник включается через стабилизатор напряжения (на рис. 6 слева). Как известно, советский орбитальный корабль «Буран» совершил единственный беспилотный космический полёт, а его макет сейчас демонстрируется на ВДНХ.

По требованию Заказчика освещение для телерепортажей из спускаемых ПКА, в которых космонавты находятся во время выведения корабля на орбиту и спуска с неё, должно осуществляться только ЛН. По программе «ЭПАС» для этого был разработан светильник СГ2–9 с ГЛН КГМ27–27. Позже он был модифицирован и уже как светильник СГ2–14 летал на многих советских и российских «Союзах». Благодаря специально рассчитанному отражателю из алюминия с электрохимическим полированием поверхности светильник создаёт равномерную освещённость порядка 300 лк в круге диаметром 1 м с расстояния 1 м, что вполне обеспечивает высокое качество репортажей. С одним общим блоком питания, стабилизирующим бор-

Рис. 5. Светильник СР-3



Рис. 6. Светильники СГ2–12



Рис. 7. Светильник СГ2–14



товое напряжение, работают четыре таких светильника (рис. 7).

Кроме осветительных приборов ВНИСИ в содружестве с ИМБП был создан и доставлен на «Солют-7» бор-

товой УФ облучатель «БУФ», предназначенный для компенсации УФ недостаточности, а точнее – профилактики нарушений кальциевого обмена<sup>1</sup> [12]. Облучатель содержит 6

<sup>1</sup> С проблемой «солнечного голодания» космонавты столкнулись тогда, когда длительность полётов стала составлять несколько месяцев. Как известно, витамин D<sub>3</sub>, регулирующий кальциевый обмен организма, практически не усваивается из пищи и образуется при облучении кожи УФ излучением с длиной волны около 365 нм. Недостаток этого витамина ведёт к вымыванию кальция из костей со всеми негативными последствиями этого (истончение и хрупкость костей, остеопороз и т.п.).

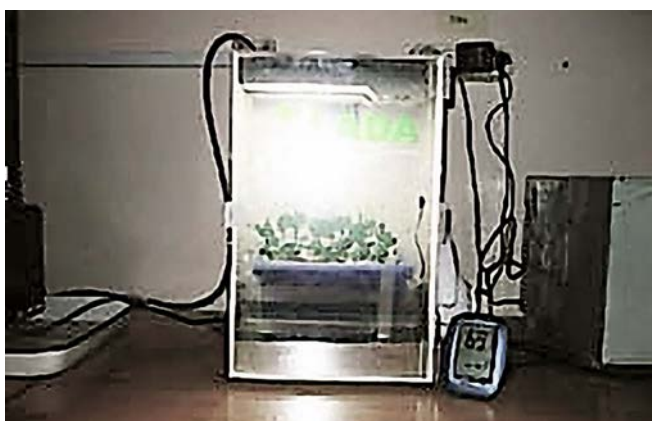
Рис. 8. Облучатель «БУФ»



Рис. 9. Светильник со светодиодами для замены светильников с ЛЛ в американских модулях МКС [14]



Рис. 10. Космическая оранжерея «Лада»



эритемных ЛЛ ЛЭ8, разработанных ВНИИС. Большой проблемой оказался выбор материала для перекрытия выходного отверстия, так как ни поликарбонат, ни ПММА, ни другие достаточно ударопрочные пластики совершенно не пропускают УФ излучение нужного диапазона. В результате изучения спектральных характеристик пропускания десятков материалов был выбран политрифторхлорэтилен (фторопласт-3) в виде плёнки толщиной 0,4 мм. Защиту ламп и плёночного перекрытия обеспечивала металлическая решётка (рис. 8).

ИМБП были разработаны методические указания для космонавтов по работе с облучателем «БУФ». Для их выполнения в облучателе имелся

встроенный таймер, позволявший устанавливать требуемое время облучения: от 5 до 45 мин. Облучатель устанавливался над тренажёром «беговая дорожка». Такой же облучатель работал и на станции «Мир».

Далее, что касается освещения модулей американского сегмента МКС. Оно осуществляется в соответствии с документом [13]. Соответствующие требования к этому освещению приведены в табл. 2, из которой видно, что они заметно выше, чем по ГОСТ [11], и в основном согласуются с рекомендациями, полученными в результате выполнения НИР 1977–80 гг.

Для освещения американских модулей МКС до сих пор также используются ЛЛ, но уже известно о намерении НАСА перейти на светодиоды (рис. 9) [14]. Одной из причин этого названо нарушение циркадных ритмов и хроническое недосыпание космонавтов (известно, что во время полётов космонавты ежедневно недосыпают примерно по 2 ч). Поскольку светодиоды могут излучать свет практически любой цветности и легко регулироваться, с ними можно моделировать циркадное изменение световой среды не только по освещённости, но и по цветности излучения, что может способствовать поддержанию нормальных суточных ритмов у космонавтов<sup>2</sup>. Осуществить замену ЛЛ на светодиоды планировалось уже в 2016 г.

Ещё один важный объект применения светотехники в ПКА – «космические оранжереи». Эксперименты по выращиванию растений в условиях невесомости начались со станции «Салют» (1971 г.), на борту которой имелась небольшая оранжерея «Оазис». Для освещения растений в ней использовался светильник СД1–4 с двумя ЛЛ мощностью по 4 Вт. По отзыву летавшего на этой станции космонавта Ю.П. Артюхина «Оазис» был самым светлым местом на станции, и космонавты проводили близ него значительную часть свободного времени. Кстати, светильник СД1–4 – первый светильник разработки ВНИСИ, побывавший в космосе. Позже появились оранжереи «Малахит» и другие, которые показали возможность выращивания на ПКА высших растений по полному циклу (от семени до семени). С 1996 г. на станции «Мир» работала полностью автоматическая оранжерея «Свет», созданная в ИМБП. Светильник для неё, с двумя ЛЛ мощностью по 8 Вт, был разработан в Болгарии. В оранжерее выращивали пшеницу, листовые овощные культуры и редис. Космонавты собирали их на определённой стадии развития, фиксировали в специальных растворах, а затем на Земле биологи изучали анатомию и морфологию отобранного материала.

На МКС опыты по выращиванию высших растений проводятся как

<sup>2</sup> Проблема нарушения циркадных ритмов и возможности управления ими с помощью света изучалась в СССР ещё в 70-е гг. (ВНИСИ, ИМБП, ИКМ), но технические средства того времени не позволяли реализовать результаты исследований.

Требования к освещённости рабочих поверхностей элементов обитаемых отсеков ПКА [11, таблица 13]

Место освещения	Оптимальная освещённость, лк, не менее	Примечания
1. Рабочий стол	150	Применяют лампы белого света Равномерность освещения, не менее: 1:3 – для приборных досок и рабочих мест 1:5 – для отдельных надписей и обозначений на пультах 1:10 – для пультов в центральной и периферической части поля зрения
2. Приборная доска (щиток)	200	
3. Места отдыха космонавта	100	
4. Места установки радио и специальной аппаратуры	40	
5. Вспомогательные отсеки	50	В зоне АСУ, умывальной кабины, душа допускается уменьшение до 30 лк
6. Места сна космонавтов	10	Постоянное дежурное освещение с использованием синего фильтра
7. Средства индикации с необходимостью различения деталей размером: до 1 мм до 10 мм	200 75–100	Для средств индикации особо важных параметров – увеличение яркости относительно основных элементов на 40 % (в том числе для пультов управления, тренажёров для физических тренировок)

в российском, так и в американском сегментах. В российском сегменте работала оранжерея «Лада», в которой выращивали листовую салат, карликовые помидоры, карликовый горох, ячмень, редис и пшеницу (рис. 10).

Для освещения (точнее, для облучения) растений использовались ЛЛ. Оранжерея «Лада» вышла из строя в 2010 г. В декабре 2016 г. её должна была заменить автоматическая оранжерея «Лада-2», в которой используются светодиоды (белые, красные и синие в оптимальном для роста растений сочетании). Однако транспортный корабль «Прогресс», который должен был доставить оранжерею на МКС, не вышел на орбиту и разрушился.

В американском сегменте МКС с апреля 2014 г. работает сборно-разборная оранжерея «Veggie» («Овощ»). По площади посадки (30×36 см) это сейчас самая большая космическая оранжерея, и в ней используется блок из красных, синих и зелёных светодиодов. В этой оранжерее выращиваются салат и другие овощные культуры, а также впервые в условиях космического полёта выращены цветы циннии.

Об освещении японского, канадского и европейского сегментов МКС никаких сведений в доступных источниках информации, включая Интернет, обнаружить не удалось.

Таблица 2  
Требования к освещению интерьеров модулей американского сегмента МКС

Зона МКС или вид деятельности	Освещённость, лк, не менее
Общее	100
Проходы	50
Люки	100
Поручни	100
Лестницы	100
Рабочее место	320
Техобслуживание	270
Органы управления	200
Сборка	320
Ведение записей	540
Заполнение таблиц	540
Ремонт	320
Панели	50
Чтение	540
Ночное освещение	20

Для световой сигнализации на российских ПКА используются только ЛН. На беспилотных аппаратах применяются поисковые маяки с импульсными ксеноновыми лампами. ВНИСИ были разработаны и выпу-

скались несколько типов габаритных и сигнальных огней для ПКА [15, 16].

Отдельно следует сказать о прожекторах для освещения стыковочных узлов. Прожекторы устанавливаются на всех модификациях ПКА типа «Союз»

Рис. 11. Комплекс СМИ-4



\*\*\*

и используются при ручной стыковке ПКА со станцией. В связи с этим был разработан прожектор СМИЗ-3 с ГЛН типа КГМ27-100, имеющей рекордную для ГЛН световую отдачу – 33 лм/Вт. Однако из-за большого разброса бортового напряжения и значительного падения напряжения на проводах (до 5 В) лампы часто работали при напряжении ниже номинального, что приводило к заметному ухудшению светотехнических параметров прожектора.

Для устранения этого недостатка в конце 80-х гг. был разработан новый осветительный комплекс СМИ-4 (рис. 11). В прожекторах комплекса использованы новые ГЛН, КГМ12-100, созданные во ВНИИИС. Импульсный стабилизатор напряжения, собранный по оригинальной схеме и имеющий КПД более 92 %, расположен рядом с лампами, и потому при любых колебаниях бортового напряжения на лампы поступает ровно 12 В. Габариты тела накала ламп – всего 2×3 мм, что позволило при достаточно малых размерах отражателей получить угол излучения 4° и осевую силу света более 10000 кд. Комплекс СМИ-4 содержит три прожектора: два с углом излучения 4° для освещения непосредственно стыковочного узла и один с углом излучения 20° для общего освещения и обзора станции. При стыковке работает один из «четырёхградусных» прожекторов, а другой служит резервным, включаясь автоматически при отказе первого. Это обеспечивает исключительную надёжность комплекса. Но надо отметить, что за многолетнюю историю его не было ни одного случая отказа основного прожектора. Попытки применения МГЛ вместо ГЛН не привели к успеху из-за очень широкого диапазона рабочих окружающих температур (от – 150 до + 100 °С).

Очевидно, светодиоды открывают совершенно новые возможности как во внутреннем освещении ПКА, так и в световой сигнализации и освещении стыковочных узлов. С их помощью достаточно легко можно организовать свето- и цветодинамичную световую среду, обеспечивать все рекомендуемые параметры освещения, и притом с меньшими энергозатратами и с лучшими массогабаритными параметрами.

Между тем «по независящим обстоятельствам» работы по космической светотехнике во ВНИСИ несколько лет назад были прекращены. По неофициальным данным, сегодня они ведутся в Зеленограде.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артюхин Ю. П., Варфоломеев Л. П., Леонова Т. С., Мотыльков В. А., Окара О. И., Чернышёв В. П., Шталтовный Н. А. Проблемы внутреннего освещения пилотируемых космических аппаратов // Светотехника. – 1980. – № 7. – С. 6–8.
2. Информационные листки «Ракетная и космическая техника». ГОНТИ-1, 1973–76.
3. Варфоломеев Л. П., Леонова Т. С., Окара О. И., Чернышёв В. П. Выбор оптимальных режимов освещения операторских помещений ограниченного объёма // Светотехника, 1981. – № 6. – С. 6–8.
4. Варфоломеев Л. П., Леонова Т. С. О выборе люминесцентных ламп для операторских помещений // Светотехника. – 1983. – № 5. – С. 9–11.
5. Варфоломеев Л. П., Леонова Т. С. Освещение малых изолированных помещений, предназначенных для активного отдыха // Электротехническая промышленность. Серия «Светотехнические изделия». – 1981. – Вып. 3 (69). – С. 1–2.
6. Леонова Т. С. Освещение операторских помещений в замкнутых экологиче-

ских объёмах // Электротехническая промышленность. Серия «Светотехнические изделия». – 1981. – Вып. 4 (70). – С. 2.

7. Леонова Т. С. Об оценке комфортности световой среды в замкнутых экологических объёмах // Электротехническая промышленность. Серия «Светотехнические изделия». – 1981. – Вып. 5 (71). – С. 2.

8. Больинов В. А., Варфоломеев Л. П., Леонова Т. С. Цветодинамическая осветительная установка // Электротехническая промышленность. Серия «Светотехнические изделия». – 1982. – Вып. 2 (74). – С. 2.

9. Окара О. И. О динамике световой среды операторских помещений // Светотехника. – 1978. – № 11. – С. 12–14.

10. Варфоломеев Л. П., Гусев В. Г., Магивев Г. В. Освещение пилотируемого космического комплекса «Мир» // Светотехника. – 1995. – № 4–5. – С. 33–34.

11. ГОСТ Р 50804–95 «Среда обитания космонавта в пилотируемом космическом аппарате. Общие медико-технические требования».

12. Варфоломеев Л. П. Компенсация ультрафиолетовой недостаточности у космонавтов на станции «Мир» // Светотехника. – 1997. – № 5. – С. 29–30.

13. Спецификация систем для международной космической станции. Тип 1. Контракт № NAS15–1000 CDRL № M G 02.

14. НАСА: светодиоды помогут обитателям МКС бороться с бессонницей // Светотехника. – 2013. – № 1. – С. 17.

15. Барышников В. Г., Водоватов Б. М., Жильцов В. П., Коньков В. Е., Магивев Г. В. Развитие светосигнальных средств для визуального поиска с воздуха // Светотехника. – 1977. – № 2. – С. 1–4.

16. Леонидов А. В. Определение оптимальных энергетических параметров светового маяка как элемента системы визуальной сигнализации // Электротехническая промышленность. Серия «Светотехнические изделия». – 1982. – Вып. 5 (77). – С. 1–2.



**Варфоломеев Леонид Петрович**, кандидат техн. наук. Окончил в 1959 г. МЭИ по специальности «Светотехника и источники света». Многие годы руководил одной из

научных лабораторий ООО «ВНИСИ». Член редколлегии журнала «Светотехника»

# Использование видимого излучения при освоении и исследовании морей и океанов

О.В. КОПЕЛЕВИЧ

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва  
E-mail: oleg@ocean.ru

## Аннотация

Рассматриваются проблемы и возможности использования видимого излучения при освоении и исследовании морей и океанов. Основная особенность морской воды как среды, в которой распространяется свет, заключается в том, что это светорассеивающая среда, причём в большинстве практически важных случаев рассеяние преобладает над поглощением. Поэтому для теоретических оценок распространения в водной среде солнечного света и излучения от искусственных источников требуется использовать решения интегро-дифференциального уравнения переноса излучения, что потребовало развития различных специальных методов. Измерение параметров световых полей в водной среде также связано со значительными трудностями, обусловленными, в первую очередь, погодными условиями — облачностью, поверхностным волнением. Теория подводного видения имеет свою специфику, особенно в случае наблюдения подводных объектов через взволнованную морскую поверхность. В обзоре приведён интересный пример, относящийся к этой проблеме. Другой пример иллюстрирует современные возможности подводного видения на самых больших океанских глубинах. Свет как инструмент для исследования и мониторинга морской среды имеет важные достоинства и даже явные преимущества перед другими методами. Одно из них — способность света проходить через поверхность моря с малыми потерями (в отличие от микроволнового излучения и звука), что позволяет применять дистанционное световое зондирование подповерхностного слоя океана (с борта судна, авианосителей, спутников). С появлением лидаров, использующих для зондирования лазерные импульсы, и развитием спутниковых наблюдений, дистанцион-

ные оптические методы получают всё более широкое распространение.

**Ключевые слова:** свет, светорассеивающая среда, теория переноса излучения, фотометрия, распространение солнечного излучения, подводная видимость, лидары, спутниковые наблюдения.

## 1. Введение

Данный обзор посвящён использованию видимого излучения (далее — свет) при освоении морей и океанов, а стало быть, и при их исследовании. Автор надеется, что рассматриваемые проблемы будут интересны читателям журнала «Светотехника», в первую очередь тем, кто интересуется не только конструкторской и технологической разработкой светотехнических установок, их проектированием, монтажом и эксплуатацией, но и исследованием распространения света в различных средах, измерением его характеристик, преобразования его энергии в другие виды энергии и использования, помимо освещения, и для других целей [1]. Здесь уместно отметить, что и основоположник фотометрии француз Пьер Бугер, и один из творцов современной фотометрии советский учёный А.А. Гершун уделяли в своих работах немалое внимание «морской» тематике. Так, Бугер измерял в лабораторных условиях прозрачность морской воды, предложил эмпирические формулы зависимости коэффициента отражения от угла падения при отражении света от поверхности воды, вывел экспоненциальный закон ослабления света при его прохождении через поглощающую среду, построил теорию видимости предметов через мутную среду и применил её к расчёту предельной глубины видимости погружённых в воду предметов [2]. А.А. Гершун был одним из авторов первой в мире монографии по оптике моря «Прозрачность и цвет моря» [3], занимался подводным освещением и более общими теоретическими

и экспериментальными проблемами фотометрии мутных сред [4, с. 85–103; 397–400; 430–438].

Морская вода как среда, в которой распространяется свет, имеет важную особенность, которая определяет специфику оптики океана как науки, — это светорассеивающая среда, причём в большинстве практически важных случаев рассеяние преобладает над поглощением. Фотоны в водной среде испытывают в среднем большее число актов рассеяния, чем поглощения. Поэтому для описания взаимодействия света с морской средой должна использоваться теория многократного рассеяния, или теория переноса излучения. Эта теория носит достаточно универсальный характер и, вообще говоря, применима и в оптике атмосферы, и в астрофизике, и в теории переноса нейтронов. Однако специфика оптических свойств морской воды обуславливает определённые ограничения использования в гидрооптике результатов теории переноса, полученных в других областях. Оптические характеристики морской воды — главный фактор, определяющий распространение в воде света, как естественного, так и от искусственных источников.

Оптические явления в морях и океанах с давних времён привлекали внимание человека, и в первую очередь, моряков. Не случайно приоритет в проведении оптических измерений непосредственно в море принадлежит мореплавателю, капитану российского флота О.Е. Коцебу, который первым стал количественно оценивать прозрачность океанских вод, наблюдая глубину исчезновения из виду погружаемых предметов. Интерес к оптике моря особенно возрос после того, как человек сам начал проникать в морские глубины, появился подводный флот. Основные проблемы, которые вызывали практический интерес на этом этапе, — обнаружение и маскировка подводных объектов, видимость под водой, использование подводной фотоаппаратуры. Световой режим на различных глубинах интересует и морских биологов, ведь от него зависит процесс фотосинтеза, определяющий создание первичной биопродукции в морях и океанах.

Возможности инструментального исследования закономерностей распространения света в водной среде

резко возросли после того, как в начале 20-х годов прошлого века на смену фотопластинкам в качестве приёмников света пришли фотоэлементы. Наряду с фотометрами, для измерения подводной освещённости стали использоваться погружаемые прозрачномеры и измерители рассеяния. Натурные гидрооптические исследования стали комплексными — в морских экспедициях одновременно измерялись как фотометрические величины (поверхностная и подводная освещённость, яркость), так и оптические характеристики воды.

Важное достижение начала 20-х годов прошлого века — объяснение цвета моря; в 1922 г., независимо друг от друга и практически одновременно, индийский физик Ч. Раман [5] и советский учёный В.В. Шулейкин [6] показали, что цвет вод объясняется совокупным действием селективного поглощения и рассеяния. Важность этого открытия сейчас подтверждена широким использованием спутниковых сканеров цвета, которые вошли в число наиболее популярных спутниковых измерителей благодаря своей экономической эффективности и широкому набору получаемой информации. Эра спутниковых сканеров цвета началась в 1978 г., когда на американском спутнике *NIMBUS-7* был запущен Сканер цвета прибрежной зоны *CZCS* (Coastal Zone Color Scanner), и в настоящее время спутниковые наблюдения — один из главных инструментов, используемых для исследования и мониторинга морей и океанов.

Другое научно-техническое достижение, определившее новый этап в развитии оптики океана, — это создание в 60-х годах импульсных лазеров, излучающих короткие мощные импульсы света, что привело к возникновению в гидрооптике целой области исследований — изучение закономерностей формирования нестационарного подводного светового поля и разработка методов лазерного зондирования водной среды.

В настоящем обзоре мы ограничимся кратким рассмотрением трёх основных проблем использования света при освоении морей и океанов: (1) световой режим в водной толще, создаваемый солнечным излучением; (2) подводная видимость при естественном и искусственном освещении, в том числе, через взволнованную морскую поверхность; (3) использо-

вание света для исследования и мониторинга морской среды.

## 2. Световой режим в морской среде, создаваемый солнечным излучением

На первых этапах освоения морей и океанов человечеству был доступен только поверхностный слой, освещаемый солнечным излучением. И в настоящее время, когда человек проникает уже на самые большие океанские глубины, этот слой сохраняет своё наиболее значимое значение. Для человека по-прежнему наиболее доступно мелководье, прибрежная зона; поверхностный слой также важен тем, что в нем создаётся первичная продукция, это слой фотосинтеза. Биологи называют его «фотическим» (освещённым), и за его нижнюю границу принимается глубина, на которой фотосинтетически активная радиация (ФАР, спектральный диапазон 400–700 нм) составляет 1 % от поверхностной. В наиболее чистых океанских водах толщина фотического слоя может превышать 100 м.

### 2.1. Теоретические оценки распространения солнечного излучения в водной среде

Ниже будем использовать радиометрические величины, которые выражаются в энергетических единицах [7]: поток излучения  $F$ , облучённость  $E$  и энергетическая яркость  $L$ .

Из-за многократного рассеяния весь фотический слой «насыщен» солнечным светом, который приходит в выбранную точку наблюдения со всех направлений; рассматриваемая поверхность не обязательно должна быть реальной (как поверхность моря или дно) — её можно выбрать умозрительно и рассматривать облучённость или яркость для произвольно ориентированной поверхности в любой выбранной точке морской среды.

Оптические свойства морской воды описываются набором оптических характеристик, который включает показатели поглощения  $a(\lambda)$ , рассеяния  $b(\lambda)$ , ослабления  $c(\lambda)$  (сумма показателей рассеяния и поглощения,  $c = b + a$ ) и индикатрису рассеяния  $P(\theta, \lambda)$ , характеризующую угловое распределение однократно рассеянного света. Также используются производные величины: вероятность вы-

живания фотона (в зарубежной терминологии — «альbedo однократного рассеяния»)  $w(\lambda)$ , равная отношению показателей рассеяния и поглощения ( $w = b/c$ ); показатели рассеяния вперёд  $b_f$  (в переднюю полусферу — угол рассеяния  $\theta$  от 0 до  $90^\circ$ ) и назад  $b_b$  ( $\theta$  от  $90^\circ$  до  $180^\circ$ ), коэффициент асимметрии  $K = b_f/b_b$ .

Показатели рассеяния  $b$ ,  $b_f$ ,  $b_b$ , поглощения  $a$  и ослабления  $c$  имеют размерность  $[m^{-1}]$ , индикатриса рассеяния  $P(\theta)$  измеряется в  $sr^{-1}$ , а вероятность выживания фотона  $w$  — величина безразмерная. Точное и полное определение вышеназванных характеристик можно найти в монографиях [8–9].

Важная особенность индикатрисы рассеяния морской воды — её сильная вытянутость в направлении падающего пучка; коэффициент асимметрии, как правило, больше 10, а в некоторых районах — даже больше 100. Эта особенность играет существенную роль в распространении света.

В однородной среде ослабление направленного светового пучка в зависимости от расстояния описывается простой формулой:

$$F(l) = F(0) \cdot \exp(-c \cdot l), \quad (1)$$

где  $F(0)$  — начальная величина потока излучения,  $F(l)$  — величина потока после прохождения в среде расстояния  $l$ . Величина  $cl$  называется оптической толщиной  $\tau$ , а величина  $e^{-c} = F(l)/F(0)$ , соответствующая пропусканию направленного светового пучка слоем единичной толщины, — прозрачностью (обычно измеряется в %).

Формула (1), отражающая экспоненциальный характер ослабления направленного пучка в зависимости от расстояния, называется законом Бугера. С.И. Вавилову удалось показать, что в поглощающей среде закон Бугера справедлив при ослаблении интенсивности падающего светового потока в  $10^{19}$  раз. Однако в рассеивающей среде, какой являются и морская вода, и атмосфера, закон Бугера имеет ограничения — он применим лишь к узконаправленным пучкам и в области, где преобладает однократное рассеяние ( $\tau = c \cdot l \ll 1$ ). При увеличении расстояния от источника излучения в сильно рассеивающей (слабо поглощающей) среде начинает доминировать многократное рассеяние, и вместо закона Бугера для



описания распространения излучения в такой среде приходится использовать уравнение переноса излучения [8].

В самой простой форме уравнение переноса имеет вид:

$$dL/dl = -cL + b \int_{4\pi} L(\theta', \varphi') \cdot P(\theta, \theta') d\Omega', \quad (2)$$

где  $dL/dl$  в левой части уравнения – изменение яркости  $dL$  в рассматриваемом направлении на бесконечно малом отрезке пути  $dl$ ; в правой части первый член показывает уменьшение яркости при однократном взаимодействии со средой (без второго члена формула (2) – это закон Бугера в дифференциальной форме), второй член учитывает увеличение яркости в рассматриваемом направлении за счёт рассеяния излучения, приходящего с других направлений, соответствующих зенитному и азимутальному углам  $\theta', \varphi'$ .

Уравнение (2) – это непростое для решения интегро-дифференциальное уравнение, однако в настоящее время разработаны эффективные численные методы. Описание строгих и различных приближённых методов решения уравнения переноса можно найти в [8].

В числе наиболее применяемых численных методов: метод Монте-Карло, *DISORT*, *Hydrolight*. Преимущество метода Монте-Карло в том, что он применим для любой геометрии эксперимента, условий освещения, пространственного распределения оптических характеристик и т.д.; недостаток – большие затраты машинного времени.

Усовершенствованный метод дискретных ординат *DISORT* (*Discrete Ordinates Radiative Transfer*) реализован в виде компьютерной программы для решения уравнения переноса излучения в плоско-параллельной среде, применимой как для видимого, так и ультрафиолетового, инфракрасного и микроволнового излучения, и широко используется в известных программах расчёта переноса излучения в атмосфере. Обобщение *DISORT* на систему океан-атмосфера с гладкой поверхностью раздела описано в [10], а в [11] используемый подход обобщён на случай взволнованной морской поверхности.

*Hydrolight* – это коммерческая программа численного решения уравнения переноса излучения в плоско-параллельной среде [12]. Она позволяет рассчитывать спектральные распределения яркости на заданной глубине в водной толще как для нисходящего, так и для восходящего потоков излучения с учётом отражения от дна, а также под и над поверхностью моря. В последнем случае для заданного распределения яркости прямого и диффузного излучения, падающего на поверхность, рассчитывается также распределение яркости излучения, отражённого от взволнованной морской поверхности. Другие входные параметры для расчёта – спектральные поглощающие и рассеивающие свойства морской воды с произвольным распределением по глубине, характеристики дна и взволнованной поверхности моря. Детали используемого метода решения уравнения переноса можно найти в книге [13].

Преимущество программы *Hydrolight* перед методом Монте-Карло в том, что вышеуказанные характеристики она считает гораздо быстрее, хотя и с такой же точностью. Разница особенно заметна для яркости восходящего излучения, где для морской воды (из-за сильной вытянутости индикатрисы рассеяния) в методе Монте-Карло, чтобы обеспечить необходимую точность результата, нужно «запускать» очень большое число фотонов ( $10^7$  и больше). Упрощённая версия программы *Hydrolight* под названием *EcoLight* рассчитывает только облучённости и делает это в 30–100 раз быстрее, чем *Hydrolight*.

Ослабление потока солнечного излучения с глубиной приближённо также описывается экспоненциальным законом:

$$E_d(z) = E_d(0^-) \times \exp(-K_d z), \quad (3)$$

где  $E_d(z)$  – облучённость, создаваемая нисходящим потоком солнечного излучения на глубине  $z$ ;  $E_d(0^-)$  – облучённость непосредственно под поверхностью;  $K_d$  – показатель диффузного ослабления нисходящего солнечного излучения (в русской литературе его часто называют показателем вертикального ослабления подводной облучённости сверху).

Если  $K_d$  изменяется с глубиной, то в показателе экспоненты в (3) нужно написать интеграл:

$$E_d(z) = E_d(0^-) \times \exp\left(-\int_0^z K(z) dz\right) \quad (3a)$$

Формулы (3)-(3a) применимы также для облучённости  $E_u(z)$ , создаваемой на глубине  $z$  восходящим потоком солнечного излучения, только вместо показателя  $K_d$  надо использовать показатель  $K_u$  для восходящего солнечного излучения;  $K_u \neq K_d$ . Оба показателя зависят как от оптических свойств морской воды (в первую очередь, от показателей поглощения и рассеяния назад), так и от угловой структуры нисходящего и/или восходящего световых потоков.

Для показателя  $K_d$  можно использовать приближённую формулу [14]:

$$K_d = 1.04 D_0 (a + b_b), \quad (4)$$

где  $D_0 = (1-g)/\cos\theta_{0w} + 1,197g$ ,  $a$  и  $b_b$  – показатели поглощения и рассеяния назад;  $\theta_{0w}$  – угол преломления прямых солнечных лучей,  $g$  – доля диффузного излучения в общем потоке излучения, падающего на поверхность. Все величины здесь и далее – функции длины волны излучения  $\lambda$ .

Величина  $g$  близка к 0 для случая чистой атмосферы и Солнца в зените и равна 1 при отсутствии прямых солнечных лучей в случае облачности или «пылевой бури». В первом случае  $D_0 = 1$ , во втором она равна 1,197. Наибольшее значение  $D_0$  соответствует случаю чистой атмосферы при максимально возможном угле преломления прямых солнечных лучей  $\theta_{0w} = 48,3^\circ$ ; значение  $D_0$  в этом случае близко к 1,5.

Видно, что, вообще говоря, величина  $K_d$  существенно зависит от высоты Солнца и состояния атмосферы. Тем не менее, если принять  $D_0 = 1,2$  и пренебречь в (4) величиной  $b_b$  по сравнению с  $a$  (что вполне допустимо для большинства морских и океанских вод), то полученная приближённая формула для расчёта  $K_d$  оказывается пригодной для большинства случаев:  $K_d \cong 1,25 \cdot a$ .

На рис. 1 представлены среднемесячные пространственные распределения показателя диффузного ослабления подводной облучённости  $K_d(490)$  для длины волны 490 нм

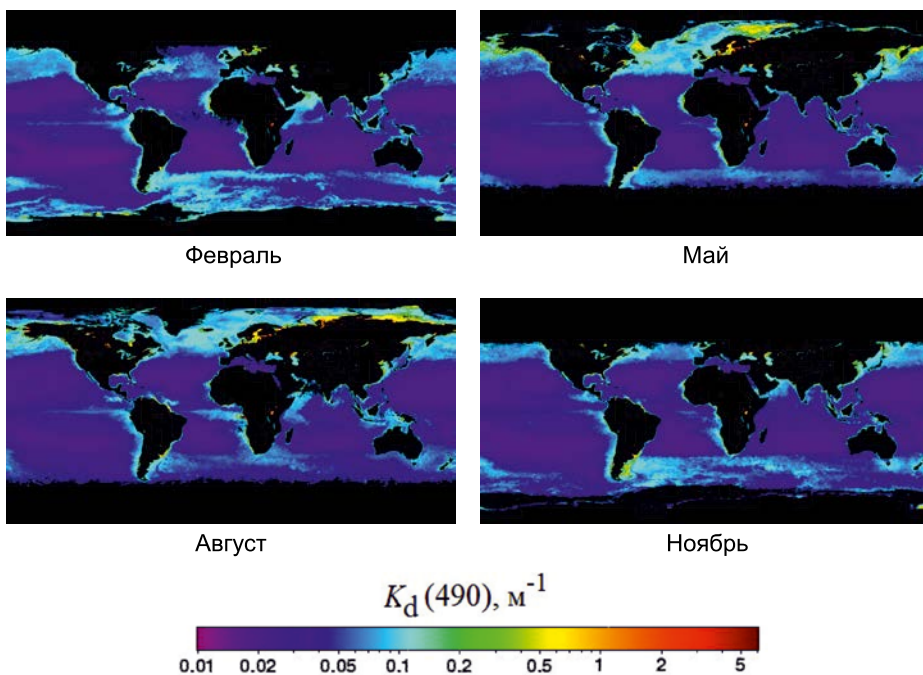


Рис. 1. Среднемесячные пространственные распределения показателя диффузного ослабления подводной облучённости  $K_d(490)$  по данным спутникового сканера цвета VIIRS, усреднённым за период 2012–2016 гг.

для февраля, мая, августа и ноября по данным спутникового сканера цвета VIIRS, усреднённым за период 2012–2016 гг. [15]. Видно, что эта величина, в зависимости от района, изменяется очень сильно – от  $\sim 0,01 \text{ м}^{-1}$  до нескольких единиц; кроме того, её значения подвержены заметным сезонным изменениям.

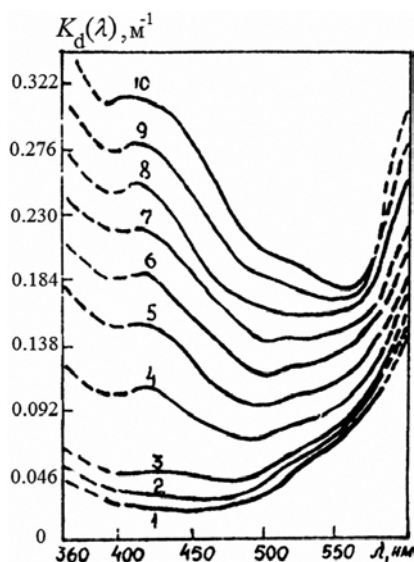


Рис. 2. Спектральные зависимости показателя диффузного ослабления подводной облучённости  $K_d(\lambda)$  в зависимости от величины  $K_d(500)$ . Цифры у кривых соответствуют следующим значениям  $K_d(500)$ : 1–0,028; 2–0,034; 3–0,046; 4–0,069; 5–0,092; 6–0,115; 7–0,138; 8–0,161; 9–0,184; 10–0,207  $\text{м}^{-1}$  (значения пересчитаны по данным [8, с.276])

## 2.2. Спектральные распределения подводной облучённости и предельные глубины проникновения солнечного излучения

Показатель диффузного ослабления  $K_d$  зависит от длины волны излучения  $\lambda$ , и эта зависимость в видимом диапазоне спектра выражена довольно резко (рис. 2) [8, с.276]. При этом  $K_d(500)$  зависит от абсолютного значения показателя поглощения, и, как видно на рис. 2, соответствующие разным значениям показателя поглощения зависимости  $K_d(\lambda)$  наиболее резко отличаются друг от друга в коротковолновой части спектра. Эти изменения связаны, в первую очередь, с изменением содержания окрашенного органического вещества в разных водах.

В соответствии с (2), изменения спектральных величин  $K_d(\lambda)$  приводят к изменению с глубиной спектрального распределения подводной облучённости  $E_d(1, z)$ , и это изменение происходит по-разному в различных типах вод [8, с.269]. На рис. 3 видно, что вода действует как цветной фильтр: непосредственно под поверхностью (на глубине 0 м) спектральное распределение облучённости соответствует солнечному спектру, а с глубиной это распределение сужается в зависимости от спектральной зависимости

показателя  $K_d(\lambda)$ . Общим свойством всех типов морской воды является сильное ослабление с глубиной красного участка спектра, обусловленное поглощением самой водой. Исчезновение красного света из распространяющегося вглубь моря светового потока может привести к неожиданным цветовым эффектам под водой. Один из таких эффектов красочно описан в книге [16], когда один акванавт на глубине нескольких десятков метров ранил гарпуном большую рыбу – лихию: «Кровь была зелёная! Ошеломлённый этим зрелищем, я подплыл ближе, глядя на струю, вместе с которой из сердца рыбы уходила жизнь. Она была изумрудного цвета. Мы недоумевающе переглянулись. Сколько раз мы плавали среди лихий, но никогда не подозревали, что у них зелёная кровь. Крепко держа гарпун со своим поразительным трофеем, Диди пошёл вверх. На глубине пятидесяти пяти футов кровь стала коричневой. Двадцать футов – она уже розовая, а на поверхности растеклась алыми струями».

Разница в абсолютных значениях показателя  $K_d$  приводит к резкому различию изменения светового режима с глубиной. В чистых океанских водах в максимуме пропускания величина  $E_d$  уменьшается на порядок примерно на глубине 100 м, а в мутных прибрежных водах – примерно на 3 порядка уже на глубине 50 м (рис. 3).

Многие исследователи задавались вопросом: а на какой глубине в море вообще исчезает солнечный свет? Подобную задачу, в частности, рассматривал Пьер Бугер, который при этом считал, что солнце становится полностью невидимым, если его свет ослабить в 900 млрд раз. Простые оценки показывают, что в чистых океанских водах такое ослабление произойдёт примерно на глубине 600 м.

Современные приёмники света – фотоэлектронные умножители, способные улавливать даже отдельные фотоны, на глубине 1000 м в прозрачных водах будут регистрировать попадание примерно одного фотона в секунду. Глубины 1200 м достигнет лишь один фотон из каждых  $10^{24}$ , падающих на поверхность моря; здесь чувствительный фотоумножитель фиксировал бы попадание фотона примерно один раз в сутки; на глубине 1500 м – один раз в 300 лет! Попадание фотона солнечного света на дно

Марианской впадины вряд ли произойдёт хотя бы один раз за всю историю человечества.

### 2.3. Измерение параметров солнечного излучения на поверхности моря и в водной толще

В предыдущих разделах было показано, что в настоящее время теоретические расчёты светового режима в морской среде могут обеспечить достаточно надёжные результаты при условии, что известны оптические характеристики морской воды и условия освещения. Конечно, вообще обойтись без прямых измерений параметров светового поля невозможно — по крайней мере, они необходимы для проверки правильности различных теоретических моделей. Однако измерения этих параметров в условиях морских экспедиций обычно связаны со значительными трудностями — на наш взгляд, измерять оптические характеристики морской воды проще и надёжнее (их, по крайней мере, можно измерять в лаборатории, в отличие от параметров световых полей).

Сложности измерений связаны, в первую очередь, с погодными условиями — облачностью, качкой, поверхностным волнением. Последнее создаёт высокочастотные флуктуации подводной облучённости, которые при обработке данных необходимо отделять от средних величин. Анализ технических трудностей измерения параметров световых полей можно найти в [8, гл. 9]; там же описаны приборы, разработанные до начала 80-х годов прошлого столетия. В настоящем обзоре мы приведём примеры современных разработок (и-за ограниченности объёма — только измерителей облучённости).

В Институте океанологии РАН (ИО РАН) в последние годы для измерений облучённости сверху ( $E_d$ ) и снизу ( $E_u$ ) используется измеритель светового режима (ИСП) [17]. Он был создан для измерения поверхностной и подводной облучённости на основе 4-канальных радиометров, разработанных американской компанией *Biospherical Instruments Inc.* Измерительный комплекс включает два датчика, каждый из которых обеспечивает измерение облучённости в спектральных каналах 443, 490, 555 и 625 нм (полуширина 10 нм) с погрешностью

Рис. 3. Изменение с глубиной спектральных распределений подводной облучённости  $E_d(\lambda)$  в разных водах: а – Саргассово море, б – вблизи Сенегала. Цифры у кривых – горизонты, м [8, с.269]

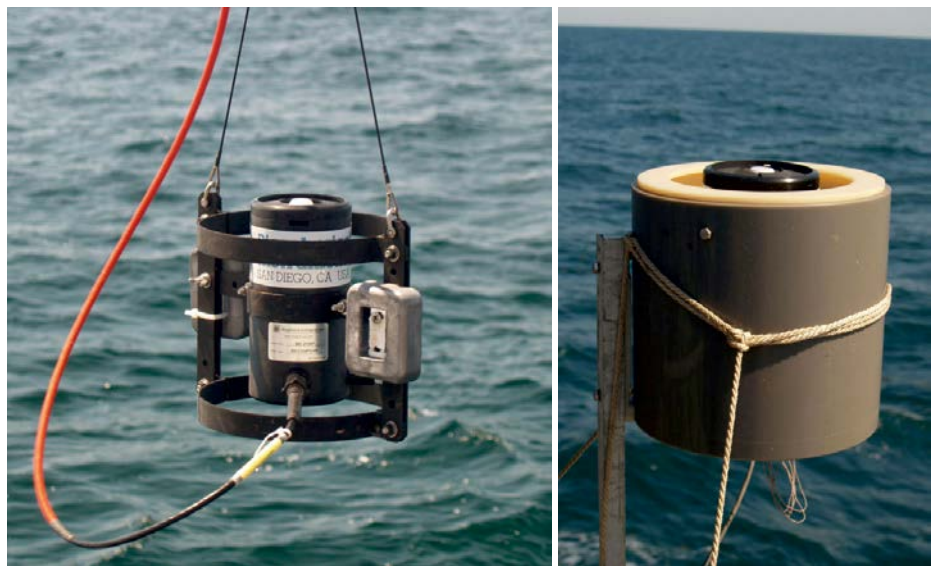
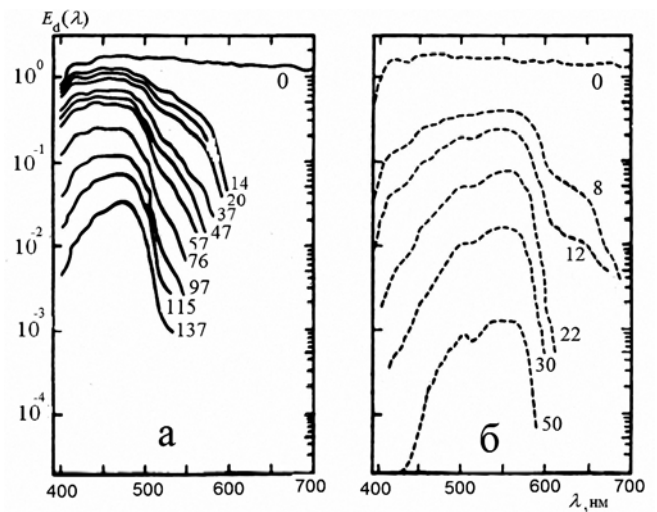


Рис. 4. Измеритель светового режима на поверхности моря и в водной толще. Слева – погружаемый датчик, справа – палубный датчик

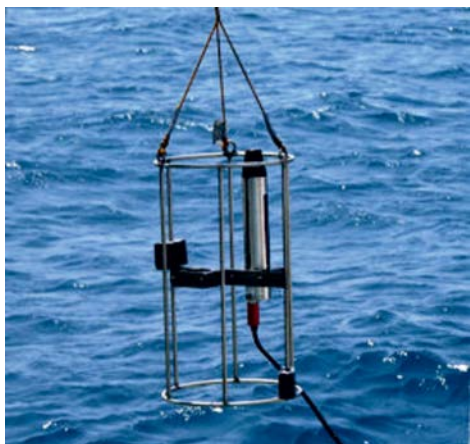
не более 5 % (рис. 4). Специальный косинусный коллектор обеспечивает косинусность с точностью  $\pm 2\%$  и  $\pm 10\%$  в диапазонах углов  $0-65^\circ$  и  $65-85^\circ$  соответственно.

Палубный спектро радиометр (рис. 4) устанавливается в незатенённом месте на палубе судна и снабжён «стабилизатором вертикали», чтобы исключить влияние качки на измеряемые величины облучённости. На переходах судна с палубного модуля выполнялась непрерывная регистрация спектральной поверхностной облучённости на 4-х длинах волн в течение всего светлого времени суток. Динамический диапазон палубного датчика  $10^{-2} - 30 \text{ Вт/м}^2$ .

Подводный радиометр погружается с борта судна на кабеле в кевларовой оплётке на глубину до 100 м; динамический диапазон измерений об-

лучённости —  $10^{-4} - 30 \text{ Вт/м}^2$ . Прибор снабжён датчиками глубины и температуры воды. Измерения подводным модулем могут проводиться как в режиме непрерывного зондирования, так и на фиксированных горизонтах. Частота опроса каналов облучённости в режиме зондирования — 5 Гц, в режиме выборки — с интервалом  $1 \div 60$  мин. Для измерения подводной облучённости снизу  $E_u$  и определения коэффициента диффузного ослабления  $K_u$ , подводный модуль превращается в коллектор вниз. С помощью разработанного вспомогательного модуля, устанавливаемого на корпусе подводного радиометра, обеспечивается возможность измерений в автономном режиме без кабеля.

Были разработаны алгоритмы и подготовлено соответствующее программное обеспечение для расчёта



#### Технические характеристики:

- Динамический диапазон канала измерения облучённости  $3 \pm 0,0003 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{нм}$ .
  - Спектральный диапазон измерений –  $320 \pm 1100 \text{ нм}$ .
  - Разрешение по спектру –  $3 \text{ нм}$ .
  - Максимальная глубина погружения (по длине кабеля) –  $100 \text{ м}$ .
  - Время выборки усреднённого спектра (задается оператором) –  $0,1 \text{ с} \pm 24 \text{ ч}$ .
- Прибор откалиброван 26.01.2015 компанией *TRIOS* по стандартам *NIST*.

Рис. 5. Гиперспектральный радиометр *RAMSES*, разработка компании *TRIOS* [19]

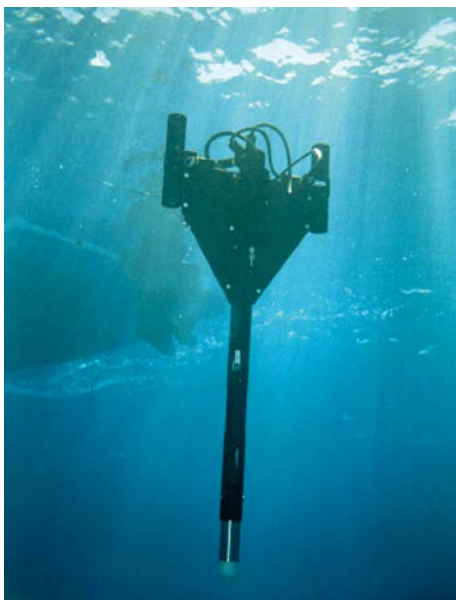


Рис. 6. Измерительная система *Profiler II*, разработанная компанией *SATLANTIC* [20], для измерения яркости восходящего излучения и облучённости сверху в 8 спектральных каналах. Слева – модификация для измерений в «буйковом» варианте, справа – измерения в режиме «свободного падения»

спектральных величин поверхностной облучённости ([18]) и спектральных коэффициентов диффузного отражения [17].

В ИО РАН также используется гиперспектральный радиометр *RAMSES*, разработанный немецкой компанией *TRIOS* (рис. 5). Измерения этим прибором проводятся на дискретных горизонтах, а глубина определяется с помощью встроенного датчика глубины. Для измерения подводной облучённости снизу  $E_u$  подводный модуль переворачивается коллектором вниз. Более подробную информацию об этом приборе можно найти на сайте компании *TRIOS* [19].

Интересную систему для измерения яркости восходящего излучения и облучённости сверху в 8 спектраль-

ных каналах предлагает американская компания *Satlantic* [20] (рис. 6). Возможны две модификации: «буйковый» вариант и свободно падающая платформа (чтобы изолировать устройство от движений судна, которые могут приводить к искажению данных). Для работы в «буйковом» варианте устанавливается съёмный поплавок (рис. 6); в таком варианте измерения яркости и облучённости могут выполняться непосредственно под поверхностью моря (лишь на 5 см ниже поверхности).

При работе в режиме «свободного падения» поплавок снимается, и зонд измеряет вертикальные профили вышеуказанных (или других) характеристик, опускаясь вниз под действием собственной тяжести. На зонде, наря-

ду с измерителями яркости и облучённости, могут устанавливаться и другие датчики: температуры и электропроводности, глубины, угла наклона, флуоресценции и рассеяния света.

### 3. Подводная видимость при естественном и искусственном освещении

Наблюдение подводных объектов – одно из важнейших направлений освоения и изучения Мирового океана, и для его практической реализации разрабатываются и создаются различные системы наблюдения – судовые, на подводных носителях, авиационные, спутниковые. Теория подводного видения основана на теории переноса излучения, но имеет свою специфику. В настоящее время опубликованы и книги, и обзорные статьи, в которых суммированы основные положения современной теории видения, описываются методы расчёта параметров изображения, дальности видимости и разрешающей способности различных систем видения при естественном и искусственном освещении [21, 22]. В 2006 г. опубликована первая в мире монография по теории видения через взволнованную морскую поверхность [23]. Вышеуказанные публикации содержат практически все важные библиографические ссылки, и читатель, интересующийся вопросами подводного видения, сможет найти в них изложение различных аспектов проблемы. В нашем обзоре мы приведём лишь два интересных примера, один из которых относится к проблеме улучшения качества изображения при наблюдении подводного объекта через взволнованную водную поверхность, а другой иллюстрирует современные возможности подводного видения на самых больших океанских глубинах.

#### 3.1. Коррекция изображений подводных объектов, искажённых поверхностным волнением

Взволнованную ветровым воздействием поверхность моря можно представить как состоящую из отдельных элементарных площадок, имеющих случайный наклон. Излучение, отражённое от подводного объекта, при прохождении через поверхность преломляется на таких площадках

и существенно искажается. Эту проблему можно частично решить путём усреднения (накопления) большого количества изображений при условии, что время накопления значительно превышает максимальный период волнения. Однако в реальных авиационных системах видения с большой скоростью движения такое усреднение невозможно, и приходится иметь дело с «мгновенными» изображениями. Пример искажения мгновенного изображения самосветящейся миры через взволнованную поверхность воды в лабораторном бассейне (выдержка 1/400 с) показан на рис. 7.

Идея коррекции искажённого мгновенного изображения основана на использовании информации о пространственном распределении уклонов. В эксперименте [24], результаты которого представлены на рис. 7, такая информация получалась из бликовой картины взволнованной поверхности, освещаемой широким параллельным пучком (при известном направлении и угле падения). Поверхность освещалась красным светом, а объект — зелёным. Обработка бликовой картины позволила получить значение уклонов в окрестности зеркальных точек в области поверхности, ответственной за искажение изображения. Для каждого мгновенного изображения полученная информация использовалась для коррекции отдельных фрагментов изображения, а коррекция всего изображения осуществлялась путём суммирования (накопления) серии частично скорректированных мгновенных изображений. Результат выполненной коррекции, представленный на рис. 7в, наглядно демонстрирует принципиальную возможность коррекции изображений, искажённых поверхностным ветровым волнением.

### 3.2. Проведение глубоководных наблюдений с помощью обитаемых аппаратов

В ИО РАН эксплуатируются два глубоководных обитаемых аппарата (ГОА): «Мир-1» и «Мир-2» с глубиной погружения до 6 км [25]. Аппараты оснащены мощными подводными светильниками (рис. 8), обеспечивающими возможность визуальных наблюдений подводных объектов, фото- кино- и телевизионных съёмки. С помощью аппаратов «Мир»

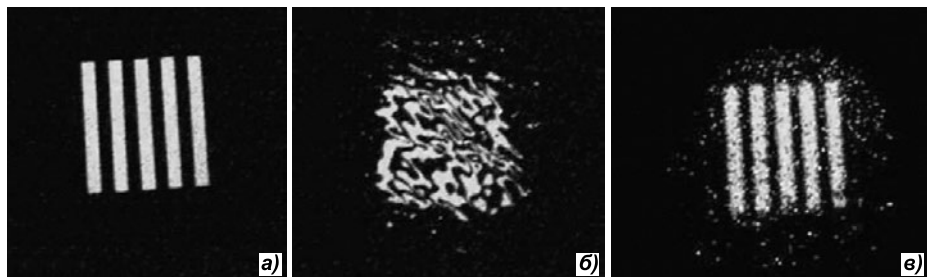


Рис. 7. Изображения самосветящейся миры через поверхность воды в лабораторном бассейне. а – исходное изображение через гладкую поверхность, б – изображение через взволнованную поверхность (выдержка 1/400 с), в – восстановленное изображение [24]

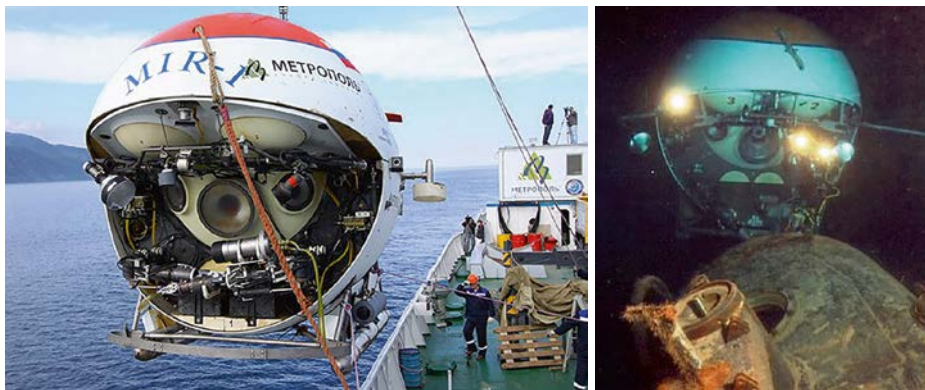


Рис. 8. Глубоководный обитаемый аппарат «Мир»: слева – перед спуском, справа – обследование затонувшей подводной лодки, Атлантический океан, глубина 5400 м

сделаны важные научные открытия, а также проведены обследование и видеосъёмки на 6 объектах, затонувших на глубине до 5400 м. В 1991 и 1995 гг. с помощью аппаратов «Мир» производились съёмки кинофильмов на легендарном затонувшем судне «Титаник», лежащем на глубине 3800 м. В процессе погружений обследован корпус «Титаника», который во время аварии развалился на две части, лежащие на расстоянии 600 м друг от друга, проведены уникальные киносъёмки. В результате работ были созданы широкоформатный фильм *IMAX «TITANICA»* и всемирно известный голливудский художественный фильм «TITANIC». Была реализована методика прямой телевизионной трансляции пакета видеосигналов с глубины 3800 м по оптоволоконному кабелю на поверхность океана и далее через спутник на землю. Такая операция проводилась трижды, и во время одной из них передачу с «Титаника» весь мир смотрел в течение 2,5 часов по каналу *Discovery*.

С помощью ГОА «Мир» созданы и другие известные фильмы: «Bismarck», «Aliens of the Deep», «Ghost of the Abyss» и др.

Уникальные научные исследования были проведены в экспедиции

на озере Байкал в июле-августе 2008 г. Аппараты «Мир» совершили 52 погружения. В них принимали участие учёные, которым удалось обнаружить нефтеносные породы, сейсмогенные грунты, новые микроорганизмы.

Аппараты «Мир» с учёными на борту погружались на гидротермальные поля Атлантического и Тихого океанов. При этом был получен большой объём уникальных научных данных, позволивший оценить масштабы мировой гидротермальной системы, депозиты рудных образований в отдельных районах, изучить их химический состав, исследовать биоразнообразие гидротермальных систем и т.д.

### 4. Использование света для исследования и мониторинга морской среды

Использование света для исследования и мониторинга морской среды имеет важные достоинства, а по некоторым направлениям и явные преимущества, по сравнению с другими методами. В их числе: возможность проводить исследования без «насилия» над исследуемой средой, практическая безынерционность, высокое пространственное разрешение, потенциально большие объём

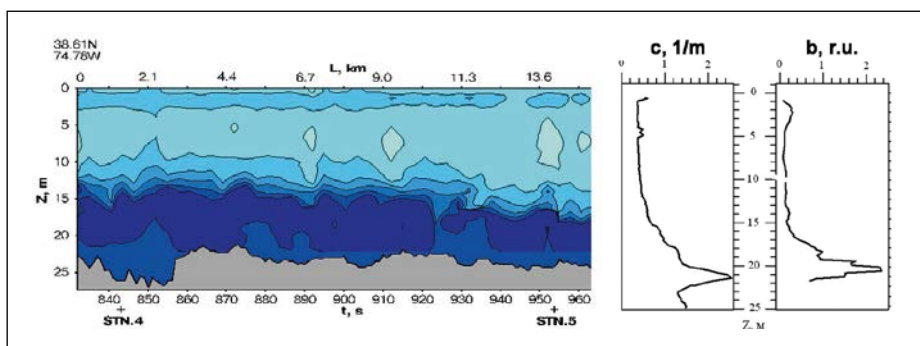


Рис. 9. Измерения с помощью авиационного лидара ИО РАН. Слева – пространственное распределение взвешенного вещества (отн.ед) по данным авиационной лидарной съёмки над мелководным атлантическим шельфом вблизи восточного побережья США. (По вертикали – глубина в метрах, также рассчитанная по данным поляризационного лидара. Представлен 16-километровый участок разреза. На нижней шкале время в секундах. Крестиками (+) показано положение станций 4 и 5, на которых выполнялись контрольные оптические измерения.) Справа: результаты сравнения вертикальных профилей: рассчитанного по данным лидара (справа) и измеренного *in situ* (слева) с придонным нефелоидным слоем на глубине « 21 м

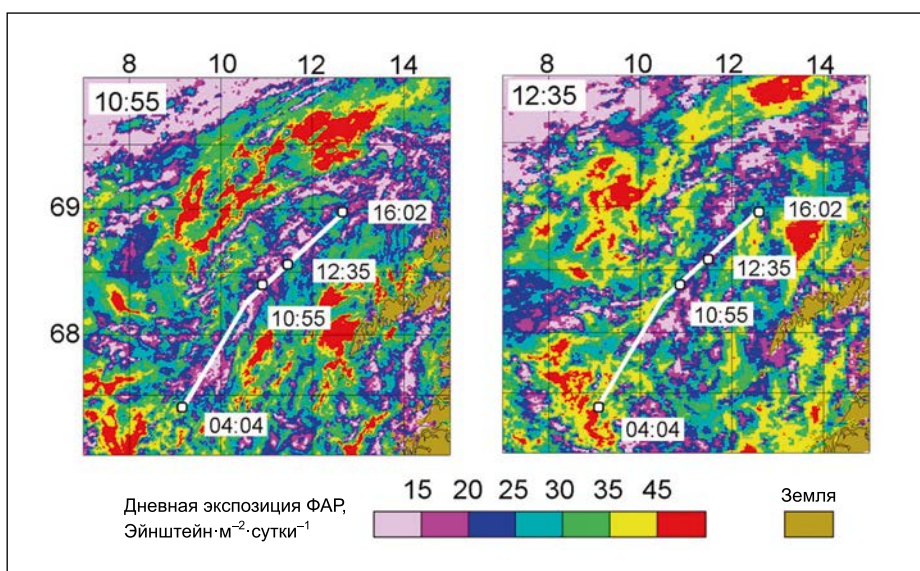


Рис. 10. Сравнение пространственных распределений дневной экспозиции фотосинтетически активной радиации (400–700 нм), рассчитанных по данным спутникового сканера MODIS-Aqua с помощью алгоритма ИО РАН 1 августа 2014 г. в 10:55 GMT (слева) и 12:35 GMT (справа). Белая линия показывает маршрут движения судна, а цифры рядом – начало (04:04) и конец (16:02) судовых измерений ФАР, а также положение судна во время пролёта спутника [31]

и разнообразие получаемой информации. Для исследования пространственного распределения взвеси, фитопланктона, окрашенного органического вещества, изучения гидродинамических процессов широко используются оптические зонды (прозрачнотометры, нефелометры, флуориметры).

Свет (в отличие от микроволнового излучения и звука) проходит через морскую поверхность с малыми потерями, что даёт возможность проводить исследования подповерхностного слоя океана дистанционно (с борта судна, самолёта, спутников).

#### 4.1 Использование лазерного излучения

С начала 70-х годов прошлого века в специализированных рейсах ИО РАН проводились натурные эксперименты по исследованию закономерностей распространения импульсного лазерного излучения в океанских водах и возможностей использования лазерных импульсов для зондирования водной среды. Выяснилось, что лазерные пучки могут достаточно глубоко проникать в водную толщу: в одном из экспериментов в чистых океанских водах, выполненном с по-

мощью специально разработанной подводной скамьи, лазерный сигнал, посланный с борта научно-исследовательского судна, удалось зарегистрировать на глубине более 300 м; ослабление облучённости относительно поверхностной составило 11 порядков.

Для определения характеристик вод поверхностного слоя начали использовать лидары (*Lidar – Light Detection and Ranging*). Они разрабатывались одновременно по двум направлениям: так называемые «временные» лидары и флуоресцентные лидары. Первые основаны на измерении и последующей обработке временной зависимости «эхо-сигнала», формирующегося в результате обратного рассеяния зондирующего импульса, распространяющегося в водной толще; приоритетные исследования в этом направлении в СССР были выполнены специалистами Института физики в Минске и Института прикладной физики в Нижнем Новгороде. Вторые основаны на измерении и анализе спектральных характеристик импульса обратного рассеяния, которые обусловлены количественным и качественным составом флуоресцирующих компонент морской воды и комбинационным (рамановским) рассеянием – здесь приоритет принадлежит специалистам МГУ. Информацию о лидарных методах исследования структуры верхнего слоя океана с авианосителей можно найти в обзоре [26].

На рис. 9 приведён пример измерений с помощью авиационного поляризационного лидара АПЛ, разработанного в ИО РАН. Измерения были выполнены во время российско-американского лидарного эксперимента с самолета-лаборатории НАСА в 1996 г. [27]. Одновременно с авиационными измерениями выполнялись прямые определения вертикальной структуры с борта судна; как видно на рис. 9, имеет место совпадение вертикальных профилей, и очень неплохое. Подобные измерения выполнялись также с борта судна с помощью судового варианта поляризационного лидара [28].

Измерения с помощью АПЛ позволяют также рассчитать значения показателя диффузного ослабления подводной облучённости  $K_d$  в подповерхностном слое моря и постро-

### Основные характеристики океана и атмосферы, рассчитываемые по данным спутниковых сканеров цвета [30]

Параметр	Использование
Спектральный коэффициент яркости водной толщи	Индикатор процессов, происходящих в поверхностном слое (таких как распространение речных стоков, примесей различного происхождения, мезомасштабные вихри, фронтальные зоны и т.п.)
Концентрация хлорофилла	Характеризует биомассу фитопланктона; ключевой параметр для расчёта первичной продукции океанов и морей
Характеристики атмосферного аэрозоля	Влияют на пропускание солнечной и уходящей радиации, а также на микрофизику облаков
Параметры облаков	Важнейший метеорологический фактор
Спектральная облучённость поверхности	Важный фактор, определяющий первичную продукцию и тепловой баланс океана
Показатель вертикального ослабления подводной облучённости	Ключевая характеристика для расчёта светового режима в водной толще, альбедо океана и объёмного поглощения солнечной энергии в поверхностном слое
Первичная продукция	Характеризует биоресурсы океана, влияет на глобальные потоки углерода в системе атмосфера—океан
Показатель поглощения окрашенного органического вещества	Определяет поглощение света в воде, характеризует содержание окрашенной органики и качество воды в прибрежной зоне; один из параметров мониторинга
Показатель рассеяния морской взвеси	Определяет альбедо водной толщи, характеризует содержание взвеси в воде; один из параметров мониторинга

итя его пространственное распределение [29].

#### 4.2 Спутниковые наблюдения цвета океана

Первый спутниковый сканер цвета океан был запущен в 1978 г. на спутнике *NIMBUS-7* и за почти 8 лет своей работы на орбите дал огромное количество информации о количественных характеристиках цвета различных морей и океанов в зависимости от биопродуктивности вод и других факторов. В настоящее время спутниковые сканеры цвета, использующие солнечное излучение и не нуждающиеся в активных источниках, обеспечивают информацию о динамических процессах в поверхностном слое (в частности, о распространении речных стоков), позволяют оценить концентрацию хлорофилла и световой режим в водной толще, содержание взвеси и окрашенной органики, качество воды в прибрежной зоне и др. (см. табл. 1 [30]).

На рис. 10 показаны пространственные распределения дневной экс-

позиции фотосинтетически активной радиации (400–700 нм), рассчитанные по данным спутникового сканера *MODIS-Aqua* с помощью алгоритма ИО РАН [18]. В цитируемой работе сравниваются результаты расчётов по алгоритму ИО РАН [31] и стандартному алгоритму НАСА [32] с результатами непрерывных (каждые 10 мин) судовых измерений посредством ИСП (см. раздел 1.3), проведённых во время экспедиции научно-исследовательского судна «Профессор Штокман» по маршруту из Калининграда в Архангельска в конце июля – начале августа 2014 г. Результаты выполненного сравнения показали, что оба алгоритма обеспечивают вполне приемлемую точность оценок, проведённых применительно к 1 суткам и 100 км<sup>2</sup>: при отсутствии резких изменений в облачности ошибки составляют 5–35 % для алгоритма НАСА и 2–22 % для алгоритма ИО РАН. Отметим, что алгоритм ИО РАН даёт возможность оценивать не только поверхностную, но и подводную облучённость на различных глубинах в подповерхностном слое [33].

Благодаря современным техническим достижениям, открываются новые возможности для использования света при освоении и исследовании морей и океанов. Запускаются новые сканеры цвета, имеющие улучшенные спектральные характеристики и более высокое пространственное разрешение; ещё не освоены возможности беспилотных летальных аппаратов для исследования и мониторинга подповерхностного слоя морей и прибрежных районов океана. Рассматриваются возможности создания подводных лидаров, которые позволяют осуществлять оптическое дистанционное зондирование внутри морской среды. Человек уже опускался на дно Марианской впадины, а глубоководные обитаемые аппараты работают на глубинах 6 км. Сейчас уже созданы подводные планёры – глайдеры – с дальностью автономного плавания в тысячи километров, на которых тоже могут устанавливаться оптические измерители. Эра освоения морей и океанов с использованием света продолжается.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Знак, 2006. 972 с.
2. Гершун А.А. Очерк по истории фотометрии / Избранные труды по фотометрии и светотехнике. М.: Гос. изд-во физ. – мат. литературы, 1958. С. 9–48.
3. Березкин В.А., Гершун А.А., Янишевский Ю.Д. Прозрачность и цвет моря / Л.: Изд. ВМА ВМФ, 1941.
4. Гершун А.А. Избранные труды по фотометрии и светотехнике. М.: Гос. изд-во физ. – мат. л-ры, 1958. 548 с.
5. Raman, S.V. On the molecular scattering of light in water and the colour of the sea. // Proc. R. Soc. London, Ser. A. – 1922. – Vol.101. – P. 64–79.
6. Шулейкин В. О цветности моря // Известия Института физики и биофизики. – 1922. – Т. 2. – С. 119–136.
7. ГОСТ 7601–78 Физическая оптика. Госстандарт СССР. 1979. С. 27.
8. Оптика океана. Т. 1. Физическая оптика океана / М.: Наука, 1983. 372 с.
9. Шифрин К.С. Введение в оптику океана / Л.: Гидрометеиздат, 1983. 278 с.
10. Jin, Z., Stamnes, K. Radiative transfer in nonuniformly refracting layered media:

atmosphere-ocean system // Appl. Optics. – 1994. – Vol. 33. – P. 431–442.

11. *Sheberstov, S.V., Nabiullina, M.V., Lukianova, E.A.* Numerical Modelling of Radiative Transfer in Ocean-Atmosphere system with wind-roughened surface // Proc. of the 2<sup>nd</sup> Int. Conf. «Current Problems in Optics of Natural Waters». St. Petersburg. 2003. P. 9095.

12. HYDROLIGHT 5.2 ECOLIGHT 5.2 – Sequoia Scientific [Электронный ресурс]. URL: <http://www.sequoiasci.com/wp-content/uploads/2013/07/HE52Users-Guide.pdf>.

13. *Mobley, C.D.* Light and Water: Radiative Transfer in Natural Waters / San Diego: Academic Press, 1994. 592 pp.

14. *Gordon, H.R.* Can the Lambert–Beer law be applied to the diffuse attenuation coefficient of ocean water? // Limnol. Oceanogr. – 1989. – Vol.34. No. 8. – P. 1389–1409.

15. OceanColorWeb // Data – Level 3 Browser [Электронный ресурс]. URL: <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov>.

16. *Кусто Ж. – И., Дюма Ф.* В мире безмолвия / М.: Молодая гвардия, 1957. 224 с.

17. *Khrapko, A.N., Kopelevich, O.V., Burenkov, V.I. et al.* New instrument for measuring surface and underwater irradiances // Proc. of 5<sup>th</sup> Int. Conf. on Current Problems in Optics of Natural Waters (ONW '2007). Nizhny Novgorod 2007. P. 271–275.

18. *Vazyulya, S.V., Kopelevich, O.V., Sheberstov, S.V., Artemiev, V.A.* Estimation of sea surface solar radiation at 400–700 nm using satellite ocean color data, and its validation by ship data // Optics Express. – 2016. – Vol 24, No. 6. – P. A604–A611.

19. RAMSES Hyperspectral Radiance and Irradiance Sensors / ramses\_en.pdf. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.trios.de>.

20. Free-Falling Optical Profiler [Электронный ресурс]. URL: <http://satlantic.com/profiler>.

21. *Долин Л.С., Левин И.М.* Справочник по теории подводного видения / Л.: Гидрометеоиздат. 1991. 229 с.

22. *Долин Л.С., Левин И.М.* Теория подводной видимости // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. – 2015. – Т. 8, № 2. – С. 22–35.

23. *Dolin, L.S., Gilbert, G.D., Levin, I.M., Luchinin, A.G.* Theory of imaging through wavy sea surface / N. Novgorod: Institute of Applied Physics. 2006. 180 pp.

24. *Савченко В.В., Осадчий В.Ю., Левин И.М.* Коррекция изображений подводных объектов, искажённых поверхностным волнением // Океанология. – 2008. – Т. 48, № 6. – С. 843–846.

25. Ocean.Ru – Лаборатория научной эксплуатации... [Электронный ресурс]. URL: <http://ocean.ru/content/view/52/45/>.

26. *Гольдин Ю.А., Лучинин А.Г.* Авиационные лидарные методы исследования вертикальной структуры оптических характеристик верхнего слоя океана // В: Приповерхностный слой океана. Физические процессы и дистанционное зондирование. Н. Новгород: ИПФ РАН, 1999. Т. 2, С. 345–381.

27. *Vasilkov, A.P., Goldin, Yu.A., Gureev, B.A. et al.* Airborne polarized lidar detection of scattering layers in the ocean // Applied Optics. – 2001. – Vol. 40, No. 24. – P. 4353–4364.

28. *Гольдин Ю.А., Гуреев Б.А., Венцкун Ю.И.* Поляризационный лидар для зондирования толщи океанских вод с борта судна / В: Комплексные исследования Мирового океана – проект «Меридиан, Атлантический океан». М.: Наука, 2008. С. 179–188.

29. *Goldin, Y.A., Vasilev, A.N., Lisovskiy, A.S., Chernook, V.I.* Results of Barents Sea airborne lidar survey // Proc. SPIE. – 2007. – Vol. 6615, 66150E.

30. *Копелевич О.В.* Оптические свойства вод океанов и морей // В: Мировой океан. Т. 2. Физика, химия и биология океана. Осадкообразование в океане и взаимодействие геосфер Земли. М.: Научный мир, 2014. С. 58–82.

31. *Копелевич О.В., Буренков В.И., Вазюля С.В. и др.* Оценка баланса ФАР в Баренцевом море по данным спутникового сканера цвета SeaWiFS // Океанология. – 2003. – № 6 ю – С. 834–845.

32. NASA, «OceanColourWEB». [Электронный ресурс]. URL: <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>.

33. *Kopelevich, O.V., Sheberstov, S.V., Burenkov, V.I. et al.* Assessment of underwater irradiance and absorption of solar radiation at water column from satellite data // Proc. SPIE. – 2007. – Vol. 6615, 661507.



**Копелевич Олег Викторович,**

Доктор физ.-мат. наук. Окончил в 1965 г. Московский физико-технический институт. Заведующий лабораторией

оптики океана Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН

## В США испытали чрезвычайно мощный боевой лазер

Специалисты американской компании *Lockheed Martin* осуществили испытания боевого лазера, проектная мощность которого составляет 60 кВт. Это один из мощнейших лазерных комплексов, существующих на данный момент.



В лазере единый луч образуется множеством более тонких лазерных лучей, распространяющихся в оптоволоконных каналах. Само устройство довольно увесисто и габаритно, но без проблем устанавливается на какой-нибудь бронированный армейский грузовик.

Совсем недавно в Персидском заливе ВМС США проводили испытания аналогичной лазерной установки (вполовину менее мощной), установленной на одном из своих кораблей. Морская версия лазерной системы требует наличия большой батареи и совсем не годится для использования в наземных мобильных целях. Новая разработка *Lockheed*, в свою очередь, получилась более компактной, лёгкой, и в то же время более мощной, по сравнению со всем остальным, что когда-либо использовалось армией США.

Такое оружие изначально и не подразумевалось для использования против людей, несмотря на то, что множество фантастических фильмов может говорить об обратном. Задачей подобных лазерных систем в первую очередь служит защита границ и территорий от компактных летательных аппаратов, дронов, а также ракет. Наступательные возможности у таких систем в перспективе тоже имеются, но такое использование их пока представляется весьма непрактичным.

<https://e.mail.ru/>  
19.03.2017



# Специальная оценка освещения рабочих мест

Е.И. ИЛЬИНА, Т.Н. ЧАСТУХИНА

ООО «НИИОТ в г. Иваново»

E-mail: niiootsvet@mail.ru

## Аннотация

В настоящее время оценка условий освещения на рабочих местах проводится в ходе специальной оценки условий труда. Концепция оценки освещения рабочих мест, заложенная в Федеральном законе о специальной оценке условий труда и в методике её проведения, предусматривает оценку условий освещения только по уровню освещённости без учёта показателей качества освещения на ограниченном контингенте рабочих мест. Кроме того, предусмотренная законом процедура декларирования соответствия условий труда государственным нормативным требованиям охраны труда, выполняемая при специальной оценке условий труда, позволяет работодателям декларировать условия труда как соответствующие государственным нормативным требованиям при фактическом нарушении этих требований, в частности, по освещению. Рассмотрены возможные последствия такой оценки освещения, указано на необходимость решения данной проблемы.

**Ключевые слова:** Федеральный закон, специальная оценка условий труда, отклонения от гигиенических нормативов, классы условий труда, методика оценки, уровень освещённости, показатели качества освещения, проблемы современной оценки, декларирование, последствия.

Проблемы современной оценки условий освещения рабочих мест мы поднимали ещё в 2014 г. [1]. Прошло два года, но ситуация не только не улучшилась, но и стала ещё хуже.

Специальная оценка условий труда (далее – СОУТ) согласно Федеральному закону № 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда» [2] является единым комплексом последовательно осуществляемых мероприятий по идентификации вредных и (или) опасных производственных факторов и оценке уровня их воздействия на работника с учётом отклонения их фактических значений от установленных гигиенических нормативов.

В ГОСТ 12.0.003–2015 (введён в действие с 1 марта 2017 г. взамен ГОСТ 12.0.003–74\*) [3] среди потенциально вредных и (или) опасных физических факторов, характеризующих освещение, указаны:

- отсутствие или недостаток необходимого естественного освещения;
- отсутствие или недостатки необходимого искусственного освещения;
- повышенная яркость света;
- пониженная световая и цветовая контрастность;
- прямая и отражённая блёскость;
- повышенная пульсация светового потока.

Кроме того, действующие в Российской Федерации нормативные документы по освещению [4–7] содержат требования, как к уровню освещённости, так и к показателям качества освещения.

Однако согласно закону № 426-ФЗ [2] освещение при специальной оценке условий труда оценивается только по уровню освещённости. В процессе разработки закона Ивановский научно-исследовательский институт охраны труда (ООО «НИИОТ в г. Иваново») и редакция журнала «Светотехника» неоднократно обращались в самые разные инстанции с предостережениями о недопустимости принятия такого решения, но все наши доводы были проигнорированы. В результате мы получили документ, согласно которому освещение на соответствие гигиеническим требованиям практически не оценивается, так как гигиеническое нормирование освещения включает требования не только к уровню освещённости, но и к показателям качества освещения: прямой и отражённой блёскости, пульсации освещённости, яркости, а также к естественному освещению.

Напомним, что по классификации, приведённой в [2], условия труда по степени вредности и (или) опасности подразделяются на четыре класса – оптимальные, допустимые, вредные и опасные.

Оптимальными условиями труда (1 класс) являются условия труда, при

которых воздействие на работника вредных и (или) опасных производственных факторов отсутствует (или уровни этого воздействия не превышают уровни, установленные гигиеническими нормативами условий труда и принятые в качестве безопасных для человека) и создаются предпосылки для поддержания высокого уровня работоспособности работника.

Допустимыми условиями труда (2 класс) являются условия труда, при которых на работника воздействуют вредные и (или) опасные производственные факторы, уровни воздействия которых не превышают уровни, установленные гигиеническими нормативами условий труда, а изменённое функциональное состояние организма работника восстанавливается во время регламентированного отдыха или к началу следующего рабочего дня (смены).

Вредными условиями труда (3 класс) являются условия труда, при которых уровни воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов превышают уровни, установленные гигиеническими нормативами условий труда, в том числе:

– подкласс 3.1 (вредные условия труда 1 степени) – условия труда, при которых на работника воздействуют вредные и (или) опасные производственные факторы, после воздействия которых изменённое функциональное состояние организма работника восстанавливается, как правило, при более длительном, чем до начала следующего рабочего дня (смены), прекращении воздействия данных факторов, и увеличивается риск повреждения здоровья;

– подкласс 3.2 (вредные условия труда 2 степени) – условия труда, при которых на работника воздействуют вредные и (или) опасные производственные факторы, уровни воздействия которых способны вызвать стойкие функциональные изменения в организме работника, приводящие к появлению и развитию начальных форм профессиональных заболеваний или профессиональных заболеваний лёгкой степени тяжести (без потери профессиональной трудоспособности), возникающих после продолжительной экспозиции (пятнадцать и более лет);

– подкласс 3.3 (вредные условия труда 3 степени) – условия труда, при которых на работника воздействуют вредные и (или) опасные производ-

**Отнесение условий труда по классу (подклассу) условий труда при воздействии световой среды**

Наименование показателя	Класс (подкласс) условий труда		
	допустимый	вредный	
	2	3.1	3.2
Искусственное освещение			
Освещённость рабочей поверхности Е, лк	Е <sub>н</sub> <sup>1</sup>	0,5 Е <sub>н</sub>	< 0,5 Е <sub>н</sub>

венные факторы, уровни воздействия которых способны вызвать стойкие функциональные изменения в организме работника, приводящие к появлению и развитию профессиональных заболеваний лёгкой и средней степени тяжести (с потерей профессиональной трудоспособности) в период трудовой деятельности;

– подкласс 3.4 (вредные условия труда 4 степени) – условия труда, при которых на работника воздействуют вредные и (или) опасные производственные факторы, уровни воздействия которых способны привести к появлению и развитию тяжёлых форм профессиональных заболеваний (с потерей общей трудоспособности) в период трудовой деятельности.

Опасными условиями труда (4 класс) являются условия труда, при которых на работника воздействуют вредные и (или) опасные производственные факторы, уровни воздействия которых в течение всего рабочего дня (смены) или его части способны создать угрозу жизни работника, а последствия воздействия данных факторов обуславливают высокий риск развития острого профессионального заболевания в период трудовой деятельности.

Освещение оценивается следующим образом: при соответствии фактической освещённости нормативному значению условия труда оцениваются классом 2, а при отклонении освещённости от нормативных требований – классами 3.1 или 3.2 в зависимости от степени этого отклонения.

Согласно ТК РФ [8] за вредные условия труда (в том числе и по освещению) работнику полагаются компенсации: за класс 3.1 – повышенный размер оплаты труда (не менее 4 % тарифной ставки или должностного оклада), за класс 3.2 – повышенный размер оплаты труда и дополнительный отпуск продолжительностью не менее 7 календарных дней.

Оценка условий труда проводится по методике, утверждённой приказом Минтруда России [9], которая после регистрации в Минюсте России в марте 2014 г. введена в действие. Этим же приказом был утверждён и классификатор вредных и (или) опасных производственных факторов. Согласно методике, при проведении специальной оценки условий труда измерению и оценке на рабочих местах подлежат только те факторы и их показатели,

которые указаны в классификаторе вредных и (или) опасных производственных факторов (далее – классификатор) и идентифицированы экспертом СОУТ.

В классификаторе кроме освещённости к вредным производственным факторам световой среды отнесены прямая и отражённая блёскость. При этом прямая и отражённая блёскость идентифицируются как вредные и (или) опасные показатели только при выполнении прецизионных работ с величиной объектов различения менее 0,5 мм, при наличии слепящих источников света, при проведении работ с объектами различения и рабочими поверхностями, обладающими направленно-рассеянным и смешанным отражением.

На каком основании авторами методики при оценке слепящего действия было принято ограничение по размеру объекта различения, непонятно. Следует отметить, что оценка степени вредности прямой и отражённой блёскости, как ни странно, методикой не предусмотрена, и в таблицу оценки освещения включена только освещённость рабочей поверхности (табл.)

Перед введением в действие проект методики проведения специальной оценки условий труда рассматривался Российской трёхсторонней комиссией, участниками которой являлись:

– работники в лице общероссийских объединений профессиональных союзов;

– работодатели в лице общероссийских объединений работодателей;

– государство в лице Правительства РФ.

В ходе подготовки проекта приказа Минтруда РФ об утверждении методики Федерация независимых профсоюзов России (ФНПР) неоднократно поднимала вопрос перед Минтрудом и Правительством РФ о несовершенстве данного документа и о необходимости внесения в него изменений. Для разрешения разногласий между ФНПР и Минтрудом РФ по данному вопросу в Правительстве РФ состоялось совещание с участием сторон социального партнёрства.

По результатам обсуждения вопросов, поднятых ФНПР, сторонам социального партнёрства было дано поручение провести мониторинг реализации приказа в целях выявления необходимости его корректировки. Приказом Минтруда РФ был организован мониторинг [10], для чего была создана рабочая группа.

Одно из заседаний рабочей группы было посвящено вопросам оценки освещения. Ивановским научно-исследовательским институтом охраны труда было предложено оценивать наряду с освещённостью показатели качества освещения – прямую и отражённую блёскость и коэффициент пульсации освещённости, при этом компенсации за вредные условия труда предоставлять только по освещённости, а нарушения по качеству освеще-

<sup>1</sup> Нормативное значение освещённости рабочей поверхности устанавливается в соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий», введёнными в действие постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 8 апреля 2003 г. N34 (зарегистрировано Минюстом России 23 апреля 2003 г. N4443), с изменениями, внесёнными постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 15 марта 2010 г. N20 «Об утверждении СанПиН 2.2.1/2.1.1.2585–10» (зарегистрировано Минюстом России 8 апреля 2010 г. N16824).

шения отражать в протоколе с выдачей рекомендаций по их устранению.

Обоснованием такого предложения было следующее: оценка освещения, выполняемая сейчас в рамках СОУТ, не даёт достоверной картины условий освещения рабочих мест, не соответствует требованиям закона № 426-ФЗ по обеспечению прав работников на рабочие места, соответствующие государственным нормативным требованиям охраны труда, оценке условий труда на основании отклонений фактических уровней производственных факторов от гигиенических нормативов (ч. 1 ст. 1, ч. 1 ст. 3). Влияние показателей качества освещения на здоровье и работоспособность человека доказано многочисленными исследованиями как у нас в стране, так и за рубежом [11–19]. Оценка освещения при СОУТ нередко не соответствует результатам проверки освещения, выполненной специалистами Роспотребнадзора, что вызывает множество вопросов.

Предлагаемая концепция оценки позволила бы исключить противоречия с оценкой освещения рабочих мест специалистами Роспотребнадзора и экспертами по СОУТ. При этом, как показывает практика, такой подход не вызвал бы существенного увеличения трудозатрат для экспертов и не привёл бы к дополнительным нагрузкам на работодателей в части увеличения компенсационных выплат. Кроме того, это позволило бы сделать оценку освещения более достоверной и способствовало бы реальному улучшению условий освещения рабочих мест.

Это предложение было поддержано участниками совещания, но никаких изменений и дополнений указанного характера в методику внесено не было.

Напротив, приказом Минтруда РФ от 20.01.2015 г. № 24н [20], в методику проведения специальной оценки условий труда и классификатор вредных и (или) опасных производственных факторов были внесены изменения, которые затронули и оценку освещения.

Согласно изменениям, внесённым в классификатор, такие показатели световой среды, как освещённость, прямая и отражённая блёскость, идентифицируются как вредные и (или) опасные факторы только при выполнении прецизионных работ с величиной объектов различения менее

0,5 мм, при наличии слепящих источников света, при проведении работ с объектами различения и рабочими поверхностями, обладающими направленно-рассеянным и смешанным отражением, или при осуществлении подземных работ, в том числе работ по эксплуатации метрополитена.

Таким образом, если следовать принятым изменениям, освещение с любыми нарушениями нормативных требований, как по уровню освещённости, так и по показателям качества освещения признаётся экспертом СОУТ не вредным и не контролируется, если объект различения на рабочем месте равен или более 0,5 мм (за исключением подземных работ и работ по эксплуатации метрополитена).

На сегодня из оценки не только исключены все показатели качества освещения, но и ограничен контингент работников, на рабочих местах которых контролируется уровень освещённости. Оценка освещения в настоящее время не проводится на рабочих местах предприятий оборонного комплекса, чёрной и цветной металлургии, электроэнергетики, включая атомные станции, автомобилестроения, производства стекла, пищевой, химической и нефтехимической промышленности, промышленности строительных материалов, лесной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности и других видов деятельности, где выполняются работы с объектом различения более 0,5 мм.

Вероятно, разработчики документов по СОУТ предполагали, что освещение влияет только на зрительный анализатор, поэтому и ограничились точными зрительными работами. Но в таком случае непонятно, по каким причинам в перечень проверяемых рабочих мест попали работники при «осуществлении подземных работ, в том числе работ по эксплуатации метрополитена» и почему сюда не включены рабочие места в помещениях без естественного освещения?

Уже не первый десяток лет известно о биологическом воздействии света на человека. Освещение является первичным стимулом циркадной нервной системы человека. Многочисленными исследованиями доказано, что элементы сетчатки, не участвующие в формировании зрительного восприятия, передают энергию

света, в основном, в незрительные отделы головного мозга, которые регулируют нейроэндокринную систему организма, определяют циркадные биоритмы жизнедеятельности, сбой которых приводит к серьёзным нарушениям здоровья.

Неясно также, почему не учтён такой важный показатель, как травматизм работников, обусловленный плохим освещением. Ведь при несчастном случае на производстве в первую очередь проверяется, соблюдались ли нормативные требования к освещению в момент возникновения несчастного случая. При этом, безусловно, и речи нет о размере объекта различения на данном рабочем месте.

В новом классификаторе кроме освещённости к вредным производственным факторам также отнесены прямая и отражённая блёскость. Однако оценка степени вредности прямой и отражённой блёскости методикой по-прежнему не предусмотрена, и несмотря на действующие в России и за рубежом нормативные требования к показателям качества световой среды, оценка условий освещения рабочих мест свелась к оценке уровня освещённости (см. табл.).

Следует отметить, что согласно закону № 426-ФЗ процедура проведения СОУТ предусматривает декларирование соответствия условий труда государственным нормативным требованиям охраны труда. В отношении рабочих мест, на которых вредные и (или) опасные производственные факторы по результатам осуществления идентификации не выявлены, а также условия труда на которых по результатам исследований (испытаний) и измерений вредных и (или) опасных производственных факторов признаны оптимальными или допустимыми, работодателем подаётся в территориальный орган федерального органа исполнительной власти, уполномоченного на проведение федерального государственного надзора за соблюдением трудового законодательства и иных нормативных правовых актов, содержащих нормы трудового права, по месту своего нахождения декларация соответствия условий труда государственным нормативным требованиям охраны труда. А это значит, что при любых нарушениях нормативных требований к освещению рабочих мест, где объект различения равен или более 0,5 мм (и где освеще-

ние как потенциально вредный фактор не идентифицируется) работодатель имеет полное право декларировать соответствие условий труда на данном рабочем месте государственным нормативным требованиям охраны труда.

Таким образом, изменения, внесённые в процедуру проведения специальной оценки условий труда последними документами (приказ Минтруда РФ от 20.01.2015 г. № 24н [20], Федеральный закон от 01.05.2016 г. № 136-ФЗ [21]), привели к странному (а на наш взгляд, к недопустимым) последствиям. Сложилась ситуация, когда на законодательном уровне работодателям разрешено декларировать соответствие условий труда государственным нормативным требованиям охраны труда при фактическом нарушении этих требований (в частности, по условиям освещения). При этом согласно закону № 426-ФЗ декларирование позволяет не контролировать условия труда на рабочих местах в течение 10 лет.

Можно предположить последствия такого решения.

Во-первых, это рост травматизма. Освещение может быть как непосредственной причиной несчастного случая (низкий уровень освещённости, либо слепящее действие, либо стробоскопический эффект из-за пульсации освещённости), так и косвенной, когда сочетание низких уровней освещённости с определённым спектром излучения приводит к так называемому «сумеречному эффекту», вызывающему у работника снижение внимания, заторможенность, сонливость и, как следствие этого, травму. Согласно статистике в среднем при различных видах производственной деятельности число несчастных случаев, связанных с неудовлетворительным освещением, составляет 30–50 % от общего количества. При зрительной работе, не требующей высокой точности, около 1,5 % травм со смертельным исходом происходит по причине плохого освещения.

Во-вторых, это ухудшение здоровья работников. Недовлетворительное освещение отрицательно сказывается на здоровье работников, и это доказано многочисленными исследованиями (миопия, спазм аккомодации, вегетососудистая дистония, сбой деятельности циркадной нервной системы, нарушение обменных

процессов, снижение резистентности организма – вот неполный перечень возможных последствий плохого освещения).

В-третьих, это снижение производительности труда и качества выпускаемой продукции, что не может не сказаться на экономических показателях российских предприятий.

В-четвёртых, это социальная напряжённость, неверие работников в справедливость законодательной власти. Отсутствие контроля и оценки условий освещения рабочих мест ставит под сомнение реализацию прав работников на безопасные условия труда, гарантированные ТК РФ (ст. 219, 220).

В-пятых, это тормоз на пути развития отечественной светотехники, внедрения новых эффективных разработок, способствующих обеспечению нормативных требований к освещению при экономии энергетических ресурсов.

## Выводы

1. Контроль освещения рабочих мест с объектом различения менее 0,5 мм без учёта показателей качества освещения, выполняемый в настоящее время при специальной оценке условий труда согласно [2, 9, 20, 21], не имеет никакого научного обоснования и не обеспечивает достоверную оценку условий освещения. Кроме того, принятое в нормативно-правовых актах СОУТ исключение оценки освещения на рабочих местах целого ряда отраслей промышленности, где объект различения равен или более 0,5 мм, нарушает права работников на безопасный труд.

2. Процедура декларирования соответствия условий труда государственным нормативным требованиям охраны труда, выполняемая при СОУТ, на законодательном уровне позволяет работодателям декларировать условия труда как соответствующие государственным нормативным требованиям при фактическом нарушении этих требований, в частности, по освещению. Это неизбежно приведёт к отрицательным последствиям, как со стороны здоровья работников, так и в экономическом аспекте развития промышленности в Российской Федерации.

3. Учитывая важность рассматриваемой проблемы, считаем необхо-

димым создать инициативную группу из ведущих специалистов охраны труда, светотехников, гигиенистов, офтальмологов и др. с целью разработки обращения в ФНПР, Минтруд России, Минздрав России, к заместителю Председателя Правительства Российской Федерации о необходимости незамедлительного внесения корректировки в части оценки освещения рабочих мест в документы, регламентирующие проведение СОУТ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильина Е.И., Частухина Т.Н. «Оценка освещения рабочих мест по-новому» // Светотехника. – 2014. – № 5. – С. 14–19.
2. Федеральный закон 426-ФЗ от 28.12.2013 г. «О специальной оценке условий труда»
3. ГОСТ 12.0.003–2015 «Система стандартов по безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».
4. СП 52.13330.2011. Свод правил. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23–05–95\*, утв. приказом Министерства регионального развития Российской Федерации от 27.12.2010 г. № 783.
5. ГОСТ Р 55710–2013. «Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений».
6. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278–03. «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещённому освещению жилых и общественных зданий».
7. СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы».
8. Трудовой кодекс Российской Федерации.
9. Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 24.01.2014 г. № 33н. «Об утверждении методики проведения специальной оценки условий труда, классификатора вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчёта о проведении специальной оценки условий труда и инструкции по её заполнению».
10. Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 7 августа 2014 г. № 546. «Об организации мониторинга реализации приказа Минтруда России от 24 января 2014 г. № 33н «Об утверждении методики проведения специальной оценки условий труда, Классификатора вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчёта о проведении специальной оценки условий труда и инструкции по её заполнению».
11. Райцельский Л.А. Роль качества освещения в повышении производительности труда и снижении себестоимости промышленной продукции. – Светотехника // . – 1971. – № 10. – С. 5–8.

12. Черниловская Ф.М. Освещение промышленных предприятий и его гигиеническое значение. — Л.: Изд. «Медицина». — 1971. — 288 с.

13. Д.Р. Рончи. Зрение и освещение. Начало XXI века. // Светотехника. — 2001. — № 6. — С. 6–10.

14. Иванова В.П., Мурашова М.А. Оценка совместного влияния пульсации светового потока и блескости на производительность и зрительное утомление // Вопросы техники безопасности ВНИИОТ ВЦСПС. М.: Профиздат — 1982. С. 78–85.

15. Крель Ц.Е., Мясоедова Е.И., Терешкевич С.Г. Качество промышленного освещения. — М.: Энергоатомиздат. — 1991. — 225 с.

16. Крель Ц.И., Тищенко Г.А. Распределение яркости в поле зрения и зрительная работоспособность // Светотехника. — 1964. — № 10. — С. 1–7.

17. Краков С.В. Глаз и его работа. — М.: Л.: Изд. АН СССР. — 1950.

18. Дж.К. Брейнард, К.А. Бернеккер. Влияние света на физиологию и поведение человека. // Светотехника. — 1996. — № 1–2. — С. 10–13.

19. Х.Г.К. Брейнард, Г.Л. Гликман. Биологическое влияние света на здоровье и поведение человека. // Светотехника. — 2004. — № 1. — С. 4–8.

20. Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 20 января 2015 г. № 24н «О внесении изменений в методику проведения специальной оценки условий труда и классификатор вредных и (или) опасных производственных факторов, утверждённые приказом министерства труда и социальной защиты российской федерации от 24 января 2014 г. № 33н».

21. Федеральный закон от 01 мая 2016 г. № 136-ФЗ «О внесении изменений в статью 11 Федерального закона «Об индивидуальном (персонифицированном) учёте в системе обязательного пенсионного страхования» и Федеральный закон «О специальной оценке условий труда»».



**Ильина Елена Ивановна**, кандидат техн. наук. Заведующий лабораторией в ООО «Научно-исследовательский институт охраны труда в г. Иваново»



**Частухина Татьяна Николаевна**, ведущий научный сотрудник в ООО «Научно-исследовательский институт охраны труда в г. Иваново»

## Чем светотехническая отрасль может помочь сама себе?

### Стандарт АПСС «Требования к техническим и эксплуатационным параметрам светодиодных светильников»

На сегодняшний день, по экспертным оценкам, объем рынка светодиодного освещения РФ составляет более 40 млрд рублей, из которых уже менее 40 % приходится на долю отечественных производителей, и эта доля уменьшается.

Причина такого положения вещей очевидна — светильники из Юго-Восточной Азии характеризуются более низкой ценой, что является определяющим фактором в существующей системе закупок и торговых отношений вообще.

Аспект надлежащего качества такой продукции и соответствия действующим нормативным требованиям при этом остается «за бортом».

Отечественных же предприятий-производителей, считающих своим профессиональным долгом выпускать гарантированно качественные изделия, такое положение вещей приводит к заведомо не равным и даже фатальным условиям конкуренции с импортерами на внутреннем рынке.

Принимая во внимание несовершенство действующей в настоящее время системы подтверждения качества продукции, никак не влияющей на реальную ситуацию на рынке, члены АПСС приняли для себя решение о формировании системы внутренних стандартов (СТО), опирающихся на действующие нормативы, но учитывающих практические аспекты принципов действия и производства светодиодных осветительных приборов. Объективно — в организациях АПСС сконцентрированы основные российские эксперты и практики по разработке и применению осветительных приборов, поэтому есть все основания полагать, что результатом работы станут адекватные правила и требования, определяющие качество отечественных светодиодных осветительных приборов в условиях современного светотехнического рынка.

В феврале 2017 членами АПСС единогласно принят первый внутренний стандарт — «Требования к техническим и эксплуатационным параметрам светодиодных светильников», который будет обязательным для исполнения всеми членами АПСС.

Преследуемые цели очевидны:

- профессионально установить комплекс технически обоснованных требований, гарантирующих надлежащее качество продукции во всех объективно востребованных аспектах применения и эксплуатации;
- опробовать документ на себе и показать его практическую и экономическую целесообразность;
- предложить документ для рассмотрения и принятия на вооружение федеральным органам исполнительной власти.

Данный подход — это общемировая практика, суть которой — в том, что никто, кроме производителя-профессионала, не знает лучше и не сможет более грамотно установить требования к своему отраслевому продукту. Требования, которые будут подкреплены экономическими, а в перспективе, возможно, и не только финансовыми, гарантиями.

Участники АПСС крайне заинтересованы в широком обсуждении подобных документов и приглашают к обсуждению всех специалистов светодиодной отрасли. Это особенно важно, принимая во внимание тот факт, что начата работа по второму внутреннему стандарту с рабочим названием: «Светильники светодиодные. Требования к подтверждению технических и эксплуатационных параметров светодиодных светильников. Методы испытаний».

*А.А. Богданов,  
АПСС*

#### От редакции

Выше приведённые тезисы доклада А.А. Богданова на IV Всероссийском светотехническом форуме в Саранске 15 марта о стандарте предприятия, подготовленном АПСС. Полный текст стандарта опубликован на сайте журнала.

Приглашаем специалистов принять участие в обсуждении настоящего стандарта.

# Зеркальные фасады: их влияние на освещение противостоящих зданий

А.К. СОЛОВЬЁВ

НИУ «МГСУ», Москва  
E-mail: agpz@mgsu.ru

## Аннотация

В сознании архитекторов бытует мнение, что зеркальные фасады усиливают освещение в помещениях противостоящих зданий. Так ли это? В связи с этим рассматриваются характерные примеры расчётов КЕО в помещении здания, противостоящего зеркальному фасаду. Отмечается, что повышение освещённости в расчётной точке по сравнению с обычным, диффузно отражающим фасадом возможно лишь при условии, что из этой точки виден отражённый достаточно большой участок неба. В противном случае зеркальные фасады создают значительное снижение указанной освещённости.

**Ключевые слова:** зеркальное отражение, фасад, яркость фасада, естественное освещение, геометрия застройки, диффузное отражение, структурное остекление, стеклопакет, прогибы стеклопакетов, «климатическая нагрузка».

## 1. Введение

Зеркальные фасады (ЗФ) – один из новейших трендов в архитектуре. Фасады могут быть зеркальными целиком или частично. Здание целиком с ЗФ – пример объекта «исчезающей архитектуры», когда в ЗФ отражается окружающая среда с деревьями, зданиями, машинами, людьми, а самого здания не видно. Здание становится видимым только в тёмное время суток, когда в его окнах горит электрический свет. «Исчезающая архитектура» может быть хорошим инструментом для архитектора в работах по реставрации архитектурных комплексов и памятников архитектуры, когда окружающая застройка имеет большое значение.

Зеркальное отражение фасадов может нарушаться «климатической нагрузкой», когда под действием высокой наружной температуры стёкла в стеклопакетах выгибаются наружу,

а при низких наружных температурах, наоборот, выгибаются вовнутрь [1–3]. Это нарушает чёткость отражения. Влияние таких деформаций на условия естественного освещения в противостоящих помещениях может быть мало, но это ещё нуждается в проверке.

Исследования по освещению помещений через световые колодцы показали [4–6], что наибольший прирост уровня освещения (УО) – в верхних этажах, где из расчётных точек видна стенка колодца, освещённая небосводом. Там, где имеют место вторичные отражения, прирост УО минимален.

ЗФ порождают много вопросов у архитекторов. Они – не только средство архитектурно-художественного решения зданий и застройки, но и сильно влияют на световую среду в помещениях противостоящих зданий и в помещениях самих зданий с ЗФ. С одной стороны, они могут значительно повышать УО в помещениях противостоящих зданий. А с другой стороны, если здание с рассматриваемым помещением высокое, то рас-

положенный напротив него ЗФ может значительно снижать УО в этом помещении. При каких же условиях это происходит? Попробуем ниже выяснить этот вопрос.

## 2. Методы и результаты расчётов

ЗФ, особенно со структурным остеклением (рис. 1), зеркально отражают окружающую среду. И всё дело в том, что отражается в них: то ли небо высокой яркости, то ли противостоящая застройка с разновысокими зданиями с разными фасадами разной отражающей способности, а то ли близко расположенное здание, на УО в помещениях которого этот ЗФ оказывает влияние. Отражённые противостоящие здания хорошо видны на рис. 2, на котором показано здание с обычным ЗФ. Причём яркость отражённых ЗФ зданий значительно ниже яркости отражённого ЗФ неба.

### 2.1. Методы

В сознании практикующих архитекторов бытует мнение, что ЗФ повышает УО в помещениях противостоящих зданий [7]. Так ли это? Рассмотрим несколько характерных случаев геометрии застройки. Для простоты на первых порах, рассмотрим случаи, когда противостоящие здания взаимопараллельны и имеют длину, значительно превышаю-

Рис. 1. Структурное остекление создаёт идеальную зеркальную поверхность фасада здания

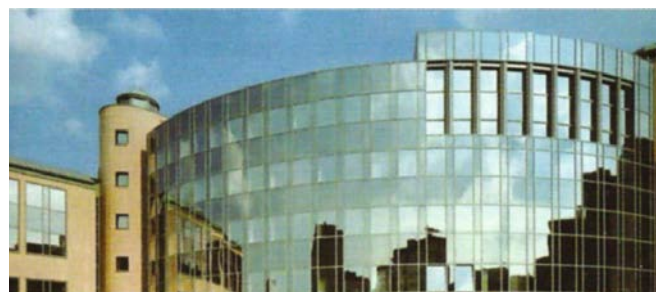


Рис. 2. Отражение противостоящих зданий в стандартном зеркальном фасаде с переплётами



щую их высоту и расстояние между ними. (При этом считая одинаковыми в рассматриваемых случаях характеристики светопропускания проёма и внутреннего отражения в расчётном помещении). Комната, в которой рассчитывается КЕО, имеет высоту подоконника  $h_{п} = 1$  м, высоту окна  $h_o = 1,5$  м, толщину стены  $d_{ст} = 0,5$  м, расстояние от окна до расчётной точки на полу  $d = 3$  м и расстояние между зданиями  $L = 15$  м.

#### Случай 1

ЗФ имеет постоянную высоту  $H_2 = 24$  м при разной высоте противостоящего здания с расчётным помещением  $H_1$ , от 4 до 28 м, с шагом в 4 м (здесь и далее все геометрические обозначения приведены на рис. 3 и 4). Расчёт геометрического КЕО  $\varepsilon$ , ведём по известным формулам, соответствующим расчёту по графику А.М. Данилюка № 1.

— Если через окно из расчётной точки (р.т.)  $M$  видно только небо или противостоящее здание, то

$$\varepsilon = \frac{\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2}{2} \cdot 100\%$$

$$\text{где } \alpha_1 = \arctg \frac{h_{п}}{d}, \alpha_2 = \arctg \frac{h_{п} + h_o}{d + d_{ст}}$$

— Если через окно из расчётной точки видно отражение небосвода и противостоящего здания, то геометрический КЕО, учитывающий прямой свет от неба,  $\varepsilon_n$  выражается как

$$\varepsilon_n = \frac{\cos \alpha_3 - \cos \alpha_2}{2} \cdot 100\%,$$

где, как видно из рис. 4,

$$\alpha_3 = \arctg \frac{H_1}{d + d_{ст} + 2 \cdot L}$$

Согласно Своду правил (СП) [8], КЕО

$$e = (\varepsilon_n \cdot q + \varepsilon_{зд} \cdot b_{ф} \cdot K_{зд}) \cdot \tau_o \cdot r_o / K_3,$$

где  $\tau_o$  — общий коэффициент пропускания света,  $\varepsilon_{зд}$  — геометрический КЕО, учитывающий свет, отражённый от противостоящего здания (рассчитывается по соответствующей формуле СП [8]),  $b_{ф}$  — средняя относительная яркость фасада противостоящего здания (по соответствующей таблице СП [8]),  $K_{зд}$  — коэффициент, учитывающий изменения внутренней отражённой составляющей КЕО в помещении при наличии

Рис. 3. Схема к учёту зеркального фасада противостоящего здания (случаи 1 и 2)

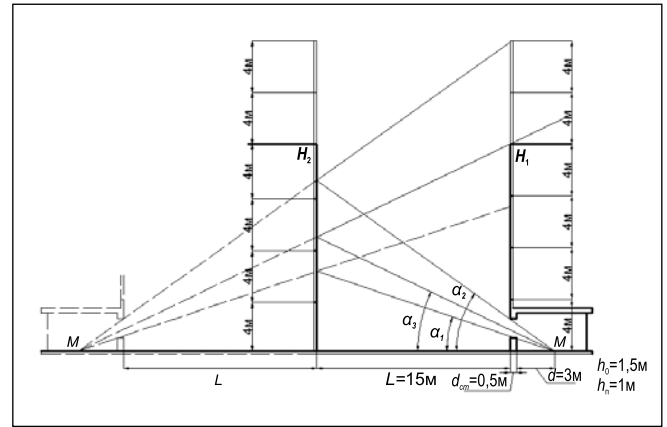
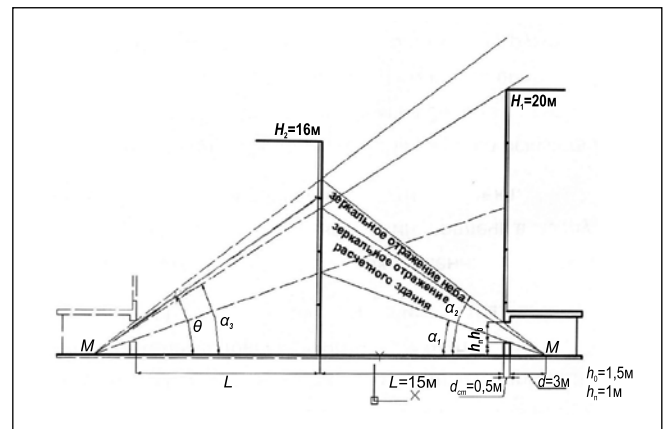


Рис. 4. Схема к расчёту в примере с противостоящим зданием с зеркальным фасадом



противостоящего здания (рассчитывается по соответствующей формуле СП [8]),  $K_3$  — расчётный коэффициент, учитывающий снижение КЕО и освещённости в процессе эксплуатации вследствие загрязнения и старения светопрозрачных заполнений в световых проёмах, а также снижение отражающих свойств поверхностей помещения (определяется по табл. 3 СНиП [9]),  $r_o$  — коэффициент, учитывающий повышение КЕО при боковом освещении благодаря свету, отражённому от поверхности помещения и подстилающего слоя, прилегающего к зданию, принимаемый по табл. Б.4 и Б.5 СП [8],  $q$  — коэффициент, учитывающий неравномерную яркость облачного неба МКО:

$$q = \frac{1 + 2 \sin \theta}{3} \cdot \frac{9}{7},$$

где  $\theta = (\alpha_2 + \alpha_3)/2$ .

Считаем (для простоты), что  $\tau_o = 1$ ,  $K_3 = 1$ ,  $r_o = 1$ , и в формулу для  $e$  в качестве общего множителя добавим коэффициент отражения ЗФ  $\rho_{зерк}$ , взяв его равным 0,4 — характерным для i-стекла.

Значение  $b_{ф}$  определяем по соответствующей таблице СП [8] для зда-

ния, отражающегося в ЗФ, то есть для здания с расчётным помещением. Для этого же здания по другой таблице СП [8] определяем значение  $K_{зд}$ , учитывающего перераспределение световых потоков внутри расчётного помещения за счёт отражения от ЗФ.

Если бы противостоящее здание имело не зеркальный, а обычный фасад с характерным коэффициентом отражения  $\rho_{ф} = 0,4$ , то через окно из расчётной точки мы бы видели только стену противостоящего здания. Для сравнения был проведён расчёт  $e$  для этого случая. Расчётные значения  $e$  для зеркального и обычного фасадов приведены в табл. 1, из которой видно: если от ЗФ в расчётную точку отражается только небо, ЗФ повышает  $e$  в расчётном помещении (в данном случае примерно на 15%), и, конечно, тем больше, чем больше  $\rho_{ф}$ .

С увеличением  $H_1$ , когда в ЗФ начинает отражаться здание с расчётным помещением, по мере уменьшения видимого в ЗФ участка неба  $e$  в р.т.  $M$  падает. При  $H_1 \geq 22$  м при наличии ЗФ противостоящего здания данный  $e$  значительно падает (в нашем случае примерно на 40%). В общем случае, как надо отметить, ЗФ

Расчётные значения величин в случае 1

$H_1$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\epsilon_n$	$\epsilon_{зд}$	$q$	$b_\Phi$	$K_{зд,о}^*$	$K_{зд}$	$e$	$\bar{e}^{**}$	Примечание
4	18,43°	35,54°	6,81°	6,75	0	0,817	—	—	—	2,206	1,91	Отражается только небо
8			13,43°				—	—	—			
12			19,71°	6,38	0,37	0,826	0,23	1,192	1,18	2,148		Отражается здание + небо
16			25,53°	4,43	2,32	0,864		1,344	1,126	1,771		
20			30,84°	2,24	4,51	0,898		1,39		1,327		
24			35,62°	0	6,75	—	0,225	1,33	1,33	0,808		Отражается только здание
28			39,88°			—	0,213			0,765		

\* $K_{зд,о}$  – коэффициент, учитывающий изменение внутренней отражённой составляющей КЕО ( $e$ ) в помещении при полном закрытии небосвода противостоящим зданием, видимым из расчётной точки (определяется по табл. Б.6 СП [8])

\*\*  $\bar{e}$  – значение КЕО для затенения обычным фасадом с  $\rho_\Phi = 0,4$

Таблица 2

Расчётные значения величин в случае 2

$H_1$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$	$\epsilon_n$	$\epsilon_{зд}$	$q$	$b_\Phi$	$K_{зд,о}^*$	$K_{зд}$	$e$	$\bar{e}^{**}$	Примечание
4	18,43°	35,54°	6,81°	6,75	0	0,817	—	—	—	5,51	5,51	Только прямая составляющая $e$ (п.с.) ( $e_n$ )
8			13,43°				—	—	—			Только п.с. ( $e_n$ )
12			19,71°	6,38	0,37	0,826	0,213	—	1,18	5,37	5,36	П.с. ( $e_n$ ) + отражённая составляющая (о.с.) ( $e_{зд}$ )
16			25,53°	4,43	2,32	0,864		—	1,126	4,48	4,38	П.с. ( $e_n$ ) + о.с. ( $e_{зд}$ )
20			30,84°	2,24	4,51	0,898		—	1,26	2,52	3,22	Отражается только здание + прямое небо
24			35,62°	0	6,75	—		—	1,33	0,765	1,91	Отражается только здание
28			39,88°			—		—	1,33	0,765		

\* $K_{зд,о}$  – коэффициент, учитывающий изменение внутренней отражённой составляющей КЕО ( $e$ ) в помещении при полном закрытии небосвода противостоящим зданием, видимым из расчётной точки (определяется по табл. Б.6 СП [8])

\*\*  $\bar{e}$  – значение КЕО при затенении обычным фасадом с  $\rho_\Phi = 0,4$

повышает  $e$ , когда только  $L$  равно превышению высоты  $H_1$  над р.т.  $M$ .

### Случай 2

$H_2$  варьирума при постоянной  $H_1 = 28$  м. В отличие от случая 1, здесь при малой  $H_2$  в р.т.  $M$  может иметь место только прямая составляющая  $e$  от света неба.

## 2.2. Результаты

Результаты расчёта  $e$  как при ЗФ, так и – обычном фасаде противостоящего здания приведены в табл. 2.

Из неё видно: в нашем случае при  $H_1/L = 0,67$  в р.т.  $M$  имеет место только прямая составляющая  $e$ , одинаковая при обоих этих фасадах. С ростом превышения  $H_2$  над р.т.  $M$  значение  $e$  в ней постепенно падает из-за уменьшения телесного угла, под которым из неё через светопроём виден открытый участок неба. В случае противостоящего здания с ЗФ, как только с ростом  $H_2$  из расчётной точки перестает быть виден от-

крытый участок неба,  $e$  резко падает. Спад  $e$  в нашем случае такой же, как и в рассмотренном выше случае 1, т.е. примерно на 40 %.

Как видно из табл. 1 и 2, найденное, согласно СП [8], расчётное значение  $e$  не зависит от  $H_1$ . На самом же деле фасад (в том числе ЗФ) противостоящего (затеняющего) здания освещается участком небосвода, размер которого зависит от  $H_1$ , и потому зависят от  $H_1$  как  $b_\Phi$ , так и, соответственно,  $e$ .



Сегодня, когда есть возможность математического моделирования условий освещения при затенении противостоящим зданием с помощью ЭВМ, обязательно необходима корректировка таблицы СП [8] по определению  $b_{\phi}$  (таблица Б.2) с обязательным, как уже говорилось, учётом  $H_1$ .

Эта корректировка особенно важна в отношении к центральным районам городов, с их очень плотной застройкой, и может облегчить труд архитекторов-проектировщиков в части реконструкции очень плотных застроек.

Чтобы понять, каково будет влияние противостоящего ЗФ на УО в помещении необходимо построить в масштабе разрез градостроительной ситуации с разрезом этого помещения и построить лучевую схему телесных углов прямого и отражённого света, поступающего через проём в расчётную точку (рис. 4).

#### Рассмотрим пример

Пусть  $H_1 = 20$  м,  $H_2 = 16$  м,  $L = 15$  м,  $d = 3$  м,  $h_{\text{п}} = 1$  м,  $h_0 = 1,5$  м,  $d_{\text{ст}} = 0,5$  м и  $\rho_{\text{зерк}} = 0,4$ . Расчётные значения  $\alpha_1 \approx 18,43^\circ$ ,  $\alpha_2 \approx 35,84^\circ$ ,  $\alpha_3 = \arctg[20 / (3 + 0,5 + 2 \cdot 15)] \approx 30,84^\circ$ ,  $\varepsilon_{\text{н}} \approx 2,4\%$ ,  $\varepsilon_{\text{зд}} \approx 4,5\%$ ,  $\varepsilon_{\text{н}} \approx [(\cos 30,84^\circ - \cos 35,84^\circ) / 2] \cdot 100\% \approx 2,4\%$ ,  $\varepsilon_{\text{зд}} \approx [(\cos 18,43^\circ - \cos 30,84^\circ) / 2] \cdot 100\% \approx 4,5\%$ ,  $\theta \approx (35,84^\circ + 30,84^\circ) / 2 \approx 33,34^\circ$ ,  $q \approx 0,9$ ,  $b_{\phi} \approx 0,18$ ,  $K_{\text{зд}} \approx 1,23$  и  $e \approx 3,156\% \cdot 0,4 \approx 1,26\%$ .

При обычном фасаде противостоящего здания с  $\rho_{\phi} = 0,4$   $e \approx 1,53\%$ , т.е. больше, чем при ЗФ.

При  $H_1 = 24$  м отражённого участка неба из расчётной точки не видно. Видно только здание с помещением с этой точкой. При ЗФ  $e \approx 0,67\%$ , а при обычном фасаде с  $\rho_{\phi} = 0,4$   $e \approx 1,68\%$ . Даже при  $\rho_{\text{зерк}} = 1$ , чего в принципе быть не может, расчётный  $e \approx 1,68\%$ , т.е. смог бы только приблизиться к значению  $e$  при обычном, диффузно отражающем фасаде.

Таким образом, в рассмотренном примере ЗФ снижает освещённость в расчётной точке.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Плотников А.А., Стратий П.В. Расчёт климатической нагрузки на стеклопакет на примере г. Москвы // Научное обозрение. — 2013. — № 9. — С. 190–194.

2. Стратий П.В., Борискина И.В., Плотников В.В. Климатическая на-

грузка на стеклопакеты // Вестник МГСУ. — 2011. — № 2–2. — С. 262.

3. Стратий П.В., Плотников В.В., Борискина И.В. Исследование прогибов стёкол пакета при действии атмосферной составляющей климатической нагрузки. // Жилищное строительство. — 2011. — № 4. — С. 33–36.

4. Стецкий С.В., Чень Гуанлун. Оптимальные конструктивные, планировочные и геометрические решения световых колодцев для многоэтажных производственных зданий // Промышленное и гражданское строительство. — 2013. — № 2. — С. 84–85.

5. Стецкий С.В., Гуанлун Ч. Создание качественной световой среды в помещениях производственных зданий для климатических условий юго-восточного Китая // Вестник МГСУ. — 2012. — № 7. — С. 16–25.

6. Стецкий С.В., Гуанлун Ч. Конструктивные и планировочные решения многоэтажных производственных зданий при обеспечении в них естественного освещения через световые колодцы // Промышленное и гражданское строительство. — 2014. — № 3. — С. 70–72.

7. Грищенко Г.Д., Касьянов В.Ф. Постановка задач по применению световодов и отражённого света фасадами для улучшения условий инсоляции и повышения КЕО при реконструкции городской застройки // Светотехника. — 2015. — № 3. — С. 27–30.

8. СП 23–102–2003 «Естественное освещение жилых и общественных зданий».

9. СНиП 232–05–95\* «Естественное и искусственное освещение».



**Соловьёв Алексей Кириллович**, доктор техн. наук, проф. Окончил в 1965 г. МИСИ им. В.В. Куйбышева. Профессор кафедры «Архитектура гражданских и промышленных зданий»

ФГБОУ ВПО «НИУ «МГСУ». Член Европейской академии наук и искусств и редколлегии журнала «Светотехника». Имеет звания «Почётный строитель РФ» и «Заслуженный работник высшей школы РФ»

#### «Росэлектроника» создала систему освещения на лазерах

Инженеры холдинга «Росэлектроника» создали новейшую систему освещения, основанную на использовании лазерного излучения. Осветительные приборы (ОП) системы способны работать в агрессивных средах и даже под водой. Излучение приходит в них по оптоволокну, что исключает опасность возникновения пожара или взрыва из-за возникновения искры.



Новая система освещения построена на синих диодных лазерах, излучающих в диапазоне длин волн 440–470 нм, и удалённом люминофоре. Такие осветительные устройства обладают высокой световой отдачей – до 100 лм/Вт.

Применение оптоволокну обеспечивает электро- и пожаробезопасность в любых светотехнических приборах. Они устойчивы к климатическому, коррозионному, механическому, электромагнитному и радиационному воздействиям, а также, например, на химическом производстве, где освещать объект иным образом крайне небезопасно.

Светотехническая продукция на основе диодных лазеров может успешно применяться для внутреннего и внешнего освещения бытовых помещений и инфраструктурных опасных производственных объектов, например, химических заводов, атомных станций и шахт. Новый проект ОП был представлен холдингом «Росэлектроника» в рамках международной выставки «Фотоника-2017», которая проходила в Экспоцентре с 28 февраля по 3 марта.

<https://hi-news.ru/>  
10.03.2017

# О естественном освещении в школах в учебное время<sup>1</sup>

С. ДАРУЛА<sup>1</sup>, М. ФЕРЕНЧИКОВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Строительно-архитектурный институт Словацкой академии наук, Братислава, Словакия

<sup>2</sup> Творческая студия *M & P creative studio s.r.o.*, Мартин, Словакия

E-mail: usarsdar@savba.sk

## Аннотация

В настоящее время очень большое внимание уделяется качеству окружающей среды и, в частности, обеспечению оптимального уровня естественного освещения в зданиях. Естественное освещение непрерывно изменяется не только в течение дня от восхода до заката, но и на протяжении всего года. Динамику изменения естественного освещения вне зданий отражают результаты систематических измерений освещённости, осуществляемых на станциях *IDMP* МКО. Для проектирования и моделирования естественного освещения в зданиях требуется знание типичных внешних условий освещения. Новый метод оценки естественного освещения внутри зданий, который был предложен рабочей группой «Естественное освещение» технического комитета 169 Европейского комитета по стандартизации (*CEN TC169 / WG11 Daylight*), основан на вероятности реализации наружной освещённости в конкретном месте, отражающей медианные значения такого климатического параметра, как диффузная наружная освещённость. В статье приведены результаты опробования этого нового климатического параметра и предложено использовать его в других статистических исследованиях. Предложенные новые критерии проиллюстрированы на примере исследования данных о естественном освещении в школах, которые были получены на основе статистической обработки результатов проведённых в Братиславе шестилетних поминутных измерений освещённости.

**Ключевые слова:** естественное освещение, диффузная освещённость, медианный, школьные здания.

## 1. Введение

Естественное освещение оказывает неоспоримое влияние на человека, не имеющее никакой адекватной альтернативы. Его типичные характеристики — динамичность, случайные качественные и количественные изменения на протяжении дня — способствуют повышению внимательности и не могут быть в точности воспроизведены искусственным освещением, которое вследствие своей неизменности приводит к уменьшению бодрости, появлению утомляемости и сонливости и ухудшению работоспособности [1]. Поэтому нельзя недооценивать значимость естественного освещения зданий, и важно создать такие уровень и качество естественного освещения, которые требуются для обеспечения здорового образа жизни и безопасности людей. В настоящее время проектирование и нормирование естественного освещения зданий осуществляются в соответствии с техническими стандартами нескольких стран. Например, в Словакии, Чешской

республике, Германии, Великобритании, Китае и России действуют стандарты на проектирование и нормы, которые основаны на рекомендациях МКО [2]. Для простоты в них используется модель однородного пасмурного неба, яркость которого изменяется от горизонта до зенита, как 1:3. Эта модель обеспечивает возможность определения освещённости при наихудших условиях наружного освещения, но не позволяет оценить приемлемость годового естественного освещения зданий, так как не учитывает изменения наружной освещённости. Оптимальный зрительный комфорт в помещениях с постоянным пребыванием людей должен обеспечиваться с учётом изменений условий наружного освещения, которые реализуются на протяжении года, то есть от пасмурного неба с низким уровнем наружной освещённости и, через облачное небо с различной степенью облачности, до ясного неба и прямого солнечного света [3–7].

Новый метод оценки внутреннего естественного освещения основан на статистических вероятностях реализации наружной освещённости, полученных применительно к разным местам. Установившееся медианное значение такого статистического климатического параметра, как диффузная наружная освещённость [8], может быть получено на основе как спутниковых данных, так и результатов регулярных наземных измерений. В работе предложен статистический метод оценки диффузной наружной освещённости применительно к обеспечению эффективного использования естественного освещения в школах, в основу которого были положены результаты анализа смоделированных значений диффузной наружной освещённости во время работы школ (далее — учебное время).

## 2. Методика

Естественное освещение поверхности земли зависит от нескольких факторов: высоты солнца, типа и плотности облачности и мутности атмосферы. Наружная освещённость, и полная, и диффузная, и прямая, изо дня в день непрерывно изменяется. В [9] отмечалось, что в результатах измерений, проведённых в 1994–2006 гг., один и тот же порядок дневного изменения диффузной ( $E_{v,d}$ ) и полной ( $E_{v,g}$ ) освещённости не встречается, и что каждый день был неповторимым. Естественное освещение зданий до настоящего времени оценивалось с использованием коэффициента естественной освещённости  $D$ , основанного на модели однородного полностью открытого пасмурного неба МКО, которая не включает в себя влияние прямого солнечного света. Однако важно отметить, что естественное освещение следует оценивать на основе поминутных данных, так как человеческий глаз способен воспринимать уровни естественного освещения в момент их реализации, а не как средние или накопленные значения. За исключением минимальных уровней освещённости

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

сти, знание которых требуется при архитектурном проектировании и оценке естественного внутреннего освещения, необходимо учитывать качественные характеристики естественного освещения и его динамические изменения.

Результаты экспериментальных исследований, посвящённых количественному описанию изменений наружной освещённости, приводятся в научных публикациях уже давно (например, [10–16]). В них можно найти как методы определения наружной освещённости применительно к проектированию естественного освещения, так и методы моделирования дневной последовательности её изменения. В [17–18] были проанализированы дневные изменения  $E_{v,d}$  и  $E_{v,g}$  во все месяцы года. Сравнение разных дней подтвердило очень высокую изменчивость естественного освещения в части уровней освещённости и времени их реализации. Так что для того, чтобы с высокой точностью проектировать и оценивать естественное освещение зданий, необходимо знать реальный световой климат в рассматриваемой местности. В [19, 20] было также показано, что только совокупность всеобъемлющих измерений и обработки их результатов позволит получить информацию о естественном световом климате. Первое комплексное описание годовых изменений диффузной наружной освещённости в Братиславе было опубликовано в [21]. Полученные статистическими методами данные о годовых изменениях естественного освещения были приведены и в [17, 22].

Динамические изменения естественного освещения могут быть описаны посредством моделирования характерных изменений наружной освещённости, содержащихся в результатах проведённых в горизонтальной плоскости измерений, и анализа результатов всеобъемлющих многолетних измерений и их статистической обработки.

Для моделирования вероятности реализации той или иной диффузной наружной освещённости необходимы следующие данные:

- время и дата;
- результаты долгосрочных поминутных измерений диффузной горизонтальной наружной освещённости;
- результаты долгосрочных поминутных измерений полной горизонтальной наружной освещённости.

Проект европейского стандарта «Естественное освещение зданий» [8, 23] вводит статистический климатический параметр – медианное значение диффузной наружной освещённости  $E_{v,d,med}$ . Другим важным для описания естественного освещения зданий параметром является время использования этого освещения, которое зависит от графика работы рассматриваемого помещения. График работы здания (или стандартное время работы) определяется категорией здания применительно к его использованию и определяется дневным расписанием работы, то есть началом и окончанием рабочего дня в течение недели (понедельник – воскресенье), а также графиком использования здания на протяжении года (январь – декабрь).

В Словацкой Республике стандартное время работы применительно к освещению зданий нормировано в директиве [24]. Разную стандартную дневную продолжительность работы имеют, например, школы (продолжительность работы 7,5 ч в день), офисные здания (9,5 ч) или больницы (14 ч.). Недельное время работы здания также зависит от типа здания: например, офисные здания работают 5 дней в неделю, тогда как гостиницы и больницы –

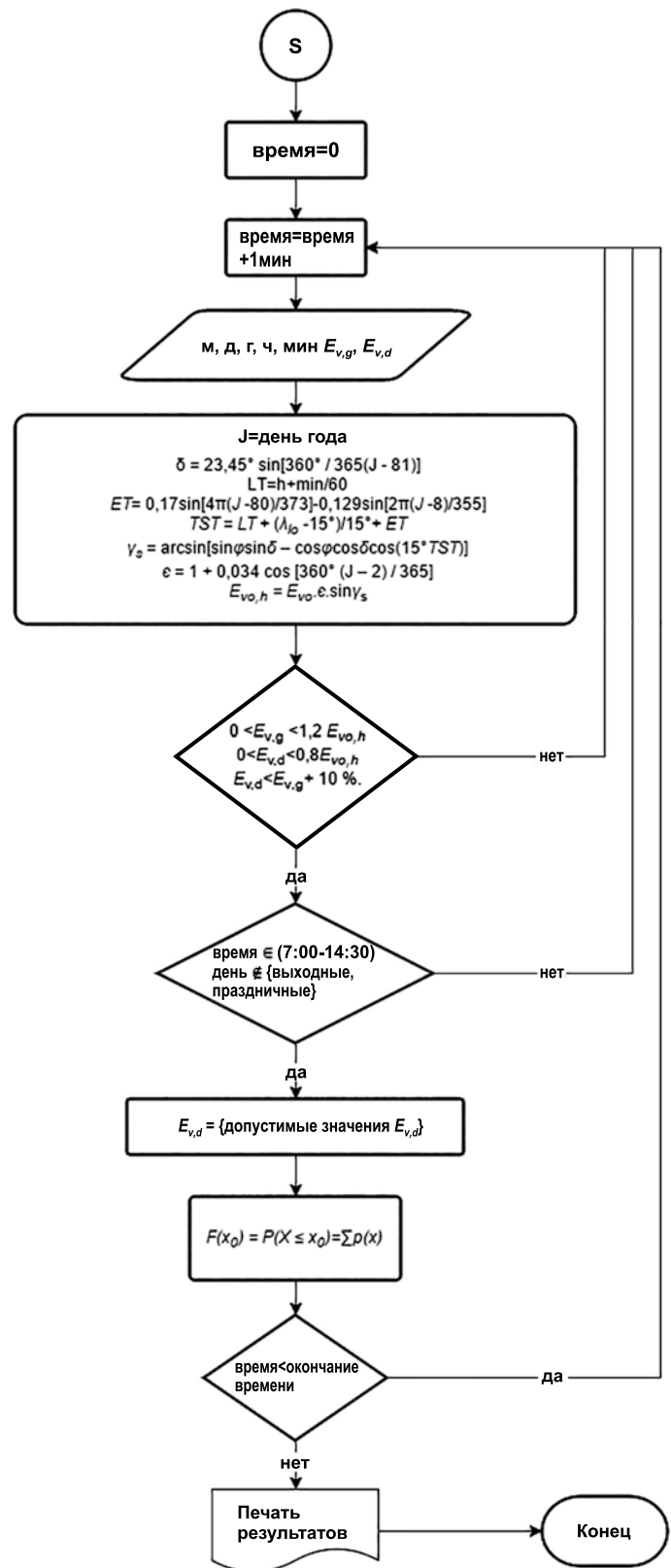


Рис. 1. Блок-схема моделирования вероятности реализации годовой диффузной освещённости  $E_{v,d}$  в учебное время. Обозначения:  $m$  – номер месяца;  $d$  – день месяца;  $y$  – год;  $h$  – ч;  $min$  – мин;  $LT$  – местное время, ч;  $ET$  – уравнение времени, ч;  $TST$  – истинное солнечное время, ч;  $\lambda_{lo}$  – географическая широта места расположения объекта, град.;  $\delta$  – угол склонения солнца, град.;  $\epsilon$  – эксцентриситет

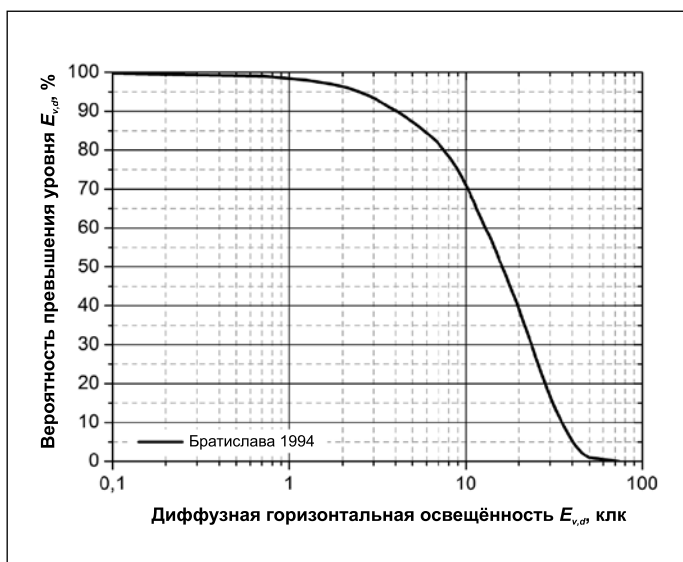


Рис. 2. Вероятность реализации значений освещенности, превышающих  $E_{v,d}$ , в учебное время в 1994 г. в Братиславе

7 дней в неделю. Кроме того, здания по-разному эксплуатируются в течение года: например, школьные здания используются только во время учебного года (то есть 10 месяцев, если не учитывать неканикулярные праздничные дни), тогда как больницы в течение года работают непрерывно. Для по возможности точного моделирования диффузной горизонтальной наружной освещенности важно задать промежутки времени, соответствующие стандартному дневному времени работы зданий разных типов, и воспользоваться результатами долгосрочных измерений горизонтальной освещенности.

Моделирование вероятности реализации разных уровней диффузной горизонтальной освещенности в Братиславе было основано на значениях полной горизонтальной освещенности  $E_{v,g}$  и диффузной горизонтальной освещенности  $E_{v,d}$ , которые систематически измерялись на протяжении шести лет, с 4 января 1994 г. по 31 декабря 1999 г. Эти данные было решено использовать для исследования естественного освещения, не претендуя при этом на описание климатических изменений. Перед использованием зарегистрированные данные были подвергнуты контролю качества в соответствии с [25]. Вероятность того, что значение  $E_{v,d}$  превысит определенный уровень, рассчитывалась по формуле:

$$P(E_{v,d} < k^\alpha) \text{ для интервала } (t_1, t_2), \quad (1)$$

где  $k^\alpha$  – процентиль<sup>2</sup>, соответствующий заданному значению диффузной горизонтальной освещенности, лк,  $t_1$  – время начала учебного дня в школе,  $t_2$  – время окончания учебного дня в школе<sup>3</sup>.

<sup>2</sup> В русскоязычной литературе этот параметр называют также «перцентиль», что хуже отражает его смысл. Кроме того, если провести аналогию с английским языком, в котором это понятие появилось впервые, то: *percent* → *percentile*, процент → перцентиль. – Прим. пер.

<sup>3</sup> Из текста статьи следует, что под  $n$ -м перцентилем авторы понимают такое значение, выше (а не ниже, как это обычно принято) которого расположено  $n$  процентов наблюдений рассматриваемой переменной. Следовательно, авторы считают, что 40-й перцентиль – это значение, выше (а не ниже) которого расположено 40 % результатов наблюдений. В результате 40-й перцентиль оказывается больше, чем 80-й, тогда как обычно 80-й перцентиль больше 40-го. Соответственно, в тексте статьи 40-й перцентиль следует понимать как 60-й, 60-й – как 40-й, 70-й – как 30-й, 80-й – как 20-й и 90-й – как 10-й. – Прим. пер.

На рис. 1 приведена блок-схема моделирования типичного годового наличия диффузной наружной освещенности применительно к школьным зданиям. Графическое представление результатов в виде функций распределения гораздо нагляднее таблиц с многочисленными цифрами, в связи с чем именно оно было использовано на рис. 2. График на рис. 2 демонстрирует выраженную в процентах вероятность реализации разных уровней горизонтальной наружной освещенности для всех вариантов освещения, охватывающих облачные, ясные, пасмурные и динамические условия и отражающих световой климат в Братиславе в 1994 г. применительно к учебному времени. Приведенная кривая позволяет определить как медианное значение  $E_{v,d}$ , так и значения диффузной горизонтальной освещенности, соответствующие другим статистическим параметрам – квантилям и процентилям диффузной горизонтальной освещенности.

При обработке имеющихся данных учитывалась  $E_{v,d}$  в стандартное время работы школьных зданий в период с понедельника по пятницу за исключением национальных праздничных дней и зимних и летних каникул. Случайные дни освобождения от занятий в исследовании не учитывались из-за затрудненности их идентификации и местной специфики. Исключение данных, зарегистрированных в период незагруженности зданий, позволило нарисовать более реалистичную картину светового климата в Братиславе. Подобным образом мы смоделировали месячное и годовое наличие разных уровней диффузной наружной освещенности и получили медианные значения и процентиля для всех месяцев года.

### 3. Результаты

Характерные вероятности реализации разных уровней освещенности были получены в результате обработки значений  $E_{v,g}$  и  $E_{v,d}$ , измеренных в период с 1994 по 1999 г. Рассчитанные медианные значения  $E_{v,d,med}$  и процентиля  $E_{v,d}$  приведены в табл. 1 для всех исследованных лет. Выраженные в процентах значения дисперсии отражают различия между значениями, соответствующими конкретному году, и значениями, усредненными по всему рассматриваемому периоду. В табл. 2 приведены результаты расчетов, выполненных с использованием всех экспериментальных данных, полученных в период с 4 января 1994 г. по 31 декабря 1999 г. Графическое представление вероятности реализации диффузной наружной освещенности  $E_{v,d}$  для каждого года в отдельности и для всего шестилетнего периода в целом приведено, соответственно, на рис. 3 и 4. Желтым цветом в табл. 1 отмечены те ячейки, которые соответствуют минимальной для указанного процентиля дисперсии.

Сравнение соответствующих разным годам процентилей (с 40-го по 90-й) говорит об их малом отличии. Раз-

ность между полученными в разные годы значениями изменяется от 930 лк для 60-го перцентиля (различие между данными, соответствующими 1998 и 1995 гг.) до 1247 лк

для 40-го перцентиля ( $E_{v,d,1996}^{(40)} - E_{v,d,1995}^{(40)}$ ). Дисперсии годовых перцентилей изменяются от -16 % (1996 г., 90-й перцентиль) до +14, 4 % (1999 г., 90-й перцентиль). Наименьшие дисперсии имели место в случае 40-го перцентиля, которому соответствовали наибольшие значения  $E_{v,d}$ . Представленные в табл. 2 статистические данные отражают их значимость для проектирования естественного освещения зданий. Если в качестве основы для проектирования окон будет использовано медианное значение освещённости, то естественное освещение внутри здания будет удовлетворительным на протяжении 50 % светлого времени суток, когда наружная освещённость будет превышать 16115 лк. Лучшее естественное освещение внутри зданий может быть обеспечено на протяжении года, если проектирование окон осуществлять, исходя из более низкого значения освещённости и, соответственно, большей суточной продолжительности использования дневного света. Это можно обеспечить при использовании 80-го перцентиля. В этом случае естественное освещение внутри здания будет удовлетворительным на протяжении 80 % светлого времени суток, в том числе рано утром и вечером, когда наружная освещённость будет превышать 7284 лк.

Как видно на рис. 3, соответствующие разным годам рассматриваемого периода графики вероятности реализации диффузной горизонтальной наружной освещённости очень схожи. Небольшие расхождения этих графиков говорят о незначительности изменений из года в год диффузной горизонтальной наружной освещённости в Братиславе.

Проанализировав все данные, можно сделать вывод, что дисперсия годовых статистических параметров была наименьшей в 1994 г. (от -1,5 до +3,6 %) и 1997 г. (от -2,7 до +0,6 %) (данные, соответствующие минимальным значениям дисперсии, выделены в табл. 1 жёлтым фоном). С другой стороны, наибольшие значения дисперсии имели место в 1996 г. (от -16,0 до +3,3 %), что говорит о большем количестве облачных условий в течение года.

Вероятность реализации тех или иных уровней наружной освещённости в рассматриваемом месте зависит от его географического положения и климата. Климат в Братиславе характеризуется четырьмя типичными сезонами и умеренными среднеевропейскими климатическими условиями, которые можно охарактеризовать при помощи таких влияющих на естественное освещение параметров, как продолжительность солнечного света, облачность и мутность атмосферы. Результаты проведённых в Братиславе измерений относительной продолжительности солнечного света говорят о том, что её годовые значения незначительно изменяются в окрестностях 0,4. Так как используемые при проектировании данные о естественном освещении должны учитывать и климатические условия, то было исследовано влияние продолжительности солнечного света на полученные статистические данные. В табл. 3 приведены значения относительной продолжительности солнечного света, рассчитанные в соответствии с рекомендациями

«СВЕТОТЕХНИКА», 2017, № 2

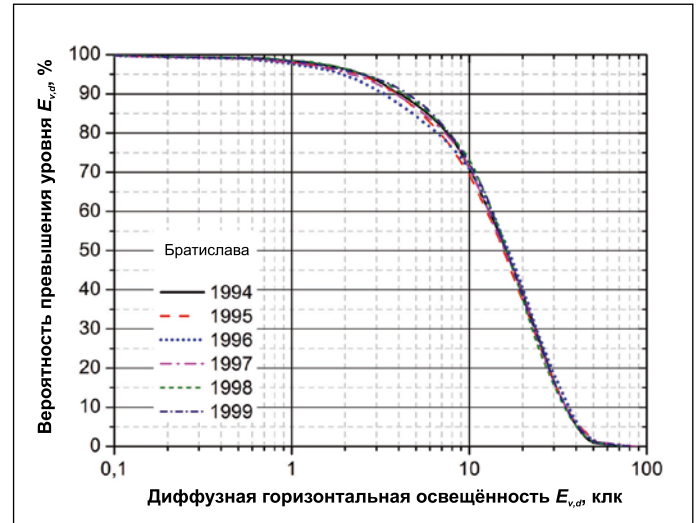


Рис. 3. Вероятность реализации значений освещённости, превышающих  $E_{v,d}$  в 1994, 1995, 1996, 1997, 1998 и 1999 г. в Братиславе

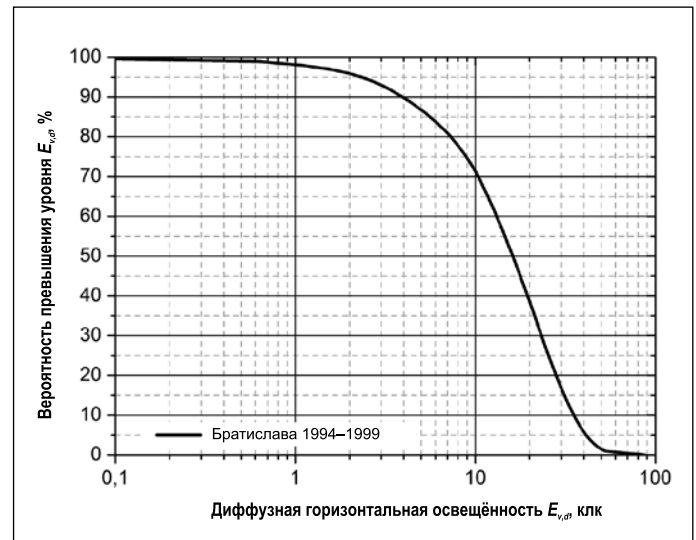


Рис. 4. Вероятность реализации значений освещённости, превышающих  $E_{v,d}$  в учебное время в период с 1994 по 1999 г. в Братиславе

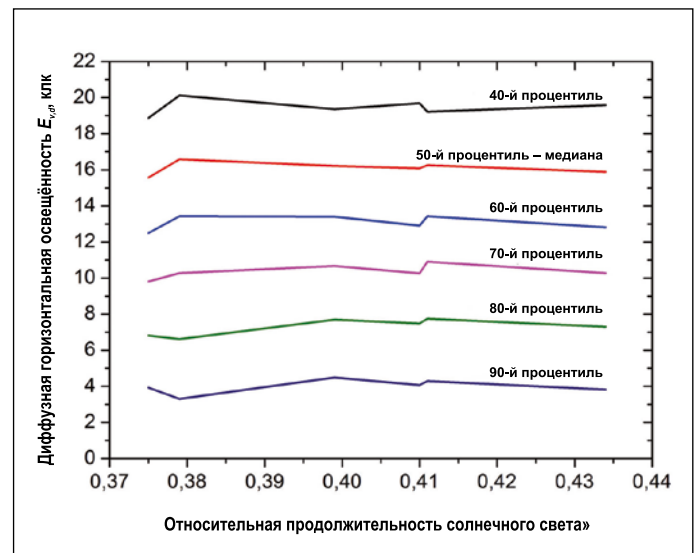


Рис. 5. Связь между относительной продолжительностью солнечного света и диффузной горизонтальной освещённостью

**Значения годовых 40-х – 90-х перцентилей диффузной наружной освещённости в стандартное учебное время, Братислава, 1994–1999 гг., лк**

Процентиль	Год					
	1994	1995	1996	1997	1998	1999
40-й, лк	19683	18876	20123	19579	19218	19359
Дисперсия, %	+ 1,1	– 3,1	+ 3,3	+ 0,6	– 1,3	– 0,6
50-й = $E_{v, d, med}$ , лк	16088	15578	16583	15882	16261	16221
Дисперсия, %	– 0,2	– 3,3	+ 2,9	– 1,4	+ 0,9	+ 0,7
60-й, лк	12904	12502	13432	12812	13432	13406
Дисперсия, %	– 1,5	– 4,6	+ 2,5	– 2,2	+ 2,5	+ 2,3
70-й, лк	10254	9815	10280	10280	10900	10668
Дисперсия, %	– 1,0	– 5,3	– 0,8	– 0,8	+ 5,2	+ 3,0
80-й, лк	7484	6819	6612	7306	7749	7697
Дисперсия, %	+ 2,7	– 6,4	– 9,2	+ 0,3	+ 6,4	+ 5,7
90-й, лк	4070	3926	3302	3823	4288	4494
Дисперсия, %	+ 3,6	– 0,1	– 16,0	– 2,7	+ 9,1	+ 14,4

Таблица 2

**Значения медианных значений диффузной наружной освещённости  $E_{v, d, med}$  и 40-х – 90-х перцентилей для стандартного учебного времени, Братислава, 1994–1999 гг., лк**

Период, гг.	Процентиль					
	40-й	50-й = $E_{v, d, med}$	60-й	70-й	80-й	90-й
	лк					
1994–1999	19471	16115	13100	10360	7284	3930

Таблица 3

**Относительная продолжительность солнечного света в Братиславе**

Год	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Относительная продолжительность солнечного света	0,410	0,375	0,379	0,434	0,411	0,399

ми МКО [25] на основе измеренных на братиславской станции *IDMP* МКО значений  $E_{v, g}$  и  $E_{v, d}$ . Минимальное и максимальное значения наблюдались, соответственно, в 1995 и 1997 гг.

Для использования различных перцентилей  $E_{v, g}$  при проектировании естественного освещения, было сделано допущение, что климатические условия определяют собой сопоставимые ежегодные условия естественного освещения. Исследование связи между продолжительностью солнечного света и вероятностью реализации  $E_{v, g}$ , описываемой при помощи перцентилей, продемонстрировало отсутствие связи между этими переменными (рис. 5). Этот результат имеет очень важное значение для применения различных перцентилей при проектировании естествен-

ного освещения имеющих разное назначение зданий, таких как офисы, больницы, школы или торговые помещения.

#### 4. Заключение

Исследования, основанные на результатах проведённых в период с 1994 по 1999 гг. измерений диффузной горизонтальной наружной освещённости  $E_{v, d}$ , показали, что данные разных лет отличаются друг от друга незначительно. Было получено, что уровень, который  $E_{v, d}$  превышает с 50-процентной вероятностью, составляет 16115 лк (6-летняя медиана  $E_{v, d, med}$ ), и установлено, что в стандартное учебное время (с 7:00 до 14:30) с 50-процентной вероятностью реализуются меньшие этого уровня значения  $E_{v, d}$ . В предлагаемом новом европейском стандарте [8] медианное значение диффузной горизонтальной наружной освещённости  $E_{v, d, med}$  является ключевым параметром для оценки естественного освещения зданий. Для столицы Словакии Братиславы было получено равное 16300 лк значение  $E_{v, d, med}$ . В [8] рекомендуется определять  $E_{v, d, med}$  на основе спутниковых данных или результатов наземных измерений, проведённых в дневное время, то есть от восхода до заката.

Если естественное освещение зданий проектируется или оценивается с использованием медианного значения диффузной наружной освещённости, то можно ожидать, что уровни освещённости вне зданий будут превышать 16300 лк на протяжении полугода, а остальные полгода вероятности реализации этих уровней освещённости будут меньше, чем 50 %. При этом в случаях, когда уровни диффузной наружной освещённости окажутся ниже своего медианного значения  $E_{v, d, med}$ , естественное освещение внутри зданий будет недостаточным и потребуются дополнительное освещение.

В прошлом считалось, что модели пасмурного неба МКО соответствуют уровню диффузной наружной освещённости в диапазоне 5000–7000 лк. В школах Словакии люди находятся на протяжении более чем 80–90 % учебного времени. Согласно табл. 1 и рис. 3 и 4, соответствующие критические значения освещённости лежат в интервале от 4000 до 7500 лк. С наружной освещённостью под пасмурным небом МКО традиционно ассоциируется  $E_{v, d} = 5000$  лк.

Для обеспечения здорового образа жизни, естественное освещение в здании должно наличествовать в нужное время, то есть когда в здании находятся люди или, иными словами, в стандартное время работы здания. Это означает, что для создания хорошего естественного освещения школьных помещений количество естественного

го света следует определять, исходя из 80-го ( $E_{v,d}^{(80)}$ ) или 90-го ( $E_{v,d}^{(90)}$ ) процентиля (см. табл. 1 и 2). Им соответствуют полученные в данной работе значения статистических параметров (2) и (3):

$$E_{v,d}^{(80)} = 6612-7697 \text{ лк}, \quad (2)$$

$$E_{v,d}^{(90)} = 3301,6-4494 \text{ лк}. \quad (3)$$

Использование для оценки естественного освещения зданий таких статистических параметров, как, например, 80-й или 90-й процентиль, обеспечивает более эффективное использование естественного освещения в школах. Использование при проектировании окон исключительно медианных значений может привести к возведению зданий с окнами, размеры которых обеспечивают достаточное естественное освещение только в течение полугода.

В работе предложен статистический метод оценки диффузной наружной освещённости применительно к обеспечению эффективного использования естественного освещения в школах, в основу которого были положены результаты анализа смоделированных значений диффузной наружной освещённости в учебное время. Применение этого метода для оценки естественного освещения зданий позволит реализовать возможности естественного освещения в части экономии энергии и обеспечить гигиеничность и зрительный комфорт, которые имеют очень важное значение не только для взрослых, но и для молодых людей.

Эта работа финансировалась в рамках проектов *VEGA 2/0042/17* и *APVV-0118-12*.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Boyce, P.R. Human Factors in Lighting. London: CRC Press, 2014.
2. CIE016-1970: Daylight. Vienna: CIE Bureau.
3. Darula, S. Daylighting in the exterior and in the interior. Bratislava: STU, 2011.
4. Ferenciková, M., Darula, S. Diffuse illuminance during school hours // Proc. Int. Conf. Lumen. V4, 2014, Visegrád, Hungary, p. 19.
5. Valček, P., Novák, T., Vaňuš, J., Sokanský, K., Martinek, R. Illuminance Evaluation in Automatically Dimmed Interior Lighting Systems // Proc. VI. IEEE Lighting Conference of the Visegrad Countries LUMEN. 2016, Karpacz. P. 40-44.
6. Li, D.H.W., Tsang, E. K.W. An analysis of daylighting performance for office buildings in Hong Kong // Building and Environment. – 2008. – Vol. 43, No. 9. – P. 1449-1458.
7. Tregenza, P. Standard skies for maritime climates // Lighting Research and Technology. – 1999. – Vol. 31, No. 3. – P. 97-106.
8. prEN17037 Daylight of Buildings, draft July 2016.
9. Darula, S., Kittler, R., Kocifaj, M., Plch, J., Mohelníková, J., Vajkay, F. Osvětlování světlovody (Light guide illumination). Praha: Grada Publishing, a.s., 2009. (In Czech).
10. Enarun, D., Littlefair, P. Luminance models for overcast skies: Assessment using measured data // Lighting Research and Technology. – 1995. – Vol. 27, No. 1. – P. 53-58.
11. Mardaljevic, J. Simulation of annual daylighting profiles for internal illuminance // Lighting Research and Technology. – 2000. – Vol. 32, No. 3. – P. 111-118.
12. Darula, S., Kittler, R., Kambezidis, H., Bartzokas, A. Reconstruction of missing measured illuminance values in regular daylight data recording // Proc. 14<sup>th</sup> Int. Conf. Light 2003, Liptovský Ján, Dom techniky ZSVTS, Bratislava, p. 62-70.
13. Ng, E., Cheng, V., Gadi, A., Mu, J., Lee, M. 2007, Defining standard skies for Hong Kong // Building and Environment. – 2007. – Vol. 42, No. 2. – P. 866-876.
14. Alshabani, K. Finding frequency distributions of CIE Standard General Skies from sky illuminance or irradiance. // Lighting Research and Technology. – 2011. – Vol. 43. – P. 487-495.
15. Budak, V.P., Smirnov, P.A. A physical model of the firmament to calculate daylight // Light and Engineering. – 2013. – Vol. 21. 17-23.
- 15a. Будак В.П., Смирнов П.А. Физическая модель небосвода для расчётов естественного освещения // Светотехника. – 2013. – № 2. – С. 59-63.
16. Kittler, R., Kocifaj, M., Darula, S. Daylight science and daylighting technology. New York: Springer, 2012.
17. Dumortier, D., Fontoynt, M., Avouac-Bastie, P. Daylight availability in Lyon // Proc. Conf. on Energy Performance and Indoor Climate in Buildings. Lyon, 1994, p. 1315-1320.
18. Darula, S., Kittler, R. Research of the year-round changes of solar and daylight availability for the computer evaluation of sustainable buildings, Daily courses and sunshine duration in Bratislava during 2001-2005 after IDMP measurements. VEGA 2/5093/5 R2006, 1, ICA SAS Bratislava, 2006.
19. Kittler, R., Pulpitová, J. Základy využívania slnečného svetla žiarenia (Basis of the utilization of solar radiation). Bratislava: Veda, 1988. (In Slovak).
20. Hayman S. The daylight climate of Sydney. Ph D. Thesis, University of Sydney, 1996.
21. Darula, S. Štatistické charakteristiky exteriérovej osvetlenosti v Bratislave podľa meraní počas rokov 1994 a 1995. (Statistical characteristics of exterior illuminance measured during 1994-1995) // Světelná technika. – 1997. – Vol. 30, No. 3-4. – P. 42-46. (In Slovak).
22. Mardaljevic, J. Simulation of annual daylight profiles for internal illuminance // Lighting Res. Technol. – 2000. – Vol. 32, No. 3. – P. 111-118.
23. Mardaljevic, J., Christoffersen, J., Raynham, P. A proposal for a European standard for daylight in buildings // Proc. Int. Conf. Lux Europa 2013, Krakov, p. 237-250.
24. Vyhláška č. 364/2012 Z. z. Ministerstva dopravy, výstavby a regionálneho rozvoja Slovenskej republiky, ktorou sa vykonáva zákon č. 555/2005 Z. z. o energetickej hospodárnosti budov a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov. (Regulation No. 364/2012 Z. z. Ministry of Transport, Construction and Regional Development of the Slovak Republic on Energy Performance of Buildings). (In Slovak).
25. CIE108:1994. Guide to recommended practice of daylight measurement. Vienna: Central Bureau.



**Станислав Дарула (Stanislav Darula),**

Dr. Выпускник Словацкого технического университета, Братислава, Словакия, по специальности «Строительство зданий». Руководитель отдела строительной физики Строительно-архитектурного института Словацкой академии наук, Братислава, Словакия. Область научных интересов: естественное освещение с упором на проектирование, измерение и оценку естественного освещения зданий и на использование солнечной энергии и энергосбережение в зданиях



**Мария Ференчикова (Mária**

**Ferenciková),** Dipl. Ing. Окончила Словацкий технический университет (1991 г.). Руководитель творческой студии M&P. Область научных интересов: проектирование естественного освещения зданий. В рамках Словацкого национального отделения МКО принимает участие в разработке европейского стандарта на естественное освещение зданий

# Сравнение результатов расчётов дорожного освещения с результатами измерений с использованием традиционных яркометров и фотоярккометров<sup>1</sup>

Б. БЬЮККИНАЧИ<sup>1</sup>, Ё. ГЮЛЕР<sup>2</sup>, С. ОНАЙГИЛ<sup>2</sup>, М.Б. ЮРТСЕВЕН<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Компания *ISBAK Inc.*, Стамбул, Турция.

<sup>2</sup> Стамбульский технический университет, Турция.

E-mail: onder.guler@itu.edu.tr

## Аннотация

Перед реализацией установки дорожного освещения, характеризующейся динамическим изменением уровней освещения, необходимо провести расчёты видимости для различных вариантов освещения. Расчёты видимости основаны на результатах измерения яркости. При использовании традиционных яркометров измерение яркости дорожного покрытия отнимает много времени, т.к. эти измерения можно проводить только поточечно. С другой стороны, фотоярккометр (*camera luminance meter*) захватывает всё расчётное поле, что приводит к ускорению процесса измерений. Для облегчения измерений яркости применительно к различным вариантам дорожного освещения предлагается использовать именно фотоярккометры. В данной работе проведено сравнение результатов расчётов дорожного освещения с результатами измерений с использованием традиционных яркометров и фотоярккометров. Было установлено, что значения средней яркости, полученные в результате расчётов и измерений при помощи фотоярккометра, совпадают друг с другом, тогда как измерения при помощи традиционного яркометра дают более низкие значения. Общая и продольная равномерности яркости, измеренные при помощи традиционного яркометра, ближе к результатам расчётов, тогда как при использовании фотоярккометра полученные значения общей равномерности яркости оказались более высокими, а значения продольной равномерности яркости — более низкими по сравнению с результатами расчётов. В работе показано, что фотоярккометры обеспечивают получение приемлемых значе-

ний характеристик дорожного освещения, что позволяет использовать их для экономии времени, затрачиваемого на проведение исследований в области дорожного освещения и на его реализацию.

**Ключевые слова:** фотоярккометр, измерение яркости, освещение дорог.

## 1. Введение

Перед реализацией любой установки дорожного освещения проводят расчёты, позволяющие определить её оптимальные характеристики, обеспечивающие требуемые уровни яркости дорожного покрытия. В настоящее время расчёты освещения дорог чаще всего проводят с использованием компьютерных программ. При правильном задании входных параметров эти программы позволяют получать результаты, очень схожие с результатами реальных измерений характеристик дорожного освещения.

Европейский стандарт *EN13201-3* [1] и рекомендации МКО *CIE140* [2] описывают порядок проведения измерений яркости дорожного покрытия. Измерения следует проводить в 60 точках расчётного поля, которое представляет собой участок между двумя осветительными опорами.

Измерения, осуществляемые с использованием традиционных яркометров, надёжны, но применяемый при этом поточечный метод является трудоёмким и отнимает очень много времени. Изменяющиеся условия, такие как погода и интенсивность дорожного движения, ещё больше усложняют проведение всеобъемлющих измерений яркости дорожного покрытия. Кроме того, на дорогах с интенсивным движением проведение измерений связано с опасностью для работников. Для решения этих проблем в последнее время измерения яркости

предпочитают производить при помощи фотоярккометров (*camera luminance meter*), позволяющих ускорить и облегчить проведение измерений. Фотоярккометр захватывает всё расчётное поле, что ускоряет процесс проведения измерений. Кроме того, фотоярккометр позволяет одновременно производить измерения во многих точках.

В данной работе для разных классов дорог по освещению проведено сравнение результатов компьютерных расчётов характеристик дорожного освещения с результатами измерений с использованием традиционных яркометров и фотоярккометров.

Измерения проводились на экспериментальном участке дороги, сооружённом в Стамбульском техническом университете, Турция. Целью исследования являлось получение результатов, которые позволили бы принять решение о продолжении использования фотоярккометров в дальнейшей работе.

## 2. Обзор литературы

Фотокамеру для измерения яркости можно откалибровать. Для обеспечения возможности измерять яркость при помощи цифровой фотокамеры, фотографируют имеющий известную яркость источник и, таким образом, получают коэффициент пересчёта, который связывает яркость (в кд/м<sup>2</sup>) со значением, записанным в пикселе полученного изображения. Калибровка фотокамеры и интерпретация содержащихся в изображении данных описаны в [3].

В [4] предложен способ использования цифровой фотокамеры в качестве яркометра, не зависящего от уровня экспонирования. Калибровка камеры осуществляется при помощи измерения передаточной функции оптоэлектронного преобразователя, а расчёт яркости производится на основе выходных цифровых *RGB*-сигналов фотокамеры. В [4] подчёркивается, что при использовании цифровой фотокамеры в качестве яркометра следует учитывать, что эти фотокамеры не являются точными измерительными приборами. Основной целью, которую преследуют при конструировании цифровых фотокамер, является получение с их помощью хороших фотографий. Однако для многих областей применения полученных при помощи камеры значений яркости бу-

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



дет достаточно. Ряд задач не требует получения абсолютных значений яркости, например, при измерении распределения яркости в пределах всей сцены или при определении соотношения яркостей.

В [5] был предложен новый метод, в котором недавно разработанная фотограмметрия с высоким динамическим диапазоном (*HDR*) была использована для измерения яркости и координат *XYZ* в миллионах точек дорожной сцены при помощи одного и того же прибора — фотокамеры — с последующей обработкой и визуализацией полученных данных в программе *MatLab*. Восемь *HDR*-изображений дороги, полученных при разных условиях наблюдения, были сформированы методами *HDR*-фотограмметрии и откалиброваны. Из каждого изображения при помощи программы *Radiance* были извлечены совпадающие во времени светотехнические и геометрические параметры, которые затем при помощи программы *MatLab* были проанализированы для выявления потенциальной опасности, которую дорога может представлять для окружающей среды. Точность измерения яркости составляла примерно 1,5–10,1 % [5].

В [6] исследовались потенциальные возможности, ограничения и применимость *HDR*-фотографии в качестве инструмента картирования яркости. В этой работе при помощи имеющейся в продаже цифровой фотокамеры при разной экспозиции были сделаны фотографии статической сцены, что позволило охватить широкий диапазон изменения яркости в пределах сцены. Функция чувствительности камеры, которая была рассчитана при помощи программы *Photosphere*, была использована для сведения многочисленных фотографий в *HDR*-изображение. Было оценено влияние виньетирования и была получена аппаратная функция камеры и объектива. Лабораторные и полевые исследования показали, что значения, записанные в пикселях *HDR*-фотографий, соответствуют физической величине (яркости) с достаточными точностью и повторяемостью.

В [7] посредством обработки изображений, полученных при помощи матриц приборов с зарядовой связью, были проведены оценки уровней видимости в случае дорожного освещения в Аргентине.

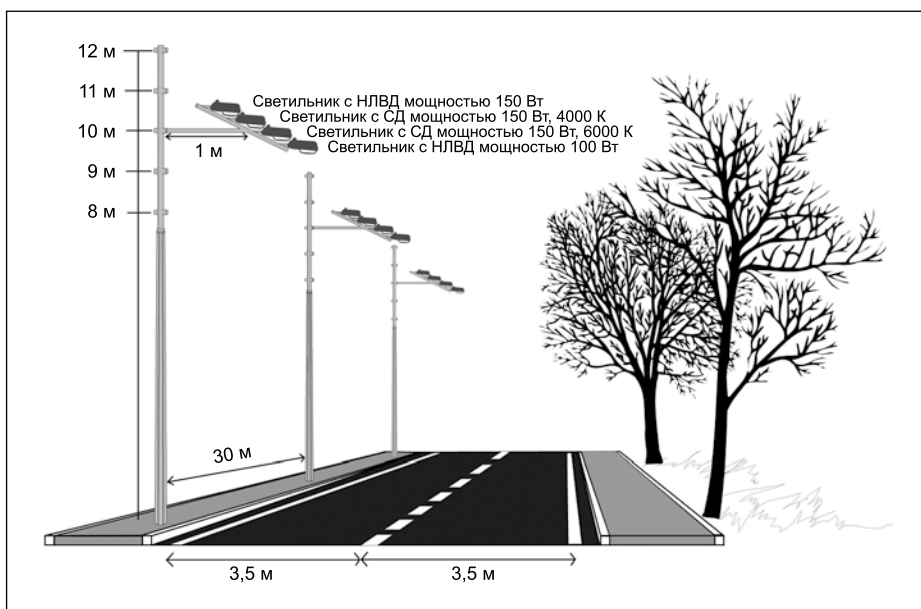


Рис. 1. Экспериментальный участок дороги ITU-ISBAK

При финансовой поддержке Национального центра по повышению безопасности наземных перевозок (*NSTSCCE*) была проведена работа по созданию системы захвата изображений для анализа значений яркости, измеренных в реальных условиях вождения. Основным методом, который разрабатывался при проведении этих исследований, была калибровка небольших мобильных фотокамер при помощи создающего изображения фотометра. В контролируемых стационарных условиях изображения одновременно захватывались как двумя фотояркометрами, так и создающим изображение фотометром. В фотояркометрах можно было регулировать коэффициент усиления, выдержку и экспозицию. Данные были получены при различных комбинациях параметров приборов. Знание таких пере-

менных, как коэффициент усиления, выдержка и переданные обратно значения яркости (*returned gray values*), позволяло определять значения яркости и сравнивать их с показаниями фотометра. Была определена точность подобного сравнения. После этой статической калибровки, фотояркометры были установлены на автомобиль, и были проведены измерения в нескольких динамически изменяющихся условиях. Для камер вручную задавали определённые значения коэффициента усиления и выдержки, позволяющие охватить несколько значений яркости. На основе результатов сравнения с известными значениями яркости калибровка фотояркометра была признана успешной, позволяющей обеспечить сравнительно высокий уровень точности [8].

*Cerema* и *Ifsttar*, два научно-исследовательских института Министерства транспорта Франции, занимаются усовершенствованием современных основанных на фотокамерах методов оценки и улучшения видимости на автомагистралях [9]. В рамках этих исследований относящаяся к *Cerema* лаборатория *Département Laboratoire et CECRP d'Angers (DLRCA)* разработала оригинальную систему для захвата воспринимаемого человеком зрительного сигнала, которая получила название *CYCLOPE* [10].

На рынке наличествуют откалиброванные фотояркометры и соответствующее программное обеспечение [11]. Эти фотояркометры захватывают изображения и рассчитывают на ос-

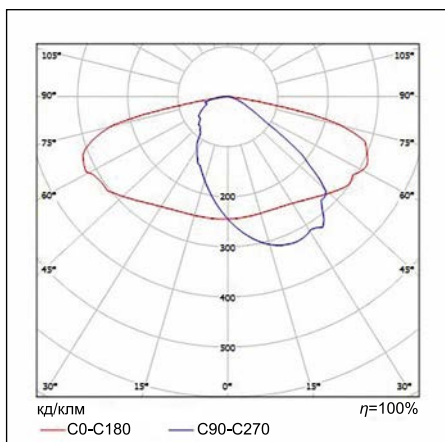


Рис. 2. Кривые силы света светильника ISBAK Lightra Power LXMLED150W

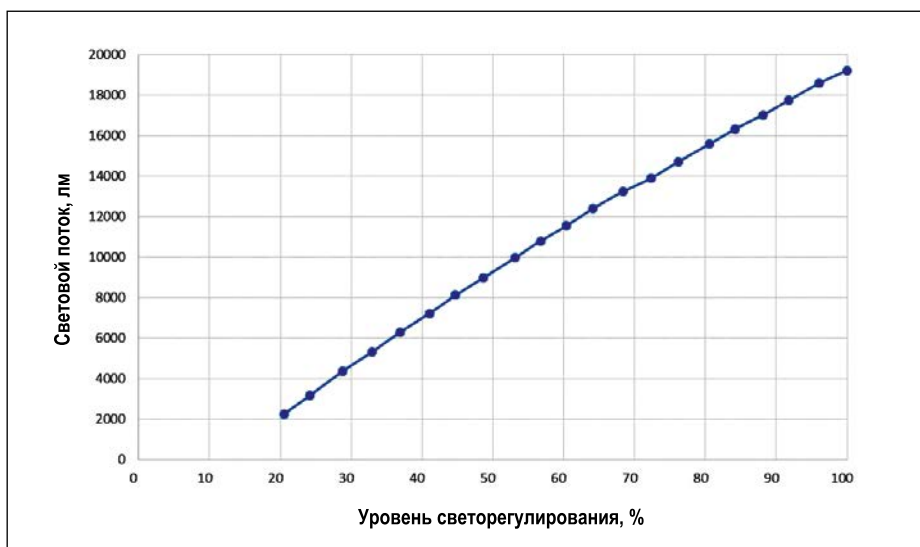


Рис. 3. Зависимость светового потока от уровня светорегулирования



Рис. 4. Полученное яркомером изображение экспериментального участка дороги

нове содержащихся в изображениях данных (записанных в пикселях уровней яркости) значения яркости

в соответствующих точках дороги. Так что эти изображения яркости содержат информацию об освеще-

нии и геометрии, позволяя очень просто и быстро решать любые связанные с измерениями задачи. Для проведения фотометрических измерений применительно к протяжённым участкам дороги можно захватить несколько изображений.

В [12, 13] для измерения яркости дорожного покрытия использовали разработанный компанией *TechnoTeam Company* фотояркомер *LMK*, а в [14] фотояркомер *LMK Mobile Advanced* использовали для измерения характеристик установки уличного освещения со светодиодами. В [15] *LMK Mobile Advanced* использовался для измерений характеристик дорожного освещения, проводившихся с целью изучения влияния передних фар автомобилей на яркостный контраст расположенных на дороге целей.

В данной работе также используется яркомер *LMK Mobile Advanced*, и полученные результаты сравниваются с результатами, полученными при поточечных измерениях при помощи традиционного яркомера.

### 3. Экспериментальный участок дороги

Экспериментальный участок дороги имеет длину 250 м и две полосы. Каждая из полос имеет ширину 3,5 м, а полная ширина дороги равна 7 м. Поверхность дороги относится к классу *R4* по отражению с равным  $0,08 \text{ кд}/(\text{м}^2 \cdot \text{лк})$  средним показателем яркости. Освещение одностороннее, с левой стороны дороги. Восемь опор освещения установлены с шагом 30 м. Высота осветительных опор может регулироваться в пределах от 8 до 12 м, а вылет – в пределах от 0,5 до 1,5 м. На каждой из опор установлены два светильника с натриевыми лампами высокого давления (НЛВД) и два светильника со светодиодами (СД). Световые потоки светильников можно регулировать до нужного уровня. Так что для различных классов по освещению на дороге можно обеспечить

Таблица 1

Результаты расчётов для разных классов дорог по освещению

M2			M3			M4			M5		
$L_{avg}$ , кд/м <sup>2</sup>	$U_o$	$U_l$	$L_{avg}$ , кд/м <sup>2</sup>	$U_o$	$U_l$	$L_{avg}$ , кд/м <sup>2</sup>	$U_o$	$U_l$	$L_{avg}$ , кд/м <sup>2</sup>	$U_o$	$U_l$
1,52	0,58	0,90	0,99	0,58	0,90	0,76	0,58	0,90	0,49	0,58	0,90

удовлетворение разных критериев качества. Геометрия экспериментального участка дороги и параметры осветительной установки приведены на рис. 1.

Пространственное распределение силы света измерялось в лаборатории энергоэффективности и светотехники энергетического института Стамбульского технического университета (ITU) при помощи установки для измерений в ближнем поле. Кривые силы света приведены на рис. 2.

Зависимость светового потока светильника с СД *ISBAK Lightra Power LXMLED150W* от уровня светорегулирования (управление напряжением 1–10 В) была измерена в лаборатории энергоэффективности и светотехники с использованием интегрирующей сферы *Labsphere Ulbricht Sphere*. Измеренный при номинальных условиях работы полный световой поток светильника с СД оказался равным 19240 лм при равном 152,2 Вт полном значении потребляемой мощности. Измеренные при разных уровнях светорегулирования значения светового потока приведены на рис. 3.

#### 4. Расчёты и полевые измерения

Расчёт характеристик освещения экспериментального участка дороги, геометрия которого приведена в разделе 2, осуществлялся при помощи программы *DIALux 4.11* с использованием различных значений светового потока, приведённых на рис. 3, что позволило реализовать классы дорог по освещению *M2*, *M3*, *M4* и *M5*. Так как рассматривалась новая установка, то спад светового потока во внимание не принимался. Для сравнения результатов расчётов и измерений коэффициент эксплуатации принимался равным 1,0. Результаты расчётов приведены в табл. 1.

Для проведения полевых исследований светильники с СД *6000 K LED* были снабжены системой управления напряжением 1–10 В и регулировались таким образом, чтобы создавать требуемый для обеспечения нужного класса по освещению световой поток. Соответствующие разным классам дорог по освещению уровни светорегулирования, световые потоки и потребляемые светильниками мощности приведены в табл. 2.

В соответствии с *EN13201–3* [1] и *CIE140* [2], на расчётное поле экс-

Рис. 5. Результаты расчётов и измерений, проведённых с использованием традиционного яркомера и фотояркомера, для всех 60 точек в случае дороги *M2*

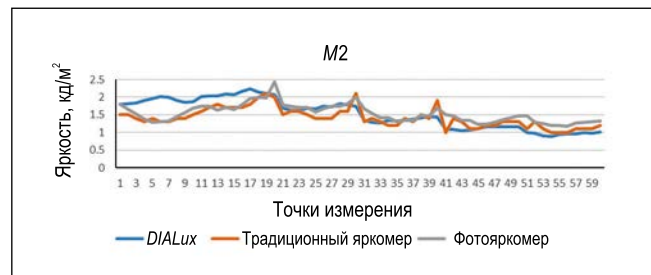


Рис. 6. Результаты расчётов и измерений, проведённых с использованием традиционного яркомера и фотояркомера, для всех 60 точек в случае дороги *M3*

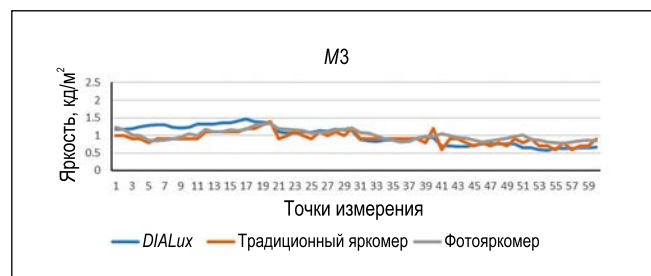


Рис. 7. Результаты расчётов и измерений, проведённых с использованием традиционного яркомера и фотояркомера, для всех 60 точек в случае дороги *M4*

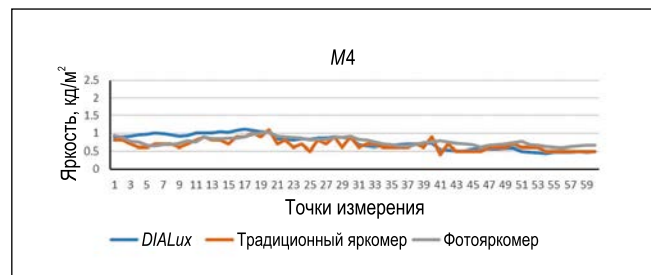
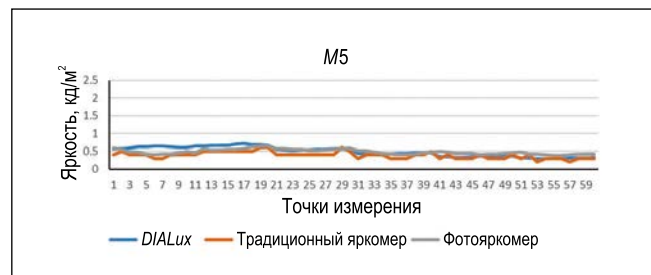


Рис. 8. Результаты расчётов и измерений, проведённых с использованием традиционного яркомера и фотояркомера, для всех 60 точек в случае дороги *M5*



периментального участка дороги были нанесены 60 точек. Световые потоки светильников с СД уменьшали до различных уровней, с тем чтобы обеспечить уровни яркости, соответствующие классам *M2*, *M3*, *M4* и *M5*. Полевые измерения производились с использованием как традиционных яркомеров, так и фотояркомеров применительно к четырём сценариям; в соответствии с *EN13201–3* [1], неподвижный наблюдатель находился при этом на расстоянии 60 м. На рис. 4 приведена фотография, сделанная фотояркомером, который использовался для проведения измерений.

Результаты расчётов и результаты измерений яркости, проведённых для всех 60 точек при помощи традиционного яркомера и фотояркомера, приведены на рис. 5–8 для классов дорог

по освещению *M2*, *M3*, *M4* и *M5* соответственно.

Значения средней яркости дорожного покрытия, полученные в результате расчётов и измерений при помощи традиционного яркомера и фотояркомера, приведены в табл. 3, а в табл. 4 приведены значения общей и продольной равномерности яркости для разных сценариев.

#### 5. Результаты и выводы

Поточечные измерения с использованием традиционных яркомеров трудоёмки и отнимают много времени. Изменяющиеся условия, такие как погода и интенсивность дорожного движения, ещё больше усложняют проведение всеобъемлющих измерений яркости дорожного покрытия. Кроме того, на дорогах с интенсив-

Уровни светорегулирования, значения световых потоков и энергопотребления светильников для разных сценариев

Класс дороги по освещению	Уровень светорегулирования, %	Световой поток, лм	Энергопотребление светильника, Вт
M2	56	10900	78,47
M3	36	7116	50,12
M4	27	5412	38,15
M5	17	3519	25,35

ным движением проведение измерений связано с опасностью для работников. А в случаях, когда требуется провести несколько измерений, рабочая нагрузка становится ещё больше. Для облегчения процесса измерения яркости, в последнее время используют фотояркоммеры.

Для подтверждения возможности использования фотояркоммеров для измерения яркости дорожного покрытия, для четырёх классов дорог по освещению характеристики освещения экспериментального участка дороги были рассчитаны при помощи программы *DIALux 4.11* и измерены при помощи как традиционного яркомера, так и фотояркоммера при соответствующем требованиям *EN13201-3* [1] расстоянии до неподвижного наблюдателя (60 м). Сравнение результатов расчётов и измерений показало, что:

- Несмотря на заметные на рис. 5–8 различия между результатами, соответствующими 60 точкам, значения средней яркости дорожного покрытия, полученные в результате расчётов и измерений при помощи фотояркоммера, оказались схожими. Результаты, полученные при помощи традиционного яркомера, оказались ниже как результатов расчётов, так и результатов, полученных при помощи фотояркоммера.

- Общая и продольная равномерности яркости, измеренные при помощи традиционного яркомера, ближе к результатам расчётов, а в случае фотояркоммера общая равномерность яркости оказалась выше, а продольная равномерность яркости – ниже по сравнению с результатами как расчётов, так и измерений, проведённых при помощи традиционного яркомера. Это, возможно, объясняет-

ся тем, что координаты указанных в *EN13201-3* 60-ти точек, которые использовались при проведении расчётов и измерений, не совпадали друг с другом. При измерениях, проводившихся при помощи традиционного яркомера, эти 60 точек были точно отмечены на поверхности дороги в соответствии с *EN13201-3*, тогда как в случае фотояркоммера эти точки определялись программным обеспечением фотояркоммера.

В работе показано, что фотояркоммеры позволяют получать приемлемые результаты измерения характеристик дорожного освещения, так что их применение позволяет экономить время, затрачиваемое на проведение исследований в области дорожного освещения и на его реализацию.

Авторы благодарят Министерство науки, промышленности и техники и компанию *Istanbul Transportation Communication and Security Technologies Inc.* за финансовую поддержку Стамбульского технического университета в рамках проекта *San-Tez 0660. STZ.2014* «Разработка стратегии контроля дорожного освещения в целях обеспечения энергосбережения и разработки сценариев светорегулирования в соответствии с требованиями к зрительной работоспособности».

Таблица 3

Значения средней яркости дорожного покрытия, полученные в результате расчётов и измерений при помощи традиционного яркомера и фотояркоммера

Класс дороги по освещению	Расчёт	Фотояркоммер	Традиционный яркоммер
M2	1,52	1,54	1,42
M3	0,99	1,01	0,92
M4	0,76	0,76	0,67
M5	0,49	0,49	0,39

Таблица 4

Общая и продольная равномерности яркости

	M2		M3		M4		M5	
	$U_o$	$U_l$	$U_o$	$U_l$	$U_o$	$U_l$	$U_o$	$U_l$
Расчёт	0,58	0,90	0,58	0,90	0,58	0,90	0,58	0,90
Традиционный яркоммер	0,71	0,93	0,65	1,00	0,59	0,86	0,52	1,00
Фотояркоммер	0,77	0,83	0,77	0,77	0,78	0,78	0,80	0,80

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. EN13201-3 Road lighting Part 3: Calculation of Performance. Publication 270-2003.

2. CIE140-2000 Road Lighting Calculations, International Commission on Illumination, 2000.

3. *Hiscocks, P.D.* Measuring Luminance with a Digital Camera. (<http://www.ee.ryerson.ca/~phiscock/astronomy/light-pollution/luminance-notes-2.pdf>)

4. *Wüllera, D., Gabeleb, H.* The usage of digital cameras as luminance me-

ters. // Proc. SPIE6502, Digital Photography III, 65020U (20 February 2007).

5. Cai., H., Li, L. Measuring Light and Geometry Data of Roadway Environments with a Camera // Journal of Transportation Technologies. — 2014. — No. 4. — P. 44–62.

6. Inanici, M.N. Evaluation of high dynamic range photography as a luminance data acquisition system // Lighting Res. Technol. — 2006. — Vol. 38, No. 2. — P. 123–136.

7. Manzano, E.R., Cabello, A.J. Visibility Measurements with CCD in Road Lighting // Ingineria Iluminatului (Lighting Engineering). — 2000. — Issue 4.

8. Meyer, J.E., Gibbons, R.B., Edwards, C.J. Development and Validation of a Luminance Camera. Final Report. Submitted: February 11, 2009.

9. Aubert, D., Boucher, V., Bremond, R., Charbonnier, P., Cord, A., Dumont, E., Foucher, P., Fournela, F., Greffier, F., Gruyer, D., Hautiere, N., Muzet, V., Nicolle, P. Tarel, J. — P. Digital imaging for assessing and improving highway visibility // Proc. of Transport Research Arena (TRA' 2014), Paris.

10. Boucher, V., Greffier, F., Fournela F. High speed acquisition system of photo-colorimetric images to record and model the human visual signal // Proc. SPIE7073, Applications of Digital Image Processing XXXI., 2008.

11. Techno Team, n.d., «LMK Mobile Advanced Specification.» 2012. ([http://www.technoteam.de/products/lmk\\_luminance\\_measuring\\_camera/lmk\\_mobile\\_advanced/index\\_eng.html](http://www.technoteam.de/products/lmk_luminance_measuring_camera/lmk_mobile_advanced/index_eng.html)).

12. Armas, J., Laugis, J. Road Safety by Improved Road Lighting: Road Lighting Measurements and Analysis, 2007. [http://egdk.ttu.ee/files/kuressaare2007/Kuressaare2007\\_83Armas-Laugis.pdf](http://egdk.ttu.ee/files/kuressaare2007/Kuressaare2007_83Armas-Laugis.pdf).

13. Armas, J., Laugis, J. Increase Pedestrian Safety by Critical Crossroads: Lighting Measurements and Analysis // The 12<sup>th</sup> European Conf. on Power Electronics and Applications, Aalborg, 2–5 September 2007, pp. 1–10.

14. Ylinen, A., Tahkamo, L., Puolaka M., L. Halonen, L. Road Lighting Quality, Energy Efficiency, and Mesopic Design LED Street Lighting Case Study // LEUKOS. — 2011. — Vol. 8, No. 1/ — P. 9–24.

15. Ekrias, A., Eloholma, M., Halonen, L. The Contribution of Vehicle Headlights to Visibility of Targets in Road Lighting Environments // Int. Review of Electrical Engineering (I.R.E.E.). — 2008. — Vol. 3, No. 1.



**Бурку Бьюккиначи (Burcu Buukkinaci),**

*M. Sc. (2008 г.). Окончила Технический университет Илдиш (2002 г.). Аспирант Стамбульского технического университета (Ph.D.).*

*Работает инженером-исследователем в компании ISBAK Inc. Область научных интересов: освещение дорог и автоматизация установок дорожного освещения*



**Сермин Онайгил (Sermin Onaygil),**

*Ph. D., проф. Научный сотрудник Энергетического института Стамбульского технического университета, руководитель*

*отделения по планированию и регулированию потребления энергии. Член-учредитель и председатель Турецкой национальной комиссии по освещению, представитель Турции в отделении 4 МКО*



**Ёндер Гюлер (Önder Güler),**

*Ph.D. (2001 г.). Доцент Энергетического института Стамбульского технического университета (с 2010 г.). Член Турецкой национальной*

*комиссии по освещению и Общества инженеров-электриков. Научные интересы – дорожное освещение, энергосбережение, управление потреблением энергии в промышленности и зданиях, энергия ветра, качество электроэнергии*



**Мустафа Бекер Юртсевен (Mustafa Berker Yurtseven),**

*M. Sc. (2006 г.). Окончил Стамбульский университет (2003 г.). Закачивает обучение в аспирантуре*

*(Ph.D.). Область научных интересов: фотометрические и радиометрические измерения СД, терморегулирование и статистический анализ*

## Зелёные светодиоды могут оказаться решением проблемы облегчения хронической боли

Исследования учёных Аризонского университета (США) показали, что страдающие от невропатических болей крысы, которые «купались» в свете зелёных СД, лучше переносили воздействие тепловых и тактильных раздражителей. При этом крыс помещали в прозрачные пластиковые контейнеры, на которых были закреплены зелёные СД-ленты, что позволяло крысам «купаться» в зелёном свете. Другая группа крыс освещалась обычным комнатным светом и снабжалась контактными линзами, пропускающими зелёный свет (см. фото). Так что обе эти группы крыс получали дозу зелёного света. Ещё одна группа крыс была снабжена контактными линзами, препятствовавшими попаданию зелёного света в их органы зрения. Эти крысы не получали зелёный свет.

Результаты, опубликованные в февральском номере журнала «Pain», показали, что крысы, которые «купались» в зелёном свете, были менее восприимчивы к воздействию тепловых и тактильных раздражителей, чем крысы, которые в нём не «купались».

Следует отметить, что не наблюдалось ни каких бы то ни было побочных эффектов этой терапии, ни ухудшения моторных и зрительных функций. Положительный эффект сохранялся в течение четырёх дней после последнего освещения крыс зелёным светом. Причём не было замечено никакой устойчивости к этой терапии.

Первые исследования показали, что зелёный свет усиливает циркуляцию эндогенных опиоидов, что может объяснять его обезболивающее действие. Будет ли это наблюдаться у людей пока что неизвестно, и ответ на этот вопрос требует проведения дополнительных исследований».

Поэтому в настоящее время исследователи проводят небольшие клинические испытания с использованием случайной выборки и двойного слепого метода, направленные на исследование влияния света зелёных СД на людей с фибромиалгией. Участники были снабжены зелёными СД-лентами, которые следовало 2–3 ч в сутки использовать в затемнённой комнате в течение 10 недель.

Пока что результаты испытаний выглядят обнадеживающими. Два участника даже отказались вернуть СД источники зелёного света, так как испытали значительное уменьшение боли, а один участник сообщил, что стал чувствовать себя гораздо лучше и попросил вернуть ему источник света.

[www.ledinside.com](http://www.ledinside.com)  
03.03.2017

# Тепловой расчёт специального фонаря с СД для исторических турецких мечетей<sup>1</sup>

Л.Е. АТИЛГАН<sup>1</sup>, М.Б. ЮРТСЕВЕН<sup>2</sup>

Стамбульский технический университет, Турция.

<sup>1</sup> erdeml@itu.edu.tr

<sup>2</sup> byurtseven@itu.edu.tr

## Аннотация

В этой работе светодиоды (СД) используются для создания предназначенного для внутреннего освещения исторических турецких мечетей современного фонаря, обеспечивающего значительную экономию энергии и одновременно не нарушающего исторический облик мечети. Т.к. одним из основных моментов при разработке светильников с СД является обеспечение теплоотвода, то подробно описан процесс реализации требуемого теплового режима разрабатываемого фонаря для мечетей. В рамках данной работы были измерены фотометрические параметры выбранных СД и проведено тепловое моделирование, после чего исходная конструкция фонаря была усовершенствована с учётом результатов моделирования, и был изготовлен и испытан прототип нового фонаря. Полученный в результате фонарь характеризуется хорошим тепловым режимом работы, что приводит к увеличению срока службы и надёжности. Эта работа является хорошим примером преобразования старинных светильников в светильники с СД, которые можно использовать для освещения исторических культовых сооружений.

**Ключевые слова:** светодиод, СД, тепловые расчёты, освещение.

## 1. Введение

Мечеть — это культовое здание, используемое мусульманами для богослужения. Турецкая республика получила огромное культурное наследство от турецко-исламской цивилизации, которая существовала на тех же землях, и главной частью этого наследства являются исторические мечети. Согласно светотехническому справочнику МКО, на освещение приходится примерно 28 % от общего количества

энергии, расходуемой в культовых зданиях [1]. Статистические данные, которые были опубликованы Турецким управлением по делам религий, говорят о том, что в 2014 г. в Турции было 86101 мечетей, и каждый год их количество увеличивается на 1,1 %, так что можно ожидать, что к концу 2016 г. количество мечетей возрастёт до 88000 [2]. Согласно другому обзору, опубликованному этим управлением в 2004 г., средние месячные расходы одной мечети на электроэнергию составляли 43 турецкие лиры, что примерно соответствует равному 390 кВт·ч месячному потреблению электроэнергии [3, 4]. Для 88000 мечетей это означает 34,3 ГВт·ч в месяц, что превышает месячную выработку энергии расположенной на реке Кизилирмак, Турция, мощной гидроэлектростанцией Хирфанли [5].

Энергопотребление — не единственная проблема, присущая современным осветительным установкам исторических турецких мечетей. Лампы накаливания (ЛН), которые используются для освещения большинства исторических мечетей, сильно осложняют проведение технического обслуживания из-за своего малого срока службы. Как кандидат в члены Евросоюза, Турция пострадала от постепенного введения Евросоюзом запрета ЛН, означающего, что в последующие годы ЛН исчезнут с рынка. Обследование исторических мечетей показало, что большинство перегоревших ЛН были оставлены в фонарях, или же ЛН были выключены в целях экономии электроэнергии. Некоторые мечети заменили перегоревшие ЛН на компактные люминесцентные лампы (КЛЛ), которые, однако, по большей части эстетически несовместимы с фонарями из-за того, что стеклянные колпаки фонарей слишком малы для КЛЛ, так что переход на КЛЛ делает осветительные установки эстетически непривлекательными. Кроме того, т.к.

приобретающие эти лампы лица не имеют необходимых технических знаний, то цветовые температуры ( $T_u$ ) выбранных ими ламп не соответствуют  $T_u$  ЛН. Эти проблемы приводят как к пониженным уровням освещённости и к её неравномерности, так и к неэстетичности осветительных установок. Хотя некоторые наиболее посещаемые туристами мечети и перешли с ЛН на светодиодные лампы прямой замены, количество таких мечетей слишком мало, что связано с, главным образом, с высокой стоимостью СД ламп. Кроме того, как и в случае КЛЛ, присутствующие на турецком рынке относительно дешёвые СД лампы прямой замены обычно имеют высокую  $T_u$ , и цвет света этих предпочитаемых относительно дешёвых ламп низкого качества не соответствует духу мечетей.

В данной работе СД используются для создания современного фонаря, который позволил бы решить проблему внутреннего освещения исторических мечетей. Однако при использовании мощных СД большая часть потребляемой энергии преобразуется в тепло, которое следует непрерывно отводить от СД. Рабочая температура СД служит наиболее явным индикатором его надёжности и долговечности. Длительная работа СД при высокой температуре приводит к ускорению спада светового потока и уменьшению срока службы СД [6]. Кроме того, имеет место и уменьшение световой отдачи кристаллов СД, к которому добавляются тепловые потери и потери в оптической системе и устройстве управления. С учётом вышесказанного, очень важное значение приобретает тепловой расчёт светильников с СД. Подобный расчёт был проведён применительно к предлагаемому новому светильнику для мечетей, продемонстрировав, как при помощи тщательного конструирования, точных измерений и хорошего моделирования можно преобразовать старинные светильники в энергоэффективные светильники с СД.

## 2. Внутреннее освещение исторических турецких мечетей

Установка для внутреннего освещения мечети обеспечивает возможность проведения служб, создаёт зрительный комфорт и подчёркивает архитектурные особенности здания. Для

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

размещения искусственных источников света используются канделябры или свисающие с потолка концентрические железные конструкции [7]. Обычно используются ЛН мощностью 60 или 40 Вт с  $T_u = 2700$  К, которые помещают в стеклянные фонари. В старину эти фонари заправляли оливковым маслом, и в них горели фитили, непосредственно освещающие купол мечети. Однако в настоящее время из-за формы фонарей и потребности в электропроводке большая часть света направляется на пол, а не на купол мечети, так как патрон лампы экранирует большую часть излучаемого на купол света. Это приводит к возникновению существенной проблемы, так как на купол, который должен рассеивать и отражать свет, падает недостаточное количество света. На рис. 1 показаны фонари, используемые для внутреннего освещения построенной архитектором Синаной всемирно известной мечети Шемси Ахмед-паши и старая, впоследствии модернизированная при помощи классических СД лампы прямой замены осветительная установка знаменитого Собора Святой Софии, который на протяжении своей истории был и церковью, и мечетью, и музеем.



Рис. 1. Фонари, используемые для внутреннего освещения мечети Шемси Ахмед-паши (а) и музея Святой Софии (б)

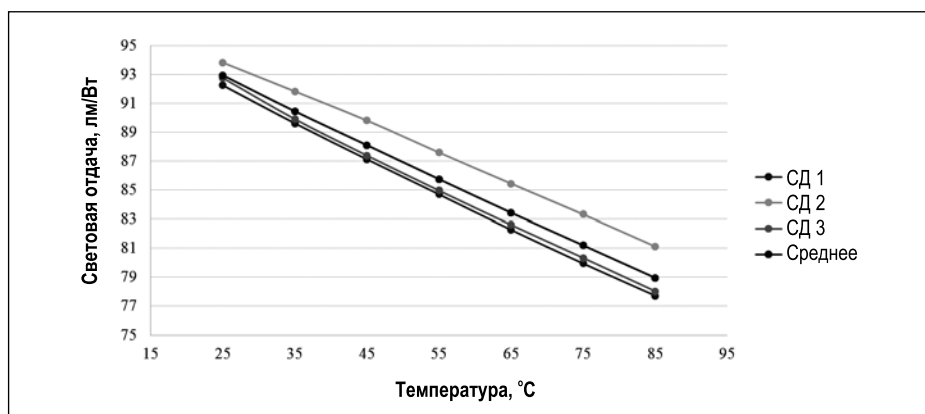


Рис. 2. Зависимость светового потока от температуры

### 3. Фотометрический подход и выбор СД

Фотометрический подход к созданию нового фонаря с СД заключается в том, чтобы сохранить все достоинства существующего фонаря и старинной осветительной установки. Эти установки направляют большую часть света на купол мечети, тогда как современные установки большую часть света направляют на пол мечети. Новая конструкция должна светить во всех направлениях.

Так как разрабатываемый фонарь предназначен для исторических культурных сооружений и может оказаться востребованным во всех освещаемых фонарями исторических зданиях, то важное значение имеют  $T_u$ , индекс цветопередачи и спектральное распределение излучения СД. Исторические турецкие мечети украшены старинными коврами, орнаментами, цветными изразцами и многими другими требующими бережного обращения предметами, цвета которых следует демонстрировать и сохранять. Для

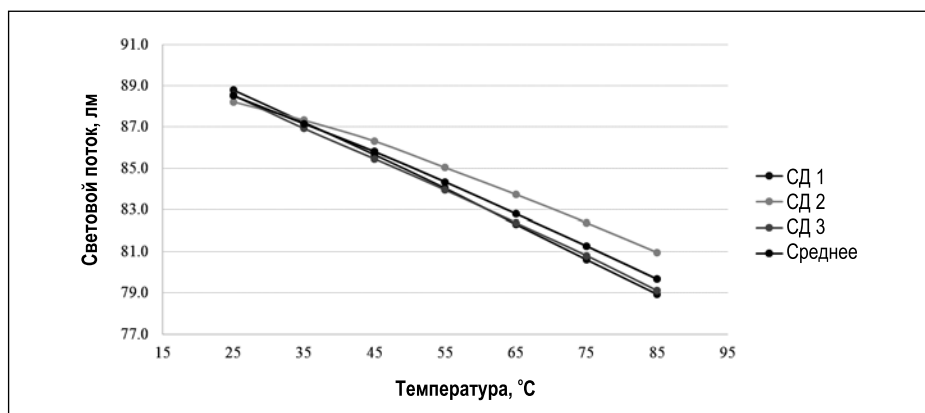


Рис. 3. Зависимость световой отдачи от температуры

внутреннего освещения мечети характерны тёплые цвета. Так что выбранные СД должны иметь высокие значения индекса цветопередачи и не генерировать инфракрасное и ультрафиолетовое излучение. В табл. 1 приведены параметры выбранных СД [8].

Каталожные значения параметров выбранных СД приведены для тока 350 мА и температуры  $p-n$ -перехода 25 °C. Однако на практике невозможно поддерживать равную 25 °C температуру  $p-n$ -перехода. Для соответ-

ствующих реальным рабочим температурам значений светового потока следует оценить значения срока службы, определённые в соответствии с [9, 10]. Полученные в соответствии с [9, 10] параметры выбранных СД приведены в табл. 2 для тока 350 мА и равных 85 и 105 °C значений температуры  $p-n$ -перехода [11].

При сравнении прогнозируемых значений срока службы при 85 и 105 °C ясно видно, что для обеспечения не менее чем 80 % светового



Рис. 4. Зависимость КПД от температуры

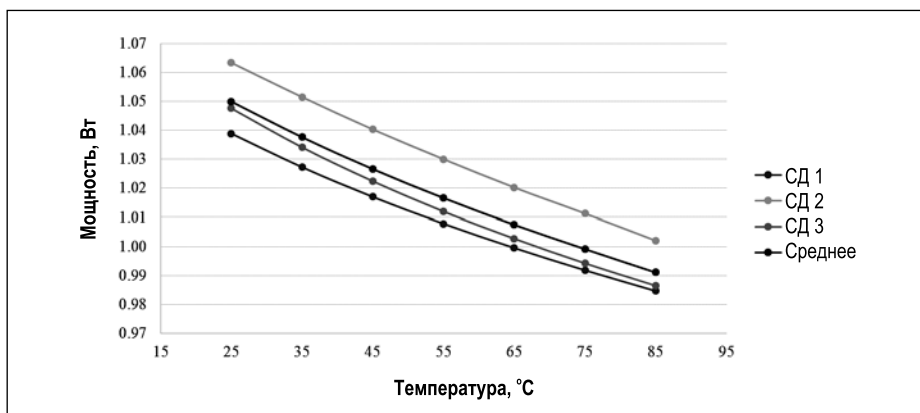


Рис. 5. Зависимость мощности от температуры

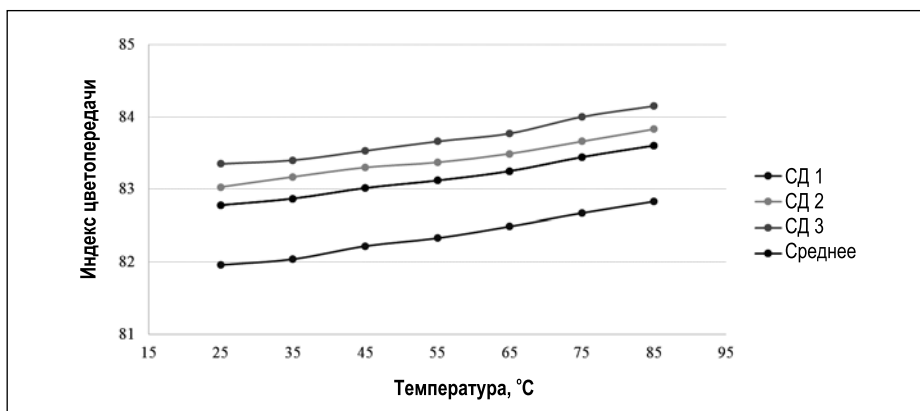


Рис. 6. Зависимость индекса цветопередачи от температуры

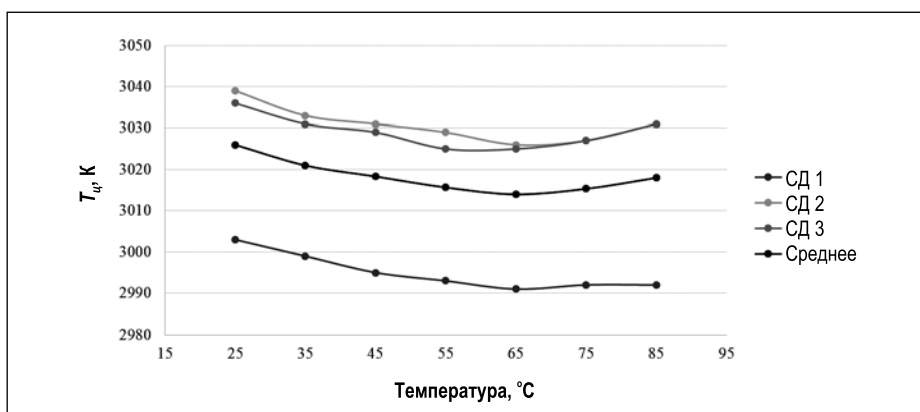


Рис. 7. Зависимость  $T_c$  от температуры

потока на протяжении всего равного 65000 ч срока службы в приборах с выбранными СД крайне желательно поддерживать температуру корпуса на уровне, не превышающем 85 °С. Увеличение температуры корпуса на 20 °С приведёт к потере примерно половины прогнозируемого срока службы этих СД. Поэтому при тепловых расчётах фонаря для мечетей максимальное допустимое значение температуры корпуса было выбрано равным 85 °С.

#### 4. Измерения

Влияние температуры на световые потоки, световые отдачи, КПД, напряжения, мощности,  $T_c$ , индексы цветопередачи и спектральные распределения энергии излучения выбранных СД определялось с использованием термостатированного фотометрического шара диаметром 1 м. 3 образца СД, независимо друг от друга смонтированные на круглых печатных платах на металлическом основании (далее – печатная плата), помещались на термоэлектрическую пластину. При равном 350 мА токе СД температуру на нижней поверхности печатной платы повышали от 25 до 85 °С с шагом 10 °С, и при этом в фотометрическом шаре в конфигурации 2л при помощи спектрорадиометра измеряли значения параметров. Полученные результаты приведены в табл. 3.

Из результатов измерений следует, что, как и ожидалось, при увеличении температуры световой поток, световая отдача, КПД и мощность СД уменьшаются. При изменении температуры от 25 до 85 °С световой поток уменьшается в среднем на 15 %.  $T_c$  СД при увеличении температуры остаётся практически постоянной, тогда как индексы цветопередачи СД при этом увеличиваются, что для освещения исторических культовых сооружений является хорошим обстоятельством. Результаты измерений представлены в виде графиков на рис. 2–7.

Так как изменения светового потока и световой отдачи имеют для данного исследования первостепенное значение, то для облегчения рассмотрения влияния температуры на эти два важных параметра были выведены формулы, линейно аппроксимирующие зависимости светового потока  $\Phi$  и световой отдачи  $\eta$  от температуры  $T$ :



$$\Phi = -0,2323 \cdot T + 98,61, \quad (1)$$

$$\eta = -0,1476 \cdot T + 92,34. \quad (2)$$

Полученные значения КПД использовались для определения тепловой энергии, выделяемой СД, значения которой использовались при тепловом моделировании, а формулы, полученные посредством линейной аппроксимации, использовались для определения светового потока и световой отдачи конечного изделия.

## 5. Конструкция радиатора

Основным моментом проектирования радиатора является выбор наиболее подходящей формы, позволяющей обеспечить необходимое охлаждение и в то же время допускающей помещение радиатора в стеклянный колпак фонаря для освещения мечетей. Кроме того, радиатор должен быть лёгким, с тем чтобы не повредить старинные конструкции и позволять фонарю освещать всё пространство. Так что три основные ограничения, накладываемые на конструкцию радиатора, связаны с размерами, весом и светораспределением фонаря. Размеры стеклянного колпака накладывают несколько ограничений на размеры и форму нового изделия: его размеры должны быть достаточно малы, чтобы он мог поместиться в колпак, а его форма должна соответствовать форме колпака. Очень важное значение имело и второе ограничение, согласно которому вес нового изделия следовало сохранить на уровне веса существующего фонаря, так как дополнительный вес приводит к увеличению нагрузки на держатель фонаря, что в конце концов может вызвать разрушение держателя и купола, тем самым нанося вред не только самому историческому зданию, но и посетителям мечети. Третье ограничение связано с пространственным распределением излучаемого фонарём света. Местоположения СД и конструкция светильника в целом выбирались с учётом этого третьего ограничения.

Исследования показали, что расположив по одному СД на каждой из 4 боковых поверхностей радиатора и по два СД на верхней и нижней поверхностях радиатора можно обеспечить как достаточный световой поток, так и требуемое распределение силы све-

Рис. 8. Форма и размеры разработанного радиатора

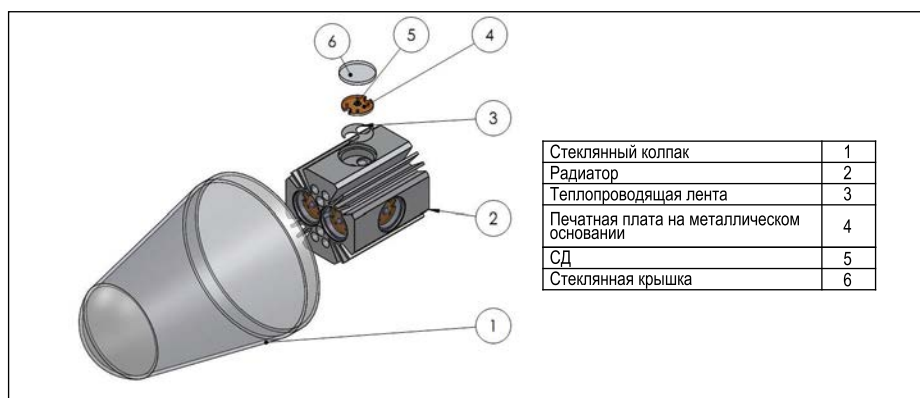
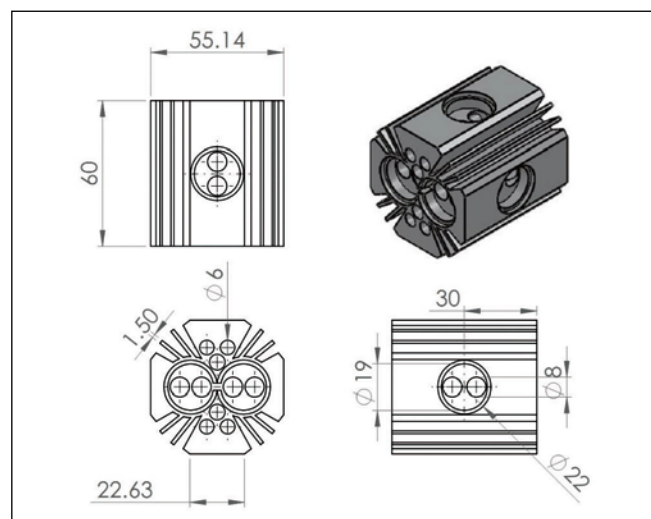


Рис. 9. Сконструированный осветительный блок в разобранном виде

Таблица 1

### Параметры выбранных СД

Параметр	Значение
Световой поток, лм	93,9
Максимальный рабочий ток, мА	1000
Тепловое сопротивление, К/Вт	6
Максимальная температура <i>p-n</i> -перехода, °С	150
Угол излучения, град.	120
$T_c$ , К	2600–3700
Индекс цветопередачи	80

Таблица 2

### Результаты проведённых по IES LM80–2008 [9] испытаний выбранных СД

$T_C, ^\circ\text{C}$	$T_A, ^\circ\text{C}$	$I, \text{mA}$	Средний коэффициент сохранения светового потока через 6000 ч, %	Срок службы согласно ТМ-21–11 [10], ч
85	85	350	99,8	$L_{90}(10000) = 32800$ $L_{80}(10000) > 60500$ $L_{70}(10000) > 60500$
105	105	350	95,7	$L_{90}(6000) = 15600$ $L_{80}(6000) = 34100$ $L_{70}(6000) > 36300$

Изменение значений параметров СД при изменении температуры

T, °C	Световой поток, лм				Световая отдача, лм/Вт			
	СД 1	СД 2	СД 3	Среднее	СД 1	СД 2	СД 3	Среднее
25	92,24	93,81	92,75	92,93	88,79	88,22	88,54	88,52
35	89,61	91,82	89,90	90,44	87,23	87,33	86,93	87,16
45	87,12	89,80	87,38	88,10	85,66	86,32	85,46	85,81
55	84,70	87,59	84,96	85,75	84,04	85,04	83,96	84,34
65	82,27	85,44	82,61	83,44	82,31	83,75	82,38	82,81
75	79,95	83,32	80,34	81,20	80,61	82,39	80,81	81,27
85	77,73	81,12	78,04	78,96	78,94	80,96	79,11	79,67
T, °C	КПД, %				Мощность, Вт			
	СД 1	СД 2	СД 3	Среднее	СД 1	СД 2	СД 3	Среднее
25	28,25	28,33	28,55	28,38	1,04	1,06	1,05	1,05
35	27,85	28,22	28,18	28,09	1,03	1,05	1,03	1,04
45	27,44	28,00	27,84	27,76	1,02	1,04	1,02	1,03
55	27,05	27,67	27,52	27,41	1,01	1,03	1,01	1,02
65	26,62	27,39	27,04	27,02	1,00	1,02	1,00	1,01
75	26,19	27,04	26,64	26,62	0,99	1,01	0,99	1,00
85	25,71	26,66	26,08	26,15	0,98	1,00	0,99	0,99
T, °C	T <sub>ц</sub> , К				Индекс цветопередачи			
	СД 1	СД 2	СД 3	Среднее	СД 1	СД 2	СД 3	Среднее
25	3003	3039	3036	3026	81,96	83,03	83,35	82,78
35	2999	3033	3031	3021	82,04	83,17	83,40	82,87
45	2995	3031	3029	3018	82,22	83,30	83,53	83,02
55	2993	3029	3025	3016	82,33	83,37	83,66	83,12
65	2991	3026	3025	3014	82,49	83,49	83,77	83,25
75	2992	3027	3027	3015	82,67	83,66	84,00	83,44
85	2992	3031	3031	3018	82,83	83,83	84,15	83,60

та. Основываясь на количестве и конфигурации СД и учитывая ограничения, накладываемые как формой фонаря, так и производственными соображениями, при помощи программы *Solidworks* был сконструирован специальный радиатор. Форма и размеры сконструированного радиатора приведены на рис. 8, а на рис. 9 сконструированный осветительный блок изображён в разобранном виде, где отдельно показаны радиатор, теплопроводящая клейкая лента, соединяющая основание печатной платы, на которой смонтированы СД, с радиатором, СД и, наконец, сте-

клянная крышка, защищающая СД от пыли, грязи и внешних ударных воздействий.

### 5.1. Тепловой расчёт

Для оценки тепловых характеристик разрабатываемого осветительного блока использовалась программа гидродинамического моделирования *Solidworks Flow Simulation*. Для получения точных результатов в программу были загружены характеристики отдельных элементов осветительного блока (табл. 4). Характеристики материалов, которые предполагалось

использовать при изготовлении разрабатываемого блока, были взяты из каталогов.

Про моделировании использовались измеренные ранее значения КПД  $\eta_i$  (табл. 3). Эти значения отражают мощность, преобразованную в свет, и позволяют определить количество рассеиваемой в виде тепла мощности  $P_{th}$ :

$$P_{th} = P_e \cdot (1 - \eta_i), \quad (3)$$

где  $P_e$  – электрическая мощность.

С учётом результатов измерений и желательного значения температуры 85 °C было выбрано равное

Характеристики материалов, использовавшиеся при моделировании

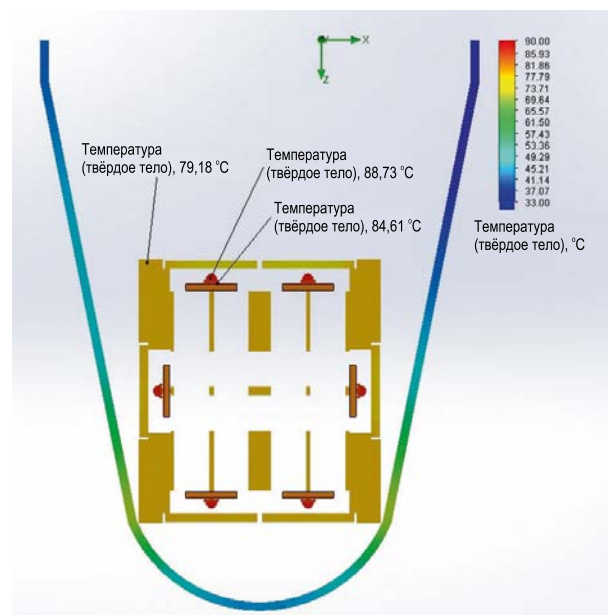
Материал	Толщина, мм	Теплопроводность, Вт/(м·К)
СД	0,65	11,62
Припой	0,075	58
Медь	0,07	390
Диэлектрик	0,10	2,2
Алюминий	1,43	170
Клейкая лента	0,13	0,17
Радиатор (алюминий)	58	218

0,74 Вт значение выделяемой СД тепловой энергии. Расчётная область была выбрана таким образом, чтобы обеспечить пространство, достаточное для обтекания осветительного блока воздухом. Лабораторные условия, в которых предполагалось проводить испытания осветительного блока, обеспечивали равную 21 °С среднюю температуру окружающей среды, так что моделирование проводилось применительно к этому значению температуры окружающей среды. Для проведения моделирования была сформирована сетка, состоящая из 1499402 ячеек, в состав которых входили жидкостные, твёрдотельные и парциальные ячейки (*fluid, solid and partial cells*). Моделирование включало в себя 229 итераций. Полученное в результате моделирования распределение температуры показано применительно к поперечному сечению фонаря на рис. 10, на котором видно, что максимальная температура смоделированного как единый элемент СД достигает 88,73 °С. В точке пайки температура равна 84,61 °С, а наверху радиатора она равна 79,18 °С.

Результаты моделирования говорят о том, что в рассмотренном варианте температура оказывается несколько большей желательной (85 °С). Максимальная допустимая температура *p-n*-переходов выбранных СД составляет 150 °С. Приведённые в табл. 2 результаты длительных испытаний, проводившихся при равных 85 и 105 °С температурах корпуса СД, говорят о том, что при температурах, лежащих в интервале 85–105 °С, для соответствующих 10000 ч работы коэффициентов сохранения светового потока прогнозируемые сроки службы имеют вполне приемлемые значения. Однако расчёты по формулам (1) и (2), полученным на основе результатов измерений, проводившихся в фотометрическом шаре и описывающих связь между световым потоком и световой отдачей и температурой корпуса СД, температура 85 °С приводит к уменьшению светового потока и световой отдачи на, соответственно, 15 и 10 % относительно их значений при 25 °С.

Для уменьшения спада светового потока и световой отдачи были рассмотрены способы отвода от СД большего количества тепла. В качестве радикального решения была удалена нижняя часть колпака (рис. 11), что привело к образованию круглого от-

Рис. 10. Результаты теплового моделирования разработанного фонаря



верстия непосредственно под радиатором и обеспечило значительное улучшение движения воздуха.

Для проверки действенности удаления нижней части колпака, было проведено новое моделирование, которое включало в себя 229 итераций при сетке, состоящей из 1455288 ячеек. Распределения температуры в случаях исходного и обрезанного колпаков приведены на рис. 12 и 13. Для объективного сопоставления результатов цветовой шкала оставалась неизменной. Полученные результаты показали, что в результате изменения конструкции фонаря, обеспечившей значительное увеличение эффективности воздушного охлаждения вследствие облегчения движения воздуха, максимальная температура СД уменьшилась от 88,73 до 68,96 °С. Протекание воздуха в обеих конструкциях показано на рис. 14 и 15. Свето-

вой поток и световая отдача одного СД, рассчитанные по формулам (1) и (2) с использованием нового значения температуры корпуса, составили, соответственно, 82,59 лм и 82,16 лм/Вт. Помимо увеличения светово-



Рис. 11. Фонарь новой конструкции с отрезанным основанием

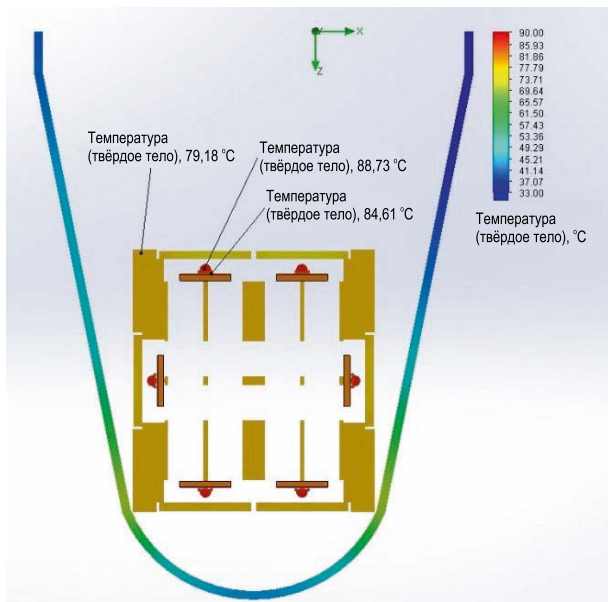


Рис. 12. Распределение температуры, исходный вариант

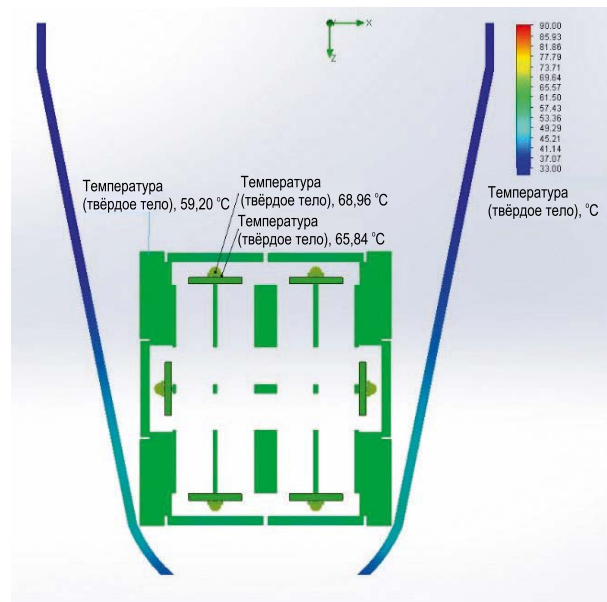


Рис. 13. Распределение температуры, окончательный вариант

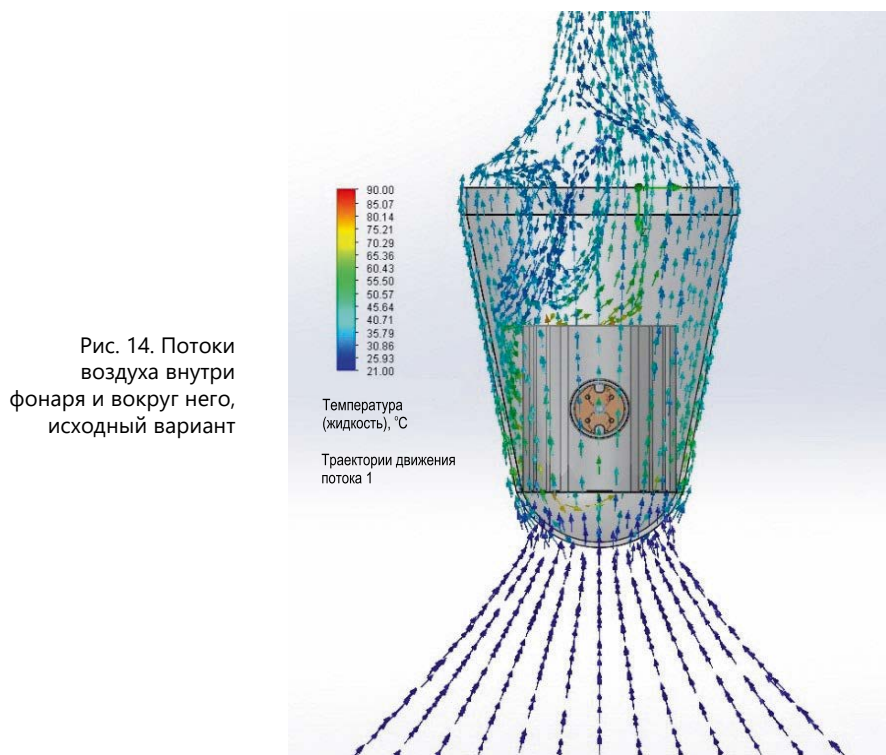


Рис. 14. Потoki воздуха внутри фонаря и вокруг него, исходный вариант

го потока, много меньшая чем 85 °C температура корпуса гарантированно обеспечивала прогнозируемые сроки службы, приведённые в [10] для 85 °C ( $L_{90} = 32800$  ч,  $L_{80}$  и  $L_{70} = 60500$  ч).

## 5.2. Измерения и подтверждение правильности модели

Так как результаты моделирования подтвердили, что новая конструкция эффективно обеспечивала желательное значение температуры, то был изготовлен прототип фонаря, позволя-

ющий получить реальные результаты и подтвердить правильность модели. Изготовленный прототип фонаря показан на рис. 16.

Для оценки результатов моделирования и подтверждения эффективности изготовленного прототипа были проведены измерения температуры в точках пайки самых верхних СД. Проведение измерений было осложнено тем, что СД были прикрыты стеклянными крышками для защиты от проникающих внутрь фонаря пыли и грязи, которые не позволяли вво-

дуть внутрь термозонды. Поэтому измерения проводились без стеклянных крышек, и для надёжного подтверждения правильности модели моделирование было проведено и для фонаря со снятыми стеклянными крышками. Измерения проводились на проработавшем в течение 6 ч фонаре в точках пайки смонтированных на плате СД. Для расчёта температуры  $p-n$ -перехода можно использовать ближайшую доступную для проведения измерений точку, которой является точка пайки [12]. Измеренное в точке пайки значение температуры  $T_{SP}$  позволяет определить температуру  $p-n$ -перехода  $T_j$ :

$$T_j = T_{SP} + \theta_{ТН} \cdot P_e, \quad (4)$$

где  $\theta_{ТН}$  – тепловое сопротивление СД,  $P_e$  – электрическая мощность СД.

Измерения, которые проводились при равной 21,7 °C температуре окружающей среды, показали, что температура в точке пайки стабилизировалась на уровне 66,3 °C. Моделирование было повторено применительно к этой температуре окружающей среды и включало в себя 225 итераций при сетке, состоящей из 1422605 ячеек. Полученное распределение температуры приведено на рис. 17. В результате моделирования были получены значения температуры корпуса и в точке пайки, равные, соответственно, 67,35 и 64,44 °C. Так что абсолютная разность между измеренными и расчётными значениями температуры в точке пайки составила 1,86 °C, а их относительная разность оказалась

равной 2,8 %, что подтверждает правильность модели с погрешностью, не превышающей 5 %.

Так как правильность модели была подтверждена с малой погрешностью, то можно утверждать, что температура СД в предлагаемом фонаре примерно равна 69 °С, как это следует из результатов второго моделирования. Подставив это значение в формулы (1) и (2), получаем равные, соответственно, 82,6 лм и 82,1 лм/Вт значения светового потока и световой отдачи. У наиболее часто применяемых в осветительных установках турецких исторических мечетей ЛН мощностью 40 и 60 Вт световые отдачи составляют 10–12 лм/Вт. Так что предлагаемая конструкция фонаря позволяет увеличить световую отдачу используемого источника света почти в 8 раз по сравнению с ЛН.

## 6. Заключение

Основной причиной проведения этого исследования послужило отсутствие энергоэффективных и долговечных источников света в большинстве турецких исторических мечетей, а также неэстетическое и неравномерное освещение в части освещённости и цветовых характеристик. Хотя некоторые мечети пытаются применять энергоэффективные альтернативы ЛН, такие как КЛЛ или СД лампы прямой замены, эти лампы не годятся для использования в изготовленных на заказ осветительных установках из-за формы фонарей, создаваемого лампами пространственного распределения силы света и своеобразия исторических интерьеров.

В данной работе был сконструирован осветительный блок, который может быть совмещён с существующими осветительными установками турецких исторических мечетей. Одним из основных моментов конструирования осветительных приборов с СД является необходимость обеспечения хорошего теплового режима работы СД. Без должного обеспечения теплового режима характеристики конечного изделия могут оказаться чрезвычайно неудовлетворительными. В данной работе были проведены тепловые расчёты двух различных вариантов, позволившие сконструировать требуемый фонарь с СД. В исходном варианте разработанный радиатор размещался непосредственно

Рис. 15. Потoki воздуха внутри фонаря и вокруг него, окончательный вариант

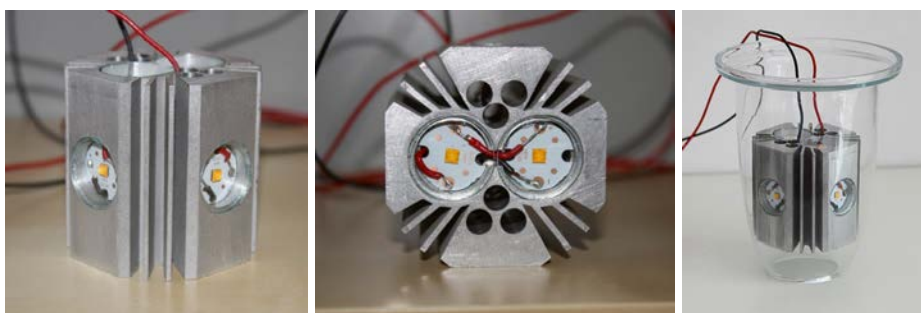
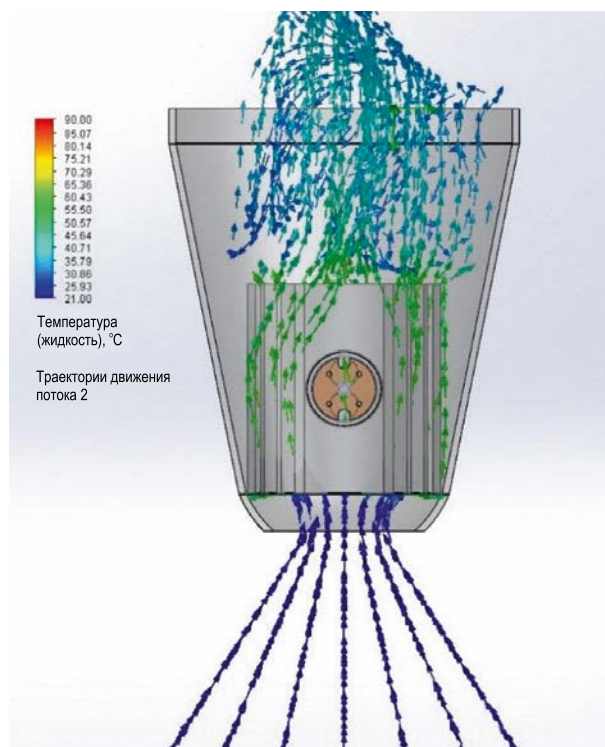
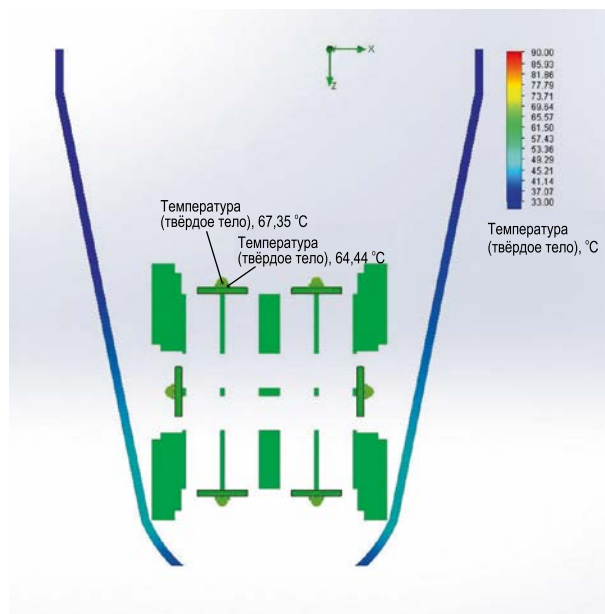


Рис. 16. Прототип нового фонаря с СД для мечетей

Рис. 17. Распределение температуры в новом фонаре при отсутствии стеклянных крышек



в существующем стеклянном колпаке. Окончательный вариант позволяет уменьшить температуру корпуса

СД благодаря проделыванию круглого отверстия в нижней части стеклянного колпака, что обеспечивает более

эффективную естественную вентиляцию и явное улучшение охлаждения СД. Тепловое моделирование фонаря началось с измерения фотометрических характеристик разных СД, после чего была сформирована модель и были проведены расчёты. Полученные результаты были заложены в основу прототипа фонаря, характеристики которого были измерены для подтверждения правильности модели. В окончательном варианте фонаря холодный воздух мог свободно проникать внутрь через отверстие в дне колпака, обтекать рёбра отражателя и обеспечивать гораздо более эффективное охлаждение СД. В исходном варианте расчётное установившееся значение температуры корпуса радиатора оказалось равным 88,73 °С, тогда как во втором варианте, характеризующемся усилением обдува благодаря наличию отверстия в дне колпака, оно уменьшилось до 68,96 °С. Подставив полученные посредством моделирования значения температуры в выражения (1) и (2), получили равные, соответственно, 82,6 лм и 82,1 лм/Вт значения светового потока и световой отдачи отдельного СД, установленного в фонаре. Помимо увеличения светового потока, много меньшая чем 85 °С температура корпуса гарантированно обеспечивает прогнозируемые сроки службы, приведённые в [10] для 85 °С ( $L90 = 32800$  ч,  $L80$  и  $L70 = 60500$  ч).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. The Lighting Handbook: Reference and Application, 10<sup>th</sup> ed. Illuminating Engineering Society, 2011.
2. Turkish Directorate of Religious Affairs, Statistical Tables 2014. Retrieved 12 May 2016 from <http://www.diyenet.gov.tr/tr/kategori/istatistikler/136>.
3. Radikal Newspaper, «Türkiye’de 79 bin 96 cami ayda 42 milyon YTL’lik elektrik tüketiyor» (79096 mosques consume 42 million new Turkish Liras worth of electricity per month). 2008, Turkey. Retrieved 12 May 2016 from <http://www.radikal.com.tr/ekonomi/turkiyede-79-bin-96-cami-ayda-42-milyon-ytl-lik-elektrik-tuketiyor-886600/>.
4. Turkish Electricity Distribution Corporation, Electric Tariffs, 2004. Retrieved 12 May 2016 from [http://www.tedas.gov.tr/#!-tedas\\_tarifeler](http://www.tedas.gov.tr/#!-tedas_tarifeler).
5. Turkish General Directorate of State Hydraulic Works. Hirfanlı Dam. Retrieved 12 May 2016 from <http://www2.dsi.gov.tr/baraj/detay.cfm?BarajID=9>.

6. Yurtseven, M.B., Mete, S., Onaygil, S. The effects of temperature and driving current on the key parameters of commercially available, high-power, white LEDs // Lighting Research and Technology. – 2015. – No. 10. – P. 1–23.

7. Ünver, R, Enarun, D. A Comparative Investigation of Lighting of Mosques and Churches in Istanbul // CIE24<sup>th</sup> Session Proc., Warsaw, Poland, 24–30 June 1999. – P. 288–292.

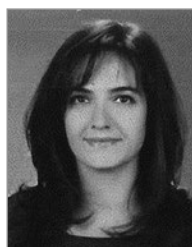
8. Cree XLamp XP-E High-Efficiency White LEDs. Retrieved 12 May 2016 from <http://www.cree.com/LED-Components-and-Modules/Products/XLamp/Discrete-Directional/XLamp-XPE-HEW>.

9. IES LM 80–08 Approved Method: Measuring Lumen Maintenance of LED Light Sources. New York (USA): Illuminating Engineering Society (IES), 2008.

10. IES TM-21–11 Projecting Long Term Lumen Maintenance of LED Light Sources. New York (USA): Illuminating Engineering Society (IES), 2011.

11. Cree LED Components IES LM-80–2008 Testing Results. Retrieved 12 May 2016 from [http://www.cree.com/~media/Files/Cree/LED%20Components%20and%20Modules/XLamp/XLamp%20Application%20Notes/LM80\\_Results.pdf](http://www.cree.com/~media/Files/Cree/LED%20Components%20and%20Modules/XLamp/XLamp%20Application%20Notes/LM80_Results.pdf).

12. Cree. Optimizing PCB Thermal Performance for Cree XLamp LEDs. Retrieved 12 May 2016 from [http://www.cree.com/~media/Files/Cree/LED%20Components%20and%20Modules/XLamp/XLamp%20Application%20Notes/XLamp\\_PCB\\_Thermal.pdf](http://www.cree.com/~media/Files/Cree/LED%20Components%20and%20Modules/XLamp/XLamp%20Application%20Notes/XLamp_PCB_Thermal.pdf).



**Лейла Ердем Атилган (Lale Erdem Atilgan), Ph.D.**

(2014 г.). Преподаёт светотехнику на электротехническом факультете Стамбульского технического университета. Об-

ласть научных интересов: внутреннее освещение, светодиоды, блёккость и энергоэффективность



**Мустафа Бекер Юртсевен (Mustafa Berker Yurtseven), M. Sc.**

(2006 г.). Окончил Стамбульский университет (2003 г.). Заканчивает обучение в аспирантуре (Ph.D.). Область

научных интересов: фотометрические и радиометрические измерения СД, терморегулирование и статистический анализ

## В кемеровской исправительной колонии открыли производство светильников со светодиодами

В кемеровской исправительной колонии № 5 (ИК-5) общего режима открыли участок по производству светильников со светодиодами (ССД). ССД различного назначения, изготовленные заключёнными, будут использоваться не только для нужд системы исполнения наказаний.



На участке работают пять человек. Они выполняют заказ на изготовление 1117 ССД для СИЗО № 1 в Кемерове. Там решили полностью заменить систему освещения, которая потребляет слишком много энергии и часто выходит из строя. Совсем другое дело – долговечные и экономичные ССД местного производства, собранные из отечественных деталей. Дешёво и надёжно.

Об открытии нового цеха в колонии речь шла давно. Но для начала нужно было найти поставщиков качественных комплектующих. Наконец с этим определились, и главный инженер ИК-5 прошёл подготовку на аналогичном заводе в Барнауле. Вернувшись, он обучил технологи сборки ССД группу осуждённых. Преимуществом при трудоустройстве пользовались бывшие электрики. Впрочем, приобрести эту специальность можно в профессиональном училище при исправительном учреждении.

Пока у ИК-5 есть сертификат соответствия качества на ССД внутреннего освещения, включая светильники для тюремных камер и помещений СИЗО. Но уже в ближайшее время участок сможет выпускать разные виды ССД, в том числе предназначенные для производственных и медицинских учреждений, а также влаго- и морозостойкие светильники уличные ССД и специальные ССД для освещения периметра колоний.

«По самым приблизительным подсчётам, участок, способный в месяц изготавливать две с половиной-три тысячи единиц продукции, принесёт кузбасской системе исполнения наказаний экономии почти на полтора миллиарда рублей в год, – сообщила сотрудник пресс-службы ГУФСИН по Кемеровской области Татьяна Долгопол. – Ведь собственное производство – это возможность более полно учитывать потребности заказчиков, которые получают товар быстро, без оплаты транспортных расходов. Не менее важна и дополнительная возможность трудоустройства осуждённых».

Работа нужна осуждённым не только для сохранения трудовых навыков и занятости, но и для того, чтобы они могли возместить ущерб по решению суда. Общая сумма исковых требований превышает двести миллионов рублей, а взыскивается за год не более шести-восьми миллионов. Так что прилагаются все усилия, чтобы трудоустроить заключённых.

[www.lightrussia.ru](http://www.lightrussia.ru)  
29.03.2017

# Функциональная единица для оценки жизненного цикла световой точки уличного освещения<sup>1</sup>

Л. ГАРСИА ЧЕБАЛЛОС<sup>1</sup>, Ж.Р. ДЕ АНДРУС ДИАЗ<sup>2</sup>

Университет Малаги, Испания

E-mail: <sup>1</sup> mlgarcia@uma.es; <sup>2</sup> deandres@ctima.uma.es

## Аннотация

Оценка жизненного цикла (ОЖЦ) играет всё большую роль при принятии решений в процессе разработки продукции или планирования услуг. При этом для удовлетворения целей ОЖЦ необходимо правильно выбрать единицу сравнения (функциональную единицу (ФЕ)). Все установки уличного освещения соответствуют своему функциональному назначению, однако они могут проектироваться по-разному, в зависимости от типов источников света, светильников и дополнительного оборудования (пускорегулирующих аппаратов, конденсаторов и т.д.). В статье предложена ФЕ, позволяющая проводить ОЖЦ световой точки уличного освещения. Предложенный параметр позволяет проводить сравнение воздействия на окружающую среду, оказываемое различными световыми точками, независимо от их технического исполнения или параметров. Для получения подобной ФЕ рассмотрены как характеристики компонентов световой точки, так и термины, описывающие её рабочие характеристики. Приведён практический пример, позволяющий продемонстрировать возможность проводить при помощи этой ФЕ сравнение различных технических решений световых точек.

**Ключевые слова:** ОЖЦ, энергоэффективность, функциональная единица, уличное освещение, воздействие на окружающую среду, светильник, световая точка.

## 1. Уличное освещение

Уличное освещение охватывает все осветительные установки, световые потоки которых падают на какое бы то ни было наружное пространство

общего пользования (дорогу, улицу, парк, декоративные элементы и т.д.).

В ряде стран на уличное освещение расходуется большое количество энергии, которая, как это имеет место в Испании, вырабатывается, по большей части, с использованием твёрдого топлива, что способствует глобальному потеплению и приводит к выделению примерно 61 % парниковых газов и почти 75 %  $CO_2$  от их общего количества, образующегося в результате связанной с энергией деятельности людей (генерация электро- и тепловой энергии, транспорт и т.д.) [1]. В Испании установки уличного освещения за год потребляют 3630 ГВт·ч электроэнергии, что означает выброс 657 тыс. тонн  $CO_2$  в год [2].

Вследствие имевшего место в последние десять лет роста испанских городов, очень быстро увеличивалось количество как установок уличного освещения, так и расходуемой на уличное освещение энергии (за период с 1990 по 2003 г. энергопотребление возросло на 60 %) [3]. В наши дни установки уличного освещения совершенствуются как в техническом, так и законодательном отношении, что в результате приведёт к изменениям энергопотребления. Так, испанские законы в области энергоэффективности установок уличного освещения [4], появление светодиодов (СД) и заключение государственными и муниципальными органами контрактов с энергосервисными компаниями могут в ближайшем будущем привести к существенному уменьшению расходуемой на уличное освещение энергии.

С другой стороны, некоторые усовершенствования законодательства были связаны с характеристиками изделий. Закон [5] заложил основы для применения требований экодизайна к энергопотребляющим изделиям в целях обеспечения высокого уровня защиты окружающей среды.

Этот закон направлен на улучшение энергоэффективности промышленной продукции при сохранении её эксплуатационных характеристик. Для достижения этой цели необходимо начинать со стадии проектирования изделий, т.к. вред, наносимый изделиями окружающей среде, закладывается именно на этой стадии жизненного цикла.

## 2. Характеристики установок уличного освещения

По определению, установки для наружного освещения общедоступных мест (уличного освещения) — это осветительные установки, предназначенные для обеспечения безопасности дорожного движения и людей в ночное время на улицах, велодорожках и тротуарах, в пешеходных зонах, общественных парках и садах (видоизменённое определение из [6]). Проектирование установок уличного освещения следует производить с учётом нескольких светотехнических параметров и показателей энергоэффективности. В Испании эти показатели должны быть согласованы с законом [4].

В данной работе под световой точкой понимается совокупность оптических, механических и электрических компонентов, состоящая из источников света, светильников и дополнительного оборудования (пускорегулирующих аппаратов, стартеров, конденсаторов, источников питания и т.д.). Поддерживающие конструкции, такие как опоры или различные основания, и электропроводка частями световых точек не считаются.

Входящая в состав уличной осветительной установки световая точка обеспечивает освещение различных зон.

Под **световым потоком** понимается энергия, излучаемая источником света в видимом диапазоне и оцениваемая по её способности вызывать зрительные ощущения с учётом зависимости чувствительности глаза от длины волны. Световой поток обозначается символом  $\Phi$  и измеряется в люменах (лм).

Согласно закону [4], **энергоэффективность**  $\epsilon$  установки наружного освещения представляет собой произведение площади освещённого участка на среднюю освещённость этого участка, делённое на полную установленную

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

мощность. Её можно определить, исходя из световой отдачи ламп и дополнительного оборудования  $\varepsilon_L$ , коэффициента эксплуатации  $f_m$  и коэффициента использования  $f_u$  осветительной установки, по приведённой в [4] формуле для расчёта энергоэффективности установки для освещения путей движения транспорта:

$$\varepsilon = \varepsilon_L \cdot f_m \cdot f_u \text{ (лк} \cdot \text{м}^2/\text{Вт)}. \quad (1)$$

Хотя количество излучаемого света зависит, в первую очередь, от источника света, понятие световой точки отражает полезное использование этого света, т.к. учитывает ещё и КПД светильника и дополнительного оборудования и возможность загрязнения светильника, а также пространственное распределение излучаемого светильником света.

КПД  $\eta$  формирующего световую точку светильника представляет собой отношение полного светового потока светильника, измеренного в заданных условиях, к сумме световых потоков установленных в нём источников света, которые они создают вне светильника при работе с тем же оборудованием в тех же условиях:

$$\eta = \frac{\text{Световой поток светильника}}{\text{Сумма световых потоков ламп}} \%. \quad (2)$$

Следует учесть и то, что общепринятое опорное значение для приводимых производителями характеристик светильников и для световых точек в целом – это 1000 лм. И самые разные результаты измерений и испытаний световых точек или источников света (теоретический световой поток, распределение силы света и т.д.) нормализуют применительно к этому стандартному световому потоку [7].

### 3. Функциональная единица при проведении ОЖЦ

Устанавливающий принципы и структуру ОЖЦ стандарт [8] определяет функциональную единицу (ФЕ) как «Количественно выраженная результативность системы жизненного цикла продукции, используемая в качестве единицы сравнения». Так что основная задача ФЕ состоит в обеспечении единицы сравнения при проведении ОЖЦ, с тем чтобы можно было сравнивать воздействие различных систем на окружающую среду (т.е. использование энергии, выбросы

и т.д.). ФЕ представляет собой меру для оценки рассмотренного действия системы и обеспечивает возможность сравнения входных и выходных параметров системы.

В данной работе предложена ФЕ для световых точек установок уличного освещения, которая позволяет проводить ОЖЦ этих установок безотносительно к типам светильников или источников света.

Учитывая вышесказанное, предлагаемая нами ФЕ должна учитывать следующие параметры световой точки:

- Тип источника света, описываемый его световой отдачей и излучаемым им световым потоком.
- Тип светильника, описываемый его КПД и  $IP$ .
- Срок службы источника света, позволяющий учесть количество его замен.
- Продолжительность использования и срок службы осветительной установки.

### 4. ФЕ для ОЖЦ световой точки установки уличного освещения

Перед началом этой работы мы проанализировали несколько публикаций, в том числе:

– ОЖЦ, в которых сравнивались только источники света. В них выбор ФЕ обусловлен различиями в световых потоках и сроках службы источников света. В качестве ФЕ были выбраны  $10^6$  часов освещения (*hours of light*) (лм) [9–13].

– ОЖЦ, в которых сравнивались разные источники света и в качестве ФЕ использовался наибольший срок службы источника света [14].

– ОЖЦ, в которых установки уличного освещения оценивались с использованием разных параметров, таких как периодичность замены источника света (20 млн лм·ч) [15], 1 км освещаемой улицы [16], 1 ч освещения [17] или срок службы установки [18].

С нашей точки зрения, ни одна из перечисленных ФЕ не учитывает все приведённые в предыдущем разделе

параметры, которые могут повлиять на световую точку в случае уличного освещения. Поэтому их нельзя использовать в качестве единицы сравнения при расчёте входных и выходных параметров установок уличного освещения, т.к. они ограничивают оценку работы установки частными критериями оценки её конструкции. Более того, как уже упоминалось, эти критерии должны включать в себя совокупность различных параметров, которые характеризуют световую точку (полезный световой поток, общую мощность всей установки в целом, срок службы источника света и т.д.).

Критерий, который следует рассматривать при определении ФЕ, – это полезный световой поток. Его можно обозначить как  $uL$  (*useful Lumen* – «полезные люмены») и определить как полный световой поток, излучаемый световой точкой вниз, с тем чтобы обеспечить правильное освещение.  $uL$  определяется посредством умножения светового потока источника света  $\Phi$  на КПД светильника  $\eta$  и на долю светового потока, излучаемую установленным светильником в нижнюю полусферу  $DLOR_{inst}^2$ :

$$uL = \Phi \cdot \eta \cdot DLOR_{inst}. \quad (3)$$

$uL$  учитывает несколько характеристик световой точки, в том числе световой поток источника света (и тем самым, тип и мощность источника света) и характеристики всего комплекта в целом (и тем самым, тип светильника и  $ULOR_{inst}^3$ ).

Для применения этого параметра мы собираемся использовать стандартные 1000 лм, так что в дальнейшем будем говорить о 1000  $uL$  или о  $kuL$ .

Для учёта в предлагаемой ФЕ и других параметров мы выбрали равный 20 годам срок службы, который соответствует испанским установкам уличного освещения [18, 19]. Так что если считать среднюю годовую продолжительность работы установки равной 4000 ч, то установка уличного освещения должна проработать 80000 ч. В этот период будут производиться замены источников света

<sup>2</sup> В уравнении (3) полезным считается весь световой поток, излучаемый в нижнюю полусферу установленным светильником. – Прим. авт.

<sup>3</sup> Здесь и далее (табл. 1) авторы вместо доли светового потока, излучаемой установленным светильником в нижнюю полусферу  $DLOR_{inst}$  используют параметр  $ULOR_{inst}$ , т.е. долю светового потока, излучаемую установленным светильником в верхнюю полусферу. – Прим. пер.



Основные характеристики световых точек

№ световой точки	Источник света	$\Phi$ , лм	Мощность, Вт	Световая отдача, лм/Вт	Срок службы источника света, ч	$\eta$	ULOR	$uL^*$ , лм	IP
1	СД	5280	51,2	120	70000	0,87	0,01	4547,7	2X
2	НЛВД	5900	81	82	28000	0,76	0,01	4439,2	6X
3	МГЛ	7230	81	101	14000	0,73	0,01	5225,1	6X
4	СД	3850	53	73	50000	0,73	0,01	2782,4	6X

\* Рассчитано по формуле (3)

и техническое обслуживание, зависящие от типа светильника и источника света. Кроме того, эта равная 20 годам продолжительность работы осветительной установки была выбрана потому, что в течение этого периода источники света всех известных типов потребуются заменить по меньшей мере один раз, а также потому, что этот период обычно принят для проведения замены осветительных установок во многих населённых пунктах Испании (например, в Мадриде [20]). Применительно к данному исследованию, более короткий период не позволит учесть будущую экономию, связанную с используемой техникой, а более длинный период был бы нереальным, т.к. новая, более эффективная техника, несомненно, обеспечит в будущем улучшение параметров осветительных установок.

В результате мы предлагаем  $1 \text{ kUI}$  в качестве ФЕ на всём протяжении срока службы системы уличного освещения, то есть ФЕ – это  $1 \text{ kUI}/80000 \text{ ч}$ .

### 5. Пример применения

В качестве примера мы продемонстрируем применение предложенной ФЕ к нескольким реальным световым точкам, характеристики которых приведены в табл. 1, и укажем, как эта единица учитывает вышеупомянутые параметры при оценке установки уличного освещения.

Мы рассчитали количество имеющих указанные параметры световых точек, требующихся для обеспечения первой части ФЕ ( $1 \text{ kUI}$ ). Для этого следует рассмотреть соответствующие всем вариантам значения  $UI$ , которые позволяют получить стандартный световой поток 1000 лм, то есть мы разделим 1000 лм на соответствующее рассматриваемой свето-

Таблица 2  
Количество световых точек для каждого из вариантов с учётом ФЕ

№ световой точки	$\Phi$ , лм	$uL$	Количество световых точек
1	1000	4547,7	0,22
2	1000	4439,2	0,23
3	1000	5225,1	0,19
4	1000	2782,4	0,36

Таблица 3

Количество замен источника света за срок службы установки

№ световой точки	Источник света	Продолжительность работы, лет	Число замен
1	СД	17,5	1,14
2	НЛВД	7	2,86
3	МГЛ	3,5	5,7
4	СД	12,5	1,6

вой точке значение  $UI$  и, тем самым, определим количество световых точек (табл. 2).

Затем следует рассчитать ещё один параметр, а именно, количество замен источника света, требующееся при использовании разных источников света для обеспечения необходимого светового потока на всём протяжении срока службы осветительной установки. На этой стадии должны быть учтены сроки службы различных источников света и время работы осветительной установки. Это можно сделать, рассчитав количество лет, которые проработает рассматриваемый источник света, для чего его срок службы нужно разделить на равную 4000 ч среднюю годовую продолжительность работы световой точки. После этого можно рассчитать количество замен за равный 20 годам пе-

риод работы установки уличного освещения, для чего 20 лет нужно разделить на количество лет работы одного источника света. Полученные результаты приведены в табл. 3.

Световой поток, излучаемый световой точкой установки наружного освещения, может постепенно уменьшаться на протяжении её срока службы из-за грязи и пыли. Эта составляющая учтена посредством указания степени защиты светильника от проникновения твёрдых предметов, пыли и воды (код IP). Упомянутое постепенное ухудшение характеристик вызвано, главным образом, осаждением грязи и пыли на источниках света и в светильниках. А т.к. установка должна проработать 20 лет, то количество случаев технического обслуживания световой точки также следует определять, исходя из её IP.

## 6. Выводы

Для оценки воздействия, которое световая точка установки уличного освещения оказывает на окружающую среду, учёта всех параметров жизненного цикла и обеспечения возможности расчёта и уменьшения этого воздействия, необходима единица измерения ФЕ, полностью отражающая работу и характеристики осветительной установки.

Выбор в качестве ФЕ величины  $1 \text{ kUl}/80000 \text{ ч}$  позволило обеспечить возможность сравнения разных осветительных установок, т.к. ею охвачены все важные характеристики световых точек. Эта ФЕ позволяет должным образом оценивать установки уличного освещения, т.к. она учитывает следующие параметры:

- Мощность, световой поток и срок службы источника света.
- Тип и КПД светильника.
- Продолжительность работы установки.
- Энергоэффективность, т.к. она включает в себя  $Ul$ .

Эта ФЕ обеспечит унифицированную основу для анализа световых точек, т.к.  $1 \text{ kUl}/80000 \text{ ч}$  представляет собой количественную меру, которую можно использовать в качестве основы для сравнения воздействия установок уличного освещения на окружающую среду. Как постоянно отмечалось выше и как следует из приведённого примера, при этом, несмотря на неэквивалентность осветительных установок, учтены основные с точки зрения проектирования параметры световой точки.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Baumert, K.A., Herzog, T., Pershing, J. Navigating the Numbers: Greenhouse Gas Data and International Climate Policy // World Resources Institute. – 2005. ISBN: 1–56973–599–9. Library of Congress Control Number: 2005936305.
2. Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) // Generalitat de Catalunya Comisión Interdepartamental del Cambio Climático, March 2011.
3. Situación de la energía en el Mundo, en Europa y España // CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas). – 2006. <http://www.energiasrenovables.ciemat.es/especiales/energia/espana.htm>.
4. Por el que se aprueba el Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de

alumbrado exterior y sus Instrucciones técnicas complementarias EA-01 a EA-07. R. D. 1890/2008, de 14 de noviembre // Ministerio de industria, turismo y comercio. – 2008.

5. Relativo al establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos que utilizan energía. R. D. 1369/2007, de 19 de octubre // Ministerio de industria, turismo y comercio. – 2007.

6. CIE S017/E: 2011 Vocabulario Internacional de Iluminación // CIE Central Bureau, Viena, Austria. – 2011.

7. CIE121:1996 *Informe Técnico. Fotometría y Goniofotometría de Luminarias* // CIE Central Bureau, Viena, Austria. – 1996. ISBN3–900–734–74–7.

8. UNE-EN-ISO 14040: 2006 Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia // Madrid, España: AENOR, 2006.

9. Gydesen, A., Maimann, D. Life cycle analyses of integral compact fluorescent lamps versus incandescent lamps. Energy and Emissions // University of Denmark, Denmark. – 1991.

10. Pfeifer, P.R. Comparison between Filament Lamps and Compact Fluorescent Lamps // Int. J. Life Cycle Ass. – 1996. – No. 8. – P. 14. (Cited by Solid-State Lighting Program).

11. Hartley, D., Jurgens, C., Zatzoff, E. Life Cycle Assessment of Streetlight Technologies // Mascaro Centre for Sustainable Innovation. University of Pittsburgh., USA. – 2009.

12. Life Cycle Assessment of Ultra-Efficient Lamps // DEFRA (Department for Environment, food and Rural Affairs), Navigant consulting. – 2009.

13. Dale, T.A., Bilec, M.M., Marriott, J., Hartley, D., Jurgens, C., Zatzoff, E. Preliminary Comparative Life-Cycle Impacts of Streetlight Technology // J. Infrastruct. Syst. – 2011. – Vol. 17, No. 4. ISSN1076–0342/2011/4–193–19.

14. Life Cycle assessment of Illuminants. A Comparison of Light Bulbs, Compact Fluorescent lamps and LED Lamps //OSRAM Opto Semiconductors GmbH and Siemens Corporate Technology, Germany. – 2009.

15. Scholand, M.J., Dillon, H.E. Life-Cycle Assessment of Energy and Environmental Impacts of LED Lighting Products. Part 1: Review of the Life-Cycle Energy Consumption of Incandescent, Compact Fluorescent, and LED Lamps // Solid-State Lighting program. Building technologies program, U.S. Department of Energy. Prepared by: Pacific National Laboratory and N14 Energy Limited, 2012.

16. Tähkämö, L., Ylinen, A.; Puolakka, M., Halonen, L. Life cycle cost analysis of three renewed street lighting installations in Finland // Int. J. Life Cycle Ass. – 2011.

17. Welz, T., Hischer, R., Hilty, L.M. Environmental impacts of lighting technologies –

Life cycle assessment and sensitivity analysis // Environ. Impact Asses. – 2010.

18. Colon, C.J. Assessing the economic and environmental impacts associated with currently available street lighting technologies // Department of the air force air university. Air force institute of technology. March 2010.

19. Urraca Piñero, J.I., Urraca Etayo, I. Instalaciones de alumbrado exterior. Guía técnica de aplicación ampliada y comentada // Spain: AENOR ediciones. – 2005. ISBN: 84–8143–444–2.

20. Pliego de Condiciones Técnicas Generales. Alumbrado Exterior, capítulo 18 // Área de gobierno de obras y espacio públicos // Ayuntamiento de Madrid, Madrid, España, 2010.

21. Alumbrado exterior. El alumbrado exterior y la eficacia energética. <http://ida.e.es/index.php/id.644/re/menu.355/mod.pags/mem.detalle> [On line, August, 2012].

22. ITC-BT-09, Instalaciones de alumbrado exterior // Ministerio de Ciencia y Tecnología. – 2002.

<sup>4</sup> Ссылка на эту работу в статье отсутствует. – Прим. пер.



**Луз Гарсиа Чебаллос (Luz García Ceiballos)**, Ph.D. Окончила Политехническую школу и Высшую техническую школу промышленного производства Университета Малаги.

Доцент факультета графического отображения, дизайна и проектирования Университета Малаги. Область научных интересов: графическое отображение и экодизайн. Член исследовательской группы «Эффективные опытно-конструкторские разработки» ТЕР935



**Жозе Рамон де Андрес Диас (Jose Ramon de Andres Diaz)**, Ph.D. (1998 г.). Доцент факультета графического отображения, дизайна и проектирования Университета Малаги.

Область научных интересов: конструирование изделий, ОЖЦ, организация работ и освещение

# Приближённая формула для углового распределения облучённости от неровной поверхности со сложной индикатрисой отражения

С.В. АЛЬКОВ, М.Л. БЕЛОВ, В.А. ГОРОДНИЧЕВ

НИУ «МГТУ им. Н.Э. Баумана»

E-mail: belov@bmstu.ru

## Аннотация

С использованием фотометрического подхода получено приближённое выражение для углового распределения облучённости от неровной анизотропной поверхности с локальной индикатрисой отражения, имеющей как диффузную (широкую в угловом смысле), так и квазизеркальную компоненты, при облучении поверхности пучком излучения с произвольного направления. Показано, что на угловое распределение облучённости существенно влияют характеристики наклонов неровностей поверхности, угол падения и направление пучка излучения, параметры диффузной и квазизеркальной компонент локальной индикатрисы отражения.

**Ключевые слова:** пучок излучения, облучённость, угловое распределение, неровная анизотропная поверхность, локальная индикатриса отражения, диффузная и квазизеркальная компоненты индикатрисы.

## Введение

Задача расчёта углового распределения энергетических фотометрических параметров отражаемых поверхностями излучения представляет интерес для создания целого ряда устройств и систем – видения (лазерного, ночного), освещения (облучения), оптической локации, оптического мониторинга и др. [1–5].

В оптическом диапазоне для решения таких задач в большинстве случаев используются модели неровной поверхности либо с зеркальной, либо с ламбертовской индикатрисами отражения локальных участков [3–6].

Более общая модель неровной поверхности имеет сложную индикатрису отражения локальных участков – имеющую как широкую (в угловом смысле), так и зеркальную или квазизеркальную компоненты [7–10]. Однако, в работах, использующих для расчёта углового распределения энергетических фотометрических параметров такую модель индикатрисы отражения локальных участков, поверхность представлялась изотропной.

В статье с использованием фотометрического подхода (основанного на использовании для расчётов энергетических фотометрических величин – энергетической яркости (ЭЯ) и облучённости) выводится приближённое выражение для углового распределения облучённости от неровной, в общем случае анизотропной, поверхности со сложной локальной индикатрисой отражения, имеющей как диффузную (широкую в угловом смысле), так и квазизеркальную компоненты, при облучении поверхности пучком излучения с произвольного направления.

## Постановка задачи

Пусть трёхмерная случайно-неровная поверхность  $S$  облучается пучком излучения с произвольного направления. Приближённое выражение для облучённости  $E(\vec{r})$ , создаваемой отражённым поверхностью излучением, можно получить из общего выражения [4] для потока излучения, регистрируемого по двухпозиционной схеме (когда источник и приёмник излучения разнесены в пространстве) приёмником с единичной площадью и телесным углом поля зрения  $2\pi$ :

$$E(\vec{r}) = \int_S d\vec{R} \int_{2\pi} d\Omega(\vec{m}) L_r(\vec{R}, \vec{m}) L_{ref}(\vec{R}, \vec{m}) \cos\theta, \quad (1)$$

где  $L_{ref}(\vec{R}, \vec{m})$  – ЭЯ отражённого от поверхности в точке  $\vec{R}$  в направлении  $\vec{m}$  излучения, приходящего в точку наблюдения  $\vec{r}$ ;  $d\Omega(\vec{m})$  – элемент телесного угла;  $\theta$  – угол между нормалью к поверхности  $S$  в точке  $\vec{R}$  и направлением на точку наблюдения  $\vec{r}$ ;  $L_r(\vec{R}, \vec{m})$  – величина, имеющая размерность  $\text{ср}^{-1}$ . Если её умножить на  $1 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ , то полученная величина будет иметь смысл ЭЯ, создаваемой на элементе поверхности  $S$  излучением, падающим от «фиктивного» источника [4, 5] (с параметрами приёмника, регистрирующего облучённость в точке наблюдения) с единичной площадью, потоком излучения  $1 \text{ Вт}$  и телесным углом поля зрения  $2\pi$ .

Отметим, что выражение, аналогичное (1), было также получено применительно к оптической локации объёмных тел [11].

В рамках фотометрического подхода ЭЯ  $L_{ref}(\vec{R}, \vec{m})$  при однородной отражающей поверхности может быть представлена как [4]

$$L_{ref}(\vec{R}, \vec{m}) = \chi(\vec{n}, \vec{m}) L_o(\vec{R}, \vec{m}), \quad (2)$$

где  $\chi(\vec{n}, \vec{m})$  – локальная (относящаяся к элементарному участку неровной поверхности, много большему длины волны излучения, но намного меньшему размеров неровностей поверхности) индикатриса отражения;  $\vec{n}, \vec{m}$  – векторы, характеризующие направление падающего на поверхность и отражённого излучения;  $L_o(\vec{R}, \vec{m})$  – ЭЯ отражённого излучения для идеального отражателя (ламбертовской поверхности с альбедо, равным единице).

Распределение ЭЯ  $L_o(\vec{R}, \vec{m})$  имеет вид [4]

$$L_o(\vec{R}, \vec{m}) \equiv L_o(\vec{R}) = \frac{E_s(\vec{R})}{\pi}, \quad (3)$$

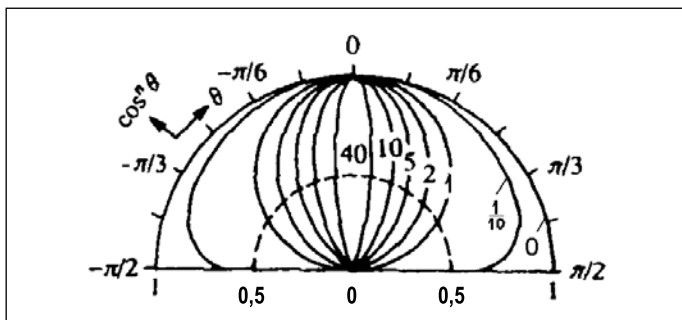


Рис. 1. Характер изменения функции  $\cos^n \theta$

где  $E_s(\vec{R})$  – облучённость элементарного участка поверхности, создаваемая падающим на поверхность пучком излучения (ПИ).

Локальная индикатриса отражения характеризует рассеивающие свойства локальных участков крупномасштабной поверхности  $S$ .

Если кроме ламбертовской составляющей (при которой ЭЯ распределена равномерно в полусфере, опирающейся на локальный участок поверхности) у локальной индикатрисы реальной поверхности есть и выраженная зеркальная компонента, то в качестве модели индикатрисы  $\chi(\vec{n}, \vec{m})$  можно использовать следующее выражение (см., напр., [8]):

$$\chi(\vec{n}, \vec{m}) = \frac{A}{\alpha + \beta} \left[ \alpha + \beta \frac{\pi}{\cos \theta_{spec}} \delta(\vec{m} - \vec{m}_{spec}) \right], \quad (4)$$

где  $A$  – альbedo элементарной отражающей площадки;  $\alpha$  и  $\beta$  – доли ламбертовского и зеркального отражений для элементарной отражающей площадки,  $\alpha + \beta = 1$ ;  $\vec{m}_{spec}$  – вектор зеркального отражения, зависящий от вектора направления падающего излучения  $\vec{n}$  и вектора нормали  $\vec{k}$  к отражающей площадке;  $\vec{m}_{spec} = \vec{n} - 2\vec{k}(\vec{k}\vec{n})$ ;  $\theta_{spec}$  – угол между нормалью к отражающей площадке  $\vec{k}$  и вектором  $\vec{m}_{spec}$ .

У индикатрисы отражения более общего вида, чем (4), и диффузная (широкая в угловом смысле), и квазизеркальная компоненты могут иметь параметры, меняющие их угловую ширину (похожая индикатриса использовалась в [9]):

$$\chi(\vec{n}, \vec{m}) = A \frac{1}{\alpha \frac{1}{n+2} + \beta} \left[ \alpha (\vec{k}\vec{m})^n + \beta \frac{1}{\cos \theta_{spec} \Delta^2} \exp\left\{-\frac{(\vec{m} - \vec{m}_{spec})^2}{\Delta^2}\right\} \right], \quad (5)$$

где  $n$  – параметр, характеризующий угловую ширину диффузной составляющей индикатрисы отражения,  $n > 0$ ;  $\Delta$  – параметр, характеризующий угловую ширину квазизеркальной составляющей отражения.

Первое слагаемое в (5) описывает диффузную (широкую в угловом смысле) компоненту локальной индикатрисы, а второе – квазизеркальную (узкую в угловом смысле) компоненту локальной индикатрисы, которая в пределе ( $\Delta \rightarrow 0$ ) переходит в зеркальную компоненту.

Индикатрисы (4) и (5) нормированы условием

$$\frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} \chi(\vec{n}, \vec{m}) \cos \theta d\Omega(\vec{m}) = A.$$

При  $n = 0$  и  $\beta = 0$  выражение (5) переходит в выражение для индикатрисы отражения ламбертовской поверхности:  $\chi(\vec{n}, \vec{m}) \equiv A$ . При  $\alpha = 0$  в формуле (5) остаётся только квазизеркальная составляющая отражения, переходящая в зеркальную при  $\Delta \rightarrow 0$ .

При  $\beta = 0$  и произвольном  $n$  формула (4) переходит в выражение [12]:

$$\chi(\vec{n}, \vec{m}) = A \frac{n+2}{2} \cos^n \theta, \quad (6)$$

где  $\theta$  – угол между нормалью к элементарному участку ровной поверхности и направлением наблюдения.

На рис. 1 [12] показан характер изменения функции  $\cos^n \theta$ , определяющей угловую зависимость индикатрисы отражения (6), при разных значениях параметра  $n$  (соответствующие значения параметра  $n$  проставлены у каждой кривой). Из рисунка видно, что в рамках используемой модели локальная индикатриса отражения может меняться от широкой ламбертовской (для которой  $\chi(\vec{n}, \vec{m}) \equiv A$ ) до очень узкой.

В статье приближённая формула для углового распределения облучённости от неровной анизотропной поверхности получена из интегрального выражения (1) с использованием выражений (2) и (3) для индикатрисы отражения локальных участков (5).

### Формула для углового распределения облучённости от неровной поверхности

Используя выражения (2), (3) и (5) (как в [4]), из (1) получим приближённое выражение для облучённости  $E(\vec{r})$ , создаваемой отражённым от случайно неровной поверхности, с локальной индикатрисой (5), излучением (считая, что угловая ширина ПИ и угловая ширина квазизеркальной составляющей локальной индикатрисы намного меньше среднеквадратического значения наклонов поверхности  $S$ , причём источник излучения и точка наблюдения находятся в одной плоскости –  $XOZ$ ):

$$E(\vec{r}) \cong \frac{A}{\pi} \frac{1}{\left(\alpha \frac{1}{n+2} + \beta\right) z_r^2} \left\{ \alpha \int_{S_o} d\vec{R} E_s(\vec{R}'_{oc}) (\vec{k}(\vec{R}_o) \vec{m})^n + \beta \int_{S_o} d\vec{R} E_s(\vec{R}'_{oc}) \frac{1}{\cos \theta_{spec} \Delta^2} \exp\left\{-\frac{(\vec{m} - \vec{m}_{spec})^2}{\Delta^2}\right\} \right\}, \quad (7)$$

где  $\vec{R}'_{oc} = \{[R_{ox} \text{ctg} \theta_s - \zeta(\vec{R}_o)] \sin \theta_s, R_{oy}\}$ ;  $S_o$  – проекция неровной поверхности  $S$  на плоскость  $Z = 0$ ;  $\vec{R}_o = \{R_{ox}, R_{oy}\}$  – вектор на поверхности  $S_o$ ;

$E_s(\vec{R}) = (\vec{n}\vec{k}) E_s^n(\vec{R})$ ;  $E_s^n(\vec{R})$  – распределение облучённости в поперечном сечении пучка излучения; в гауссовом приближении [4]

$$E_s^n(\vec{R}) \cong \frac{P_o \exp\left(-\frac{R^2}{\alpha_s^2 z_s^2}\right)}{\pi \alpha_s^2 z_s^2};$$

$P_o$  и  $\alpha_o$  – поток излучения источника и угловая ширина ПИ;  $z_s$  и  $z_r$  – наклонные расстояния от источника излучения (вдоль оптической оси ПИ от точки наблюдения до центра оптического пятна на поверхности);  $\zeta(\vec{R}_o)$  – высота поверхности  $S$  в точке  $\vec{R}_o$ ;  $\vec{k} = \{k_x, k_y, k_z\}$  – единичный вектор нормали к локальной площадке неровной поверхности  $S$ ;  $\theta_s$  – угол между нормалью к поверхности  $S_o$  и направлением на источник излучения.

При получении (7) считалось, что наклонные расстояния от источника излучения (вдоль оптической оси ПИ) и точки наблюдения до центра облучённого пятна на поверхности много больше высоты неровностей поверхности  $S$ . Положение точки наблюдения  $\vec{r}$  в (7) характеризуется расстоянием до поверхности  $z_r$  и вектором  $\vec{m}$ .

В качестве модели неровной поверхности будем использовать модель трёхмерной однородной анизотропной случайно неровной поверхности. Такую поверхность можно выразить в виде функции  $z = \zeta(\vec{R})$ , где  $z$  – высота поверхности в точке  $R$ . Пусть случайная функция  $\zeta(\vec{R})$  – однозначная и достаточно гладкая, и характеризуется плотностью вероятности  $W(\zeta)$ . Аналогично, поле

наклонов поверхности  $\vec{\gamma} = \{\gamma_x, \gamma_y\}$  (величины  $\gamma_x = \frac{\partial \zeta}{\partial x}$  и  $\gamma_y = \frac{\partial \zeta}{\partial y}$  определяют тангенсы углов наклона поверхности  $z = \zeta(\vec{R})$  к плоскости  $Z = 0$ ) характеризуется плотно-

стью вероятности  $W(\gamma_x, \gamma_y)$ .

Законы распределения высот и наклонов поверхности примем нормальными. Нормальные законы распределения высот и наклонов отражают тот довольно очевидный факт, что для большинства поверхностей вероятность больших отклонений от среднего (высот или наклонов) всегда меньше, чем малых.

Будем считать поверхность в среднем плоской. Тогда единственными статистическими характеристиками случайно неровной поверхности являются дисперсии вы-

сот  $\langle \zeta^2 \rangle$  и наклонов  $\langle \gamma_{x,y}^2 \rangle$  поверхности. Здесь угловые

скобки означают усреднение по ансамблю поверхностей.

Усредняя значения  $E$  по высотам и наклонам случайно неровной поверхности  $S$  (полагая, что она плавно неровная), получим следующую приближённую формулу для средней облучённости  $\bar{E}$  (считая, что среднеквадратические значения высот поверхности много меньше размеров ПИ на поверхности):

$$\begin{aligned} \bar{E}(\vec{r}) \cong & \frac{A a_s}{z_s^2 z_r^2 C_s \cos \theta_s} \frac{1}{\alpha \frac{2}{n+2} + \beta} [\alpha F(\theta_s, \theta_r) + \\ & + \frac{\beta q^4}{8 q_z^4 \langle \gamma_x^2 \rangle \langle \gamma_y^2 \rangle^{1/2}} \exp\left(-\frac{q_x^2}{2 q_z^2 \langle \gamma_x^2 \rangle}\right)], \end{aligned} \quad (8)$$

где  $q_x = (\sin \theta_s - \sin \theta_r)$ ;  $q_z = -(\cos \theta_s - \cos \theta_r)$ ;  $\vec{r} = \{z_r, \theta_r\}$ ;  $\theta_r$  – угол между нормалью к поверхности  $S_o$  и направлением на точку наблюдения; для изотропной поверхности с диффузной компонентой локальной индикатрисы вида  $[(n+2)/2] \cdot \cos^n \theta$  и дисперсией наклонов  $\langle \gamma_{x,y}^2 \rangle \equiv \gamma_o^2$

$$\begin{aligned} F(\theta_s, \theta_r) = F_{is}(\theta_s, \theta_r, n) = \\ = \cos^n \theta_r (2\gamma_o^2)^{-n/4} \exp\left(\frac{1}{4\gamma_o^2}\right) [\cos \theta_r \cos \theta_s (2\gamma_o^2)^{-1/4} \times \\ \times W_{\frac{n+1}{4}, \frac{n-1}{4}}\left(\frac{1}{2\gamma_o^2}\right) + \\ + \frac{1}{2} \sin \theta_r \sin \theta_s (n+1) (2\gamma_o^2)^{1/4} W_{\frac{n+3}{4}, \frac{n-3}{4}}\left(\frac{1}{2\gamma_o^2}\right)]; \end{aligned} \quad (9)$$

а для анизотропной поверхности с диффузной компонентой локальной индикатрисы, совпадающей с ламбертовской, и дисперсиями наклонов  $\langle \gamma_x^2 \rangle, \langle \gamma_y^2 \rangle$

$$\begin{aligned} F(\theta_s, \theta_r) = F_{an}(\theta_s, \theta_r) = \\ = \frac{a \exp\left(\frac{1}{2a}\right)}{4 \langle \gamma_x^2 \rangle \langle \gamma_y^2 \rangle^{1/2}} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{a^{-k}}{k!} \left(\frac{\mu}{2}\right)^{2k} \{\sin \theta_s \sin \theta_r a^{1/4} \times \\ \times \frac{\Gamma(2k+2)}{\Gamma(k+1)} W_{-k-\frac{3}{4}, k+\frac{3}{4}}\left(\frac{1}{a}\right) - \sin \theta_s \sin \theta_r a^{-1/4} \times \\ \times \frac{\Gamma(2k+3)}{\Gamma(k+2)} \frac{\mu}{2} W_{-k-\frac{5}{4}, k+\frac{5}{4}}\left(\frac{1}{a}\right) + \\ + 2 \cos \theta_s \cos \theta_r a^{-1/4} \frac{\Gamma(2k+1)}{\Gamma(k+1)} W_{-k-\frac{1}{4}, k+\frac{1}{4}}\left(\frac{1}{a}\right)\}; \\ a = 4 \left(\frac{1}{\langle \gamma_x^2 \rangle} + \frac{1}{\langle \gamma_y^2 \rangle}\right)^{-1}; \mu = 0,5 a \delta; \delta = 0,5 \left(\frac{1}{\langle \gamma_x^2 \rangle} - \frac{1}{\langle \gamma_y^2 \rangle}\right); \end{aligned} \quad (10)$$

$\Gamma(k)$  – гамма-функция;  $W_{n,m}(x)$  – функция Уиттекера.

В предельном случае плоской ламбертовской поверхности ( $n = 0, \beta = 0, \langle \gamma_{x,y}^2 \rangle \rightarrow 0$ ) формула (8) совпадает с ана-

логичным более ранним результатом [5] (предельный случай плоской зеркальной поверхности (8) не описывает, так как она получена при условии, что угловая ширина ПИ намного меньше среднеквадратического значения наклонов поверхности). В частном случае случайно неровной локально ламбертовской поверхности ( $n = 0, \beta = 0$ ) формула (8) совпадает с результатами в [13]. Для изотропной случайно неровной поверхности (8) согласуется с соответствующими результатами работы [9], а для локальной индикатрисы, имеющей ламбертовскую и зеркальную компоненты, – работы [14].

Поскольку формула (8) получена при условии, что среднеквадратическое значение высот поверхности  $\langle \zeta^2 \rangle$  много меньше размеров ПИ на поверхности и угловая ширина квазизеркальной составляющей много меньше среднек-

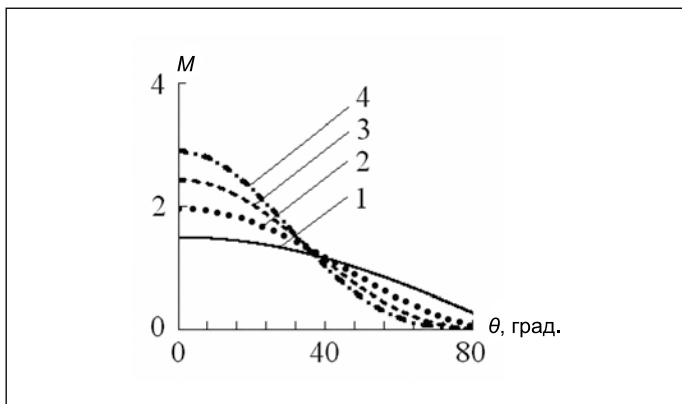


Рис. 2. Угловое распределение облучённости от неровной поверхности с локальной индикатрисой отражения  $\chi(\vec{n}, \vec{m}) = A \cdot [(n + 2)/2] \cdot \cos^n \theta$

вадратического значения наклонов поверхности, то величины  $\langle \zeta^2 \rangle$  и  $\Delta^2$  в приближённую формулу (8) не вошли.

Усреднение в формуле (8) в общем случае ведётся по ансамблю реализаций случайных поверхностей. Однако, если не только среднеквадратические значения высот поверхности, но и размеры неровностей поверхности много меньше размеров ПИ на поверхности, то усреднение в реальном эксперименте проводится за счёт большого размера оптического пятна на поверхности  $S$ .

### Результаты расчётов и их обсуждение

Основная трудность расчётов углового распределения облучённости от неровной поверхности со сложной индикатрисой отражения по приближённой формуле (8) связана с тем, что (9) и (10) содержат специальные функции (функции Уиттекера  $W_{n,m}(x)$ ).

При проведении расчётов учитывалось, что поверхность  $S$  – плавно неровная ( $\langle \gamma_{x,y}^2 \rangle^{1/2} \ll 1$ ), и функции

Уиттекера аппроксимировались выражениями на основе асимптотического ряда для функций Уиттекера [15] (учитывались только три члена ряда).

Это приводит к достаточно простым и точным, для плавно неровной поверхности с  $\langle \gamma_{x,y}^2 \rangle^{1/2} \ll 1$ , выражениям. Например, для изотропной поверхности с диф-

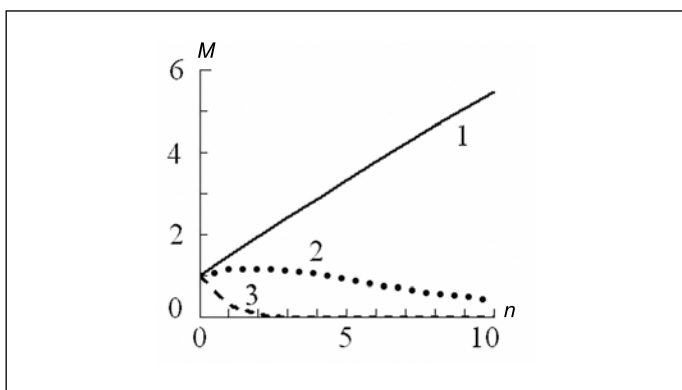


Рис. 3. Зависимость величины  $M$  от параметра  $n$

фузной компонентой локальной индикатрисы вида  $[(n + 2)/2] \cdot \cos^n \theta$  и дисперсией наклонов  $\langle \gamma_{x,y}^2 \rangle \equiv \gamma_o^2$  приближённое выражение для  $F_{is}(\theta_s, \theta_r, n)$  имеет вид

$$F_{is}(\theta_s, \theta_r, n) \approx \cos \theta_s \cos^{n+1} \theta_r \left\{ 1 - \frac{\gamma_o^2}{8} [(n+3)^2 - (n-1)^2] + \frac{\gamma_o^4}{128} [(n+3)^2 - (n-1)^2] [(n+7)^2 - (n-1)^2] \right\} + \sin \theta_r \sin \theta_s \cos^n \theta_r (n+1) \gamma_o^2 \left\{ 1 - \frac{\gamma_o^2}{8} [(n+5)^2 - (n-3)^2] \right\}.$$

Рис. 2 иллюстрирует угловое распределение облучённости от неровной поверхности с локальной индикатрисой

отражения  $\chi(\vec{n}, \vec{m}) = A \frac{n+2}{2} \cos^n \theta$  (т.е. без квазизеркальной

компоненты). На рисунке приведены результаты расчётов зависимости от угла наблюдения  $\theta_r$  величины  $M$  – отношения облучённости  $\bar{E}$  от поверхности с локальной индикатрисой отражения  $\chi(\vec{n}, \vec{m}) = [(n + 2)/2] \cdot \cos^n \theta$  к облучённости от поверхности с локально-ламбертовской индикатрисой отражения:

$$M \cong \frac{n+2}{2} \frac{F_{is}(\theta_s, \theta_r, n)}{F_{is}(\theta_s, \theta_r, n=0)}.$$

Расчёты проводились при следующих значениях параметров:

$$\theta_s = 40^\circ; \langle \gamma_x^2 \rangle^{1/2} = \langle \gamma_y^2 \rangle^{1/2} = 0,1; 1 - n=1; 2 - n=2; 3 - n=3; 4 - n=4.$$

Из рис. 2 видно, что параметр  $n$ , характеризующий угловую ширину диффузной составляющей индикатрисы, существенно влияет на угловое распределение облучённости. Причём при углах  $\theta_r \leq 40^\circ$  облучённость  $\bar{E}$  растёт с ростом  $n$  и может быть значительно больше облучённости от поверхности с локально-ламбертовской индикатрисой отражения, а при  $\theta_r > 40^\circ$  с ростом  $n$   $\bar{E}$  падает. Это хорошо иллюстрирует рис. 3, на котором приведена расчётная зависимость  $M$  от  $n$  при трёх разных значениях  $\theta_r$ . При этом расчёты проводились при следующих значениях параметров:

$$\theta_s = 40^\circ; \langle \gamma_x^2 \rangle^{1/2} = \langle \gamma_y^2 \rangle^{1/2} = 0,1; 1 - \theta_r = 0^\circ; 2 - \theta_r = 40^\circ; 3 - \theta_r = 80^\circ.$$

Заметим, что, поскольку формула (8) получена для плавно неровной поверхности ( $\langle \gamma_{x,y}^2 \rangle^{1/2} \ll 1$ ), распре-

деление облучённости от неровной поверхности с локальной индикатрисой отражения  $\chi(\vec{n}, \vec{m}) = A \cdot [(n + 2)/2] \cdot \cos^n \theta$  (без квазизеркальной компоненты) слабо зависит от среднеквадратических значений наклонов поверхности  $\langle \gamma_{x,y}^2 \rangle^{1/2}$ .

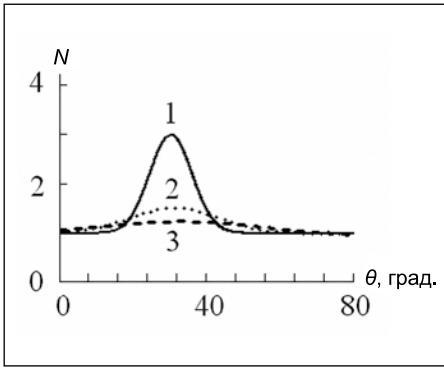


Рис. 4. Угловое распределение облучённости при разных среднеквадратических значениях наклонов поверхности

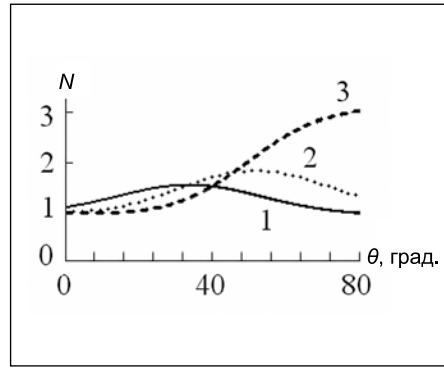


Рис. 5. Влияние угла облучения поверхности  $\theta_s$  на угловое распределение облучённости

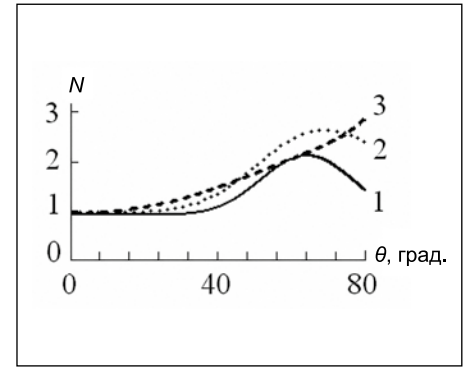


Рис. 6. Влияние направления облучения на угловое распределение облучённости от анизотропной поверхности

Ситуация меняется, когда индикатриса имеет квазизеркальную компоненту.

На рис. 4–6 показано влияние квазизеркальной составляющей локальной индикатрисы отражения элементарных отражающих участков поверхности на угловое распределение облучённости  $\bar{E}$ . Здесь приведены результаты расчётов зависимости от угла  $\theta_r$ , величины  $N$  — отношения облучённости  $\bar{E}$  от анизотропной поверхности с локальной индикатрисой, имеющей квазизеркальную компоненту и диффузную компоненту, совпадающую с ламбертовской, к облучённости от изотропной поверхности только с локально ламбертовской индикатрисой отражения:

$$N \cong \frac{1}{\alpha + \beta} \frac{[\alpha F_{an}(\theta_s, \theta_r) + \frac{\beta q^4}{8q_z^4 (\langle \gamma_x^2 \rangle \langle \gamma_y^2 \rangle)^{1/2}} \exp(-\frac{q_x^2}{2q_z^2 \gamma_{ox}^2})]}{F_{is}(\theta_s, \theta_r, n=0)}$$

При этом на рис. 4 показано угловое распределение облучённости при трёх разных среднеквадратических значениях наклонов поверхности. Расчёты проводились при следующих значениях параметров:  $\theta_s = 30^\circ$ ;  $\alpha = 0,97$ ;  $\beta = 0,03$ ,  $1 - \langle \gamma_{x,y}^2 \rangle^{1/2} = 0,05$ ;  $2 - \langle \gamma_{x,y}^2 \rangle^{1/2} = 0,1$ ;  $3 - \langle \gamma_{x,y}^2 \rangle^{1/2} = 0,15$ .

Видно, что в направлении, близком к углу зеркального отражения ( $\theta_r = -\theta_s$ ), появляется пик, высота и ширина которого сильно зависят от среднеквадратического значения наклонов неровной поверхности (и, конечно, от доли зеркальной составляющей локальной индикатрисы отражения поверхности).

Рис. 5 и 6 иллюстрируют зависимость углового распределения облучённости от угла  $\theta_s$  (рис. 5) и от направления облучения (рис. 6). В части рис. 5 расчёты проводились при следующих значениях параметров:  $\alpha = 0,95$ ;  $\beta =$

$= 0,05$ ;  $1 - \theta_s = 30^\circ$ ;  $2 - \theta_s = 45^\circ$ ;  $3 - \theta_s = 60^\circ$ ;  $\langle \gamma_x^2 \rangle^{1/2} = 0,15$ ;

$\langle \gamma_y^2 \rangle^{1/2} = 0,1$ . При этом облучение поверхности проводилось в одной плоскости —  $XOZ$ . А в части рис. 6 моделировалось облучение поверхности в трёх плоскостях: **1** — пло-

скости  $XOZ$ ; **2** — плоскости, составляющей  $45^\circ$  с плоскостями  $XOZ$  и  $YOZ$ ; **3** — плоскости  $YOZ$ ;  $\theta_s = 60^\circ$ ;  $\alpha = 0,95$ ,

$\beta = 0,05$ ;  $\langle \gamma_x^2 \rangle^{1/2} = 0,1$ ;  $\langle \gamma_y^2 \rangle^{1/2} = 0,2$ .

Из рис. 5 и 6 также видно — характер углового распределения облучённости сложным образом зависит от угла  $\theta_s$  и направления облучения. Причём с ростом  $\theta_r$ , облучённость может расти (так как пик отражения квазизеркальной компоненты максимума с увеличением  $\theta_r$  ещё «не прошёл»).

### Заключение

Таким образом, с использованием фотометрического подхода получено приближённое выражение для углового распределения облучённости от неровной анизотропной поверхности с локальной индикатрисой отражения, имеющей как диффузную, так и квазизеркальную компоненту, при облучении поверхности пучком излучения с произвольного направления. Показано, что угловое распределение облучённости сложным образом зависит от характеристик наклонов неровностей поверхности, угла и направления облучения, параметров диффузной и квазизеркальной компонент локальной индикатрисы отражения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Знак, 2006. — 972 с.
2. Карасик В.Е., Орлов В.М. Лазерные системы видения. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. — 478 с.
3. Оптико-электронные системы экологического мониторинга природной среды / Под ред. В.Н. Рождествина. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. — 528 с.
4. Основы импульсной лазерной локации / Под ред. В.Н. Рождествина. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. — 572 с.
5. Элементы теории светорассеяния и оптическая локация / Под ред. В.М. Орлова. — Новосибирск: Наука, 1982. — 225 с.
6. Топорев А.С. Оптика шероховатой поверхности. — Л.: Машиностроение, 1988. — 191 с.

7. *Ticconi F., Pulvirenti L., Pierdicca N.* Models for Scattering from Rough Surfaces. URL: <http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/16082.pdf> (дата обращения: 21.09.2016).

8. *Копилович Л.Е., Фукс И.М.* Индикатрисы рассеяния и альbedo сильношероховатых поверхностей // *Изв. вузов. Радиофизика.* – 1981. – Т. 24, № 7. – С. 840–850.

9. *Белов М.Л., Орлов В.М.* О мощности, регистрируемой лидаром при зондировании в атмосфере поверхности с комбинированной индикатрисой рассеяния // *Оптика атмосферы.* – 1991. – Т. 4, № 10. – С. 1066–1069.

10. *Лабунец Л.В.* Цифровые модели изображений целей и реализаций сигналов в оптических локационных системах. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 216 с.

11. *Варшавчик М.Л.* Влияние рассеивающих свойств атмосферы на погрешность измерения эффективной площади рассеяния объёмных тел // *Оптико-механическая промышленность.* – 1988. – № 3. – С. 8–10.

12. *Обратные задачи в оптике* / Под. ред. Г.П. Болтса. – М.: Машиностроение, 1984. – 199 с.

13. *Имитационное моделирование в задачах оптического дистанционного зондирования* / Под. ред. В.Е. Зуева. – Новосибирск: Наука, 1988. – 164 с.

14. *Белов М.Л., Козинцев В.И., Стрелков Б.В.* Рассеяние лазерного пучка на случайно-неровной поверхности со сложной локальной индикатрисой отражения в турбулентной атмосфере // *Вестник МГТУ. Сер. Приборостроение.* – 2007. – № 2. – С. 63–67.

15. *Градштейн И.С., Рыжик И.М.* Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. – М.: Наука, 1971. – 1108 с.



**Альков Сергей Витальевич**, кандидат техн. наук, доцент. Окончил в 1978 г. Курский политехнический институт. Декан факультета «Радиоэлектроника, лазерная и медицинская техника» НИУ «МГТУ им. Н.Э. Баумана»



**Белов Михаил Леонидович**, доктор техн. наук, профессор. Окончил в 1973 г. МЭИ. Главный научный сотрудник НИИ «Радиоэлектроника и лазерная техника» НИУ «МГТУ им. Н.Э. Баумана»



**Городничев Виктор Александрович**, доктор техн. наук, старший научный сотрудник. Окончил в 1976 г. МГУ им. М.В. Ломоносова. Начальник отдела НИИ «Радиоэлектроника и лазерная техника» НИУ «МГТУ им. Н.Э. Баумана»

## Немецкие учёные собрали систему, светящую, как 10 тысяч солнц

Учёные из Германского центра авиации и космонавтики создали новую мощную световую систему, которая может в одном месте сфокусировать энергию, эквивалентную излучению 10 тыс. солнц.



23 марта она прошла первые испытания. Об экспериментальной системе сообщается на портале *Gizmodo*. Она называется «SYNLIGHT» и находится в Юлихе, примерно в 15 км западнее Кёльна.

Система состоит из 149 ксеноновых короткодуговых ламп – аналогичные используются в больших кинопроекторах – чтобы производить и фокусировать столько лучистой энергии, сколько было бы получено от 10 тыс. солнц, таких, как наше. В ходе запуска исследователи сконцентрировали излучение 350-киловаттного сотового массива на одном металлическом листе размером 20×20 см. Как говорит директор центра Бернхард Хоффшмидт, система способна создавать температуры до 3000 °С. Размеры самой конструкции составляют 14 м в высоту и 16 м в ширину.

Цель разработчиков – найти новые способы создания водорода, экологически чистого топлива. Фокусируя свет в одной точке, система нагревает металл до 800 °С, а после его распыляют водным паром. Металл реагирует с кислородом в воде, а водород остаётся.

Внутри здания, где работает система, разумеется, нельзя находиться – одной секунды воздействия отражаемого от стен излучения хватит, чтобы поджарить человека.

Водород очень летуч, так что к водородному топливу придётся относиться с осторожностью. Тем не менее его можно будет использовать в автомобилях и самолётах – существуют высокопрочные герметизированные резервуары, которые в случае повреждения мгновенно рассеивают содержимое в атмосфере. В качестве альтернативы можно добавлять к смеси окись углерода и получать экологически чистое керосиновое топливо, которое можно использовать в авиационной и ракетной промышленности.

«В будущем возобновляемые источники энергии станут основой глобального энергоснабжения, – говорит глава отдела Агентства по энергетике и транспорту Карстен Леммер. – Виды топлива, получаемые с использованием солнечной энергии, имеют большой потенциал для долговременного хранения, синтеза химического сырья и сокращения выбросов CO<sub>2</sub>».

Сейчас система «SYNLIGHT» ограничена количеством электричества, требуемым для работы. Всего за четыре часа она тратит столько энергии, сколько обычный дом за год. Учёные рассчитывают за ближайшие несколько лет доработать систему и перевести её на питание от солнечных батарей.

Пока что система находится на стадии тестирования, но как только удастся добиться значимых результатов, её габариты будут увеличены в 10 раз. По оценкам исследователей, это произойдёт уже в течение нескольких лет.

[www.gazeta.ru](http://www.gazeta.ru)  
24.03.2017



# Рецензирование научных работ

В. П. БУДАК

E-mail: BudakVP@gmail.com

## Аннотация

В настоящей заметке собраны сведения о порядке рецензирования статей в научно-технических журналах на примере мировых лидеров издания журналов – *Elsevier, Springer, Academic Press*, – по сведениям, размещённым на их сайтах. Рецензирование научной литературы является неотъемлемой частью научного исследования, когда его результаты становятся доступными для научного сообщества для дискуссии на пути от выполнения научной работы до защиты её на ученом совете. Цель заметки – познакомить авторов и рецензентов с процессом прохождения рукописью пути от момента получения её редакцией до публикации, чтобы каждый понимал свою роль в этом процессе с позиций лучших мировых образцов.

**Ключевые слова:** рецензирование, научная публикация, научно-технический журнал.

Какая характеристика научного исследования отличает его от алхимии, мистики, оккультизма и магии? Прежде всего открытый доступ к результатам для обсуждения, воспроизведения, и в конечном итоге опровержения. Научное знание должно быть общедоступным, оно не должно быть личным невоспроизводимым опытом, как в мистицизме, или эзотерической тайной, доступной только посвященным, как магия или алхимия.

В 1665 году первое в мире английское научное Лондонское королевское общество по развитию знаний о природе (*The Royal Society of London for the Improvement of Natural Knowledge*), созданное в 1660 году и утверждённое Королевской хартией в 1662 году, опубликовало первый выпуск журнала «*Philosophical Transactions*». С тех пор рецензируемая периодика является неотъемлемой частью научного метода и стала таковой с момента появления науки в её современной форме.

На сегодняшний день рецензирование научных работ коллегами и их последующая публикация в научных журналах по-прежнему является ос-

новным способом регистрации, проверки и распространения научных открытий и результатов. Процесс публикации и скорость, с которой статьи рецензируются и публикуются, являются ключевыми элементами признания соответствующих научных исследований. Публичная защита диссертаций является естественным продолжением публикаций в рецензируемых изданиях.

При рецензировании оценивается и подтверждается научный уровень работы исследователя. Хотя в последние годы процесс рецензирования подвергается некоторой критике, он остается единственным распространенным методом научной оценки исследований и краеугольным камнем процесса научной публикации. Журнал «Светотехника», как и большинство научных изданий, зависит от эффективного процесса рецензирования, необходимого для того, чтобы поддерживать качество и достоверность отдельных статей.

Большинство рецензентов сами являются авторами, исследователями. Рецензенты являются коллегами и товарищами авторов, которые хотят непосредственно способствовать этой части научного процесса. Поэтому рецензенты играют очень важную роль в науке и в научных публикациях. На протяжении более 300 лет, ученые и исследователи опирались на экспертную оценку для проверки исследований, привлечения других специалистов в поддержку представленной работы, а также для налаживания связей и увеличения обмена информацией в конкретных областях.

Процесс рецензирования позволяет авторам и редакторам использовать и развивать свой собственный опыт в ряде важных направлений:

- гарантирует соответствие научного процесса строгим стандартам – системы экспертной оценки существуют уже в течение столетий, и каждое поколение исследователей способствует росту научной информации;
- поддерживает общность требований журнала к качеству исследова-

ний, выявляя недействительные исследования, помогая журналу сохранить его качество и стандарты;

- определяет научные обязательства перед сообществом в своей области науки;
- устанавливает отношения между авторами и редакцией журналов, причем некоторые авторы приглашаются на работу в редакции;
- определяет профессиональную этику, так как авторы и рецензенты часто меняются ролями, и рецензент платит автору той же вежливостью, какую он получил, будучи автором своей статьи;
- задаёт репутацию и основные показатели для данного сообщества;
- определяет достоверность современной информации в литературе.

Процесс рецензирования можно представить в виде схемы, представленной на рис. 1.

Существуют три основных типа рецензий:

1. Одиночная скрытая рецензия – имена рецензентов скрыты от авторов.

Это традиционный и наиболее распространенный метод рецензирования. Преимущество – анонимность рецензента открывает возможность беспристрастной рецензии, свободной от влияния автора. Недостатки – существует опасность для автора, что рецензент, работая в той же области, что и автор, задержит публикацию статьи, чтобы опубликовать близкие результаты первым. Рецензенты могут использовать свою анонимность для излишней критичности или резкости, комментируя работы автора.

2. Двойная скрытая рецензия – оба, и рецензент, и автор, остаются анонимными друг для друга.

Преимущество – анонимность автора предотвращает смещение рецензии по причине, например, оценок прежних работ автора, его места работы, страны проживания. Статьи, написанные «престижными» или знаменитыми авторами, рассматриваются на общих основаниях содержания представленной работы, а не репутации автора. Недостатки – неясно, сможет ли автор статьи быть по-настоящему «слепым» – рецензент часто может определить автора по стилю изложения, теме, используемому методу или через цитаты.

3. Открытая рецензия – автор и рецензент знают друг друга.

Преимущество – некоторые исследователи считают этот тип рецензии наилучшим путем против недобрых комментариев, остановки плагиата, предостережения рецензентов от преднамеренных задержек статьи, и поощрения открытых, честных обзоров. Недостатки – другие утверждают противоположное мнение. Они считают, что открытая рецензия является менее честным процессом, в котором вежливость или страх возмездия может заставить рецензента воздержаться или смягчить критику. Например, младшие рецензенты могут стесняться критиковать более уважаемых авторов из страха повредить свою научную карьеру. Независимые исследования, как правило, это поддерживают.

Рецензирование помогает редактору принять решение о публикации и через взаимодействие с автором улучшить качество статьи. Любой выбранный рецензент, понявший недостаток своей квалификации для анализа представленной ему рукописи или невозможность рассмотрения работы в срок, обязан уведомить об этом редактора.

При рецензировании необходимо соблюдать полную конфиденциальность по отношению к рукописи статьи. Она не может демонстрироваться или обсуждаться с другими экспертами, за исключением случаев, согласованных с редакцией. Рецензент обязан стремиться быть максимально объективным. Недопустимы личностные выпады в отношении автора статьи. Рецензенту следует выражать свой взгляд ясно с соответствующими аргументами.

Рецензенты должны определить соответствующие опубликованные работы, которые не были процитированы авторами. Любое заявление, что наблюдение, вывод или аргумент уже ранее сообщались, должно сопровождаться соответствующими цитатами. Рецензент также должен обращать внимание редактора на существенное сходство или совпадение результатов рукописи и любой другой опубликованной работы.

Неопубликованные материалы, изложенные в представленной на рассмотрение рукописи, не могут быть использованы рецензентом в его собственных исследованиях без согласия автора. Конфиденциальная информация или идеи, по-

лученные при рецензировании не должна разглашаться и использоваться с личной выгодой. Рецензент не должен рассматривать рукописи, в которых имеется конфликт интересов с автором, для конкуренции, совместных работ или других отношений и связей ни с одним из авторов, компаний или учреждений, связанных с рукописью.

Экспертная оценка выполняет две основные функции:

- действует как фильтр: гарантирует, что исследование должным образом проверено перед публикацией;

- улучшает качество исследований: тщательная рецензия статьи другими специалистами помогает отточить ключевые моменты и исправить непреднамеренные ошибки.

Перед тем, как приступить к написанию рецензии рецензент должен продумать вопросы:

1. Действительно ли статья, которую вам в настоящее время предложено рецензировать, соответствует вашей квалификации? Редактор, который обратился к вам, может не знать точно ваши области интересов, а рассматривать ваши работы в более широком контексте. Принимайте приглашение, только если вы достаточно компетентны для оценки данной статьи.

2. Имеется ли у вас достаточно времени для рецензии статьи? Рецензия статьи может потребовать довольно много времени. Время, необходимое для рассмотрения может варьироваться от предмета, но в среднем статья требует не менее 3 часов, чтобы ее прочитать должным образом. Будет ли у вас достаточно времени до срока, предусмотренного в приглашении, чтобы провести тщательный обзор? Если вы не можете провести рецензию, то надо сразу же дать знать редактору, и, если возможно, назвать редактору альтернативных рецензентов.

3. Существует ли опасность конфликта ваших интересов с автором? Конфликт интересов не обязательно исключает вас из списка рецензентов статьи, но полная информация позволит редактору принять наиболее взвешенное решение. Например, если вы работаете в одном отделе или институте, являлись ранее соавтором или есть профессиональные или финансовые связи со стать-

ей. Все факторы должны быть перечислены при ответе на предложение редактора о рецензировании.

Рецензирование проводится конфиденциально, статья не подлежит разглашению третьим лицам. Если рецензент хочет узнать мнение коллег или студентов по статье, то он должен сообщить об этом редактору заранее. Большинство редакторов приветствуют дополнительные комментарии, но тот, кто ещё будет вовлечен, также должен сохранять процесс рецензирования конфиденциальным. Рецензент не должен пытаться связаться с автором.

Рецензенту необходимо иметь в виду, что после передачи рецензии, что любые его рекомендации, будут учитываться при выработке окончательного решения, принимаемого редактором.

Для написания рецензии необходимо отложить в сторону два-три часа все остальные дела. Лучше завершить оценку в один присест, чем вырывать время то здесь, то там.

Рукопись статьи необходимо оценить по ряду критериев:

1. Новизна: является ли статья достаточно новой и интересной для публикации? Насколько существенен ее вклад в науку? Существует ли статья научным стандартам журнала? Является ли тема исследования достаточно существенной в данной отрасли знаний? Для того чтобы оценить новизну статьи и уместность её публикации полезно оценить исследование в процентах. Относится ли она к верхним 25 % статей в данной области? Здесь очень уместен литературный обзор предыдущих публикаций в данной области.

2. Структура статьи: как четко статья излагает содержимое? Есть в ней все ключевые элементы: аннотация, введение, методика, результаты, выводы?

Насколько точно заголовок соответствует содержанию статьи? Отражает ли аннотация содержание работы? Насколько точно и ясно введение формулирует проблему исследования?

Как правило, введение имеет один или два абзаца. Оно должно определить задачу и цели настоящего исследования, которые должны логично следовать из состояния вопроса в современной литературе в данной

области. Введение должно описывать эксперимент, гипотезу, метод исследования.

Методология: насколько аккуратно объяснил автор метод получения данных? Позволяет ли предлагаемая модель ответить на поставленные вопросы? Достаточно ли изложено информации для однозначного повторения исследования? Если предлагаемые методы новы, то насколько подробно они определены? Как точно описана экспериментальная установка? Насколько точно описана методика измерений?

Результаты: здесь строго и точно должны быть описаны полученные результаты: насколько логично и ясно они изложены? Насколько строго они проанализированы? Заключение и дискуссия: следуют ли выводы из результатов статьи? Насколько соответствуют полученные результаты предыдущим исследованиям? Поддерживают или опровергают выводы существующие теории?

Рецензент должен оценить язык написания статьи. Грамматические ошибки существенно затрудняют понимание и научных результатов. Однако рецензенту не следует исправлять эти ошибки, а только сообщить об этом редактору.

Наконец, при рассмотрении всей статьи в целом, следует определить, являются ли рисунки и таблицы органической частью статьи? Как точно описывают фигуры результаты? Насколько они ясные и понятные? Насколько точен и полон список цитируемой литературы? Не пропущены ли какие-либо основополагающие работы?

В рецензии очень существенны этические проблемы. Прежде всего плагиат: если есть подозрения, что работа в существенной степени копирует результаты другой работы, то необходимо сообщить об этом редактору с соответствующими цитатами. Не менее существенно подозрение в обмане. Очень трудно обнаружить и определить мошенника, но если у рецензента есть подозрение, что результаты в статье не соответствуют действительности, то обязательно нужно обсудить это с редактором.

Заключительным шагом в оценке статьи является написание отчета. Если есть ощущение, что вы не укладываетесь к отведенному сроку,

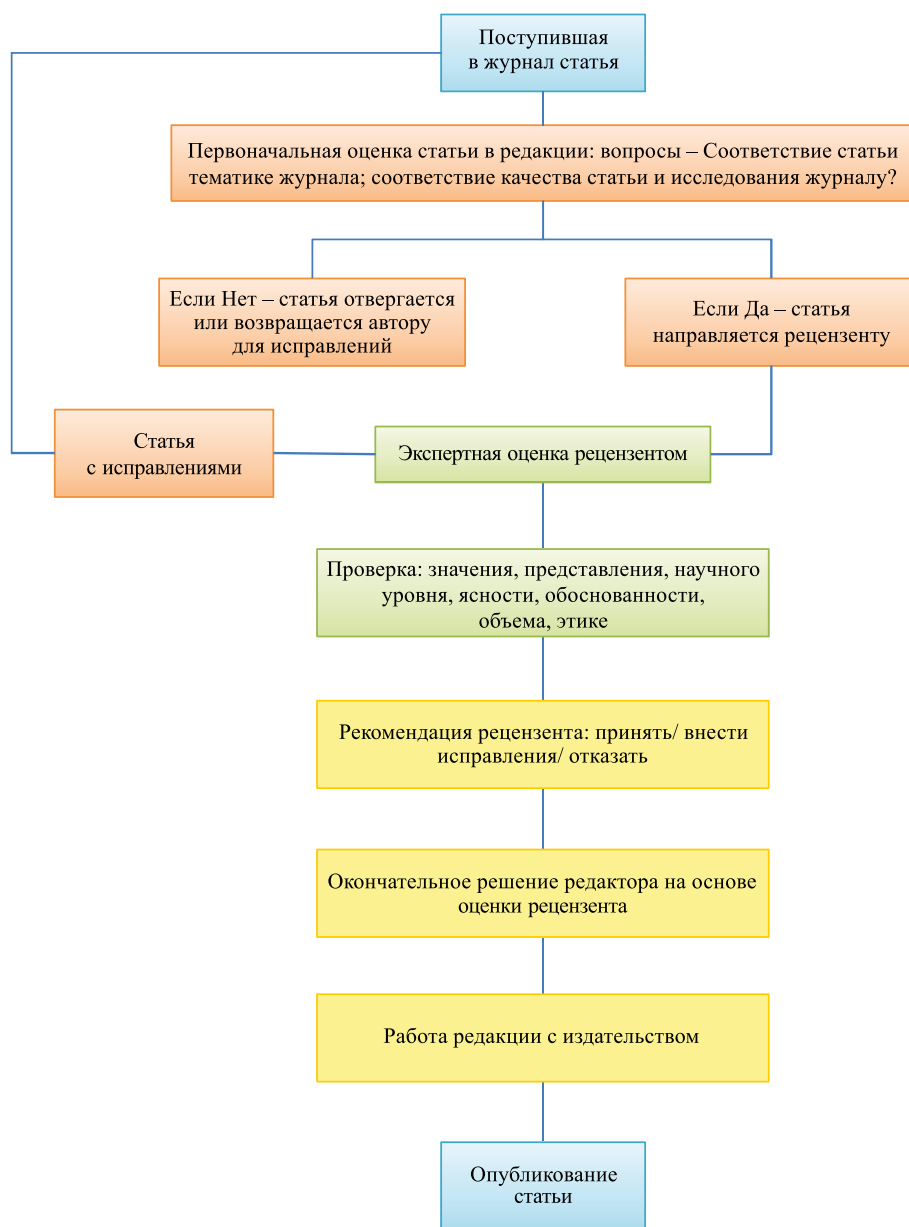


Рис. 1. Схема прохождения рукописи от стадии получения редакцией до публикации

то сообщите редактору. Отчёт должен содержать ключевые элементы рецензии и касаться вопросов, изложенных в предыдущем разделе. Комментарии должны быть вежливыми и конструктивными, не содержать никаких личных замечаний. Важное значение имеет определение и пояснение недостатков работы. Рецензенту необходимо объяснить и изложить свое мнение так, чтобы как редакторы, так и авторы могли бы лучше понять сущность его комментариев.

Когда вы даёте рекомендации редактору в отношении статьи, стоит продумать категорию:

1. статья отклоняется из-за плохого качества, или не соответствия тематике журнала;

2. статья принимается без исправлений;

3. статья принимается, но нуждается в минимальной редакции без последующего рецензирования

4. статья принимается, но нуждается в серьезной редакции с последующим повторным рецензированием.

В последнем случае необходимо четко определить и указать редактору, согласитесь ли вы рассмотреть переработанную статью после её просмотра.

## О требованиях к электроустановкам для ванн и душевых комнат

В настоящей публикации освещаются и комментируются основные положения ГОСТ [1].

### 701. Область применения

Стандарт распространяется на электрические установки в помещениях, содержащих стационарную ванну или душ и к окружающим их зонам, в соответствии с указаниями данного стандарта.

Стандарт не применяется к специальным установкам, например, специальным душам, используемым в производственных помещениях или в лабораториях.

Примечание 1 — К помещениям, содержащим ванну или душ для лечебных целей, могут предъявляться специальные требования.

Примечание 2 — Готовые ванны и/или душевые кабины заводского изготовления должны соответствовать ГОСТ [2].

#### Комментарий

ГОСТ [1] устанавливает требования безопасности к электрическим многофункциональным душевым кабинам и электрическим отдельным многофункциональным душевым кабинам (приборы), предназначенным для бытовых и аналогичных целей, номинальное напряжение которых не превышает 250 В для приборов однофазных и 380 В — для других приборов.

Стандарт также распространяется на приборы, не предназначенные для использования в бытовых условиях, но которые могут быть источником опасности для людей, не являющихся специалистами, но пользующихся приборами в гостиницах, фитнес-центрах и подобных учреждениях.

### 701.30.1 Общие характеристики

При использовании стандарта размеры зон определяются в соответствии с требованиями 701.30.2—701.30.4. Для готовых стационарных ванн заводского изготовления и/или душевых кабин размеры зон определяются для конкретного расположения поддона.

Наличие горизонтальных или наклонных потолков, стен с окнами или без окон, дверей, настилов и перегородок может привести к допол-

нительным ограничениям для самих помещений, содержащих ванну или душ и их зон. Где размеры перегородок меньше чем размеры соответствующих зон, например, перегородка имеет высоту ниже 225 см, должно учитываться минимальное расстояние по горизонтали и вертикали (см. рис. 701.1 и 701.2).

Для электрооборудования, установленного в стенах или потолках, ограничивающих зоны, определённые в 701.30.2—701.30.4, и которое является частью поверхности этой стены или потолка, применяются требования для соответствующей зоны.

### 701.30.2 Описание зоны 0

Зона 0 является внутренней частью ванны или поддона с душем, см. рис. 701.1. Для душей без поддона высота зоны 0 составляет 10 см, и над её поверхностью присутствует зона 1, как и по горизонтали, см. рис. 701.2.

### 701.30.3 Описание зоны 1

Зона 1 ограничивается

а) уровнем пола и горизонтальной плоскостью, соответствующей фиксированному самому высокому положению насадки для душа или вентиля для воды или горизонтальной плоскостью, лежащей на 225 см выше верхней точки уровня пола,

б) вертикальной поверхностью:

— ограниченной ванной или душевым поддоном (см. рис. 701.1),

— на расстоянии 120 см от центральной точки стационарного вентиля для воды на стене или

— потолком для душей без поддона (см. рис. 701.2).

Зона 1 не включает зону 0.

Пространство под ванной или душем считается зоной 1.

### 701.30.4 Описание зоны 2

Зона 2 ограничивается

а) уровнем пола и горизонтальной плоскостью, соответствующей фиксированному самому высокому положению насадки для душа или вентиля для воды или горизонтальной плоскостью, лежащей на 225 см выше верхней точки уровня пола.

б) вертикальной поверхностью на границе зоны 1 и параллельной вертикальной поверхностью на расстоянии 60 см от зоны 1 (см. рис. 701.1).

Для душей без поддона нет никакой зоны 2, но увеличенная зона 1 обеспечивается горизонтальным размером 120 см, см. второй дефис перечисления б) 701.30.3 (см. рисунок 701.2).

#### Комментарий

Размеры зон 0, 1 и 2 в помещениях, содержащих ванну или душ с поддоном, или душ без поддона, указаны на рис. 701.1 и 701.2 ГОСТ [1].

### 701.4 Требования по обеспечению безопасности

#### 701.41 Защита от поражения электрическим током

##### 701.414 Защитная мера: сверхнизкое напряжение, системы БСНН и ЗСНН

Защита от прямого прикосновения в зонах 0, 1 и 2 должна быть обеспечена для всего электрического оборудования:

- ограждения или оболочки должны обеспечивать степень защиты не менее IPXXB или IP2X или

- изоляция должна выдерживать испытательное напряжение 500 В переменного тока в течение 1 минуты.

#### Приложение В Барьеры и размещение вне зоны досягаемости

##### 701.В.2 Барьеры

Защита от прямого прикосновения посредством барьеров не допускается.

##### 701.В.3 Размещение вне зоны досягаемости

Защита от прямого прикосновения посредством размещения вне зоны досягаемости не допускается.

##### 701.415 Дополнительная защита

##### 701.415.1 Дополнительная защита: защитные устройства дифференциального тока (УДТ)

В помещениях, содержащих ванну или душ, одно или более защитных устройств дифференциального тока (УДТ) с дифференциальным током срабатывания не более 30 мА должны обеспечить защиту всех цепей.

Использование такого УДТ не требуется для цепей:

— с защитной мерой «защита электрическим разделением», если какая-либо цепь используется для единичного оборудования;

– с защитной мерой ЗСНН или БСНН.

**Примечание**

В России применение системы ЗСНН не разрешается.

#### **Комментарий к пункту 701.415.1**

– Для защиты цепей к электроприемникам ваннных и душевых комнат целесообразно применять устройства дифференциального тока типа А с номинальным отключающим дифференциальным током 30 мА.

– Возможно применение устройств дифференциального тока типа А с номинальным отключающим дифференциальным током 10 мА для защиты одного электроприёмника.

#### **701.415.2 Дополнительная защита: дополнительное уравнивание потенциалов**

Изменение:

К системе дополнительного уравнивания потенциалов согласно 415.2 должны быть присоединены защитными проводниками открытые проводящие части и доступные прикосновению сторонние проводящие части в помещении, содержащем ванну или душ.

Дополнительное уравнивание потенциалов может быть выполнено как внутри, так и снаружи помещений, содержащих ванну или душ, как можно ближе к точке входа сторонних проводящих частей в такие помещения.

Площадь поперечного сечения защитных проводников уравнивания потенциалов

выбирают в соответствии с пунктом 543.1.3 ГОСТ [3].

Примеры возможных сторонних проводящих частей приведены ниже:

– металлические части систем водоснабжения и металлические части систем водоотведения;

– металлические части систем нагрева и металлические части систем кондиционирования воздуха;

– металлические части систем газоснабжения;

– доступные прикосновению конструктивные металлические части.

Металлопластиковые трубы не требуется соединять с дополнительной системой уравнивания потенциалов, если они недоступны прикосновению и если они соединены

с доступными прикосновению проводящими частями, которые непосредственно не подключаются к системе уравнивания.

В случаях, если в здании отсутствует основная система уравнивания потенциалов, следующие сторонние проводящие части, входящие в помещения, содержащие ванну или душ, должны быть включены в систему дополнительного уравнивания потенциалов:

– части систем водоснабжения и части систем водоотведения;

– части систем нагрева и части систем кондиционирования воздуха, части систем газоснабжения.

#### **Комментарий к пункту 701.415.2**

В соответствии с пунктом 542.4.1 ГОСТ [3] в каждой установке, где используется защитное уравнивание потенциалов, должен быть предусмотрен главный заземляющий зажим (главная заземляющая шина) и предусмотрена основная система уравнивания потенциалов.

#### **Приложение С Защитные меры для случая, когда электроустановка эксплуатируется квалифицированным или обученным персоналом**

Применяют ГОСТ [4] за исключением:

701.С.1 Непроводящие помещения

Защита от косвенного прикосновения с использованием меры защиты «непроводящие помещения» не допускается.

701.С.2 Защита с помощью местной незаземленной системы уравнивания потенциалов

Защита от косвенного прикосновения с помощью местной незаземленной системы уравнивания потенциалов не допускается.

701.413 Защитная мера: электрическое разделение

701.413.1 Общие требования

Дополнение.

Защита электрическим разделением должна использоваться только для:

– цепей, питающих единичные электроприемники; или

– цепей, питающих единственную розетку.

Электрические системы подогрева пола см. 701.753.

#### **701.5 Выбор и монтаж электрооборудования**

701.512.2 Внешние воздействия

Дополнение.

Находящееся в эксплуатации электрооборудование (см. 701.512.4 и 701.55) должно иметь следующие степени защиты:

– в зоне 0: IPX7,

– в зоне 1: IPX4,

– в зоне 2: IPX4.

Это требование не применяется к блокам питания электробритв, соответствующим требованиям ГОСТ [5], установленным в зоне 2, и где прямые брызги от душа маловероятны.

Электрооборудование для водоструйных систем, например, для водоструйной очистки общественных бань должно иметь степень защиты не менее IPX5.

#### **Комментарий к пункту 701.512.2**

С учётом требования пункта 701.414 степень защиты электрооборудования, устанавливаемого в ваннных и душевых комнатах, должна быть не менее:

– в зоне 0: IP27;

– в зоне 1: IP24;

– в зоне 2: IP24;

– за пределами зоны 2: IP24;

– для водоструйных систем IP25;

Для обеспечения электробезопасности блоки питания электробритв следует устанавливать вне зоны 2. Степень защиты указанных блоков целесообразно принимать равной IP24.

#### **701.512.3 Защита электропроводок в соответствии с внешними воздействиями**

Дополнение.

Применяются следующие требования:

а) Электропроводки к электрооборудованию в зонах 0, 1 или 2, проложенные по стенам, которые ограничивают эти зоны, должны быть смонтированы или на поверхности стен или заделаны в стену на глубину не менее 5 см.

Электропроводки для электроприемников в зоне 1 должны быть подведены:

– или вертикально сверху или горизонтально через стену к задней части устройства, когда стационарное оборудование устанавливается выше ванны (например, водонагреватель);

– или вертикально снизу или горизонтально через смежную стену, когда оборудование помещается в пространство ниже ванны.

б) Все другие скрытые электропроводки, включая монтажные изделия в стенах или перегородках, которые ограничивают зону 0, 1 или 2, должны быть заделаны на глубину не менее 5 см от поверхности.

с) В случае, если условия а) или б) не выполняются, электропроводки могут монтироваться, если:

– цепи защищаются или одной из защитных мер БСНН или ЗСНН, или с помощью электрического разделения цепей, или

– цепи защищаются дополнительной защитой согласно п. 412.5 ГОСТ [4], УДТ с дифференциальным током срабатывания не более 30 мА. Такие цепи должны содержать защитный проводник, или

– используются бронированные кабели или проводники в металлическом заземлённом экране, металлическое покрытие которых удовлетворяет требованиям для защитного проводника цепи, или если кабели или проводники проложены в заземлённой трубе, коробе, специальном коробе, удовлетворяющим требованиям этого стандарта для защитного проводника, или используются изолированные концентрические конструкции, или

– монолитные кабели или проводники, обеспеченные механической защитой, например, металлической трубой, которая защитит кабель от повреждения гвоздями, винтами, свёрлами и т.п.

#### **Комментарий к пункту 701.512.3**

– В ваннных и душевых комнатах для обеспечения безопасности целесообразно предусматривать скрытые электропроводки.

– В соответствии с требованием пункта 701.415.1 ГОСТ [1] все цепи (электропроводки) ваннных и душевых комнат защищаются устройствами дифференциального тока с током срабатывания не более 30 мА, поэтому глубина заделки (прокладки) электропроводок может быть менее 5 см,

– электропроводки, проложенные скрыто, должны быть обеспечены защитой от механических повреждений. Для этой цели вместо стальных труб возможно применение пластмассовых труб, т.к. все цепи защищены устройствами дифференциального тока,

– в позиции с) вместо слов «согласно п. 412.5 МЭК 60364–4–41 [4]»

следует читать «согласно п. 415 МЭК 60364–4–41 [4]».

#### **701.512.4 Монтаж распределительных устройств, устройств управления и монтажных изделий в соответствии с внешними воздействиями**

Установка следующих распределительных устройств и устройств управления разрешаются в зонах:

Зона 0 – не допускаются.

Зона 1:

– соединительные коробки и арматура для подключения электроприемников, расположенных в зонах 0 и 1, в соответствии с 701.55;

– аппаратура, включая розетки для цепей систем БСНН и ЗСНН с напряжением, не превышающим 25 В переменного тока или 60 В постоянного тока. Источник питания должен быть установлен снаружи зон 0 и 1.

Зона 2:

– аппараты, кроме розеток;

– аппараты, включая розетки для цепей, защищённых системами БСНН или ЗСНН. Источник питания должен быть установлен вне зон 0 и 1.

– блоки питания электрооборудования в соответствии с ГОСТ [5];

– аппараты, включая розетки, для сигнализации и оборудования связи, если такое оборудование защищается системами БСНН или ЗСНН.

Для монтажа распределительных устройств, устройств управления и монтажных изделий должны учитываться требования перечисления б) 701.512.3 относительно остающейся толщины стены.

#### **Комментарий к пункту 701.512.4**

В соответствии с пунктом 701.55 к электроприёмникам, монтируемым в ваннных и душевых комнатах, необходимо предусматривать непосредственное подключение, поэтому в зоне 1 не следует устанавливать соединительные коробки и арматуру.

Штепсельные розетки 220 В со шторками, закрывающими контакты при вынутой вилке, могут быть установлены в ваннных или душевых комнатах за пределами зоны 2, если они защищены устройством защитного отключения с дифференциальным током срабатывания, не превышающим 30 мА, см. пункт 411.3.3 ГОСТ [4].

Выключатели освещения ваннных и душевых комнат целесообразно

устанавливать вне зон 0, 1 и 2 или вне указанных помещений.

#### **701.55 Электроприемники**

Дополнение.

В зоне 0 электроприемники могут быть установлены при условии, что оборудование одновременно:

– изготовлено по соответствующему стандарту и предназначено для использования в этой зоне согласно инструкции изготовителя по монтажу и эксплуатации,

– является стационарным с непосредственным подключением, и

– защищается системой БСНН с номинальным напряжением, не превышающим 12 В переменного тока или 30 В постоянного тока.

– В зоне 1 может быть установлено стационарное электрооборудование с непосредственным подключением. Оборудование должно быть предназначено для установки в зоне 1 согласно инструкции изготовителя по монтажу и эксплуатации:

– водоструйные системы;

– насосы для душа;

– оборудование, защищённые системами БСНН или ЗСНН с номинальным напряжением, не превышающим 25 В переменного тока или 60 В постоянного тока, например, светильники;

– оборудование вентиляции;

– полотенцесушители;

– водонагреватели;

– светильники.

**Примечание 2 – В Дании и Испании** оборудование вентиляции, полотенцесушители и светильники, не защищённые системами БСНН или ЗСНН с номинальным напряжением, превышающим 12 В переменного тока или 30 В постоянного тока, должны быть установлены вне зон 0 и 1.

#### **Комментарий к пункту 701.55**

Для обеспечения электробезопасности требование об установке электроприёмников вне зон 0 и 1, указанное в примечании 2, целесообразно применять при проектировании и монтаже электроприёмников ваннных и душевых комнат.

#### **701.753 Электрические системы подогрева пола**

Дополнить

Для электрических систем подогрева пола могут использоваться нагревательные кабели или нагревательные панели, соответствующие

стандартам на изделия при условии, что у них есть или металлическая оболочка или металлический корпус или мелкочаеистая металлическая сетка. Мелкочаеистая металлическая сетка, металлическая оболочка или металлический корпус должны быть соединены с защитным проводником схемы электроснабжения. Выполнение последнего требования не обязательно, если для подогрева пола используется система БСНН.

Для электрических систем подогрева пола защитная мера «защита электрическим разделением» не допускается.

#### Комментарий

Электрообогрев полов в ванных и душевых комнатах, в том числе с применением УДТ, следует выполнять в соответствии с требованиями ГОСТ [6].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 50571.7.701–2013 (МЭК 60364–7–701:2006) «Электроустановки низковольтные. Часть 7. Требования к специальным установкам или местам их размещения. Раздел 701. Помещения для ванных и душевых комнат».
2. ГОСТ ИЕС60335–2–105–2015 «Бытовые и аналогичные электроприборы. Часть 2–105. Частные требования для многофункциональных душевых кабин».
3. ГОСТ Р 50571.5.54–2013 (МЭК 60364–5–54:2011) «Электроустановки низковольтные. Часть 5–54. Выбор и монтаж электрооборудования. Заземляющие устройства, защитные проводники и защитные проводники уравнивания потенциалов».
4. ГОСТ Р 50571.3–2009 (МЭК 60364–4–41:2005) «Электроустановки низковольтные. Часть 4–41. Требования для обеспечения безопасности. Защита от поражения электрическим током».
5. ГОСТ ИЕС61558–2013 «Безопасность силовых трансформаторов, блоков питания и аналогичного оборудования. Часть 2–5. Дополнительные требования к трансформаторам и блокам питания для электробритв».
6. ГОСТ Р 50571.25–2001 «Электроустановки зданий. Часть 7. Требования к специальным электроустановкам. Раздел 704. Электроустановки зданий с электрообогреваемыми полами и поверхностями».

**Р.И. Пашковский инж.** –  
проектировщик, корреспондент  
журнала «Светотехника»

Руководство Московской области разработало проект «Светлый город» для наведения порядка с уличным освещением в городах и районах Подмосковья. Подробнее об этом рассказал министр энергетики Московской области Леонид Неганов, чье ведомство ответственно за реализацию данного проекта. По словам министра, сформировано четыре направления, по которым будут вестись работы.

Первое – это ликвидация темных мест там, где сетей уличного освещения вообще нет или их недостаточно и требуется установка дополнительных светильников. «Нужно выявить эти места и сформировать программу ликвидации темных мест, исходя из приоритетов жителей, в том числе из обращений на сайт «Добродел», – пояснил Неганов.

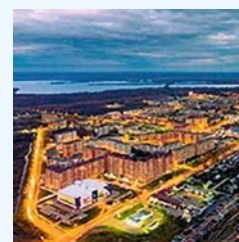
Второе направление – модернизация устаревших светильников, которые потребляют слишком много энергии, что ведёт к неэффективным расходам бюджета. Они будут заменены на новые, современные энергоэффективные светильники.

«Третье направление – внедрение единых стандартов, приведение всех эксплуатирующих организаций к единой «планке», чтобы проводились регламентные работы, чтобы сети не выходили из строя, чтобы в случае выхода из строя отдельных фонарей они менялись в установленные кратчайшие сроки, – отметил министр. – Те жалобы на негорящие фонари, которые поступают на портал «Добродел», свидетельствуют не только о том, что сети создавались много лет назад и сильно изношены, но и о недостаточном качестве эксплуатации со стороны эксплуатирующих организаций».

Четвёртое направление – реализация отдельных знаковых проектов, в том числе по выбору жителей.

«Это могут быть и локальные проекты, которые, тем не менее, дают об-

щественный резонанс, которые интересны жителям, которые создают места притяжения», – заключил Неганов.



Существующий список будет дополнен в мае этого года, для чего сформируют дополнительный перечень, а жители опять-таки на портале «Добродел» определят, какие участки включить в планы на этот год. При равных голосах предпочтение будет отдано местам, расположенным в непосредственной близости от социальных объектов. Жалобы, которые не попадут в дополнительный список в мае, будут учтены при формировании еще одного дополнительного списка в октябре. Если объект не попадает в этот список, то перейдет уже на 2018 год. В итоге модернизации подлежат существующие точки освещения там, где в этом есть реальная польза для жителей. Это дороги и маршруты, по которым школьники возвращаются домой в темное время суток, наиболее аварийные участки на улицах населённых пунктов, а также самые востребованные места отдыха и досуга людей – парки, скверы, прогулочные зоны.

Кроме того, заключён энергосервисный муниципальный контракт с ООО «ЭНЕРГОНИКА» на реконструкцию системы уличного освещения всего городского поселения Шатура. На сегодняшний день эта компания уже зарезервировала средства для выполнения работ, и в настоящий момент формируются бригады специалистов, которым предстоит устанавливать новые светильники (со светодиодами!). В долгий ящик это дело обещают не убирать, и к концу мая – началу июня все увидят освещённую по-новому Шатуру.

#### На заметку

Помимо установки новых точек освещения в Подмоскovie запланирована замена 40 тыс. устаревших светильников на современные и энергоэффективные. В итоге доля энергоэффективных светильников должна увеличиться до 85,7 %. При этом уже сегодня их доля в Подмоскovie выше, чем в среднем по России. Сейчас этот показатель в регионе – 77,1 %. В текущем году планируется увеличить в два раза темпы строительства новых линий освещения вдоль улично-дорожной сети Московской области. Всего планируется установить свыше 17 тыс. новых точек освещения. Около 12 тыс. из них будет установлено и модернизировано на основании обращений жителей, направленных на портал «Добродел».

<http://inshatura.ru>  
17.03.2017

## IV Всероссийский светотехнический форум в Саранске

IV Всероссийский светотехнический форум прошёл в Саранске 15–16 марта 2017 года. Два года назад форум успешно сделал заявку на самое крупное отраслевое собрание профессионалов, а в 2017 году он подтвердил значимость своей площадки для консолидации отрасли и выработки отраслевой стратегии развития. Программа форума в 2017 году была чрезвычайно разнообразна и насыщена. Организаторы постарались собрать все самое интересное и важное, самое новое и перспективное. Более 500 посетителей, почти два десятка мероприятий – конференции, семинары, мастер-классы, круглые столы, конкурсы, панельные дискуссии. Диапазон тем, обсуждаемых на мероприятиях форума, был очень широк – от нормативной базы и научных тем до передовых технологических разработок и бизнес-аналитики.

Форум проводился по инициативе Правительства Республики Мордовия при поддержке Министерства экономического развития Российской Федерации. Организатором выступил АУ «Технопарк-Мордовия», а в число со-организаторов вошли Ассоциация производителей светодиодов и систем на их основе, ООО «ИД Электроника», МГУ им. Н.П. Огарёва, ООО «НИИИС имени А.Н. Лодыгина», Ассоциация «Российский свет», ООО

«Непес Рус», ООО «Центр нанотехнологий и наноматериалов РМ».

Пленарное заседание открыл председатель Государственного Собрания Республики Мордовия Владимир Васильевич Чибиркин. Свои приветствия Форуму прислали председатель НТС «Светотехника» Г.В. Боос и организатор крупнейшего европейского симпозиума по светодиодам *LED Professional* Зигфрид Люгер (Австрия).

Важно отметить, что форум позволил не только знакомиться с докладами в режиме конференций, но и вести живой диалог по самым актуальным вопросам. Пленарная дискуссия о государственном регулировании и саморегулировании рынка, которую модерировал руководитель АПСС Евгений Долин, позволила участникам обсудить с представителем Минэнерго РФ Дмитрием Мельниковым проект обновлённого постановления Правительства РФ № 602 «Об утверждении требований к осветительным устройствам и электрическим лампам, используемым в цепях переменного тока в целях освещения», с исполнительным директором Ассоциации «Честная позиция» Сергеем Гвоздевым-Карелиным – реализацию проекта «Соответствие в светотехнике», а с председателем правления АПСС Виталием Богдановым – новую инициативу АПСС по Этической Хартии в сфере импорта светотехники.

Озвученные руководителем рабочей группы АПСС по мониторингу рынка Сергеем Мордавченковым предварительные показатели за 2016 г. показали абсолютно новую ситуацию на рынке. Доля светодиодного освещения в обороте профессиональной светотехники на российском рынке превысила 70 %, при этом общий объём всего рынка упал на 13 % к 2015 г.



Новое интересное и востребованное событие форума – конференция по агрофотонике (освещению в сельском хозяйстве), организованная АПСС. Программа исследований консорциума «Агрофотоника», доложенная сотрудницей Ботанического сада Биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова кандидатом биологических наук Ольгой Мироновой, вызвала огромный интерес участников конференции.

Программа форума включала и ставшие уже традиционными мероприятия, такие как главное практическое мероприятие Форума – конференция «Современная светотехника», XIII Всероссийская с международным участием научно-техническая конференция «Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики»,





семинары и мастер-классы, организуемые ООО «НИИИС имени А.Н. Лодыгина», и многие другие.

Во исполнение поручения президента РФ В.В. Путина в 2015–2016 гг. Правительство РФ разработало комплекс мер, направленных на ускорение перехода в бюджетном секторе (включая организации с участием государства) на энергоэффективные светодиодные источники света.

Постановлением Правительства Российской Федерации от 27.09.2015 № 971 ставится поэтапная задача к 2020 году обеспечить в организациях закупающих по 44 ФЗ и 223 ФЗ долю светодиодного освещения 75 %. Причём с 2018 года в светильниках для этого сегмента рынка должны стоять только российские светодиоды.

Это означает острую необходимость взять курс на проведение интенсивной модернизации светотех-

нической отрасли путём перехода на отечественные светодиодные источники света и светильники на их основе. Необходимо консолидировать усилия участников рынка, преодолеть инерцию мышления и ожидания «ещё чуть-чуть подождать», преодолеть недоверие, наладить эффективную и широкую кооперацию для обеспечения повышения глубины локализации новых технологий.

С другой стороны, мы должны сформулировать чёткие и понятные для поставщиков и потребителей правила описания свойств продукции. АПСС предложила рынку Стандарт (СТО) АПСС «Требования к техническим и эксплуатационным параметрам светодиодных светильников». Его обязались соблюдать все 26 членов АПСС. На конференции «Современная светотехника» председателем Комитета по стандартизации и НПА

Александром Богдановым был сделан специальный доклад о СТО.

На пленарном заседании Евгений Долин огласил проект резолюции форума, доработанный текст которой будет направлен в Правительство РФ.

Выполнение задачи перевооружения светотехнической отрасли и увеличение глубины локализации современных технологий является ключом к сохранению светотехнического производства в России, к росту доли российских производителей на внутреннем и международном рынке, а значит, и к росту нашего благосостояния.

Подробные аннотации докладов доступны на сайте форума [www.lighting-forum.ru](http://www.lighting-forum.ru) в разделе новостей. Презентации докладчиков будут опубликованы там же.

*Е.В. Долин,  
АПСС*

## **О проведении XIII Всероссийской с международным участием научно-технической конференции «Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики»**

15–16 марта 2017 г. в столице Республики Мордовия г. Саранске в рамках IV Всероссийского светотехнического форума с международным участием, организатором которого является Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, на базе АУ «Технопарк-Мордовия» прошла XIII Всероссийская с международным участием научно-техническая конференция «Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики».

В этом году география участников существенно расширилась – интерес к конференции проявили более ста учёных и представителей промышленности из Москвы, Казани, Санкт-Петербурга, Томска, Нижнего Новгорода, Ростова-на-Дону, Самары, Омска, Волгограда, Камышина, Ижевска, Йошкар-Олы, Пензы и других городов России. В работе конференции приняли участие и зарубежные учёные из Софийского технического университета (Болгария), Таджикского национального университета (Таджикистан), Тер-

нопольского национального технического университета имени Ивана Пулюя (Украина).

В рамках конференции работали четыре секции: «Высокоэффективные и ресурсосберегающие источники оптического излучения, светотехническое материаловедение»; «Светодиодная светотехника, теоретическая светотехника, физиологическая оптика, техника освещения»; «Метрология, стандартизация и сертификация»; «Перспективные электротехнические устройства: компьютерное моделирование и разработка».

Работа конференции началась с приветственного слова доктора технических наук, профессора кафедры светотехники НИУ «МЭИ», главного редактора журнала «Светотехника» В.П. Будака. Владимир Павлович рассказал о тенденциях развития журнала, о механизмах взаимодействия авторов статей с редакцией журнала и призвал участников к тесному сотрудничеству и публикационной активности.

Особый интерес присутствующих вызвали доклады В.И. Чепур-

нова из Самарского национального исследовательского университета им. С.П. Королёва о перспективах использования кремниевой подложки с буферным слоем пористого карбида кремния и нитрида алюминия в технологии производства светоизлучающих диодов, директора Нижегородской компании ООО «Студия Ю» О.С. Юрченко об использовании ментальных карт города при формировании его ночного образа на примере Нижнего Новгорода, А.А. Савельева и Д.В. Бортника из Марийского государственного университета (г. Йошкар-Ола) о способах повышения эффективности передачи электроэнергии.

Традиционно в работе Конференции принимали участие ученые-светотехники из Казанского государственного энергетического университета и Донского государственного технического университета. Коллеги из Ростова-на-Дону поделились своим научным опытом в исследованиях спектров источников света с помощью монохроматора УМ-2, оборудованного цифровой лабораторией типа «Кобра-3» и специальной ком-



пьютерной программой «*Measure*» и последующего определения светового потока и световой отдачи ламп по их спектральному составу. Доктор биологических наук, профессор кафедры промышленной электроники и светотехники Р.Х. Тукшаитов в своём докладе «О принципиальной необходимости доработки требований к коэффициенту мощности в ГОСТ Р 55705–2013 и IEC61000–3–2» призвал коллег – представителей промышленности – применять при разработке и изготовлении светодиодной продукции более эффективные корректоры коэффициента мощности и ёмкостные стабилизаторы.

Активное участие в работе конференции принимали и представители промышленных предприятий. Инженер-технолог АО «СКБ «ЗЕНИТ» (г. Москва) Н.Ю. Петренко рассказал о применяемых на предприятии технологических и конструктивных особенностях импульсных источников инфракрасного излучения для повышения их надёжности. Представители ГУП Республики Мордовия «Лисма» В.Н. Ботанцин и В.И. Беляков поделились опытом в вопросах исследования газоразрядных ламп высокого давления при работе в режимах различной мощности без выключения лампы, а также рассказали о некоторых технологических особенностях изготовления таких ламп, повышающих их энергоэффективность.

Большое внимание, как со стороны гостей, так и со стороны органи-

заторов конференции, уделялось вопросам облучательных установок для различных целей: для использования в растениеводстве, для обеззараживания воздуха и воды.

Рассматривались и обсуждались на конференции и вопросы проведения метрологических измерений, касающиеся измерений параметров трубчатых УФ-ламп низкого давления, миниатюрных люминесцентных и светодиодных ламп, систем организации деятельности на предприятиях Республики Мордовия, а также вопросы развития электрических сетей *Smart GRID* и алгоритмов энергосбережения для автономных систем теплоснабжения.

По материалам конференции издан сборник научных трудов, содержащий более 120 докладов.

Живой интерес у участников светотехнического форума вызвала выставка студенческих инновационных проектов Института электроники и светотехники Национального исследовательского Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарёва, состоявшаяся в рамках конференции. На выставке было представлено 13 проектов, часть из которых сопровождалась уже получившими апробацию макетными и действующими образцами. В ходе обзора экспонатов несколько проектов получили поддержку и были рекомендованы к внедрению со стороны представителей регионального правительства. Это проекты Р.Р. Волкова «Светодиодная прожекторная

лампа для локомотивов», коллектива молодых учёных кафедры электроники и наноэлектроники «Аппаратно-программные комплексы для испытания светодиодных драйверов и ЭПРА», А.В. Балакина и С.А. Вишневого «Многофункциональные светодиодные световые приборы на базе светильника «Армстронг». В будущем целесообразно было бы привлечь к участию в выставке студентов других российских ВУЗов со своими разработками.

Также в рамках конференции для гостей была организована экскурсия в Центр коллективного пользования «Светотехническая метрология», где был проведён мастер-класс по применению современного метрологического оборудования для измерения характеристик и параметров различных типов источников света и световых приборов.

По мнению участников и гостей, конференция дала возможность учёным и представителям производства обменяться опытом в различных областях светотехники, электротехники и энергетики, обсудить вопросы сотрудничества и дальнейшей продуктивной работы в профессиональной области и стала хорошей площадкой для будущих совместных научных изысканий. Будем рады участию всех желающих в работе следующей конференции!

*О.Е. Железникова, кандидат техн. наук, МГУ им. Н.П. Огарева*

## ПАМЯТИ ОЛЕГА МИХАЙЛОВИЧА МИХАЙЛОВА (19.12.1938–06.02.2017)

6 февраля 2016 г. по дороге на работу скоропостижно скончался Олег Михайлович Михайлов.

О.М. Михайлов родился 19 декабря 1938 года в Ленинграде. Закончил в 1963 г. Ленинградский институт точной механики и оптики по специальности «инженер-механик опτικο-механического приборостроения».

Свою трудовую деятельность Олег Михайлович начал со службы в ВМС. После демобилизации в 1958 г. сначала работал техником лаборатории вакуумных покрытий в ГОИ им. С.И. Вавилова, техником и инженером ВНИИТ по испытанию и наладке устройств космической съёмки, в том числе обратной стороны луны. После окончания ЛИТМО в 1963 г. и до 1977 г. О.М. Попов работал инженером, ведущим инженером и старшим научным сотрудником в фотометрической лаборатории ГОИ. При его участии создано свыше 10 фотоэлектрических фотометров, таких как ФМ-89, ИЭЛ, ФПЧ и др. В 1977–1982 гг. Олег Михайлович был начальником оптической лаборатории и начальником отдела опτικο-физических измерений при испытании космической и специальной аппаратуры в НПО «Электрон», а с 1983 г. стал главным метрологом ГОИ и возглавил лабораторию энергетической фотометрии. О.М. Михайлов был руководителем созданной им научной школы «Энергетическая фотометрия когерентного и некогерентного излучения».



1982–2003 Начальник отделения, начальник отдела, начальник лаборатории, Главный метролог ГОИ, Главный метролог по оптическим измерениям Миноборонпрома – Опτικο-физические измерения, натурные и модельные испытания оптической аппаратуры специального назначения. Начальник ЦКП «Особо точные измерения характеристик оптических материалов и покрытий». В 1980 г. О.М. Михайлов защитил кандидатскую, а в 1996 г. докторскую диссертацию.

О.М. Михайлов – автор более 200 научных трудов, в том числе учебного пособия «Технология защиты печатной продукции», серии монографий «Теория цвета. Колориметрия», «Коммерциализация технологий в светотехнике», «Физические основы фотометрии», «Практическая фотометрия», «Музейное освещение» (не закончена) и других. Олег Михайлович вёл активную преподавательскую деятельность, являясь профессором Московского государственного университе-

та печати (санкт-петербургский филиал), кафедры физики ВИКУ, а с 2012 года – организованной при его непосредственном участии кафедры светотехники Санкт-Петербургского государственного университета кино и телевидения. Был председателем и членом Государственных экзаменационной и аттестационной комиссий.

Деятельность и успехи Олега Михайловича по достоинству были оценены коллегами и современниками: он неоднократно награждался различными призами и знаками отличия, в том числе 6 медалями (среди них одна золотая) ВДНХ, почётным званием «Лучший изобретатель СССР». В 1999 году Олегу Михайловичу указом президента РФ было присвоено звание «Заслуженный метролог РФ».

Ушёл из жизни широко эрудированный учёный, один из крупнейших метрологов нашей страны, руководитель многих квалифицированных коллективов, внимательный и заботливый человек, который всегда был готов помочь советом и делом своим сотрудникам и окружающим людям.

Олег Михайлович длительное время сотрудничал с журналом «Светотехника» и его рецензии отличались глубиной и заботой о высоком научном уровне журнала.

Олег Михайлович был исключительно аккуратным и обязательным во всем человеком.

Редакция журнала, коллеги и ученики сохраняют об Олеге Михайловиче память навсегда



# Валентин Александрович Фабрикант

(к 110-летию со дня  
рождения)

В этом году исполняется 110 лет со дня рождения (09.10.1907) выдающегося учёного и педагога Валентина Александровича Фабриканта, доктора физ.-мат. наук, профессора, академика АПН СССР. Кому-то из читателей журнала старшего поколения повезло слушать Валентина Александровича или общаться с ним, другие, уверен, безусловно знают многие его работы. Ниже будет сказано о ряде исследований Валентина Александровича, принципиально важных для светотехники и физики.

**Физика разряда.** Светотехникам ясна важность исследования физики разряда для создания источников света. Валентин Александрович в разные годы исследовал многие вопросы низкотемпературной плазмы: резонансное излучение разряда, диффузия излучения в разряде, разряд в инертных газах, разряд в ртутных лампах СВД, оптические характеристики ртутных ламп, связь излучения и давления компонентов наполнения разрядных ламп, параметры спектральных линий этих компонентов, влияние магнитного поля на столб разряда, реабсорбция излучения в разряде, распределение электронов по сечению разряда, физика новых источников света, концентрация возбуждённых атомов в разряде, время жизни возбуждённых состояний в разряде. Только перечень этих исследований показывает, что в 1930–50-е гг. Валентин Александрович закладывал фундамент физики разряда и основы создания разрядных источников света.

Отметим, что эти работы В.А. Фабриканта были сразу же оценены в те времена крупнейшими физиками С.И. Вавиловым и Л.И. Мандельштамом, и некоторые из статей Валентина Александровича в редакции журналов были рекомендованы ими.

**Люминесцентные лампы.** Валентин Александрович начал свои исследования в годы широкого изучения люминесценции и создания люминесцентных ламп. И в этом направлении его вклад велик и очевиден: механизмы возбуждения люминофоров, оптика люминесцентного слоя, технология производства люминофоров для ламп, колориметрические характеристики этих ламп, спектральная чувствительность различных люминофоров, оптические характеристики смеси люминофоров, способы получения фотолюминесценции требуемого спектрального состава. Причём в ряде публикаций есть абсолютно инженерные предложения: например, по сокращению времени отработки ламп, что было особенно актуальным для светотехнической промышленности 1940-х гг. В том, что в ВЭИ в начале 1940-х были созданы первые образцы советских люминесцентных ламп, есть очевидная заслуга Валентина Александровича.

Но люминесценция интересовала Валентина Александровича и с позиций диагностики разряда. Он первым понял, что диффузия излучения в объёме разряда мешает получению точных данных о нём. Им создан метод диагностики разряда с помощью люминесцентных зондов. По яркости зонда он следил за характером излучения в разряде и, меняя тип люминофора, исследовал различные спектры излучения разряда. Сейчас существуют десятки методов диагностики разряда, но метод зондов не потерял своего значения.

За разработку люминесцентных ламп в 1951 г. В.А. Фабрикант был удостоен звания лауреата Сталинской премии второй степени (совместно с С.И. Вавиловым, В.Л. Лёвшиным, М.А. Константи-

новой-Шлезингер, Ф.А. Бутаевой и В.И. Долгополовым).

**Квантовая электроника.** При всей значимости исследований, указанных выше, имя Валентина Александровича Фабриканта во всех физических энциклопедиях мира упоминается в связи с созданием квантовых генераторов. Здесь его вклад нельзя переоценить.

Предложенный им способ усиления электромагнитного излучения, основанный на использовании явления индуцированного излучения, был развитием идей А. Эйнштейна, высказанных ещё в 1917 г. Им сформулирована теория получения в газовой среде отрицательного коэффициента поглощения, описаны свойства таких сред, прежде всего газовых, раскрыты различные способы усиления электромагнитного излучения, дано математическое описание концентрации возбуждённых атомов и их распределения по сечению разряда.

Отметим, что Валентин Александрович изобрёл новый метод усиления электромагнитного излучения (света) задолго до соответствующих работ Ч. Таунса, А.М. Прохорова и Н.Г. Басова. Авторское свидетельство было выдано В.А. Фабриканту (в соавторстве с Ф.А. Бутаевой и М.М. Вудынским) лишь в 1959 г. (спустя 8 лет после подачи заявки), а в 1964 г. последовал диплом об открытии № 12, с приоритетом от 1951 г., «На способ усиления электромагнитного излучения (ультрафиолетового, видимого, инфракрасного и радиодиапазона волн), основанный на использовании явления индуцированного испускания».

В.А. Фабриканта интересовали не только лазеры сами по себе, но и их применение в качестве средства некоторых физических измерений.

Валентин Александрович также много занимался техническим применением лазеров, осуществляя научную консультацию в области работ по лазерам оборонного назначения.

**Фундаментальные физические исследования.** Всё перечисленное, конечно, относится к области фундаментальных физических исследований, но необходимо отметить ещё одно фундаментальное, всемирно известное достижение — эксперимент, проведённый им совместно со своими учениками Л.М. Биберманом и Н.Г. Сушкиным. Речь идёт

о дифракции поочерёдно летящих электронов, которая до 1949 г. была совсем не очевидна. (В отличие от уже хорошо известной дифракции мощных пучков электронов.) При этом удалось исследовать очень слабый поток электронов (среднее время между прохождением двух электронов составляло 0,24 мс, для проведения эксперимента использовался преобразованный электронный микроскоп).

Этот весьма изящный эксперимент («опыт Бибермана-Сушкина-Фабриканта») подтвердил наличие волновых свойств вещества на уровне его отдельных частиц. Понятно, что провести подобный классический эксперимент — мечта любого серьёзного физика, но мало кому это удаётся.

Валентин Александрович был автором многих<sup>1</sup> работ по физике, прикладной оптике, светотехнике и педагогике. Список нескольких его публикаций приведён ниже.

**Педагогические идеи и педагогическая практика.** Инженеры, учившиеся в МЭИ в 1940–80-е гг., хорошо помнят Валентина Александровича. На кафедре физики он проработал более 40 лет, сначала профессором, затем, 33 года, — заведующим этой кафедрой, сейчас носящей его имя. В середине прошлого века студенты МЭИ сочинили про Валентина Александровича следующие строки: «Гордится Франция Фабри, Германия гордится Кантом, А наше славное МЭИ Гордится Валеи Фабрикантом».

Ну может ли педагог заслужить лучшую оценку?

Говоря о физическом образовании (вузовском и школьном) он подчёркивал необходимость оптимальности его объёма. Валентин Александрович одним из первых (вместе с известным математиком А.И. Маркушевичем) чётко обосновал необходимость выделения «ядра» и «оболочки» в образовании. К «ядру» он относил законы динамики и сохранения, принцип относительности и др., всего 15–20 основных законов и принципов. Настаивал на их глубоком, осмысленном усвоении. Любил высказывание Анатоля Франса «Лучше знать мало, чем понимать плохо». Говорил, что «оболочка» из-

менчива, она может и должна меняться, а «ядро» остаётся неизменным десятилетиями и, часто, столетиями. Заметим, что все это справедливо не только для физического образования, Валентин Александрович говорил и об этом.

Весьма осторожно относясь к аналогиям, Валентин Александрович с присущим ему остроумием вывел педагогическое соотношение неопределённостей: произведение науки на доступность есть величина постоянная, т.е. чем научнее материал, тем менее он доступен. Для сложных вопросов должна быть база, простое упоминание ряда сложных понятий скорее вредно, оно даёт ложную видимость знания, так он считал и об этом часто писал и говорил. Даже к введению лазеров в школьный курс физики относился аккуратно, считая, что без понимания физики индуцированного излучения это может стать «гиперболоидом инженера Гарина» — ярко, но непонятно. (При том, что лазеры для него были особой темой.) Очень боялся Валентин Александрович профанации: например, говоря, как много нужно школьнику знать, чтобы правильно понять фразу «в активной среде имеются возбуждённые атомы, способные к вынужденному излучению».

Всё это приводило к ясному пониманию им того, что инновации в образовании должны делаться «малой кровью», без больших «потерь» для молодого поколения. Он настаивал на разумном сочетании дедуктивного и индуктивного методов. Опасался аксиоматизации изложения и строгих определений, но утверждал, что разумное количество определений должно быть в любом курсе. Считал, что избыток определений и математических формул губит интерес к курсу физики и качество его усвоения.

С 1968 г. Валентин Александрович являлся действительным членом Академии педагогических наук СССР, где его за глаза называли «украшением академии».

В.А. Фабрикант сам имел прекрасное образование, окончив физический факультет МГУ, где его учителями были Л.И. Мандельштам, Г.С. Ландсберг, С.И. Вавилов. Эти учёные задали Валентину Александровичу не только высокую планку в физических исследованиях, но и —

в научной морали и человеческих отношениях. Конечно, свою роль здесь сыграла и семья — отец его был известным профессором-агротехником, судьба которого в годы репрессий сложилась непросто.

Валентина Александровича не стало 03.03.1991. Идёт время, уходят великие учёные... Будем помнить их и ценить судьбу, подарившую нам встречи с ними.

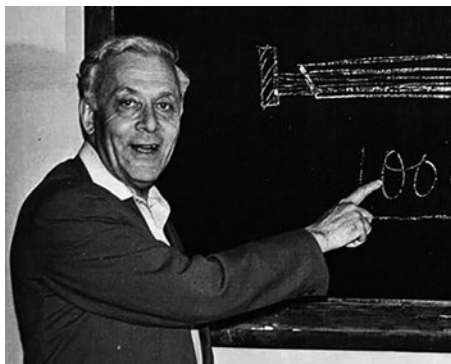
### **Некоторые из публикаций В.А. Фабриканта**

1. Некоторые оптические свойства ртутных ламп // ЖТФ. — 1936. — Т. 6. — С. 1006.
2. Новый способ измерения давления света // УФН. — 1936.
3. К теории изучения газового разряда // ДАН СССР. — 1937. — № 15. — С. 461.
4. Люминесцирующий зонд в газовом разряде // ДАН СССР. — 1939. — № 22. — С. 574. 1939.
5. Механизм излучения газового разряда // Труды ВЭИ. — 1940. — № 41. — С. 236.
6. Оптические характеристики смесей люминофоров // Бюл. ВЭИ. — 1941. — № 51.
7. Физика и техника люминесцентных ламп // УФН. — 1945.
8. Люминесцирующие зонды и диффузия излучения // ЖЭТФ. — 1947. — Т. 17, № 12. — С. 1037.
9. Физика новых источников света // Электричество. — 1947.
10. Классическая квантовая оптика / Курс физики, 7 изд., 1955.
11. Некоторые вопросы физики источников света // Светотехника. — 1956. — № 6. — С. 3.
12. О среде с отрицательным коэффициентом поглощения, Исследования по экспериментальной и теоретической физике / Сб. памяти Г.С. Ландсберга. — М.: Изд. АН СССР, 1959. — С. 62.
13. О получении отрицательного коэффициента поглощения при разряде в газовой смеси // ЖЭТФ. — 1961. — Т. 41, № 2(8). — С. 524.
14. О световом усилителе // Информ. по изобретательству. — 1962. — № 7.
15. Нелинейная оптика // Современная физика для учителей. — М.: Знание, 1975. — С. 36.
16. Избранные публикации (сост. Л.М. Биберман). — М.: Издательский дом МЭИ, 2007.
17. Физика, оптика, квантовая электроника. — М.: Издательство МЭИ, 2000.

*А.Т. Глазунов, доктор пед. наук, проф.,  
Российская академия образования,  
Москва*

<sup>1</sup> Порядка 250. — Прим. ред.

# К 110-летию юбилею В.А. Фабриканта



Почти 110 лет назад (09.10.1907) родился Валентин Александрович Фабрикант. Он был живым человеком и жил среди нас в МЭИ. Ушёл 26 лет назад (03.03.1991), и его уже мало кто помнит. Учёные делятся на две категории. Некоторые оставляют глубокий след в науке, а разговаривать с ними не о чем. Другие, наоборот, как личности гораздо интереснее своих творений. В.А., безусловно, относился ко второй категории учёных. Он обладал абсолютной памятью, энциклопедическими знаниями вне физики, всегда был в центре внимания, притягивал к себе людей. Было трудно отделаться от мысли, что в других условиях он сделал бы много больше. У него был репрессирован отец — профессор Тимирязевской сельхозакадемии. Отца арестовали вместе с экономистом, социологом и писателем-фантастом А.В. Чайновым. Последнего расстреляли, и годами семья ждала той же участи для отца. Как тут было работать? Тем более, что В.А. потом выгоняли и из ВЭИ, и из МЭИ — из-за отца, пятого пункта в анкете и беспартийности. А он оставался добрым, благожелательным и исключительно обаятельным человеком. О последнем его качестве можно судить даже по фотографиям. Но жизнь наложила свою печать. Всегда чувствовалась некая грань, которую нельзя переступить. Думаю, поэтому почти никто не видел В.А. хохочущим. За тридцать лет совместной работы я видел это дважды, и оба раза в нестандартной обстановке. Как студент я слушал лекции В.А. Как и другие студенты, восхищался их формой и лич-

ностью лектора. Затем двадцать лет работал на кафедре, которую он возглавлял. В конце его жизни я уже заведовал этой кафедрой, а В.А. был на ней ординарным профессором. Не могу причислить себя к прямым ученикам В.А. Тесного контакта у нас не было. В.А. держал всех на расстоянии. На кафедре физики МЭИ, насчитывавшей в те времена больше ста человек, на «ты» он был лишь с Д.Р. Канасковым. В конце жизни В.А. уже мало посещал МЭИ. В это время наши взаимоотношения стали теснее. В.А. постарел, я повзрослел, возрастной барьер понизился. Я стал чаще бывать у него дома, он — чаще звонить. Он стал более откровенным, стал больше рассказывать. Чувствовалось, что скучает по МЭИ. В той же мере, с тем же интересом о МЭИ расспрашивала его жена Мирра Львовна. Было ясно, что они живут общей жизнью, общими интересами. Но это было более тридцати лет тому назад. Ныне полагаю только на свою память, а она не совершенна. Эти воспоминания не претендуют на точность: что увидел — увидел, что услышал — услышал. Это не повторится. Вскоре после смерти В.А. удалось добиться присвоения кафедре физики МЭИ его имени.

Вернусь назад. По воле рока В.А. не повезло и в науке. Им ещё до войны было введено понятие инверсной заселённости атомов, чтобы экспериментально доказать явление вынужденного излучения света, предложенного в 1916 г. А. Эйнштейном. Для такого доказательства он предложил схему инженерной конструкции, усиливающей свет. Её он рассматривал как средство, целью же служило физическое явление. Этот материал попал в 1939 г. в его докторскую диссертацию и печать. Его оппонент — наш выдающийся физик академик Л.И. Мандельштам этому разделу диссертации не уделил особого внимания. «Валя, это Вы сами придумали?» — слова Л.И. Мандельштама, относящиеся к методу люминесцирующих зондов, также впервые предложенному в диссертации. Обрати внимание Л.И. Мандельштам на инверс-

ную заселённость — история лазеров могла бы развиваться иначе. Сам В.А. эту тему никогда не оставлял. Вместе с Ф.А. Бутаевой он постоянно искал ей экспериментальное доказательство. С нынешних высот ясно — конечно, работу надо было форсировать. Но людей мы ценим за то, что они сделали, а не за то, что недоделали. В 1951 г., заменяя опоздавшего на научный семинар одной из кафедр МЭИ докладчика, В.А. рассказал присутствующим о работе с Ф.А. Бутаевой. После семинара доцент М.М. Вудынский, открутив у В.А. пуговицы, спросил: «Валя, ты понимаешь, что предлагаешь усилитель света?». Этой фразы оказалось достаточно, чтобы В.А. пригласил его вместе с Ф.А. Бутаевой в соавторы знаменитой теперь заявки на изобретение. Согласитесь, что так поступил бы не каждый. Но история только начиналась. Заявка была отклонена. Она получила анонимный отрицательный отзыв. Её не приняли. Но этого мало. На заявку был наложен гриф секретности, и В.А. было запрещено публиковать в открытой печати работы на эту тему. А если бы заявку приняли? Как бы развивались события? Впоследствии после присуждения Нобелевских премий чиновники спохватились. Вспомнили про заявку. В 1964 г. по этой заявке авторам присвоят «Диплом об открытии» с приоритетом от 1951 г. В.А. получит две (большую и малую) золотые медали им. С.И. Вавилова. Но поезд ушёл. Переживал ли В.А.? Трудно предположить обратное. В конце его заведования кафедрой против него восстал один из молодых сотрудников кафедры, которого тот же В.А. оставил здесь для работы. Это была явная глупость. Партийное руководство не преминуло создать партийную проверочную комиссию. Ничего эта комиссия не нашла, но нервы потрепала. А В.А. любил повторять: «Добро должно быть наказуемо». Ко мне, в основном во время заведования мною кафедрой, неоднократно приставали всевозможные корреспонденты с вопросом: кто зарезал заявку на изобретение. Бытовало мнение, да и бытует по сей день, что это мог быть кто-нибудь из Нобелевских лауреатов, изготовивших мазер, или кто-нибудь из их команды. Это не так. Нобелевские лауреаты академики Н.Г. Басов и А.М. Прохоров никакого отношения к этому не имеют. Правда лишь в том, что с ними

у В.А. были натянутые отношения. Однажды А.М. Прохоров предложил: «В.А., давайте разделим, Вы предложили усилитель, мы — генератор света». На это В.А. возразил: «Но ведь любой студент знает, что усилитель превращается в генератор путём введения положительной обратной связи». Разговор оборвался. А завалил заявку один из ближайших учеников В.А. и сотрудников по работе. Зачем или почему он это сделал, и зачем втихую — не позвонил, не посоветовался, теперь уже одному Богу известно. По иронии судьбы этот человек достаточно подробно сам мне рассказал фабулу событий и рассказал правдиво, но в-третьих лицах, не называя фамилий. Задним числом он сожалел о содеянном. К В.А. он относился с величайшим почтением. Эту же историю я услышал от В.А. в конце его дней. Теперь уже с фамилиями. После его кончины ещё раз я услышал то же самое от Миры Львовны. Она прекрасно знала этого человека, как и всё, что касалось В.А. В её рассказе чувствовалась досада.

С именем В.А. связана работа по дифракции отдельных электронов. Эта работа теперь приводится во всех учебниках по квантовой физике. В разговоре с В.А. академик П.Л. Капица однажды сказал: «Вы всё делаете не вовремя. Первую работу Вы сделали слишком рано. Вторую слишком поздно». Мало кто знает, что, выполнив эту вторую работу в 1949 г., В.А. боялся её опубликовать. В то время в СССР со стороны философов было организовано гонение на квантовую механику и теорию относительности. Гонение было санкционировано КПСС, и с этим шутить было опасно. А тут вдруг работа по доказательству справедливости квантовой теории. И кого? Беспартийного, сына репрессированного. Было над чем призадуматься. В.А. пошёл за советом к академику И.Е. Тамму. У Тамма были свои проблемы: брат расстрелян, сам он беспартийный, ждёт ареста. Мудрый И.Е. Тамм посоветовал: «Ничего не пишите про квантовую механику. Напишите про электронный микроскоп, про электроны в этом микроскопе, про дифракционную картину и поставьте точку». Так и оформлена эта короткая заметка. А теперь её содержание с очевидной трактовкой приводится во всех учебниках. Жизнь В.А. оставляла немного места

для смеха. Но всё же пару раз удалось его развеселить.

Первый раз это случилось в больнице. В то время руководство МЭИ, быть может, по указу сверху, издало приказ запечатывать на ночь пишущие машинки. Компьютеров тогда не было. Но руководство вдруг испугалось эфемерной возможности печатания по ночам в МЭИ антиправительственных прокламаций. Были изготовлены металлические гробы, на них навесили фиговые замочки. Прокламациям был поставлен крест. В первый же вечер два молодых, а потому глупых преподавателя, увидев вечером эти гробы на кафедре, задались вопросом: неужели эти фиговые замочки ограждают нас от антиправительственных прокламаций? Неужели их так уж трудно открыть, что и было немедленно выполнено «с помощью зонта» на всех трёх машинках. Но не закрывать же замочки снова. Предварительно, перед обратной операцией в гробы были засунуты все пары сменной обуви машинистки. На следующий день разразился скандал — кафедру обворовали! Машинистка отказывалась работать босиком. Скандал повторился, когда вскрыли гробы. В этот момент, около одиннадцати часов утра я зашёл на кафедру. По кафедре кругами бегал вызванный машинисткой начальник первого отдела МЭИ Кр-ин, стучал клюкой, он прихрамывал, и громко шумел: «Ночью у вас печатали прокламации!». В углу кафедры лицом к стене стоял проф. Н.Г. Сушкин — соавтор В.А. по дифракции электронов, и откровенно хохотал, у него дрожала спина. Машинистка по другой уже причине дрожащими белыми губами мне сообщает: «Я думаю, что здесь замешаны доценты и профессора», косится на Н.Г. Впоследствии эта машинистка прославится тем, что немало озадачит студентов, напечатав в экзаменационных билетах вместо «человек давит на пол лифта» фразу: «человек давит на пол литра...найти ускорение». Меня тоже распирает, но я терплю, чтобы не прыснуть. Отворачиваюсь к стене, якобы читаю расписание. Постепенно прошибает пот. Понимаю, что на кафедре теперь мне не место. Это предчувствие действительно осуществится впоследствии, но много позже, по похожей, но всё-таки другой причине. А в то время я, как за палочкой-выручалочкой, полетел к В.А. в больницу. Тогда я впервые увидел, как хо-

чет В.А. Поостыв, он сказал: «Это хорошо, Борис, что в Вас сохранились природные человеческие качества». Всю последующую жизнь я старался их сохранять.

Второй раз я видел В.А. хохочущим после рассказа следующей правдивой истории. В одном из московских НИИ начальник отдела кадров купил очень модную тогда, а потому дорогую, нейлоновую рубашку. Случайно он посадил на неё чернильное пятно. Зайдя в соседнюю лабораторию, он потребовал два литра ацетона. Кто же не даст начальнику отдела кадров ацетон для стирки нейлоновой рубашки...? На этот раз все обошлось благополучно, только рубашка сильно уменьшилась в размерах. Тогда в помочах, боком-боком начальник отдела кадров добрался до туалета и бросил рубашку в унитаз. Что делать дальше? В задумчивости он сел на этот самый унитаз и закурил. При этом бросил спичку под себя. Далее рассказывал сосед по кабине, который из своего состояния задумчивости был выведен тем, что рядом что-то грохнуло, ухнуло, вышибло дверь и дико завопило. На крики сбежалось всё НИИ. В.А. хохотал, когда я в красках рассказывал ему, что они увидели. Затем он, привычно закусив ушко очков, произнёс столь характерную для него фразу: «Я всегда говорил, что высшее образование необходимо».

Однажды мне удалось В.А. обмануть, и он «клюнул». В 1968 г. меня послали на годовую стажировку в Париж. Это был нонсенс — беспартийного и вдруг за рубеж. Сперва хотели послать в Англию, и я учил английский. Но беспартийному нельзя. Тогда меня стали готовить к стажировке в Бельгию, и я учил немецкий. Но беспартийному опять-таки нельзя. Тогда переметнулись на Италию. Я взбунтовался — «итальянский учить не буду, поеду только с английским». Тогда решили сослать в Париж. Выучили французскому, и я поехал. Год прошёл. Возвращаюсь. Решил привезти подарок В.А. Купил часы с шарообразным маятником, импозантно вращающимся вокруг вертикальной оси. Сейчас таких часов полно в наших магазинах. А тогда это был эксклюзив. Часы механические. Заводить их надо раз в год. Потом В.А. скажет: «Интересно, сколько раз мне удастся их завести?». Я чуть сквозь землю не провалился. Ни за что не подарил

бы ему эти часы, предвидя такую реакцию. Но это потом. А тогда, часы надо было вручить. Это сейчас вручать подарки начальству нетрудно, а подчас без этого нельзя. Тогда времена и ценности были другими. Да и сейчас В.А. вряд ли бы изменился — в природе существуют инварианты. В те времена я ездил в МЭИ на машине, пробок на дорогах не было. А В.А. ездил на троллейбусе. Бывало, сажусь в авто, вижу В.А. на троллейбусной остановке. Подъезжаю. Предлагаю подвести. За тридцать лет не было случая, чтобы он согласился. Как же вручить часы? Был разработан алгоритм. Президентом Франции был генерал де Голль. Подхожу к В.А., держу свёрток. Начинаю: «Валентин Александрович, когда мы с де Голлем о Вас беседовали...». В.А. выпучил глаза «Как, де Голль обо мне знает??». Отвечаю «Конечно знает. Он сказал, что Вы известный экспериментатор, и просил передать Вам вот этот измерительный прибор». В.А. машинально взял свёрток, продолжая меня разглядывать. Это продолжалось недолго, но я уже спрятал руки за спину. Часы эти в семье его дочери идут по сей день.

Кафедра, которой заведовал В.А., была очень большой и очень дружной. Мне всегда казалось, что это — самая дружная кафедра МЭИ. Впрочем, другие кафедры я знаю плохо. Но, что наверняка, кафедра физики МЭИ в то время, а по инерции и ещё много лет, входила в четвёрку сильнейших кафедр физики Москвы. Каждый сотрудник кафедры, попадая на неё, начинал светиться и становился личностью. На кафедре царила непринуждённая, весёлая, творческая атмосфера. Каждый чувствовал себя раскованно, понимая, что здесь к нему зря придираться не будут, а от внешних напастей он надёжно ограждён. О сотрудниках кафедры сочиняли анекдоты. Доставалось и В.А. Фабриканту. Чего стоит одно четверостишие: «Гордится Франция Фабри, / Германия гордится Кантом, / А наше славное МЭИ / Гордится Фабрикантом».

Я горжусь тем, что в своё время удалось добиться присвоения кафедре физики МЭИ имени Валентина Александровича Фабриканта, и вижу в этом залог того, что имя В.А. будет востребовано ещё долгие годы.

*Б.А. Векленко, доктор физ.-мат. наук, проф., ОИВТ РАН, Москва*

## Правила оформления рукописей, подаваемых в журнал «Светотехника»

Журнал публикует неопубликованные нигде ранее результаты оригинальных исследований и обзорные статьи на русском языке по различным направлениям светотехники. Рукописи статей принимаются на русском и (или) английском языках.

Все авторы несут ответственность за содержание статьи.

Плата с авторов за публикацию не взимается, гонорар не выплачивается.

### Структура статьи

Статья должна иметь структуру IMRAD:

1. Название
2. Авторы
3. Аннотация
4. Ключевые слова
5. Введение (Introduction)
6. Методы (Methods)
7. Результаты (Results)
8. Подтверждение и признание участия третьих лиц, финансирования работы (Acknowledgement)
9. Дискуссия или заключение (Discussion)
10. Список литературы

В конце раздела «Введение» следует сформулировать основную цель и задачи работы.

### Список литературы

Научная статья является частью развивающейся мировой научной дискуссии, поэтому в списке литературы должно быть не менее 30% адекватных ссылок на публикации ведущих мировых научных изданий на английском языке, входящих в базы данных цитируемых международных агентств, например, Scopus и Web of Science. Среди ссылок на статьи из баз должны быть статьи, опубликованные не позднее двух–пяти лет назад.

### Порядок работы с редакцией и рецензирование

Статья проходит двойное рецензирование.

Рецензенты дают заключение по следующим пунктам: а) соответству-

ет ли статья тематике журнала; б) является ли статья оригинальным исследованием или обзором; в) приведены ли в оригинальном исследовании чётко сформулированные новые научные результаты; г) достаточно ли надёжно обоснованы выводы статьи; д) понятно ли изложен материал статьи, соблюдено ли в ней единообразие в терминах и обозначениях; е) соблюдена ли структура IMRAD; ж) приведены ли ссылки на свежие данные и работы по теме, опубликованные в журналах, входящих в базы цитирования, например, Scopus и Web of Science.

В случае несоответствия тематике журнала, или отсутствия в статье сформулированного научного результата, или при значительном количестве выявленных фактических ошибок статья может быть отклонена от публикации без подробной рецензии.

При положительном заключении рецензентов, статья редактируется и отправляется в вёрстку. Редакция не согласовывает с авторами изменения и сокращения рукописи, имеющие редакционный характер и не затрагивающие принципиальных вопросов.

### Оформление статьи

#### Оформление списка авторов

Первыми указываются инициалы, затем фамилия. Если коллектив авторов включает сотрудников разных учреждений, следует указать место работы каждого автора сноской при фамилии автора. Хотя бы для одного автора должен быть указан адрес электронной почты для корреспонденции.

На отдельном листе следует приложить краткие сведения об авторах (когда и какой вуз окончен, настоящее место работы и занимаемое положение, учёная степень и учёное звание, почётное звание, область научных интересов и т.п.). Следует также представить цветную фотографию каждого автора в электронном виде.

#### Оформление рисунков и таблиц

Таблицы, иллюстрации (рисунки, фотографии) и подписи к иллюстрациям нумеруются по порядку упоми-



нения в тексте. Название иллюстрации или рисунка пишется после номера таблицы или рисунка.

Все графы в таблице имеют заголовки и разделяются вертикальными линиями. Сокращение слов в таблицах не допускается. При наличии в тексте одной таблицы таблица не нумеруется. Таблица без заголовка (что нежелательно) обозначается только словом «Таблица».

Авторам следует избегать повторения одних и тех же данных на рисунках, в таблицах и в тексте.

### Используемые сокращения

Следует избегать введения новой терминологии. Используемые в работе термины, единицы измерения и условные обозначения должны быть общепринятыми (использоваться физические величины, единицы и обозначения, в частности, принятые в Международной системе СИ, Международном светотехническом словаре (М.: Русский язык, 1979)), Справочной книге по светотехнике (3-е изд.) 2006 г.

Все употребляемые в статье обозначения (за исключением общеизвестных констант типа  $e$ ,  $h$ ,  $c$ ,  $\pi$  и т.п.) и аббревиатуры должны быть определены при их первом появлении в тексте, с учётом следующих принятых в журнале сокращений:

ВД – высокое давление

ВЧ – высокая частота

ГЛН – галогенная лампа накаливания

ГЛН НН – ГЛН низкого напряжения

ЗУ – зажигающее устройство

ИЗУ – импульсное зажигающее устройство

ИК – инфракрасный

ИС – источник света

КЕО – коэффициент естественной освещённости

КЛЛ – компактная люминесцентная лампа

КПД – коэффициент полезного действия

КСС – кривая силы света

ЛН – лампа накаливания

ЛЛ – люминесцентная лампа

МГЛ – металлогалогенная лампа

НЛ – натриевая лампа

НЛВД – НЛ высокого давления

НД – низкое давление

НЛНД – НЛ низкого давления

НН – низкое напряжение

НО – наружное освещение

ОП – осветительный прибор

ОСД – органический светодиод

ОУ – осветительная установка

ПРА – пускорегулирующий аппарат

РЛ – разрядная лампа

РЛВД – разрядная лампа высокого давления

СВД – сверхвысокое давление

СВЧ-лампа – сверхвысокочастотная лампа

СД – светодиод

СДЛ – светодиодная лампа

СДМ – светодиодный модуль

СП – световой прибор

УФ – ультрафиолетовый

ЭмПРА – электромагнитный ПРА

ЭПРА – электронный ПРА

ЭУ – электроустановочное устройство

$\lambda$  – длина волны

$\eta_v$  – световая отдача (источника света)

$T_c$  – цветовая температура

$T_{кц}$  – коррелированная цветовая температура (КЦТ)

$R_a$  – общий индекс цветопередачи

$\Phi_e$  – поток излучения

$\Phi_v$  – световой поток

$I_v$  – сила света

$L_v$  – яркость

$E_v$  – освещённость

$V(\lambda)$  – функция относительной спектральной световой эффективности для дневного зрения.

### Оформление списка литературы

Источниками данных предпочтительно указывать не сообщения частных лиц или организаций, а публикации в научной литературе.

Нежелательно давать ссылки на труднодоступные широкому читателю издания (например, на труды студенческих и ведомственных конференций). К ссылкам на материал из Интернета следует указывать дату последнего обращения к материалу.

Библиографические ссылки оформляются с учётом ГОСТ Р 7.0.5–2008 «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления».

Например:

Мешков В. В., Матвеев А. Б. Основы светотехники: Учеб. пособие для вузов: В 2-х ч. Ч. 2. Физиологическая оптика и колориметрия. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 432 с.

Шуберт Ф. Светодиоды. Пер. с англ. под ред. А. Э. Юновича. – 2-е изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 496 с.;

Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю. Б. Айзенберга. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Знак, 2006. – 972 с.

Kokoschka, S. Zur Berechnung von Schwellenkontrasten für die Detektion einfacher Schobjekte // Licht. – 1988. – 40, № 4. – S. 305–308.

Никифоров Б. Н. Новое в светотехнике подводных лодок // Светотехника. – 2001. – № 3. – С. 25.

Каршенбойм С. Г. Новые рекомендованные значения фундаментальных физических постоянных (КОДА-ТА2006) // УФН. – 2008. – Т. 178, № 10. – С. 1057–1064.

Патент РФ № 2159021, 04.12.2000.

Сысун В. В. Светомаскировочная фара на светодиодах / Патент России № 2266466. 2005. Бюл. № 35.

Мальшев В. В. Повышение эффективности облучательных установок для теплиц / Автореф. дис. ... к-та техн. наук. – М.: ГНУ «ВИЭСХ», 2007.

Официальные периодические издания: электронный путеводитель / Рос. нац. б-ка, Центр правовой информации. [СПб], 2005–2007. URL: [www.nlr.ru/lawcenter/izd/index.html](http://www.nlr.ru/lawcenter/izd/index.html) (дата обращения: 18.01.2007).

### Форма приёма статьи

Максимально допустимый объём статьи, как правило, – 12 машинописных страниц формата А4. Статья представляется в электронном виде, расширение имени файла – doc или docx, шрифт Times New Roman, размер шрифта – 12, междустрочный интервал – 1,5, поля – верхнее и нижнее – 2, левое – 3, правое – 1,5.

Если статья подаётся на русском языке, все подписи на всех рисунках должны быть на русском языке.

Предпочтительные форматы рисунков: jpg, png, tif, tiff, pdf. Оригиналы рисунков в максимально высоком имеющемся у авторов качестве должны быть приложены отдельными файлами. Для векторных изображений желательно приложить оригинал в векторном формате. Графики, созданные в MS Excel, допускается передавать в документе MS Word вместе с текстом статьи.

# ПАРТНЁРЫ ЖУРНАЛА

Редколлегия и редакция с большим удовлетворением отмечают организацию сообщества «Партнёры журнала «Светотехника» и выражают благодарность нашим партнёрам, поверившим во взаимную эффективность такого сотрудничества

## ГЕНЕРАЛЬНЫЕ



Холдинг **BL GROUP**



## ПЛАТИНОВЫЕ



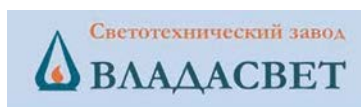
ГЛОБАЛ  
ЛАЙТИНГ

## ЗОЛОТЫЕ

**FAGERHULT**



## СЕРЕБРЯНЫЕ



## БРОНЗОВЫЕ



# КОМПЛЕКСНОЕ ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПО РЕКОНСТРУКЦИИ ОСВЕЩЕНИЯ

для нефтеперерабатывающих заводов, терминалов (баз) транспортировки и хранения нефтепродуктов



Окупаемость проекта **не более 2 лет**



GALAD Патриот LED-40  
1ExmbdIICT5 Gb

Взрывозащищенное оборудование



B3F-200 1ExdIIBT5



GALAD Омега LED-100

Освещение территории



PKY 06-400



GALAD Иллюминатор LED-200

Прожектора на мачтах



Прожектор ИО 04-1000

Восстановление работоспособности  
**в течение 1 дня** Сменный драйвер

Бесплатное тестирование.  
Количество светильников на тесты определяет Заказчик

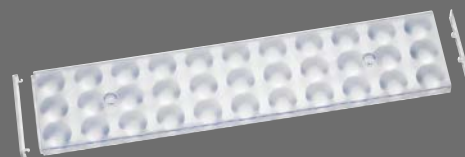
Гарантия **5 лет**



**«LED Line SMD Kit 3R»**

Наши новые светодиодные модули «LED Line SMD Kit 3R» очень многофункционален, благодаря равномерной светоизлучающей поверхности и возможности реализовать различные типы светораспределения.

Наша высокоэффективная оптика из ПММА идеальна для различных видов освещения. Большой выбор типов светораспределения с углами излучения 30°, 60°, 90° и 110°, а также «batwing» и «асимметрия».



**Долгий срок службы: 50000 ч (L80/B10)**

**Высокая световая отдача: до 186 лм/Вт**

**Длина: 280 мм, 566 мм**

**Гибкое светораспределение, благодаря разнообразной оптике**

**Установочные отверстия: в соответствии с ZHAGA**

