

СВЕТО

3 · 2019

ТЕХНИКА





Международная
светотехническая
корпорация



БООС ЛАЙТИНГ ГРУПП

ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ С **ЭМПРА** ПРИМЕНЯЮТСЯ
В ПРОМЫШЛЕННЫХ И СЕЛЕКЦИОННЫХ ТЕПЛИЦАХ, ЗИМНИХ САДАХ
И ОРАНЖЕРЕЯХ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ ОВОЩНЫХ, САЛАТНЫХ,
ЦВЕТОЧНЫХ И ДРУГИХ КУЛЬТУР



СРОК СЛУЖБЫ
БОЛЕЕ 10 ЛЕТ



СТЕПЕНЬ
ЗАЩИТЫ



КЛИМАТИЧЕСКОЕ
ИСПОЛНЕНИЕ – Y5



КЛАСС I



431900, Республика Мордовия,
п. Кадошкино,
ул. Заводская, 1



ketz@moris.ru
galad.ru



(83448) 2-31-21,
2-39-75, 2-32-40,
2-34-53



БОЛЬШЕ ЧЕМ СВЕТ

Новые возможности в освещении

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

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

Light is OSRAM

OSRAM
Opto Semiconductors

Новое издание Справочной книги по светотехнике

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

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

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

Прежде всего это:

- всё важное о светодиодах и области их эффективного использования;
- компьютерное моделирование осветительных установок и световых приборов;
- автоматическое управление освещением зданий и наружного освещения;
- новейшие сведения о спортивном освещении и об освещении музеев;



- новое в широком использовании УФИ излучения;

- освещение всех видов транспорта, (автомобильного, железнодорожного, авиационного, а также и аэродромов);

- о теории светового поля и её практическом использовании;

- о современном световом дизайне и архитектурном освещении.

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

- о свете в медицине;

- о проблемах освещения при освоении мирового океана и космоса.

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

Авторами книги являются:
13 докторов наук-профессоров
19 кандидатов наук
20 специалистов разных направлений.

Тираж книги и её цена (ориентировочно 2,5 тыс. руб. на уровне СКС-3 2006 г.) будет

определяться в зависимости от числа полученных заявок на книгу, направленных до конца июня 2019 года в адрес редакции журнала «Светотехника» (129626, Москва, Проспект Мира, дом 106, 346 комн.)

Издание книги планируется на июль-август 2019 года.

Ждём Ваших заявок.

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

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

С уважением, Ю.Б. Айзенберг

Уважаемые читатели!



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

За период с 2017 года редколлегия журнала, осознавая произошедшие в начале XXI века эпохальные изменения, выработала новую миссию журнала, новое видение нашей науки светотехники, чему была посвящена программная статья Ю.Б. Айзенберга и В.П. Будака «Что было в 2017 и что будет 2018–2020 годах» № 1 за 2017 г. В центре внимания этой программы – развитие науки о свете в рамках лучевых, фотометрических представлений и применение её результатов для комфортного освещения, в технологических целях, в том числе в солнечной энергетике, при освоении космоса и мирового океана, для обеззараживания воды и воздуха, в медицине. Светотехника – область науки и техники, предметом которой являются разработка способов генерации, пространственного перераспределения оптического излучения, а также его преобразования в другие виды энергии и использование в различных целях.

Прошло более двух лет. Естественно желание объективно оценить, что дала новая программа журналу. Таким «зеркалом правды» сегодня является положение журнала в международных наукометрических базах данных (МНБД) *Scopus* и *Web of Science*. Принципы их формирования несколько отличаются друг от друга, поэтому лучше анализировать их обе.

Важнейшим показателем результативности публикаций журнала является его цитируемость: очевидно, что журнал публикует статьи, чтобы их прочитали, а опубликованные в них научные результаты оказались бы значимыми, чтобы исследователи воспользовались ими для решения своих научных задач, опубликовали результаты их решения, указав ссылку на первоисточник. В этом есть залог развития науки. При всей простоте сформу-

лированного критерия его практическое определение имеет свои проблемы.

Самый простой способ оценки журнала – это *CiteScore*: среднее количество цитирований на одну статью, полученных за календарный год по всем статьям, опубликованным в этом журнале за предыдущие три года. На рис. 1 приведено изменение *CiteScore* по данным *Scopus* за последние два года, на рис. 2 – количество цитирований опубликованных статей журнала по данным *Web of Science*.

Другим параметром является *SNIP* (*Source-Normalized Impact per Paper*) – цитирование относительно среднего для данной дисциплины: $SNIP > 1$ означает, что журнал цитируется чаще, чем в среднем для дисциплины. Значения *SNIP* по годам по данным *Scopus* приведены на рис. 3. Обидный провал 2016 г. связан с непростой ситуацией в журнале в этот период, однако, как видим, перестройка журнала благотворно сказалась на этом параметре и за последние два года мы уверенно растём.

Достаточно сложным, но в то же время эффективным параметром является средний рейтинг за публикацию, в зависимости от рейтинга цитирующего журнала. В *Scopus* таким параметром принят *SJR* (*SCImago Journal*) – средний рейтинг за публикацию, в зависимости от *SJR* цитирующего журнала. Его значения по годам приведено на рис. 4, где также отметим провал 2016 г.

Представляется, что приведённые графики убедительно демонстрируют правильность выбранного курса журналом. Однако, что для нас является более существенным, сообщество читателей нас поддержало, поскольку все приведённые результаты – результат публикаций наших авторов! Журнал по-прежнему является основным «рупором» светотехнической науки, именно на страницах «Светотехники» читатели могут найти материалы ключевых отечественных международных научных организаций: существует регулярная рубрика Отраслевого совета, а в этом номере мы публикуем официальное заявление Международной комиссии по освещению по опасности синего света.

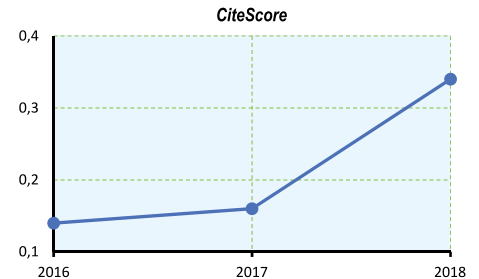


Рис. 1. По данным *Scopus*



Рис. 2. По данным *Web of Science*

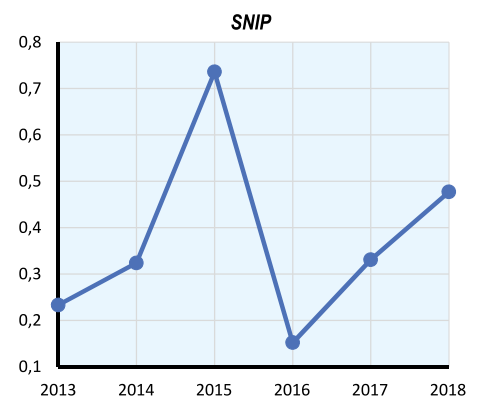


Рис. 3. По данным *Scopus*

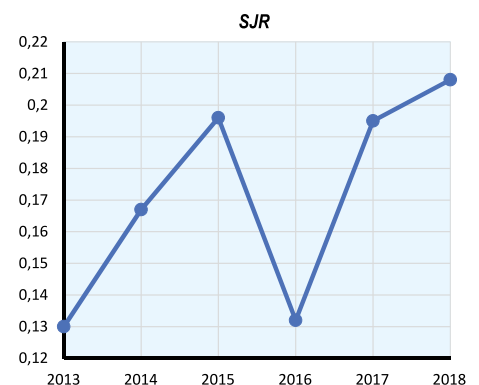


Рис. 4. По данным *Scopus*

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

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

УЧРЕДИТЕЛИ:

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Г.В. Боос, председатель редакционной коллегии, к.т.н., НИУ «МЭИ», Москва
С.Г. Ашурков, к.т.н., Москва
М.Л. Белов, д.т.н., проф., НИУ «МГТУ им. Н.Э. Баумана», Москва
Т. Берген (*Tony Bergen*), Технический директор Photometric Solutions International, Австралия
Г. Бизяк (*Grega Bizjak*), Люблянский университет, Словения
Л. Билунд (*Lars Bylund*), Bergen's School of architecture, Норвегия
П.Р. Бойс (*Peter R. Boyce*), Lighting Research Center, США
П. Блаттнер (*Peter Blattner*) Федеральный Институт Метрологии METAS, Швейцария
В. ван Боммель (*Wout van Bommel*), Philips Lighting, Нидерланды
А.А. Богданов, к.т.н., ОАО «ИНТЕР РАО Светодиодные Системы», С.-Петербург
Н.В. Быстриянцева, к. арх., Университет ИТМО, С.-Петербург
Л.П. Варфоломеев, к.т.н., Москва
Н. Василев (*Nicolay Vasilev*), Sofia Technical University, Болгария
Д. Вейтч (*Jennifer Veitch*), National Research Council of Canada, Канада
А.А. Григорьев, д.т.н., НИУ «МЭИ», Москва
С. Дарула (*Stanislav Darula*), Academy Institute of Construction and Architecture, Словакия
О.Е. Железникова, к.т.н., МГУ им. Н.П. Огарёва, Саранск
П.П. Зак, д.б.н., проф., ИБХФ РАН, Москва

Т. Казанасмаз (*Tugce Kazanasmaz*), Измирский технологический институт, Турция
А.А. Коробко к.т.н., БЛ Групп, Москва
С. Мазумдар (*Saswati Mazumdar*), университет Джадавпур, Индия
Д.А. Мельников, Министерство Энергетики РФ, Москва
Э. Миллс (*Evan Mills*), Lawrence Berkeley Laboratory, США
Л.Г. Новаковский, к.т.н., ООО «Фарос-Алеф»
Й. Оно (*Yoshi Ohno*), NIST Fellow, (Президент МКО в 2015–2019 гг.), США
А.Т. Овчаров, д.т.н., проф., ТГАСУ, Томск
Л.Б. Прикупец, к.т.н., ВНИСИ им. С.И. Вавилова, Москва
Л.Р. Ронки (*Lucia R. Ronchi*), Higher School of Specialization for Optics, University of Florence, Италия
А.А. Рябцева, д.м.н., проф., МОНИКИ, Москва
А.К. Соловьёв, д.т.н., проф., НИУ «МГСУ», Москва
К.А. Томский, д.т.н., проф., СПбГИКИТ, С.-Петербург
П. Торнс (*Peter Thorns*), Zumtobel Group, Австрия
Г. Циссис (*Georges Zissis*), университет Тулузы, Франция
А.Г. Шахпарунянц, к.т.н., генеральный директор ВНИСИ им. С.И. Вавилова, Москва
Н.И. Щепетков, д. арх., проф., МАРХИ (ГА), Москва

РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА

Генеральный директор
Н.С. Шерри; sherri@bl-g.ru

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

Главный редактор
В.П. Будак, д.т.н., проф.; BudakVP@gmail.com

Зам. главного редактора и научный редактор англоязычной версии
Р.И. Столяревская, д.т.н.; lights-nr@inbox.ru

Старший научный редактор
Е.И. Розовский; lampstech@mail.ru
Научный редактор
С.Г. Ашурков; svetlo-nr@yandex.ru
Научный редактор
А.Ю. Басов; basov@bl-g.ru
Выпускающий редактор
П.А. Федорищев; fedorishchev@gmail.com
Зав. редакцией
М.И. Титаренко; zav.red@list.ru
Стилист английской версии
М.Д. Виноградова
Секретарь редакции
Е.А. Булгакова; bulgakova@l-e-journal.com
Дизайнер-верстальщик
А.М. Богданов
Контент-менеджер
Е.С. Серый

ИНОСТРАННЫЕ КОРРЕСПОНДЕНТЫ

Аргентина
Пабло Икстайна (*Pablo R. Ixtaina*), Национальный технологический университет Ла-Платы;
Франция
Георг Циссис (*Georges Zissis*), университет Тулузы;
Индия
Сасвати Мазумдар (*Saswati Mazumdar*), университет Джадавпур;
Словения
Грега Бизяк (*Grega Bizjak*), Люблянский университет;
Турция
– Тугче Казанасмаз (*Tugce Kazanasmaz*), Измирский технологический институт;
– Эрдал Шехирли (*Erdal Sehirli*), университет Кастамону;
– Ренгин Юнвер (*Rengin Unver*), Технический университет Йылдыз (Стамбул)

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

За содержание и редакцию информационных материалов ответственность несет источник информации.

Мнение редакции не всегда совпадает с мнением авторов статей

Сдано в набор 07.05.19. Подписано в печать 07.06.19
Формат 60×88 1/8. Печ.л. 10,00. Тираж 1200

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ 3·2019

В НОМЕРЕ

МАЙ • ИЮНЬ

Бизнес и инновации	32, 41, 58	СТУДЕНЧЕСКИЕ РАБОТЫ	
Колонка главного редактора	3	Минаева С.Ю., Будаков В.П. Исследования по применению осветительных приборов со светодиодами в автосборочном цехе.....	85
Гашпер Ч. Жизнь пожилых людей: освещение, циркадные ритмы и дименция II.....	6	ХРОНИКА	
Карев А.В., Лёскин Д.С. Оперативный контроль фотобиологической безопасности светильников со светодиодами	11	70 лет В.М. Пчелину.....	92
Белов М.Л., Всякова Ю.И., Городничев В.А. Оптический метод обнаружения нефтяных загрязнений на водной поверхности в УФ спектральном диапазоне	15	Памяти Н.И. Василева.....	91
Аллаш М.Е., Василяк Л.М., Елисеев Н.П., Попов О.А., Соколов Д.В. Тестирование и анализ характеристик ртутных и амальгамных бактерицидных УФ ламп НД разных производителей	24	Ушёл из жизни Ю.Е. Новосёлов	95
Мариллас Р.М., Де Андрес Х.Р. Обновление уличного освещения с помощью светодиодных технологий.....	33	СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ	
Пэрдахджи Д., Ёзкан Х. Проектирование СД установок дорожного освещения, работающих на солнечной энергии.....	42	Официальное заявление Международной комиссии по освещению по опасности синего света.....	94
Сенгиз М.С. Связь между коэффициентом эксплуатации и уровнем освещённости в тоннеле.....	51	Международные конференции и выставки в 2019 году (III квартал).....	10
Нестёркина Н.П., Коваленко О.Ю., Журавлёва Ю.А. Анализ характеристик светодиодных ламп в колбе Т8 разных производителей.....	59	Международная научно-практическая конференция «Искусство света: дизайн, архитектура, художественное и проектное творчество».....	78
Уйгун И.Е., Казанасмаз Т., Кале С. Экспериментальная проверка достоверности различных моделей определения энергоэффективности ОУ в общественных зданиях.....	64	ИНФОРМАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ	
Гавриш С.В. Особенности конструкции ксеноновых ламп СВД с сапфировой оболочкой	72	Новые возможности в освещении от компании <i>Osram</i>	1
ДИСКУССИЯ		Четвёртое издание Справочной книги по светотехнике.....	2
Серый Е.С. О возможной системе рейтингов в светотехнической отрасли.....	80	МСК «БЛ Групп»: «Мы рисуем светом!»	22
Боровков С.А. Рейтингование осветительных установок как необходимость для светотехнического рынка РФ и стран ЕАЭС	81	Российское производство с качеством мирового уровня	50
		Выставка <i>Interlight Russia Intelligent Building Russia</i>	79
		25 ярких лет: от «Интерсвета» к <i>Interlight Russia Intelligent Building Russia</i>	93
		Светосервис-Сочи: гарантия высокого качества жизни города	96
		Победитель конкурса «Российский светодизайн 2018» в номинации «Реализованный проект наружного освещения» - «Цветодинамическая система освещения Коммунального моста в г. Красноярске» (МСК «БЛ Групп»).....	1 с. обл.
		Осветительные приборы с ЭМПРА для выращивания растений.....	2 с. обл.
		Преимущества выбора <i>OPORA ENGINEERING</i>	3 с. обл.
		Подписка на журнал «Светотехника»	4 с. обл.

Жизнь пожилых людей: освещение, циркадные ритмы и деменция II¹

ГАШПЕР Ч.

Lumenia d.o.o., Ваце, Словения
E-mail: gasper.coz@lumenia.com

Аннотация

Свет всегда был важной частью человеческой природы и процесса развития. Продолжающиеся исследования света, имеющего воздействие на тело человека, открывают удивительные факты. Эти факты показывают, что свет воздействует на организм человека и может помочь снизить заболеваемость и улучшить здоровье. Доказано, что естественный свет может существенно помочь в этом процессе, и наш клиент решил добиться аналогичного эффекта с использованием искусственного освещения. Развитие такого света повлекло за собой много второстепенных исследований о том, какой вид света оказывает наибольшее влияние на организм человека. Первым проектом, в котором мы установили такой свет, было учреждение по уходу за пожилыми людьми, результаты которого свидетельствуют о воздействии света на гормоны человека.

Ключевые слова: циркадный ритм, разработка светильника, спектральный анализ, проектные измерения.

1. Воздействие света

До недавнего времени биологическое воздействие света и спектра света не представляло интереса для производителей осветительных приборов. Но всё изменилось после недавнего исследования, которое показало очень сильную связь между качеством света и здоровьем [1–3]. Несмотря на то, что убедительные свидетельства глубокого влияния дневного света на здоровье можно проследить на протяжении всей истории, лишь менее двадцати лет назад появилось лаконичное понимание этого процесса [4].

Ещё несколько лет назад основным интересом индустрии освещения было только «как сделать освещение наиболее энергоэффективным, чтобы удов-

летворить визуальные потребности» или то, что в настоящее время известно как процесс «формирования изображения» (ФИ). Однако со временем внимание также сосредоточилось на процессах «незрительного воздействия» (НВ), поскольку стало ясно, что на них также влияет свет. Благодаря более глубокому пониманию того, как работает человеческое зрение, знания по обоим вопросам возросли. Стало очевидным, что то, что было удовлетворительным для ФИ, не было удовлетворительным для НВ, и необходимость разработки освещения, удовлетворяющего обоим процессам, становилась всё более важной [2].

Однако на практике существует всего несколько проектов, которые требуют решений и спектров для этих двух биологических, но разных процессов, – визуального ФИ и циркадного ритма НВ, и пока ещё нет общепринятого стандарта, на который можно было бы опереться.

Если Вы вдруг столкнётесь с требованиями клиента с учётом обоих процессов, Вы должны начать исследование. Начинать с разработки сначала спектра источника света, а затем оптических характеристик светильников как для ФИ, так и для НВ, чтобы получить оптимальный результат [5].

2. Светильник, обеспечивающий НВ

2.1. Спектр светодиодов

Давайте сначала рассмотрим спектр света. Вопрос о том, что требуется для удовлетворения визуальной потребности ФИ, изучен хорошо, и источники света разрабатываются в основном для

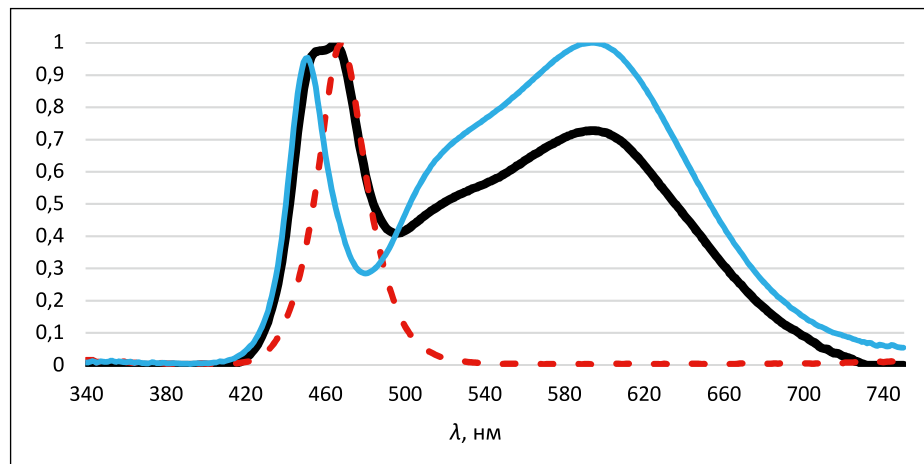


Рис. 1. Относительные спектральные распределения излучения светодиодов

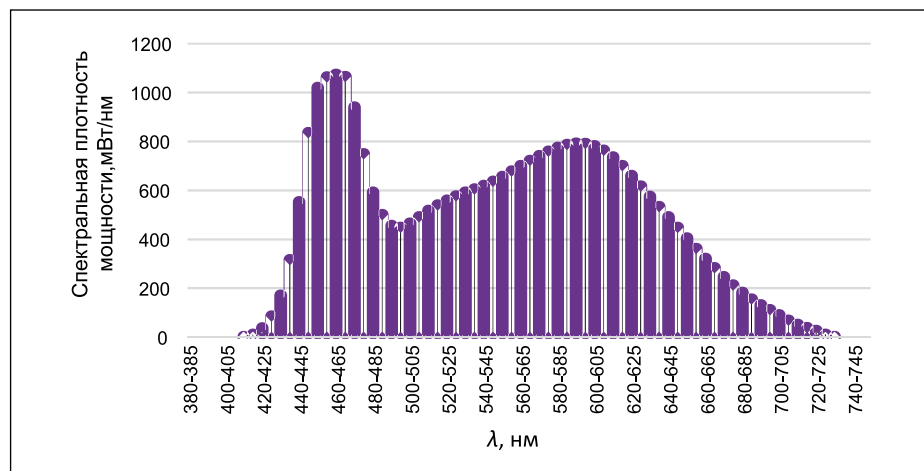


Рис. 2. Спектральная плотность мощности

¹ Перевод с англ. А.Ю. Басова

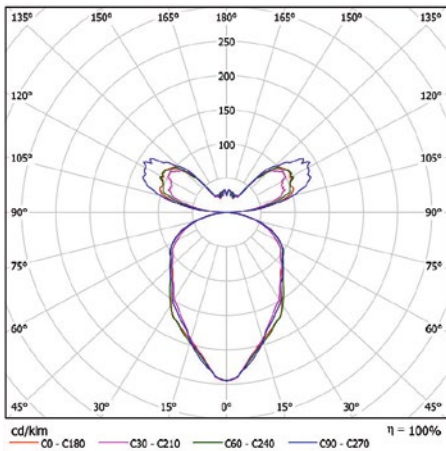
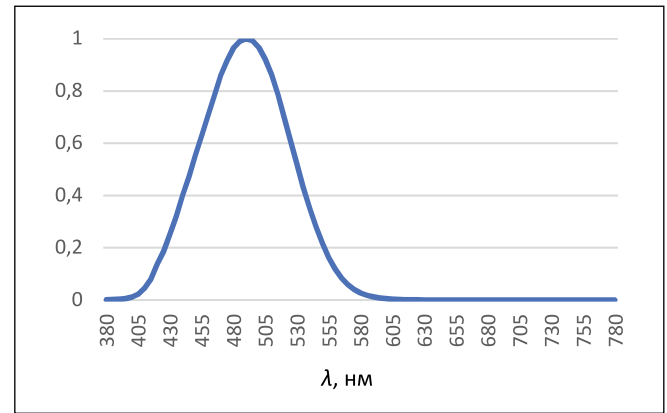


Рис. 3. Светораспределение светильника SKY LUM

оптимального удовлетворения этой потребности. Однако для НВ данных значительно меньше, хотя было проведено много исследований, чтобы сформировать прочную базу для работы. Наиболее важный и самый основной результат этого исследования состоит в том, что спектр света должен содержать достаточно энергии в спектре действия для меланопсина, который имеет пик между 455 нм и 490 нм. Поскольку этот спектральный диапазон не имеет большого значения для зрения или индекса цветопередачи, производители светодиодов и чипов не имеют широкого выбора чипов, излучающих эту часть спектра. Это означает, что можно найти/разработать приемлемый светильник, только комбинируя различные чипы [6].

Принимая во внимание требования НВ и процесс подавления гормона мелатонина, а также повторный выпуск его секреции, мы рассматриваем две коррелированные цветовые температуры (КЦТ) света. Для вечернего и ночного времени нам нужен спектр с низкой энергией, излучаемой внутри кривой С-λ, поэтому нам нужна КЦТ света от 2700 К до 3000 К. Сложность наступает, когда мы хотим получить хороший эффект как для ФИ, так и для НВ. Для таких примеров нам нужен «более холодная» КЦТ, а также, что более важно, высокое значение излучаемой энергии внутри кривых С-λ и V-λ. Мы знаем, что ганглиозные клетки чувствительны к свету и в основном связаны с синими колбочками. Это означает, что лучший эффект подавления мелатонина будет в узкой полосе длин волн синего спектра. Нам нужно объединить два светодиода, чтобы удовлетворить как

Рис. 4. Меланопическая кривая (относительная спектральная эффективность)



эффект ФИ, так и НВ. Проведя масштабное исследование светодиодов на рынке, которые могут обеспечить теоретический принцип НВ, мы нашли решение, которое производит подавление и секрецию мелатонина наиболее эффективным способом. Этот результат показывает, что коэффициент активации, который мы достигли, составляет 0,68, что выше, чем у большинства чрезвычайно холодных белых светодиодов на рынке.

$$a_{\text{мел},v} = \frac{X_{e,\text{мел}}}{X_{e,\text{вид}}} = \frac{\int_{380\text{нм}}^{580\text{нм}} X_{\lambda}(\lambda) S_{\text{мел}}(\lambda) d\lambda}{\int_{380\text{нм}}^{780\text{нм}} X_{\lambda}(\lambda) V(\lambda) d\lambda}$$

Синяя линия на рис. 1 соответствует белому светодиоду 4000 К, а красная линия соответствует синему светодиоду с пиковым значением на длине волны 468 нм. КЦТ этой комбинации составляет 5300 К и показывает интересное увеличение индекса цветопередачи с 80, который мы получили для стандартного белого светодиода 4000 К, до 91, просто добавив монохроматический синий светодиод. Это приводит к эффективному решению для процессов НВ и ФИ. Энергия, излучаемая в интервале 455–480 нм, составила 5,016 мВт с максимальной плот-

ностью спектральной мощности равной 218 мВт/нм при 465 нм (рис. 2). Это означает достаточное количество энергии для подавления мелатонина, но энергия с этой длиной волны, которую мы получаем от естественного света, намного больше [7].

Хотя мы рассматриваем процесс выработки гормона мелатонина, мы должны принять во внимание, что при воздействии полученного спектра секреция мелатонина должна начинаться перед сном. На этом этапе нам нужно изменить спектр на противоположный, то есть нам нужно снизить спектральную плотность мощности на длинах волн с 380 до 580 нм, что приведёт к использованию светодиода с более низкой КЦТ от 2700 К до 3000 К.

Однако эффективность такого светильника нельзя сравнить с эффективностью стандартного светодиодного светильника на рынке. Используя монохроматический светодиод с эффективностью всего 25 лм/Вт, мы можем достичь максимальной эффективности светильника всего 95 лм/Вт для достигнутого спектра. Однако тёплый белый цвет может иметь эффективность 115 лм/Вт. При разработке такого типа светильника и спектра мы также должны понимать предысторию процесса, который происходит внутри циркадных часов человеческого тела.

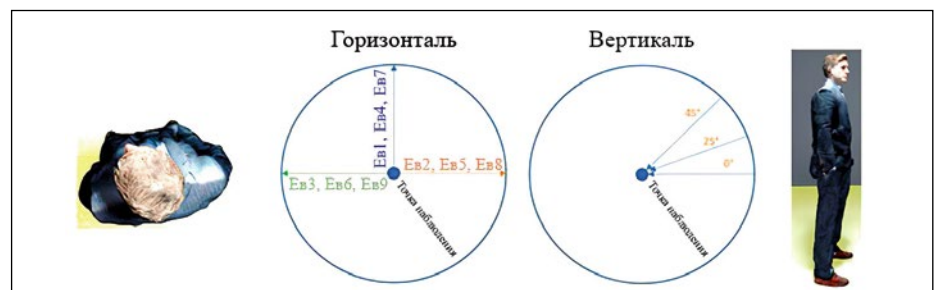


Рис. 5. Направления точек измерения

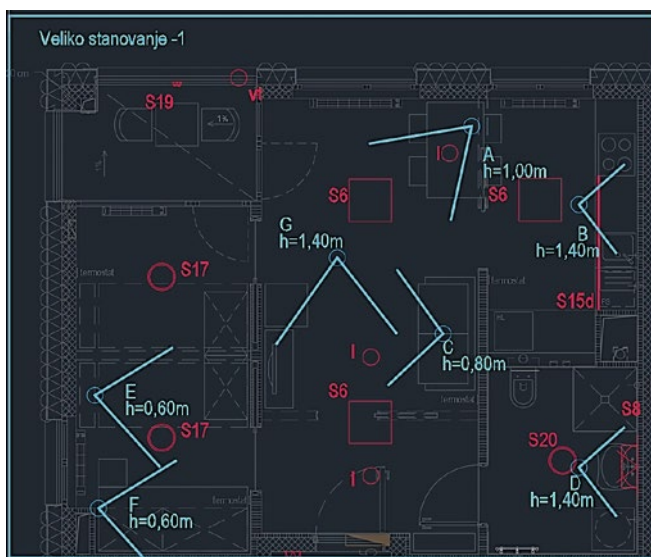


Рис. 6. Точки измерения в помещении

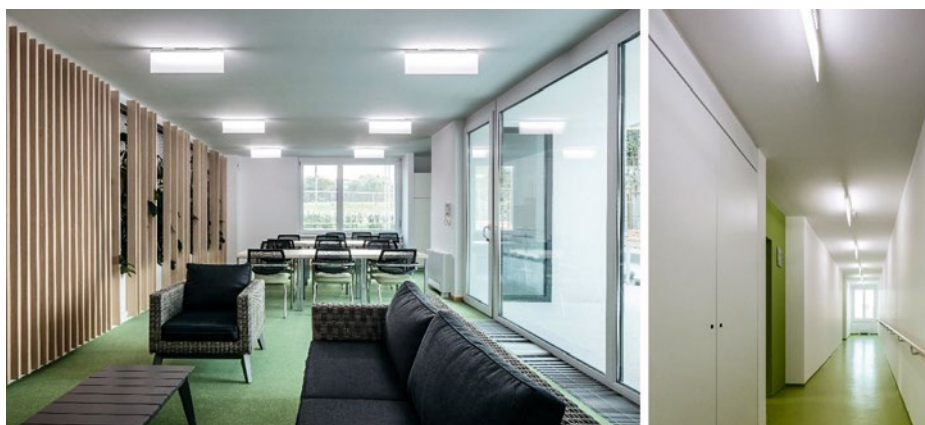


Рис. 7. Потолочные светильники SKY LUM с низким уровнем блёскости и минималистичным дизайном

2.2. Светораспределение светильника

Вторым шагом в разработке светильника является обеспечение светораспределения, которое должно быть удовлетворительным как для ФИ, так и для НВ. К счастью, есть некоторые параметры, которые нужны для обоих процессов, – отсутствие блёскости, отсутствие мелькания и отсутствие большого разброса в значениях яркости в поле зрения. Это может быть достигнуто с помощью большой светоизлучающей поверхности, в которой мы должны учитывать как прямой, так и непрямой свет. Углы, при которых свет попадает в наши глаза, составляют от 40° до 60° при естественном освещении. Под этими углами происходит воздействие на большинство светочувствительных ганглиозных клеток и подавление мелатонина. Непрямой свет играет очень важную роль в формировании лучей под этими углами.

Второй важной особенностью светораспределения является низкий градиент между яркостью потолка и яркостью светоизлучающей поверхности. Например, если мы посмотрим на светильники даунлайты, градиент яркости может достигать 1:10000, в то время как при прямом и непрямом освещении его можно легко уменьшить до 1:40 или даже ниже 1:10.

Мы решили работать с непрямым и прямым светораспределением, где доля света в верхнее полупространство составляет 45 % и в нижнее полупространство – 55 %. Оргстекло со специальным лазерным рисунком обеспечивает форму светораспределения в виде крыльев летучей мыши в верхнем полупространстве и узкое Ламбертовское распределение в нижнем полупространстве (рис. 3)

Свет поступает на пластину из оргстекла со стороны, где расстояние между светопроводящей панелью и светодиодами должно быть очень

точным. Расстояние для достижения минимальных световых потерь должно составлять от 0,4 до 0,8 мм.

2.3. Проект освещения учреждения по уходу за пожилыми людьми

Изделие назвали SKY LUM, и первый проект был выполнен для дома престарелых. После нескольких месяцев использования светильника, в которых мы находили освещённость под разными углами и эквивалентные меланопические люксы (ЭМЛ). ЭМЛ рассчитываются по потоку, определяемому с помощью меланопической кривой, показанной на рис. 4. Концепция ЭМЛ приводится в американском стандарте WELL Building и показывает количество света, которое влияет на наш циркадный ритм.

Точки измерения рассматривались в трёх разных условиях – на высоте глаз постояльцев, под углом спектрометра и в направлении угла наблюдения в соответствии с положением постояльцев в комнате (рис. 5–6).

В табл. 1 и на рис. 7–8 представлены примеры измерений в помещениях. Они показывают разницу при различном угле наклона спектрометра. Результаты для точки E сильно отличаются. Это связано с наличием классических плафоньеров без увеличенной доли синего в спектре, необходимой для циркадного света. Меланопический коэффициент в этом случае составляет почти половину от значений при освещении светильниками SKY LUM в помещении.

Заключение

Запрос клиента бросил вызов как светотехникам, так и дизайнерам. Задача состояла не в том, чтобы создать специальный спектр, а в том, чтобы понять процессы НВ, которые происходят внутри нашего тела. Количество отчётов о медицинских и технических исследованиях по этой проблеме огромно, но некоторые из них могут вводить в заблуждение. Это может быть связано со слабым (поверхностным) базовым пониманием неврологических и эндокринных данных исследователями и светораспределения установленных приборов [6, 8, 9].

Изделие, которое мы успешно разработали и установили в доме пре-

Результаты измерений в помещениях

Угол измерения 0°							
Точка измерения	Высота точки, м	E_g , лк	E_{v1} , лк	Пиковая длина волны, нм	Энергия, мВт/м ² /нм	ЭМЛ, лк	Меланопический коэффициент
A	1,2	591,7	420	465,92	9,77	332,05	0,96
B	1,4	1503,12	545,17	456,74	11,87	391,04	0,87
C	1,1	548,63	371,62	465,92	8,27	285,61	0,94
D	1,4	389,16	269,17	465,92	6,17	217,18	0,98
E	0,9	403,52	229,87	606,13	4,79	101,52	0,54
G	1,4	840,24	290,39	467,75	6,35	220,29	0,92
Угол измерения 25°							
Точка измерения	Высота точки, м	E_g , лк	E_{v4} , лк	Пиковая длина волны, нм	Энергия, мВт/м ² /нм	ЭМЛ, лк	Меланопический коэффициент
A	1,2	591,7	673,61	465,92	16,3	549,67	0,99
B	1,4	1503,12	659,35	458,57	14,31	494,27	0,91
C	1,1	548,63	514,85	465,92	12,06	410,73	0,97
D	1,4	389,16	375,39	465,92	8,8	307,92	1
E	0,9	403,52	326,36	607,83	6,71	145,73	0,54
G	1,4	840,24	334,38	467,75	7,7	263,11	0,96
Угол измерения 45°							
Точка измерения	Высота точки, м	E_g , лк	E_{v7} , лк	Пиковая длина волны, нм	Энергия, мВт/м ² /нм	ЭМЛ, лк	Меланопический коэффициент
A	1,2	591,7	749,09	465,92	18,39	617,60	1
B	1,4	1503,12	975,16	465,92	22,44	767,38	0,96
C	1,1	548,63	597,94	465,92	14,29	484,40	0,99
D	1,4	389,16	441,48	465,92	10,31	361,40	1,00
E	0,9	403,52	392,6	602,72	8,06	175,52	0,54
G	1,4	840,24	529,52	467,5	12,78	431,3	0,99



Рис. 8. Подвесные светильники SKY LUM обеспечивают низкий световой градиент от потолка и светящейся поверхности, создавая низкую блёккость и правильные углы освещения для процессов НВ

старелых, приводит к новому подходу к использованию света, который может помочь людям, которые по разным причинам не могут подвергаться достаточному количеству дневного света. Часто это происходит из-за недостаточного количества персонала для помощи и перемещения пожилых людей с ограниченными возможностями. Этот спектр позволяет поддерживать порядок в циркадных ритмах, что оказывает положительное влияние на процессы заживления, а также на улучшение иммунной системы и т.д. Заказчик *Nepremičninski Sklad Slovenia* (Фонд пенсионного страхования и страхования недвижимости на случай инвалидности) был рад построить один из первых общих проек-

тов в Европе, которые поддерживают процессы НВ посредством искусственного освещения. Результаты измерений показывают, что светильники излучают спектр, необходимый для воздействия на циркадные ритмы. Это подтверждает, что мы преуспели в разработке эффективного освещения как для НВ, так и для процессов ФИ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Wurtman R.J.* The effects of light on the human body // *Scientific American*.– 1975. – Т. 233.– #1. – С. 69–77.
2. *Wetterberg L.* Light and biological rhythms in Man. London: Pergamon Press.– 1992.– # 351.
3. *L.O. Bjorn.* Photobiology: The science of light and life. 3rd edition. New York: Springer Science+Business Media.– 2015.– 455 с.

4. *S.W. Lockey, G.C. Brainard, C.A. Czeisler.* High sensitivity of the human circadian melatonin rhythm to resetting by short wavelength light // *J Clin Endocrinol Metab*.– 2003. – Т. 88.– #9. – С. 4502–4505.

5. CIE227:2017, Lighting for older people and people with visual impairment in buildings.– 2017.– 73 с.

6. *R.J. Lucas, S.N. Peirson, D.M. Berson и др.* Measuring and using light in the melanopsin age // *Trends in Neurosciences*.– 2013. – Т. 37.– #1. – С. 1–9.

7. *M. Figueiro, J.D. Bullough, M.S. Rea.* Spectral sensitivity of the circadian system // *Proceedings of SPIE*.– 2003.– 8 с.

8. *C. Czeisler, J. Gooley.* Sleep and circadian rhythms in humans // *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*.– 2007. – Т. 72.– #1. – С. 579–597.

9. *G. Brainard, A.M. Chang.* Why is blue light before bedtime bad for sleep? – 2017.

URL: <https://retinaguardstore.com/blogs/news/retinaguard-why-is-blue-light-before-bedtime-bad-for-sleep>



Гашпер Чож, инженер, в 2015 окончил электротехнический факультет Люблянского университета, Словения. Последние 6 лет он занимается светодиодными технологиями,

изучая и разрабатывая профессиональные светодиодные изделия. В настоящее время он является продакт менеджером в Litenia d.o.o, в основном занимается исследованиями новейших светодиодных технологий

МЕЖДУНАРОДНЫЕ КОНФЕРЕНЦИИ И ВЫСТАВКИ В 2019 ГОДУ (III квартал)

Дата	Название мероприятия	Место проведения
Июль. Дни будут объявлены	Lighting for Health and Wellbeing Conference Международная конференция по человекоцентричным подходам к освещению	Ньюпорт-Бич (Калиф.), США lightsearch.com
04–06.07	LIGHTEXPO Africa 2019 Международная светотехническая выставка-ярмарка, с конеренцией	Найроби, Кения lightsearch.com
10–12.07	Агрорусь – 2019 Международная агропромышленная выставка-ярмарка	Санкт-Петербург, РФ exponent.ru
25–27.07	InterLumi Panama Международная светотехническая выставка-ярмарка	Панама-Сити, Панама lightsearch.com
Август. Дни будут объявлены	LED Forum Международная конференция по освещению светодиодами	Сан-Паулу, Бразилия lightsearch.com
04–07.09	China International Optoelectronic Exposition (CIOE) Китайская международная выставка-ярмарка оптоэлектронных изделий, с конференцией	Шеньжень, КНР lightsearch.com
09–10.09	Международная научно-техническая конференция по применению светодиодных фитооблучателей	Москва, РФ hlconf2019.vnisi.ru
10–13.09	Interlight Russia Intelligent building Russia Международная выставка декоративного и технического освещения, электротехники и автоматизации зданий	Москва, РФ interlight-moscow.ru
24–26.09	Trends in Lighting – Smart Lighting Forum & Show (TIL 2019) Международная конференция по интеллектуальному освещению, с выставкой	Брегенц, Австрия
	LED professional Symposium +Expo Международный симпозиум по широкому кругу проблем освещения светодиодами, с выставкой-ярмаркой	forum-trends.lightinglightsearch.com
	OLEDs World Summit Международная выставка-ярмарка по trade show – conference	Сан-Хосе (Калиф.), США lightsearch.com
	Build School – 2019 3-я Международная выставка по проектированию, строительству и модернизации детских садов и школ	Москва, РФ exponet.ru

Оперативный контроль фотобиологической безопасности светильников со светодиодами

А. В. КАРЕВ, Д. С. ЛЁСКИН

ООО «МГК «Световые Технологии», Москва
E-mail: a.karev@ltcompany.com

Аннотация

Фотобиологическая безопасность стала неотъемлемой частью требований к безопасности светильников общего назначения, в т.ч. при проведении обязательной сертификации. В этой связи резко возросла необходимость контроля данной характеристики при разработке и производстве ОП (светильников), а также при продажах импортных ОП на российском рынке. Вместе с тем экспериментальная оценка данного показателя, в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИЕС62471–2013, достаточно трудоёмка, требуя применения специального оборудования и квалифицированного персонала. Данное обстоятельство делает практически невозможным оперативный контроль фотобиологической безопасности производителями.

Зарубежная практика применения стандартов в области фотобиологической безопасности подтверждает данную проблему. В 2014 г. Международная электротехническая комиссия выпустила руководство по применению положений стандарта, значительно упрощающее процедуру данных оценок – IEC/TR62778:2014.

В статье описан метод применения положений этого руководства в качестве оперативного инструмента при разработке ОП (светильников) с СД белого света общего назначения. Положения заключаются в оценке уровня опасности по освещённости в зоне наиболее вероятного расположения наблюдателя и цветовым характеристикам источника света.

Предложен расчётный метод оценки уровней рисков на основе данных о пространственном светораспределении и коррелированной цветовой температуре ОП, проведено сравнение результатов расчётов с результатами испытаний в лабораториях.

Ключевые слова: технический регламент, фотобиологическая безопасность, светодиоды, опасность синего света, здоровье населения, контроль

качества, производственные испытания, методики испытаний, группы риска, информация для потребителя.

Актуальность

В конце 2016 г. вступило в действие решение Коллегии Евразийской экономической комиссии в части дополнения технического регламента Таможенного союза «О безопасности низковольтного оборудования» (ТР ТС 004/2011) новыми требованиями по фотобиологической безопасности ламп и ламповых систем, а именно требованиями стандарта ГОСТ Р ИЕС62471–2013 («Лампы и ламповые системы. Светобиологическая безопасность»). Таким образом, при анализе безопасности применения современных осветительных приборов (ОП) и установок участники профессионального светотехнического рынка, надзорные органы, общественные организации и потребители продукции обязаны оценивать, учитывать и предупреждать о наличии или отсутствии каких-либо рисков в области фотобиологии.

Массовое применение светодиодных (СД) источников света в ОП придаёт данному вопросу особую актуальность. В 2010 г. в отчёте агентства ANSES (*French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety*) [1] были выражены озабоченности и тревоги о возможных последствиях внедрения СД в освещение. К настоящему времени мировой опыт эксплуатации светильников, научные и прикладные исследования специалистов разного профиля позволили более системно и взвешенно оценивать риски применения СД. В июне 2018 г. SCHEER (Научный комитет по здоровью, окружающей среде и новым рискам) утвердил отчёт [2]. На основе, представляющегося глубоким, анализа Комитет пришёл к выводу об отсутствии свидетельств прямого неблагоприятного воздействия СД на здоровье населения при нормальном исполь-

зовании. К аналогичным заключениям приходят и отечественные исследователи [3].

Вместе с тем международная практика оценки безопасности светильников общего назначения, в соответствии со стандартом IEC60598–1:2014 («Светильники. Часть 1. Общие требования и испытания»), с 2014 г. включает требования по оценке уровня опасности «синего света» – излучения в диапазоне $\lambda = 400\text{--}500\text{ нм}$ – (*the blue light hazard*). Излучение этого диапазона может оказывать фотоповреждающее воздействие на сетчатку глаза [4, 5]. В соответствии с данным стандартом, при оценке степени риска (СР) при использовании ОП с СД (СД модулей) необходимо следовать положениям руководства IEC/TR62778:2014 («Использование IEC62471 при оценке опасности синего света для источников света и светильников»), в том числе и в части предложенного упрощённого метода оценки опасности по уровню освещённости в контрольной точке.

В целом метод оценки ОП (светильника) на соответствие требованиям IEC/TR62778:2014 включает следующие этапы:

- Определение группы риска (ГР) СД излучения (обычно путём серии измерений освещённости и (или) яркости по описанным в руководстве методам испытаний).
- Подтверждение того, что продукт имеет знаки на корпусе, информацию в спецификации, инструкции для пользователя о соответствующей установленной ГР.

- Создание отчёта по результатам испытаний, документирующее соответствие ОП требованиям IEC/TR62778:2014 и IEC60598.

Метод имеет важное практическое значение. Производители (продавцы) ОП получили инструмент оперативного контроля соответствия изделий требованиям фотобиологической безопасности и возможность использования отчёта при декларировании безопасности изделия в целом. По данным разработчиков точность получаемых оценок составляет 15 %, что можно считать приемлемым.

Метод применения положений IEC/TR62778 на практике

Инженеры-испытатели Центральной заводской лаборатории МГК


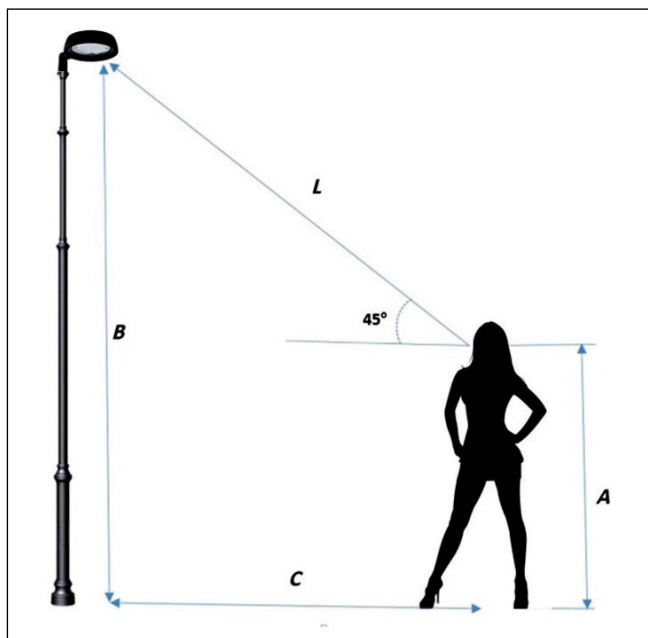
Группа риска	Уровень риска	Экспозиция	Дополнительная маркировка изделия
0	Отсутствует	Фотобиологическая опасность отсутствует, т.к. нет опасного синего излучения для сетчатки глаза в течение более, чем 10000 с (около 2,8 ч).	Не требуется
1	Небольшой	Фотобиологическая опасность при нормальных поведенческих ограничениях отсутствует, т.к. нет опасного синего излучения для сетчатки в течение 100–10000 с.	Не требуется
2	Средний	ОП не создают опасности неприятных ощущений, т.к. нет опасного синего света для сетчатки в течение 0,25–100 с.	 <p>Информация для внесения в документацию: ВНИМАНИЕ! Возможно опасное оптическое излучение, исходящее от этого изделия. Не смотрите на работающий источник света. Это может быть вредным для глаз.</p>

Рис. 1. Сцена наиболее вероятного расположения наблюдателя в зоне освещения ОП наружного освещения



«Световые Технологии», подтверждая соответствие продукции требованиям по фотобиологической безопасности, наряду с испытаниями ОП (светильников) в специализированных испытательных центрах, внедрили метод по IEC/TR62778:2014 в повседневную практику.

Согласно ГОСТ IEC62471–2013, ГОСТ IEC62031–2011 и IEC/TR62778:2014, ОП с СД классифицируются по степени фотобиологической опасности их излучения (по критерию «опасность синего света») на четыре ГР (табл. 1)¹.

Целью проверки фотобиологической безопасности при применении

ОП с СД общего назначения является установление принадлежности ОП к безопасным ГР: ГР 0 или ГР 1.

В случае достижения уровня опасности по ГР 2 определяется условие наиболее вероятной установки ОП на объекте относительно возможных наблюдателей, при котором выполняется условие безопасной ГР 1 – границы ГР 1 / ГР 2. Данная информация должна размещаться на корпусе ОП в виде специального знака и в сопроводительной документации.

В табл. 2 приведены пороговые значения освещённости в точке расположения глаз наблюдателя на плоскости, перпендикулярной направлению на источник света, в зависимости от значения $T_{\text{ИК}}$ (IEC/TR62778:2014), определяющие верхнюю границу принадлежности сценария к ГР 1.

Согласно положениям стандарта IEC/TR62778:2014, производитель (продавец) конкретного ОП самостоятельно определяет наиболее вероятное положение наблюдателя, при котором возможно ненамеренное облучение глаз светом ОП при его штатном расположении в пространстве. Данная методика вошла в отраслевой стандарт Ассоциации производителей светодиодов и систем на их основе (АПСС) как метод оценки фотобиологической опасности ОП с СД [6].

¹ Фотобиологическая опасность ОП общего назначения, соответствующая ГР 3, маловероятна на практике и в данном случае не рассматривается.

Результаты расчётно-экспериментальных оценок

Таблица 2

Нами рассмотрены вероятные сценарии расположения наблюдателей и приведён пример оценки опасности воздействия синего света ОП с СД на зрительный орган человека на базе методики IEC/TR62778:2014.

Рассмотрим пример с консольным ОП для садово-паркового освещения (рис. 1):

- ОП расположен на опоре на высоте $B = 4$ м.
- ОП выполнен на базе СД с $T_{\text{цк}}$, в первом случае равной 4000 К, а во втором – 5000 К.

Основная погрешность люксметра – в пределах $\pm 10\%$. Рассматриваемые в методе СД источники света для ОП общего назначения сходны по спектральному составу и дают белый свет. В этой связи возможная погрешность измерений освещения белым светом при разных $T_{\text{цк}}$ ОП существенно не влияет на основную погрешность люксметра.

Наиболее вероятным, с позиций воздействия света на наблюдателя, следует считать расположение его на некотором расстоянии C от опоры ОП (в рассматриваемом примере, $C = 2,5$ м). При этом голова наблюдателя находится на высоте около 1,6 м от поверхности земли, а взгляд направлен непосредственно на ОП, под углом около 45° к линии горизонта. Соответственно, расстояние до ОП от головы наблюдателя $L \approx 3,5$ м (рис. 1). Следует добавить, что вероятный диапазон углов наблюдения ОП – $(30-60)^\circ$ и оценки пороговых расстояний для ОП этого типа можно проводить в этой зоне.

На данном расстоянии следует измерить освещённость E_v на виртуальной плоскости, перпендикулярной направлению на ОП. В случае, если известна сила света I_v в данном на-

Диапазон значений $T_{\text{цк}}$ источника света, К	Пороговая освещённость в точке расположения глаз наблюдателя, лк, не более
< 2350	4000
$2350 \leq T_{\text{цк}} < 2850$	1850
$2850 \leq T_{\text{цк}} < 3250$	1450
$3250 \leq T_{\text{цк}} < 3750$	1100
$3750 \leq T_{\text{цк}} < 4500$	850
$4500 \leq T_{\text{цк}} < 5750$	650
$5750 \leq T_{\text{цк}} < 8000$	500

правлении (например, при измерении на гониофотометре), то освещённость определяется как $E_v = I_v \cdot L^{-2}$.

Допустим, что значение освещённости в выбранной точке составляет (750 ± 75) лк. Тогда в случае источника света ОП с $T_{\text{цк}} = 4000$ К условие соответствия ОП ГР 1 выполняется (табл. 2), т.к. (750 ± 75) лк < 850 лк.

Соответственно, 3,5 м является тем расстоянием, с которого можно наблюдать источник света ОП без негативных последствий для зрительного аппарата. Минимально допустимое пороговое расстояние начала зоны ГР 2 можно более точно определить экспериментально или расчётным путём.

После определения величины порогового расстояния, требуется разместить соответствующую информацию в технической документации и предупредительный знак на корпусе ОП с СД общего назначения о принадлежности к ГР 2 при наблюдении с определённого расстояния.

Теперь представим, что $T_{\text{цк}}$ источника света ОП равна 5000 К. В этом случае условие соответствия ОП ГР

1 – не выполняется, так как в данном случае освещённость, согласно IEC62778:2014, не должна превышать 650 лк. Для определения минимально допустимого расстояния следует отдалять виртуальную точку расположения головы наблюдателя до получения значения освещённости не выше 650 лк. В этом случае определится новое значение этого расстояния, с которого можно наблюдать источник света ОП без серьёзных последствий для зрительного аппарата (например, 4,5 м). В данном случае потребуются разместить предупредительный знак на корпусе ОП с СД с излучением ГР 2, указывающий «минимальное расстояние 4,5 м».

Определение принадлежности ОП к ГР 0 проводится с помощью определения габаритной яркости светящего тела в направлении глаз наблюдателя. Яркость определяется при помощи соответствующего средства измерения согласно ГОСТ Р 54350–2015. Положение виртуального наблюдателя выбирается исходя из примера, описанного выше. Если измеренное

Рис. 2. Интерфейс программы для оценки уровня фотобиологической опасности и распределение силы света ОП (светильник) в декартовых координатах (CRI – общий индекс цветопередачи R_d)



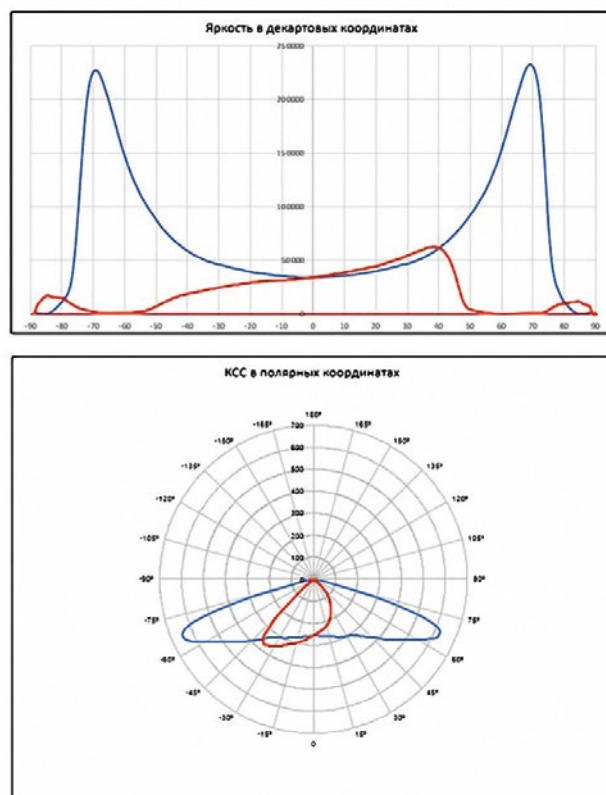
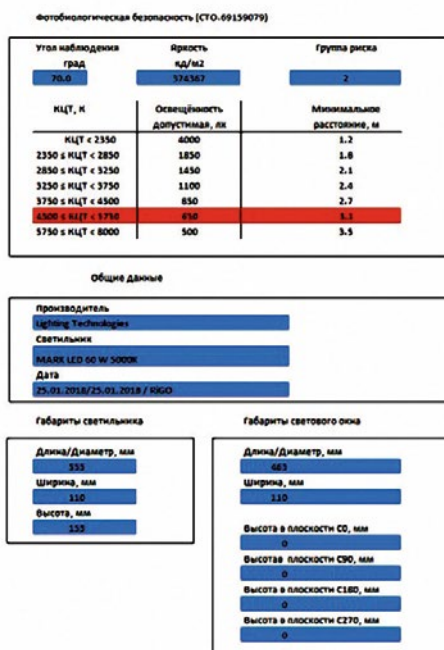


Рис. 3. Интерфейс программы с результатами оценки уровня светобиологической опасности и габаритная яркость ОП (светильник) в декартовых координатах

(вычисленное) значение габаритной яркости меньше 10000 кд/м², ОП относится к ГР 0.

Изложенный подход к оценке принадлежности ОП к той или иной ГР по фотобиологической безопасности позволяет использовать данные пространственного распределения силы света ОП, полученные на гониофотометре, в виде файлов *LDT*.

Нами была разработана соответствующая программа, позволяющая оперативно оценивать указанные характеристики ОП. Помимо данных о распределении сил света в файлах *LDT* содержится информация об электрических и цветовых характеристиках, а также габариты ОП. Ряд параметров при расчёте вводится вручную. Прежде всего это наиболее вероятный угол наблюдения ОП.

Для удобства пользователей информация о распределении силы света и яркости ОП выводится в виде графиков (рис. 2 и 3). Такая информация полезна при анализе пространства вокруг ОП и определении наиболее «фотобиологически опасных» зон. Далее программа проверяет все меридиональные плоскости под указанным выше углом и указывает его максимум.

Сравнение полученных результатов с результатами испытаний, выполнен-

ных в аккредитованных лабораториях, позволило констатировать, что оценки по упрощённому методу, согласно IEC/TR62778:2014, являются оценками опасности сверху. Это позволяет гарантированно определять расстояние до безопасных зон расположения наблюдателя – зон, где выполняются условия ГР 1 фотобиологической безопасности для ОП белого света, и, при необходимости, размещать данную информацию на предупреждающем знаке на корпусе ОП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Effets sanitaires des systèmes d'éclairage utilisant des diodes électroluminescentes (LED). URL: <https://www.anses.fr/fr/system/files/AP2008sa0408.pdf> (дата обращения: 01.11.2018).
2. Potential risks to human health of Light Emitting Diodes (LEDs). Final opinion. URL: https://ec.europa.eu/health/sites/health/files/scientific_committees/scheer/docs/scheer_o_011.pdf (дата обращения: 01.11.2018).
3. Амеликина С.А., Железникова О.Е., Синуцына Л.В. Об эффективности освещения светодиодами по зрительной работе // Светотехника.– 2018.– № 2. – С. 6–10.
4. Блаттнер П., Даниленко К., Зак П., Текшева Л., Шаракшанэ А. Световая среда для человека: наука, промышленность


и закон // Светотехника.– 2016.– № 1. – С. 45–49.

5. Point S. Blue Light Hazard: are exposure limit values protective enough for newborn infants? // Radioprotection.– 2018. – Vol. 53, No. 3. – P. 219–224. URL: <https://doi.org/10.1051/radiopro/2018025> (дата обращения: 01.11.2018).

6. СТО.69159079–02–2018 «Приборы осветительные светодиодные. Требования к подтверждению технических и эксплуатационных параметров. Методы испытаний».



Карев Александр Владимирович, кандидат техн. наук. Окончил в 1983 г. МЭИ. Технический директор ООО «МГК «Световые Технологии»



Лёскин Дмитрий Сергеевич, инженер. Окончил в 2010 г. МЭИ (ТУ). Инженер-оптик ООО «МГК «Световые Технологии»

Оптический метод обнаружения нефтяных загрязнений на водной поверхности в УФ спектральном диапазоне

М.Л. БЕЛОВ¹, Ю.И. ВСЯКОВА, В.А. ГОРОДНИЧЕВ

НИУ «МГТУ им. Н.Э. Баумана», Москва

¹ E-mail: belov@bmstu.ru

Аннотация

Проведён анализ эффективности оптического (фото- и радиометрического) метода обнаружения нефтяных загрязнений, основанного на различии в отражательных характеристиках чистой и загрязнённой нефтью водных поверхностей, при выборе длины волны зондирования в УФ, видимом, ближнем и среднем ИК диапазонах спектра. Показано, что с точки зрения безопасности для глаз, ширины интервала толщин обнаруживаемых плёнок нефти и ослабления в атмосфере наиболее перспективным для мониторинга нефтяных загрязнений является зондирование в УФ диапазоне на длине волны 0,355 мкм, что позволяет надёжно обнаруживать плёнки нефти толщиной не менее 2 мкм с вероятностью правильного обнаружения более 0,9 и вероятностью ложных тревог менее 0,002 при относительном шуме измерений не более 5 %.

Ключевые слова: дистанционный оптический метод, безопасные для зрения длины волн излучения, УФ диапазон спектра, нефтяные загрязнения на водной поверхности, обнаружение.

1. Введение

Проблема охраны окружающей среды, и в первую очередь, воздушного и водного бассейнов, – одна из важнейших на сегодняшний день [1–6].

Из загрязнителей океанов, морей, озёр и рек нашей планеты одно из первых мест принадлежит нефти и продуктам её переработки. Основные факторы нефтяных загрязнений морских, озёрных и речных акваторий – катастрофы с морскими судами (особенно с танкерами), нефтедобыча на морских шельфах, аварии на нефтепроводах (особенно на переходах через реки, каналы, озёра и водохранилища), повреждения подводных хранилищ нефтепродуктов и утечки их содержимого, речной сток и др. [2, 4, 7–10].

Наиболее опасны по частоте и объёму разливов нефти катастрофы с нефтеналивными судами и катастрофы при нефтедобыче на шельфе, а также аварии нефтепроводов, хранилищ нефти и нефтепродуктов (когда утечки определяются контрольными приборами). В этих случаях факт аварийных разливов нефти, как правило, известен и встаёт задача картирования пятна нефтяного загрязнения и контроля его эволюции во времени.

Не менее важна задача обнаружения нефтяных загрязнений, когда утечки не определяются контрольными приборами, и при различных авариях, когда информацию о них не сообщают. Для предотвращения экологических последствий таких загрязнений желательно обнаруживать их на как можно более ранней стадии.

Статья посвящена разработке оперативного дистанционного оптического (фото- и радиометрического) ме-

тода обнаружения нефтяных загрязнений на водной поверхности.

2. Постановка задачи

Быстрый рост загрязнений водной среды нефтепродуктами обуславливает необходимость развития методов и аппаратуры для их оперативного обнаружения.

В наибольшей степени всем требованиям к средствам обнаружения нефтяных загрязнений удовлетворяют дистанционные методы, позволяющие инспектировать обширные акватории за небольшой промежуток времени и проводить как обнаружение, так и картирование загрязнений.

Для оперативного дистанционного обнаружения нефтяных загрязнений на водной поверхности, особенно в прибрежных районах морей и на ранней стадии разлива, наиболее подходят самолётные носители.

Разливы нефти можно дистанционно обнаруживать как пассивными, так и активными методами [4, 10–20].

С помощью пассивных методов регистрируют отражённое от поверхности моря солнечное излучение, радиотепловое излучение поверхности в СВЧ диапазоне или тепловое излучение в ИК области спектра. Однако все пассивные методы обнаружения имеют недостатки. Применение первого возможно лишь в дневное время и при благоприятных погодных условиях, основной недостаток второго – невозможность обнаружения плёнок толщиной менее 100 мкм и существенное влияние волнения моря, а недостатком третьего является то, что температурный контраст «нефтяное загрязнение – чистая поверхность воды» сильно зависит от толщины плёнки, гидрометеорологических условий и времени суток и может быть как положительным, так и отрицательным.

При активных методах для облучения поверхности моря используют какой-нибудь источник излучения – радиолокационную станцию или оптический локатор. Обнаружение нефтяных загрязнений радиолокационным методом основано на том, что нефтяная плёнка уменьшает ВЧ составляющие волнения. Его основной недостаток в том, что на водной поверхности присутствуют и другие (не связанные с нефтяным загрязнением) участки со сглаженным волнением, которые могут создаваться выходом внутренних волн, плёнками поверхности активных веществ, ветровой тенью за островами или крутым берегом и т.п. Поэтому возникает проблема отличия зон нефтяных загрязнений от других участков поверхности со сглаженным ветровым волнением. Кроме того, при штиле и слабом ветре радиолокационный метод не может обнаруживать нефтяные загрязнения (при этих условиях рябь на поверхности отсутствует или очень мала). Обнаружение нефтяных загрязнений активными оптически-

ми методами возможно в любое время суток и основано на различии отражательных или флуоресцентных характеристик чистой и загрязнённой нефтепродуктами водных поверхностей.

В обзорах по системам оптического зондирования указывается, что их основной недостаток – существенная зависимость от атмосферных условий. Это действительно так, если говорить о всех системах оптического зондирования вообще. Однако для авиационных систем этот недостаток сильно сглажен (атмосфера существенно неоднородна по вертикали, и основной вклад в ослабление излучения даёт относительно тонкий, около 50–100 м, приземный слой).

В настоящее время известен ряд активных оптических методов обнаружения нефтяных загрязнений. Например: 1) флуоресцентный позволяет проводить обнаружение нефтяных загрязнений на водной поверхности, измерение толщины плёнок нефтепродуктов и их классификацию, однако для большинства флуоресцентных лидаров дальность (высота) зондирования не превышает 100–150 м; 2) метод активной оптической локации, основанный на различии отражательных характеристик чистой и загрязнённой нефтепродуктами водных поверхностей. Его достоинства – относительная простота аппаратуры и возможность зондирования с больших высот.

Анализ существующих методов обнаружения нефтяных загрязнений водной поверхности [4, 10–20] показывает, что аппаратура оптического дистанционного зондирования является наиболее эффективным вариантом для оперативной системы мониторинга нефтяных загрязнений. При этом перспективным представляется комплексирование [4, 10] флуоресцентного лидара с оптическим локатором, позволяющим проводить анализ характеристик отражения водной поверхности с высоты в несколько километров (при большой высоте полёта самолётная аппаратура обеспечивает большую полосу мониторинга на водной поверхности).

Соответственно, данная статья, посвящена разработке фото- и радиометрического метода обнаружения нефтяных загрязнений на водной поверхности на безопасной для зрения длине волны (λ) зондирования.

3. Оптический метод, основанный на различии отражательных характеристик чистой и загрязнённой нефтепродуктами водных поверхностей

Физической основой обнаружения нефтяных загрязнений оптическим методом является контраст потока регистрируемого лидаром излучения, отражённого от чистой водной поверхности и водной поверхности с нефтяным загрязнением.

Контраст обусловлен двумя причинами: нефтяные загрязнения увеличивают коэффициент отражения (например, на λ 1,06 мкм коэффициент отражения чистой морской поверхности равен около 0,02, а коэффициент отражения толстой плёнки нефти – порядка 0,04), и нефтяные плёнки сглаживают волнение водной поверхности [4, 21–23].

Контраст K «чистая водная поверхность – поверхность с нефтяными загрязнениями» обычно определяется как

$$K = \frac{P_{oil}}{P_w},$$

где P_w и P_{oil} – мощности сигнала, регистрируемого от чистой водной поверхности и поверхности с нефтяными загрязнениями.

Формулу для этого контраста можно получить, используя выражение для средней мощности [4, 24], регистрируемой оптическим локатором при моностатическом зондировании взволнованной водной поверхности:

$$K = K_V K_{\gamma, \sigma}, \quad (1)$$

где

$$K_V = \frac{V_2^2}{V_1^2},$$

$$K_{\gamma, \sigma} = \frac{(\gamma_{1x}^2 \gamma_{1y}^2)^{1/2}}{(\gamma_{2x}^2 \gamma_{2y}^2)^{1/2}} \exp\left\{-\frac{q_x^2}{2q_z^2} \left[\frac{1}{\gamma_{2x}^2} - \frac{1}{\gamma_{1x}^2}\right]\right\} \times$$

$$\times \left[\frac{\tau^2 c^2}{\tau^2 c^2} + 2\sigma_1^2 + \sin^2 \theta / (C_s + C_r)\right]^{1/2},$$

$$\frac{16}{16} + 2\sigma_2^2 + \sin^2 \theta / (C_s + C_r)$$

$$q_x = 2 \sin \theta, \quad q_z = 2 \cos \theta,$$

θ – угол зондирования (между направлением оптической оси оптического локатора и направлением в надири), σ^2 и $\gamma_{x,y}^2$ – дисперсии высот и наклонов (по некоторым осям x и y) волнения, V^2 – коэффициент отражения плоского (без волнения) участка водной поверхности, τ – длительность импульса локатора, $C_{s,r} = (\alpha_{s,r} L)^2$ (для прозрачной атмосферы), $2\alpha_{s,r}$ – углы расходимости источника излучения и поля зрения приёмной оптической системы, L – высота полёта носителя.

Величины V , γ , σ с индексом 1 относятся к чистой водной поверхности, а с индексом 2 – к водной поверхности с нефтяными загрязнениями.

При получении формулы (1) полагалось, что пена на водной поверхности не образуется (скорость ветра невелика), наклоны морской поверхности малы: $\gamma_{x,y}^2 \ll 1$, $\alpha_{s,r}^2 \ll \gamma_{x,y}^2$, пятно подсвета на поверхности и высоты волнения морской поверхности малы по сравнению с L .

Отметим, что формула (1) получена при использовании выражений для средней принимаемой мощности. Поскольку частота повторения импульсов самолётного лидара может составлять сотни Гц и даже десятки кГц, то размер участка на водной поверхности, на которых проводится усреднение принимаемой мощности, может составлять единицы и первые десятки метров даже при высокой скорости полёта авиационного носителя. Например, при частоте повторения импульсов 1 кГц и скорости полёта авиационного носителя 100 м/с (обычная скорость при проведении измерений) на интервале времени регистрации 0,1 с (что соответствует 10 м вдоль трассы полёта носителя) будет происходить накопление 100 импульсов (что вполне достаточно для оценки среднего значения принимаемой

мощности). Выбор высоты полёта при этом определяется мощностью источника излучения (которая, в свою очередь, зависит от частоты повторения импульсов).

В формуле (1): множитель $K_{\gamma, \sigma}$ описывает контраст «чистая водная поверхность – поверхность с нефтяными загрязнениями», вызванный сглаживанием плёнкой нефтепродукта волнения водной поверхности, а множитель K_V – контраст «чистая водная поверхность – поверхность с нефтяными загрязнениями», вызванный различием коэффициентов отражения чистой водной поверхности и водной поверхности с нефтяными загрязнениями; величина V_2^2 – коэффициент отражения трёхслойной системы «воздух – плёнка нефтепродукта – чистая водная поверхность», а величина V_1^2 – коэффициент отражения двухслойной системы «воздух – чистая водная поверхность».

Формулы для V_2^2 и V_1^2 имеют следующий вид (см., напр., [4, 21]):

$$V_2^2 = \left| \frac{(Z_1 + Z_2)(Z_2 - Z_3)e^{-i\alpha(\lambda)d} + (Z_1 - Z_2)(Z_2 + Z_3)e^{i\alpha(\lambda)d}}{(Z_1 + Z_2)(Z_2 + Z_3)e^{-i\alpha(\lambda)d} + (Z_1 - Z_2)(Z_2 - Z_3)e^{i\alpha(\lambda)d}} \right|^2 \quad (2)$$

$$V_1^2 = \frac{(1 - n_2)^2 + k_3^2}{(1 + n_2)^2 + k_3^2}, \quad (3)$$

где $Z_j = \frac{2}{m_j}$; $\alpha(\lambda) = \frac{2\pi}{\lambda} m_2$; d – толщина плёнки нефтепродукта на водной поверхности; $m_j = n_j + i \cdot k_j$ – комплексный показатель преломления j -й среды (для воздуха $m_1 = n_1 = 1$), а n_j и k_j – его действительная и мнимая части; индексы 1, 2, 3 соответствуют воздуху, нефти и воде.

V_1^2 определяется только соответствующими n_j и k_j , а V_2^2 сложным образом (из-за интерференции излучения,

отражаемого от границ раздела «воздух – плёнка нефтепродукта» и «плёнка нефтепродукта – вода») зависит от оптических характеристик воды и нефтепродукта, λ зондирования и толщины плёнки нефтепродукта d .

Сразу после разлива нефти на водной поверхности (например, при аварии на нефтепроводе или нефтехранилище, крушении нефтеналивного судна и т.п.) толщина плёнки может составлять несколько сантиметров. Из-за растекания нефти по поверхности моря толщина плёнки уменьшается до 1,0–0,1 мм и менее. Важен вопрос о толщине нефтяного пятна, при достижении которой пятно нефтяного загрязнения перестаёт существовать как единое целое [4]. В зависимости от сорта нефти эта толщина обычно находится в пределах от 4 до 100 мкм. При этом имеются многочисленные данные измерений толщины плёнок разных нефтей и нефтепродуктов как в натур-

ных, так и в лабораторных условиях, в которых была получена меньшая (чем 4 мкм) толщина плёнок нефтепродуктов [10].

Мониторинг нефтяных загрязнений в наиболее простом варианте проводят, регистрируя сигнал, отражённый от водной поверхности, и определяя контраст между уровнем мощности оптического сигнала от чистой водной поверхности (его регистрируют, например, при пролёте на самолёте над акваторией без нефтяных загрязнений) и – от водной поверхности вдоль трассы полёта [4, 13, 25].

Однако сегодня нет ясности, какая λ зондирования в оптическом диапазоне наиболее предпочтительна для обнаружения нефтяных загрязнений: контрасты «чистая водная поверхность – нефтяное загрязнение» сложным образом зависят от λ , толщины плёнки нефтепродукта и типа нефтепродукта. Кроме того, при разработке оптической аппаратуры для дистанционного зондирования необходимо учитывать степень опасности для зрения лазерного излучения.

4. Выбор безопасных для зрения лазерных источников излучения

Функционирование активных оптических систем дистанционного зондирования всегда связано с опасностью для органов зрения человека. Однако не всё равно, на какой λ излучения система дистанционного зондирования работает.

Излучение в видимом и ближнем ИК спектральных диапазонах (0,38–1,4 мкм) может вызывать повреждение сетчатки, а УФ излучение в диапазоне λ 0,18–0,38 мкм и ИК излучение в диапазоне $\lambda > 1,4$ мкм воздействуют на переднюю среду глаза и считаются более безопасными [26, 27].

Рис. 1 [26] иллюстрирует безопасность для глаз излучений на разных λ (при параметрах аппаратуры, характерных для систем активного оптического зондирования, при длительности импульса 6 нс, частоте повторения импульсов 100 Гц и диаметре оптического пучка 50 мм).

Требование безопасности для глаз приводит к необходимости выбора между УФ (λ 0,18–0,38 мкм), ближним и средним ИК ($\lambda > 1,4$ мкм) диапазонами. Выбор должен основываться на анализе эффективности использования этих диапазонов для обнаружения нефтяных загрязнений на водной поверхности.

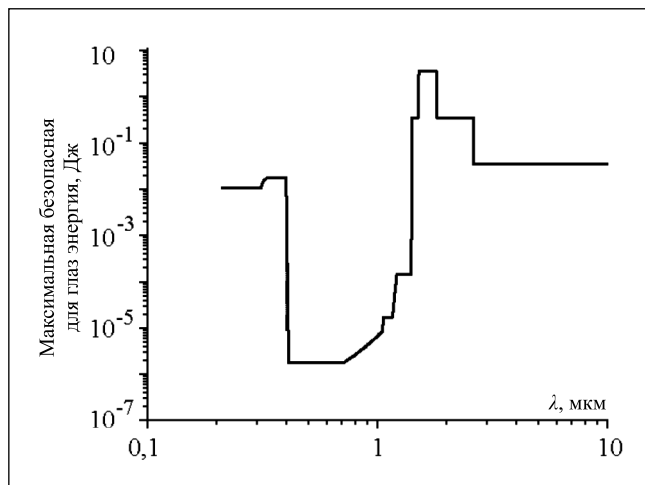


Рис. 1 Спектральная зависимость максимальной безопасной для глаз энергии лазерного импульса

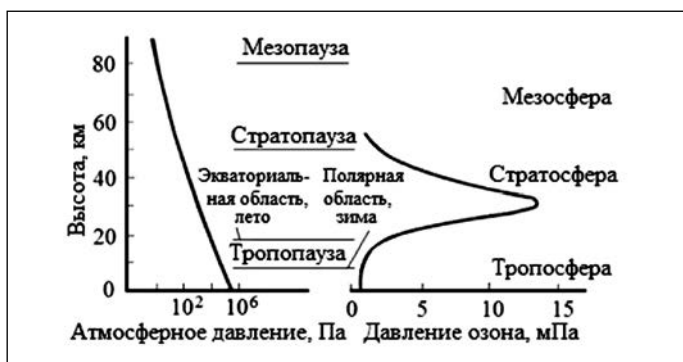


Рис. 2. Высотное распределение атмосферного озона

го зондирования является λ 0,355 мкм (третья гармоника источника излучения на иттрий-алюминиевом гранате с легированием неодимом).

Существующие сейчас источники излучения на λ 0,355 мкм (например, *Ekspla NL230-100*) имеют при частоте повторения сотни Гц—единицы кГц и длительности импульсов 5–10 нс энергию в импульсе сотни мкДж—единицы мДж, что позволяет проводить зондирование с высот порядка нескольких километров (при диаметре приёмного объектива порядка 6–10 см). Выбор размера пятна подсвета на морской поверхности определяется требованием к минимально обнаруживаемому размеру разлива нефти на морской поверхности.

Отметим, что УФ спектральный диапазон представляет интерес для самолётных лазерных систем зондирования тем, что поглощение атмосферным озоном УФ излучения происходит в основном в верхних слоях атмосферы. На рис. 2 [28] показано общее распределение в атмосфере озона по высоте над уровнем моря. В нижнем слое тропосферы концентрация озона варьируется в зависимости от места наблюдения, но является небольшой (единицы мПа и менее [29]).

Ниже проводится оценка контрастов «чистая водная поверхность — нефтяное загрязнение» на безопасных для зрения λ зондирования в широком спектральном диапазоне — от УФ до среднего ИК диапазонов (0,355–10,6 мкм).

Рис. 3. Зависимость контраста K_V от толщины плёнки d на λ 0,355 мкм

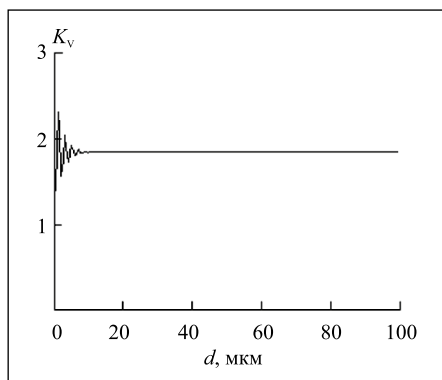


Рис. 4. Зависимость контраста K_V от толщины плёнки d на λ 1,54 мкм

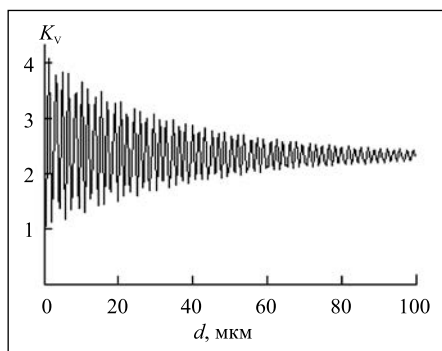
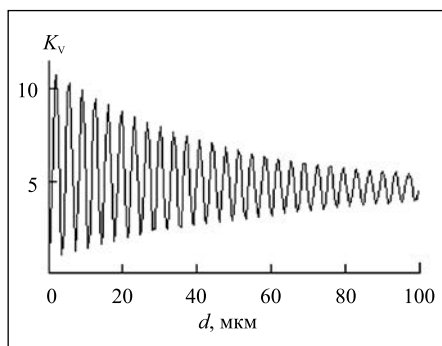


Рис. 5. Зависимость контраста K_V от толщины плёнки d на λ 10,6 мкм



5. Анализ контрастов «чистая водная поверхность — нефтяное загрязнение» на безопасных для зрения длинах волн излучения в УФ, ближнем и среднем ИК спектральных диапазонах

На рис. 3–5 приведены зависимости контраста K_V (вызываемого различием коэффициентов отражения водной поверхности, покрытой плёнкой нефтяного загрязнения, и чистой водной поверхности) от толщины плёнки нефтяного загрязнения d на безопасных для зрения λ зондирования 0,355, 1,54 и 10,6 мкм соответственно.

Из этих рисунков видно, что при увеличении толщины плёнки нефтяного загрязнения контрасты K_V приближаются (колебательно) к своим некоторым постоянным значениям, которые равны контрастам двухслойной среды «воздух-нефтяное загрязнение» на соответствующих λ . Для λ зондирования 0,355, 1,54 и 10,6 мкм эти контрасты, соответственно, равны 1,84, 2,3 и 4,6.

Колебательный характер зависимости значения контраста от толщины плёнки нефтяного загрязнения делает работу оптического обнаружителя нефтяных загрязнений (в реальных условиях шумов измерений) неустойчивой в ближнем и в среднем ИК диапазонах.

На рис. 6 приведён пример результатов математического моделирования контраста K_V от толщины плёнки нефтяного загрязнения d на λ зондирования 1,54 мкм при относительном среднеквадратическом значении шумов измерения 5%. На этом рисунке 1 означает контраст плёнки нефтяного загрязнения без учёта шумов измерения, 2 — контраст плёнки нефтяного загрязнения с учётом шумов, 3 — контраст чистой водной поверхности $K_V \equiv 1$ без учёта шумов, 4 — контраст чистой водной поверхности с учётом шумов. Видно, что из-за шумов для тонких плёнок нефти K_V периодически становится меньше 1. На λ 10,6 мкм

В указанных ИК диапазонах, на $\lambda > 1,4$ мкм, из-за сильного поглощения парами воды и CO_2 наиболее перспективные λ зондирования ограничены окнами прозрачности земной атмосферы 1,5–1,8 мкм, 2,1–2,4 мкм (источники излучения на эрбиевом стекле, на иттрий-алюминиевом гранате с легированием гольмием, оптические параметрические генераторы) и 8–12 мкм (источник излучения на CO_2).

В диапазоне λ 0,18–0,38 мкм из-за поглощения (в коротковолновой части этого диапазона) кислородом и озоном наиболее перспективной для аппаратуры дистанционно-

этот эффект ещё больше, а в наименьшей степени он проявляется на $\lambda 0,355$ мкм.

Таким образом, несмотря на большие значения контрастов двухслойной среды «воздух – нефтяное загрязнение» в ближнем и, особенно, среднем ИК диапазонах, более перспективным (в смысле надёжности измерений при тонких плёнках нефти) является использование УФ спектрального диапазона ($\lambda 0,355$ мкм).

Для оценки надёжности работы в условиях шумов измерений проводились математическое моделирование и оценка вероятностей правильного обнаружения и ложных тревог при обнаружении нефтяных загрязнений.

6. Результаты математического моделирования вероятностей правильного обнаружения плёнки нефтепродуктов и ложных тревог

Математическое моделирование вероятности правильного обнаружения P_d (вероятности обнаружения нефтяного загрязнения, когда оно действительно есть) и вероятности ложных тревог P_a (вероятности обнаружения нефтяного загрязнения, когда в действительности его нет) в условиях шумов измерения проводилось на безопасных для зрения λ зондирования в УФ (0,355 мкм) и ближнем ИК (1,54 мкм) диапазонах спектра.

Значения действительной и мнимой частей показателей преломления воды и нефтепродукта на $\lambda 0,355$ мкм и 1,54 мкм были взяты из работы [21] (средние характеристики морской воды и нефти). Считалось, что шум измерения имеет нормальное распределение с нулевым средним значением. Относительное среднеквадратическое значение шумов задавалось в диапазоне 1–10 %.

При математическом моделировании толщины плёнок нефти на морской поверхности задавались в интервале 0,1–100 мкм (более толстые плёнки эффективно обнаруживаются, например, радиотепловыми методами). Учитывалось, что система импульсной активной оптической локализации имеет возможность (используя спектральную, пространственную и временную фильтрацию) эффективно выделять сигнал на фоне аддитивных помех, и эти помехи влияют на работу системы только в виде дробового шума фотодетектора (вызываемого ими) [10]. Поэтому при решении задачи обнаружения плёнок нефтепродуктов проводилось сравнение сигналов, регистрируемых приёмником локатора в условиях шумов, от чистой водной поверхности и от поверхности с плёнкой нефтепродукта.

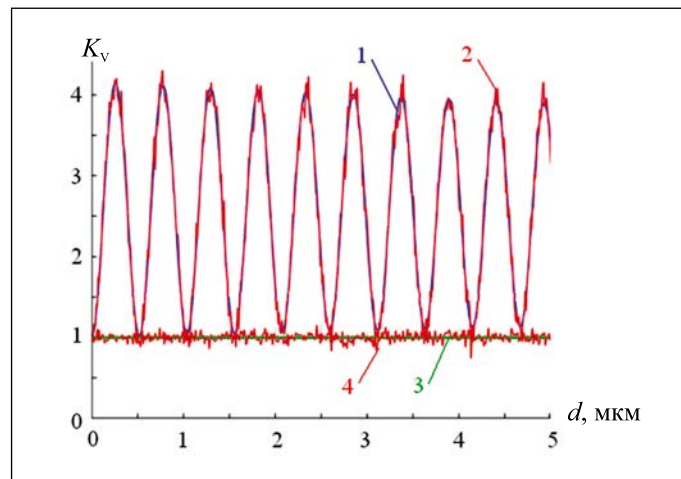


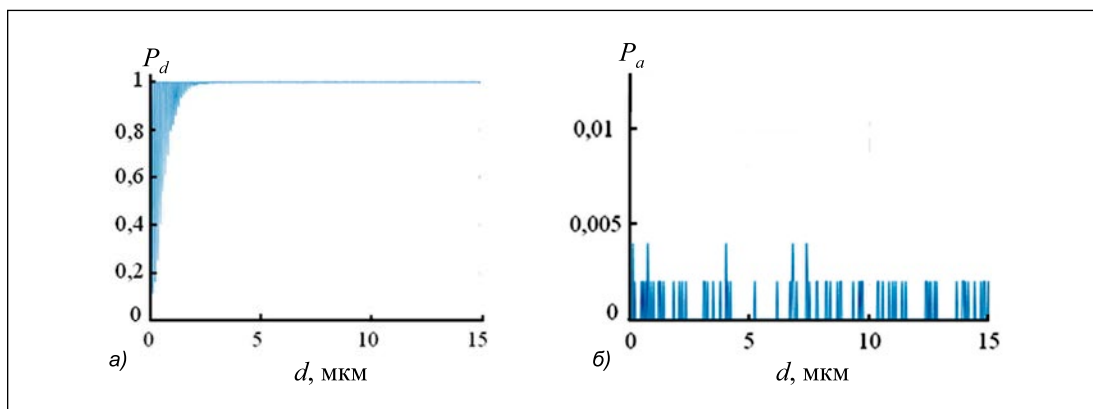
Рис. 6. Зависимость контраста K_V в условиях шумов от толщины нефтяной плёнки при $\sigma = 5\%$ на $\lambda 1,54$ мкм

Решение о наличии плёнки нефтепродукта принималось при выполнении условия $K_V > K_{th}$ (контраст K_V между исследуемым и заведомо чистым участком водной поверхности больше порогового контраста K_{th}). Значение K_{th} выбиралось (вычислялось перед проведением моделирования) посередине между 1 (значением контраста, когда на исследуемой поверхности нет нефтяных загрязнений) и минимальным контрастом (минимальным значением K_V , которое всегда больше 1) в отсутствие шумов при заданной минимальной толщине плёнок (которые должны обнаруживаться по данным дистанционного зондирования).

На рис. 7 и 8 приведены результаты математического моделирования вероятностей правильного обнаружения (P_d) и ложных тревог (P_a) при относительном шуме измерения 5 % (по 1000 реализаций шума измерения) на безопасных для зрения λ зондирования в УФ спектральном диапазоне – на $\lambda 0,355$ мкм (рис. 7, а и б) и в ближнем ИК спектральном диапазоне – на $\lambda 1,54$ мкм (рис. 8, а и б).

Из рисунков видно, что при плёнках нефти толще 20 мкм вероятность правильного обнаружения на λ зондирования как 0,355 мкм, так и 1,54 мкм равна 100 %. Однако при более тонких плёнках (а они могут быть толщиной в единицы мкм и менее) ситуация совсем другая – при зондировании на $\lambda 0,355$ мкм можно надёжно обнаруживать плёнки нефти толщиной не менее 2 мкм с приемлемыми P_d (более 0,9) и P_a (менее 0,002) при относительном шуме измерения не более 5 %. В то же время при зондировании на $\lambda 1,54$ мкм P_d для плёнок нефти толщиной 2 мкм

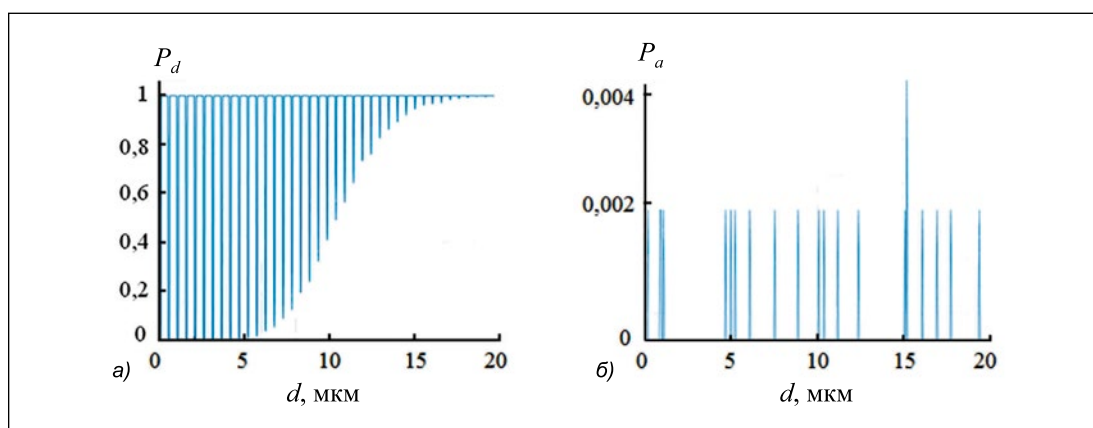
Рис. 7. Зависимость вероятностей правильного обнаружения P_d (а) и ложных тревог P_a (б) от толщины плёнки нефти на $\lambda 0,355$ мкм в интервале толщин 0–15 мкм



Результаты математического моделирования влияния типа нефти на надёжность обнаружения нефтяных загрязнений

Параметр	1	2	3	4	5	6
n	1,565	1,559	1,560	1,549	1,528	1,527
$k \cdot 10^3$	20,1	16,5	11,4	8,4	5,6	4,8
P_d	0,9991	0,9990	0,9989	0,9982	0,9967	0,9960
P_a	0,031	0,0308	0,0312	0,032	0,0338	0,0332

Рис. 8. Зависимость вероятностей правильного обнаружения P_d (а) и ложных тревог P_a (б) от толщины нефтяной плёнки на λ 1,54 мкм в интервале толщин 0–20 мкм



может принимать любые значения от 0 до 1 (в зависимости от случайной толщины плёнки в точке зондирования).

7. Анализ влияния типа нефти на характеристики обнаружения лазерным методом нефтяных загрязнений на водной поверхности

Энергетический расчёт оптического локаатора и математическое моделирование P_d и P_a для задачи обнаружения нефтяных загрязнений на морской поверхности обычно проводится для средних характеристик нефти (см., напр., [4, 13, 25] и результаты, приведённые выше). Однако разные типы нефти имеют существенно разные оптические характеристики.

Для оценки влияния типа нефти на надёжность обнаружения нефтяных загрязнений проводилось математическое моделирование P_d и P_a для разных типов нефти в условиях шумов измерения на безопасной для зрения λ зондирования 0,355 мкм.

Считалось, что шум измерения (при регистрации коэффициентов отражения V_2^2 и V_1^2) распределён по нормальному закону с нулевым средним значением и относительным среднеквадратическим отклонением $\delta = 1-10\%$. Решение об обнаружении нефтяных загрязнений принималось при выполнении условия, что контраст $K_V = \frac{V_2^2}{V_1^2}$ больше K_{th} . Значение K_{th} выбиралось посередине между значением K_V для нефтяного загрязнения на морской поверхности и $K_V = 1$ (значение контраста для чистой водной поверхности).

В таблице (с использованием формул (1)–(3) и данных [30]) для разных типов нефти приведены их оптические характеристики (n и k) и результаты математического мо-

делирования (по 1000 реализаций шума измерения) P_d и P_a при толстой плёнке нефти (100 мкм), относительном среднеквадратическом значении шума измерения 10 % и одном пороговом алгоритме обнаружения. В таблице по горизонтали приведены типы нефтепродуктов: 1 – дизельное топливо и 2–6 – разные типы нефти, соответствующие разным месторождениям [30].

Из таблицы видно, что хотя для разных типов нефти (у которых n и k существенно различны) P_d и P_a различны, но эти различия невелики.

Таким образом, для обнаружения нефтяных загрязнений на водной поверхности методом активной оптической локации на безопасной для зрения λ 0,355 мкм может использоваться один алгоритм обнаружения для всех типов нефтепродуктов.

Заключение

Проведён сравнительный анализ эффективности работы оптического (фото- и радиометрического) метода обнаружения нефтяных загрязнений на водной поверхности, основанного на различии отражательных характеристик чистой и загрязнённой нефтепродуктами водных поверхностей, при выборе λ зондирования в УФ, видимом, ближнем и среднем ИК диапазонах спектра. Показано, что с точки зрения безопасности для глаз, широты интервала толщин обнаруживаемых плёнок нефтепродуктов и оптического ослабления в атмосфере наиболее перспективным для мониторинга нефтяных загрязнений является зондирование в УФ спектральном диапазоне – на λ 0,355 мкм. Оно позволяет надёжно обеспечивать обнаружение плёнок нефти толщиной не менее 2 мкм с вероятностью правильного обнаружения более 0,9 и вероятностью ложных тревог менее 0,002 при относительном шуме измерений не более 5 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Grec A., Maior C.* Earth oil extraction – major environmental pollution source // *Environmental Engineering and Management Journal.* – 2008. – Vol. 7, No. 6. – P. 763–768.
2. *Marine Pollution: New Research/ Hofer T.N. (ed.).* – N. Y.: Nova Science Publishers Inc., 2008. – 423 p.
3. *Катаев М.Ю., Лукьянов А.К.* Моделирование отражённого солнечного излучения для оценки газового состава атмосферы при оптическом дистанционном зондировании из космоса // *Светотехника.* – 2017. – № 6. – С. 44–50.
4. Оптико-электронные системы экологического мониторинга природной среды / В.И. Козинцев, В.М. Орлов, М.Л. Белов, В.А. Городничев, Б.В. Стрелков. – М.: Из-во МГТУ, 2002. – 528 с.
5. Тенденции и динамика состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации по данным многолетнего мониторинга за последние десять лет. – М.: Росгидромет, 2017. – 51 с.
6. *Копелевич О.В.* Использование видимого излучения при освоении и исследовании морей и океанов // *Светотехника.* – 2017. – № 2. – С. 13–22.
7. *Asiareport.* Маршруты морских поставок нефти удлинятся. URL: <http://asiareport.ru/index.php/analitics/40547—marshrutyy-morskix-postavok-nefti-udlinyayutsya.html> (дата обращения: 15.10.2018).
8. *Prestige oil spill.* URL: <https://www.reviewessays.com/Business/Prestige-Oil-Spill/55203.html> (дата обращения: 15.10.2018).
9. *Deepwater Horizon Accident Investigation Report.* URL: https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/sustainability/issue-reports/Deepwater_Horizon_Accident_Investigation_Report_Executive_summary.pdf (дата обращения: 15.10.2018).
10. *Measures R.M.* Laser remote sensing. Fundamentals and applications. – Malabar, Florida: Krieger Publishing Company, 1992. – 510 p.
11. *Oil in the Sea.* – Washington, D.C.: National Academy Press, 1985. – 588 p.
12. *Леонтьев В.В.* Радиоэлектронные средства экологического контроля для обнаружения и измерения характеристик разлива нефти на водной поверхности. – СПб: Изд-во ЛЭТИ, 2001. – 40 с.
13. *Kozintsev V.I., Belov M.L., Gorodnichev V.A., Smirnova O.A., Fedotov Yu.V., Khroustaleva A.M.* Lidar method of oil pollution detection on rough sea surface // *Proc. SPIE.* – 2005. – Vol. 5829. – P. 255–264.
14. *Fedotov Yu.V.* Impact of spectral bands number on classification accuracy of oil pollutions using laser induced fluorescence // *Proc. SPIE.* – 2005. – Vol. 10466. – P. 1–6.
15. *Fingas M., Brown C.* Review of oil spill remote sensing // *Marine Pollution Bulletin.* – 2014. – Vol. 83 (1). – P. 9–23.
16. *Sergievskaya I., Ermakov S.* Oil films detection on the sea surface using an optical remote sensing method // *Proc. SPIE.* – 2012. – Vol. 8532. – P. 85320P-1–85320P-6.
17. *Sun S., Hu C.* Sun glint requirement for the remote detection of surface oil films // *Geophys. Res. Lett.* – 2016. – Vol. 43. – P. 309–316.
18. *Panova P.V.* The airborne remote systems for offshore oil seepage detection. S E S2 0 0 5 Scientific Conference «SPACE, ECOLOGY, SAFETY» with International Participation, 10–13 June 2005, Varna, Bulgaria. p. 236–241. URL: [http://www.cpnt.ru/userfiles/Airborn_systems_for_offshore_seepage_detection\(1\).pdf](http://www.cpnt.ru/userfiles/Airborn_systems_for_offshore_seepage_detection(1).pdf).
19. *Krotikov V.D., Mordvinkin I.N., Pelyushenko A.S., Pelyushenko S.A., Rakut' I.V.* Radiometric methods of remote sensing of oil spills on water surface // *Radiophysics and Quantum Electronics.* – 2002. – Vol. 45, No. 3. – P. 220–229.
20. *Dolenko T.A., Fadeev V.V., Gerdova I.V., Dolenko S.A., Reuter R.* Fluorescence diagnostics of oil pollution in coastal marine waters by use of artificial neural network // *Applied Optics.* – 2002. – Vol. 41, No. 24. – P. 5155–5166.

21. *Гуревич И.Я., Шифрин К.С.* Отражение видимого и ИК излучения нефтяными плёнками на море / *Оптические методы изучения океанов и внутренних водоёмов.* – Новосибирск: Наука, 1979. – С. 166–176.

22. *Гардашов Р.Г., Гуревич И.Я., Шифрин К.С.* Отражение оптического излучения от взволнованной морской поверхности, покрытой нефтяной плёнкой / *Оптика атмосферы и океана.* – Баку: ЭЛМ, 1983. – С. 33–44.

23. *Cox C., Munk W.* Slopes of the sea surface deduced from photographs of sun glitter // *Scripps. Inst. Oceanography. Bull.* – 1956. – Vol. 6, No. 9. – P. 401–488.

24. *Tsai B.M., Gardner C.S.* Remote sensing of sea state using laser altimeter // *Appl. Opt.* – 1982. – Vol. 21, No. 21. – P. 3932–3940.

25. *Белов М.Л., Городничев В.А., Козинцев В.И.* Оценка лазерных локационных контрастов «нефтяная плёнка – чистая морская поверхность» на длине волны 10,6 мкм // *Оптика атмосферы и океана.* – 1999. – Т. 12, № 02. – С. 140–141.

26. *Mayor S.D., Spuler S.M., Morley B.M.* Scattering eye-safe depolarization lidar at 1.54 microns and potential usefulness in bioaerosol plume detection // *Proc. SPIE.* – 2005. – Vol. 5887. – P. 137–148.

27. ГОСТ 31581–2012 «Лазерная безопасность. Общие требования безопасности при разработке и эксплуатации лазерных изделий».

28. *Ortenberg F.* Ozone: Space Vision. – Haifa: ASRI Technion, 2002. – 100 p.

29. *Звягинцев А.М.* Пространственно-временная изменчивость озона в тропосфере / Автореф. дис. ... д-ра физ.-мат. наук. – М., 2013. URL: <https://phys.msu.ru/upload/iblock/e12/2013-00-00-zvyagintsev.pdf>.

30. *Альперович Л.И., Комарова А.И., Нарзиев Б.Н., Пушкарев В.Н.* Оптические постоянные нефтей в области 0,25–25 мкм // *ЖПС.* – 1978. – № 4. – С. 719–723.



Белов Михаил Леонидович, доктор техн. наук, профессор. Окончил в 1973 г. Московский Энергетический Институт. Главный научный сотрудник НИИ радиоэлектроники и лазерной техники МГТУ им. Н.Э. Баумана. Область научных интересов: оптические и оптико-электронные приборы и системы



Всякова Юлия Игоревна, Магистр МГТУ им. Н.Э. Баумана. Окончила в 2018 г. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Область научных интересов: оптические и оптико-электронные приборы и системы мониторинга нефтяных загрязнений



Городничев Виктор Александрович, доктор техн. наук, старший научный сотрудник. Окончил в 1976 г. МГУ им. М.В. Ломоносова. Начальник отдела НИИ радиоэлектроники и лазерной техники МГТУ им. Н.Э. Баумана. Область научных интересов: оптические и оптико-электронные приборы и системы



Международная
светотехническая
корпорация



БООС ЛАЙТИНГ ГРУПП



МЫ РИСУЕМ СВЕТОМ!

В Красноярске в августе 2018 года была запущена архитектурная светодинамическая подсветка Коммунального моста. Это – первый железобетонный мост в стране и визитная карточка города. В реализации проекта участвовали сразу несколько компаний, входящих в состав МСК «БЛ ГРУПП». Благодаря установке светодиодных RGBW-прожекторов со специальной оптикой, архитектурное освещение позволяет реализовать 8 цветодинамических сценариев. Посвящённые различным торжествам программные сценарии разрабатывались в формате видеорядов, в которых поочерёдно менялись различные цвета. Их список можно дополнять бесконечно, ведь оборудование позволяет использовать до 16 миллионов цветов.



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



bl-g.ru



+7 (495) 785-20-95

На фото: Коммунальный мост, г. Красноярск.

Тестирование и анализ характеристик ртутных и амальгамных бактерицидных УФ ламп НД разных производителей

М.Е. АЛЛАШ¹, Л.М. ВАСИЛЯК², Н.П. ЕЛИСЕЕВ³, О.А. ПОПОВ³, *Д.В. СОКОЛОВ⁴

¹*Lighttech Kft*, Будапешт, Венгрия, ²ОИВТ РАН, ³НИУ «МЭИ» и ⁴НПО «ЛИТ», Москва, РФ

*E-mail: sokoloff@npo.lit.ru

Автореферат

Проведённое тестирование образцов бактерицидных УФ ламп НД, представленных на российском рынке, показало их недостаточно высокое качество. Они были разработаны и изготовлены по ТЗ конкретных производителей или являются репликами УФ ламп известных брендов, но изготовленными по собственной технологии. Кроме того, эти изделия не отвечают специфике УФ облучательного оборудования для обеззараживания воды, с которым эти лампы могут использоваться потребителями.

Ключевые слова: бактерицидные лампы, ртутные лампы НД, амальгамные лампы, УФ излучение, установки обеззараживания воды.

1. Введение

УФ излучение (УФИ) широко применяется в разных областях, одна из которых – обеззараживание воды, воздуха и поверхностей. За последние 15–20 лет обеззараживание УФИ пережило быстрый подъём и позволило кардинально изменить подходы к обеззараживанию сред, но наиболее значительно оно развивалось именно как метод обеззараживания питьевых и сточных вод. УФИ также широко используется для обеззараживания воздуха и поверхностей в медицинских учреждениях, в местах массового скопления людей, на транспорте и в других областях, таких как пищевая, фармакологическая и электронная промышленность, медицина, обратное водоснабжение, рыбозаводство, тепличное хозяйство и т.п. [1].

В качестве источников УФИ для обеззараживания в большинстве применений используются ртутные и амальгамные трубчатые УФ лампы НД, а также ртутные лампы среднего (высокого) давления [2]. В России лампы среднего (высокого) давления в оборудовании для обеззараживания воды не получили значительного распространения из-за их низкого энергетического КПД в области бактерицидного УФИ [1], низкого срока службы [3] и высокой температуры колбы лампы, хотя и нашли применение, например, в бассейновых установках, установках для обезвреживания балластной воды и в установках с активированными окислительными процессами (AOPs, *Advanced Oxidation Processes*) [1, 4] для разрушения химических микропримесей в воде.

В настоящее время ведущие мировые производители, такие как *Philips* (Нидерланды), *Lighttech/LSI* (Венгрия/США), *Heraeus Noblelight* (ФРГ) и НПО «ЛИТ» (РФ/ФРГ), предлагают ртутные и амальгамные лампы НД мощностью от 15 до 1000 Вт с энергетическим КПД на длине волны λ 254 нм от 30 до 40 % и полезным сроком службы 8000–16000 ч. В России ртутные и амальгамные УФ лампы производят НПО «ЛИТ» (Москва) и ООО «НИ-

ИИС им. А.Н. Лодыгина» (Саранск). На базе этих ламп производится УФ облучательное (УФО) оборудование разной производительности для обеззараживания воды, воздуха и поверхностей в разных условиях. К крупнейшим мировым производителям водного УФО оборудования можно отнести *Trojan* (Канада), НПО «ЛИТ» (РФ/ФРГ), *Wedeco Xylem* (ФРГ/США), *Halma group* (*Hanovia*, *Aquionics*, *Berson*) (Великобритания/США/Нидерланды), *Calgon Carbon* (США) и *NewLand* (КНР). В России помимо НПО «ЛИТ» установки для обеззараживания воды на основе ртутных или амальгамных ламп также производят НПО «ЭНТ» (Санкт-Петербург), «УФТЕХ» (Сергиев Посад), «Промышленные УФ системы» (Санкт-Петербург) и несколько др. компаний.

В настоящее время в России сформировался рынок производителей и потребителей бактерицидных УФ ламп НД. Это и вышеперечисленные производители УФО оборудования, и их заказчики: водоканалы, предприятия пищевой промышленности, производители и покупатели бассейнов и аквапарков, медицинские учреждения, а также индивидуальные пользователи оборудования для обеззараживания воды и воздуха, количество которых ежегодно растёт.

Естественно, что динамично развивается и так называемый рынок «релампинга», на котором зачастую работают поставщики неоригинальных комплектующих, в том числе УФ ламп неизвестного происхождения. Большое количество светотехнической продукции неизвестного происхождения устанавливается в УФО оборудование без учёта его особенностей и технических регламентов обслуживания. Статистические данные, получаемые от потребителей, показывают большой рост числа нештатных и даже аварийных ситуаций, связанных с использованием УФ ламп, неправильно подобранных для того и иного оборудования. Порой ситуация комична, когда, например, приобретённая лампа имеет другие габариты или другие электрические вводы и попросту не может быть использована в конкретном оборудовании, а порой ситуация трагична, когда использование таких ламп приводит к авариям: например, к выходу из строя систем питания и управления, а иногда и к возгоранию оборудования, не говоря уж об изменении режимов процесса обеззараживания.

Ещё одна сложность данной проблемы в том, что сертификация такой светотехнической продукции как УФ лампы на территории стран Таможенного союза носит добровольный характер. Сертификат соответствия техническому регламенту ТС носит декларативный характер и информирует потребителя о безопасности продукта. При этом любая иная техническая информация, например, электрические характеристики, поток УФИ, результаты ресурсных испытаний и др., находится целиком на совести компании-продавца УФ ламп. Некоторые компании открыто копируют ТУ лидеров этого рынка *Lighttech*, *Osram*, «ЛИТ»

и пр. Радиометрические измерения параметров УФ ламп представляют собой достаточно сложную задачу, требуют знания методик измерения УФИ длинных ламп, наличия специального оборудования и квалифицированного персонала. Недобросовестные компании активно пользуются этим, учитывая, что проверить или опровергнуть заявляемые ими в паспортах или ТУ характеристики сложно.

В последнее время к специалистам по этим источникам УФИ стали регулярно обращаться потребители с целью проведения экспертиз УФ ламп на соответствие заявленным характеристикам, а зачастую и просто с просьбой оценки их работоспособности. Так, к авторам статьи с подобной просьбой обращалось несколько заказчиков такой продукции для обеззараживания воды: инжиниринговые компании, водоканалы, сервисные компании и владельцы нескольких частных бассейнов.

Целью данной работы было тестирование амальгамных и ртутных УФ ламп НД, поступающих на российский рынок под разными брендами, и анализ пригодности испытанных образцов для разных применений. Основное внимание при тестировании нами уделялось возможностям работы ламп в УФО оборудовании для обеззараживания воды. В своей работе мы ориентировались только на логотип, указанный на лампе, и не утверждаем, что та или иная лампа была выпущена именно этим производителем. Мы также хотим отметить, что как тестирование, так и данная статья не направлены на представление продукции той или иной компании в негативном или позитивном свете.

В светотехнических лабораториях *Lighttech* (Будапешт) и *LIT UV Elektro* (Эрфурт, ФРГ) были протестированы образцы ламп с маркировками «*Jelosil*», «*JUV*», «Элтос», «*LightBest*», «*UV Product*» («УФпродукция») и «*SeaN*» («*SeaN*»). Для тестирования использовалось небольшое количество образцов ламп каждого логотипа. Авторы понимают, что выборка из одного или двух образцов ламп может давать достаточно высокую погрешность, однако считают, что все лампы для таких жизненно важных систем, как установки для обеззараживания воды, должны быть высокого качества.

2. Особенности применения УФ ламп в установках для обеззараживания

В УФО оборудовании лампа не существует сама по себе, а является неотъемлемой и интегрированной частью системы обеззараживания УФИ. Разработчики УФО оборудования учитывают, в каких температурных режимах будут находиться те или иные элементы лампы, какие режимы работы будут у амальгамы, какие ток и время предварительного прогрева нужны для данного типа электродов, какой величины должен быть импульс зажигающего напряжения, каким по прочности и расположению должен быть цоколь лампы и пр. Для обеспечения всех необходимых режимов работы лампы и возможности предоставления заказчику гарантий по сроку службы, спаду потока УФИ, «нелимитированному» числу включений/выключений и пр. разработчик УФО оборудования разрабатывает спецификацию (*data sheet*) на лампу и производит её или взаимодействует с проверенным производителем таких ламп.

Можно привести массу примеров, когда при одних и тех же заявленных характеристиках установка с лампами одного производителя обеспечивает необходимые УФ дозу

и, соответственно, микробиологические характеристики воды, а с лампами другого производителя нет. Это связано с тем, что производители ламп приводят их характеристики для неких определённых условий. Указываются, как правило, максимальные характеристики (например, поток УФИ или энергетический КПД), полученные при измерениях на стенде в лабораторных условиях при температуре воздуха 20–25 °С. Эти максимальные характеристики и вносят в ТУ или спецификацию. Однако, если лампа будет использоваться для обеззараживания воды, то она должна эффективно работать именно в конкретном УФО оборудовании, при этом приобретателю лампы совершенно не важно, какой уровень УФИ выдавала лампа при её тестировании на воздушном стенде в лаборатории. Для разработчика и потребителя необходимо, чтобы тот максимальный или весьма близкий к нему поток УФИ, указанный в ТУ, был получен в большинстве режимов эксплуатации лампы в установке. Можно привести массу свидетельств того, что при неправильно подобранной амальгаме поток УФИ может уменьшаться в несколько раз. Это происходит, например, при переохлаждении или перегреве лампы. При уменьшении потока бактерицидного УФИ на λ 254 нм уменьшается и УФ доза в установке, что приводит к падению эффективности обеззараживания. Изменение температурных режимов работы лампы при обеззараживании воды связано с тем, что лампа в УФО установке находится в кварцевом чехле, нужном для обеспечения определённого температурного режима работы амальгамы и предотвращения контакта электрических цепей лампы с водой. Зазор между лампой и чехлом или, в случае так называемой технологии «пеллет», точка расположения амальгамы полностью определяют режим работы всей лампы [5]. Следовательно, лампы с другими геометрическими характеристиками или другой электрической мощности будут работать в другом температурном режиме, от которого зависит поток УФИ. Ещё одним параметром, влияющим на работу ламп, является температура воды, которая может меняться в пределах 1–40 °С. В этом случае в лампе должна быть использована специальная амальгама, поддерживающая постоянным давление паров ртути при изменении температуры стенки лампы примерно на 30–40 °С. Эту техническую характеристику производители указывать не должны, и потому при замене специально подобранных или специально изготовленных ламп на другие с таким же потоком УФИ в паспортных данных, но с узкой рабочей полосой изменения температуры стенки, возможен спад потока УФИ лампы в установке.

Другим «классическим» случаем неправильного выбора ламп является незнание или просто игнорирование параметров ЭПРА, с которым лампа будет работать. Например, источники электропитания для мощных амальгамных УФ ламп сильно отличаются от таковых для небольших бактерицидных ртутных ламп мощностью 5–50 Вт. Чтобы осуществить надёжный пуск лампы мощностью 300–1000 Вт и обеспечить достаточное число включений, необходимо использовать специальные ЭПРА, выполненные иногда по сложным двухинверторным схемам. Производители мощных амальгамных УФ ламп хорошо знают, что при использовании «неправильного» ЭПРА достаточно 20–30 включений для полного выхода лампы из строя из-за быстрого износа эмиссионного покрытия электродного узла. При этом возможно повреждение и самого ЭПРА, если

его аварийная защита не сработает вовремя. Ответственные производители ламп, понимая эту проблему, указывают тип и производителя ЭПРА, который они рекомендуют использовать для конкретных ламп. Другие производители амальгамных ламп не указывают такой важный параметр, как число включений/выключений лампы, так как не могут точно знать, с каким типом ЭПРА их продукция будет использоваться и в каких условиях эксплуатации.

В проточных системах обеззараживания воздуха лампа, как правило, работает без кварцевого защитного чехла, и потому рабочая температура её колбы будет ниже, чем при лабораторных испытаниях в неподвижном воздухе, особенно в потоках холодного воздуха в системах кондиционирования. Некоторые производители указывают, что лампа может эффективно работать в воздушном потоке, однако при замене на лампы другого изготовителя поток УФИ может оказываться существенно ниже паспортного.

Ещё раз хотелось бы подчеркнуть: УФ лампа – это часть УФО системы, как и ЭПРА и остальные её части. Вышеуказанные лидеры рынков УФО оборудования и УФ ламп уделяют большое внимание совместному взаимодействию при разработке своей продукции. Так, для совместного позиционирования продукции на рынках Западной Европы компании *LIT UV Elektro GmbH* (ФРГ) и *Lighttech Kft* (Венгрия) разработали линейку водного УФО оборудования и соответствующую линейку УФ ламп к нему. Разумеется, выбор и замена лампы или ЭПРА заказчиком в УФО установках в условиях конкурентного рынка является обычной и нормальной практикой. Однако мы считаем, что такой подбор и замена комплектующих должны осуществляться с учётом особенностей того или иного оборудования и на основании рекомендаций специалистов.

3. Методика измерения потока УФ излучения трубчатых ламп НД и установка для их тестирования

Кварцевые ртутные лампы НД, ртутные лампы НД из увиолевого стекла (так называемые лампы «soft glass») и амальгамные лампы НД с бактерицидным УФИ можно считать источниками монохроматического излучения на λ 254 нм. Генерация УФИ в линии 254 нм в ртутной плазме НД теоретически и экспериментально достаточно изучена [1, 3, 59]. Для поверхностного ламбертовского источника, каким являются ртутная или амальгамная трубчатые лампы НД (в отношении указанного УФИ), при определённых допущениях наиболее простой и корректной для определения потока УФИ является схема измерений по методике Кайтца [10, 11] (рис. 1).

В соответствии с ней, лампа устанавливается в помещении, не имеющем поверхностей, отражающих УФИ («тёмная комната»). Фотоприёмник находится напротив центра лампы (рис. 1). Для получения потока УФИ (Φ_e) лампы с длиной излучающей части L необходимо измерить величину облучённости (E_e) на входном окне фотоприёмника, расположенном на расстоянии D от оси лампы:

$$\Phi_e = (2\pi^2 \cdot D \cdot L \cdot E_e) / (2\alpha + \sin 2\alpha),$$

где α – половинный угловой размер излучающей части лампы относительно центра входного окна датчика фотоприёмника (рис. 1).

Для проведения исследований были использованы две «тёмные комнаты» с размерами $7 \times 3 \times 3$ м и $6 \times 3,5 \times 3$ м ($D \times Ш \times В$). Измерения E_e производились с помощью датчика *SED240* радиометра *IL1700* (*International Light Technologies*) со специальной косинусной насадкой. Следует отметить, что прибор *IL1700* с *SED240* или его аналоги (*GigaHerz optik*, *Dr. Groebel* и др.) являются общепризнанными при измерениях облучённости от ламп НД. При этом погрешность самого *SED240* составляет не больше 6,5 %.

Для ламп использовался универсальный ЭПРА типа *EVG2001000W/3,510APHplus R3* (на мощность и максимальный ток лампы 1 кВт и 10 А), который позволяет устанавливать нужные ток и длительность предварительного прогрева и ток лампы. Для контроля параметров использовались цифровые анализаторы мощности *YOKOGAWA PZ400* и *ZES LMG640*. После включения лампы фиксируются максимум E_e (если таковой имеется), а также так называемый установившийся режим «полка». Затем по полученным данным рассчитывается Φ_e .

Для отдельных образцов ламп проводились ресурсные испытания (*life time test*) в условиях работы в установках обеззараживания воды. Для этого лампы устанавливались в кварцевом чехле в тестовый стенд *УДВ300/900TESTMST* (производства «ЛИТ») с оборотной водой, температура которой искусственно поддерживалась термостатом типа *FT31180*. Электрические параметры, поток УФИ и внешний вид ламп проверялись в начале испытаний, затем через 100 ч непрерывной работы и далее через некоторые временные интервалы (обычно через 1000 ч). По полученным данным можно было определять спад потока УФИ и изменение внешнего вида ламп.

4. Результаты тестирования ламп

4.1. Лампы типа ДБ 300 с маркировкой «Jelosil» и «JUV»

Были протестированы два образца лампы типа ДБ 300: с маркировкой «Jelosil» (*JL19235*) и с маркировкой «JUV» (ДБ 300) (рис. 2). На момент измерений последняя была новой, а лампа *JL19235* имела наработку около 3000 ч. Поскольку электроды этих ламп существенно «утоплены» в цоколь, то дополнительно были измерены температуры в средней точке по длине цоколей (с помощью термометра *ATT2000* с термопарой *K*-типа) после 15 мин непре-

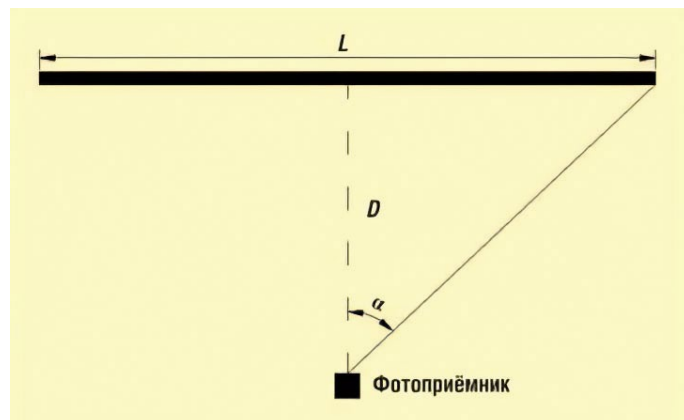


Рис. 1. Схема измерения по методике Кайтца

Параметры ламп с маркировкой «Jelosil» и «JUV»

Образец	U^{**} , В	I , А	P^{**} , Вт	Φ_e^{**} , Вт	t цоколя, °С	Φ_v , Вт, после 12000 ч
«JUV»	153,1	1,81	272	110,0	138	
«Jelosil»	121,6	1,81	218	57,5	73	
По ТУ*	***	$1,85 \pm 0,05$	235 ± 10	87 ± 3	70	не менее 74

*Считаем корректным сравнение представленных образцов с оригинальными лампами «ЛИТ», так как лампы под брендами «Jelosil» и «JUV» эксплуатировались в оборудовании НПО «ЛИТ». Оригинальные лампы «ЛИТ» выпускаются по ТУ 3467003581832292002. Технические и эксплуатационные характеристики ламп сторонних производителей также должны соответствовать нормам этих ТУ для корректной работы в установках обеззараживания производства НПО «ЛИТ».

**Измерялись максимальные значения.

***Не нормируется.

равной работы ламп. Результаты измерений представлены в табл. 1.

Несмотря на то, что поступившие образцы продукции в целом были работоспособны (как отдельный источник УФИ), по результатам визуального осмотра и измерения их характеристик имеется ряд следующих замечаний.

- Лампа ДБ 300 с маркировкой «JUV»:

Потребляемая лампой «JUV» мощность значительно превышает допустимую, что может приводить к отключению ЭПРА (срабатыванию аварийной защиты по превышению предельного напряжения на лампе) и даже к выходу ЭПРА из строя.

В ТУ на установки обеззараживания воды производства «ЛИТ» (ТУ 4859021302158382014) указано, что температура цоколя ламп не должна превышать 70 °С. У данного образца она оказалась недопустимо большой (140 °С), в результате чего с большой долей вероятности будет происходить оплавление и разрушение элементов, уплотняющих и фиксирующих лампу в кварцевом чехле, что приведёт к загрязнению лампы и чехла и к выходу установки обеззараживания из строя.

Таким образом, эксплуатация таких ламп в установках обеззараживания воды «ЛИТ» недопустима и просто опасна, поскольку это может привести к перегреванию и выходу ЭПРА из строя, разрушению уплотняющих элементов, и даже к воспламенению оборудования. Ресурсные испытания этого образца не проводились из-за вышеуказанных соображений безопасности.

- Лампа с маркировкой «Jelosil» (JL19235):

Для эффективной работы в установке по обеззараживанию воды лампа типа ДБ 300 НПО «ЛИТ», должна иметь поток УФИ на λ 254 нм не менее 74 Вт на конец срока службы, но уже после 3000 ч непрерывной работы он у лампы JL19235 составил 58 Вт, что недопустимо мало. (Использование ламп с низким потоком УФИ даёт недостаточную степень обеззараживания воды.)

Кроме того, вызывает большие сомнения способ соединения провода в контактах цоколя лампы (рис. 3) с помощью обжимки пробником или кримпером. Такой способ соединения достаточно хорошо используется в ртутных лампах с током 0,4–0,8 А, но не применим для мощных амальгамных ламп, так как при таком типе соединения сложно обеспечить достаточную надёжность соединения и его механическую прочность, что может приводить

к отсутствию электрического контакта в штырьках лампы (погасанию лампы) и слому их в присоединительных розетках установки обеззараживания. К минусам также можно отнести и неаккуратное нанесение цоколевочной мастики (рис. 3).

В результате тестирования лампы в установке обеззараживания воды УДВ300900TESTMST с кварцевым чехлом (с внутренним диаметром 25 мм) было обнаружено, что на внутренней стороне колбы лампы образовались подтёки расплавленной амальгамы, что недопустимо. Расплавленная амальгама, в особенности при вертикальной ориентации лампы, может попадать в горячую приэлек-



Рис. 2. Маркировки образцов ламп «Jelosil» и «JUV»

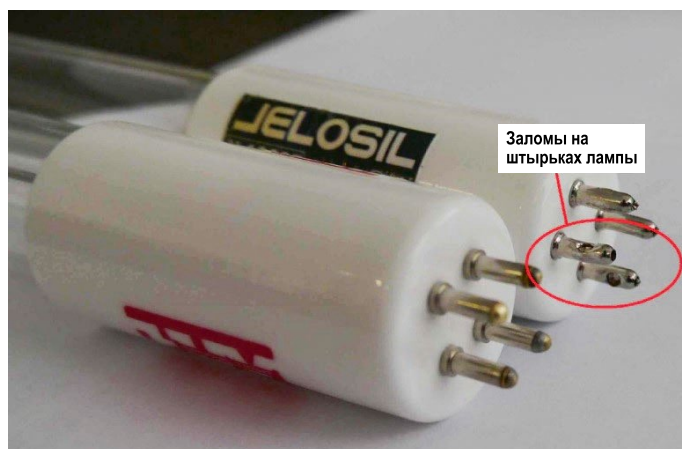


Рис. 3. Кримпировка образца лампы с маркировкой «Jelosil» (JL19235)

Параметры образцов лампы ДБ350В с маркировкой «ЭЛТОС»

Образец	I, А	«Полка»			«Максимум»		
		U, В	P, Вт	Φ_e , Вт	U, В	P, Вт	Φ_e , Вт
1	3,2	100,7	322,4	129,6	109,2	349,4	132,7
2	3,2	101,9	326,0	134,5	111,5	357,3	134,1
ТУ	3,2 ± 0,1	*	*	*	*	325 ± 10	125 ± 5

* Не нормируется.

тродную зону, что вызывает выход большого количества паров ртути в разряд с последующим критическим снижением потока УФИ на λ 254 нм. Ресурсные испытания этого образца не проводились, так как его данный поток уже был ниже предельного по ТУ 3467003581832292002.

Вывод по п. 4.1. Представленные образцы ламп, вероятно, произведены в одной из стран Азии. Образец с маркировкой «JUV» в целом изготовлен аккуратней образца с маркировкой «Jelosil», однако эти лампы (обоих типов) не могут применяться в установках «ЛИТ» и им подобных из-за несоответствия их параметров и некачественного исполнения цоколя с контактными штырьками.

4.2. Лампа ДБ350В с маркировкой «ЭЛТОС»

Проверка двух новых образцов лампы ДБ350В с маркировкой «ЭЛТОС» показала что они изготовлены достаточно аккуратно и содержат оригинальную «перетяжку» колбы в районе электрода. Их измеренные характеристики приведены в табл. 2.

Образцы имеют высокий энергетический КПД на λ 254 нм (37,54 %) и близкие к требуемым ТУ 3467003581832292002 характеристикам в режиме «полка», однако максимальное энергопотребление их оказалось примерно на 8 % выше. При ресурсных испытаниях через 500 ч было обнаружено, что изоляция проводов активно разрушается, в результате чего внутренняя поверхность обоих кварцевых чехлов покрылась несмываемой плёнкой. Очевидно, вместо провода с изоляцией PTFE производитель использовал какой-то иной тип. Дальнейшее тестирование было продолжено без кварцевого чехла в воздушном стенде, чтобы определить спад УФИ в стандартных лабораторных условиях. При этом один образец перестал работать после 2000 ч из-за обрыва электрода, а второй – после суммарной наработки в 4000 ч и израсходования эмиссионного слоя на электродах. На рис. 4 показан внешний вид образцов после наработки в 2000 ч. Видно, что изоляция их проводов подверглась деструкции от УФИ, что сделало эксплуатацию этих изделий опасной. Спад потока УФИ обоих образцов лампы после 2000 ч составил около 22 %.

Выводы по п. 4.2. Новые лампы с маркировкой «ЭЛТОС» имеют характеристики, близкие к указанным в ТУ 3467003581832292002, высокий энергетический КПД на λ 254 нм и достаточно хороший внешний вид. Однако спад потока УФИ обоих образцов составил 22 % после наработки в 2000 ч, при том, что максимальный уровень спада УФИ для ламп такого типа не должен превышать 20 %

после 12000 ч. Ресурс на отказ оказался намного ниже требуемого полезного срока службы. Такие лампы нельзя использовать в УФО установках для обеззараживания воды из-за низкого ресурса, недопустимо быстрого спада потока УФИ, опасности загрязнения чехлов расплавленной изоляцией и опасности короткого замыкания проводов после разрушения изоляции.

4.3. Лампа с маркировкой «LightBest»

Авторам статьи поступил запрос на тестирование двух новых образцов ртутной лампы GPH436T5L/4 с маркировкой «LightBest» (рис. 5 и 6). Для сравнения использовалась спецификация оригинальной лампы GPH436T5L/4 фирмы Lighttech. Тестируемые лампы изготовлены довольно неаккуратно, цоколи ламп прикреплены неровно, электроды обжаты «в натяг», однако геометрические размеры соответствуют указанной оригинальной лампе. Измеренные параметры обоих образцов с ЭПРА EF23701



Рис. 4. Вид образца лампы ДБ350В с маркировкой «ЭЛТОС» после наработки в 2000 ч



Рис. 5. Внешний вид маркировки «Lightbest» образца лампы GPH436T5L/4

Параметры образцов лампы *GPH436T5L/4* с маркировкой «*Lightbest*»

Образец	I, А	«Максимум»		
		U, В	P, Вт	Φ _e , Вт
1	0,43	47,0	20,2	8,8
2	0,43	46,8	19,9	8,8
По спецификации <i>Lighttech</i>	0,425	*	21	7,3

* Не нормируется.

FL Golden Way, который обеспечивает ток лампы 0,40–0,45 А и мощность до 70 Вт, приведены в табл. 3. Тестируемые образцы лампы имеют поток УФИ на λ 254 нм, несколько больший номинального для аналогичной лампы производства *Lighttech*. Графики спада указанного потока УФИ образцов при ресурсных испытаниях в установке типа УДВ121NBSC для обеззараживания воды представлены на рис. 7.

Выводы по п. 4.3. Начальный поток УФИ на λ 254 нм новых образцов лампы *GPH436T5L/4* был несколько больше номинального оригинальной лампы производства *Lighttech*, однако временной спад их потока УФИ оказался слишком велик. Нормальный для оригинальной лампы такого типа спад – 15–20 % после стандартного срока службы в 8000 ч. А, как видно из рис. 7, он у тестируемых ламп в установке для обеззараживания воды достигает 15 % уже после 1000 ч, 25–30 % после 2000 ч и 30–35 % после 3000 ч работы. Ресурсные испытания этих ламп были прекращены до достижения 8000 ч работы. Такой темп спада означает, что установка с тестируемыми лампами фактически через 1000 ч эксплуатации уже не будет обеспечивать необходимый уровень обеззараживания.

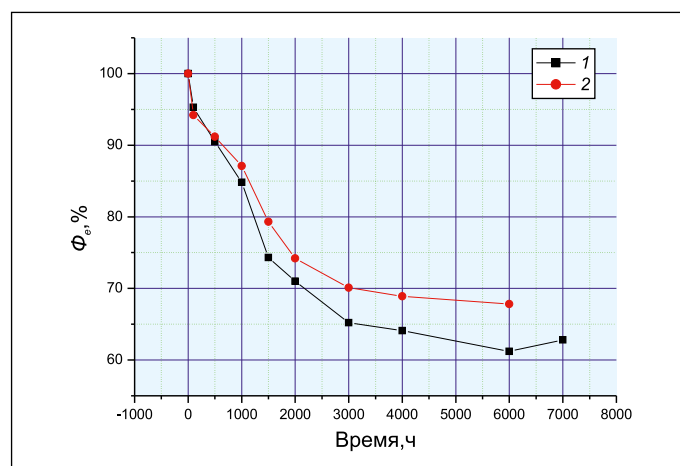
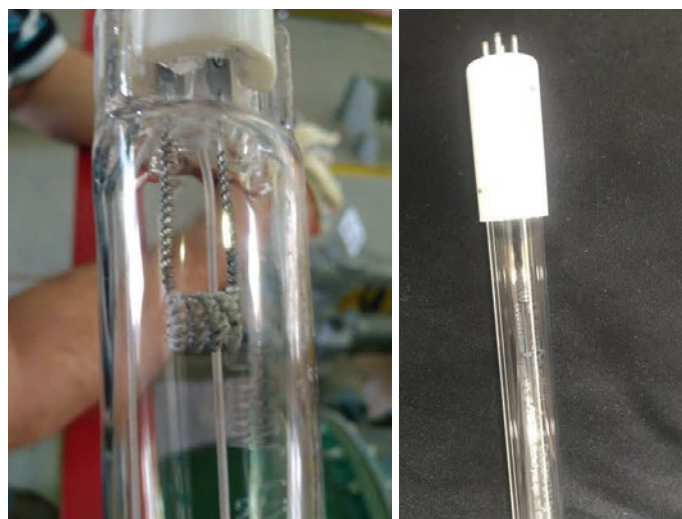
3.4. Лампы ДБ300 и ДБ800В с маркировкой «*UV Product*» («УФПродукция»)

Внешний вид двух тестируемых ламп ДБ300 и ДБ800В хороший, геометрические размеры соответствуют ТУ 3467003581832292002, электроды имеют достаточный привес (оценивался визуально), амальгама прикреплена аккуратно, имеется лазерная маркировка на кварцевом стекле (рис. 8). Результаты измерений обеих ламп приведены в табл. 4, а результаты ресурсных испытаний – на рис. 9.

Поток УФИ и электрические параметры обеих ламп не соответствуют ТУ 3467003581832292002. Обе лампы с маркировкой «*UV Product*» имеют более высокий поток УФИ, чем по ТУ, но, к сожалению, и более высокую мощность. Следует отметить, что при замене ламп в имеющемся оборудовании повышение УФ дозы не обязательно: УФО установки и так рассчитываются с технологическим запасом по бактерицидной дозе УФИ, а вот повышенная мощность ламп может приводить к их дополнительному по сравнению с расчётным нагреву в установке, а повышенный расход электроэнергии означает дополнительные финансовые расходы. Так, протестированная амальгамная лампа ДБ800В с маркировкой «*UV Product*» потребляет примерно на 130 Вт больше оригинальной лампы. При цене электроэнергии 4 руб. за кВт·ч дополнительные финансовые расходы за год непрерыв-



Рис. 6. Внешний вид электрода и цоколя

Рис. 7. Кривые временного спада потока УФ излучения обоих образцов лампы *GPH436T5L/4* с маркировкой «*Lightbest*»Рис. 8. Образцы ламп *DB800V* и *DB300* с маркировкой «*UV Product*»

Параметры образцов ламп ДБ300 и ДБ800В с маркировкой «UV Product»

Тип	I, А	«Полка»			«Максимум»		
		U, В	P, Вт	Φ _e , Вт	U, В	P, Вт	Φ _e , Вт
ДБ300	1,80	143,9	259,6	98,6	151,8	272,3	102,9
ТУ	1,85 ± 0,05	*	*	*	*	235±10	87±3
ДБ800В	4,91	170,1	835,2	242,4	172,5	847,3	251,1
ТУ	5,0 ± 0,1	*	*	*	*	710 ± 15	240 ± 10

* Не нормируется.

ной работы 100 таких ламп (в установках типа УДВ 100) составят 455 тыс. руб.

ЭПРА в установках обеззараживания с такими лампами рассчитаны на мощность нагрузки не более 800 Вт. Её превышение может приводить к перегреву и, соответственно, снижению ресурса ЭПРА, а то и к срабатыванию защиты и отключению этого устройства.

Выводы по п. 4.4. Лампы с маркировкой «UV Product» («УФПродукция») выполнены достаточно аккуратно, имеют поток УФИ, больший, чем оригинальных ламп фирмы «ЛИТ» (по ТУ 3467003581832292002), однако их использование в установках фирмы «ЛИТ» приведёт к превышению энергопотребления на 15–18 % от установленных значений. При этом ресурсные испытания показывают, что спад УФИ таких источников достигает 25–35 % после 8000 часов, что значительно выше рекомендованных 15–20 %, поэтому, несмотря на более высокий поток

УФИ в начале срока службы, в конце срока службы поток УФИ может быть значительно ниже указанного в ТУ 3467003581832292002. Более высокая электрическая мощность будет приводить к перегреву ЭПРА, а также к его возможному отключению.

4.5. Лампа с маркировкой «SeaN» (НТЦ «SeaN»)

Были протестированы два образца лампы ДБ350 с маркировкой «SeaN» (НТЦ «SeaN») (рис. 10), которые поступили от заказчика, эксплуатирующего оборудование компании «ЛИТ» для обеззараживания питьевой воды. Образцы выполнены достаточно аккуратно и их геометрические характеристики соответствуют ТУ 3467003581832292002, но соединение штырьков с ламповым проводом путём штамповки, как и в случае образцов лампы с маркировкой «Jelosil», недопустимо для амальгамных ламп такой мощности из-за низкой надёжности. Измеренные характеристики этих образцов приведены в табл. 5.

Выяснилось, что при температуре воздуха 25 °С образцы «SeaN» «недогреваются», и потому их характеристики оказались ниже максимально возможных, свидетельствуя о неправильном подборе амальгамы производителем. Для проверки возможности работы этого типа ламп в установках для обеззараживания воды данные образцы поместили в установку «ЛИТ» УДВ300900TESTMST,

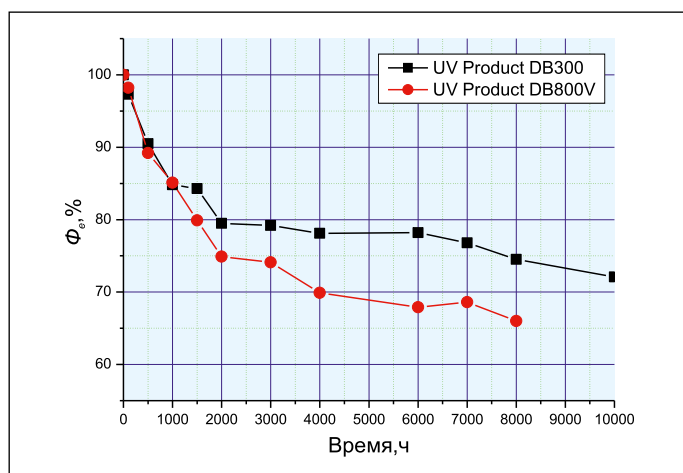


Рис. 9. Зависимость потока УФ излучения образцов ламп ДБ800В и ДБ300 с маркировкой «UV Product» от времени работы



Рис. 10. Образец лампы ДБ350 с маркировкой «SeaN»

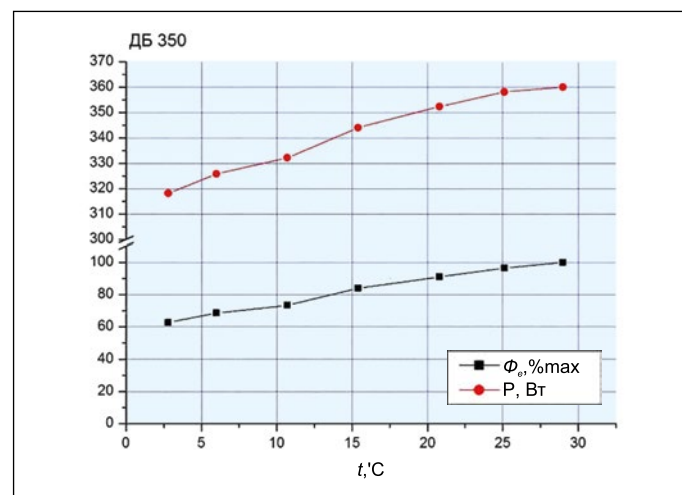


Рис. 11. Зависимость потока УФ излучения образца лампы ДБ 350 от температуры воды

Параметры образцов лампы ДБ350 с маркировкой «SeaN»

Образец	I, А	«Полка»			«Максимум»		
		U, В	P, Вт	Φ _e , Вт	U, В	P, Вт	Φ _e , Вт
1	3,13	97,7	304,1	118,6	97,7	304,1	118,6
2		98,6	307,0	120,5	98,6	307,0	120,5
По ТУ	3,2 ± 0,1	*	*	*	*	325 ± 10	125 ± 5

* Не нормируется.

и были измерены значения потока УФФИ при изменении температуры воды в широком диапазоне (рис. 11). Как видно из рис. 11, максимальный (оптимальный) поток УФФИ достигается только при повышении температуры воды примерно до 30 °С. Следовательно, лампа «SeaN» может эффективно эксплуатироваться в установках «ЛИТ» при достаточно высокой температуре воды – не менее 30 °С. Возможно, протестированные образцы лампы предназначены для работы в другом УФО оборудовании (с другим, например, диаметром кварцевого чехла), а также отметим, что в этих условиях электрическая мощность лампы *P* заметно вырастает и становится выше, чем по ТУ 3467003581832292002. При использовании таких ламп для обеззараживания питьевой воды с характерными температурами 1–10 °С значение потока УФФИ ламп значительно снижается – на 40 % от максимального. Ресурсные испытания этих образцов ламп в установке обеззараживания воды не проводились, так как интерпретация результатов таких испытаний была бы затруднена сложностью корректного сравнения полученных результатов.

Выводы по п. 4.5. Лампа с маркировкой «SeaN», вероятно, разработана для некоторого другого производителя УФО оборудования и, видимо, поступила из одной из стран Азии. Она не может эффективно работать при температурах воды ниже 10–15 °С, значительно снижающих её поток УФФИ.

Заключение

Качество протестированных образцов бактерицидных УФ ламп НД, поступающих на российский рынок с маркировками «Jelosil», «JUV», «ЭЛТОС», «LightBest», «UV Product» («УФПродукция») и «SeaN» (НТЦ «SeaN»), является низким. Некоторые производители для соединения лампового провода к штырькам цоколей ламп используют штамповку или обжим. Такой способ соединения используется в ртутных бактерицидных лампах и ЛЛ с током разряда 0,4–0,8 А, но не подходит для мощных амальгамных ламп из-за низкой надёжности. Вместо провода с изоляцией PTFE в образцах лампы ДБ350В с маркировкой «ЭЛТОС» были использованы другие провода, в результате чего изоляция разрушилась. Такие образцы эксплуатировать просто опасно: могут выходить из строя ЭПРА, чехлы и даже происходить возгорание оборудования. У всех новых тестируемых образцов ламп поток УФФИ на λ 254 нм соответствовал его заявленным номинальным значениям, но его спад оказался слишком велик и мог достигать 25–30 % после 2000 ч работы, что значительно больше рекомендуемых 15–20 % после 8000 ч. Такой спад оз-

начает, что установка фактически через 2000 ч не будет обеспечивать необходимый уровень обеззараживания. Потребляемая мощность всех тестируемых образцов ламп была выше, чем по ТУ на оригинальные лампы-аналоги, что свидетельствует об их более низком энергетическом КПД на λ 254 нм. Слишком высокая мощность лампы приводит к перегреву и, соответственно, снижению ресурса ЭПРА. Чрезмерное энергопотребление влечёт дополнительные финансовые расходы, перекрывающие экономии от покупки более дешёвых ламп неизвестного производителя. Представленные образцы были разработаны и изготовлены по ТЗ конкретных производителей или являются репликами УФ ламп известных брендов, изготовленными по собственной технологии. При этом качество их защитного слоя (видимо, очень низкое), ускоряет временной спад УФФИ, и никак не учитывались особенности УФО оборудования для обеззараживания воды, с которым эти лампы могут использоваться. Это может приводить к многочисленным проблемам при эксплуатации УФО оборудования и негативно влиять на репутацию метода обеззараживания УФФИ. В условиях конкурентного рынка потребитель имеет право сами производить выбор и замену ламп или ЭПРА в УФО установках, но эти действия должны осуществляться только с учётом особенностей работы того или иного оборудования и на основании рекомендаций специалистов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кармазинов Ф.В., Костюченко С.В., Кудрявцев Н.Н., Храменков С.В. Ультрафиолетовые технологии в современном мире: Коллективная монография – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2012.– 392 с.
2. Васильев А.И., Костюченко С.В., Кудрявцев Н.Н., Собур Н.Н., Соколов Д.В. Технологии УФ обеззараживания для обработки воды, воздуха и поверхности // Светотехника.– 2017.– № 5. – С. 6–11.
3. Ртутные лампы высокого давления / Под ред. и с предисл. И.М. Весельницкого и Г.Н. Рохлина. – Перераб. и доп. изд. – М: Энергия, 1971.– 328 с.
4. Advanced Oxidation Processes for Water and Wastewater Treatment / Ed.S. Parson. – IWA Publishing, 2004, ISBN: 1843390175.
5. Pirovich A.L. Germicidal low pressure mercury vapor discharge lamp with amalgam location permitting high output / Patent US2004/0195954, 07.10.2004
6. Рохлин Г.Н. Разрядные источники света. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – С. 60–80.
7. Левченко В.А., Васильев А.И., Васильяк Л.М., Костюченко С.В., Кудрявцев Н.Н. Увеличение физического срока службы мощных газоразрядных ламп низкого давления // Прикладная физика.– 2015.– № 5. – С. 90–94.

8. Левченко В.А., Василяк Л.М., Костюченко С.В., Кудрявцев Н.Н., Свитнев С.А., Шаранов Е.П. ВУФ излучение ртутного разряда при давлении буферного газа менее 1 Торр // Успехи прикладной физики.– 2016.– № 3. – С. 256–264.

9. Свитнев С.А., Попов О.А. Расчёт функции распределения электронов по энергиям в стационарном разряде низкого давления // Вестник МЭИ. 2012. 3. С. 100–105.

10. Keitz. H.A.E. Light Calculation and Measurements. – London: Macmillan and Co Ltd, 1971.

11. Василяк Л.М., Дроздов Л.А., Костюченко С.В., Кудрявцев Н.Н., Собур Д.А., Соколов Д.В., Шунков Ю.Е. Методика измерения потока УФ излучения трубчатых бактерицидных ламп НД // Светотехника.– 2011.– № 1. – С. 29–32.



Аллаш Михаил Евгеньевич, сотрудник компании Lighttech Kft



Василяк Леонид Михайлович, доктор физ.-мат. наук, профессор. Главный научный сотрудник Объединённого института высоких температур РАН



Елисеев Николай Петрович, кандидат техн. наук. Доцент кафедры «Светотехника» НИУ «МЭИ»



Попов Олег Алексеевич, доктор техн. наук. Профессор кафедры «Светотехника» НИУ «МЭИ»



Соколов Дмитрий Владимирович, кандидат техн. наук. Начальник службы светотехники НПО «ЛИТ»

«Умное освещение умному городу»

В рамках ежегодной выставки «Электро-2019» в ЦВК Экспоцентр на Красной Пресне прошла конференция «Умное освещение умному городу», в рамках которой были обсуждены перспективы «умного» городского освещения в российских городах и реализуемые муниципальные проекты городского освещения и архитектурной подсветки с использованием современных решений в области контроля и управления.

С докладом «Рейтинги субъектов Российской Федерации по энергоэффективности уличного освещения» выступил от ООО «Лайтинг Бизнес Консалтинг» Сергей Боровков, который отметил, что качественное городское освещение существенно влияет на уменьшение числа ДТП, снижает уличную преступность, создают комфортную городскую среду, привлекает в города туристов, способствует росту экономики города.

Согласно данным Росстата доля неосвещённых улиц в городах в среднем составляет 31 %. При этом в 25 регионах России доля неосвещённых улиц превышает 40 %

Он отметил, что российский рынок светотехники стал высококонкурентным, что ведёт к «ценовым войнам» и, как следствие, снижению качества продукции.

По результатам независимых испытаний в 2016–2018 гг., более 60 % продукции не соответствуют обязательным требованиям Таможенного Союза. А 20 % продукции не соответствуют электрическим и фототехническим характеристикам, заявленным производителем.

В таких условиях заказчики и потребители светотехнической продукции для повышения уверенности в качестве продукции должны запрашивать у поставщика добровольные сертификаты соответствия и проверять действительность обязательных сертификатов соответствия. В особых случаях следует организовывать независимую проверку качества поставляемых по контракту изделий.

Затем на конференции выступили представители компаний-разработчиков и производителей светотехнического оборудования и систем автоматического управления освещением.

Наталья Неверская, глава по корпоративным коммуникациям Signify в России и СНГ, рассказала о международных проектах компании, ранее носившей название Philips Lighting. Signify осветила набережную Вайтань в Шанхае, самой известной туристической зоны в этом мегаполисе. Архитектурный комплекс включает более 40 исторических зданий вдоль реки Хуанпу. Использованная система освещения Interact Landmark, позволяет управлять подсветкой всех зданий как единым объектом. Проект включает в себя 50 000 светодиодных светоточек, объединённых интеллектуальной системой управления.

Новый проект компании – создание световой среды для центра Казани. Единым решением предлагается объединить освещение улиц, зданий и объектов в центре столицы Татарстана. Освещение объектов сможет меняться в зависимости от времени года, погоды и дня недели.

На конференции также выступили с сообщениями представители компаний «МГК Световые технологии», SDBSVET, ЮФО АЛБ и др.

Обновление уличного освещения с помощью светодиодных технологий¹

Р.М. МАРИЛЛАС, Х.Р. ДЕ АНДРЕС

Малагский университет, Малага, Испания
E-mail: rmmorillas@uma.es, deandres@ctima.uma.es

Аннотация

В 2015 году экологическая, экономическая и социальная необходимость повышения энергоэффективности способствовала обновлению уличного освещения в испанском муниципалитете Касарабонела. Учитывая фиксированные операционные и эксплуатационные расходы, это были значительные долгосрочные инвестиции, оказывающие большое влияние на общество. Технические специалисты выбрали светодиодные источники света после изучения представленных технико-экономических предложений. До и после реновации проводились измерения уровней освещения, энергопотребления и затрат. После того, как выбранное предложение было реализовано, были проведены соответствующие опросы технических специалистов, обслуживающего персонала и конечных пользователей. Целью данного тематического исследования является описание шагов, предпринятых в процессе замены светильников. Была оценена экономия, ожидаемая и фактическая вместе с периодом возврата инвестиций. Этот случай вполне может послужить «прототипом» для последующих множественных исследований, целью которых является проверка ряда показателей, полученных в предыдущем исследовании.

Ключевые слова: светодиодное освещение, энергоэффективность, показатель, дорожное освещение, устойчивое развитие.

1. Введение

С начала экономического кризиса в Испании в 2007 году бюджеты государственных администраций в целом и муниципалитетов в частности значительно сократились. Более того, прогрессивное увеличение стоимости энергии и выброс углеродного газа,

связанный с потреблением энергии, заставили местные органы власти изучать и оптимизировать свои источники потребления в соответствии с экологическими задачами, поставленными Европейским союзом [1].

В период с 2007 по 2010 годы местное правительство разработало Планы Оптимизации Энергопотребления (ПОЭ) с целью составления перечня всех источников энергопотребления в муниципалитете (общественное освещение, муниципальные здания и т.д.) в качестве показателя жилой активности, социального экономического фактора и даже для оценки ВВП и выбросов CO_2 [2]. В этих планах также предлагались конкретные меры по повышению эффективности.

Выводы этих планов чаще всего указывали на необходимость оптимизации и сокращения потребления в общественных осветительных установках. В 2009 году процент потребления электроэнергии в Касарабонеле уличным освещением по сравнению с общим потреблением электроэнергии составил 47 %, что составляет почти половину муниципальных расходов на электроэнергию [3].

Более того, недавнее развитие новых альтернатив традиционным источникам света светодиодам – светодиодам, изготовленные по технологии *MicroLED* (светодиоды, намного более эффективные в теории), – также побудило муниципальных техников изучать множество вариантов, которые иногда не содержат достаточно информации или недостаточно де-

тализованы, что не позволяет их оценить должным образом. Эта новая ситуация может привести к расхождению в предложениях, представленных им, в отношении того, будут ли они соответствовать законодательству или конкретным потребностям муниципалитета.

В 2015 году авторами данной работы было проведено исследование [4], направленное на выявление набора показателей, оценка которых могла бы помочь техническим специалистам в принятии решений. Как отметил Пользин и др.: «Представители муниципалитетов часто не могут оценить рынок светодиодного освещения» [5]. В ходе исследования был выявлен ряд показателей, позволяющих прогнозировать пригодность системы уличного освещения. Для проверки своих результатов авторы будут использовать это тематическое исследование для начала проверки на практике своих показателей.

Для достижения этой цели в муниципалитете Касарабонела было проведено одно тематическое исследование. Оно подразумевало проверку, учитывающую собранную информацию: совпадают ли принятые решения с результатами оценки показателя.

2. Исходная информация

Касарабонела расположена на западном краю долины реки Гуадалхорс, к югу от региона Ронда, провинция Малага. Он был объявлен биосферным заповедником ЮНЕСКО и классифицирован как зона *E1* согласно СЕ126–1997 [6]. 70 % населения муниципалитета проживает в центре города, и общая численность населения немного сократилась с 2009 по 2015 год [7].

Правительство провинции Малага разработало ПОЭ муниципалитета Касарабонела в 2009 году (рис. 1).

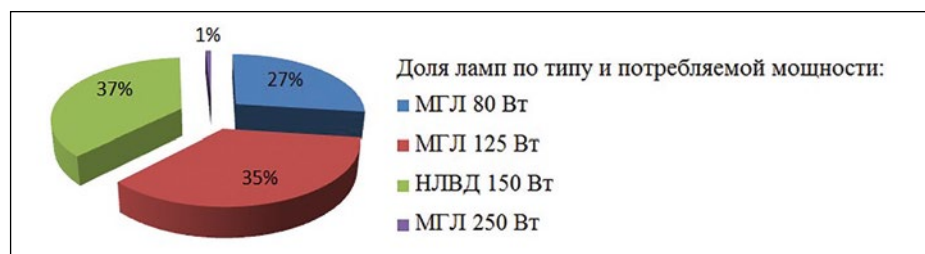


Рис. 1. Инвентаризационная опись городского освещения муниципалитета Касарабонела. Источник: ПОЭ муниципалитета Касарабонела

¹ Перевод с англ. А.Ю. Басова

**Инвентаризационная опись в муниципалитете Касарабонела.
Источник: ПОЭ муниципалитета Касарабонела**

Таблица 1 действующим нормам электробезопасности [15].

Краткое изложение необходимых действий	Количество, шт.
Новый светильник <i>Villa</i> расположен на центральных улицах города и площадях	365
Новый светодиодный модуль <i>Fernandino</i> (СД лампа + драйвер) для установки в существующие светильники	40
Потолочный светильник для установки в проходе	1
Кронштейн из литого алюминия, длина 0,6–0,7 м	170
Литая опора, высота 3,95 м	71

Это исследование, пересмотренное в 2012 году, показало, что энергопотребление из-за общественного освещения увеличилось почти на 30 % в 2012 году по сравнению с 2009 годом. Это энергопотребление составляло 42 % от общего потребления энергии и 36 % от общих затрат на электроэнергию в муниципалитете.

Выводы ПОЭ отражают «возможность экономии» [8]. Более того, новые законодательные требования Комиссии по регулированию ЕС № 245/2009 [9] запрещали использование ртутных ламп с 2015 года. Эти два события вынудили муниципалитет найти альтернативу традиционным источникам освещения, создав «более экологичный и устойчивый образ общественных наружных пространств» [10].

3. Методы

Для иллюстрации всего процесса реновации было проведено наглядное тематическое исследование [11]. Данные были собраны в три этапа:

1. Перед выполнением работ по капитальному ремонту:

- Обновление инвентаризационной описи городского освещения муниципалитета Касарабонела;
- Разработка проекта реновации и начало процедуры заключения контрактов на запланированные в проекте действия;
- Изучение предложений по реализации проекта;
- Измерение уровней освещения на выборке улиц.

2. После выполнения работ по капитальному ремонту:

- Повтор измерений уровней освещения;

- Интервью с мэром муниципалитета, техническими специалистами и политиками;

- Интервью с обслуживающим персоналом муниципалитета;

- Интервью с жителями;

- Разработка сравнительного анализа затрат на электроэнергию;

- Расчёт экономических инвестиций и периода окупаемости инвестиций (ПОИ).

3. Оценка представленных предложений с использованием показателей.

4. Собранные данные и результаты

4.1. Обновление инвентаризационной описи городского освещения муниципалитета Касарабонела

В ноябре 2013 года была обновлена инвентаризационная опись городского освещения по улице и по типу светильников для количественной оценки необходимых технико-экономических мероприятий (табл. 1).

Технические специалисты также включили вопрос о перемещении или установке новых световых точек в районах, где в ходе инвентаризации было выявлено недостаточное качество параметров освещения. Они увеличили количество световых точек в некоторых районах, чтобы повысить ощущение безопасности и облегчить пользование общественными пространствами для граждан [12]. Вследствие этого в некоторых районах возросло потребление энергии на душу населения [13, 14].

Диагностика завершилась обновлением трёх изношенных электрических панелей, которые не соответствовали

4.2. Разработка проекта реновации и начало процедуры заключения контрактов на запланированные в проекте действия

Технические специалисты разработали проект для выполнения рекомендаций по инвентаризации, стоимость которого составила 169100 €. Процедура заключения контракта осуществлялась самим городским советом в соответствии с действующим государственным административным законодательством [16]. Несколько компаний представили предложения, из которых только две заполнили техническую и экономическую документацию, требуемую в спецификациях заявок.

Технические требования для оценки предложений, включённых в спецификации заявок, были следующими (табл. 2):

Два финальных участника были приглашены для установки своих светильников в качестве теста на нескольких улицах центра города, как это было рекомендовано Пользиным [5], с тремя целями: проверить предлагаемые светильники, измерить уровни освещения, обеспечиваемые установленными светильниками, и проследить за степенью удовлетворённости конечных пользователей/жителей.

4.3. Изучение предложений по реализации проекта

Первоначальная оценка представленной участниками документации была проведена в соответствии с документом «Технические требования к светильникам со светодиодной технологией» по программам в области энергетики, туризма и цифровизации [17]. Впоследствии были изучены технические файлы и предоставленные сертификаты. В табл. 3 описаны параметры, по которым различались участники тендера.

Если сравнить технические параметры претендентов с техническими требованиями (табл. 2), то можно сделать вывод, что Участник 1 не соответствовал ни по параметру «Степень защиты светильника», ни по параметру «Срок службы светодиодного модуля». Оба претендента не выполнили

параметр «Коррелированная цветовая температура», но технические специалисты муниципалитета приняли значение 4000° К.

4.4. Измерение уровней освещения на выборке улиц

Была проведена серия измерений на выборке из 5 дорог с улиц, где должна была проходить реконструкция (табл. 4). Выбранные дороги были классифицированы в соответствии с МКО, [18] и [19]; в соответствии с [6] все дороги были классифицированы как защитная зона ЕЗ, потому что они были расположены в жилом районе в пределах городской зоны, которая считается зоной средней яркости или средней светимости.

Измерения всегда проводились на одних и тех же улицах и между одними и теми же светильниками. Одинаковые расстояния между светильниками и условия измерения были обеспечены в три разных периода времени:

1. Первая серия измерений с существующими светильниками, прежде чем какие-либо действия имели место в установке (март 2014 года);

2. Вторая серия измерений с тестовыми светильниками, установленными на выбранных улицах двумя финансистами (март 2014 года – январь 2015 года);

3. Третья серия измерений на улицах с использованием светильников Участника 1, заменённых на светильники Участника 2, которые в конечном итоге были выбраны муниципалитетом (в течение первого полугодия 2015 года).

Измерения были проведены в безветренные ночи без каких-либо других неблагоприятных погодных условий. Светильники не имели поблизости никаких других источников света (локальных, светящихся знаков и т.д.), которые могли бы помешать измерениям. Дорожное движение не перекрывалось, техники просто ждали, пока исчезнут световые помехи автомобилей. Цифровой люксметр *Mavolux 50328 USB* компании *Grossen* обеспечивал непосредственное считывание для каждого измерения.

На следующих рисунках (рис. 2–3) представлены схемы выбранных сеток с точками измерений по улицам, а также значения средней и минимальной освещённости и общей равномерности

Таблица 2

Технические требования к заявке. Источник: правительство провинции Малага

Требование	Значение
Материал светильника	Литой алюминий
Степень защиты светильника	IP65
Источник света	светодиоды
Срок службы (источника света)	≥ 90000 ч
Теплоотводящие элементы в источнике света	Да
Световой поток источника света	≥ 3800 лм
Мощность системы (драйвер + источник света)	≤ 38 Вт
Коррелированная цветовая температура	3000°К (тёплый белый)
Доля светового потока в верхнюю полусферу	≤ 1 %
Оптика	Асимметричное распределение
Защита оптического блока	IP54
Защита от перегрузки	Да
Защита от высокого напряжения	≥ 10 кВ
Драйвер	Электронный/ Индивидуальный
Регулировка	Программируемый драйвер (5 шагов)
Цена	420 € (светильник)/ 289 € (СД модуль)

Таблица 3

Сравнение предложенных светильников

Несоответствующие параметры	Участник 1	Участник 2
Мощность системы (драйвер + источник света)	38 Вт	30 Вт
Световой поток светильника	3328 лм	3000 лм
Доля светового потока в верхнюю полусферу (%)	< 1 %	0,74 %
Эффективность светильника	79 %	НП*
Степень защиты светильника	IP44	IP65
Цена светильника	420 €	386 €
Мощность источника света	35 Вт	28 Вт
Световой поток светодиодного модуля	4350 лм	4000 лм
Индекс цветопередачи	НП*	>75
Рабочий ток светодиодного модуля	500 мА	350 мА
Срок службы светодиодного модуля	68000 ч	90000 ч
Цена светодиодного модуля	289 €	266 €

* Не была представлена информация, значение, сертификат или требуемый документ

Классификация дорог [20]

Классификация дорог	Тип	Проектная ситуация	Класс освещения	E_m , лк	$E_{мин}$, лк
{1} Проспект Хуана XXIII	D	D3-D4	S1	15,0–22,5	5
{2} Ул. Кантаррайяна	E	E1	S2	10–15	3
{3} Ул. Салданья	E	E1	S2	10–15	3
{4} Ул. Реал	D	D3-D4	S1	15,0–22,5	5
{5} Ул. Франциско Эррера	D	D3-D4	S1	15,0–22,5	5

Таблица 5

Результаты измерений на улице {1}

Высота подвеса – 4 м, ширина дороги – 5 м, расстояние между светильниками – 24 м								
№ улицы	№ измерения (кол-во точек)	Источник света	Мощность, Вт	Участник	Дата	E_m , лк	$E_{мин}$, лк	U_o
{1}	1° (39)	МГЛ	80	2	03.14	6,6	2,9	0,4
	2° (66)	СД	30		01.15	14,5	5,0 ↑	0,3 ↓

сти, полученные для каждого выполненного измерения (табл. 5–6).

Поскольку светодиоды являются источником света, применяемым в выбранных светильниках, для расчёта эффективности можно принять значение коэффициента эксплуатации равное 0,85 [21]. Это значение соответствует интервалу очистки 3 года и средней степени загрязнения. Полученные результаты расчётов класса энергоэффективности дорог согласно [20] показали, что все улицы соответствуют классу «А».

4.5. Интервью с мэром муниципалитета, техническими специалистами и политиками

Чтобы получить мнения обо всём процессе, был проведён опрос муниципального техника, который был свидетелем всего процесса отбора и обновления. Что касается выбора предложения, установки и последующего периода запуска, он указал, что он не обнаружил никаких аномалий, трудностей или жалоб. Однако он отметил, что выбранные светильники были не

самого высокого качества, хотя, по его мнению, они были адекватными с технической точки зрения. Кроме того, был опрошен мэр, который обратил внимание на мнение своих техников, а также непосредственных соседей.

4.6. Интервью с обслуживающим персоналом муниципалитета

Один из двух муниципальных электриков также был опрошен. Он проработал в городском совете 20 лет и отвечал за устранение неполадок, возникающих в повседневной эксплуатации установок уличного освещения. Собеседник предложил свой опыт и впечатления об этом конкретном случае. На этапе выбора электрик не указал ничего достойного упоминания.

На этапе реализации он вспомнил, что сначала соседи протестовали, ощущая отсутствие достаточного освещения, что делало их прогулки менее приятными [22]. Одной из причин жалоб было то, что фасад зданий не был освещён, однако ни одна из этих первоначальных жалоб не продолжалась с течением времени. Была также другая проблема – депрограммирование драйвера всех светильников, принадлежащих одной цепи, – которую производитель успешно решил. Электрик также указал, что в настоящее время на этапе технического об-

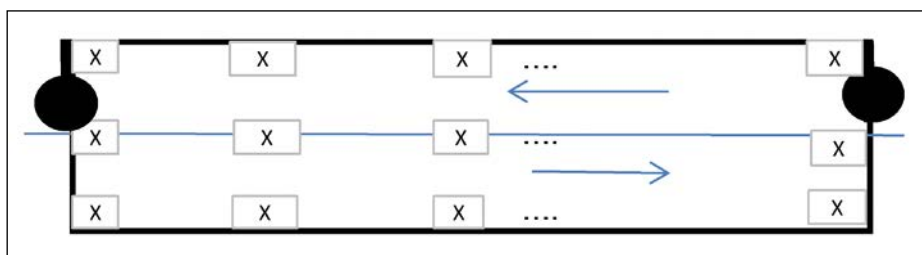


Рис. 2. Схема улицы и сетки с точками для измерений для улицы {1}

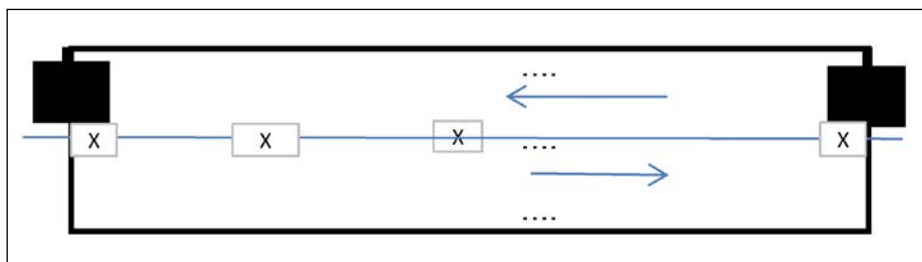


Рис. 3. Схема улицы и сетки с точками для измерений для улиц {2} – {6}

Результаты измерений на улицах {2} – {6}

Высота подвеса – 3 м, ширина дороги – 2 м, расстояние между светильниками – 17 м								
№ улицы	№ измерения (кол-во точек)	Источник света	Мощность, Вт	Участник	Дата	E_m , лк	$E_{мин}$, лк	U_o
{2}	1° (12)	МГЛ	80	2	03.14	8,8	5,3	0,6
	2° (11)	СД	30		01.15	60,8	35,0 ↑	0,5 ↓
Высота подвеса – 3 м, ширина дороги – 3 м, расстояние между светильниками – 19 м								
№ улицы	№ измерения (кол-во точек)	Источник света	Мощность, Вт	Участник	Дата	E_m , лк	$E_{мин}$, лк	U_o
{3}	1° (15)	МГЛ	125	2	03.14	3,9	1,8	0,5
	2° (15)	СД	30		01.15	45,2	20,0 ↑	0,4 ↓
Высота подвеса – 3 м, ширина дороги – 3 м, расстояние между светильниками – 19 м								
№ улицы	№ измерения (кол-во точек)	Источник света	Мощность, Вт	Участник	Дата	E_m , лк	$E_{мин}$, лк	U_o
{4}	1° (12)	МГЛ	80	1	03.14	4,7	1,2	0,3
	2° (12)	СД	38		01.15	25,5	8,3	0,3
	3° (17)	СД	30		01.15	30,4	3,9 ↑	0,1 ↓
Высота подвеса – 3 м, ширина дороги – 3 м, расстояние между светильниками – 21 м								
№ улицы	№ измерения (кол-во точек)	Источник света	Мощность, Вт	Участник	Дата	E_m , лк	$E_{мин}$, лк	U_o
{5}	1° (11)	МГЛ	80	2	03.14	4,2	0,9	0,2
	2° (11)	СД	38		01.15	27,4	12,0	0,4
	3° (17)	СД	30		01.15	31,6	8,0 ↑	0,3 ↓

служивания и гарантийного обслуживания он не проводил никаких профилактических или ремонтных работ; он только присутствовал на случайных происшествиях.

В течение последних месяцев тестового периода осветительная установка столкнулась с несколькими проблемами: некоторые драйверы в одной из цепей вышли из строя из-за перебоев напряжения в линии электропередачи, а некоторые винты выпали из светильников, и несколько светильников пришлось отремонтировать.

Участник, представивший заявку, которая в итоге победила, как и договаривались, сотрудничал и собирался проанализировать повреждённое оборудование. Кроме того, компания проверяла возможные изменения или дефекты в линиях электропитания. Эти небольшие ремонтные работы обошлись муниципалитету примерно в 600 евро.

Городской электрик заявил, что весь процесс замещения от начала до настоящего времени был в целом адекватным, но он считал, что некоторые узкие улицы были менее освещены или имели значительные тени.

4.7. Интервью с жителями

Судя по небольшой выборке, жители, проживающие в муниципалитете, не были чрезмерно позитивными в отношении ремонта. Они заметили изменение цветности, но не могли быть уверены, что воспринимаемое освещение привело к более высокому качеству. Хотя особых претензий в историческом центре не было, некоторые непосредственные соседи чувствовали недостаток освещения в жилых районах при ходьбе. Они описали абсолютно тёмные области между опорами освещения. Во время собеседования, когда было указано, что процесс обновления светильников позволил сэкономить на счетах за электричество, опрошенные соседи поняли, что мероприятие оправдано, но предпочли бы, чтобы в некоторых районах условия освещения не ухудшились.

4.8. Разработка сравнительного анализа затрат на электроэнергию

Было проведено сравнительное исследование муниципального потребления электроэнергии в систе-

мах общественного освещения, чтобы проверить, была ли какая-либо экономия в течение последних 12 месяцев (с июля 2015 года по июнь 2016 года) после реконструкции, в отношении исследования потребления электроэнергии, проведённого в 2012 году (табл. 7).

Согласно полученным значениям, годовая экономия энергии (154709 кВт·ч) составила 50 %, что эквивалентно 62 т CO_2 -эквивалента, а экономия в денежном эквиваленте составила 48 % годовых затрат.

4.9. Расчёт экономических инвестиций и периода окупаемости инвестиций (ПОИ)

Сумма, предназначенная исключительно на замену светильников в общем бюджете на ремонт, составила 110460 евро.

С учётом цен и технических характеристик светильников-победителей была проведена предварительная оценка периода окупаемости инвестиций, и результаты показали, что период окупаемости инвестиций составляет от 6 до 7 лет. Принимая во внимание, что гарантия обычно покрывает

Сравнение электропотребления за 2012–2015 годы

Электропотребление и разница в стоимости	Значение
Количество исследуемых электрических панелей	4
Стоимость в 2012, €	46027
Стоимость в 2015, €	23817
Разница, €	-22210
Электропотребление в 2012, кВт·ч	310931
Электропотребление в 2015, кВт·ч	156222
Разница, кВт·ч	-154709

Таблица 7

использованы для выбора списка показателей светильника [23], которые могут помочь муниципальным техническим специалистам в принятии решений об обновлении уличного освещения.

Всего было выявлено 5 показателей светильника (табл. 9). Однако после сопоставления на практике был обнаружен дополнительный показатель, такой как стоимость источника света. Этот новый показатель позволил разработать расчёты стоимости и ПОИ.

Обзор этих результатов был проведён двумя способами. Во-первых, связав некоторые параметры с каждым показателем светильника, авторы смогли количественно оценить такие показатели, как «Конструкция светильника». Этот показатель также учитывает такие параметры, как эффективность, степень защиты от внешних воздействий (IP или IK). Во-вторых, авторы исключили любые показатели, которые были бы общими для всех предложений, поскольку они не повлияли бы на результаты, например «Классификация дорог», «Часы работы» и «Уровни освещения». В то же время показатели, значения которых можно было получить только после установки, также не учитывались [24].

Таблица 8

Расчёт ПОИ и затрат на электропотребление

Расчёт стоимости	Значение
Начальные инвестиции, €	110460
Эксплуатационные расходы, €/2015	600
Снижение затрат на электропотребление, €/2015	22210
Суммарное снижение, €/г	21610
Окупаемость инвестиций, г	5

Таблица 9

Показатели для оценки светильника и связанные с ними параметры

Показатель	Связанные параметры
Конструкция светильника	Светораспределение IP IK Эффективность Защита от высокого напряжения Защита от перегрузки
Мощность источника света	Мощность СД модуля Рабочий ток СД модуля Световой поток СД модуля Срок службы
Спектральное распределение источника света	Минимальная длина волны [6] Коррелированная цветовая температура $T_{це}$ CRI
Возможность регулировки	
Стоимость светильника	

первые 5 лет установки [1], этот теоретический возврат инвестиций слишком велик.

При дальнейшем исследовании тарифов было замечено, что реновация принесла реальную значительную экономию (около 50 %) в энергопотреблении и расходах на общественное освещение за первый год. Причина была в том, что эффективность светильников до реновации была очень мала по сравнению с установленными светильниками. При реальных данных

о потреблении срок окупаемости инвестиций сократился как минимум на 1–2 года (табл. 8). Если бы сохранялась реальная экономия, полученная в первый год, это значительно увеличило бы доходность инвестиций.

4.10. Оценка представленных предложений с использованием показателей

Выводы из исследования, проведённого авторами в 2015 году [4], были

Оценка проводилась после того, как показатели были связаны с количественными параметрами, поскольку качественный характер некоторых из них мог исказить их оценку. Качественная оценка преобразует количественные данные в результаты [25].

Использовались значения параметров светильников, предоставленных только двумя финальными участниками. Чтобы присвоить каждому балл, соответствующий показателю, параметры, по которым один превосходил другой, были отражены как «Преимущество» (П). В случае ничьей никто не получил П. Полученные значения приведены в табл. 10.

5. Обсуждение

Без сомнения, сбор данных был комплексным с учётом различных областей, которые были учтены для получения полной картины действий, осуществляемых в муниципалитете: экономическая, техническая, а также социальная причастность.

С экономической точки зрения может показаться, что цена на светиль-

Результаты участников

Оценка	Технические требования по заявке	Участник 1		Участник 2	
		Значение	Результат	Значение	Результат
1. Конструкция светильника					
Светораспределение	Асимметричное	Асимметричное		Асимметричное	
IP	IP65	IP44		IP65	П
IK	–	–		–	
Эффективность светильника, %	–	79	П	–	
Защита от высокого напряжения/перегрузки, KV	10	имеется		имеется	
2. Мощность источника света					
Мощность СД модуля, Вт	38	38		30	П
Рабочий ток СД модуля, mA	–	500		350	П
Световой поток СД модуля, лм	3800	4350	П	4000	
Срок службы, ч	90000	68000		90000	П
3. Спектральное распределение источника света					
Минимальная длина волны, мкм	–	–		–	
$T_{цв}$, °K	3000	4000		4000	
CRI	–	–		>75	П
4. Возможность регулировки	5 шагов	Имеется		имеется	
5. Стоимость светильника / СД модуля, €	420/289 €	420/289 €		386/266 €	П

Примечание: –: информация не была представлена; П: преимущество перед другими участниками

ник была основным показателем, который в конечном итоге технические специалисты городского совета использовали для принятия решения, хотя следует отметить, что только те участники, которые удовлетворили технические требования, были признаны технической экспертизой конкурентоспособными. Что касается экономических результатов, предложение, представленное Участником 2, было наиболее выгодным для городского совета. В результате этого предложения реальная окупаемость инвестиций составила 5 лет, столько же или даже меньше, чем гарантийный срок, учитывая первый год установки.

Очевидно, что цена светильника и соответствие техническим требованиям были решающими факторами в окончательном решении муниципальных техников. Можно сделать вывод, что муниципальные техники основывали своё решение на близких показателях в 15 технических спецификациях заявки (8 из них совпали с вычисленными показателями).

С технической точки зрения оба участника предоставили практически всю необходимую документацию, за исключением документа, подтверждающего степень защиты от внешних механических воздействий IK, и некоторых сертификатов на соответствие национальным стандартам Испании. Кроме того, для соблюдения технических требований тендера Участник 2 предоставил наиболее полную и подробную техническую информацию. Некоторые параметры светильника, представленные Участником 2, также были лучше (например, значение «Рабочий ток СД модуля», «IP» и «Срок службы»).

Оба участника выполнили требования по энергоэффективности, получив класс А. Однако средние уровни освещённости, измеренные для выбранных дорог, превысили требуемые уровни освещённости (S1 или S2) более чем на 50 %. Результаты Участника 2 показали одно исключение (проспект Хуана XXIII). Кроме того, есть выборка, в которой средний уровень освещённости дороги в пять раз пре-

вышает ранее существовавшие уровни (улица Кантаррайяна), измеренные на этой улице.

Полученные результаты, касающиеся минимальных уровней освещённости, несколько лучше у Участника 1 по сравнению с Участником 2 и оба соответствуют установленным уровням, за исключением одной улицы у Участника 2. Что касается общей равномерности, оба предложения показали худшие или равные результаты на всех улицах, кроме одной, где у обоих участников результаты улучшились (улица Франциско Эррера). Измерения уровней освещённости должны проводиться систематически в соответствии с UNE-13201-3 [26]. Однако в настоящем случае это не учитывалось.

Опрошенный обслуживающий персонал указал, что они были удовлетворены, поскольку они не обязаны выполнять периодическое техническое обслуживание. Но установка уличного освещения пострадала от механических поломок и отказов в светильниках, которые не должны были

произойти в течение первого года эксплуатации. Городской электрик был также удовлетворён реакцией Участника на эти проблемы, хотя муниципалитет должен был произвести платежи в течение первого года гарантии.

В социальном плане анализ мнений непосредственных соседей показал, что первоначально их жалобы были вызваны отсутствием единообразия в некоторых жилых районах вблизи исторического центра. Несмотря на повышение уровня освещённости, измерения также подтвердили существование новых теневых зон, таких как «яркие и тёмные пятна» [27]. Эта оценка контрастировала с тем фактом, что некоторые новые светильники были установлены для устранения плохо освещённых участков. Новые светораспределения светильников, установленных в тех же местах, что и предыдущая установка, в большинстве случаев создавали новые зоны теней, что подтверждается исследованиями *Valentová* и *Quicheron* [28].

Хотя результаты измерений показали увеличение уровней освещённости на всех изученных дорогах и улучшение минимальных уровней освещённости в большинстве из них, эти изменения не были единообразными, и опрошенные люди не выявили каких-либо существенных улучшений при повседневном использовании установки уличного освещения. Кроме того, цветовые температуры источников света не измерялись, хотя спектральные характеристики света могут повлиять на дизайн и внешний вид освещения [29], а разница в цвете может изменить мнение людей [30]. Технические требования заявки включали только один параметр, относящийся к спектральному распределению источника света, – коррелированную цветовую температуру. В результате участники не предоставили достаточно информации, поэтому этот показатель, вероятно, не был оценён удовлетворительно.

Используя список показателей, предварительно выбранных в предыдущем исследовании, была проведена оценка двух претендентов прямым способом. Одна заявка имеет преимущество перед другой по одному параметру без учёта улучшения, которое эта разница в стоимости внесла в светильник. В результате каждый параметр, определяемый показателем, имел одинаковый вес. Поскольку было

только два участника с одним светильником каждый, эта разница в стоимости была несущественной.

Результат оценки показателей совпал с решением муниципальных техников и подтвердил 53 % показателей. Список показателей даёт оценку техническим и экономическим аспектам, но он не даёт оценку мнения жителей об установке после её обновления. Мнения жителей, без сомнения, успешно выявили отсутствие единообразия, и это необходимо учитывать перед окончательной реализацией проекта. Очевидно, что небольшая типовая установка позволяет получить более полный анализ проекта реновации перед его полной реализацией.

8. Выводы и политические последствия

Целью данного тематического исследования была оценка мероприятий, проведённых в 2015 году для замены установки уличного освещения в муниципалитете Касарабонела. В то же время авторы пересмотрели выводы более раннего исследования для использования показателей, выбранных в этом исследовании. Цель состояла в том, чтобы проверить, выбрали бы муниципальные техники тот же самый предлагаемый светильник, если бы они использовали эти новые показатели.

Результаты показали, что лучшим претендентом по техническим характеристикам, низкой цене светильника и более низкой мощности светодиодного модуля является тот, кто получил лучший результат при оценке показателей. Этот выбор совпал с вариантом технических специалистов. С другой стороны, участник торгов, который получил лучшие результаты при измерении уровней освещённости, не смог получить контракт, в основном из-за цены светильника и некоторых технических параметров, по которым его преодолел оппонент. Очевидно, что при оценке предложения все параметры играют роль, и не может быть одного участника, который является лучшим во всех сферах.

Проект уличного освещения соответствует техническим требованиям. Уровни освещённости увеличились, но общая равномерность освещённости ухудшилась. Годовая экономия в 48 % (22210 евро/год) и сокращение выбросов CO_2 в год на 50 % (в экви-

валенте 62 т CO_2) в конечном итоге были достигнуты при сроке окупаемости инвестиций в 5 лет.

Это тематическое исследование также использовалось для обоснования добавления и исключения некоторых показателей из предыдущего исследования. Присвоение параметров показателям позволило улучшить процедуру количественной оценки качественных показателей. В качестве важного параметра при оценке контракта, подписанного Государственной администрацией, был добавлен показатель «Стоимость светильника».

Хотя результаты показывают, что предлагаемые показатели являются корректными, показатель равномерности также будет включён в дальнейшем. Последующие случаи, в которых содержится большее количество участников и типов светильников, подтвердят или опровергнут полученные выводы и продемонстрируют удобство использования весовых коэффициентов параметров или показателей для оценки.

Благодарности

Авторы хотели бы поблагодарить жителей муниципалитета Касарабонела, мэра, техников и обслуживающий персонал. Мы благодарим правительство провинции Малага и Рауля Кремадеса из Университета Малаги. Это исследование не получало какого-либо конкретного гранта от финансирующих агентств в государственном, коммерческом или некоммерческом секторах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Papagiannis G., Dagoumas A., Lettas N., Dokopoulos P.* Economic and environmental impacts from the implementation of an intelligent demand side management system at the European level // *Energy Policy*.– 2008. – Т. 36. – С. 163–180.
2. *Lu H., Liu G.* Spatial effects of carbon dioxide emissions from residential energy consumption: A county-level study using enhanced nocturnal lighting // *Applied Energy*.– 2014. – Т.131. – С. 297–306.
3. *Fiaschi D., Bandinelli R., Conti S.* A case study for energy issues of public buildings and utilities in a small municipality: Investigation of possible improvements and integration with renewables // *Applied Energy*.– 2012. – Т. 97. – С. 101–114.
4. *Morillas R.M., de Andrés J.M.* Identificación de Indicadores para la toma de decisiones en las instalaciones de Alumbrado Exterior de un municipio. 6ª Forum of Urban

Intelligence and Sustainability Greencities, Málaga.– 2015.– 24 с.

5. Polzin F., von Floton P., Nolden C. Modes of governance for municipal energy efficiency services- The case of LED street lighting in Germany // Journal of Cleaner Production.– 2016.– Т. 139.– С. 133–145.

6. International Commission on Illumination. CIE126–1997 Guidelines for minimizing sky glow.– 1997.

7. Spanish Statistical National Institute, INE. Demography and Population.– 2017. http://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/categoria.htm?c=Estadistica_P&cid=1254734710990

8. Jollands N., Waide P., Ellis M., et al. The 25 IEA energy efficiency policy recommendations to the G8 Gleneagles Plan of Action // Energy Policy.– 2010.– Т. 38.– С. 6409–6418.

9. COMMISSION REGULATION (EC) No 245/2009 of 18 March 2009 implementing Directive 2005/32/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for fluorescent lamps without integrated ballast, for high intensity discharge lamps, and for ballasts and luminaires able to operate such lamps, and repealing Directive 2000/55/EC of the European Parliament and of the Council.

10. Radulovic D., Skok S., Kirincic V. Energy efficiency public lighting management in the cities // Energy.– 2011.– Т. 36.– С. 1908–1915.

11. Yin R.K. Case Study Research. Design and Methods. 4th ed. SAGE Publications Inc.– 2009.

12. Heath G.W., Parra D.C., Sarmiento O.L., et al. Evidence-based intervention in physical activity: lessons from around the world // The Lancet.– 2012.– Т. 380.– #9838.– С. 272–281.

13. Rutter P., Keirstead J. A brief history and the possible future of urban energy systems // Energy Policy.– 2012.– Т. 50.– С. 72–80.

14. Herring H. Does energy efficiency save energy? The debate and its consequences // Applied Energy.– 1999.– Т. 63.– С. 209–226.

15. Ministry of Science and Innovation. Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión.– 2002.

16. Ministry of Finance and Civil Service. Real Decreto legislativo 3/2011 de 14 de noviembre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Contratos de las Administraciones Públicas.– 2011.

17. Ministry of Energy, Tourism and the Digital Agenda, Instituto para la Diversificación y la Energía, Comité Español de Iluminación. Requerimientos técnicos exigibles para luminarias con tecnología Led.– 2011.

18. European Committee for Standardization. CEN/TR13201–1 «Road Lighting Part 1: Selection of lighting classes».– 2004.

19. European Committee for Standardization. UNE-EN13201–2 «Road lighting – Part 2: Performance requirements».– 2004.

20. Ministry of Energy, Tourism and the Digital Agenda. Real Decreto 1890/2008, de 14 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Eficiencia Energética en Instalaciones de Alumbrado Exterior.– 2008.

21. European Committee for Standardization. UNE-EN13201–5:2015. «Road Lighting – Part 5: Energy performance Indicators».– 2015.

22. Clark M.I., Berry T.R., Spence J.C., et al. Key stakeholder perspectives on the development of walkable neighborhoods // Health & Place.– 2010.– Т. 16.– #1. С. 43–50.

23. Jägerbrand A.K. New Framework of Sustainable Indicators for Outdoor LED (Light Emitting Diodes) Lighting and SSL (Solid State Lighting) // Sustainability.– 2015.– Т. 7.– С. 1028–1063.

24. Будак В.П., Ильина Е.И. Выбор показателей эффективности светильников утилитарного наружного освещения на этапе разработки // Светотехника.– 2012.– № 5.– С. 45–50; Будак В.П., Ильина Е.И. Choosing luminaire efficiency parameters during development for external illumination // Light & Engineering.– 2013.– Т. 21.– #2.– С. 13–20.

25. Patton M.Q. Two Decades of Developments in Quality Inquiry // Qualitative Social Work.– 2009.– Т. 1.– С. 261–283.

26. European Committee for Standardization. UNE-EN13201–3:2016. «Road Lighting – Part 3: Calculation of performance».– 2016.

27. Kostic M., Djokic L. Recommendations for energy efficient and visually acceptable street lighting // Energy.– 2009.– Т. 34.– #10.– С. 1565–1572.

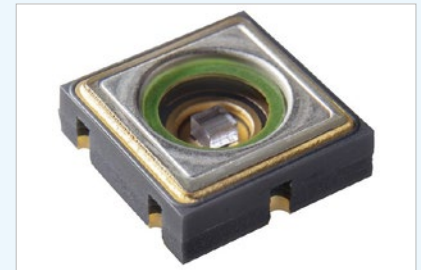
28. Valentová M., Quicheron M. LED projects and economic test cases in Europe // International Journal of Green Energy.– 2015.– Т. 12.– #8.– С. 843–851.

29. Habel J., Zak P. The future of public lighting // Przegląd Elektrotechniczny.– 2011.– Т. 87.– #4.– С. 50–52.

30. Knight C. Field surveys of the effect of lamp spectrum on the perception of safety and comfort at night // Lighting Research & Technology.– 2010.– Т. 42.– Т. 3.– С. 313–329.

Nichia запускает в производство УФ диод, излучающий на $\lambda = 280$ нм

Новый УФ диод NCSU334A компании Nichia, который излучает на $\lambda = 280$ нм, сможет удовлетворить потребности рынка товаров широкого потребления в облучательных установках (ОУ) с УФ диодами для очистки воды и обеззараживания воздуха. Благодаря своим малым размерам (6,8 × 6,8 мм) и хорошим характеристикам (типовой поток излучения составляет 55 мВт при токе 350 мА) NCSU334A позволяет уменьшать размеры и обеспечивать большую долговечность установок, что было невозможно при использовании технических решений с УФ диодами предыдущего поколения.



У обычных УФ диодов, которые излучают в области УФ-С (на $\lambda = 200–280$ нм), имеются проблемы, связанные с большей, чем у УФ диодов, излучающих в области УФ-А (на $\lambda = 365–405$ нм), сложностью выращивания кристаллов и меньшим, чем у них, сроком службы. Благодаря уникальной технологии выращивания кристаллов, которую Nichia много лет применяет при изготовлении УФ-А диодов, компания успешно разработала УФ-С диод NCSU334A, имеющий гораздо больший, чем обычные УФ источники света, срок службы. Кроме того, специально разработанный герметичный корпус этого диода делает его чрезвычайно надёжным изделием, на которое не влияют условия окружающей среды и которое, тем самым, может использоваться в самых неблагоприятных условиях.

Nichia надеется, что этот УФ диод будет способствовать полному вытеснению ртутных ламп, которые создают угрозу для окружающей среды. Nichia продолжит улучшение характеристик своих УФ-С диодов и преследует цель формирования нового, основанного на них рынка «дальнего УФ излучения».

led-professional.com/
26.04.2019



Роза М. Мариллас, Магистр Промышленной инженерии, Магистр Электротехники, Магистр Охраны труда в производстве. В течение последних семи лет она работала инженером-электриком в Министерстве общественных работ в Малаге, Испания.

Научные интересы: управление проектами и освещение



Хосе Р. де Андрес, Кандидат наук в области Промышленной инженерии. В настоящее время является доцентом кафедры Графического оформления, дизайна и проектирования в Университете Малаги.

Его научные интересы включают дизайн продукта, LCA, управление проектом и освещение

Проектирование СД установок дорожного освещения, работающих на солнечной энергии¹

Д. ПЭРДАХДЖИ¹, Х. ЁЗКАН²

¹ Университет Коджаэли, Коджаэли (Измит), Турция

² Компания *Litpa Lighting*, Стамбул, Турция

E-mail: perdahci@kocaeli.edu.tr, hamdiozkan@litpa.com

Аннотация

Турция богата возобновляемыми источниками энергии и поэтому поощряет использование экобезопасных систем дорожного освещения. В наше время на смену НЛВД, МГЛ и др. традиционным ИС пришли СД ИС, экономящие энергию и финансовые средства. Объединение солнечной энергоустановки с СД ИС для уличного освещения способствует повышению экономии энергии и качества освещения на местном уровне.

Конструктивно светильники с СД другие, чем – с традиционными ИС, и поэтому оптическая, теплотехническая и электрическая стороны их проектирования тоже другие. В связи с этим в настоящей работе пристальное внимание уделено вопросам проектирования и принципу работы светильников с СД для дорожного освещения. Кроме того, была спроектирована простая ОУ с СД и солнечной панелью и сравнены экономические показатели последней (автономное питание) и ОУ с СД, питаемой от электросети, после 20 лет их эксплуатации.

Ключевые слова: светильник с СД на солнечной энергии, дорожное освещение, энергосбережение.

1. Введение

Согласно оценкам, объём энергопотребления на освещение парков, садов и дорог высок и поэтому энергосбережение в этих местах жизненно важно. Обеспечение равенства освещения при меньшем энергопотреблении без ущерба для качества первого и использование более эффективных светильников плюс достижение хороших условий освещения и создают экономию энергии в освещении. Необходимость этого вызвала большой рост

использования возобновляемой энергии. Энергия, получаемая от Солнца, стала одним из главных видов энергии во многих применениях [1]. Из-за удобства выбора солнечных панелей для разных целей, их применения в неэлектрифицированных средах обитания и их интеграции в существующие конструкции применение солнечных панелей (являющееся способом получения возобновляемой энергии) в ОУ быстро расширилось [2]. Многими исследованиями подтверждено, что ОУ с СД экономически целесообразны, энергоэффективны и сдерживают выбросы CO_2 [3–9].

В наше время, благодаря достижениям в освещении, используемые во многих областях ОУ с СД пригодны для получения инновационных и устаревших светотехнических решений для парковых, садовых и дорожных зон. Применение светильников с СД с большим сроком службы, лучшей цветопередачей, более простой светорегулировкой и меньшими эксплуатационными расходами, чем у традиционных светильников, – это одна из энергоэффективных технологий последних лет. Благодаря её постоянному развитию световая отдача СД всё больше растёт, и применение СД ИС в дорожном освещении растёт день ото дня [3].

Диоды из полупроводниковых материалов излучают при прохождении

через них тока и генерируют ток под действием излучения. При приложении к нему напряжения диодный ИС начинает излучать в соответствующих спектральных участках ИК, видимого или УФ оптических диапазонов [10, 11].

Солнечную энергию преобразуют в электрическую фотоэлектрические (ФЭ) модули (солнечные панели). Фотоны от Солнца передают свою энергию $p-n$ -переходам в ФЭ ячейках этих полупроводниковых модулей, что вызывает движение электронов, порождающее электрический ток. Последний может непосредственно использоваться как прямой ток при подключении нагрузки между контактами ФЭ ячеек [2], или преобразовываться в переменный, или же сохраняться для последующего использования [10].

С учётом характеристик солнечной радиации в Стамбуле, особенно в зимнее время, очень низкие уровни вырабатываемой электроэнергии дают очень низкие уровни световой энергии. Поэтому в расчёте на питание от солнечной панели мы создали светильник с СД малой мощности.

2. Описание комплектующих светильника с СД на солнечной энергии

Мы спроектировали и произвели светильник с СД на солнечной энергии (СЭ) для пешеходных дорожек, парков и садов (рис. 1). Мы можем выпускать модели мощностью 33, 45 и 67 Вт (не больше, т.к. они рассчитаны на работу на СЭ). Разработанный светильник подходит и для дорог категорий $M3$ и $M4$. Мы подготовили также производственно-техническую базу производства светильников для улиц дорожной категории $M2$ и находимся на стадии проектирования этих светильников.

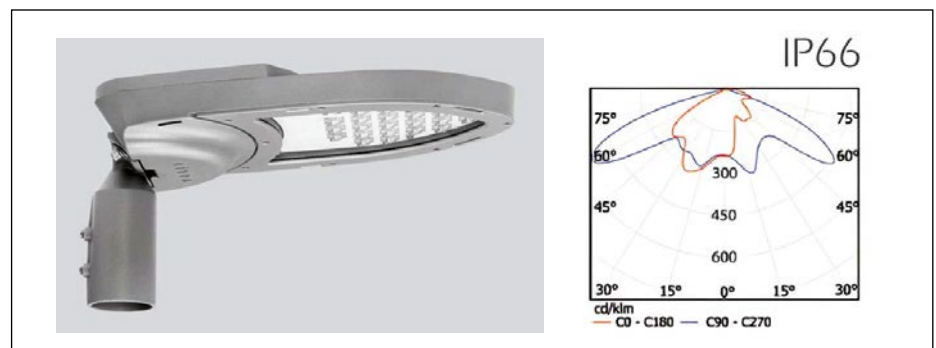


Рис. 1. Светильник с СД на солнечной энергии *LITPA LYS20/DC*

¹ Перевод с англ. С.Г. Ашуркова

Кроме того, мы планируем разработку такого типа светильников и для дорог категории *M1*. Мы задумали ОУ на СЭ с датчиком движения и разными уровнями снижения яркости, способный программировать себя саму в ночное время. Именно поэтому нам хочется быть уверенными в том, что аккумуляторные батареи (АКБ), которые мы используем, долговечней и компактней других. На следующем этапе работ мы планируем дополнить светильники «солнечной» и интеллектуальной программой автоматизации. Помимо этого, датчик движения будет снижать уровень пониженной яркости в отсутствие в нём необходимости.

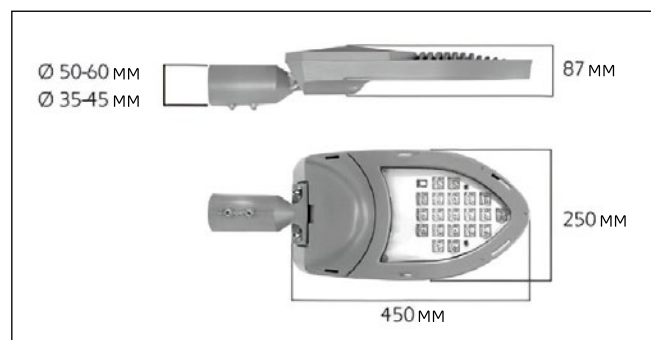
С учётом особенностей данной ОУ мы не использовали в ней стандартные рыночные управляющие устройства («драйверы»). В нашей «солнечной» электронной плате мы использовали модуль токовой стабилизации, диод, 2- и 3-штырьковые выводы, 6-штырьковый соединительный кабель и 6-штырьковый соединитель.

Для получения энергоэффективных решений по освещению пешеходных дорожек, парков, садов и дорог необходимо в уличных светильниках с СД использовать СД ИС с высокой световой отдачей. Предпочтительно СД сборки 3535 компаний *Lumileds*, *Nichia* и *Samsung*. Световая отдача светильника – 130 лм/Вт и выше. Благодаря отсутствию преобразования прямой т./переменный т. и потерь в управляющих устройствах мы хотим получить световую отдачу светильника в 160 лм/Вт. При этом световой поток светильника (размеры в плане: 450 × 250 мм) регулируется (в зависимости от уровня естественного освещения), составляя в максимуме 8000 лм (рис. 2).

Для эффективного рассеяния тепла и охлаждения в светильнике использована алюминиевая печатная плата. Желательно, чтобы коэффициент теплопроводности её был не меньше 1,1 Вт/(м·К). На печатной плате установлен 21 СДК (рис. 3). Кабели присоединяются к печатной плате с помощью имеющиеся у них соединителей.

Для оптимального освещения дорог и улиц мы использовали асимметричные линзы «для уличного освещения», минимизирующие уровни затенения и блёскости. В случае фиксированных угловых осветительных опор и консолей угловое положение светового пучка

Рис. 2. Размеры светильника по рис. 1



ка нерегулируемое. Однако мы обеспечили регулируемость направления пучка с помощью некоторого соединительного элемента.

При выборе конструкции корпуса светильника учитывалось то, что гарантия высоких срока службы и световой отдачи СД обеспечиваются охлаждающими каналами на корпусе. Последний изготавливается из алюминия литьём под давлением и является коррозионноустойчивым. Кроме того, корпус окрашен полиэфирной электростатической порошковой краской, что делает его весьма долговечным и нержавеющим. Между задней крышкой и корпусом светильника вставлена уплотнительная прокладка. Подобные же прокладки установлены между защитным стеклом и корпусом. Необходимо, чтобы соединительные винты были из нержавеющей стали, а стекло было закалённым.

Выпускаемые нами светильники имеют степень защиты оболочки *IP66*, подходящую для наружных применений.

Вместо управляющего устройства в нашем светильнике с СД на СЭ мы спроектировали плату пост.т./пост.т., которая может работать и с 12-, и с 24-вольтовыми ОУ.

Химические материалы в данном светильнике – кремниевые линзы (на СД), клеи для скрепления этой линз с печатной платой, термолента

или термопаста (для лучшей теплопроводности между печатной платой и корпусом) и прокладочные материалы для защиты оболочки светильника, содержащие летучие органические соединения. При использовании химически изменчивых органических соединений на или около СД, которые не совместимы с СД, светильник повреждается и срок службы используемых СД и, соответственно, светильника с ними падает.

3. Проектирование светильника с СД на солнечной энергии для дорожного освещения

В этом параграфе описываются шаги по разработке дорожного светильника с СД на СЭ – проектирование светильника, изготовление прототипов, проектирование электронной части, проектирование механической части и тестирование рабочих характеристик светильника.

• Проектирование светильника

Вначале нашим проектно-техническим отделом был выполнен исследовательский этап проекта, который касался техники применения СД в освещении и выпускаемой СД продукции. Эти глубокие и систематические исследования создали информационную базу по проектированию и применению этой продукции (по живым и литературным источникам) и позволили

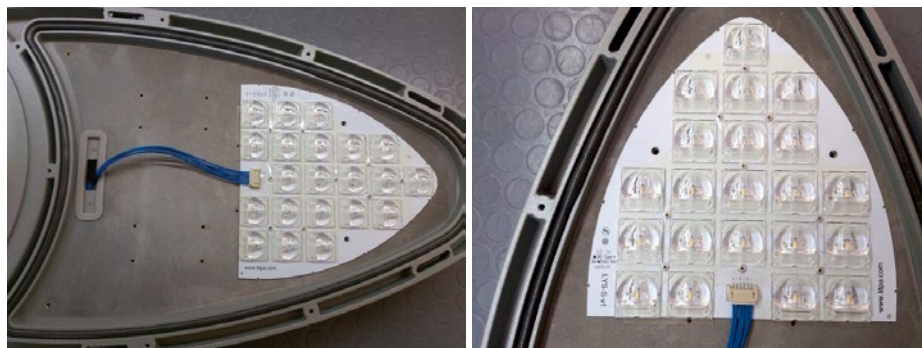


Рис. 3. СД модуль (на печатной плате) светильника по рис. 1

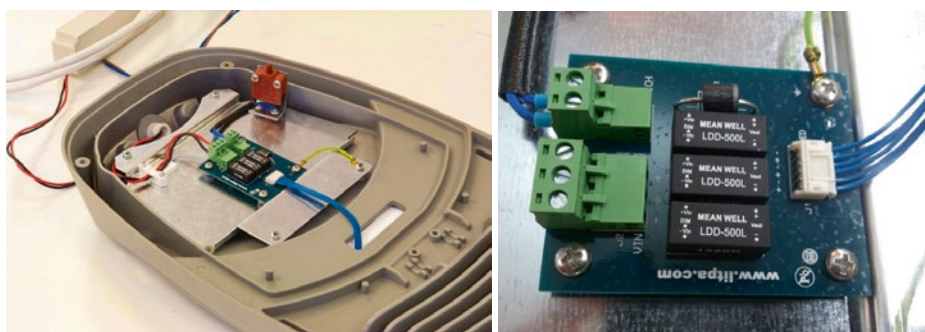


Рис. 4. Электронная плата светильника по рис. 1

сформулировать общие технические требования к светильникам.

Проектно-исследовательские работы по проектированию светильников включают проектирование уличного светильника с СД, изготовление и тестирование его лабораторных образцов, а также определение полного энергопотребления светильников и эффективность освещения. Выборы типа СД, количества и схемы их расстановки в светильниках производятся в соответствии с требуемыми оптическими и теплотехническими параметрами. Детальное проектирование оптимального СД осуществляется в компьютерной программной среде с учётом технологических, эстетических, эргономических и механических аспектов. Выполняется оптическое и тепловое моделирование проектируемых светильников (наш проект был проверен в программной среде до начала детального проектирования и создания чертежей).

- *Изготовление прототипов*

На этом этапе в 3D-проектной программной среде получают технологические чертежи компонентов светильника. В данном проекте используется пакет программ для автоматизированного 3D-проектирования, и каждая деталь и литейные формы моделируются в программной среде. Детальный проект светильника направляется в опытное производст-

во, и после тестирования частей полученных образцов проектируются литейные формы для каждой детали (с учётом пределов возможностей литейных форм и соответствующих компаний-поставщиков).

- *Проектирование электронной части*

Печатная плата как ИС (СД модуль) светильника содержит 3 параллельно соединённых СД цепочки по 7 СД в каждой (всего 21 СД). Каждая параллельная цепочка имеет свой индивидуальный стабилизатор тока, конструкция которого зависит от выбранного значения тока СД. Мы выбрали стабилизаторы тока на: 350 мА для получения мощности 22 Вт; 500 мА – 33 Вт и 700 мА – 48 Вт. Мы также применили в схеме диод, защищающий от обратной полярности, чтобы устранить риск переполновки АКБ. Наши модули стабилизации тока питаются от АКБ на 24 В, что достаточно для питания всех СД светильника (рис. 4).

Наибольшее достоинство разработанной нами печатной платы состоит в том, что контроллер ОУ может поставлять энергию от АКБ непосредственно в светильник. Поэтому использование в светильнике классических управляющих устройств стало излишним. Преобразователь перем.т./пост.т. при этом не нужен, и ОУ работает намного эффективнее от преобразователя пост.т./пост.т.

Печатная плата выполнена из алюминия толщиной 1,6 мм с коэффициентом теплопроводности 1,1 Вт/(м·К). Кабельные соединения осуществляются через соединители на печатной плате с СД. СД и соединители на плате автоматически упорядочены по времени включения/выключения и контролируются по качеству работы.

- *Проектирование механической части*

Светильник как целое проектируется, смотря по приоритетности его оптической и тепловой сторон. Монтажные кронштейны светильников можно выполнять так, чтобы они подходили для установки светильников и на опорах, и на консолях с углом наклона до 15° с шагом ± 5°. По соображениям стабильности теплового режима оптимизируется масса конструкции. Светильник удобен в установке и креплении, и его эргономичность облегчит техническое обслуживание. При этом техобслуживание электрических соединений электронной платы можно производить, открывая заднюю крышку, не касаясь СД-части светильника.

- *Проверки рабочих характеристик ОУ с СД на СЭ*

Изготовленные прототипы светильника вначале проходили проверки вида продукции и рабочих характеристик на гониофотометрической установке в лаборатории компании *Litpa Lighting* (рис. 5), а затем – соответствия знаку «СЕ» в независимых испытательных лабораториях. Показатели качества светильников промышленного производства – вроде устойчивости к условиям окружающей среды и стоимости эксплуатации (энергопотребление, простота в техобслуживании, запчасти и т.д.) – для потребителя крайне важны, и их проверки по соответствующим стандартам проводились тщательным образом. Кроме того, будут проверены уровень энергопотребления и рабочие световые характеристики полнокомплектной ОУ с СД на СЭ с внесением возможных конструктивных улучшений.

4. Проектирование дорожной ОУ с СД на солнечной энергии

Традиционные ОУ с СД, питаемые от сети, устроены намного проще ОУ с СД на СЭ, у которых также выше, чем у первых, начальная стоимость и стоимость техобслуживания мно-

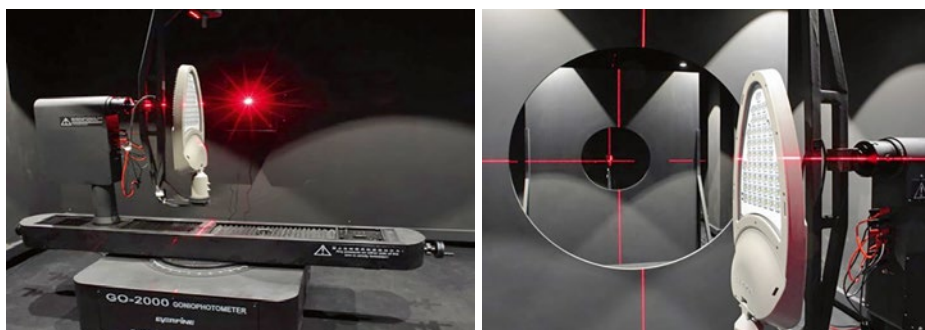


Рис. 5. Измерение характеристик светильника по рис. 1

Расчётные характеристики солнечной панели

Месяц	Дневная сумма солнечной радиации, кВт·ч/м ²	Тангенс угла наклона солнечной панели	КПД солнечной панели	Площадь солнечной панели, м ²	Суточная выработка электроэнергии, кВт·ч
1	2	1,15	0,167	1,64	0,629924
2	2,57				0,809452
3	4,2				1,32284
4	5,28				1,662999
5	6,3				1,984261
6	6,79				2,138592
7	6,79				2,138592
8	6,07				1,911819
9	5,09				1,603157
10	3,74				1,177958
11	2,37				0,74646
12	1,8				0,566932

гих их компонентов. Поэтому ОУ на СЭ имеют ограниченное применение в осветительной практике. Однако путём комплексного планирования процессов разработки найти ниши для успешного применения ОУ с СД на СЭ реально можно [12].

На рис. 6 приведена блок-схема проектной единичной ОУ, содержащей солнечную панель, светильник с СД для дорожного освещения, контроллер заряда (типа *MPPT*) и АКБ. Принцип (фотоэлектрический) её работы можно описать так: солнечная панель получает солнечное излучение (в течение дня); энергия этого излучения с использованием контроллера заряда и разряда преобразуется в электрическую; электрическая энергия хранится в АКБ, являющейся местом хранения электроэнергии в дневное время; когда АКБ полностью заряжена блок заряда это обнаруживает, прекращает зарядку АКБ и поддерживает готовность ОУ к использованию; в ночное время солнечная энергия, хранящаяся в АКБ, высвобождается для питания ОУ и зажигает уличный светильник. При этом последний функционирует стабильно, поскольку АКБ обычно соответствует требованиям к ней по напряжению и току.

Эксперимент проводился в Стамбуле и выявил множество параметров, определяющих эффективность работы ОУ на СЭ. Результаты эксперимента обобщены в табл. 1. В ней указаны

значения параметров для расчёта суточной выработки электроэнергии.

Определение суточной выработки электроэнергии – особо важная часть проектирования несетевых фотоэлектрических устройств. Мы определяли фотоэлектрическую энергию

по суточной потребности в ней у потребителя.

В 2-х первых столбцах табл. 1 находятся основанные на данных [13] (рис. 7) дневная сумма солнечной радиации (кВт·ч/м²) и тангенс угла наклона солнечной панели. Считается,

Рис. 6. Блок-схема единичной ОУ (со светильником по рис. 1)

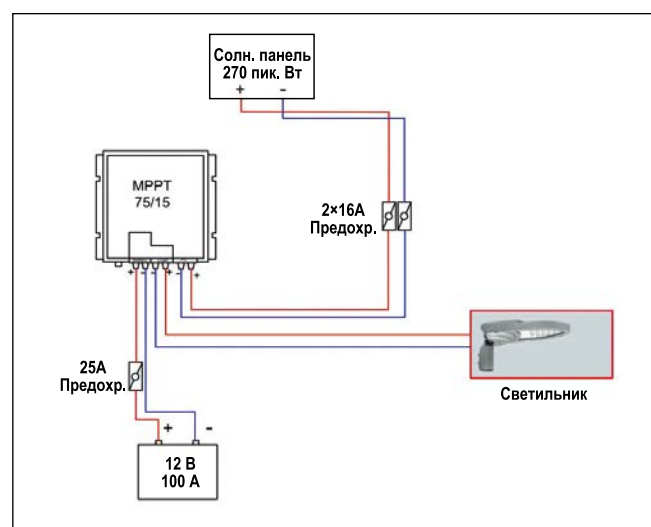


Рис. 7. Значения суммы дневной солнечной радиации в Стамбуле, кВт·ч/м²

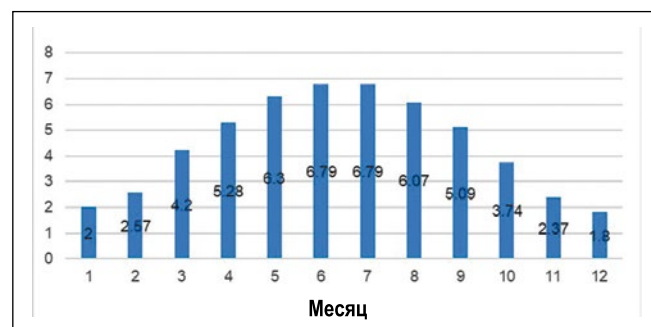


Таблица 2

Параметры солнечной панели (компания *TotmaTech*) при стандартных тестовых условиях [15]

Номинальная (максимальная) мощность P_{max}	TT275-60P
Напряжение холостого хода V_{oc} , В	37,30
Ток короткого замыкания I_{sc} , А	9,20
Напряжение номинальной мощности V_{mp} , В	31,3
Ток номинальной мощности I_{mp} , А	8,78
Количество солнечных ячеек (размеры ячеек, мм)	60 (156 × 156)
Размеры, мм	1640 × 990 × 35
Вес, кг	19
Максимальная мощность ОУ, Вт	1000 (пост.т.)
Максимальный номинальный ток предохранителя, А	15
Рабочая температура, °С	от -40 до +85 °С

что для Стамбула он равен 1,15. (Это расчётное значение соответствует декабрю на широте 40°11', на которой находится Стамбул.)

По каталожным данным для солнечной панели типа *TT275-60W*, приведённым в табл. 2, может быть рассчитан (по электрическим параметрам) её КПД при облучённости 1000 Вт/м². При такой облучённости и номинальной вырабатываемой удельной мощности 275 Вт/м² КПД солнечной панели с размерами 1640 × 990 × 35 мм получается равным 16 %.

Суточную выработку электроэнергии (кВт·ч) рассчитывают перемножением значений дневной суммы солнечной радиации, тангенса угла наклона, КПД и площади солнечной панели.

Солнечная панель, которая в декабре вырабатывает по 0,56 кВт ч электроэнергии в сутки соответствует нашей суточной потребности в 0,42 кВт ч. Поэтому панель типа *TT275-60W* пригодна для рассматриваемой ОУ.

Далее – несколько несложных расчётов и выкладок.

$$P_{pv} = \frac{E(L)}{\eta(s) \cdot PSH} S_f$$

$$P_{pv} = \frac{48 \text{ Вт} \cdot 9 \text{ ч}}{0,9 \cdot 2,1 \text{ ч}} \cdot 1,2,$$

$$P_{pv} = 274,28 \text{ Вт},$$

где S_f – коэффициент запаса мощности, P_{pv} – мощность панели, $E(L)$ – суточное энергопотребление, $\eta(s)$ – КПД ОУ, PSH – пиковые солнце-часы.

$$C_{wh} = \frac{E(L) \cdot a(t)}{DOD \cdot \eta(c) \cdot V_b},$$

$$C_{wh} = \frac{(48 \cdot 9) \cdot 1}{0,5 \cdot 0,95 \cdot 12},$$

$$C_{wh} = 75,79 \text{ А} \cdot \text{ч},$$

где $a(t)$ – количество дней автономной работы АКБ, DOD – глубина разряда АКБ, $\eta(c)$ – КПД АКБ, V_b – напряжение АКБ, C_{wh} – ёмкость АКБ.

Параметры контроллера заряда (ММРТ):

$$V_{in} = V_{oc} \text{ панели} = 37,3 \text{ В},$$

$$I_{in} = I_{sc} \text{ панели} = 9,20 \text{ А},$$

V_{out} = напряжению заряда АКБ = (12–14,4) В,

$$I_{out} = \frac{P_p \cdot \eta_{\text{зарядного устройства}}}{\text{Зарядное напряжение}},$$

$$I_{out} = 18,14 \text{ А} [16].$$

Таким образом расчётным путём были выбраны следующие значения параметров ОУ (рис. 6), при коэффициенте запаса 1,2: длительность энергопотребления в сутки – 9 ч; мощность СД ИС – 48 Вт; КПД ОУ – 0,9 и пиковые солнце-часы – 2,1 ч. Соответственно, была получена удельная мощность солнечной панели – 274,38 Вт/м². При расчёте ёмкости АКБ принималось время автономной работы в 1 сутки. КПД АКБ – 0,95, напряжение АКБ – 12 В и глубина разряда АКБ – 0,5. В результате имеем следующее: ёмкость АКБ – 75,79 А·ч, $V_{oc} = 37,3$ В и $I_{sc} = 9,20$ А, а выбранное значение I_{out} определялось параметрами применяемого контроллера заряда *MPPT 75/15* и составляло 18,14 А.

Некоторые дополнительные заявленные характеристики солнечной панели приведены на рис. 9 и 10.

5. Расчёты по яркости проезжей части

Вследствие того, что зрительные работоспособность и комфорт пользователей дорожного освещения зависят от таких измеряемых параметров, как яркость и освещённость дорожного полотна, требования к установкам

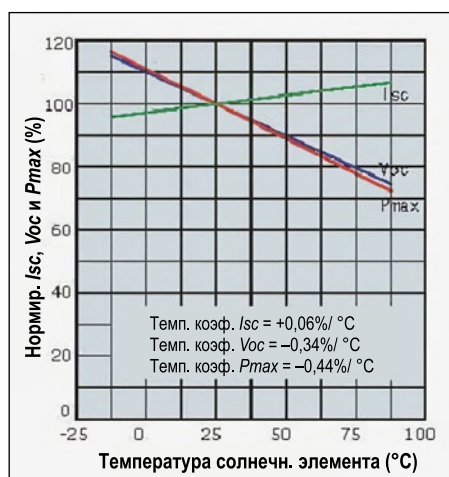


Рис. 8. Температурная зависимость тока короткого замыкания I_{sc} , напряжения холостого хода V_{oc} и номинальной (максимальной) мощности P_{max} [15]

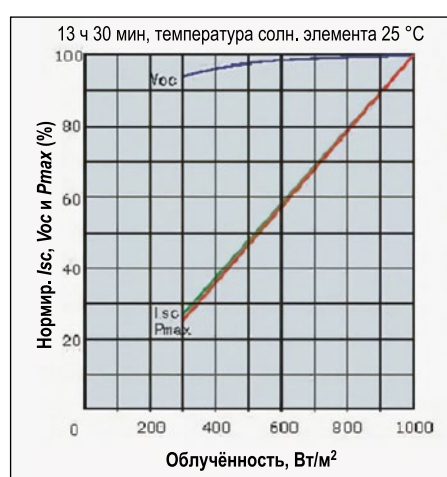


Рис. 9. Зависимость от облучённости тока короткого замыкания I_{sc} , напряжения холостого хода V_{oc} и номинальной (максимальной) мощности P_{max} [15]

Капитальные затраты на единичную дорожную ОУ с СД на солнечной энергии типа *LYS20-DC*

№	Компонент	Модель	Количество	Единица измерения	Стоимость, \$	Итоговая стоимость, \$
1	Солнечная панель	270	1	шт.	87,00	87,00
2	Светильник для дорожного освещения	48W			113,50	113,50
3	АКБ «Gel 12V»	100Ah			140,00	140,00
4	Солнечный контроллер заряда	MPPT 75/15			90,00	90,00
5	Таймер				30,00	30,00
6	Осветительная опора	4m			200,00	200,00
7	Медный кабель 4 × 2,5 мм ²		50	м	1,00	50,00
8	Стоимость монтажа		1	шт.	400,00	400,00
9	Панель с плавкими предохранителями				100,00	100,00
						1210,50

Таблица 4

Капитальные затраты на единичную дорожную ОУ с СД с сетевым питанием типа *LYS20-AC*

№	Компонент	Модель	Количество	Единица измерения	Стоимость, \$	Итоговая стоимость, \$
1	Светильник для дорожного освещения	52W	1	шт.	108,00	108,00
2	Осветительная опора	4m	1		165,00	165,00
3	Медный кабель 4 × 6 мм ²		50	м	1,00	50,00
4	Стоимость монтажа		1		400,00	400,00
5	Панель с плавкими предохранителями		1	шт.	100,00	100,00
						823,00

дорожного освещения должны учитывать этот аспект [14].

В настоящей работе изучались показатели качества дорожного освещения светильниками с СД (48 Вт) на СЭ на 300-метровом участке проез-

жей части дороги с двумя полосами движения. При этом светильники на опорах устанавливались по обе стороны дороги с шагом в 8 м. Для сравнения расчётных значений освещённости с требуемыми по евростандарту

EN13201 применялось моделирование в «*Dialux*» (рис. 10).

На рис. 11 приведён пример расчётных распределений яркости и освещённости дорог, соответствующих требованиям стандарта *EN13201* для дорог класса «*ME4a*».

Рис. 10. Расчётные значения освещённости

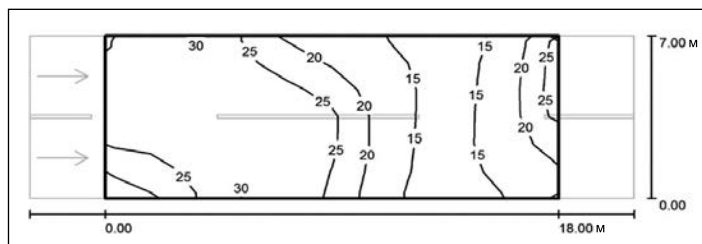


Рис. 11. Пример представления расчётных данных

Maintenance factor: 0.90		Scale 1:172				
Gnd: 10 x 6 Points						
Accompanying Street Elements: Roadway 1.						
tarmac: R4, q0: 0.080						
Selected Lighting Class: ME4a (All lighting performance requirements are met.)						
Calculated values:	L _{av} [cd/m ²]	U0	U1	TI [%]	SR	
Required values according to class:	≥ 0.75	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15	≥ 0.50	
Fulfilled/Not fulfilled:	✓	✓	✓	✓	✓	

7. Экономический анализ освещения светодиодами при питании от сети и от солнечной батареи

В настоящей работе исследовался вопрос экономической целесообразности уличного (дорожного) освещения светильниками с СД (48 Вт) на СЭ на 300-метровом отрезке шоссе с 2-мя полосами движения. Проводилось экономическое сравнение двух видов уличного освещения светильниками с СД – с электросетевым и с фотоэлектрическим питанием. Ка-

Капитальные затраты и расходы на обслуживание единичной дорожной ОУ с СД с сетевым питанием типа LYS20-AC за 20 лет эксплуатации

№	Компонент	Модель	Количество	Единица измерения	Стоимость, \$	Итоговая стоимость, \$
1	Светильник для дорожного освещения	52W	2	шт.	108,00	216,00
2	Осветительная опора	4m	1		300,00	300,00
3	Медный кабель 4 × 6 мм ²		50	м	3,90	195,00
4	Стоимость монтажа		1		400,00	400,00
5	Панель с плавкими предохранителями		1	шт.	100,00	100,00
						1211,00

Таблица 7

Стоимостной анализ ОУ LYS20-AC и LYS20-DC после 20 лет их эксплуатации при включении по 12 ч в сутки

Дорожная ОУ типа LYS20-AC						
Стоимость ОУ, \$	Общая потребляемая мощность, Вт	Продолжительность включения освещения 12 ч × 30 дн. × 12 мес. × 20 лет	Стоимость электроэнергии, \$/кВт·ч	Общее энергопотребление, кВт·ч	Общие затраты на энергию, \$	Итоговая стоимость ОУ после 20 лет эксплуатации, \$
1211,00	52	86400	0,30	4492,8	1.347,84	2558,84

Дорожная ОУ типа LYS20-DC						
Стоимость ОУ, \$	Общая потребляемая мощность, Вт	Продолжительность включения освещения 12 ч × 30 дн. × 12 мес. × 20 лет	Стоимость электроэнергии, \$	Общее энергопотребление, кВт·ч	Общие затраты на энергию, \$	Итоговая стоимость ОУ после 20 лет эксплуатации, \$
1564,00	48	86400	-	4147,2	-	1564,00

ждая единичная ОУ «суммарной» ОУ с СД для уличного освещения, работающей на СЭ, содержит фотоэлектрический модуль (солнечную панель) мощностью 270 пиковых Вт (т.е. максимум 270 Вт при ярком солнце), АКБ 12 В/100 А·ч и светильник с СД мощностью 48 Вт.

Из табл. 3 и 4 видно, что капитальные затраты на единичные ОУ с СД с питанием от сети и от солнечной панели, соответственно, равны \$823,00 и \$1210,00.

В табл. 5 и 6 приведены оценки капитальных затрат и расходов на техобслуживание сравниваемых видов единичных ОУ за 20-летний период эксплуатации, а в табл. 7 – оценки сумм капитальных и эксплуатационных затрат и расходов на техническое обслуживание обоих видов сравниваемых единичных ОУ за 20 лет их эксплуатации. В нашем же использовалось 38 единичных ОУ (и, соответственно, 38 осветительных опор) с расстояни-

ем 8 м между ними на 300-метровом участке дороги категории «МЕ4а». Соответственно, стоимость единичной ОУ на СЭ равна \$1564, а стоимость всей («суммарной») ОУ на СЭ, с 38 единичными ОУ, – \$59432.

Стоимость единичной ОУ с СД, питаемой от электросети, равна \$2558,84, а стоимость всей ОУ с этим видом питания, с 38 единичными ОУ, – \$97235,92.

Таким образом при одинаковом в обоих случаях уровне освещения за 20 лет может быть сэкономлено \$37803,92.

8. Заключение

В настоящей статье подробно описаны и проанализированы принципы работы и вопросы проектирования предложенного варианта светильника дорожного освещения с СД на СЭ. Для проверки осуществимости предложенного нами подхода были про-

нализированы результаты расчётов по яркости дорожного полотна.

Благодаря тому, что дорожные (уличные) ОУ с СД на СЭ имеют много преимуществ перед «традиционными» они стали доступны для освещения множества всевозможных дорог и улиц. При этом светильники с СД могут легко интегрироваться в ОУ на СЭ.

Уровень СД-продукции за последнюю пару лет значительно вырос, что создаёт хорошие альтернативы «обычным» ОУ. Простота управляющих устройств (в части пускорегулирования и диммирования), повышенные срок службы и световая отдача – одни из главных преимуществ использования СД.

Кроме того, светильники с СД позволяют эффективнее управлять световым потоком, что может сберечь большой объём электроэнергии и сокращать бюджетные расходы на освещение.

Капитальные затраты и расходы на обслуживание единичной дорожной ОУ с СД на солнечной энергии типа *LYS20-DC* за 20 лет эксплуатации

№	Компонент	Модель	Количество	Единица измерения	Стоимость, \$	Итоговая стоимость, \$
1	Солнечная панель	270	1	шт.	87,00	87,00
2	Светильник для дорожного освещения (5 лет гарантии, срок службы 50000 ч)	48W	2		113,50	227,00
3	АКБ «Gel 12V»	100Ah	2		140,00	280,00
4	Солнечный контроллер заряда (5 лет гарантии)	MPPT 75/15	2		90,00	180,00
5	Таймер		2		20,00	40,00
6	Осветительная опора	4m	1		200,00	200,00
7	Медный кабель 4 × 6 мм ²		50	м	1,00	50,00
8	Стоимость монтажа		1		400,00	400,00
9	Панель с плавкими предохранителями		1	шт.	100,00	100,00
						1564,00

Благодарности

Авторы хотели бы поблагодарить Совет научно-технических исследований Турции (*TUBITAK*) за финансирование исследовательского проекта No. 7121017 «LED Road Lighting and Automation System Design, Production and Application», которое поддерживает нашу работу. Авторы хотели бы также поблагодарить Университет Коджаэли и компанию *LITPA Lighting Co.* За их ценный вклад в данное исследование.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Sathya P. et al.* Design and Implementation of 12V/24V Closed loop Boost Converter for Solar Powered LED Lighting System // Int. J. Journal of Engineering and Technology (IJET). – 2013. – Vol. 5, No. 1.
- Çolak I., Sefa I., Bayindir R., Demirtas M.* Güneş Enerjisi Kaynaklı LED Armatür Tasarımı // J. of Polytechnic. – 2007. – Vol. 10, No. 4. – P. 347–352.
- Masoud M.I.* Street Lighting using Solar Powered LED Light Technology: Sultan Qaboos University Case Study / Proc. of the 8th IEEE GCC Conference and Exhibition, Muscat, Oman, 1–4 February, 2015.
- Al-Kurdia L., Al-Masria R., Al-Salaymeh A.* Economical Investigation of the Feasibility of Utilizing the PV Solar Lighting for Jordanian Streets // Int. J. of Thermal & Environmental Engineering. – 2015. – Vol. 10, No. 1. – P. 79–85.
- Ali M., Orabi M., Abdelkarim E., Abu Qahouq J.A., El Aroudi A.* Design and development of energy-free solar street LED light system / 2011 IEEE PES Conf. on Innovative Smart Grid Technologies – Middle East, Jeddah. – P. 1–7, 2011.
- Wu M.S., Huang H.H., Huang B.J., Tang C.W., Cheng C.W.* Economic feasibility of solar-powered led roadway lighting // Renewable Energy. – 2009. – Vol. 34, No. 6. – P. 1934–1938.
- Mardikaningsih I.S., Sutopo W., Hisjam M., Zakaria R.* Techno-economic Feasibility Analysis of a Public Street Light with Solar Cell Power / Proc. of the Int. Multi Conf. of Engineers and Computer Scientists 2016, Hong Kong, 2016, Vol. 2. – P. 1–5.
- Nallapaneni M.K., Anup K.S., K. Vinay K.R.* Fossil Fuel to Solar Power: A Sustainable Technical Design for Street Lighting in Fugar City, Nigeria / 6th Int. Conf. on Advances in Computing & Communications, ICACC2016, Cochin, India, P. 956–966, 2016.
- Rajab Z., Khalil A., Amhamed M., Asheibi A.* Economic Feasibility Of Solar Powered Street Lighting System In Libya / 8th IEEE International Renewable Energy Congress (IREC2017), 2017.
- Eliyi D.T., Çaylan T.* Güneş Enerjisi ve LED İle Etkin Enerji Kullanımı: Yol Aydınlatmalarına Yönelik Bir Uygulama // J. of Industrial Engineering. – 2008. – Vol. 19, No. 2. – P. 2–15.
- Pode R.* Solution to Enhance The Acceptability of Solar-Powered LED Lighting Technology // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2010. – Vol. 14. – P. 1096–1103.
- Mohammed H.A.* Design and Implementation of a Photovoltaic System Used for Street LIGHTS // IEEE2nd Int. Conf. on Control Science and Systems Engineering, 2016. – P. 169–175.
- URL: <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/pages/34.aspx>.
- Van Bommel W.* Road Lighting: Fundamentals, Technology and Application. – Switzerland: Springer, 2015. – 334 p.
- URL: <https://www.tommatech.de/>.
- Kazem H.A., Khatib T.T.N., Sopian K.B.* Sizing of a standalone photovoltaic/battery system at minimum cost for remote housing electrification in Sohar, Oman // Energy and Buildings. – 2013. – Vol. 61, June. – P. 108–115.



Джанан Пэрдахджи (Janan Perdahci), В.Е.
(1991), М. Sc. (1993) по электротехнике (Технический университет Йылдыз, Стамбул) и Ph.D. (1997) по электротехнике (Университет Коджаэли, Коджаэли). Доцент электротехнического факультета Университета Коджаэли. Область научных интересов: освещение светодиодами, качество электроэнергии, тоннельное и дорожное освещение



Хамди Ёзкан (Hamdi Özkan), В. Sc. (2003) по машиностроению (Университет Тракия, Эдирне). Ответственный специалист отдела исследований и развития компании Litpa

Lighting. Область научных интересов: проектирование механической и оптической частей светильников, спектры излучения светильников



Международная
светотехническая
корпорация



БОУС ЛАЙТИНГ ГРУПП



Российское производство с качеством мирового уровня!

Свыше **1 200 000** светильников в год

Более **1 500 000** ПРА в год

Производство полного цикла

ООО Лихославльский завод «Светотехника»



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



galad.ru



(48261) 3-59-04

Связь между коэффициентом эксплуатации и уровнем освещённости в тоннеле¹

М.С. СЕНГИЗ

Университет Битлис Ерен, Битлис, Турция
E-mail: msaitcengiz@gmail.com

Аннотация

В статье рассмотрено ухудшение характеристик осветительного оборудования в среде с высоким уровнем загрязнённости. Проанализировано влияние абразивного действия окружающей среды и процесса эксплуатации на световые потоки светильников и уровень освещённости в тоннеле и проведено сравнение результатов измерений, выполненных в реальных условиях, и результатов моделирования. Расчёты, которые при использовании традиционных методов были бы сложными и трудно реализуемыми, были проведены при помощи моделирующей компьютерной программы. Результаты измерений, проведённых в 60-ти точках при помощи люксметра, помещаемого на поверхность дороги внутри тоннеля в центрах участков площадью 2,266 м², сравниваются с результатами моделирования. Благодаря использовавшейся моделирующей программе отпадёт потребность в проведении измерений освещённости, которые отнимают много времени и требуют остановки движения транспорта. Затруднительное и требующее больших временных затрат техническое обслуживание осветительных установок тоннелей будет производиться за меньшее время, с большей эффективностью и без непроизводительного расходования ресурсов. Установлено, что возможна более точная оценка эргономических, экономических и эксплуатационных параметров.

Ключевые слова: освещение тоннелей, коэффициент эксплуатации, уровни освещённости.

1. Введение

Главной задачей освещения тоннелей является обеспечение безопасного

движения транспорта и днём, и ночью. Для оценки освещения тоннеля используются такие характеристики, как освещённость на поверхности дороги и стенах тоннеля², общая и продольная равномерность освещённости, ограничение блёскости, обеспечение контраста, требуемого для восприятия объектов, и частота мельканий [1–3]. Важное значение имеет эффективное использование энергии без ущерба для комфорта и трудозатрат. Интенсивное и бездумное расходование энергоресурсов вынудило людей искать новые способы экономии энергии [2–7]. Поэтому решающее значение имеет использование для освещения тоннелей высокопродуктивных и эффективных светильников, которые работают непрерывно. При проектировании освещения тоннелей учитывается расстояние безопасного торможения (РБТ). Наличие РБТ говорит о необходимости осветить тоннели, а его величина лежит в основе проектирования освещения. Для обеспечения безопасности дорожного движения необходимо, чтобы водители могли безопасно и не беспокоясь въезжать в тоннель, продолжать своё движение по тоннелю и выезжать из него. Следует точно рассчитывать уровни освещения, позволяющие водителям замечать объекты внутри тоннеля [4–9].

Определение средних сроков службы осветительных установок тоннелей и расчёт спада светового потока осветительного оборудования – непростая задача. Непросто и определить рабочие характеристики установки и периодичность её технического обслуживания. В данной работе для определения периодичности технического обслуживания осветительной установки тоннеля были проведены измерения освещённости. При этом измерения были проведены во многих точках

внутри тоннеля, с тем чтобы определить спад создаваемого осветительным оборудованием светового потока. Однако проведение подобных измерений для всех осветительных установок тоннелей потребовало бы больших трудовых и временных затрат. И даже если предметом исследований является только один тоннель, для определения периодичности технического обслуживания, оценки жизненного цикла и измерения ухудшения характеристик осветительного оборудования потребовалось бы очень много времени, что является непоправимой роскошью.

2. Ухудшение эксплуатационных характеристик осветительных установок

Попросту говоря, освещение предназначено для создания требующейся для работы освещённости. Важнейшая задача при проектировании осветительных установок состоит в том, чтобы получить достаточное количество света без создания избыточного освещения и увеличения затрат на электроэнергию [10]. Поэтому большое значение имеет знание всех факторов, непосредственно влияющих на уровень освещения в рассматриваемых условиях. Световые потоки, создаваемые осветительным оборудованием тоннеля, со временем изменяются. Ухудшение эксплуатационных характеристик светильников в процессе их эксплуатации непосредственно влияет на работу осветительных установок. Наиболее важной причиной ухудшения эксплуатационных характеристик светильников является ухудшение прозрачности рассеивателей из-за загрязнения светильников под воздействием окружающей среды. Другая причина ухудшения эксплуатационных характеристик светильников состоит в том, что в процессе работы источник света становится менее эффективным или преждевременно выходит из строя. Так как спад эксплуатационных характеристик светильников зависит от времени, то характеристики осветительной установки указываются для заданного периода. Этот период может включать в себя проведение технического обслуживания, которое восстанавливает эксплуатационные характеристики светильников и может предусматривать, например, очистку рассеивателя светильника, за-

¹ Перевод с англ. Е.И. Розовского

² Строго говоря, применительно к освещению тоннелей нормируют не освещённость, а яркость (см., например, ГОСТ Р 56334–2015. Тоннели автодорожные. Нормы и методы расчёта, а также СЕ-88–2004 [14]). – Прим. пер.

мену ламп в светильнике или же замену всех светильников после окончания их срока службы. Если спад светового потока осветительной установки был принят во внимание на стадии проектирования, то она будет обеспечивать минимальное требуемое освещение даже в конце периода между техническими обслуживаниями, когда её характеристики снижаются до минимума [11–13]. Недостаточное освещение, обусловленное уменьшением световых потоков ламп и отсутствием технического обслуживания, отрицательно сказывается на условиях зрительной работы. Использование на стадии проектирования моделирующих освещение программ очень поможет при создании осветительных установок. Однако оценка светотехническими методами степени удовлетворительности существующей осветительной установки является сложной задачей. При этом для оценки достаточности уровня освещённости в тоннеле требуется сначала измерить этот уровень. Периодическое техническое обслуживание осветительного оборудования позволяет предотвратить ухудшение его характеристик.

3. Коэффициент эксплуатации в случае освещения тоннелей

Осветительное оборудование должно обеспечить минимальный допустимый уровень освещения на всём протяжении своей работы. Загрязнение светильников приводит к спаду светового потока и повреждает поверхности их оптических компонентов, что делает необходимым проведение технического обслуживания светильников. Этот периодический спад светового потока, обусловленный совместным влиянием нескольких факторов, описывается коэффициентом эксплуатации (MF), который зависит от типа осветительной установки, условий окружающей среды и особенностей светильников. Расчёт MF следует выполнять с высокой точностью, с тем, чтобы осветительная установка тоннеля выполняла поставленные перед ней задачи, а её характеристики удовлетворяли предъявляемым требованиям даже в конце как периода между техническими обслуживани-

ями, так и срока службы установки. MF существенным образом влияет на полную стоимость осветительной установки, т.к. от него непосредственно зависит количество потребляемой энергии. В случае светильников MF представляет собой отношение полного светового потока, излучаемого светильником в конце периода между техническими обслуживаниями, к начальному значению полного светового потока этого светильника. В соответствии со стандартами, в которых MF используется применительно к освещению, осветительная установка характеризуется применяемым в ней осветительным оборудованием, условиями окружающей среды и коэффициентом эксплуатации, соответствующим заданной периодичности технического обслуживания [14]. Согласно [14], уровни освещения не должны быть ниже минимально допустимых значений, указанных в руководящих документах [14–16]. В MF входят коэффициент сохранения светового потока лампы ($LLMF$), представляющий собой отношение светового потока лампы в конце заданного промежутка времени к начальному световому потоку этой лампы. Значения $LLMF$ приводятся в каталогах производителей. Ещё одним показателем является коэффициент выживаемости лампы (LSF), представляющий собой часть от общего количества ламп, продолжающих работать через заданный промежуток времени. Значения LSF приводятся в каталогах производителей.

Коэффициент эксплуатации светильника (LMF) представляет собой отношение светового потока светильника, уменьшившегося в конце заданного промежутка времени из-за изменений конструктивных элементов светильника и воздействия окружающей среды, к начальному световому потоку этого светильника³. LMF зависит от степени защиты светильника от воздействия окружающей среды (IP) и от загрязнённости окружающей среды. Он определяется проектировщиком в соответствии с уровнем загрязнённости окружающей среды в период между техническими обслуживаниями или на основе соответствующих технических условий. MF рассчитывают по формуле:

$$MF = LLMF \cdot LSF \cdot LMF. \quad (1)$$

В стандартах на освещение MF определяют посредством умножения MF , соответствующего изменению светового потока, на MF светильника. Связь между MF и уровнем освещённости описывается уравнением (2) [1, 17]:

$$E = \frac{I \cdot \cos^3 \varepsilon \cdot \Phi \cdot MF}{h^2}, \quad (2)$$

где I – приведённая сила света светильника в направлении рассматриваемой точки, кд/кЛм, ε – угол падения света, град., Φ – световой поток светильника, кЛм, h – высота светового центра светильника над дорогой, м.

4. Применение на примере освещения тоннеля

Для определения уровней освещённости в тех или иных точках осветительной установки используются разные расчётные приёмы или физические измерения. Для этого могут применяться как модели, уравнения и компьютерные программы, так и люксметры, позволяющие производить реальные измерения. Данное исследование проводилось применительно к светильникам с натриевыми лампами высокого давления (НЛВД) мощностью 100 Вт, установленным в тоннеле попарно на высоте 6 м. Коэффициент эксплуатации светильников с НЛВД определяется посредством умножения трёх описанных выше параметров (см. уравнение (1)). Величина коэффициента эксплуатации в случае светильников с НЛВД мощностью 100 Вт, имеющих степень защиты $IP65$, определялась посредством моделирования. Пример тоннеля с двухрядным расположением светильников [14, 16, 18] приведён на рис. 1.

4.1. Измерения

Уровни освещённости измерялись в действующем тоннеле. Чтобы исключить влияние солнечного света, измерения проводились в ночное время во внутренней зоне тоннеля. Для освещения тоннеля использовались натриевые лампы высокого давления мощностью 100 Вт. Дорога внутри тоннеля была разделена на участ-

³ МКО приводит следующее определение: Коэффициент эксплуатации светильника – это отношение КПД светильника в заданный момент времени его к начальному значению (CIE S017/E:2011 «International Lighting Vocabulary», термин 710). – Прим. пер.

ки размером $1,70 \times 1,333$ м ($2,266$ м²), и измерения производились в каждом из этих участков. На рис. 2а показано расположение точек измерения в рассматриваемом тоннеле с двумя полосами движения, а на рис. 2б изображён участок дороги, на котором проводились измерения.

4.2. Моделирование

В моделирующей программе можно задавать разные характеристики дороги, такие как система освещения (двухрядная, шахматная, осевая, тоннельная с одним рядом светильников, тоннельная с двумя рядами светильников и т.д.), категория дороги ($R1, R2, R3, R4, N1, N2, N3, N4$ и т.д.), количество полос, ширина полосы, ширина островка безопасности и класс дороги по освещению ($M1, M2, M3, M4, M5, M6$ и т.д.). Что касается характеристик осветительной установки, то при монтаже светильников на опорах или при использовании подвесных светильников могут задаваться такие параметры, как шаг между светильниками, расстояние светильника от дороги, угол наклона консоли, степень защиты IP , степень загрязнённости, периодичность чистки и коэффициент эксплуатации. Что касается светильников, то в базу данных модели можно в любой момент внести наименование светильника, угол наклона светильника (относительно поверхности дороги), мощность лампы, срок службы, световой поток, потери в ПРА и использование других ламп, то есть в модель можно ввести любые лампы [19–22]. В программе, моделирующей осветительную установку, можно легко и точно рассчитать характеристики этой установки. На рис. 3 приведены алгоритм моделирующей программы и вводимые в неё данные [21].

Характеристики рассматриваемых дороги и осветительной установки приведены в табл. 1, а в табл. 2 приведена зависимость коэффициента эксплуатации от класса защиты светильника и категории загрязнения окружающей среды [14–16].

Отображение входных данных моделирующей программой показано на рис. 4.

В данной работе вначале был проведён анализ действующей осветительной установки тоннеля, характеристики которой приведены в табл. 1. Затем эти характеристики были вве-

Рис. 1. Пример тоннеля с двухрядным расположением светильников

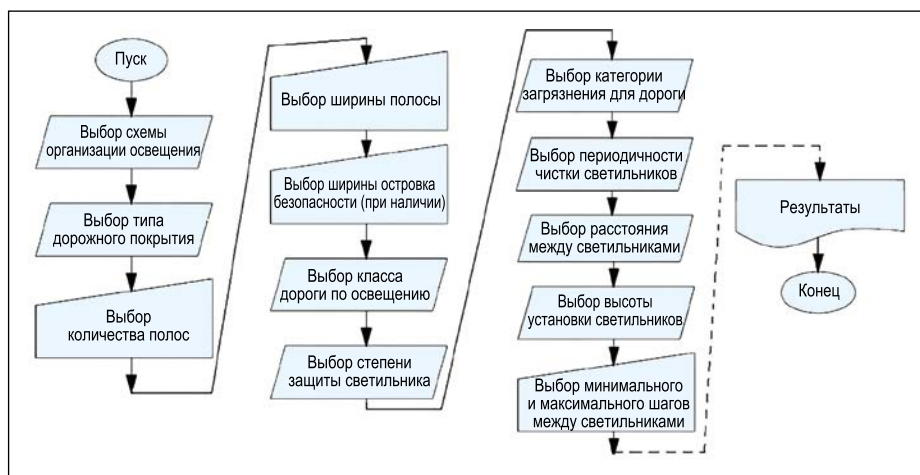
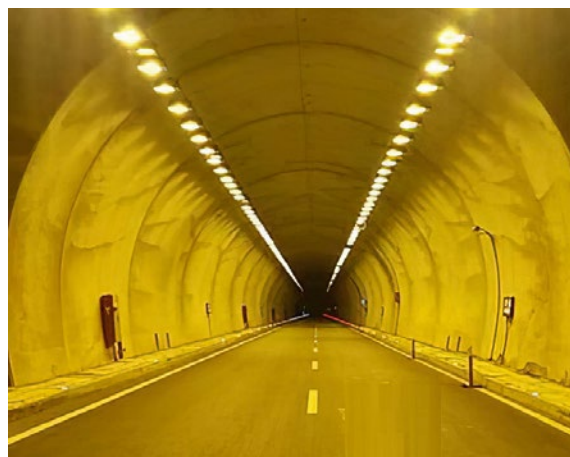


Рис. 3. Алгоритм моделирующей программы и входные данные [21]

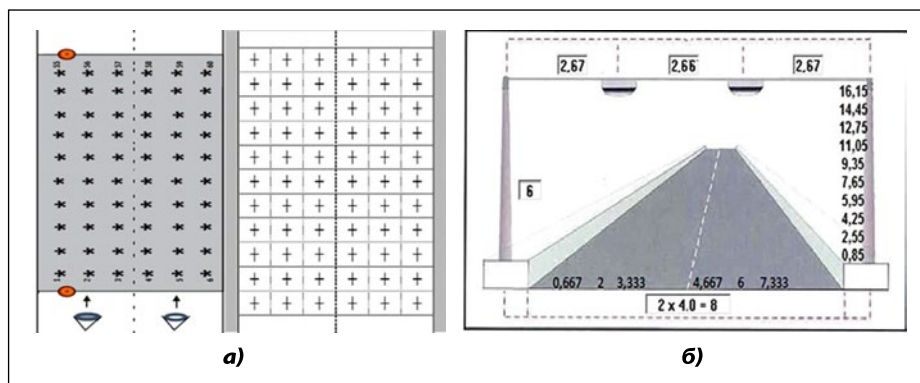


Рис. 2. Расположение точек измерения в тоннеле с двумя полосами движения (а) и участок дороги, на котором проводились измерения (б)

дены в моделирующую программу, написанную на языке *Visual Basic*. Поверхности светильников, установленных в рассматриваемом тоннеле, очищают в ходе технического обслуживания один раз в два года. Кроме того, производится замена ламп, вышедших из строя по любой причине. При этом их заменяют независимо от тоннеля, дорожных и погодных условий, интенсивности движения транспорта или MF . Измерения были про-

ведены при помощи люксметра в 60-ти выбранных заранее точках внутри тоннеля в ночное время, когда движение транспорта не оживлённое.

Что касается моделирования освещения этого тоннеля, то были проведены расчёты освещённости E в этих 60-ти точках и значений MF и минимальной, максимальной и средней освещённости (E_{min}, E_{max} и E_{avr} соответственно) для тоннеля в целом. Затем было проведено сравнение со-

Характеристики тоннеля и его осветительной установки

Характеристики тоннеля		Характеристики осветительной установки	
Светильники расположены в два ряда, поперечная ориентация			
Класс дороги	R3	Высота расположения светильника, м	6
Количество полос	2	Угол наклона консоли, град.	0
Ширина полосы	4 m	Код IP	IP65
Ширина дороги	8 m	Категория загрязнения	Высокая
Q_o	0,07	Периодичность чистки, лет	2
Класс дороги по освещению	M2	Шаг между светильниками, м	17

Зависимость коэффициента эксплуатации от класса защиты светильника и категории загрязнения окружающей среды

Класс IP оптического отсека светильника	Категория загрязнения	Продолжительность воздействия, годы				
		1	1,5	2	2,5	3
IP2X	Высокая	0,53	0,48	0,45	0,43	0,42
	Средняя	0,62	0,58	0,56	0,54	0,53
	Низкая	0,82	0,80	0,79	0,78	0,78
IP5X	Высокая	0,89	0,87	0,84	0,80	0,76
	Средняя	0,90	0,88	0,86	0,84	0,82
	Низкая	0,92	0,91	0,90	0,89	0,88
IP6X	Высокая	0,91	0,90	0,88	0,85	0,83
	Средняя	0,92	0,92	0,89	0,88	0,87
	Низкая	0,93	0,93	0,91	0,90	0,90

Таблица 2 ответствующих этим 60-ти точкам результатов измерений и моделирования и рассчитано расхождение между ними. Используя при моделировании характеристики дороги и осветительной установки были взяты из табл. 1, а значения MF – из табл. 2. Результаты расчётов освещённости, которые приведены в табл. 3, получены применительно к проведению технического обслуживания один раз в два года.

Результаты измерений освещённости, проведённых в 60-ти выбранных точках тоннеля, в котором техническое обслуживание проводится один раз в два года, приведены в табл. 4, а в табл. 5 содержатся расхождения между этими измеренными и полученными при моделировании значениями освещённости.

Исходя из табл. 5, можно примерно оценить уменьшение освещённости в этом тоннеле при проведении технического обслуживания несколько раз в год и один раз в три года. В табл. 6 приведены результаты моделирования, проведённого применительно к случаю, когда техническое обслуживание проводится один раз в год, а табл. 7 содержит данные о различиях между этими значениями освещённости и оценочными значениями освещённости, полученными на основе табл. 5 для осуществляемого один раз в год технического обслуживания. Если применить к данным, приведённым в табл. 6, то можно получить значения освещённости и MF , приведённые в табл. 8.

Как уже отмечалось выше, исходя из табл. 5, можно примерно оценить уменьшение освещённости в этом тоннеле при проведении технического обслуживания несколько раз в год

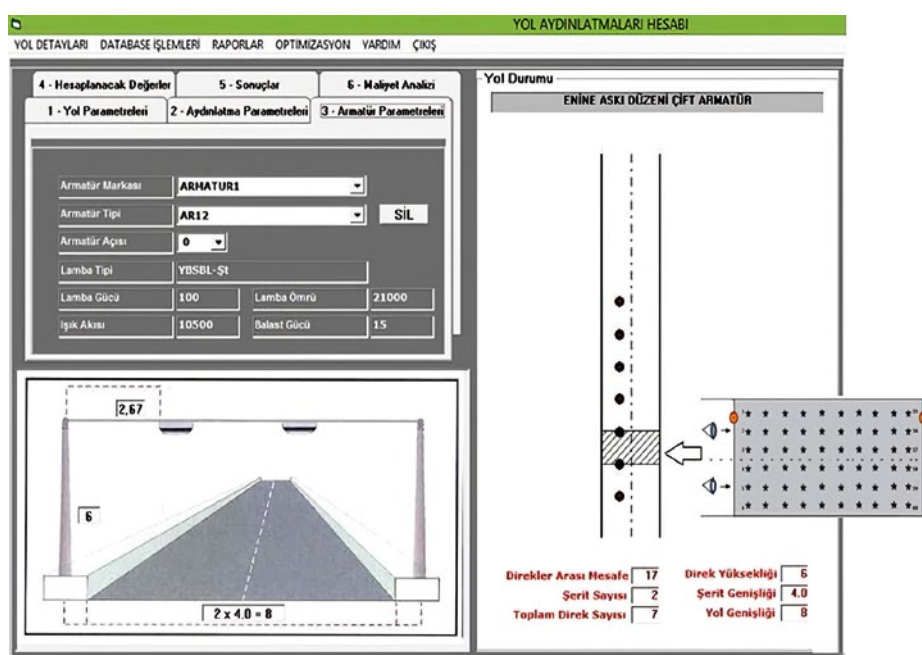


Рис. 4. Отображение входных данных моделирующей программой

Таблица 3

Значения освещённости в 60-ти точках тоннеля, выбранных для моделирования, в случае, когда техническое обслуживание осуществляется один раз в два года ($MF = 0,88$, $E_{min} = 37,54$ лк, $E_{max} = 83,65$ лк, $E_{avr} = 60,53$ лк)

Координаты, м	0,8	2,5	4,2	5,9	7,6	9,3	11,0	12,7	14,4	16,1
0,7	68,73	58,92	47,32	38,69	37,54	37,55	38,72	47,36	58,99	68,83
2,0	83,54	77,59	62,83	52,8	52,12	52,13	52,83	62,87	77,66	83,64
3,3	68,57	69,32	63,25	59,75	66,55	66,56	59,78	63,3	69,39	68,67
4,7	68,57	69,32	63,25	59,75	66,55	66,56	59,78	63,3	69,39	68,67
6,0	83,54	77,59	62,83	52,8	52,12	52,13	52,83	62,87	77,66	83,64
7,3	68,73	58,92	47,32	38,69	37,54	37,55	38,72	47,36	58,99	68,83

Таблица 4

Значения освещённости, измеренные в 60-ти выбранных точках тоннеля, в котором техническое обслуживание осуществляется один раз в два года ($MF = 0,812$, $E_{min} = 32,11$ лк, $E_{max} = 79,92$ лк, $E_{avr} = 55,87$ лк)

Координаты, м	0,8	2,5	4,2	5,9	7,6	9,3	11,0	12,7	14,4	16,1
0,7	65,73	53,05	40,99	35,33	32,92	33,17	35,81	45,21	53,87	65,32
2,0	77,56	69,98	57,68	48,65	46,86	48,59	46,09	57,94	72,04	79,55
3,3	63,51	59,96	58,13	56,32	60,98	59,93	56,66	58,94	65,52	65,97
4,7	64,09	60,95	56,47	56,01	60,96	60,99	56,08	58,72	65,55	66,09
6,0	77,01	73,12	57,27	48,84	47,93	47,91	47,54	56,86	74,73	79,92
7,3	64,11	53,43	42,07	36,31	32,11	33,72	35,95	42,33	56,42	66,61

Таблица 5

Расхождение между измеренными и полученными при моделировании значениями освещённости, %

Координаты, м	0,8	2,5	4,2	5,9	7,6	9,3	11,0	12,7	14,4	16,1
0,7	4,37	9,97	13,38	8,70	12,31	11,67	7,53	4,55	8,68	5,10
2,0	7,17	9,81	8,20	7,87	10,11	6,80	12,76	7,85	7,24	4,90
3,3	7,39	13,51	8,10	5,75	8,38	9,97	5,23	6,89	5,59	3,94
4,7	6,54	12,08	10,72	6,27	8,41	8,38	6,20	7,24	5,55	3,77
6,0	7,83	5,76	8,85	7,51	8,05	8,11	10,02	9,57	3,77	4,46
7,3	6,73	9,33	11,10	6,17	14,47	10,20	7,16	10,63	4,36	3,23

Таблица 6

Полученные при моделировании значения освещённости в 60-ти выбранных точках тоннеля, в котором техническое обслуживание осуществляется один раз в год ($MF = 0,91$, $E_{min} = 38,82$ лк, $E_{max} = 86,50$ лк, $E_{avr} = 62,59$ лк)

Координаты, м	0,8	2,5	4,2	5,9	7,6	9,3	11,0	12,7	14,4	16,1
0,7	71,07	60,93	48,93	40,01	38,82	38,83	40,04	48,98	61,00	71,17
2,0	86,39	80,23	64,97	54,60	53,90	53,91	54,63	65,02	80,30	86,49
3,3	70,91	71,69	65,40	61,79	68,82	68,83	61,82	65,45	71,76	71,01
4,7	70,91	71,69	65,40	61,79	68,82	68,83	61,82	65,45	71,76	71,01
6,0	86,39	80,23	64,97	54,60	53,90	53,91	54,63	65,02	80,30	86,49
7,3	71,07	60,93	48,93	40,01	38,82	38,83	40,04	48,98	61,00	71,17

Таблица 7

Расхождение между оценочными и полученными при моделировании значениями освещённости, %

Координаты, м	0,8	2,5	4,2	5,9	7,6	9,3	11,0	12,7	14,4	16,1
0,7	2,19	4,99	6,69	4,35	6,16	5,83	3,76	2,28	4,34	2,55
2,0	3,58	4,90	4,10	3,93	5,05	3,40	6,38	3,93	3,62	2,45
3,3	3,69	6,76	4,05	2,88	4,19	4,99	2,62	3,44	2,79	1,97
4,7	3,27	6,04	5,36	3,14	4,21	4,19	3,10	3,62	2,77	1,88
6,0	3,91	2,88	4,42	3,75	4,03	4,05	5,01	4,79	1,89	2,23
7,3	3,37	4,66	5,55	3,08	7,23	5,10	3,58	5,32	2,18	1,61

Таблица 8

Оценочные значения освещённости в 60-ти выбранных точках тоннеля, в котором техническое обслуживание осуществляется один раз в год

Координаты, м	0,8	2,5	4,2	5,9	7,6	9,3	11,0	12,7	14,4	16,1
0,7	69,51	57,89	45,66	38,27	36,43	36,57	38,53	47,86	58,35	69,36
2,0	83,30	76,30	62,31	52,45	51,18	52,08	51,14	62,46	77,39	84,37
3,3	68,29	66,84	62,75	60,01	65,94	65,40	60,20	63,20	69,76	69,61
4,7	68,59	67,36	61,89	59,85	65,92	65,95	59,90	63,08	69,77	69,68
6,0	83,01	77,92	62,10	52,55	51,73	51,73	51,89	61,91	78,78	84,56
7,3	68,67	58,09	46,21	38,78	36,01	36,85	38,61	46,37	59,67	70,02

Таблица 9

Полученные при моделировании значения освещённости в 60-ти выбранных точках тоннеля, в котором техническое обслуживание осуществляется три раза в год ($MF = 0,83$, $E_{min} = 35,41$ лк, $E_{max} = 78,89$ лк, $E_{avr} = 57,09$ лк)

Координаты, м	0,8	2,5	4,2	5,9	7,6	9,3	11,0	12,7	14,4	16,1
0,7	64,83	55,57	44,63	36,49	35,40	35,41	36,52	44,67	55,64	64,91
2,0	78,80	73,18	59,26	49,80	49,16	49,17	49,83	59,30	73,24	78,89
3,3	64,67	65,38	59,65	56,36	62,77	62,78	56,39	59,70	65,45	64,77
4,7	64,67	65,38	59,65	56,36	62,77	62,78	56,39	59,70	65,45	64,77
6,0	78,80	73,18	59,26	49,80	49,16	49,17	49,83	59,30	73,24	78,89
7,3	64,83	55,57	44,63	36,49	35,40	35,41	36,52	44,67	55,64	64,91

Таблица 10

Расхождение между оценочными и полученными при моделировании значениями освещённости, %

Координаты, м	0,8	2,5	4,2	5,9	7,6	9,3	11,0	12,7	14,4	16,1
0,7	6,56	14,96	20,07	13,05	18,47	17,50	11,29	6,83	13,02	7,65
2,0	10,75	14,71	12,30	11,80	15,16	10,20	19,14	11,78	10,86	7,35
3,3	11,08	20,27	12,15	8,63	12,57	14,96	7,85	10,33	8,38	5,91
4,7	9,81	18,12	16,08	9,41	12,62	12,57	9,30	10,85	8,32	5,65
6,0	11,74	8,64	13,27	11,26	12,08	12,16	15,03	14,36	5,66	6,69
7,3	10,10	13,99	16,64	9,25	21,70	15,30	10,75	15,95	6,54	4,84

и один раз в три года. В табл. 9 приведены результаты моделирования, проведённого применительно к случаю, когда техническое обслуживание проводится один раз в три года, а табл. 10 содержит данные о разли-

чиях между этими значениями освещённости и оценочными значениями освещённости, полученными на основе табл. 5 для осуществляемого один раз в три года технического обслуживания. Если содержащиеся в табл. 10

различия применить к данным, приведённым в табл. 9, то можно получить значения освещённости и MF , приведённые в табл. 11.

Изменение характеристик освещения в случае светильников с НЛВД

Оценочные значения освещённости в 60-ти выбранных точках тоннеля, в котором техническое обслуживание осуществляется один раз в три года ($MF = 0,734$, $E_{min} = 27,72$ лк, $E_{max} = 73,62$ лк, $E_{avr} = 50,50$ лк)

Координаты, м	0,8	2,5	4,2	5,9	7,6	9,3	11,0	12,7	14,4	16,1
0,7	60,57	47,26	35,67	31,73	28,86	29,21	32,40	41,62	48,39	59,95
2,0	70,32	62,41	51,97	43,92	41,71	44,15	40,29	52,31	65,29	73,09
3,3	57,51	52,13	52,41	51,49	54,88	53,39	51,96	53,53	59,96	60,94
4,7	58,33	53,53	50,06	51,06	54,85	54,89	51,14	53,22	60,01	61,11
6,0	69,54	66,85	51,39	44,19	43,22	43,19	42,34	50,79	69,10	73,62
7,3	58,28	47,80	37,20	33,12	27,72	29,99	32,59	37,54	52,00	61,77

мощностью 100 Вт показано на рис. 5, из которого следует, что:

- К концу 1-го года MF уменьшается до 84,68 %, тогда как при чистке рассеивателей светильников величина MF окажется равной 91 %.
- К концу 2-го года MF уменьшается до 80,26 %, тогда как при чистке рассеивателей светильников величина MF окажется равной 88 %.
- К концу 3-го года MF уменьшается до 73,4 %, тогда как при чистке рассеивателей светильников величина MF окажется равной 83 %.

Однако так как через три года очистка рассеивателей светильников не приводит к удовлетворительным результатам из-за спада световых потоков ламп, то следует произвести замену ламп. Вместо замены разбитых или вышедших из строя ламп, следует заменить все, даже работоспособные, лампы, проработавшие 3 года. Из каталога производителя следует, что из-за спада светового потока НЛВД мощностью 100 Вт нельзя использовать после примерно 26000 ч горения (что в случае тоннельного освещения соответствует трём годам эксплуатации). Поэтому замене подлежат все лампы.

Как следует из рис. 5, в то время, как различие между значениями MF , соответствующими 1-му году и 2-м годам (разница в продолжительности ра-

боты осветительной установки – 365 дней), составляет 6,3 %, то различие между значениями MF , соответствующими 2-му году и 3-му годам (разница в продолжительности работы осветительной установки также равна 365 дней), составляет уже 7,8 %. Это можно объяснить быстрым спадом E_{avr} в результате износа ламп и прочего оборудования, что подтверждается результатами моделирования и прогнозирования.

5. Результаты

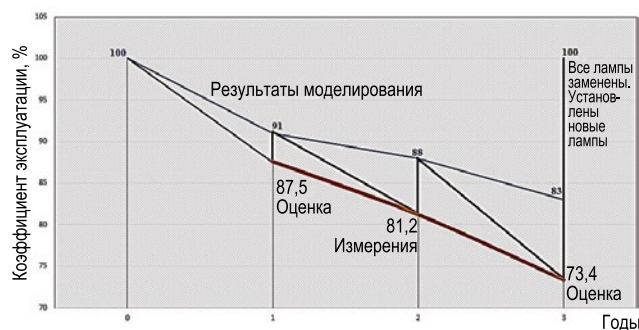
Эти оценки помогут улучшить работу осветительной установки благодаря своевременной реакции на информацию как о выходе из строя осветительного оборудования, так и о достаточности создаваемого им светового потока, что позволит предотвратить непроизводительный расход электроэнергии, которая не преобразуется в свет. Так как моделирование облегчает определение времени, за которое происходит загрязнение осветительного оборудования, то оно способствует принятию решения о периодичности технического обслуживания на основе оценок соответствующих расходов на использование рабочей силы и энергозатрат. Это позволяет предотвратить потребление энергии,

которая не преобразуется в свет из-за уменьшения производительности осветительного оборудования.

В данном исследовании показана важность проектирования осветительных установок, являющихся важной частью закрытых пространств, таких как тоннели, и проанализировано влияние на работу этих установок ухудшения со временем характеристик эксплуатируемого в подобных условиях осветительного оборудования. Влияние MF на освещение тоннелей было проанализировано посредством сравнения результатов моделирования с результатами реальных измерений. Прогнозы для тоннелей, в которых техническое обслуживание осуществляется один раз в год и один раз в три года были сделаны на основе результатов измерений, проведённых в 60-ти точках тоннеля, в котором техническое обслуживание осуществляется один раз в два года. Было установлено, что относительно точные значения MF в случаях технического обслуживания, осуществляемого один раз в год и один раз в три года, можно получить без проведения реальных измерений. Потери, имеющие место, если техническое обслуживание осветительной установки тоннеля осуществляется один раз в год и один раз в три года, можно определить на основе различий между результатами моделирования и физических измерений.

Можно сделать вывод, что удачным способом определения MF для осветительных установок тоннелей является использование результатов моделирования совместно с результатами измерений, проведённых применительно к осветительным установкам тоннелей, работающим в таких же условиях (загрязнённость, климат, температура, влажность, ветер, плотность

Рис. 5. Значения коэффициента эксплуатации в случае светильников с НЛВД мощностью 100 Вт



движения транспорта и т.д.). Оценки, основанные на результатах, полученных применительно к смоделированной окружающей среде, позволят облегчить и ускорить процесс принятия решений, так как остановка движения транспорта и проведение измерений в тоннелях с оживлённым движением весьма затруднительны и занимают много времени.

Правильность расчёта *MF* имеет решающее значение для создания нужной дорожной осветительной установки и сохранения её работоспособности даже в конце периода между техническими обслуживаниями или в конце срока службы этой установки.

MF играет важную роль в формировании полной стоимости осветительной установки, так как от него напрямую зависит энергопотребление. Требуется определить, какой из вариантов является более экономичным с учётом энергопотребления и стоимости ламп и их замены. При сопоставлении энергоэффективности следует также учитывать капитальные затраты и затраты на техническое обслуживание установки.

Увеличение коэффициента эксплуатации, который используется в качестве множителя при определении эксплуатационных характеристик осветительной установки, приводит к увеличению энергоэффективности за счёт уменьшения энергопотребления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Özkaya, M.* Aydınlatma Tekniği, Birsan Yayinevi, İstanbul, 91.– 1994.
2. *Tetri, E., Chenani, S.B., Rasanen R.S.*, Advancement in Road Lighting // *Light & Engineering.*– 2018. – Vol. 26, No. 1. – P. 99–109.
3. *Бозорг Ченани С., Ряснен Р.-С., Тетри Е.* Состояние и перспективы развития дорожного освещения // *Светотехника.*– 2018.– № 1. – С. 15–22.
4. *Barua, P., Mazumdar, S., Chakraborty, S., Bhattacharjee, S.* Road Classification Based Energy Efficient Design and its Validation for Indian Roads // *Light & Engineering.*– 2018. – Vol. 26, No. 2. – P. 110–121.
5. *Чакрабурти С., Баруа П., Бхаттачарджи С., Мазумдар С.* Энергоэффективное проектирование установок дорожного освещения на основе классификации индийских дорог по освещению // *Светотехника.*– 2018.– № 2. – С. 83–90.
6. *Iacomussi, P., Rossi, G., Soardo, P.* Energy Saving and Environmental Compatibility in Road Lighting // *Light & Engineering.*– 2012. – Vol. 20, No. 4. – P. 55–63.
7. *Росси Д., Соардо П., Якомусси П.* Дорожное освещение: экономия энергии и сов-

местимость с окружающей средой // *Светотехника.*– 2012.– № 2. – С. 32–39.

8. *Van Bommel, W., Van Den Beld, G., Van Ooyen M.* Industrial Light and Productivity // *Lighting & Engineering.*– 2003. – Vol. 11, No. 1. – P. 14–21.

9. *Van Боммель В., Бельд Г., Оойжен М.* Промышленное освещение и производительность труда // *Светотехника.*– 2003.– № 1. – С. 8–12.

10. *Güler, Ö., Onaygil, S.* The effect of luminance uniformity on visibility level in road lighting // *Lighting Research and Technology.*– 2002. – Vol. 35. – P. 199–215.

11. *Jantzen, R.* Flimmerwirkung der Verkehrsbeleuchtung // *Lichttechnik.*– 1960. – No. 12. – P. 211.

12. *Schreuder, D.A.* The lighting of vehicular traffic tunnels // Thesis, University of Technology Eindhoven, 1964.

13. *Walther, R.* Tunnel lighting systems // *International Light Review.*– 1977. – Vol. 4 – P. 112.

14. CIE Technical Report, CIE-88–2004. Guide for the Lighting of Road Tunnels and Underpasses [R]. 2004.

15. CIE Technical Report, CIE-154–2003. The Maintenance of Outdoor Lighting Systems. 2003.

16. CIE Technical Report, CIE-194–2011. On Site Measurement of the Photometric Properties of Road and Tunnel Lighting. 2011.

17. TS EN13201–2, Road lighting – Part 2: Performance requirements (Effective date: 09.12.2016).

18. Master Son-T Apia PlusXtra, HPS-100, 2018. https://www.assets.lighting.philips.com/is/content/PhilipsLighting/fp928483300095-pss-tr_tr, Accessed on 14 June 2018.

19. *Onaygil, S.* TEDAŞ Genel Müdürlüğü Meslek İçi Eğitim Semineri-Gölbaşı Eğitim Tesisleri // *Yol aydınlatma Semineri* 23–24 Ocak 2007.

20. *Onaygil, S.* TEDAŞ Genel Müdürlüğü Meslek İçi Eğitim Semineri, TEDAŞ Basımevi, Ankara, 2007. P. 1–70.

21. *Cengiz, M.S.* A Simulation and Design Study for Interior Zone Luminance In Tunnel Lighting // *Light & Engineering.*– 2019. – Vol. 27, No. 3. (In press).

22. *Onaygil, S.* Yol aydınlatma projelerinde yol sınıfının belirlenmesinin önemi // *Kaynak Elektrik Dergisi.*– 1998. – Vol. 12. – P. 125–132.



Мехмет Саğıт Сенгуз (Mehmet Sağıt Cengiz), Ph.D. (2016 г.). Директор по исследованиям и разработкам профессионально-технического училища Университета Битлис Ерен, Турция

Архитектурное освещение сквера Сурикова в Красноярске

Сквер Сурикова стал одним из общественных пространств Красноярска, которые вошли в городскую программу благоустройства перед Универсиадой. Задачей МСК «БЛ ГРУПП» стало архитектурное освещение сквера. Был использован широкий спектр архитектурных светильников ТМ «GALAD». Модельная линейка «Аврора LED» была представлена сразу 3 модификациями. Ряд светильников имел комплектацию RGBW-светодиодами, которые необходимы для воплощения цветодинамических сценариев. Также были установлены уличные светильники «Селена LED» и несилловые фланцевые гранёные опоры ТМ «OPORA ENGINEERING».



Во время Универсиады сквер Сурикова стал одним из центров культурной программы. Здесь прошли концерты творческих коллективов, также гости Игр узнали о сибирском фольклоре и традиционных спортивных играх. Фотография показывает, как наше освещение изящным кружевом обнимает пешеходные дорожки, скамейки, арт-объекты и, конечно, бюст В.И. Сурикова, созданный в 1954 г. скульптором Л. Эйдлиным и архитектором В. Кирхогланни. Сквер – одно из самых поэтичных мест Красноярска. И свет делает его красоту ещё более рельефной, словно лепные украшения на фасаде здания.

Этот проект откликается на творческое наследие В.И. Сурикова. В его работах, таких как «Благовещение», «Исцеление слепорождённого Иисусом Христом» и многих других, свет – символ исцеляющей благодати.

bl-g.ru
29.04.2019

Анализ характеристик светодиодных ламп с колбой T8 разных производителей

Н.П. НЕСТЁРКИНА, О.Ю. КОВАЛЕНКО, Ю.А. ЖУРАВЛЁВА*

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», Саранск

*E-mail: ulypil@mail.ru

Аннотация

Анализируются эксплуатационные характеристики светодиодных ламп с колбой T8 мощностью 10 Вт фирм-производителей ASD (РФ), Smartbuy (Тайвань) и VOLPE (КНР) и люминесцентной лампы с колбой T8 мощностью 18 Вт производства фирмы PHILIPS (Польша), в том числе их зависимость от напряжения питающей сети. Результаты измерений показывают, что: а) время стабилизации электрических параметров и светового потока светодиодных ламп не создаёт дискомфорта в освещении, в отличие от указанной ЛЛ, световой поток которой в момент включения составляет 70 % от номинального, которое достигается через 13 мин; б) при номинальном напряжении питающей сети световой поток светодиодных ламп типа ASD LED-T8R-STD10W (РФ) ниже заявленного на 6 %, а – типов Smartbuy SBL-T8-10-64K-A (Тайвань) и VOLPE LED-T8-10W/DW/G13/FR/FIX/N (КНР) и того ещё ниже; в) общий индекс цветопередачи всех исследованных светодиодных ламп ниже заявленного (72, а не 80); г) коэффициент пульсации всех исследованных светодиодных ламп не превышает заявленных 5 %; д) характеристики светодиодных ламп практически не зависят от изменения напряжения питающей сети в пределах ± 10 %.

Даются рекомендации по применению исследованных светодиодных ламп.

Ключевые слова: светодиодная лампа, колба T8, световой поток, цветовая температура, индекс цветопередачи, стабилизация светового потока, номинальное напряжение, световая отдача, коэффициент пульсации, световой поток.

1. Проблемы внедрения светотехнических изделий со светодиодами в народном хозяйстве

Светотехнические изделия с СД всё больше внедряются в разные сферы жизни, привлекая к себе внимание учёных [1–3]. Бесспорные преимущества СД и СД ламп – эффективность, компактность, экологичность – положительно оцениваются потребителями разных отраслей народного хозяйства. Однако, как показала практика, в начале 2010-х высокие характеристики СД, полученные в лабораторных условиях, производители приписывали своим промышленным образцам, доходящим до широкого потребителя в виде СД и СД источников света с заявленными высокими характеристиками. Так, измеренные в 2011 г. в лаборатории «Л.И.С.Т» значения светового потока четырёх типов СД серии «XLamp XP-E/XP-G/XM-L» компании

Cree оказались в среднем ниже заявленных почти на 10 % [4].

Исследуя эффективность сельскохозяйственного применения осветительных и облучательных приборов на основе СД и СД ламп, мы установили, что изготовленные для экспериментов образцы этих приборов не всегда обеспечивали нужные световые потоки, рассчитанные по заявленным производителями характеристикам СД.

В целом, проведённые нами на сельскохозяйственных растениях и животных исследования показали повышение их продуктивных показателей при освещении и облучении СД и СД лампами [5–8], что подтверждает перспективность расширения областей их применения при наличии надёжной информации о параметрах этих источников.

В статьях [1–3] отмечены проблемы, связанные с условиями освещения, влияющими на показатели зрительной работы, а в статье [9] показано несоответствие заявленных световых параметров светильников с СД их действительным.

В связи с вышеизложенным целью статьи явился собственный анализ практического вопроса соответствия заявленных производителями параметров СД ламп их действительным, что может представлять интерес для проектировщиков освещения или облучения и энергетических служб предприятий-потребителей.

2. Исследование характеристик СД ламп с колбой T8

Для экспериментальных сравнительных исследований в розничной торговой сети Саранска были приобретены три СД лампы с колбой T8 типов ASD LED-T8R-STD10W 230V G13 6500K 800lm 600mm (РФ), Smartbuy SBL-T8-10-64K-A (Тайвань), и VOLPE LED-T8-10W/DW/G13/FR/FIX/N (КНР) и одна ЛЛ с колбой T8 типа PHILIPS TL-D18W/33-640 польского производства [10–13] (рис. 1).

Эти исследования проводились в лаборатории Центра коллективного пользования «Светотехническая метрология» (в Институте электроники и светотехники МГУ им. Н.П. Огарёва). Измерения электрических и световых параметров проводились при нормальных условиях, в соответ-

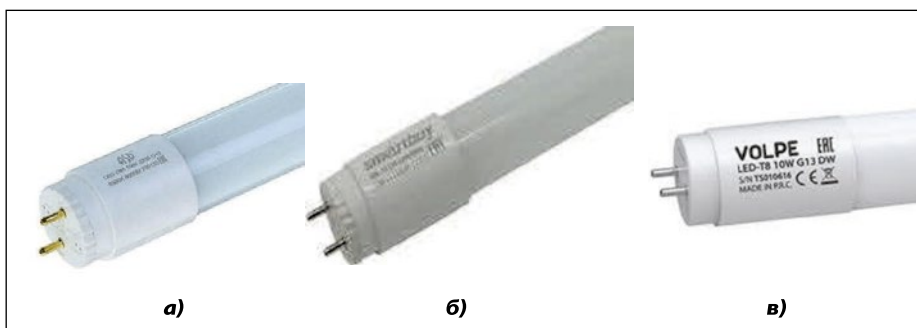


Рис. 1. – Внешний вид светодиодных ламп с колбой T8: а – ASD LED-T8R-STD10W 230V G13 6500K 800lm 600mm (РФ); б – Smartbuy SBL-T8-10-64K-A (Тайвань); в – VOLPE LED-T8-10W/DW/G13/FR/FIX/N (КНР)

Рис. 2. Изменение светового потока исследованных ламп Φ_v в период стабилизации

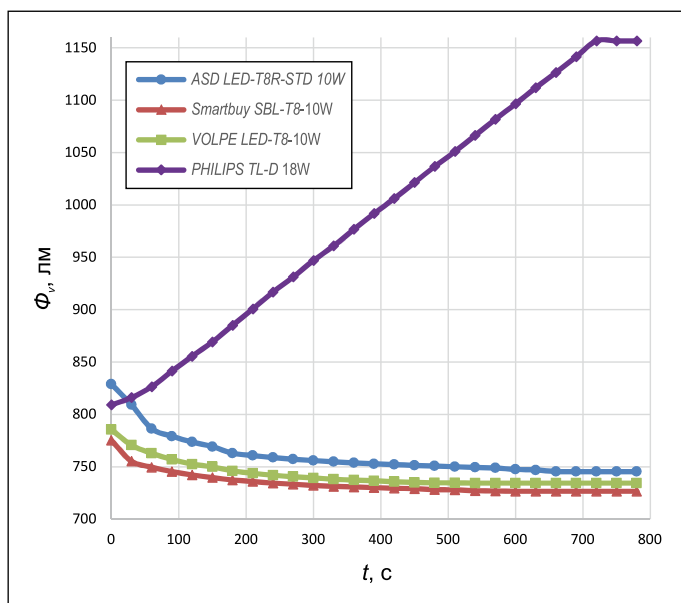


Рис. 3. Изменение мощности исследованных ламп P в период стабилизации

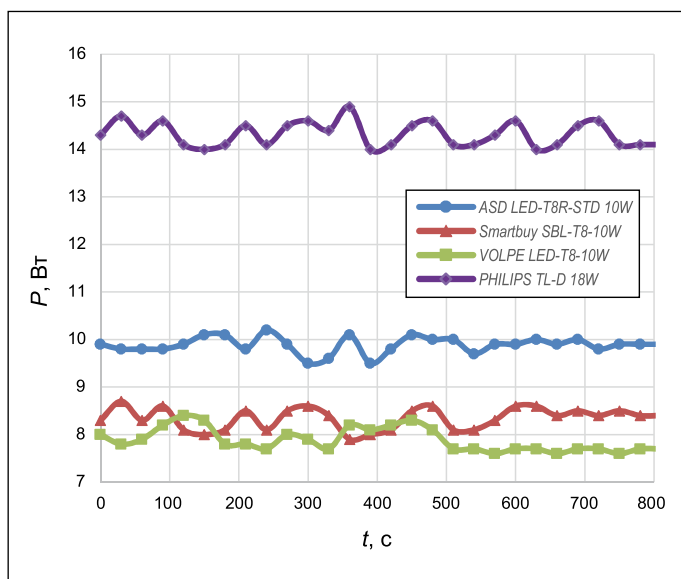
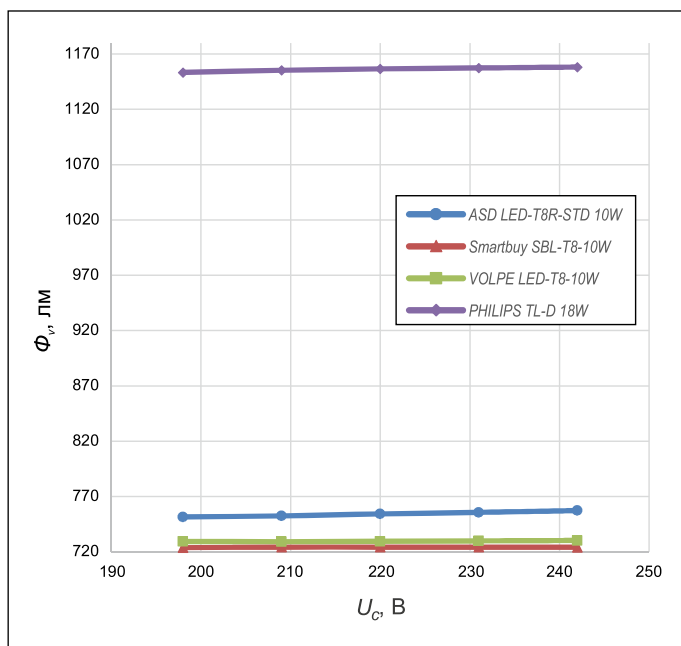


Рис. 4. Зависимость светового потока исследованных ламп Φ_v от U_c



вии с методикой по ГОСТ [14]. При этом измерения параметров всех указанных СД ламп проводились с помощью фотоколориметрической измерительной установки, блока питания переменного тока *DPS1060*, гониофотометрического комплекса, пульсметра-люксметра «ТКА-ПКМ» (08) и спектроколориметра «ТКА-ВД»/02.

Для определения координат цветности использовался спектрорадиометрический метод, а для оценки цветопередачи – спектрозональный. Использовались также методы измерения коррелированной цветовой температуры $T_{цк}$ и доминирующей длины волн согласно ГОСТ [14].

Измерения изменений мощности и светового потока ламп в период стабилизации их электрических и световых характеристик при номинальном U_c проводились на фотоколориметрической измерительной установке фирмы *Gooch & Housego*, содержащей фотометрический шар *OL IS7600* диаметром 2 м, многоканальный спектрорадиометр *OL 770 VIS/NIR*, оптоволоконный кабель *770-7G-3.0*, прецизионный источник постоянного тока *OL410-200 PRECISION LAMP SOURCE* для питания вспомогательной лампы *AUX LAMP A180* и арматуру для крепления ламп и ПК.

Пределы допускаемой относительной погрешности измерения светового потока: $\pm 9\%$, пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений координат цветности x и y : $\pm 0,002$, пределы допускаемой абсолютной погрешности измерения $T_{цк}$: ± 25 К, относительная погрешность установки выходного тока: $\pm 0,02\%$.

Принцип действия фотоколориметрической измерительной установки (номер СИ в госреестре: 66263-160) основан на измерении абсолютной спектральной плотности потока излучения, интегрировании её и нахождении таким образом потока излучения, попадающего на фотометрическую площадку – торец оптоволоконного ввода, связанного со спектрометром и ПЗС-линейкой. Все вычисления выполнялись автоматически. Программное обеспечение установки выполняет функции отображения на экране управляющего компьютера информации и задания условий измерений [15].

Вначале определялось время стабилизации электрических параметров и светового потока (рис. 2 и 3)¹.

Обработка результатов всех измерений проводилась с помощью встроенного программного обеспечения «GQ-Sof» с выводом результатов на ПК и бумажный носитель.

Измерения проводились при установившемся электрическом режиме после 15 мин непрерывного горения, согласно ГОСТ [14], при температуре окружающей среды (25 ± 2) °С, относительной влажности (65 ± 20)%, атмосферном давлении (101 ± 4) кПа, U_c (220 ± 22) В и частоте тока 50 Гц.

Результаты всех указанных измерений при номинальном напряжении питающей сети представлены в таблице.

Определялись также зависимости световых и электрических параметров ламп от U_c (рис. 4–6).

По методике ГОСТ [17], пульсметр-люксметром «ТКА-ПКМ» (08) определялась зависимость коэффициента пульсации ламп $k_{п}^2$ от U_c при изменениях U_c в пределах $\pm 10\%$. Измерения $k_{п}$ проводились в тёмное время суток при стабилизации светового потока в течение 45 мин и типовом размещении контрольных точек на плане помещения. В каждой контрольной точке проводилось трёхкратное измерение освещённости в течение 5 мин. Соответствующие результаты приведены на рис. 7 и 8.

3. Анализ результатов измерений характеристик СД ламп с колбой T8

Анализ результатов измерений показал, что времена стабилизации электрических параметров и светового потока СД ламп ASD LED-T8R-STD10W, Smartbuy SBL-T8-10W и VOLPE LED-T8-10W и ЛЛ PHILIPS TL-D18W составили 12, 10, 9 и 13 мин соответственно, а соответствующие спады световых потоков СД ламп –

¹ Время стабилизации – время, необходимое для достижения стабильных тепловых условий работы СД лампы, согласно ГОСТ [16]. При этом стабилизируются электрические и световые параметры лампы.

² $k_{п}$ – это критерий оценки относительной глубины колебаний освещённости в осветительной установке в результате изменения во времени светового потока источников света при питании их переменным током [18].

Рис. 5. Зависимость мощности исследованных ламп P от U_c

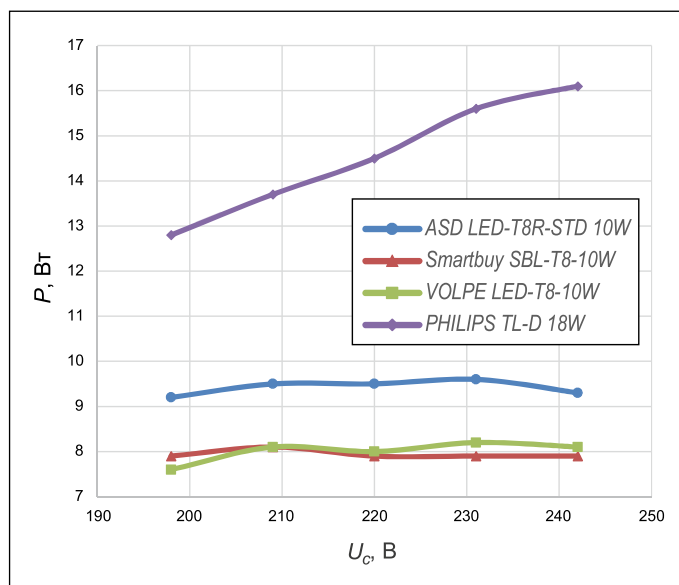


Рис. 6. Зависимость тока исследованных ламп I от U_c

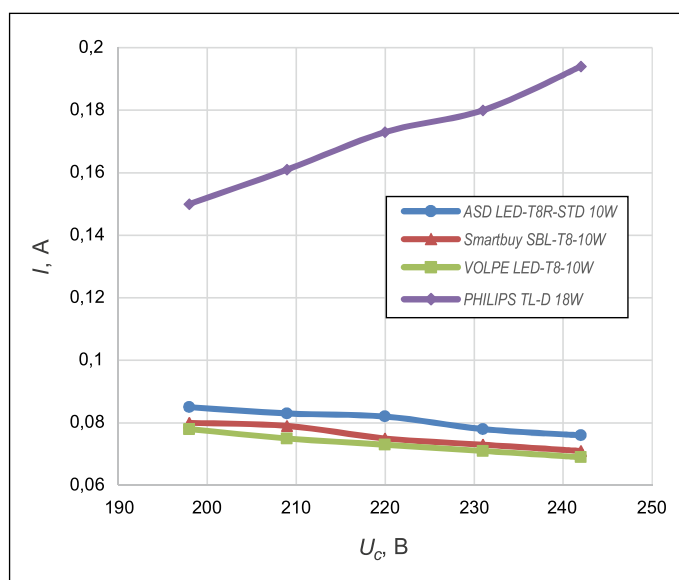
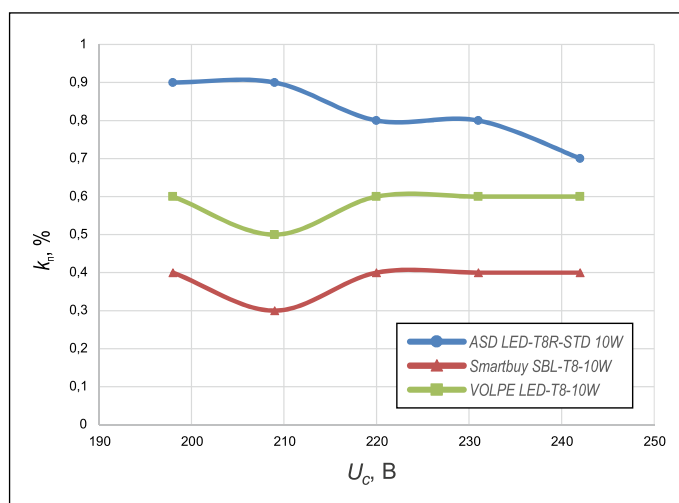


Рис. 7. Зависимость коэффициента пульсации исследованных ламп $k_{п}$ от U_c



93 лм (11,2 %), 49 лм (6,3 %) и 51 лм (6,4 %). Но это не создаёт дискомфорта в освещении, в отличие от использования ЛЛ PHILIPS TL-D18W/33–640, световой поток которой в момент включения составляет 70 % (809 лм) от номинального, достигаемого через 13 мин.

Результаты измерений электрических и светотехнических характеристик образцов ламп при номинальном напряжении питающей сети

Тип лампы	ASD LED-T8R-STD10W		Smartbuy SBL-T8-10W		VOLPE LED-T8-10W		PHILIPS TL-D18W		
	заявленные	измеренные	заявленные	измеренные	заявленные	измеренные	заявленные	измеренные	
Световой поток, лм	800	754,3	1100	724,3	900	729,5	1200	1156,6	
$T_{\text{цк}}$, К	6500	6491	6400	6260	6500	6362	4000	4037	
R_a	> 80	72	> 80	72	> 80	72	> 63	61	
Чистота цвета		0,077		0,058		0,058			
Доминирующая длина волны, нм		493,6		497,2		494,9			
Координаты цветности	x	0,313	0,3118	0,313	0,3160	0,313	0,3145	0,380	0,3818
	y	0,337	0,3364	0,337	0,3402	0,337	0,3351	0,380	0,3879
	u		0,1945		0,1960		0,1968		
	v		0,4721		0,4747		0,4718		
Мощность, Вт	10	9,5	10	7,9	10	8	18	14,72	
Световая отдача, лм/Вт	80	79,4	110	91,6	90	91,1	67	76,7	
$K_{\text{п}}$, %	< 5	0,8	< 5	0,4	< 5	0,6		8	

Анализ результатов измерений характеристик ламп при номинальном U_c позволяет заключить, что:

– световой поток всех исследованных ламп ниже заявленных значений: ASD LED-T8R-STD10W на 46 лм (5,7 %), Smartbuy SBL-T8-10W на 376 лм (34,1 %), VOLPE LED-T8-10W на 171 лм (18,9 %) и PHILIPS TL-D18W на 44 лм (3,6 %);

– измеренные $T_{\text{цк}}$ СД лампы ASD LED-T8R-STD10W и ЛЛ PHILIPS TL-D18W практически не расходятся с заявленными, а – СД лампы Smartbuy SBL-T8-10W и VOLPE LED-T8-10W отличны от заявленных на 140 К (2,1 %);

– общий индекс цветопередачи R_a всех исследованных СД ламп ниже заявленного (72, а не 80), и чуть ниже заявленного у исследованной ЛЛ;

– $k_{\text{п}}$ всех исследованных СД ламп ниже заявленных 5 %, составляя 0,4–0,8 %.

Анализ результатов измерений зависимости характеристик ламп от U_c показал, что:

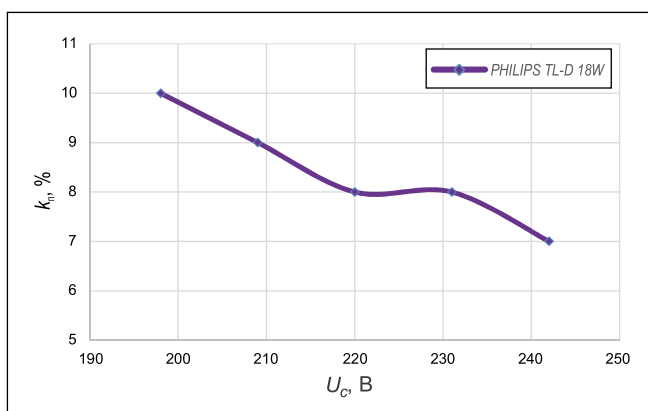
– световой поток ЛЛ PHILIPS TL-D18W уменьшается на 3,3 лм (0,2 %) при снижении U_c на 10 % и увеличивается на 1,6 лм (0,1 %) при повышении U_c на 10 %;

– мощность ЛЛ PHILIPS TL-D18W уменьшается на 1,7 Вт (11,7 %) при снижении U_c на 10 %, и увеличивается на 1,6 Вт (11 %) при повышении U_c на 10 %;

– ток ЛЛ PHILIPS TL-D18W уменьшается на 0,023 А (13,2 %) при снижении U_c на 10 %, и увеличивается на 0,021 А (12,1 %) при повышении U_c на 10 %;

– при изменении U_c в пределах $\pm 10\%$ световой поток, мощность и ток всех СД ламп изменяются в пределах $\pm 0,4\%$.

Рис. 8. Зависимость $k_{\text{п}}$ ЛЛ PHILIPS TL-D18W от U_c



Таким образом, характеристики СД ламп практически не зависят от изменения U_c в пределах $\pm 10\%$.

Анализ результатов измерений $k_{\text{п}}$ показал, что:

– $k_{\text{п}}$ СД ламп *Smartbuy SBL-T8-10W* и *VOLPE LED-T8-10W* при изменении U_c в пределах $\pm 10\%$ практически не меняется, равняясь 0,4 и 0,6 % соответственно;

– $k_{\text{п}}$ СД лампы *ASD LED-T8R-STD10W* при повышении U_c на 10 % остаётся практически неизменным, а при снижении U_c на 10 % незначительно увеличивается (с 0,8 до 0,9 %);

– $k_{\text{п}}$ ЛЛ *PHILIPS TL-D18W* при увеличении U_c на 10 % снижается с 8 до 7 %, а при снижении U_c на 10 % повышается с 8 до 10 %.

На основании проведённых исследований можно дать следующие рекомендации:

– СД лампы типов *ASD LED-T8R-STD10W 230V G13/6500 K 800 lm 600 mm* (РФ), *Smartbuy SBL-T8-10-64K-A* (Тайвань) и *VOLPE LED-T8-10W/DW/G13/FR/FIX/N* (КНР) не могут, согласно ГОСТ [18], быть рекомендованы к использованию в светильниках для освещения помещений административных зданий, детских дошкольных учреждений, учебных заведений, так как их R_a оказался ниже 80 на 10 %;

– СД лампы типов *Smartbuy SBL-T8-10-64K-A* (Тайвань) и *VOLPE LED-T8-10W/DW/G13/FR/FIX/N* (КНР) должны подвергаться входному контролю светового потока, так как у каждой из них он оказался заметно ниже заявленного.

Основной вывод по итогам проведённых исследований состоит в несоответствии действительного светового потока некоторых типов СД ламп заявленному. Так, например, световые потоки СД ламп *Smartbuy SBL-T8-10W* и *VOLPE LED-T8-10W* оказались ниже на 20–30 %³.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аириятв А.А., Кокинов А.М., Микаева С.А.* Исследование линейных светодиодных ламп // Естественные и технические науки.– 2012.– № 6. – С. 338–353.

2. *Байнева И.И., Байнев В.В.* Оптические системы для светодиодов // Фотоника.– 2016.– № 2(56). – С. 84–92.

3. *Железникова О.Е., Амелькина С.А., Сиднишина Л.В.* Об эффективности освещения светодиодами по зрительной работе // Светотехника.– 2018.– № 2. – С. 6–10.

4. *Никуфоров С.Г.* Исследования параметров светодиодов CREEX Lamp XP-E/XP-G/XM-L // Полупроводниковая светотехника.– 2011.– № 2. – С. 12–18.

5. *Коваленко О.Ю., Овчукова С.А., Белов В.В.* Влияние параметров источника излучения на биообъект // Известия Международной академии аграрного образования.– 2016.– № 30. – С. 122–126.

6. *Коваленко О.Ю., Пильщикова Ю.А.* Повышение эффективности и контроль параметров источников излучения и облучательных установок в сельском хозяйстве // Фотоника.– 2017.– № 8(68). – С. 68–73.

7. *Коваленко О.Ю., Пильщикова Ю.А., Аириятв А.А., Амелькина С.А., Кудашкина М.В.* Устройство для облучения птицы / Пат. РФ на ПМ № 147826. 2014. Бюл. № 32.

8. *Kovalenko O.Y., Pilschikova Y.A.* Enhancement of efficiency of irradiation facility for domestic bird husbandry // International Journal of Pharmacy and Technology.– 2016. – Vol. 8, Iss. 2. – P. 14473–14479.

9. *Белых Н., Чуваткина Т., Сыромясов Д.* Энергетическая эффективность светодиодной светотехнической продукции: расчёты и реальность // Полупроводниковая светотехника.– 2014.– № 2. – С. 18–19.

10. URL: <http://www.philips.ru/> (дата обращения: 12.12.2018).

11. URL: <http://asd-electro.ru/> (дата обращения: 12.12.2018).

12. URL: <http://www.smartbuy-russia.ru/> (дата обращения: 12.12.2018).

13. URL: <http://volpe.ru/> (дата обращения: 12.12.2018).

14. ГОСТ Р 55702–2013 «Источники света электрические. Методы измерений электрических и световых параметров».

15. URL: http://fundmetrology.ru/10_tipy_si/11/view.aspx?num=qJbKqJpWgBeM/ (дата обращения: 12.12.2018).

16. ГОСТ Р 54815–2011 «Лампы светодиодные со встроенным устройством управления для общего освещения на напряжениях свыше 50 В».

17. ГОСТ 33393–2015 «Здания и сооружения. Методы измерения коэффициента пульсации освещённости».

18. ГОСТ Р 55710–2013 «Освещение рабочих мест внутри зданий».

³ Осветительные установки с такими СД лампами не обеспечат нужного освещения, и при проектировании установок с учётом действительных световых потоков ламп x потоков необходимо на 20–30 % увеличивать в них число светильников, что, соответственно, даёт такое же повышение капитальных и эксплуатационных затрат, что снижает желаемый эффект от внедрения СД оборудования.



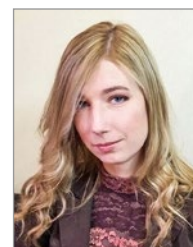
**Нестёркина
Нина Петровна,**
инженер. Окончила в 1975 г. Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва по специальности «Светотехника и источники света».

Заведующий лабораторией, старший преподаватель кафедры источников света Института электроники и светотехники ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва». Область научных интересов: энергосберегающие современные разрядные и светодиодные источники света, светотехнические установки, схемотехника



Коваленко Ольга Юрьевна,
доктор техн. наук, доцент. Окончила в 1983 г. Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва по специальности «Светотехника

и источники света». Профессор кафедры метрологии, стандартизации и сертификации института электроники и светотехники ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва». Область научных интересов: измерение и контроль параметров осветительных и облучательных систем



**Журавлёва
Юлия Алексеевна,**
кандидат техн. наук. Окончила в 2010 г. Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва по специальности «Светотехника

и источники света». Доцент кафедры источников света института электроники и светотехники ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва». Область научных интересов: энергосберегающие светотехнические установки, параметры современных компактных люминесцентных ламп и светодиодных источников света, вакуумная техника

Экспериментальная проверка достоверности различных моделей определения энергоэффективности ОУ в общественных зданиях¹

И.Е. УЙГУН, Т. КАЗАНАСМАЗ¹, С. КАЛЕ

Измирский технический университет, Измир, Турция
Email: tugcekanasmaz@iyte.edu.tr

Аннотация

Целью этого исследования было построение и проверка достоверности модели, получившей название *OptimLUM* (оптимизация расположения светильников), предназначенной для определения наиболее благоприятных местоположений, количества и типа искусственных источников света, обеспечивающих требуемую среднюю освещённость и максимальную равномерность освещённости в офисе. *OptimLUM* реализована при помощи таблицы *Excel* и использует программу *Evolver*, в основе которой лежит генетический алгоритм, позволяющий решить задачу оптимизации. Для проверки надёжности предложенной модели, после проведения измерений освещённости в реальном офисе были сформированы два сценария расположения светильников двух типов, а для проверки применимости предложенной модели значения освещённости, полученные при помощи *OptimLUM*, были статистически сопоставлены с результатами измерений и расчётов в программе *DIALux*. Во всех рассмотренных случаях модель позволила с высокой точностью определить местоположения светильников: значения коэффициента детерминации R^2 и коэффициента вариации CV составили, соответственно, 86–99 % и 0,04–0,12. Эти результаты ближе к результатам измерений, чем результаты расчётов в программе *DIALux*.

Ключевые слова: расположение светильников, оптимизация, офисы, искусственное освещение.

1. Введение

Проектирование освещения рабочих зон представляет собой сложную задачу, включающую в себя много-

численные критерии, в основе которых лежат разнообразные физические и психологические соображения [1]. Людям необходимо обеспечить комфортные и здоровые условия для работы, и при этом они должны работать в энергоэффективных зданиях. Значительная часть энергопотребления офисных зданий приходится на искусственное освещение [2, 3]. Проектирование установок искусственного освещения офисных, равно как и любых других, зданий предполагает учёт количественных и качественных характеристик освещения [4]. Этими характеристиками являются освещённость, равномерность освещённости и расположение светильников. Проектировщики освещения выбирают типы ламп и светильников на основе значений этих характеристик, полученных в результате математического моделирования осветительной установки. В программах, таких как *DIALux*, *Relux* или *Radiance*, используются одновременно и методы расчёта технических характеристик, и архитектурная визуализация. Эти программы хорошо помогают проектировщикам в их работе, позволяя оценить варианты расположения светильников [1, 5, 6]. Однако они не позволяют получить очень точное или оптимальное расположение светильников, не зависящее от конфигурации сетки или без участия пользователя. Нет никакого эффективного механизма поиска, позволяющего подтвердить или отвергнуть возможные решения или выводы проектировщиков, которые потенциально способны обеспечить наилучшую работу осветительной установки. Для этого при помощи практических методов оптимизации, таких как генетические, эвристические, метаэвристические и др. алгоритмы, необходимо предложить оптимальное и альтернативные решения, позволяющие максимизировать

комфорт и минимизировать энергопотребление.

Определению расположения светильников посвящён целый ряд исследований. В [4] был предложен новый метод визуализации и выбора положений светильников, который получил название *Phi-array*. Для расчёта освещённости в контрольных точках сетки авторы использовали программу *Radiance*. Такая же сетка использовалась и применительно к расположению источников света. Моделирующая программа позволила получить значения освещённости как на горизонтальных, так и на вертикальных поверхностях. Эти трёхмерные данные оценивались при помощи генетического алгоритма для процесса оптимизации. Исследователи продолжают разрабатывать и использовать разные методы, проверяя их на предмет надёжности. В [7] был представлен новый метод определения местоположений светильников, обеспечивающий удовлетворительную освещённость и наименьшее энергопотребление. Для решения этой задачи авторы воспользовались обобщённым экстремальным алгоритмом оптимизации (*generalized extremal optimization algorithm*), и этот метод позволяет получить набор вариантов расположения светильников. В ещё одном исследовании был предложен основанный на нечёткой логике регулятор, позволяющий учесть изменения естественного освещения, перемещения пользователей и требования по обеспечению комфортности освещения. Было проведено тестирование этого регулятора посредством измерения освещённости, создаваемой в офисе осветительной установкой [8]. В [9] была представлена новая программа расчёта естественной освещённости внутри зданий. Эта программа, получившая название *INLUX*, была проверена посредством сравнения рассчитанных с её помощью значений освещённости с результатами измерения освещённости в рамках модели с масштабом 1:5. Существует большое количество способов проверки достоверности новых предложений в области освещения, и основной задачей данного исследования является оценка точности осуществляемых в программе *OptimLUM* расчётов внутренней освещённости посредством сравнения результатов расчётов и измерений. При этом применимость и достоверность

¹ Перевод с англ. Е.И. Розовского

модели оптимизации, получившей название *OptimLUM*, были оценены посредством сравнения результатов расчётов, проведённых в этой программе, как с результатами измерений, так и с результатами расчётов в программе *DIALux*. Процесс проверки достоверности включает в себя получение аппроксимирующих прямых на диаграммах рассеяния, позволяющих сравнить измеренные значения освещённости и значения освещённости, рассчитанные при помощи предложенной модели для разных вариантов расположения светильников, и определить тесноту их связи. Были также рассчитаны значения коэффициента детерминации R^2 , среднеквадратического отклонения (*RMSE*) и коэффициента вариации *CV*.

2. Применение предлагаемой модели *OptimLUM*

В этом разделе описан процесс формирования модели оптимизации, обеспечивающей возможность расчёта освещённости и её равномерности с целью получения наилучшего расположения светильников. Описаны формирование пользователем файла данных, содержащего характеристики рассматриваемого помещения и выбранного светильника, и методика проведения расчётов, позволяющая получить оптимальное решение.

2.1. Формирование пользователем файла данных

Процесс проектирования осветительной установки можно упростить за счёт правильного определения местоположений светильников, позволяющего избежать несбалансированное распределение освещённости при выборе для освещаемого пространства подходящего источника света [10]. Пользователь должен занести в таблицы *Excel* основные сведения о светильнике, размерах офиса и его поверхностях. Модель была разработана применительно к *Excel*. Информация об офисе состоит из размеров помещения (высота, ширина и длина) и коэффициентов отражения поверхностей стен, потолка и пола. Для пользователей *OptimLUM* была сформирована база данных о светильниках для офисов, позволяющая без труда выбирать тип светильника. Эта база данных включает в себя световые потоки

и другие фотометрические характеристики светильников разных производителей. Фотометрические данные не только включают в себя пространственное распределение силы света светильника, которая зависит от меридионального (γ) и экваториального (C) углов, но и позволяют рассчитать освещённость.

2.2. Порядок расчёта

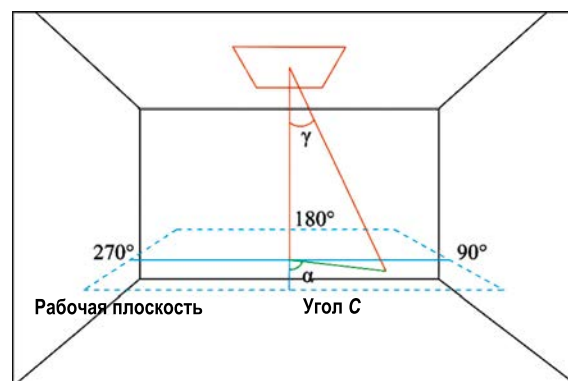
Основным показателем зрительного комфорта является освещённость. Расчёт освещённости можно производить при помощи определённого набора математических операций, описывающих распространение света и позволяющих получить должным образом освещённое пространство. Эти математические расчёты помогают проектировщикам выбрать расположение источников света. Одним из способов проведения расчётов является точечный метод, позволяющий определить освещённость в любой точке рассматриваемой поверхности [11]. Другим показателем является равномерность освещённости, позволяющая оценить изменение освещённости в пределах рассматриваемого пространства. Для облегчения реализации *OptimLUM* при разных размерах помещения и для разных светильников расчётные формулы были запрограммированы на *Visual Basics (VBA)*. Первый этап состоит в формировании на рабочей плоскости и потолке сеток для указания расчётных точек и точек размещения светильников. Координаты этих точек по осям x , y и z определяют посредством расчёта арифметического среднего от длины и ширины помещения. Расчётные точки и точки размещения светильников располагают не ближе чем 0,46 м от поверхностей стен. Для расчётных точек размер ячейки сетки был выбран равным 400

х 600 мм. При проведении расчётов мебель во внимание не принимается, так как в большинстве случаев её расположение не остаётся неизменным. Основное значение для определения равномерности освещённости и средней освещённости имеет освещённость на рабочей плоскости. Так что модель сформирована в приближении пустого офиса. В офисах обычно используют подвесные потолки с размером плиты 600 х 600 мм. По этой причине размер ячейки сетки точек размещения светильников был выбран равным 600 х 600 мм, а архитектурные особенности пространства обусловили выбор встраиваемых модульных светильников. Эти несогласованные сетки использовались для определения вклада в неравномерность освещённости излучаемого под разными углами света светильников. Результатом выполнения этого этапа были значения углов γ и C для линий, соединяющих расчётные точки и точки размещения источников света. При этом C – это угол между расчётной точкой и проекцией источника света на горизонтальную расчётную плоскость, а угол γ измеряется в вертикальной плоскости (рис. 1).

Модель предоставляет возможность изменять размеры сеток и расстояние сеток от стен, так что есть возможность рассмотрения имеющих другие размеры светильников, например, линейных светильников. Местоположение светильника относительно расчётной точки определяется углами γ и C .

На результаты расчёта освещённости точечным методом влияют две составляющие, а именно, прямая и отражённая освещённость. Прямую горизонтальную освещённость, которая формируется в результате непосредственного попадания в рассматриваемую точку излучения источника света, рассчитывают по формуле [12]:

Рис. 1. Углы γ и C между расчётной точкой и точкой расположения источника света



$$E_h = \frac{\left(\frac{\Phi}{1000}\right) X I_{rel} X \cos^3 \alpha}{h^2}, \quad (1)$$

где E_h – прямая горизонтальная освещённость, лк; Φ – полный световой поток светильника, лм; I_{rel} – приведённая сила света светильника в направлении рассматриваемой точки, зависящая от углов γ и C , кд/кЛм; h – вертикальное расстояние между лампой и рассматриваемой точкой, м; α – угол между горизонтальной плоскостью и линией, соединяющей светильник и рассматриваемую точку, град.

Применив эту формулы ко всем расчётным точкам, можно получить полное распределение прямой освещённости в рассматриваемом пространстве.

Отражённую освещённость, которая формируется в результате отражения света от различных поверхностей, рассчитывают по формуле:

$$E_{ind} = \frac{\Phi}{\sum F_n} \times \frac{\rho_{avg}}{1 - \rho_{avg}}, \quad (2)$$

где E_{ind} – отражённая освещённость, лк; Φ – световой поток, излучаемый светильником, лм; $\sum F_n$ – суммарная площадь всех поверхностей помещения, м²; ρ_{avg} – усреднённый по всем поверхностям коэффициент отражения. Значение ρ_{avg} рассчитывают по формуле:

$$\rho_{avg} = \frac{\sum \rho_n F_n}{\sum F_n}, \quad (3)$$

где ρ_n – коэффициент отражения поверхности n ; F_n – площадь поверхности n .

Для понимания различий в освещённости на поверхности большое значение имеет равномерность освещённости. Из-за наложения распределений силы света или провалов в этих распределениях предлагаемые варианты освещения могут привести к образованию на горизонтальной плоскости ярких и тёмных участков. Неравномерное распределение света может привести к возникновению блёскости, когда яркость одного из участков внутреннего пространства помещения оказывается выше средней яркости в помещении [13]. Равномерность

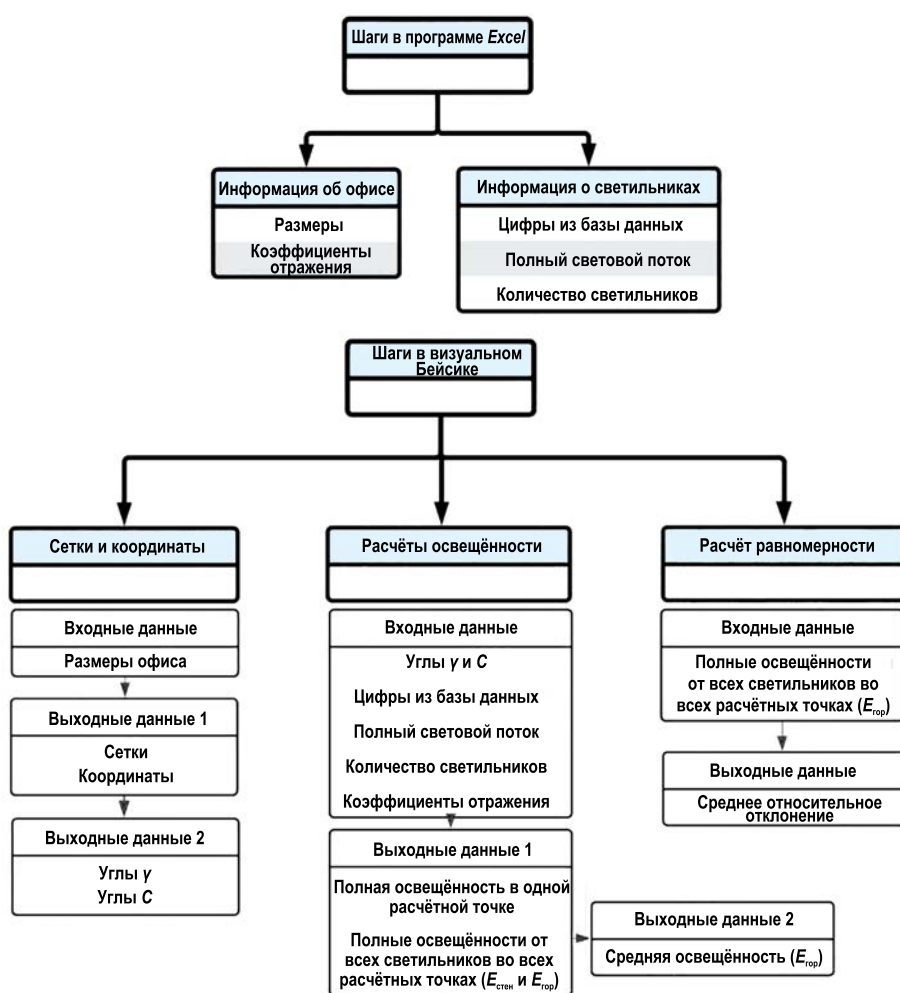


Рис. 2. Блок-схема алгоритма расчёта

освещённости обычно определяют как отношение минимальной освещённости к её среднему значению. При этом это отношение является обобщённым показателем, дающим представление о сбалансированности освещённости. Для оценки колебаний освещённости можно воспользоваться средним относительным отклонением (MRD) значений освещённости в разных точках от средней освещённости в пределах рассматриваемого пространства [12, 14]:

$$MRD = \frac{\sum_{i=1}^N |E_i - E_{avg}|}{N \cdot E_{avg}}, \quad (4)$$

где E_i – освещённость в точке i , E_{avg} – средняя освещённость, N – количество точек.

3. Оптимизация

Оптимизацией называют процесс поиска наиболее приемлемого решения задачи, имеющей большое количество возможных решений. Для оп-

тимизации использовалась программа *EVOLVER6 (ADD-INS for Excel)*, предназначенная для решения нелинейных задач оптимизации с использованием таблиц *Excel* [15]. В программе *Evolver* для получения наилучших решений любых задач принятия решений и планирования используется генетический алгоритм, представляющий собой метод оптимизации, основанный на принципах естественного отбора, а также на *OptQuest Engine*, включающем в себя метаэвристический метод математической оптимизации, и элементах нейронной сети.

Модель оптимизации включает в себя большое количество переменных, выбираемых с учётом многочисленных целевых функций и ограничений. При этом определяют все возможные точки размещения светильников, значения освещённости во всех расчётных точках и равномерность освещённости (MRD), которые используются в качестве основных входных данных модели оптимизации. Основной целью данного исслед-

дования являлось получение наиболее близкой к нулю описываемой формулой (4) равномерности освещённости на рабочей плоскости (0,8 м от уровня пола), что соответствует минимальному разбросу значений освещённости во всех расчётных точках [16]. При этом имеется жёсткое ограничение, состоящее в том, что значения освещённости должны лежать в интервале от 300 до 500 лк [16]:

$$300 \text{ лк} \leq E_{avg} \leq 500 \text{ лк.} \quad (5)$$

Местоположения светильников задаются переменными $(x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2), \dots, (x_n, y_n, z_n)$, а минимизируемой величиной является MRD . Блок-схемы алгоритма расчёта и процесса оптимизации приведены, соответственно, на рис. 2 и 3.

4. Экспериментальная проверка достоверности модели *OptimLUM*

В качестве объекта для проверки точности выходных данных модели, а именно, значений освещённости, было выбрано реальное офисное помещение Измирского технического университета, Турция, имеющее размеры $5,33 \times 3,32 \times 2,9$ м. Коэффициенты отражения стен, пола и потолка были определены при помощи яркомера и приведённой ниже формулы [17]:

$$\rho_s = \rho_{white} \frac{L_{surface}}{L_{white}}, \quad (6)$$

где ρ_s – коэффициент отражения поверхности, ρ_{white} – коэффициент отражения белой поверхности, $L_{surface}$ – яркость рассматриваемой поверхности, L_{white} – яркость белой поверхности. В результате проведённых измерений были получены следующие значения коэффициентов отражения, соответственно, стен (ρ_{wall}), потолка ($\rho_{ceiling}$) и пола (ρ_{floor}): 0,37; 0,60 и 0,27.

Для проверки были выбраны два разных типа светильников: со светодиодами (СД) и с люминесцентными лампами (ЛЛ). Световой поток светильника с СД был равен 3700 лм, тогда как световой поток светильника с ЛЛ был равен 3780 лм. Прогон программы *OptimLUM* был осуществлён дважды после предварительного задания сетки точек размещения светильников и сетки точек измерений.

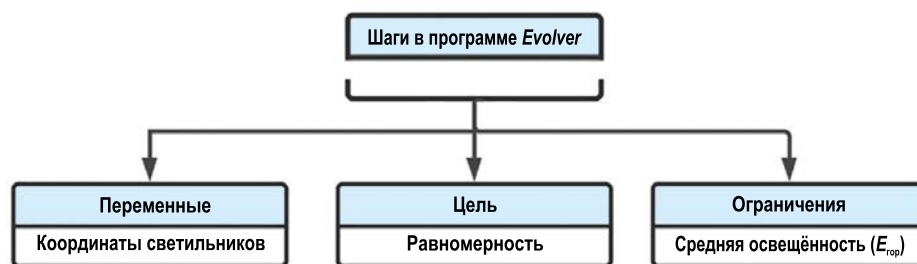


Рис. 3. Блок-схема процесса оптимизации

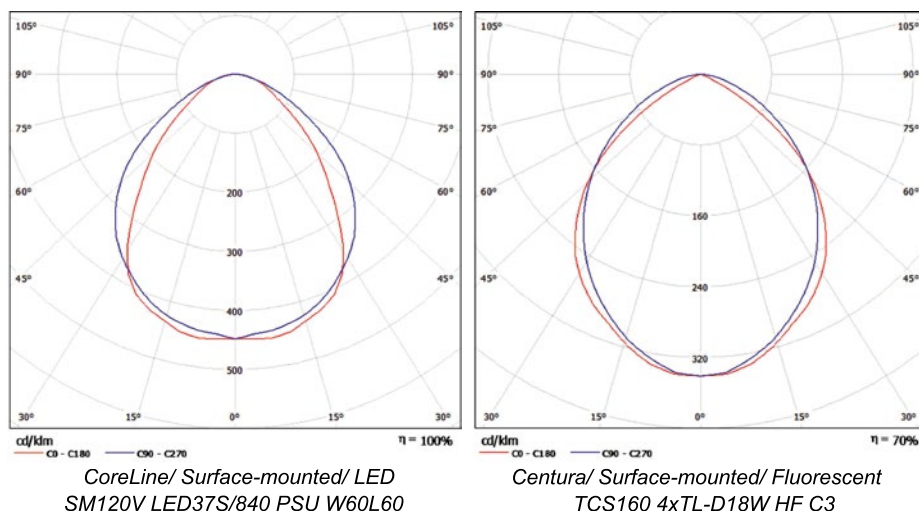


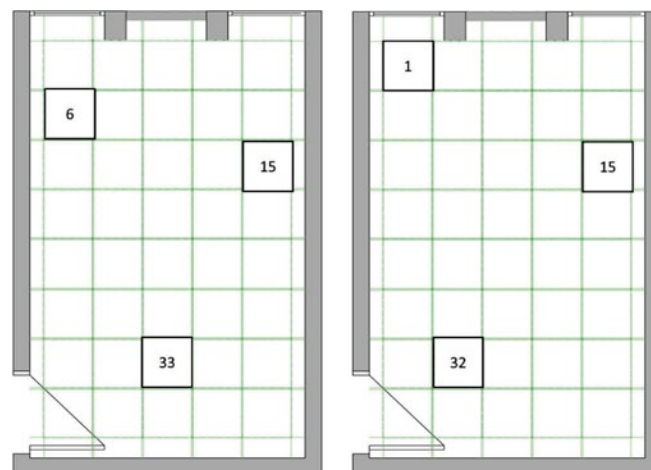
Рис. 4. Листы данных для светильников с СД (слева) и ЛЛ (справа)

Первая сетка, предназначенная для определения местоположений светильников, состояла из 40 отдельных точек, тогда как вторая сетка включала в себя 60 точек, в которых с использованием листов данных для светильников (рис. 4) рассчитывались значения освещённости (друг за другом на каждой итерации).

Местоположение каждого из источников света обозначалось номером, начиная с верхней левой ячейки сетки (№ 1) и заканчивая нижней правой ячейкой сетки (№ 40). Используя совместно эти две сет-

ки, целевые функции и ограничения, *OptimLUM* сформировала 22359 возможных сценариев установки светильников с СД, причём 19626 из них относились к категории «удачные», в которую входили и 2359 лучших сценариев. Для светильников с ЛЛ *OptimLUM* сформировала 22483 возможных сценариев, из которых 11507 из них относились к категории «удачные», включавшую в себя и 9691 лучших сценариев. Время, затрачивавшееся на получение оптимального решения, составило, соответственно, 809 и 814 с. В качестве программы

Рис. 5. Полученное с помощью программы *OptimLUM* расположение светильников с СД (слева) и ЛЛ (справа)



оптимизации для получения решений применительно к светильникам обоих типов использовалась программа *OptQuest Engine*.

Модель позволила выявить два оптимальных расположения светильников при использовании трёх светильников с СД или трёх светильников с ЛЛ, обеспечив при этом минимальное отклонение от равномерности и удовлетворение требований к средней освещённости (рис. 5).

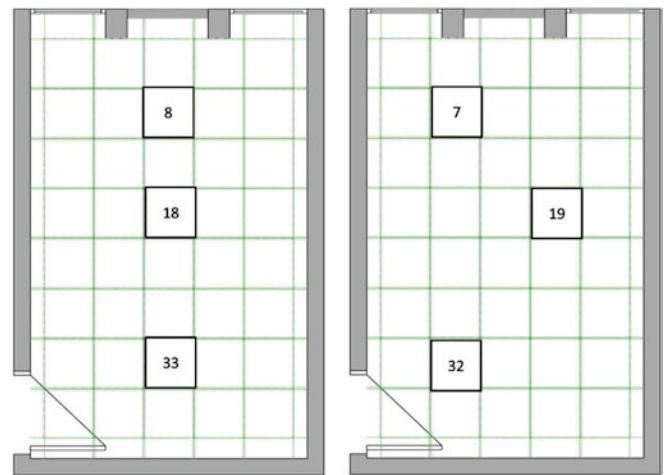
4.1. Проверка правильности алгоритма расчёта

4.1.1. Сценарии расположения светильников для проведения измерений и моделирования (в программе *DIALux*)

Помимо расположений светильников, полученных при помощи *OptimLUM*, для проверки правильности осуществляемых в программе *OptimLUM* расчётов освещённости и оптимизации были предложены ещё два варианта расположений светильников, применительно к которым было проведено сравнение результатов определения освещённости и равномерности освещённости (рис. 6). Один набор из этих трёх расположений был проанализирован применительно к светильникам с СД, а другой – применительно к светильникам с ЛЛ.

Помимо вышеупомянутых вариантов расположения трёх светильников, для определения вклада каждо-

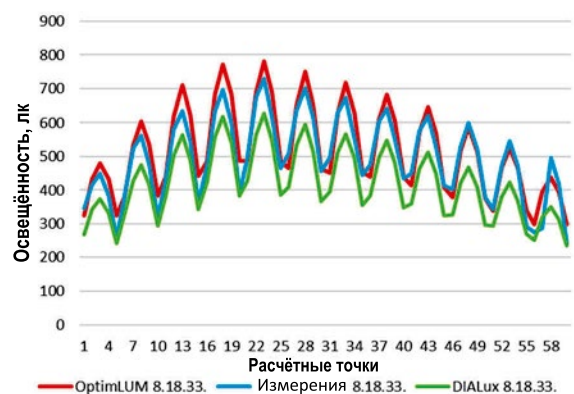
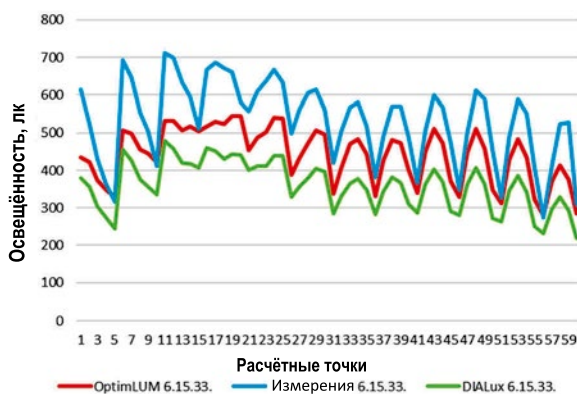
Рис. 6. Альтернативные варианты расположения светильников с СД и ЛЛ: слева – вариант I, справа – вариант II



го из светильников в освещённости в разных точках измерения и проверки правильности использовавшегося в *OptimLUM* алгоритма расчёта освещённости были рассмотрены и схемы расположения одного и двух светильников. На стадии измерений освещённости, создаваемые одним и двумя светильниками на рабочей плоскости (на высоте 0,8 м от уровня пола), определяли при выключенных на время остальных светильниках. По окончании этого процесса 36 конфигураций были смоделированы в программе *DIALux*. Кроме того, значения освещённости были дополнительно рассчитаны и в программе *OptimLUM* (табл. 1). Координаты точек сетки, полученные при помощи программы *OptimLUM*, использовались для фиксации как точек измерения освещённости, так и расчётных точек при проведении моделирования.

4.1.2. Статистическая оценка результатов измерений, моделирования и расчётов в программе *OptimLUM*

Цель проведения измерений освещённости и моделирования в программе *DIALux* состояла в проверке предложенного метода расчёта освещённости и подтверждении правильности определяемого при помощи программы *OptimLUM* расположения светильников посредством сравнения полученных значений освещённости и её равномерности. Сравнение распределений освещённости, полученных применительно ко всем сценариям, проводилось с использованием линейных диаграмм. Было установлено, что результаты расчётов в программе *OptimLUM* ближе к результатам реальных измерений, чем результаты, полученные при помощи про-



СД, расположение <i>OptimLUM</i> (6.15.33)				
	Мин.	Макс.	Средн.	σ
<i>OptimLUM</i>	279,92	545,22	441,72	73,17
Измерения	273,90	713,00	532,55	108,25
<i>DIALux</i>	220,00	480,00	360,63	64,47

СД, вариант I (8.18.33)				
	Мин.	Макс.	Средн.	σ
<i>OptimLUM</i>	297,67	780,40	518,10	128,26
Измерения	241,40	730,00	495,63	120,87
<i>DIALux</i>	234,00	628,00	418,27	101,28

Рис. 7. Распределение освещённости при разном расположении светильников с СД: слева – *OptimLUM*, справа – вариант I (σ – среднеквадратическое отклонение)

Количество сценариев

	Количество светильников	OptimLUM	Вариант I	Вариант II
Светильники с СД	Один	3	2	2
	Два	3	3	2
	Три	1	1	1
Светильники с ЛЛ	Один	2	2	2
	Два	3	3	3
	Три	1	1	1

граммы *DIALux*. Если сравнить минимальные, максимальные и средние значения освещённости и среднеквадратичные отклонения, полученные для светильников с СД применительно к расположениям светильников, соответствующих рассчитанному в программе *OptimLUM* и варианту I (рис. 7), то видно, что результаты расчётов в программе *OptimLUM* несколько превышают результаты, полученные в программе *DIALux*, причём и те, и другие оказались ниже измеренных значений этих параметров. Как следует из рис. 7, в случае рассчитанного в программе *OptimLUM* расположения светильников расхождения между результатами расчётов в программах *OptimLUM* и *DIALux* и результатами измерений оказались несколько большими, чем в случае варианта I. В то же время, в случае светильников с ЛЛ результаты расчётов в программе *OptimLUM* в целом очень хорошо согласуются с результатами измерений.

Подтверждение правильности модели *OptimLUM* осуществлялось при помощи диаграмм рассеяния, на которых проводилось сравнение результатов расчётов в программе *OptimLUM* и экспериментальных данных. Значения коэффициента детерминации R^2 и линейные уравнения регрессии определяли в программе *Excel*. Было установлено, что модель обеспечивает высокую точность расчётов освещённости ($R^2 = 86 \div 99 \%$) (рис. 8–10). Самое высокое значение коэффициента детерминации, равное 99 %, наблюдалось в случае, когда расположение одного светильника было рассчитано при помощи программы *OptimLUM*. (рис. 8). Среднеквадратическое отклонение (*RMSE*), служащее мерой различий между выходными данными, рассчитывают по формуле:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^N (o_t - m_t)^2}{N}}, \quad (8)$$

где o_t и m_t – рассчитанное при помощи программы *OptimLUM* и, соответственно, измеренное значения освещённости в расчётной точке t , N – количество расчётных точек. Вообще-то, величина среднеквадратического отклонения изменяется в пределах от 17,88 до 102,90 лк. Наименьшие, лежащие в пределах от 17,88 до 18,40 лк, значения *RMSE* также имели место в случае одного светильника, местоположение которого было определено при помощи программы *OptimLUM*. Хотя все полученные при помощи модели результаты согласуются с результатами измерений с очень большим значением коэффициента детерминации, наилучший, с минимальным значением *RMSE*, результат был получен применительно к варианту с одним светильником. Ещё одним статистическим показателем погрешности, позволяющим оценить надёжность полученных результатов, служит нормализованная среднеквадратическая погрешность (*NRMSE*), которую можно рассчитать по формуле

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{t=1}^N (o_t - m_t)^2}{N}}}{o_{max} - o_{min}}, \quad (9)$$

где o_{max} и o_{min} – максимальное и, соответственно, минимальное значения освещённости, рассчитанной в программе *OptimLUM*. Полученные применительно ко всем конфигурациям низкие значения *NRMSE* (0,04 ÷ 0,08) говорят о достоверности *OptimLUM* (рис. 5–8).

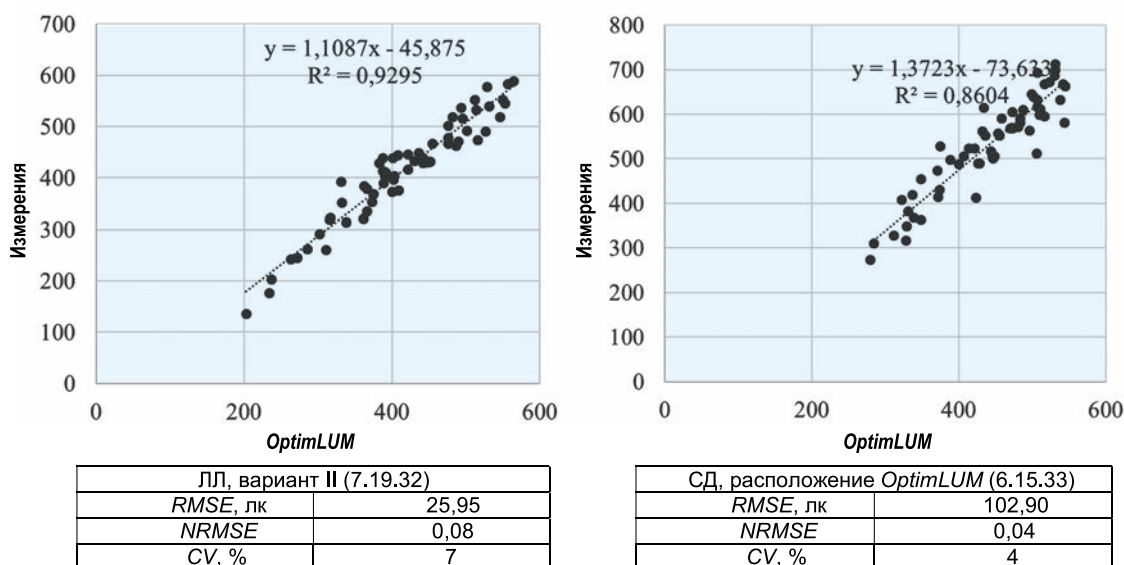


Рис. 8. Статистический анализ варианта II расположения светильников с ЛЛ и расположения *OptimLUM* светильников с СД

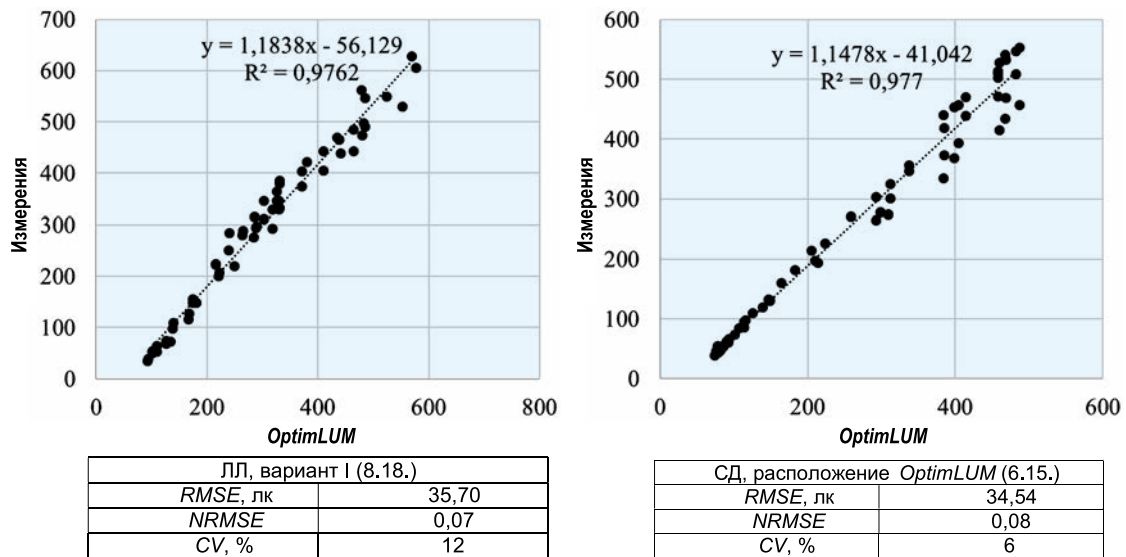


Рис. 9. Статистический анализ варианта I расположения двух светильников с ЛЛ и расположения OptimLUM двух светильников с СД

Коэффициент вариации среднеквадратического отклонения CV является ещё одним статистическим показателем, позволяющим оценить правильность модели оптимизации. Этот показатель рассчитывают по формуле

$$CV = \frac{RMSE}{\bar{m}} \cdot 100, \quad (10)$$

где \bar{m} – выборочное среднее из результатов измерения освещённости. Чем ближе CV к 0 %, тем значения освещённости, рассчитанные в программе OptimLUM, ближе к измеренным значениям освещённости. Тот факт, что для всех сценариев CV лежит в интервале от 4 до 12 %, свидетельствует о надёжности предложенной модели (рис. 6–8).

4.2. Проверка правильности процесса оптимизации

Модель была сформирована в целях оптимизации равномерного освещения с учётом содержащихся в стандартах требований к средней освещённости [16]. Сравнение альтернативных вариантов расположения светильников и расположения, полученного при помощи программы OptimLUM, показало, что последнее обеспечивает близкие к нормируемым значения средней освещённости (300–500 лк), тогда как в случае варианта I расположения светильников с СД это оказалось не так. Что же касается равномерности, то в случае полученного при помощи программы OptimLUM расположения светильников она также оказа-

лась более хорошей для светильников обоих типов: $MRD = 0,13$, а величина E_{min}/E_{avg} оказалась равной 0,63, что выше, чем в других вариантах, и близко к равному 0,8 опорному значению равномерности [16] (табл. 2).

5. Заключение

В статье описаны процессы разработки и подтверждения правильности новой модели оптимизации, получившей название OptimLUM и предназначенной для определения оптимального энергоэффективного расположения светильников, обеспечивающего выполнение требований к зрительному комфорту. Обеспечение энергоэффективности основано на использовании минимального количества располо-

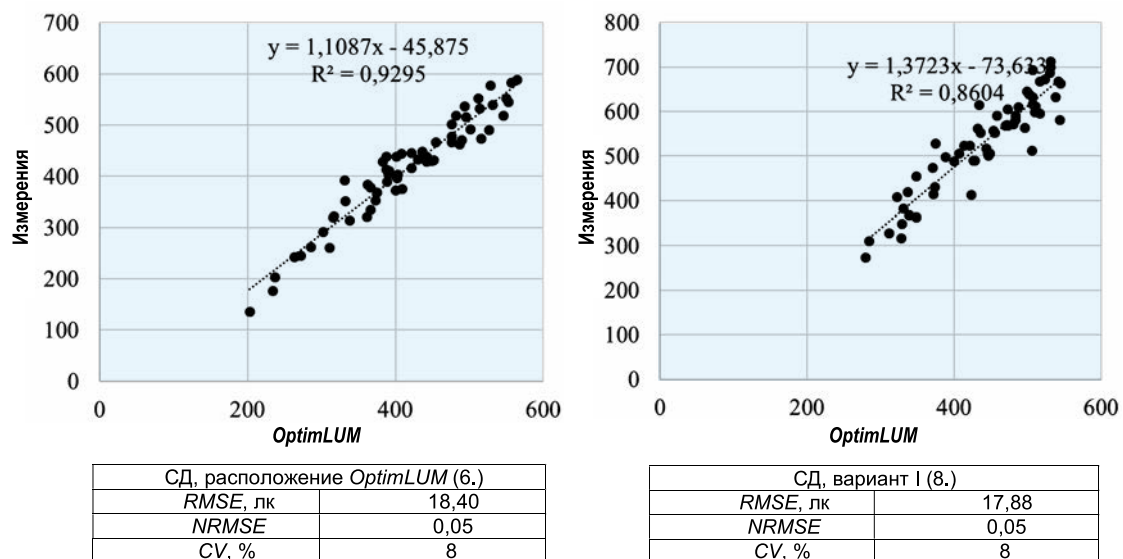


Рис. 10. Статистический анализ варианта I расположения одного светильника с СД и расположения OptimLUM одного светильника с СД

Таблица 2

Результаты расчётов E_{avg} и двух показателей равномерности, проведённых для расположения, полученного при помощи *OptimLUM*, и вариантов I и II применительно к светильникам с СД и ЛЛ

		<i>OptimLUM</i>	Вариант I	Вариант II
Светильники с СД	E_{avg} , лк	441,72	518,09	491,21
	$U (MRD)$	0,13	0,21	0,17
	$U (E_{min}/ E_{avg})$	0,63	0,57	0,45
Светильники с ЛЛ	E_{avg} , лк	327,83	407,24	387,89
	$U (MRD)$	0,13	0,21	0,17
	$U (E_{min}/ E_{avg})$	0,52	0,58	0,49

женных наилучшим образом светильников, а не светильников, расположенных в узлах сетки или симметрично, как это принято в программе *DIALux*. Предложенный инструмент отражает новый альтернативный подход к использованию моделей оптимизации в области архитектурного освещения. Полученная быстродействующая, эффективная и динамическая модель может оказаться полезной на ранних стадиях проектирования.

Достоверность новой модели была проверена посредством сравнения измеренных в реальных условиях значений освещённости с её расчётными значениями. При этом были рассмотрены два типа светильников – с СД и с ЛЛ. Помимо расположений этих светильников, которые были определены при помощи программы *OptimLUM*, были рассмотрены и другие варианты расположения светильников, в том числе одного или двух. Анализ распределений освещённости, полученных для всех вариантов, показал, что результаты расчётов в программе *OptimLUM* согласуются с экспериментальными данными лучше, чем результаты расчётов в программе *DIALux*. Результаты моделирования с большой точностью совпадают с результатами измерений. Подтверждённая правильность модели *OptimLUM* позволяет утверждать, что эта модель окажется полезной для архитекторов и проектировщиков освещения при определении правильного расположения светильников, позволяющего избежать неравномерного распределения освещённости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shikder, S. H., Mourshed, M. M., Price, A. D.F. Luminaire position optimisation using radiance based simulation: a test case of a senior

living room // Proc. of the Int. Conf. on Computing in Civil and Building Engineering, 2010.

2. Erkin, E., Onaygil, S. An approach for calculating lighting energy saving potentials in the office buildings on the basis of LENO data // Light and Engineering.– 2014. – Vol. 22, No. 3. – P. 37–46.

3. Онайгил С., Эркин Э. Новый подход к расчёту экономии энергии для освещения офисных зданий // Светотехника.– 2015.– № 2. – С. 30–38.

4. Mourshed, M., Shikder, S., Price, A. D.F. Phi-array: A novel method for fitness visualization and decision making in evolutionary design optimization // Advanced Engineering Informatics.– 2011. – Vol. 25, No. 4. – P. 676–687.

5. Zheltov, V.S., Budak, V.P. Mathematical simulation of lighting installations using a computer // Light and Engineering.– 2017. – Vol. 25, No. 2. – P. 113–120.

6. Будак В.П., Желтов В.С. Современное состояние и перспективы развития компьютерных методов моделирования осветительных установок // Светотехника.– 2017.– № 1. – С. 18–23.

7. Cassol, F., Schneider, P. S., França, F. H. R., Silva Neto, A.J. Multi-objective optimization as a new approach to illumination design of interior spaces // Building and Environment.– 2011. – Vol. 46, No. 2. – P. 331–338.

8. Liu, J., Zhang, W., Chu, X., Liu, Y. Fuzzy logic controller for energy savings in a smart LED lighting system considering lighting comfort and daylight // Energy and Buildings.– 2016. – Vol. 127. – P. 95–104.

9. De Rosa, A., Ferraro, V., Igawa, N., Kalliakatos, D., Marinelli, V. INLUX: A calculation code for daylight illuminance predictions inside buildings and its experimental validation // Building and Environment.– 2009. – Vol. 44, No. 8. – P. 1769–1775.

10. Rocha, H., Peretta, I. S., Lima, G. F. M., Marques, L. G., Yamanaka, K. Exterior lighting computer-automated design based on multi-criteria parallel evolutionary algorithm: Optimized designs for illumination quality and energy efficiency // Expert Systems with Applications.– 2016. – Vol. 45, No. 3. – P. 208–222.

11. IESNA (Illuminating Engineering Society of North America IESNA), Lighting handbook reference & application., 2000.

12. Congradac, V., Milosavljevic, B., Velickovic, J., Prebiracevic, B. Control of the lighting system using a genetic algorithm // Thermal Science.– 2012. – Vol. 16, No. 1. – P. 237–250.

13. CIBSE (Chartered Institution of Building Services Engineers). Code for lighting. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002.

14. Ferentinos, K. P., Albright, L.D. Optimal design of plant lighting system by genetic algorithms // Engineering Applications of Artificial Intelligence.– 2005. – Vol. 18, No. 4. – P. 473–484.

15. Palisade Corporation, Evolver. 2013.

16. CIBSE (Chartered Institution of Building Services Engineers), Office Lighting Guide LG7, Society of Light and Lighting, London, 2005.

17. Fontoynton, M., Berrutto, V. Daylighting performance of buildings: monitoring procedure // Right Light.– 1997. – Vol. 2, No. 4. – P. 119–127.



Илknур Ерлалитепе Уйgun (Ilknur Erlalitepe Uygun), M. Sc.

(2012 г.). Аспирант (Ph.D.) и ассистент кафедры архитектуры Измирского технического ин-

ститута. Область научных интересов: энергоэффективность, архитектурная подсветка и оптимизация



Туğче Казанмаз (Tuğçe Kazanmaz), Ph.D.,

профессор. Профессор кафедры архитектуры Измирского технического института. Имеет 18-летний опыт преподавательской

работы в области архитектурной подсветки, физики зданий и энергоэффективного проектирования



Сердар Кале (Serdar Kale),

Ph.D., профессор. Окончил Университет Хериота-Уатта, Эдинбург, Шотландия (1994 г.). Профессор кафедры архитектуры Измирского техниче-

ского института. Область научных интересов: управление строительством, научно-техническим развитием и инновациями и оценка эффективности

Особенности конструкции ксеноновых ламп СВД с сапфировой оболочкой

С. В. ГАВРИШ

Филиал АО «Стелла – К», Москва
E-mail: svgavr@list.ru

Аннотация

В данной публикации рассмотрены основные результаты разработки первого отечественного образца ксеноновой газоразрядной лампы СВД с сапфировой оболочкой. В статье предложен способ контроля тепловых полей полупрозрачных материалов и исследовано распределение температур кварцевых и сапфировых оболочек газоразрядных ламп СВД. Изучена механическая прочность сапфировых труб в зависимости от температуры, выполнен расчёт толщины стенки разрядной оболочки и рассмотрены особенности конструкции ксеноновой лампы СВД с сапфировой оболочкой.

Ключевые слова: газоразрядная лампа, разряд СВД, кварцевая и сапфировая оболочка, ксенон, механическая прочность, распределение температуры, тепловое поле колбы.

1. Введение

В настоящее время ксеноновые лампы сверхвысокого давления в кварцевой шаровой колбе, несмотря на бурно развивающийся рынок различных источников света (МГЛ, люминесцентные амальгамные лампы, светодиоды и т.д.), остаются незаменимыми в узконаправленных прожекторах различного назначения [1]. Другая особенность этих источников света (короткодуговых ламп) заключается в том, что с момента появления первых, ставших классическими, работ Н.А. Капцова, Д.А. Гоухберга, Г.Н. Рохлина, Р.Е. Ровинского и др. [2–4], посвящённых данному классу ламп, их конструктивное исполнение практически не изменилось (рис. 1). По-прежнему лампы СВД имеют шаровую (эллиптическую) оболочку, выполненную из кварцевого стекла с различной степенью прозрачности (легирования), токовые вводы в виде молибденовой фольги цилиндрической или плоской конфигурации и т.д. Недостатками описанной конструкции

являются большие габаритные размеры, определяющие в итоге размеры прожектора, низкая механическая прочность, связанная с напряжениями в зоне соединения шаровой колбы с электродным узлом, спектральный диапазон излучения лампы до 4,2 мкм, определяемый областью прозрачности кварца, сложность конструкции и технологии изготовления, обусловленная необходимостью точной юстировки острия катода к базовой поверхности цоколя. Поэтому поиск новых технических решений, позволяющих исключить указанные недостатки, является актуальной задачей.

2. Предпосылки создания газоразрядных ламп с сапфировой оболочкой

Начавшийся в 70-х годах прошлого века серийный выпуск натриевых ламп высокого давления и поиск новых материалов для повышения их эффективности способствовали развитию предложенного А.В. Степановым метода направленной кристаллизации труб из монокристаллической окиси алюминия (сапфира, корунда) [5]. Это было оправдано, потому что корунд обладает уникальными свойствами: высокая оптическая прозрачность (до 96 %) в спектральном диапазоне до 6 мкм, механическая прочность, химическая стойкость к парам щелочных металлов и т.д. На начальном этапе использование сапфировых труб в конструкции газоразряд-

ных ламп было экономически невыгодно, что обусловлено сложностью механизма выращивания кристаллов, высокой энергоёмкостью процесса, низким качеством обработки сапфира (шлифовка, полировка), отсутствием беспримесного сырья и методов его подготовки. В начале 90-х годов перечисленные проблемы были практически решены, сапфировые трубы промышленно выращивались групповым способом, что удешевило эти изделия, и одновременно начались интенсивные разработки газоразрядных ламп с плазмообразующими средами на основе щелочных металлов [6]. Поэтому сложившаяся ситуация и полученные результаты успешного применения сапфира обусловили необходимость разработки ламп СВД в корундовой оболочке.

Материал оболочек любой газоразрядной лампы должен удовлетворять следующим требованиям: оптическая прозрачность в широком спектральном диапазоне, устойчивость к рабочим температурам и давлению наполнения, отсутствие газовой выделенности, химическая стойкость к компонентам плазмообразующей среды, механическая прочность и т.д. [2, 4]. Столь широкий спектр ограничений обусловлен двусторонним энергетическим воздействием на оболочку. Из плазмы это выходящее излучение и энергия, передаваемая теплопроводностью, заряженными частицами, ударными волнами, а снаружи возвращённое излучение от светоформирующей оптической системы или от других ламп (в случае многоламповых систем), внешние воздействующие факторы (рентгеновское, нейтронное излучение и т.д.), химическое взаимодействие с окружающей средой и т.д. В случае газоразрядных ламп СВД колба должна дополнительно обеспечивать механическую прочность при воздействии внутренних давле-



Рис. 1. Конструктивное исполнение ксеноновых ламп СВД с шаровой кварцевой и цилиндрической сапфировой оболочками

Конструктивные и электрические характеристики ламп типа ДКсШ-150 и ДКсШ-500

Тип лампы	Конструктивные параметры				Электрические характеристики				
	d_1^* , мм	d_2^* , мм	$l_{м.э.}$, мм	$p_{Хе}$, МПа	P_n , Вт	U_p , В	I_p , А	$j_{ан.}$, А/см ²	$P_{уд.}$, Вт/см ²
ДКсШ-150	20	14	2,5	2,0	154	18,8	8,4	60,0	25,0
ДКсШ-500	30	26	1,3	1,2	514	13,6	38	54,3	24,2

* – d_1 и d_2 – внешний и внутренний диаметр шаровой колбы, соответственно

ний наполнения до 50 атм при рабочих температурах лампы. Отсюда при конструировании оболочки РЛ СВД с сапфировой оболочкой возникают три актуальных задачи:

1. Разработка методики и измерение распределения температуры кварцевой колбы ($T_{об}$) ксеноновой лампы при различных удельных электрических нагрузках для прогнозирования тепловых полей источника света с сапфировой оболочкой;

2. Изучение зависимости механической прочности сапфировых труб от структурного совершенства кристаллов и температуры.

3. Оценка размеров сапфировой колбы и разработка технологии изготовления лампы СВД с сапфировой оболочкой.

3. Исследования продольного распределения температуры шаровой кварцевой оболочки газоразрядной ксеноновой лампы СВД

3.1. Методика исследования

В силу простоты и широкого диапазона измеряемых температур при исследованиях теплового состояния колб разрядных ламп наибольшее распространение получил термопарный способ [4, 7]. Однако в этом случае измерение $T_{об}$ имеет ряд существенных особенностей, которые необходимо учитывать при выборе конструкции термопары и оценке погрешности измерения температуры. Во-первых, измеряются температуры поверхности, как правило, тонкостенных оболочек, имеющих коэффициент теплопроводности χ примерно на два порядка ниже, чем χ материала термоэлектродов. Во-вторых, оболочки, на поверхности которых измеряется температура, прозрачны, и на термопару воздействует лучистый поток, выходящий из разряда.

Исключить указанные недостатки позволяют методы пирометрии (термографии) [8]. В связи с объёмным характером излучения полупрозрачных кристаллов кварца и сапфира к ним неприменимы стандартные методы термографии. Поэтому для измерения температуры разрабатываются специальные пирометры частичного излучения, работающие за границей пропускания исследуемого объекта [8, 9]. С ростом температуры от комнатной до рабочих значений лампы интервал непрозрачности материала оболочки в диапазоне длин волн $\Delta\lambda$, который можно использовать для пирометрии, меняется. Например, у сапфира при нагреве наблюдается незначительное смещение $\Delta\lambda$ в коротковолновую область спектра инфракрасной границы пропускания [9].

Коротковолновое поглощение (УФ диапазон) кварца или корунда, где величина коэффициента поглощения достигает 10^3 – 10^4 см⁻¹, является результатом взаимодействия электромагнитной волны с электронами кристаллической решётки. Положение длинноволнового края этого поглощения определяется примесями, имеющимися в структуре материала [8, 9]. Поэтому коэффициент поглощения может существенно меняться при незначительной вариации концентрации дефектов и в связи с этим не представляет интереса для пирометрии.

Наиболее интересна коротковолновая граница первой колебательной полосы поглощения кварца и корунда. В этой области k_λ полупрозрачных материалов может достигать $k_\lambda = 10^2$ – 10^3 см⁻¹, а излучательная способность приближается к единице. Например, по данным работы [8], для корунда при температуре 2000 К в спектральном диапазоне 6–10 мкм 95 % энергии излучается приповерхностным слоем толщиной всего 0,65 мм, что при традиционных толщинах оболочек разрядных ламп (1,5–3,5 мм)

позволяет судить о температуре поверхности разрядной трубки. В связи с малым значением коэффициента отражения k , в этой области на результаты измерений его влияние незначительно. Следовательно, если на приёмник попадает излучение из этой части области непрозрачности сапфира, то сигнал приёмника будет однозначно связан с температурой поверхности оболочки из этого материала.

3.2. Экспериментальное изучение распределения температуры поверхности шаровой колбы газоразрядной лампы СВД

В наших экспериментах по определению температурных полей сапфировых оболочек была использована тепловизионная система SDS *HotFind-LXT*, построенная на использовании многоэлементных приёмников излучения, т.е. матриц, число элементов которых позволяет сформировать телевизионный кадр с хорошим пространственным разрешением. У этого пирометра рабочий спектральный диапазон составляет 7,5–14 мкм, и он позволяет измерять температуру в диапазоне от –20 °С до +1500 °С.

Исследования температурных полей ксеноновых ламп СВД с шаровой кварцевой колбой проводились с конструктивными и электрическими характеристиками, приведёнными в табл. 1.

Измерение температуры колбы производилось через 10 минут после достижения номинальной электрической мощности лампы. В результате такого прогрева распределение температуры вдоль оболочки стабилизировалось и принимало вид, приведённый на рис. 2–3. Для наглядности полученных температурных профилей кварцевой шаровой колбы на указанных рисунках представлены фотографии с монитора тепловизора. При из-

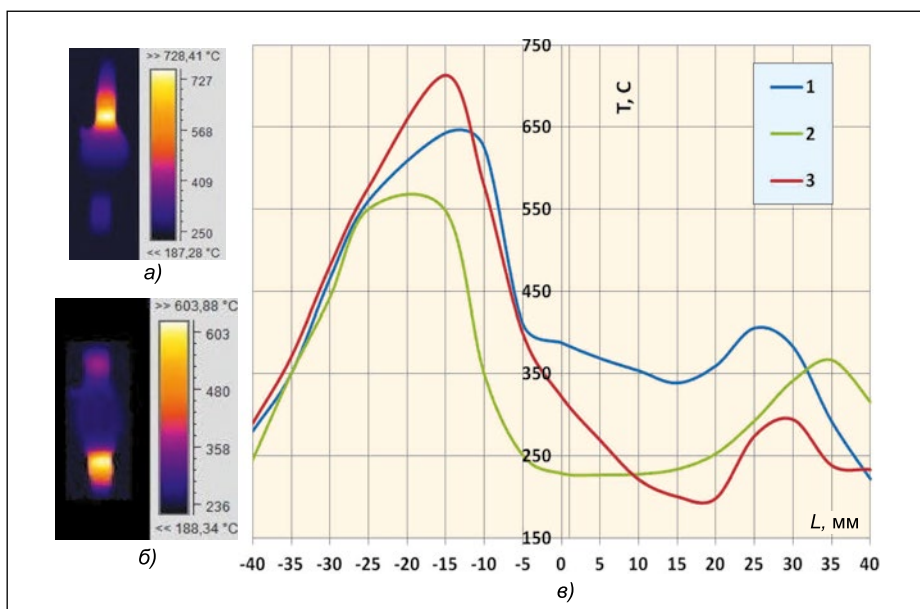


Рис. 2. Фото температурных полей ксеноновой лампы ДКсШ-150 при вертикальном рабочем положении анодом (а) и катодом (б) вверху и продольное распределение температуры колбы (в) при работе лампы в горизонтальном (1) и вертикальном положениях с катодом (2) и анодом (3) вверху

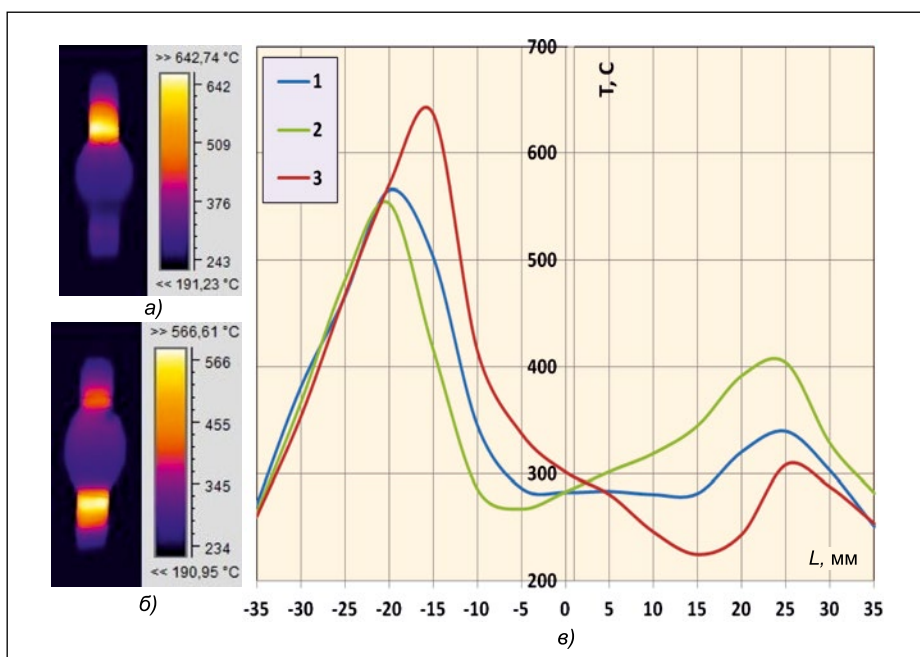


Рис. 3. Фото температурных полей ксеноновой лампы ДКсШ-500 при вертикальном рабочем положении анодом (а) и катодом (б) вверху и продольное распределение температуры колбы (в) при работе лампы в горизонтальном (1) и вертикальном положениях с катодом (2) и анодом (3) вверху

мерениях в качестве нулевой точки отсчёта расстояния вдоль колбы для кривых рис. 2–3 принималось расположение катодного пятна.

Из полученных данных следует, что ход температурных кривых исследуемых ламп идентичен. Наблюдается расхождение в $T_{об}$ двух ламп в плоскости, проходящей через катодное пятно перпендикулярно оси лампы. Данное явление связано с различием в межэ-

лектродном расстоянии $l_{м.э.}$, обеспечивающем в случае ДКсШ-150 большие потери разряда излучением на колбу. Важной особенностью полученных результатов является наличие высоких продольных градиентов температур лампы, обусловленных высокими потерями мощности теплопроводностью ксенона и воздействием излучения нагретого анода на близко прилегающую часть шаровой колбы [2–4].

Как следует из табл. 1, удельная электрическая нагрузка на единицу внутренней поверхности шаровой колбы одинакова и плотности тока $j_{ан}$ на аноде соизмеримы, поэтому температуры поверхности колбы в анодной зоне обеих ламп близки и не превышают 700°C . Минимальная температура шаровой оболочки наблюдается на удалении 15–20 мм от острия катода и находится в диапазоне 180–350 $^{\circ}\text{C}$ в зависимости от типа лампы и её рабочего положения в пространстве. Указанный диапазон температур связан с конвекцией ксенона при изменении положения лампы.

Таким образом, при конструировании ксеноновой лампы СВД мощностью до 500 Вт с сапфировой колбой необходимо учесть, что оболочка лампы должна обеспечивать механическую прочность в условиях давлений до 50 атм при рабочих температурах до 700°C .

4. Создание ксеноновых газоразрядных ламп с сапфировой оболочкой

Использование сапфира в качестве оболочки газоразрядной лампы – новая задача, поэтому для её решения требуется изучение зависимости прочностных свойств этого материала от структурного совершенства монокристалла и условий эксплуатации прибора, прежде всего – его рабочей температуры.

4.1. Исследования механической прочности сапфировых труб

Механическая прочность труб из монокристаллического бесцветного корунда, выращенного по методу Степанова, зависит от структурного совершенства кристалла [4, 9, 10]. Подробный анализ дефектов в сапфировых трубах проведён в статье [10]. В этой публикации автором показано, что основным фактором, определяющим механическую прочность, является наличие большого числа разориентированных кристаллических областей макроскопических размеров (блоков). Границы блоков являются местом скопления внутренних напряжений, величина которых определяется углом разориентации макроразностей и температурным состоянием кристалла. Часть напряжений снимается равномерным отжигом выращен-

Конструктивные и электрические характеристики лампы СПКс-500

Конструктивные параметры				Электрические характеристики				
d_1^* , мм	d_2^* , мм	$l_{м.э.}$, мм	$p_{Хе}$, МПа	P_n , Вт	U_n , В	I_n , А	$j_{ан.}$, А/см ²	$P_{уд.}$, Вт/см ²
20	15,5	1,3	1,2	514	13,6	38	30,4	26,5

* – d_1 и d_2 – внешний и внутренний диаметр цилиндрической сапфировой колбы, соответственно

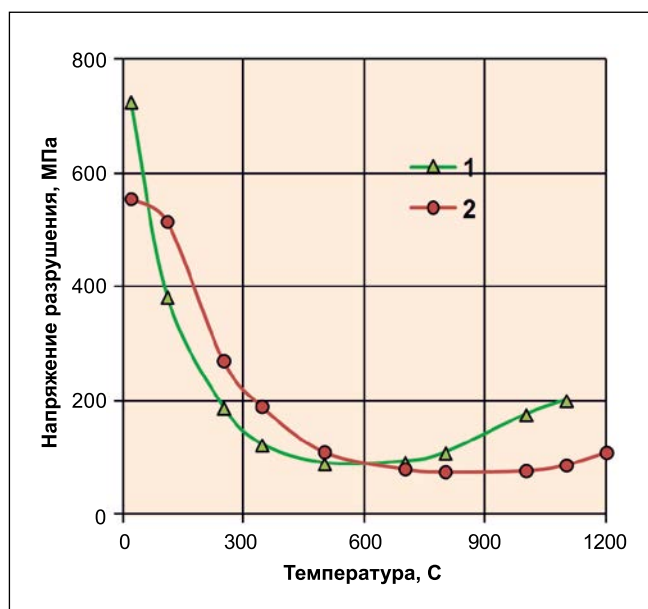


Рис. 4. Температурная зависимость предельного напряжения разрушения корундовых труб, выращенных в кристаллографических направлениях: 1 – [0001]; 2 – [1012].

ного корунда. Однако наличие большого градиента температуры в стенке сапфировой оболочки лампы неизбежно приведёт к росту внутренних напряжений и разрушению монокристалла. Понятно, что чем больше число блоков и выше температурный градиент, тем меньше механическая прочность сапфировой трубы [4, 10].

Прочность корунда, как и других хрупких материалов, зависит от многих факторов: скорости испытания, температуры, качества поверхности образца, среды, различной ориентации кристалла по отношению к прикладываемой нагрузке. Принцип действия устройства для разрушения трубчатых образцов, которое предложено в [10], заключается в том, что используется пластичная составная среда, позволяющая надёжно и просто герметизировать определённый объём образца, обеспечивая при этом равномерное и всестороннее нагружение внутренних стенок сапфировой трубы. Так как при испытании образцов на данном устройстве нагрузка приложена на внутреннюю поверхность трубки равномерно в радиальном направлении в средней части 1/3 длины образца, краевым эффектом можно

пренебречь. Торцы испытуемых труб подвергались шлифовке только для обеспечения прямолинейности.

Величину прочности, т.е. тангенциальное напряжение разрыва стенок трубчатого образца σ_p рассчитывали по формуле [10]:

$$\sigma_p = \frac{F}{\pi \times R_1^2} \times \frac{(R_2^2 + R_1^2)}{(R_2^2 - R_1^2)} \quad (1)$$

где F – усилие; R_1 – внутренний диаметр; R_2 – наружный диаметр. Точность измерения, обеспечиваемая методикой, – 5 кг/мм².

На рис. 4 представлена экспериментально полученная температурная зависимость механической прочности безблочных труб с толщиной стенки 1,4 мм, выращенных по методу Степанова, с кристаллографической ориентацией [0001] (кривая 1) и [1012] (кривая 2) в интервале температур 200–1100 °С. Повышение температуры производилось со скоростью 10 град/мин и контролировалось термопарой. Силовое нагружение образца происходило в течение 5–10 секунд. После разрушения по формуле (1) подсчитывались предельные на-

пряжения прочности и производилось усреднение.

Несовпадение минимума прочности на кривых связано с тем, что разрушение проводилось в разных кристаллографических плоскостях. Несмотря на некоторое различие в показателях механической прочности, ход кривых идентичен. Из рис. 4 видно, что в температурном интервале (400–700 °С) имеется явно выраженный минимум прочности. Наличие спада разрушающего напряжения от температуры свойственно многим хрупким материалам и связано с наличием в последнем перенапряжённых участков, характеризующихся коэффициентом $n = \sigma_e / \sigma_{ср}$, где $\sigma_{ср} = P/S$ (P – сила, S – площадь сечения образца) – распределённые по объёму локальные перенапряжения, которые зависят от микроструктуры образца.

Причины аномальной зависимости прочности от температуры объясняются наложением процессов деформации и разрушения. На низкотемпературном участке деформационные процессы замедлены, коэффициент перенапряжения велик и почти постоянен. Повышение температуры до 800 °С ускоряет деформацию, за время испытания локальные напряжения успевают снизиться, а с повышением температуры коэффициент n резко падает, поэтому с ростом температуры σ_p также растёт. Следовательно, на температурно-силовую зависимость сапфировой трубы в первую очередь влияет коэффициент локальных перенапряжений. Влияние разориентации блоков до 25° и напряжений до 16 кг/мм² не обнаружено.

Приведённые выше результаты относятся только к механической прочности сапфировых труб. В то же время для конструктора разрядных источников высокоинтенсивного излучения различного назначения будут важны дополнительные требования, полученные авторами в [5, 9–12]. В части кристаллографических свойств сапфировые трубы не должны иметь откло-

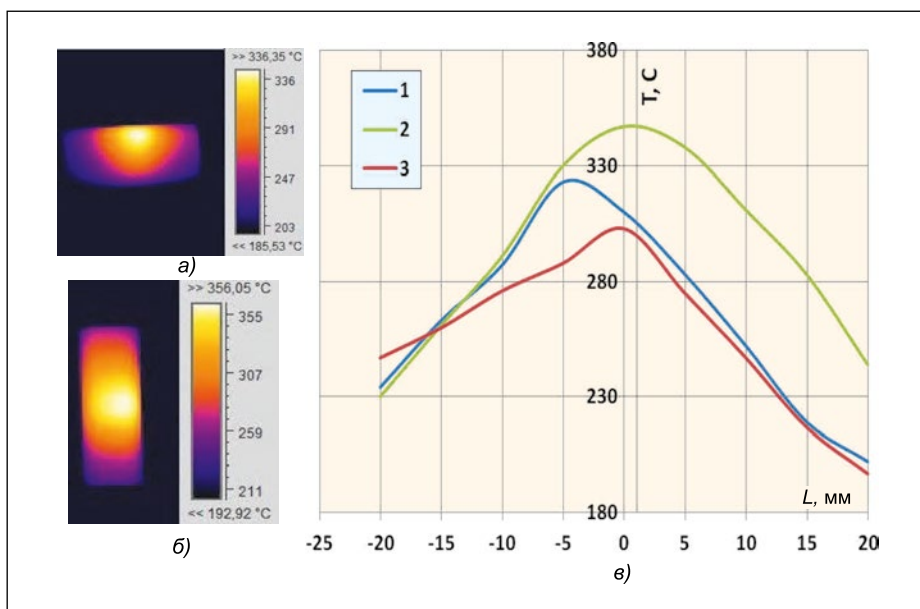


Рис. 5. Фото температурных полей ксеноновой лампы СПКс-500 при горизонтальном (а) и вертикальном рабочем положении анодом (б) вверху и продольное распределение температуры колбы (в) при работе лампы в горизонтальном (1) и вертикальном положениях с катодом (2) и анодом (3) вверху

нение геометрической оси от кристаллографического направления $[000\bar{1}]$ более чем на 10° , не должны содержать в объёме стенки больше 5 блоков в поперечном сечении при разориентации соседних блоков больше 10° . Корундовые трубы должны иметь коэффициент пропускания не менее 90 % в спектральном диапазоне от 0,3 до 5 мкм, не содержать включения второй фазы, помутнения, непрозрачные дефекты, пузыри и ростовые сдвиги, выдерживать без потери оптической прозрачности повышение температуры до 1950°C . В части геометрических размеров для труб с внутренним диаметром от 5 до 11 мм допускается отклонение $\pm 0,3$ мм, стрела прогиба на длине 150 мм – не более 0,2 мм, волнистость поверхности должна находиться в пределах допуска на геометрические размеры. Пузырность нормируется по категориям и классам на оптические материалы.

5. Особенности конструкции газоразрядной лампы СВД

Следует учесть некоторые особенности работы кварцевых ксеноновых короткодуговых ламп [2, 3], которые могут существенно сказаться на работоспособности аналогичных источников с сапфировой оболочкой. Колбы ламп высокой интенсивности должны быть рассчитаны таким образом, чтобы возникающие в сапфировой труб-

ке механические напряжения не вызывали их разрушения. Появление напряжений вызывается высоким давлением наполняющего газа и термическими напряжениями вследствие температурных градиентов в стенках оболочки и в зонах соединения сапфировой колбы происходит в случае, когда наибольшие растягивающие усилия достигают предела прочности.

Если внутреннее давление превышает внешнее, колба испытывает разрывные усилия. Возникающее при этом в цилиндрической колбе осевое напряжение σ_0 равно [11]:

$$\sigma_0 = \frac{pd}{2h}, \quad (2)$$

где d – внутренний диаметр разрядной колбы, h – толщина стенки сапфировой трубы, p – давление наполняющего газа.

Данное выражение справедливо, если толщина стенки h составляет незначительную часть внутреннего диаметра колбы d . Длительная практика эксплуатации и испытаний кварцевых ламп сверхвысокого давления с естественным охлаждением показала, что для большинства ламп запас прочности достаточен порядка 10 [11]. Следовательно, необходимо проводить расчёт толщины стенки в центре колбы для случая, когда макси-

мальное значение суммарных разрывающих напряжений не превосходит допустимой величины $\sigma_0/10$. Согласно рис. 2в, температура колбы в зоне анодного узла составляет $T_{об} = 700^\circ\text{C}$. Учитывая более высокую теплопроводность сапфира, можно ожидать $T_{об}$ в этом месте до 800°C . Как следует из приведённых на рис. 4 данных, предельная прочность разрушения сапфировой безблочной трубы при такой температуре составляет 10^7 Па. Тогда согласно формуле (1) для ксеноновой лампы СВД при внутреннем диаметре колбы 115 мм и давлении наполнения ксенона 1,5 МПа толщина стенки сапфировой трубы должна быть не менее $h = 1,65$ мм.

Необходимо отметить, что приведённые расчётные оценки получены для давления наполняющего газа при комнатной температуре. Увеличение температуры наполняющего газа приведёт к возрастанию давления газа в несколько раз, но предусмотренный запас прочности позволяет сохранить расчётные значения толщины стенки при конструировании ксеноновых ламп СВД с сапфировой оболочкой.

6. Температурный профиль цилиндрической сапфировой колбы ксеноновой лампы СВД

Использование шаровой формы для колбы из кварцевого стекла обусловлено необходимостью обеспечения равномерной удалённости внутренней поверхности оболочки от высокотемпературного катодного пятна. Учитывая, что распределение температуры оболочки зависит не только от удельной электрической мощности, но и от рабочего положения лампы (рис. 2–3), можно ожидать, что замена формы колбы на сапфировый цилиндр неизбежно приведёт к трансформации температурного поля лампы. Это связано с высокой теплопроводностью сапфира и различием конвективных потоков в рассматриваемых лампах. В свою очередь, в силу анизотропных свойств коэффициента температурного расширения корунда возникновение высоких температурных градиентов в стенке сапфировой трубы может привести к разрушению оболочки.

Исследования теплового поля по описанной выше методике проводились на лампе СВД с сапфировой оболочкой типа СПКс-500, конструктивное исполнение которой приведено

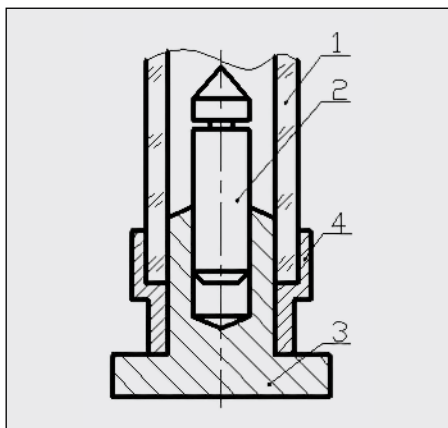


Рис. 6. Конструкция катодного узла лампы СПКс-500. 1 – разрядная трубка; 2 – катод; 3 – держатель (цоколь); 4 – коваровый колпачок

на рис. 1, а основные технические характеристики сведены в табл. 2.

Результаты исследования продольного распределения температуры цилиндрической сапфировой оболочки ксеноновой лампы СВД при средней электрической мощности 350 Вт приведены на рис. 5. Наиболее высокая температура колбы наблюдается в плоскости, проходящей через катодное пятно перпендикулярно оси лампы. Это связано с нагревом сапфировой оболочки излучением. Наблюдаемый плавный градиент температуры в область катода и анода около $5^\circ/\text{мм}$ связан с несколькими конструктивными особенностями лампы:

1. Электроды по всей своей длине имеют значительный зазор (3,5 мм у анода и 6 мм в случае катода) с внутренней поверхностью сапфировой трубки;

2. Электроды закреплены в металлических токовводах, обладающих высокой теплопроводностью, что обеспечивает надёжный отвод тепла от их рабочей поверхности (рис. 6);

3. Сапфир обладает в пятнадцать раз большей теплопроводностью, чем кварц (30 в сравнении с 1,7 Вт/(м·град)) при температуре 100°C и в три раза выше при температуре 1000°C [12].

Необходимо отметить, что использование принудительного охлаждения через конический конфузур направленного потока воздуха со стороны анода позволяет сохранить температурное распределение вдоль поверхности колбы в виде аналогичном приведённому на рис. 5. При этом градиент температуры при увеличении электрической мощности разра-

ботанной лампы до 500 Вт практически остаётся неизменным. Другое расположение лампы, например, под углом 45° к горизонтальной плоскости, незначительно смещает максимум температуры разогретой поверхности оболочки в сторону расположенного выше электрода. При этом температуры поверхности оболочки занимают промежуточное положение между кривыми 1 и 2 на рис. 5.

Важной особенностью рассматриваемой конструкции является её высокая технологичность. Известно, что катодное пятно газоразрядной лампы СВД должно располагаться в фокусе отражателя прожекторной системы. Это достигается строгой фиксацией острия катода по отношению к базовой поверхности цоколя лампы. В случае ксеноновых ламп СВД с кварцевой шаровой колбой юстировка катода выполняется на финальной операции цоколёвки лампы посредством сложных устройств и герметизирующих составов. В предложенной конструкции (рис. 6) установка острия электрода по отношению к торцевой (базовой) части цоколя производится на операции сборки катода 2 с держателем 3. Далее собранный электродный узел герметично присоединяется к предварительно спаянной с коваровыми колпачками 4 сапфировой оболочке 1.

В предлагаемой конструкции для получения герметичного соединения колпачка 4 с сапфиром 1 применена технология пайки медным припоем по предварительно нанесённому вакуумно-дуговым способом титановому покрытию. Подробно данная технология рассмотрена в работе [13].

Срок службы разработанной лампы составил более 200 часов. Критерием годности лампы являлось снижение интенсивности светового потока на 30 %. На протяжении всего времени испытаний лампа обеспечивала устойчивое горение, а снижение световых параметров лампы связано с распылением электродов. Осаждение плёнки материала катода на внутреннюю поверхность оболочки незначительно повышает температуру колбы в условиях принудительного охлаждения её поверхности.

Заключение

В данной публикации рассмотрены основные результаты разработки

первого отечественного образца ксеноновой газоразрядной лампы СВД с сапфировой оболочкой. В статье подробно рассмотрена методика конструирования данного класса газоразрядных ламп, включающая в себя последовательное решение следующих задач:

1. Разработка методики исследования температурных полей полупрозрачных материалов и исследование температурного профиля серийно выпускаемых ламп СВД с целью определения требований к сапфировой оболочке;

2. Изучение механической прочности сапфировых труб в зависимости от температуры и расчёт толщины стенки разрядной оболочки;

3. Исследование температурного состояния сапфировой колбы и разработка конструкции ксеноновой лампы СВД с сапфировой оболочкой.

Предложенные методики исследования, направленные на конструирование газоразрядных ламп СВД с сапфировой оболочкой, будут полезны разработчикам разрядных приборов с использованием новых перспективных материалов, например, различных видов прозрачной оксидной керамики [14]. После изучения механической прочности керамики в зависимости от температуры, вопросов повышения оптической прозрачности и получения надёжных соединений с металлическими токовводами, новые материалы оболочек могут с успехом заменить сапфир в газоразрядных лампах.

Автор выражает благодарность своим коллегам Логинову В.В., Пучниной С.В. и Кондратьеву А.Н. за оказанную помощь в проведении исследований, разработке конструкции и технологии изготовления нового класса отечественных газоразрядных ламп СВД.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Басов Ю.Г., Раквиашвили А.Г., Сысун В.В. Специальная светотехника. – Минск: Изд.центр БГУ, 2008. – 414 с.
2. Капцов Н.А., Гоухберг Д.А. Лампы сверхвысокого давления // УФН. – 1951. – Т. XLIII. – № 4. – С. 620–664.
3. Гоухберг Д.А., Ровинский Р.Е. Газоразрядные ксеноновые лампы СВД постоянного тока мощностью 1 и 3 кВт // Светотехника. – 1958. – № 10. – С. 1–4.
4. Гавриш С.В. Технология выращивания и характеристики профилированных

сапфировых труб для оболочек разрядных ламп // Технология машиностроения.– 2008.– № 6. – С. 56–61.

5. Гавриш С.В., Градов В.М., Терентьев Ю.И. Особенности конструкции и работы ламп с сапфировыми оболочками // Светотехника.– 2008.– № 2. – С. 12–18.

6. Пчелин В.М., Розовский Е.И., Рохлин Г.Н. Особенности измерения температуры колб высокоинтенсивных источников света термпарным способом // Светотехника.– 1980.– № 11. – С. 11–14.

7. Лингарт Ю.К., Петров В.А. Измерение температуры поверхности некоторых полупрозрачных материалов // ТВТ.– 1980. – Т. 10.– № 1. – С. 174–180.

8. Loytty A. A new ark tube for HPS lamps // Lighting Design and application.– 1976. – С. 14–17.

9. Gavrish S.V. The Effect of Structural Flaws on the Properties of the Sapphire Shell of a Discharge Radiation Source // Russian journal of nondestructive testing.– 2010. – Т. 46.– № 8. – С. 603–610.

10. Браиловский В.Б., Гавриш С.В., Рыжков А.Е. Дефекты структуры и диагностика характеристик труб из профилированных монокристаллов корунда для оболочек импульсных разрядных ламп ИК излучения // Контроль. Диагностика.– 2007.– № 2. – С. 49–59.

11. Рохлин Г.Н. Разрядные источники света. – М.: Энергоатомиздат, 1991.–720 с.

12. Рубашев М.А., Бердов Г.И., Гаврилов В.Н. и др. Термостойкие диэлектрики и их сплавы с металлом в новой технике. – М.: Атомиздат.– 1980.– 246 с.

13. Gavrish S.V., Loguinov V.V., Puchni-na S.V. Technology for producing permanent joints between sapphire and metals // Welding International.– 2015. – Т. 29.– № 1. – С. 78–80.

14. Выдрик Г.А., Соловьёва Т.В., Харитонов Ф.Я. Прозрачная керамика. – М.: Энергия.– 1980.– 96 с.

18 октября 2019 г. МГХПА им. С.Г. Строганова **совместно с редакцией журнала «Светотехника»/ «Light & Engineering», РАХ, Национальной академией дизайна и МАРХИ проводит Международную научно-практическую конференцию**, посвящённую междисциплинарным исследованиям проблем света в проектной и художественной культуре, приуроченную к дискуссии вокруг проблемы самоопределения (самоидентификации) профессии **светодизайнер**, развернувшейся на страницах журнала «Светотехника».

Цель конференции – привлечение международной и российской научной и творческой общности, педагогов и учащихся к осмыслению роли света и светодизайна в художественном творчестве и проектном формировании предметно-пространственной среды, её образной выразительности, самоидентификации профессии «светодизайнер» и особенностям светодизайна в подготовке архитекторов и дизайн-образовании.

Среди задач конференции можно выделить следующие:

- Определение перспектив развития профессии светодизайнера.
- Наполнение данной дисциплины теоретическими и практическими достижениями современного дизайна и науки, учитывающими особенности функциони-

рования дисциплины в ситуации цифрового пространства, современной проектной культуры, исследование форм сохранения и трансляции культурного наследия в области архитектуры средстами светодизайна.

- Обмен творческим опытом архитекторов, дизайнеров и художников в области экспериментального моделирования, теоретического и методического осмысления художественных и проектных средств выразительности светодизайна.

- Приобщение студентов, магистрантов, аспирантов российских и зарубежных вузов к научным исследованиям в области истории, теории, практики светодизайна и новейших тенденций в сфере светотехники и светодизайна в синтезе с архитектурой, дизайном, художественным творчеством и инновационными форматами мультимедиа.

- Проведение конкурса научных разработок, докладов и сообщений по проблеме конференции.

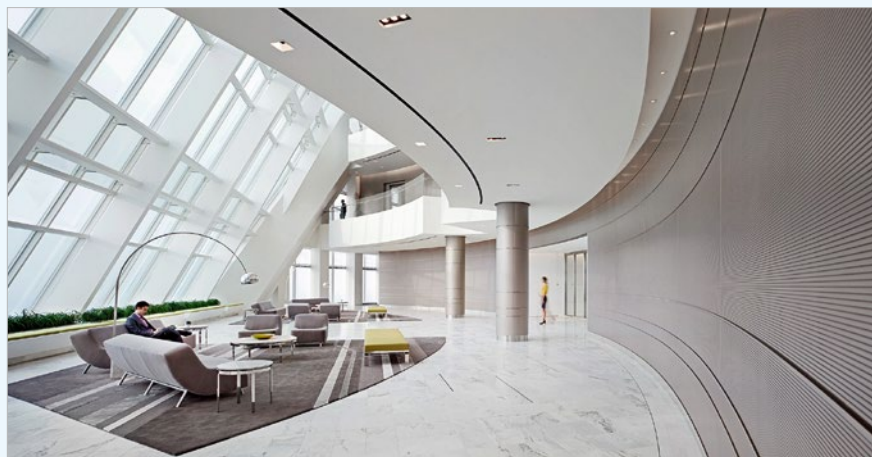
Для участия в конференции и включения в программу и сборник материалов необходимо до **1 июля 2019 г.** включительно представить в оргкомитет заявку на участие в конференции и материалы для публикации. Более подробная информация о конференции, а также заявка участника размещены на сайте журнала.



Гавриш Сергей Викторович,

кандидат техн. наук. Окончил Московский институт электронной техники (МИЭТ) в 1985 г. В настоящий момент является начальником науч-

но-производственного комплекса специальных источников излучения (НПК СИИ) филиала АО «Стелла - К». Область научных интересов: физика плазмы, светотехника, материаловедение



interlight
RUSSIA

intelligent building
RUSSIA

Международная выставка электротехники,
светотехники и автоматизации зданий

10–13 сентября 2019

ЦВК «Экспоцентр»
Москва

Light



Технический свет



Декоративный свет



Компоненты



Лампы



LED-технологии

Building



Электротехника



Автоматизация зданий




Умный дом



Интегрированные системы безопасности



Умный город

 messe frankfurt

О возможной системе рейтингов в светотехнической отрасли

В редакции журнала «Светотехника» состоялась дискуссия специалистов, темой для которой стала предложенная С.А. Боровковым, генеральным директором компании *Lighting Business Consulting*, идея ввести в России систему рейтингов светотехнических проектов.

В дискуссии приняли участие: шеф-редактор и главный редактор журнала профессоры Юлиан Борисович Айзенберг и Владимир Павлович Будак, заместитель директора ГУП «Моссвет» Александр Сергеевич Букатов, директор по развитию бизнеса компании «Точка опоры» Денис Николаевич Макаров, генеральный директор компании «Фарос-Алеф» Леонид Григорьевич Новаковский, руководитель отдела института «Тяжпромэлектропроект» Зоя Кузьминична Горбачёва и автор идеи рейтингования Сергей Александрович Боровков.

По мнению С.А. Боровкова, назрела необходимость сделать светотехнический рынок России более цивилизованным путём внедрения независимой системы оценки светотехнических проектов и светодизайна, что должно привести к появлению в отрасли рейтинга проектов, и в результате повысить качество проектирования и улучшить реализацию проектов. Такой рейтинг также будет способствовать росту конкурентоспособности компаний на рынке. При этом для каждого вида помещений потребуется составлять систему оценки по баллам светотехнических характеристик помещений, для которых делается проект освещения.

Кроме того С.А. Боровков предлагает ввести в обычай делового оборота в отрасли обязательность оплаты услуг по проектированию световых установок и светодизайна.

Свои предложения он оформил в первой статье для журнала, получившей две отрицательные рецензии и не принятой редакцией.

Поэтому участникам дискуссии было предложено обсуждение не статьи, а то рациональное, что в ней было предложено, а именно – сама идея создания системы рейтингов в отрасли, а также критериев оценки в этой системе.

Как отметил, предваряя дискуссию, **Ю.Б. Айзенберг**, необходимость системы рейтингования в отрасли не вызывает сомнения, но заслуживает внимательного отношения и требует тщательной проработки: А.С. Боровковым предложено в качестве критерия для составления системы рейтингов брать за основу светотехнические проекты. На наш взгляд, оценивать только светотехнический проект не рационально, т.к. он не включает в себя важнейшие составные части светотехнической установ-

ки: электротехнический проект, технико-экономическое обоснование, систему управления и электромонтажные работы. А составление для каждого вида помещений и каждого вида работ системы баллов – задача слишком сложная и неконструктивная.

Несравненно лучшим методом является рейтингование компаний, занимающихся проектированием и осуществлением светотехнических проектов и светодизайна, по результатам реализации этих проектов во вновь построенных или реконструированных зданиях. Кроме того, таких компаний на несколько порядков меньше, чем фирм, занимающихся только проектированием светотехнических установок постоянно или эпизодически.

«Правильный путь для создания системы рейтингования – выявление действующих проектных и монтажных организаций, зон их деятельности, обследование созданных ими осветительных установок и каталогов с результатами деятельности за 3–5 лет. И на основании этих данных присвоение им соответствующего рейтинга, – сказал **шеф-редактор журнала**, – ответственному заказчику важны не рейтинги проекта, а репутация, известность, качество изготовления, цена и сроки выполнения работ фирм-исполнителей.

Требуется проведение большой работы по выявлению действующих на постоянной основе компаний, сбор данных по выполненным ими проектам, по поиску, обучению и контролю действий оценивающих экспертов – специалистов широкого профиля с отличным знанием светотехники и владеющих навыками работы с измерительными приборами».

А.С. Букатов в свою очередь отметил, что, во-первых, необходимо раз и навсегда отделить понятие проекта,

как технической документации, от проекта, как комплекса выполненных работ по проектированию не только светотехнической, но и электротехнической и электромонтажной составляющих светотехнического объекта.

Во-вторых, не стоит недооценивать возможности заказчика при выборе исполнителя проекта, особенно в том случае, когда заказчиком является государственная организация, имеющая достаточный набор инструментов для контроля и экспертизы, как процесса проектирования, так и авторского и технического надзора за исполнением.

Тем не менее, проблема выбора добросовестного подрядчика существует, и она достаточно остра. Одно время в конкурсной процедуре учитывался опыт компаний, рекомендации, осуществлённые проекты, что при столбальной системе оценки составляло до 20 баллов, но, с принятием 44 ФЗ, эти пункты отпали. Действующее законодательство стимулирует выбор исполнителя, предложившего наименьшие цену и сроки выполнения работ, а опыт работы, выполненные проекты и отзывы по ним практически не учитываются. Чтобы изменить ситуацию требуется совершенствование законодательства.

«С другой стороны назрели вопросы определения действительно профессиональных организаций в области искусственного освещения. Для составления системы рейтингования требуется организовать сложный механизм оценки компаний, который будет собирать данные, обрабатывать их и предоставлять по запросу. Система рейтингов и нужна, и полезна, поэтому чётко должен быть прописан механизм критериев, терминология должна быть «железной» и соответствующей законодательству. И этот вопрос требует глубокого обсуждения, в том числе и на страницах журнала «Светотехника», – подчеркнул Александр Сергеевич.

Д.Н. Макаров в своём выступлении сделал упор на профессионализм исполнителей, отметив, при этом, что любой труд, в том числе и подготовка технического проекта, должны быть оплачены.

Проект всегда начинается с ТЗ, по качеству которого можно определить и стоимость затрат, и сложность разработки и реализации. Проектирование не только технический и творческий процесс, но и, прежде всего, работа, основанная на профессионализме исполнителя, его квалификации, откуда вытекает себестоимость проектирования, норма

прибыли и т.д., что в итоге выдаётся как стоимость проекта для заказчика.

У каждой компании свои критерии, поэтому стоимость одного и того же проекта будет разной у разных компаний. Можно утверждать, что у больших компаний стоимость проектирования на нестандартные проекты всегда будет выше, а качество никак не зависит от величины компании, её рейтинга и ТЗ, а всегда на совести исполнителя.

Стандартизация в проектировании света нужна и должна быть разработана, например, на основе рейтинга *BREEAM*, но, при этом самый очевидный путь к регулированию рынка – это рейтинг проектных компаний и бюро, когда критерием будет профессионализм сотрудников, количество и качество выполненных проектов.

З.К. Горбачёва, согласившись в основном с ходом обсуждения, ещё раз подчеркнула, что оценить светотехнический проект можно только на действующей установке, а рейтинг должен включать не проекты, а компании их воплотившие.

Л.Г. Новаковский рассказал, что в своё время требовалось определить эффективность проектов по автомобильному освещению. В результате многочисленных обсуждений и долгих переговоров с автопроизводителями, был

определён ряд параметров для оценки. В итоге, средства выделялись на реализацию проекта, который имел лучшую экономику и наибольшие перспективы.

Рейтинг компаний нужен, считает Леонид Григорьевич, для заказчика очень важно с кем он имеет дело. Но без чёткого определения показателей рейтинга ничего не получится. Нужно больше уделить времени аналитике для определения этих показателей.

В.П. Буда предложил привлечь к обсуждению вопроса создания системы рейтингов компаний в отрасли широкое светотехническое сообщество, включая и малые, и крупные компании, в том числе, такие как *BOOS Lighting Group*, «Световые Технологии», «Точка опоры» и другие. А журнал «Светотехника» готов предоставить свои страницы для публикации мнений и обсуждения проблемы.

Завершая дискуссию, **Ю.Б. Айзенберг** подчеркнул ещё раз, что для типовых проектов, таких как, например, уличное освещение, создавать рейтинг компаний проще. А вот рассмотрение и сравнение проектов для различных отраслей промышленности, освещения офисов и общественных зданий – сложная задача, так как из-за особенностей и своеобразия помещений требования к осветительной установке совершен-

но разные. Составление рейтингов для таких объектов – сложная и большая работа.

Шеф-редактор журнала, отметил ещё раз, что сама идея создания системы рейтингов полезна, но для этого нужна большая подготовительная работа определения критериев и методики оценки и широкого обсуждения её специалистами – участниками светотехнического сообщества. И эту работу надо продолжать. Он констатировал единство мнений присутствующих экспертов в том, что нужно рейтинговать компании.

С.А. Боровкову редакцией журнала было предложено переделать статью с учётом абсолютного большинства мнений участников дискуссии.

Сергей Александрович подготовил новую статью, которая прошла стандартную процедуру рецензирования у двух участников дискуссии и получила отрицательные оценки, публикуемые ниже по тексту.

Тем не менее, по настойчивому требованию автора редакция новую статью С.А. Боровкова публикует в авторской редакции, учитывая важность поднятой темы.

*Евгений Серый,
спецкорреспондент журнала
«Светотехника»*

Рейтингование осветительных установок как необходимость для светотехнического рынка РФ и стран ЕАЭС

С.А. БОРОВКОВ

Лайтинг Бизнес Консалтинг
E-mail: sergey.borovkov@lbconsulting.ru

Аннотация

В статье описываются предпосылки создания системы рейтингования осветительных установок, приводятся цели и задачи системы рейтингования, описываются принципы организации системы рейтингования, приведены отличия рейтинга осветительных установок от портфолио выполненных проектов самих компаний.

В результате внедрения системы рейтингования осветительных установок на рынке РФ и стран ЕАЭС, ожидается, что рынок станет более цивилизованным и у потребителей возникнет пони-

мание критериев оценки качества, объёма и сложности выполняемых работ.

В тоже время, благодаря системе рейтингования осветительных установок у проектировщиков и светодизайнеров появится независимый инструмент подтверждения качества выполненных ими услуг, появится возможность дифференцировать свою работу от конкурентов и убедить заказчика в адекватной стоимости услуг.

Ключевые слова

Светотехническое проектирование, светодизайн, рейтинг, добровольная система сертификации, принципы рейтингования осветительных установок.

1. Введение

Активное применение светодиодных источников света, которое в РФ началось около 15 лет назад, дало инженерам-светотехникам и светодизайнерам больше возможностей в проектировании осветительных установок. Этому способствовало три фактора:

Во-первых, появление большого количества компаний-производителей. Если раньше, организация производства светильников требовала больших капитальных инвестиций и соответствующих производственных помещений, то сегодня организация производства све-

одиодных светильников не требует значительных денежных средств. Таким образом, у проектировщиков появился широкий выбор потенциальных поставщиков оборудования.

Во-вторых, увеличение номенклатуры выпускаемой продукции. До эпохи светодиодов, разнообразие и размеры светильников были ограничены геометрическими размерами и светотехническими особенностями источников света. Это приводило к тому, что номенклатура выпускаемых светильников была ограничена. Сейчас же, миниатюрные светодиоды позволяют создавать большое разнообразие светильников как по размерам, так и по форме. Светодиодная «революция» изменила рынок и привела к тому, что ассортимент осветительных приборов, присутствующих на рынке, очень велик и позволяет реализовывать практически любые пожелания заказчика в области как внутреннего, так и наружного освещения.

В-третьих, широкие возможности по управлению осветительными установками. Светодиодные источники света в сочетании с системами управления дают возможность не только регулировать световой поток, но и изменять цветовую температуру в соответствии с необходимостью или временем суток. Такие широкие возможности по управлению светом не были доступны при использовании традиционных источников света.

Все три фактора повлияли на развитие светотехнического проектирования как обособленного направления деятельности: помимо ВУЗов, где традиционно готовили инженеров-светотехников, появляются школы светодизайна, курсы дополнительного образования, возникают независимые светодизайнерские компании и т.д.

Бурное развитие рынка при отсутствии чётких критериев оценки качества выполненных работ привело к тому, что на рынке услуг по светотехническому проектированию возник некоторый хаос: действует множество компаний, основным инструментом борьбы за заказчика является не высокий профессионализм, а снижение стоимости на услуги.

2. Светотехническое проектирование в странах ЕАЭС: особенности рынка

По экспертным оценкам, в РФ и странах Евразийского экономического союза (ЕАЭС) насчитывается более 300 круп-

ных светотехнических проектных компаний, которые ежегодно проектируют около 20000 проектов. Таким образом, ситуацию на этом рынке можно охарактеризовать как высококонкурентную. Пользуясь экономической терминологией, можно сказать, что рынок светотехнического проектирования в странах ЕАЭС, почти является рынком совершенной конкуренции, который характеризуется следующими факторами:

- большое число участников рынка;
- отсутствие препятствий для вступления в отрасль;
- стандартизированный процесс¹;
- отсутствие контроля над ценами;
- неограниченный доступ к информации (зачастую необъективной и непроверенной).

В таких рыночных условиях выбор исполнителя на проект, зачастую определяется субъективно – кто лучше себя прорекламирал, личными взаимоотношениями и т.п.

На рынке светотехнического проектирования РФ отсутствуют объективные ориентиры и критерии, на которые конечный заказчик может опираться при выборе исполнителя.

Но если посмотреть на опыт других отраслей экономики, то можно увидеть, что в них уже давно используются инструменты независимой оценки качества услуг. К примеру, в области недвижимости рейтинг *BREEAM* является ведущим и наиболее широко применяемый методом независимой оценки экологической эффективности зданий. В индустрии гостеприимства мы гостиницы имеют «звёздный» рейтинг, а в ресторанный индустрии очень популярен рейтинг «Красный путеводитель «Мишлен».

Конечный заказчик, ориентируясь на независимый рейтинг, понимает и уровень ожидаемого сервиса, и уровень цен на услуги.

В области светотехнического проектирования настало время для внедрения независимой системы оценки осветительных установок – системы рейтингования. Рейтинг будет как ориентиром для конечных заказчиков при выборе исполнителя, так и эффективным инстру-

ментом дифференциации для проектных компаний.

3. Что такое рейтингование осветительных установок и зачем оно нужно?

В общем смысле **рейтингование** – присвоение числового показателя, отражающего значимость определённого объекта, в соответствии с заранее установленными правилами и критериями.

Применительно к светотехническому проектированию, **рейтингование осветительных установок** – присвоение числового показателя, отражающего соответствие реализованной осветительной установки требуемым нормативам и техническому заданию заказчика, в соответствии с заранее установленными критериями рейтингования и по установленной методике.

Цели рейтингования осветительных установок:

- **Оказание помощи конечным потребителям** в компетентном выборе партнёров для реализации светотехнического проекта;
- Создание маркетингового инструмента для **дифференциации и усиления бренда** на высококонкурентном рынке;
- **Повышение конкурентоспособности** компаний, работающих на рынке светодизайна и светотехнического проектирования;
- **Повышение привлекательности и прозрачности рынка** светотехнического проектирования и его коммерциализация.

Задачи рейтингования осветительных установок:

- **Подтверждение соответствия** осветительных установок государственным и международным стандартам и заявленной функциональности;
- **Независимое экспертное подтверждение** качества проектных работ и реализации;
- Обеспечение компаниям максимальной **узнаваемости бренда** среди конечных заказчиков в целевых сегментах рынка;
- **Поощрение** высокого профессионализма

Принципы рейтингования осветительных установок:

- Добровольная основа
- Прозрачные критерии
- Чёткий алгоритм оценки
- Аккредитованные эксперты
- Платное участие

¹ Стандартизированный процесс – это такой процесс, критерии которого были определены заранее. В частности, критерии светотехнического проектирования определяются действующей нормативной документацией.

Кто может быть заинтересован принять участие в рейтинговании:

- **Светодизайнеры** и инженеры-проектировщики светотехнической части проекта
- **Архитектурные бюро** и студии дизайна
- **Производители оборудования**, имеющие собственный проектный отдел
- **Проектные компании** и проектные институты
- **Коммерческие** и государственные заказчики

Зачем нужно рейтингование осветительных установок?

- **Дифференциация** на высококонкурентном рынке
- Объективное и независимое **подтверждение профессионализма**
- **Статус и признание**
- **Инструмент коммуникации** уникальных преимуществ и бренда компании
- **Возможность наценки** на стоимость услуг «за бренд»

Организационная форма рейтинга осветительных установок:

- Система добровольной сертификации услуг – в соответствии с законодательством РФ такая организационная форма позволяет использовать в качестве нормативной базы для рейтингов не только российские документы, но международные (лучшие мировые практики в области светотехнического проектирования).

Отличия рейтинга осветительных установок от портфолио работ проектных компаний:

- **Независимость** – рейтинги будут присваиваться независимой отраслевой компанией, не аффилированной с производителями оборудования или проектными компаниями
- **Экспертность** – критерии и методики рейтингования осветительных установок для разных сегментов применения будут разработаны ведущими отраслевыми экспертами. Оценка проектов и присвоение рейтинга будет производиться только сертифицированными экспертами
- **Прозрачность** – вся документация по рейтингованию будет находиться в свободном доступе как для конечных заказчиков, так и для проектных компаний. Вся информация о результатах рейтингования будет публиковаться на Интернет-портале

Итак, резюмируя все вышесказанное,

- Рейтинги уже давно применяются в сфере услуг и являются статусным знаком отличия и признания

- Рейтингование является инструментом для дифференциации и усиления бренда на высококонкурентном рынке

- **Независимость и экспертность** рейтинга является ценным отличием от портфолио выполненных проектов компаний и ориентиром для конечных заказчиков

- Получение рейтинга служит мощным импульсом к коммерческому успеху

4. Основные принципы системы рейтингования осветительных установок

Одним из самых важных элементов, определяющим признание системы рейтингования на светотехническом рынке и доверие к ней, безусловно, является понимание базовых принципов, на которых базируется система.

Для обеспечения независимости присвоения рейтинга используются следующие принципы:

- 1) **Прозрачность критериев** рейтингования
- 2) **Прозрачность процедуры** рейтингования
- 3) **Экспертность**
- 4) **Вариативность**

Давайте разберём эти пункты более детально.

Прозрачность критериев рейтингования. Основой для критериев, по которым будет проходить рейтингование проектов, является существующая нормативно-правовая база как российская (ГОСТы, СП, СанПиНы), так и международная (EN).

В связи с тем, что в развитых странах светотехническое проектирование и светодизайн развиваются чуть дольше, чем в России, то и нормативно-правовая база там лучше проработана. Поэтому, для того, чтобы система рейтингования проектов действительно задавала высокую планку в области светотехнического проектирования и светодизайна, в ней будут использоваться и российские, и международные требования.

Прозрачность процедуры рейтингования. Рейтингование является формализованным и описанным в документах процессом, состоящим из следующих этапов:

Этап 1. Заявитель подаёт заявку на рейтингование проекта. Документы заявки рассматриваются и, в случае положительного решения о возможности проведения рейтингования, Заявитель оплачивает услуги по рейтингованию

Этап 2. Назначается аккредитованный эксперт для проведения работ

Этап 3. Эксперт проводит сначала экспертизу документов, а затем выезжает на объект для измерений реальных характеристик

Этап 4. Эксперт проводит анализ полученных данных по утверждённым критериям оценки и присваивает рейтинг

Этап 5. Рейтинг проекта публикуется на интернет-портале в открытый доступ и становится публичной информацией

Все документы, описывающие процесс присвоения рейтинга и критерии рейтингования являются открытыми для всех и находятся на общедоступном портале.

Экспертность. Ещё одним ключевым фактором, оказывающим влияние на признание системы рейтингования, являются отраслевые эксперты, которые разрабатывают методики оценки проектов в различных сегментах применения и те, кто непосредственно оценивает проекты.

К разработке критериев и методик оценки осветительных установок планируется привлечь специалистов из отраслевых НИИ, профильных ВУЗов, ведущих светотехнических компаний.

Касательно экспертов, которые будут привлекаться для оценки, то планируется уделить особое внимание их подготовке и оценке профессиональных компетенций. Для получения статуса эксперта в системе рейтингования кандидату необходимо будет пройти обучение и сдать квалификационный экзамен. К преподаванию на обучающих курсах планируется привлечь прежде всего авторов методик оценки.

Вариативность. В разных помещениях или пространствах (офис, школа, магазин, завод, дорога, парк и т.п.) предъявляются разные требования к осветительным установкам. В связи с этим, возникает необходимость в выборе разных критериев и методик оценки для этих помещений и пространств.

Предусмотрено, что в системе рейтингования конкретные критерии будут выбраны и описаны в методиках оценки для каждого из возможных применений осветительной установки.

5. Стоимость рейтингования осветительных установок

Для успешного внедрения системы рейтингования осветительных установок на светотехническом рынке стран

ЕАЭС и её массового распространения важным фактором является стоимость услуг по рейтингованию.

Высокая стоимость услуг может отпугнуть потенциальных заявителей, низкая стоимость – не позволит обеспечить привлечение высококвалифицированных экспертов для оценки. Таким образом, важно установить стоимость рейтингования на адекватном уровне.

Для расчёта экономически-обоснованной стоимости рейтингования необходимо использовать структурный подход, основывающийся на необходимых затратах. Стоимость работ по рейтингованию осветительных установок складывается из нескольких составляющих:

- Затраты на оплату труда экспертов
- Транспортные затраты для выездной оценки
- Налоги
- Административные затраты
- Маркетинговые затраты
- Прибыль

Прибыль, полученная от выполнения работ по рейтингованию осветительных установок, может направляться на совершенствование системы, развитие нормативной, методической и технической базы, а также просвещение лиц, деятельность которых связана с проектированием, внедрением и применением систем освещения.

6. Заключение

Бурное развитие светодиодных источников света дало широкие возможности инженерам-светотехникам и светодизайнерам при проектировании осветительных установок. Но при отсутствии чётких критериев оценки качества выполненных работ, заказчик ориентируется только на субъективные факторы при выборе исполнителя.

Для изменения ситуации предлагается использовать многолетний международный опыт других отраслей экономики и организовать систему независимого рейтингования реализованных осветительных установок в форме добровольной сертификации.

В результате внедрения системы рейтингования осветительных установок на рынке РФ и стран ЕАЭС, ожидается, что рынок станет более цивилизованным и понятным для конечных потребителей этих услуг; у потребителей возникнет понимание критериев оценки качества, объёма и сложности выполняемых работ; также возрастёт ответственность инженеров-проектировщиков и светодизайнеров-дизайнеров за качество оказываемых услуг.

Выдержки из рецензий на статью С.А. Боровкова (курсивом – цитаты из статьи)

Д.Н. Макаров, директор по развитию бизнеса компании «Точка опоры»:

1. Автор предлагает организовать процесс рейтингования по тем же принципам, по которым оцениваются рестораны, гостиницы и объекты недвижимости. Но эти объекты оцениваются комплексно, как сложный организм, автор же, говоря о рейтинге реализованных светотехнических проектов, предлагает выставлять «звёзды» блюдам, а не ресторанам. Это выглядит странно.

2. *«Рейтинг будет как ориентиром для конечных заказчиков при выборе исполнителя, так и эффективным инструментом дифференциации для проектных компаний».*

Как может заказчик выбирать исполнителя, когда ещё нет проекта?! Основываясь на предыдущих проектах? Или как? Не ясно.

3. *«...рейтингование осветительных установок – присвоение числового показателя, отражающего соответствие реализованной осветительной установки требуемым нормативам и техническому заданию заказчика...»*

Реализация – подразумевает не только светотехническое проектирование, но также электромонтажные работы, а также пуско-наладку, подготовку исполнительной документации и т.д. и т.п.

Качество реализации сильно зависит от профессионализма исполнителей, и конечный результат может сильно отличаться от проекта.

Как правило, проектированием и реализацией занимаются разные компании.

4. *«Прозрачность – вся документация по рейтингованию будет находиться в свободном доступе, как для конечных заказчиков, так и для проектных компаний. Вся информация о результатах рейтингования будет публиковаться на интернет-портале».*

При работе(проектировании) крупных объектов одним из критериев является конфиденциальность – большие сомнения, что заказчик, технический заказчик и прочие участники будут в восторге, если их работу выставляют на всеобщее обозрение, так как всегда существуют специальные наработки, которые являются интеллектуальной собствен-

ностью компаний разработчиков. Даже технические подходы в проектировании и методы проектирования – являются закрытыми и не для разглашения, не говоря уже о тонкостях технической реализации.

5. Прозрачность критериев рейтингования Основой для критериев, по которым будет проходить рейтингование проектов, является существующая нормативно-правовая база как российская (ГОСТы, СП, СанПиНы), так и международная (EN). Нормативные документы не регламентируют создаваемые профессионалами световое решение, архитектуру, атмосферу, дизайн, эстетику, эргономику, эксплуатационные характеристики и т.д.

А.С. Букатов, заместитель директора ГУП «Моссвет»

1. Автору следует определиться, что является предметом рейтингования – в разделе 2 речь идёт о светотехническом проектировании, в разделе 3 – о рейтинговании осветительных установок, в разделе 4- о рейтинговании проектов.

2. *«... светотехническое проектирование как обособленное направление деятельности»* – обособленное от чего? Разве светотехническое проектирование может выполняться без электротехнического проектирования, без разработки конструкторской документации и т.д. для реализации проекта?

3. Не понятен механизм процедуры рейтингования.

Новая статья, написанная С.А. Боровковым по его настоянию, должна была отражать результаты дискуссии, участники пришли к единому мнению, что рейтинговать следует компании, имеющие опыт в проектировании и реализации проектов светотехнических установок, однако, в представленном в редакцию тексте по-прежнему предлагается оценивать проекты.

На этом этапе редакция журнала «Светотехника» завершает дискуссию по предложенной С.А. Боровковым теме в этом году, но приглашает всех желающих принять участие в обсуждении проблемы рейтингования в светотехнической отрасли на страницах нашего издания в дальнейшем.

Исследования по применению осветительных приборов со светодиодами в автосборочном цехе

С.Ю. МИНАЕВА, В.П. БУДАК*

НИУ МЭИ, Москва

* E-mail: budakvp@gmail.ru

Аннотация

Рассмотрена задача замены в действующей ОУ на сборочном конвейере автозавода ОП с люминесцентными лампами на ОП со светодиодами, включая сравнительную оценку полученных светотехнических и экономических показателей. Соответственно, было выбрано несколько ОП со светодиодами разных производителей (брендов). На основе компьютерного моделирования ОУ в программной системе «DIALux Evo» был найден оптимальный вариант, со светотехнической и экономической точек зрения. Проведено экспериментальное определение светотехнических характеристик действующей ОУ и участков конвейерной линии с применением ОП со светодиодами. Результаты исследования позволили оценить соответствующее изменение зрительной работоспособности работников в цехе и позволяют сравнивать сроки окупаемости осветительных устройств со

светодиодами и с люминесцентными лампами.

Ключевые слова: промышленное освещение, светодиоды, осветительная установка, освещение, сборочный конвейер, качество освещения.

Введение

В настоящее время в связи с ростом применения осветительных приборов (ОП) со светодиодами (СД) растёт число публикаций на тему освещения ОП с СД, в частности, промышленных помещений (см., напр., [1, 2]). При этом следует считать, что:

- самое главное при проектировании освещения в цехах – учитывать не только количественные, но и качественные характеристики осветительных установок (ОУ), такие как показатели зрительного дискомфорта и коэффициент пульсации;
- переход на СД требует правильных решений по оптике, степени защиты IP и световой отдаче ОП с СД.

Далее известно, что:

- во многих отраслях промышленности имеются сборочные цехи, в которых происходит промежуточная или окончательная сборка изделий. Рабочий процесс в них сопряжён с работой как с мелкими деталями (сборка бытовых электроприборов, пайка электронных элементов и т.п.), так и с крупными (монтаж элементов кузова автомобиля, установка крупных узлов промышленных станков/установок и т.п.), что, в свою очередь, требует разного подхода к проектированию освещения в этих помещениях;

• условия искусственного освещения на промышленном предприятии крайне важны, поскольку оказывают большое влияние на здоровье работников и качество выпускаемой продукции [3]. От характеристик ОУ зависят различие предметов на определённом фоне, световосприятие и зрительный комфорт работников;

- свет – естественное условие жизнедеятельности человека, играющее важную роль в сохранении его здоровья и высокой работоспособности. Зрительная работоспособность человека – главный источник информации о внешнем мире.

Настоящая работа посвящена анализу возможностей освещения ОП с СД сборочных конвейеров на автозаводах с учётом важности улучшения условий зрительных работ и повышения производительности труда.

Объектом исследования служил действующий сборочный конвейер легковых автомобилей (на территории Российской Федерации), а предметом исследования – местное освещение вдоль него. Практической значимостью считалась разработка оптимального освещения (для данного конвейера) с использованием ОП с СД, взамен действующих ОП с СД.

При этом было рассмотрено несколько вариантов ОУ, подходящих для автомобильного производства, и во избежание ошибок в разработке компьютерной модели (см. ниже) учтены особенности рабочих мест, коэффициенты отражения пол, стен, потолка и др.

Компьютерное моделирование ОУ и экономический расчёт

Объект исследования находится на первом этаже здания. Высота потолка с расположенными на нём ОП (све-

План сборочного конвейера

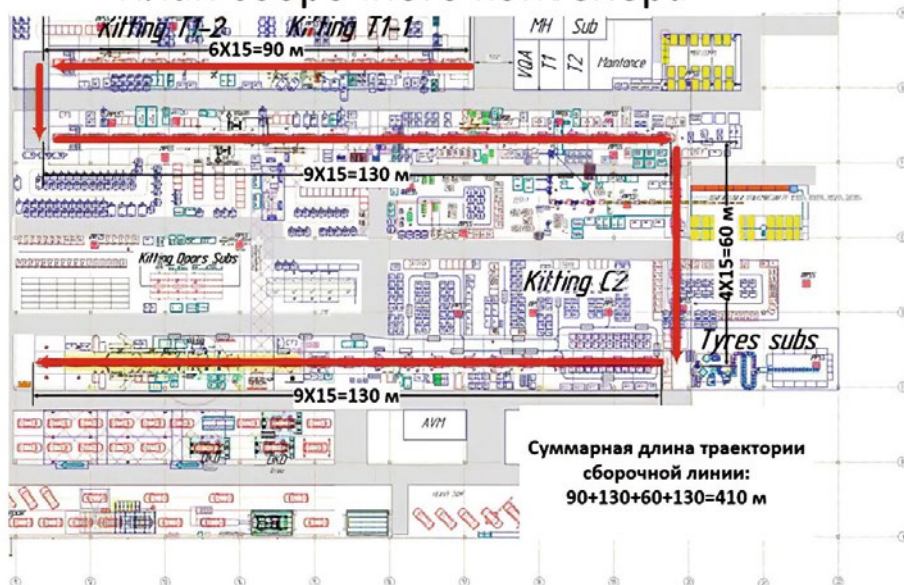
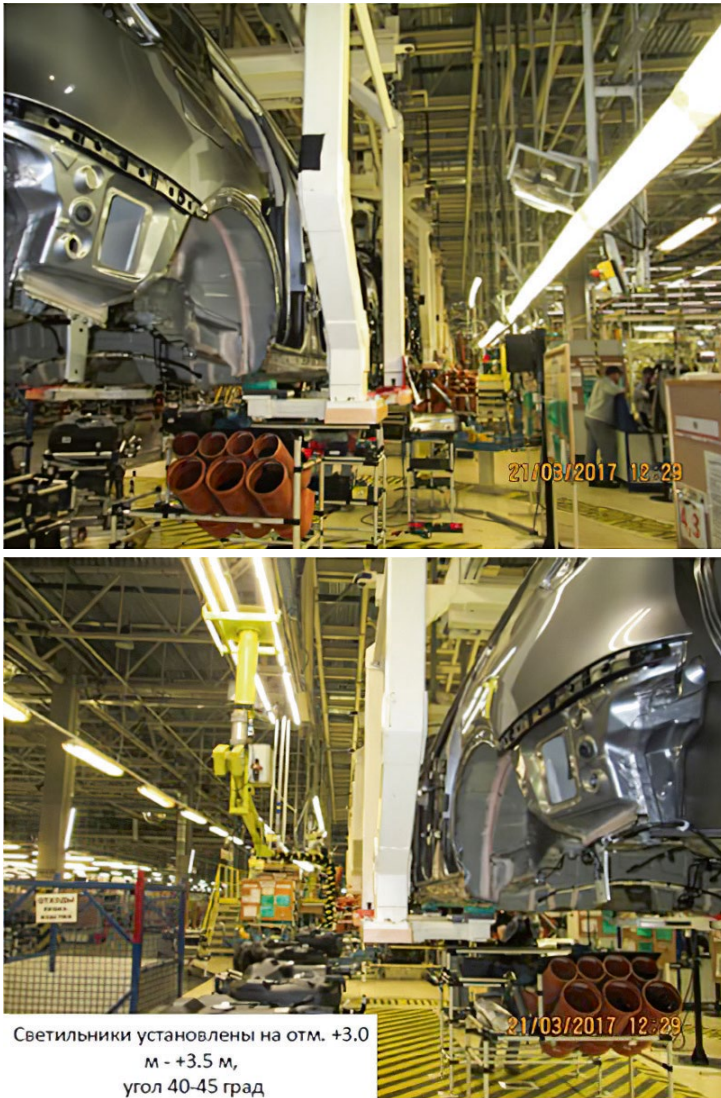


Рис. 1. План сборочного конвейера



Светильники установлены на отм. +3.0 м - +3.5 м, угол 40-45 град

Рис. 2. Вид действующей ОУ на сборочном конвейере

тильники) общего освещения составляет 10 м, а высота от пола до «фермы» – 8 м. Высота расположения ОУ местного освещения (МО) – 3,5 м. Общая площадь освещаемого помещения составляет 39600 м², а общая длина всего конвейера – 420 м. На рис. 1 и 2 представлены план освещаемого сборочного цеха и его фото. Окон в данном помещении нет, и оно служит местом постоянного пребывания людей. Отделка помещения соответствует его назначению, и коэффициенты отражения потолка, стен и пола в нём везде примерно одинаковы – по 0,49. По обе стороны от конвейера на высоте 3,5 м расположены ОП для МО. В их действующем варианте используются люминесцентные лампы (ЛЛ) *Lighting Technology* «ARS254» (рис. 2).

Для проведения светотехнических расчётов было использовано программное обеспечение «*DIALux Evo*», как одно из самых популярных в моде-

лировании освещения, к плюсам которого относят: бесплатное распространение; хорошее качество изображений после расчёта модели (схожее с изображением после трассировки лучей); принципиально новый расчётный алгоритм, учитывающий коррелированную цветовую температуру $T_{цк}$ ОП [4].

При проведении моделирования ОУ и светотехнического анализа освещения авторы руководствовались документами [5, 6].

МО в зависимости от характера производства и расположения рабочих мест может создаваться двумя способами: 1) для каждого рабочего места индивидуальными ОП МО; 2) для группы компактно расположенных рабочих мест, таких как конвейеры, поточные линии и т.п.

В программах для расчёта освещённости и других показателей обязательен учёт общего освещения, иначе некоторые показатели становятся не-

действительны. Поэтому был выполнен расчёт комбинированного освещения сборочного цеха с имеющимися ОП общего освещения (ОП «*Glamox i50*» с МГЛ мощностью 250 Вт), а ОП в ОУ МО варьировались. Общее освещение предусматривалось во всём помещении, а на сборочном конвейере использовалось комбинированное освещение. На замену действующей ОУ с ОП с ЛЛ, освещающей сборочный конвейер, было выбрано 4 варианта ОУ со следующими ОП с СД: *Osram* «*Compact Monsoon LED*», *Philips* «*Coreline Waterproof*», *Lighting Technologies* «*SLICK. PRS LED*» и *Philips* «*GreenUp Waterproof*» (табл. 1).

Выбор этих вариантов осуществлялся с учётом экономической эффективности, условий окружающей среды и пожеланий заказчика.

В процессе моделирования для всех вариантов ОУ – действующего варианта, варианта № 1 (с ОП компании *Osram*), варианта № 2 (с ОП компании *Philips*), варианта № 3 (с ОП компании *Lighting Technologies*) и варианта № 4 (с ОП компании *Philips*) – производились оценки следующих параметров:

- освещённость (минимальная, средняя, максимальная) горизонтальная и вертикальная на высотах 0,0 и 1,8 м от пола;
- объединённый показатель дискомфорта UGR во всём цехе и в каждой точке сборочного конвейера на высотах 1,2 и 1,7 м от пола;
- равномерность освещённости U_0 (по ГОСТ [6]).

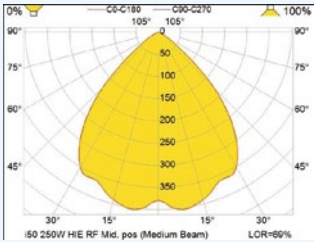

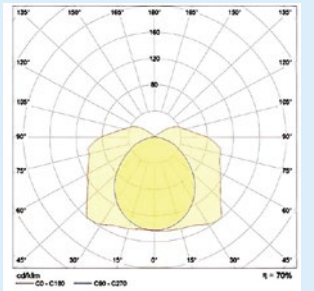

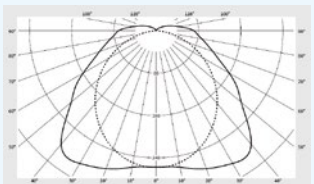

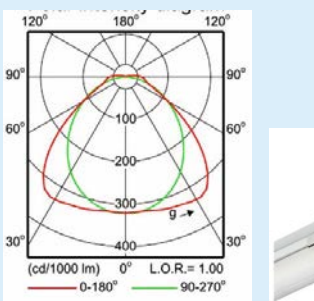

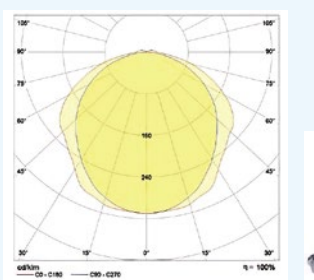

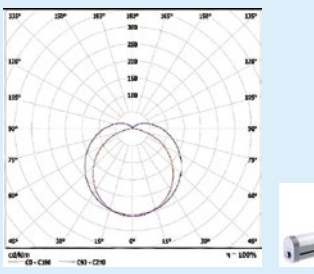

Результаты этих оценок приведены в табл. 2, а результаты расчёта годовых затрат на амортизацию выбранных вариантов ОУ/ОП – в табл. 3.

Для выбора наиболее экономичного варианта ОУ для сборочного конвейера проводился сравнительный анализ годовых эксплуатационных расходов на содержание всех 5 вариантов ОУ. Эти расходы определяются суммой годовых затрат на амортизацию ОУ и годовой стоимости израсходованной ОУ электроэнергии [7].

Сравнительный анализ ОУ с разными типами ОП

Действующий вариант ОУ даёт значения эксплуатационной освещённости $E_{экс}$ и U_0 , соответствующие норме, а уровень UGR , существенно больший нормируемого (табл. 2). (Ве-

Характеристики ОП (светильников)

Тип ОП	КСС	КПД, %	P, Вт	IP	Габаритные размеры, мм	Примечание
«Glamox i50»	 	69	250	20	Диаметр 222 Высота 319 Вес 9 кг	Общее освещение
Lighting Technologies «ARS254»	 	70	108	65	Ширина 100 Длина 1280 Высота 110 Вес 2,3 кг	Действующее освещение на конвейере (светильниками с ЛЛ)
Osram «Compact Monsun LED»	 	92,5	38,8	65	Ширина 84 Длина 1577 Высота 102 Вес 2,7 кг	Вариант № 1
Philips «Coreline Waterproof»	 	97	29	65	Ширина 87 Длина 1530 Высота 96 Вес 1,8 кг	Вариант № 2
Lighting Technologies «SLICK PRS LED»	 	95	31	65	Ширина 96 Длина 953 Высота 86 Вес 2,6 кг	Вариант № 3
Philips «GreenUp Waterproof»	 	95	36	65	Ширина 90 Длина 1400 Высота 110 Вес 1,5 кг	Вариант № 4

Результаты

Параметры	Название ОП				
	<i>Lighting Technologies</i> Действующий вариант	<i>Osram «Compact Monsun LED»</i> Вариант № 1	<i>Philips «Coreline Waterproof»</i> Вариант № 2	<i>Lighting Technologies «SLICK.PRS LED»</i> Вариант № 3	<i>Philips «GreenUp Waterproof»</i> Вариант № 4
$E_{экс, ЛК}$ (Г-0,0)	503	504	508	508	503
$E_{экс, ЛК}$ (В-0,0)	352	343	347	336	310
$E_{экс, ЛК}$ (Г-1,8)	510	519	514	510	508
$E_{экс, ЛК}$ (В-1,8)	355	366	335	341	336
U_o , на горизонтальной плоскости (0,0 м)	0,93	0,93	0,92	0,90	0,89
U_o , на вертикальной плоскости (0,0 м)	0,89	0,89	0,92	0,86	0,9
U_o , на горизонтальной плоскости (1,8 м)	0,85	0,84	0,83	0,84	0,82
U_o , на вертикальной плоскости (1,8 м)	0,72	0,88	0,62	0,87	0,65
UGR , во всём цехе	21,7	22,1	21,7	21,0	22,3
UGR , на сборочном конвейере (1,2 м)	Более 30	24,1	22,8	22,0	23,8
UGR , на сборочном конвейере (1,7 м)	27,1	24,9	23,4	23,0	25,0
Количество ОП в ОУ, шт.	232	250	371	306	374

роятно, общее освещение не используется именно по этой причине.) Далее из табл. 2 видно, что:

- в варианте с ОП *Osram «Compact Monsun LED»* (вариант № 1) $E_{экс}$ и U_o соответствуют нормам, а UGR нет, ни в цехе, ни на самом конвейере, хотя и лучше, чем у действующего варианта ОУ;

- в варианте с ОП *Philips «Coreline Waterproof»* (вариант № 2) $E_{экс}$ и U_o соответствуют нормам, а UGR соответствует норме только в цехе. На сборочном конвейере UGR не соответствует норме, но на высоте 1,2 м близок к ней;

- в варианте с ОП *Lighting Technologies «SLICK.PRS LED»* (вариант № 3) $E_{экс}$ и U_o соответствуют нормам, а UGR соответствует норме,

лишь незначительно превышая её на высоте 1,7 м;

- в варианте с ОП *Philips «GreenUp Waterproof»* (вариант № 4) $E_{экс}$ и U_o соответствуют нормам, а UGR нет. При этом эти данные лучше, чем у действующего варианта ОУ, но хуже, чем у выбранных остальных.

Из табл. 2 и вышеприведённого анализа следует, что оптимальное решение по совокупности полученных характеристик – ОУ с ОП «*SLICK.PRS LED*» компании *Lighting Technologies* (вариант № 3).

Был проведён также расчёт годовых расходов на электроэнергию (табл. 4). При этом продолжительность работы ОУ учитывалась согласно количеству рабочих часов в году при 40-часовой рабочей неделе и работе в одну сме-

ну. А итоговый экономический расчёт показал (табл. 5), что действующее освещение самое дорогое, а самое экономичное может обеспечивать ОУ с ОП *Lighting Technologies «SLICK.PRS LED»* (вариант № 3).

Измерение светотехнических характеристик ОУ

Были проведены измерения горизонтальной и вертикальной освещённостей, создаваемых действующим вариантом ОУ, на рабочих местах данного конвейера на высотах 0,0 и 1,0 м от пола, и яркости ОП с расстояния 10 м от рабочей зоны. В порядке эксперимента на некоторых участках конвейера были установлены ОП четырёх указанных выбранных ти-

Расчёт годовых затрат на амортизацию системы искусственного освещения

Вариант освещения	Срок полезного использования, ч	Срок эксплуатации, лет	Первоначальная стоимость ОУ, руб.	Годовые затраты на амортизацию, руб.
<i>Lighting Technologies</i> Действующий вариант	24000	8	1149560	143695
<i>Osram</i> « <i>Compact Monsun LED</i> » Вариант № 1	50000	10	1500000	150000
<i>Philips</i> « <i>Coreline Waterproof</i> » Вариант № 2	50000	10	1595300	159530
<i>Lighting Technologies</i> « <i>SLICK.PRS LED</i> » Вариант № 3	50000	10	887400	88740
<i>Philips</i> « <i>GreenUp Waterproof</i> » Вариант № 4	40000	10	1047200	104720

Таблица 4

Стоимость израсходованной электроэнергии за год

Вариант освещения	Потребляемая мощность одного ОП, Вт.	Количество ОП, шт.	Продолжительность работы установки в год, ч	Стоимость электроэнергии, руб./кВт·ч	Стоимость израсходованной электроэнергии за год, руб.
<i>Lighting Technologies</i> Действующий вариант	108	232	1973	5	247177
<i>Osram</i> « <i>Compact Monsun LED</i> » Вариант № 1	36	250	1973	5	88785
<i>Philips</i> « <i>Coreline Waterproof</i> » Вариант № 2	29	371	1973	5	106138
<i>Lighting Technologies</i> « <i>SLICK.PRS LED</i> » Вариант № 3	31	306	1973	5	93579
<i>Philips</i> « <i>GreenUp Waterproof</i> » Вариант № 4	36	374	1973	5	132822

пов. Для них проводился расчёт *UGR* (табл. 6). При этом:

- при проведении эксперимента ОП опускались до высоты 2,5 м;
- ОП в модели ОУ МО разнесены друг от друга, а в действительности расположены друг к другу впритык (из-за использования лишних ОП), поэтому «измеренное» (рассчитанное по измеренным данным) значение *UGR* меньше смоделированного;
- при измерениях общее освещение не включалось и использовались яркоммер, спектрометр/люксметр, дальномер и фотоаппарат.

С помощью дальномера измерялось расстояние (10 м) от исследуемого ОП до яркоммера. Далее с помощью яркоммера измерялась яркость исследуе-

мого ОП. Делались нужные фотографии. На самом конвейере люксметром измерялись горизонтальная и вертикальная освещённость на высотах 0,0 и 1,0 м от пола. Все приборы для измерения световых величин прошли поверку, и полученные результаты представлены в табл. 6.

При сравнении с исходным техническим заданием выявились отличия по высоте подвеса и количеству ОП в ОУ МО. Соответственно этому, в модели ОУ МО (после измерений) ОП стали располагаться на высоте 2,5 м впритык друг к другу.

Анализ освещения в новой модели ОУ, в частности, показал, что выключение общего освещения усиливает зрительный дискомфорт.

Обсуждение результатов

В настоящей статье описано исследование эффективности применения ОП с СД в автосборочном цехе и определён оптимальный вариант замены действующей ОУ.

При этом создана модель ОУ в рамках программы «*DIALux Evo*», выполнен светотехнический анализ и рассмотрены количественные и качественные показатели освещения. При моделировании ОУ учтены особенности работы на конвейере: работа с отдельными узлами и их последующей регулировкой, движение рабочей поверхности. На основании созданной модели для выбора оптимального решения проанализировано

Итоговые годовые эксплуатационные расходы на содержание осветительных установок

Вариант освещения	Годовые затраты на амортизацию, руб.	Стоимость израсходованной электроэнергии за год, руб.	Годовые эксплуатационные расходы на содержание ОУ, руб.
<i>Lighting Technologies</i> Действующий вариант	143695	247177	390872
<i>Osram «Compact Monsoon LED»</i> Вариант № 1	150000	88785	238785
<i>Philips «Coreline Waterproof»</i> Вариант № 2	159530	106138	265668
<i>Lighting Technologies «SLICK.PRS LED»</i> Вариант № 3	88740	93579	182319
<i>Philips «GreenUp Waterproof»</i> Вариант № 4	104720	132822	237542

Таблица 6

Результаты измерений

ОП	<i>Lighting Technologies</i> Действующий вариант	<i>Philips «GreenUp Waterproof»</i>	<i>Philips «Coreline Waterproof»</i>	<i>Lighting Technologies «SLICK.PRS»</i>
$E(\Gamma-0,0)$, лк	698	778	799	686
$E(B-0,0)$, лк	267	341	311	392
$E(\Gamma-1,0)$, лк	1140	1050	933	1300
$E(B-1,0)$, лк	429	473	344	558
L , габаритная яркость светящей части i -го светильника в направлении глаз наблюдателя, кд/м ²	772	1189	769	616
UGR	26,2	25,3	24,7	23,5

Таблица 7

«Измеренные» и смоделированные значения UGR

ОП	<i>Lighting Technologies</i> Действующий вариант	<i>Philips «GreenUp Waterproof»</i>	<i>Philips «Coreline Waterproof»</i>	<i>Lighting Technologies «SLICK.PRS LED»</i>
UGR , «измеренный»	26,2	25,3	24,7	23,5
UGR , рассчитанный в 3М модели	27,3	25,1	23,8	23,1
Относительная погрешность, %	4,0	0,8	3,6	1,7

несколько выбранных вариантов освещения сборочного конвейера. При анализе учитывались следующие показатели: средняя освещённость, U_0 и UGR . Дополнительно проведён экономический расчёт со сравнительным анализом годовых эксплуатационных расходов на содержание каждого варианта ОУ. Сравнительный анализ светотехнических и экономических

параметров показал, что в действующем варианте освещения UGR (более 30), эксплуатационные расходы и расходы на содержание ОУ являются наилучшими.

Оптимальное решение в рамках данной работы – ОУ с ОП (светильники) *Lighting Technologies «SLICK.PRS LED»*. При этом значения средней освещённости и U_0 лежат в преде-

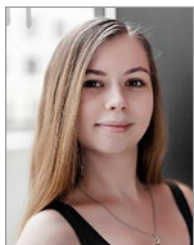
лах допустимых значений, а уровень UGR наиболее близок к норме: на высоте 1,2 м от пола он равен 22 (удовлетворяя требованиям ГОСТ [6]), а на высоте 1,7 м от пола – 23 (превышая норму, но незначительно). Соответственно, выполнением норм [6] данный вариант ОУ обеспечивает нужный уровень зрительной работы сотрудников.

Сравнение результатов расчёта *UGR* по измеренным данным с результатами моделирования в 3М модели «*DIALux Evo*» показало относительную погрешность 0,8–4 %. Это говорит о том, что компьютерная модель адекватна объекту (табл. 7).

Проанализировав все указанные выводы, можно заключить, что в большинстве рассмотренных случаев (среди представленных вариантов ОУ) значения *UGR* выше нормируемых, что следует учитывать в дальнейшем совершенствовании ОУ для конвейерного производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прокофьев А. Рейтинг промышленных светодиодных светильников // Современная светотехника. – 2012. – № 1. – С. 3–13.
2. Тутков С. Светодиодные светильники для цехов и улиц // Современная светотехника. – 2014. – № 1. – С. 32–36.
3. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Знак, 2006. – 972 с.
4. Будак В.П., Мешикова Т.В. *DIALUX 4.10* и *DIALux Evo*. Главные различия // Светотехника. – 2013. – № 3. – С. 38–42.
5. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение».
6. ГОСТ Р 55710–2013 «Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений».
7. Рекомендации, по технико-экономической оценке, освещения производственных зданий, НИИСФ Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1983. – С. 10–14

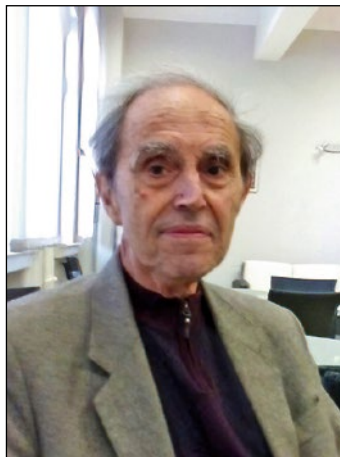


Минаева Светлана Юрьевна, студент 2 курса магистратуры НИУ МЭИ (кафедра «Светотехника»)



Будак Владимир Павлович, доктор техн. наук, профессор. Окончил в 1981 г. МЭИ. Главный редактор журнала «Светотехника / Light & Engineering» и профессор кафедры «Светотехника» НИУ МЭИ. Член-корреспондент Академии электротехнических наук РФ

НЕКРОЛОГ



10 мая 2019 года, после непродолжительной болезни, в возрасте 89 лет умер профессор Николай Иванович Василев.

Мы потеряли замечательного учёного, одного из основателей светотехники как науки в Болгарии. Профессор Николай Василев окончил Государственный политехнический университет в Софии по специальности «Электрические сети и системы» и специализировался в области электроснабжения и осветительного оборудования. Его профессиональная карьера началась в качестве проектировщика в «ЭнергоПроект – София» с крупномасштабных систем электроснабжения для новых жилых районов «Яворов», «Изток» и «Хиподрума» в Софии. В то же время он был ассистентом по совместительству в МЭИ – София.

Будучи ассистентом на постоянной основе (1959 г.), доцентом (1966 г.) и профессором промышленного освещения (1969 г.), он знакомит с предметами электрооборудования и осветительного оборудования и разрабатывает эти курсы на кафедре электрических сетей и систем.

В 1981 году проф. Николай Василев основал в отделении электротехники и электроснабжения промышленную научно-исследовательскую светотехническую лабораторию. Эта лаборатория уже на протяжении 38 лет является национальным научным центром с международной популярностью и имеет аккредитацию в области испытаний и калибровок.

В этой лаборатории был создан первый научный коллектив светотехников: 13 докторов, много доцентов и три профессора.

Мы будем помнить его активную общественную и организационно-управленческую деятельность в качестве заместителя декана электротехнического факультета, председателя научно-технического союза в Болгарии, основателя, председателя и почётного председателя Национального Комитета по Освещению. С 2006 по 2013 год Николай Василев возглавлял национальную команду, участвующую в Европейской Программе Адаптивного Уличного Освещения.

Научные работы профессора Василева, опубликованные во всемирно известных журналах и представленные на международных симпозиумах, высоко ценятся за рубежом. Он является автором более 200 публикаций и большинства книг и учебников в области светотехники в Болгарии.

В 2013 году журнал Светотехника признал профессора Николая Василева одним из всемирно известных учёных в области светотехники и пригласил его к участию в интервью, организованном на международном уровне.

Он знал, он мог, и он дал нам очень много!

Почивай в мире, дорогой учитель! Последнее прости...

Национальный Комитет Освещения Болгарии

Редколлегия и редакция журнала «Светотехника» выражает искреннее соболезнование семье покойного и его сотрудникам, в связи со смертью члена редколлегии журнала «*Light&Engineering*», выдающегося учёного Болгарии Николая Василева.

Я тяжело переживаю смерть своего друга. Нас связывала деятельность в области светотехники, международная деятельность в рамках МКО и МЭК, а также большая личная дружба на протяжении многих десятилетий. Николай был великолепным учёным, организатором науки и замечательным человеком.

Ю.Б. Айзенберг

Владимиру Михайловичу Пчелину – 70 лет!

15 мая 2019 года отметил свой 70-летний юбилей кандидат технических наук, генеральный директор Группы компаний «Рефлекс» Владимир Михайлович Пчелин.

Всю свою профессиональную жизнь Владимир Михайлович посвятил светотехнике. Будучи талантливым изобретателем и успешным предпринимателем, он смог реализовать то, что удавалось немногим: дать путёвку в жизнь своему авторскому изобретению – зеркальной лампе ДНаЗ/*Reflux*. Сегодня лампы *Reflux* широко используются в условиях загрязнённой среды, а также там, где нужны мощные малогабаритные источники света.

В 1971 году Владимир Михайлович Пчелин закончил МЭИ по специальности «Светотехника и источники света».

В 1972 году Владимир Михайлович становится сотрудником ВНИСИ – его пригласил в свою лабораторию профессор Георгий Николаевич Рохлин. Владимир Михайлович Пчелин являлся ответственным исполнителем за разработку шаровых металлогалогенных ламп ДРИШ с улучшенной цветопередачей, которые использовались для освещения студий и стадионов при цветной кино- и телесъемке во время проведения Олимпиады-80. Работа над лампами ДРИШ легла в основу кандидатской диссертации Владимира Михайловича Пчелина, которую он успешно защитил в 1982 году.

Следующий этап деятельности Владимира Михайловича, возглавившего после защиты диссертации лабораторию наружного освещения, был посвящён разработке уличных светильников. Именно тогда у Владимира Михайловича родилась идея создания уникальной зеркальной лампы ДНаЗ/*Reflux*, которая совмещала в себе функции излучения и перераспределения светового потока. Для натриевых источников света это стало возможным впервые – благодаря специальному профилю зеркализованной части колбы, выполняющей роль отражателя, исходящие лучи не возвращались обратно на горелку, что обеспечивало высокий КПД оптической системы ДНаЗ/*Reflux* и долгий срок службы лампы. В 1984 зеркальная лампа ДНаЗ типа *Reflux* была запатентована в СССР, а затем в США, Германии, Франции, Японии, Китае.



До 1991 года Владимир Михайлович работал во ВНИСИ в должности заместителя директора по науке под руководством Геннадия Рубеновича Шапунянца, личность которого оказала на него значительное влияние. В сложный период Перестройки приходилось заново учиться управлению, осваивать новые формы хозяйственной деятельности. Владимир Михайлович всегда с огромным уважением и благодарностью вспоминает своих учителей и наставников.

С начала 90-х годов, обладая широкими научными и практическими знаниями в области светотехники и имея значительный опыт управления, Владимир Михайлович занялся предпринимательской деятельностью. Уникальная разработка Владимира Михайловича Пчелина вызвала активный интерес зарубежных компаний, которые занимались поисками перспективных научно-технических идей и высоко оценили эффективность его изобретения: первые зеркальные лампы *Reflux* «увидели свет» на улицах Сингапура и Индии.

В 1995 году для промышленной реализации лампы-светильника ДНаЗ/*Reflux* была создана компания «Рефлекс», бесшумным руководителем которой Владимир Михайлович является до сих пор. На создание собственного производства в Саранске ушло более 10 лет. Сегодня завод «Рефлекс-С» представляет собой современное предприятие, оснащённое импортным автоматизированным оборудованием, которое по ряду экономических показателей занимает лидирующие позиции не только в Республике Мордовия, но и в России.

Светотехническая продукция, выпущенная под маркой *Reflux* реализуется не только в России и странах СНГ, но и поставляется за рубеж: в Нидерланды, Чехию, Канаду, Китай и другие страны. Зеркальными лампами освещена трасса Москва – Домодедово, стадионы в Москве, Калининграде, Самаре и Саранске. Более 80 % промышленных тепличных комбинатов России сегодня оснащены зеркальными лампами ДНаЗ/*Reflux*, под которыми выращиваются рекордно высокие урожаи. Только в тепличном комбинате «Майский», который является крупнейшим производителем овощей защищённого грунта в стране, установлено 110 тысяч ламп «Рефлекс».

По итогам 2018 года Группа компаний «Рефлекс» вошла в число участников проекта «Национальные чемпионы». Министр экономического развития Максим Орешкин лично вручил благодарность генеральному директору и основателю Группы компаний «Рефлекс» Владимиру Михайловичу Пчелину. В письме Минэкономразвития РФ, адресованном Владимиру Михайловичу, сказано, что «подобный результат является заслуженным признанием высокого профессионализма и свидетельствует о значительном вкладе компании в развитие высокотехнологичной сферы российской экономики».

Все эти годы Владимир Михайлович успешно совмещает предпринимательскую и научную деятельность. С 1985 года он является представителем России в Отделении 4 Международной Комиссии по освещению (CIE), а с 2002 года – Председателем Рабочей группы по Светотехнике в Международной организации «Интерэлектро». Владимир Михайлович Пчелин – автор более 60 научно-технических публикаций и 35 авторских свидетельств и патентов ведущих стран мира.

Поздравляя сегодня Владимира Михайловича Пчелина с юбилеем, мы желаем ему крепкого здоровья и неиссякаемой энергии, талантливых учеников и верных единомышленников, чтобы и дальше укреплять и развивать дело всей своей жизни. И пусть яркий свет зеркальной лампы *Reflux* остаётся путеводным маяком для всех, кто не просто мечтает, а упрямо идёт к своей цели и добивается успеха!

25 ярких лет: от «Интерсвета» к Interlight Russia | Intelligent Building Russia

Международная выставка освещения, систем безопасности, автоматизации зданий и электротехники в этом году празднует 25-летний юбилей и встречает эту дату существенными обновлениями.

Во-первых, проект эволюционировал и получил новое имя – **Interlight Russia | Intelligent building Russia**. Это название подчёркивает важность каждой части выставки – освещения и строительства.

Во-вторых, поменялись даты: выставка будет проходить раньше, чем в прошлых годах, – **10-13 сентября 2019 года**. Это предоставляет экспонентам больше возможностей для детальной проработки заключённых договорённостей в рамках выставочного проекта.

Девиз Interlight Russia | Intelligent building Russia 2019 – **«25 ярких лет»**, на протяжении которых проект завоевал доверие представителей профессионального сообщества.

В рамках раздела Interlight Russia пройдёт несколько крупных мероприятий:

В 13-й раз пройдёт **Международный LED-форум** – крупнейшая в России и СНГ международная бизнес-конференция о возможностях светодиодных технологий.

Откроет свои двери **Interlight Design Academy** – образовательная площадка для архитекторов и дизайнеров, где на протяжении всех 4-х дней работы выставки будут проходить лекции, семинары и мастер-классы, на которых обсудят тенденции в сфере дизайна, проектирования и интеграции новейших технологий в проекты. Главным по свету будет Константин Цепелев, основатель Bright Buro.

На выставке будут подведены результаты ежегодного конкурса **«Российский светодизайн»**, который нацелен на выявление талантливых светодизайнеров: заявки на участие принимаются до 30 августа включительно. Конкурс проводится при инфоподдержке ARTPLAY, Переделка.TV, журнала «Современный ДОМ» и др.

В 2018 году с успехом дебютировала экспозиция под открытым небом **«Свет в городе»**: в 2019 – она также будет представлена на выставке.

Нововведение этого года – «Новогодняя экспозиция», посвящённая украшению общественных пространств в зимний праздничный период. Производители не только покажут свою продукцию, но и расскажут о секретах и особенностях зимнего украшения улиц.

В рамках раздела Intelligent Building Russia пройдёт **Intersec Forum Russia-2019**, посвящённый автоматизации зданий и интегрированным системам безопасности. Форум состоится при официальной поддержке лидеров отрасли.

На протяжении всех четырёх дней работы выставки будет работать масштабная образовательная площадка **«Электротехническая Академия»**. Дарья Макурова выступит в качестве гида по миру автоматизации зданий. Программа составлена для широкого круга специалистов: технических специалистов, главных инженеров, инженеров-электриков, инженеров-инсталляторов, проектировщиков, прорабов, сборщиков щитового оборудования, представителей оптовой и розничной торговли, дизайнеров.

В этом году своё участие в выставке подтвердили уже более 170 компаний из Армении, Беларуси, Венгрии, Германии, Испании, Италии, Кореи, Польши, Португалии, РФ, Таиланда, Турции, Финляндии, Франции, Чехии, Японии, а также Китая и Гонконга.

Официальные материалы:

<https://interlight-moscow.ru.messefrankfurt.com/moscow/ru/press.html>

Мы в социальных сетях:

<https://www.facebook.com/InterlightMoscow/>

https://vk.com/interlight_moscow

https://www.instagram.com/interlight_moscow/

<https://www.youtube.com/channel/>

UC5tttd62ylzqyV03M8stQBCg

Информация о концерне Messe Франкфурт ГмБХ

Messe Франкфурт – крупнейший в мире организатор выставок, конгрессов и мероприятий с собственным выставочным центром. Со штатом более 2500* сотрудников в 30 офисах по всему миру, годовой оборот компании составляет более €715* миллионов. Благодаря обширному опыту в наиболее значимых секторах, а также работе sales-партнёров, компания эффективно работает в интересах своих клиентов.

Значительный спектр услуг концерна – во время подготовки и на площадке – гарантирует потребителям высокое качество и широкие возможности в рамках планирования, организации и проведения их мероприятий по всему миру. Услуги включают в себя аренду выставочной площади, застройку и маркетинговую поддержку участников, аренда персонала и кейтеринг. Главный офис компании находится во Франкфурте-на-Майне, 60 % акций принадлежат городу Франкфурт-на-Майне, 40 % – земле Гессен.

Для получения дополнительной информации пройдите по ссылке: www.messefrankfurt.com

* информация актуальна на 2018 г.

Официальное заявление Международной комиссии по освещению по опасности синего света

Март 2019 г.

В средствах массовой информации были опубликованы статьи об опасности для здоровья человека освещения такими источниками света, как светодиоды (СД), которая охватывалась термином «опасность синего света». Этот термин вольно использовали применительно к опасности реального повреждения глаз и влияния света на общее состояние здоровья человека.

Термин «опасность синего света» следует использовать только при рассмотрении опасности фотохимического повреждения сетчатки глаза (в специальной литературе это называют «фотомакулопатией»), обычно связанной с наблюдением ярких источников света, таких как солнце или сварочная дуга. Слово «синий» входит в этот термин потому, что вероятность фотохимического повреждения зависит от длины волны с максимумом в синей области спектра оптического излучения в районе 435–440 нм. Международная комиссия по защите от неионизирующего излучения (ICNIRP) опубликовала «функцию опасности синего света», которая представляет собой зависящую от длины волны весовую функцию, и устанавливаемые пределы экспонирования [1]. МКО стандартизировала эту функцию в стандарте CIE S009:2002 «Фотобиологическая безопасность ламп и ламповых систем», в настоящее время преобразованном в IEC/CIE62471:2006 [2]. В настоящее время нет свидетельств каких-либо неблагоприятных последствий для здоровья человека от случайного воздействия оптического излучения, не превышающего указанные пределы экспонирования.

Лампы, включая СД, которые излучают преимущественно белый свет, обычно некоторое количество света излучают в диапазоне длин волн, существенном для оценки опасности синего света. В излучении «холодных» или имеющие высокую цветовую температуру ламп доля синего света может быть больше, чем у более «тёплых» или имеющие более низкую цветовую температуру ламп. Фактически, при одинаковых цветовых темпе-

ратурах уровни экспонирования для опасности синего света для ламп накаливания и светодиодных источников совпадают. Проведённые оценки показали, что пределы экспонирования для опасности синего света не превышаются при всех разумно прогнозируемых условиях использования. Более того, уровни экспонирования часто оказываются меньшими, чем имеющие место при наблюдении синего неба.

Большое значение имеет рассмотрение реализуемого на практике экспонирования глаз [3]. Был опубликован ряд исследований, освещавшихся в средствах массовой информации, в которых говорилось о неблагоприятном воздействии источников белого света. Многие из этих исследований проводились в нетипичных условиях, например:

- Длительное экспонирование.
- СД с высокой цветовой температурой (т.е. с очень большим содержанием в излучении синей составляющей).
- Экспозиции, значительно превышающие пределы экспонирования ICNIRP.
- Фиксация взгляда на источнике света.
- Использование ночных животных или клеток человека *in vitro* (в пробирке).

Важно понимать, что источник белого света, излучающий синий свет на уровнях, достаточных для того, чтобы приблизиться к пределу экспонирования для опасности синего света, будет чрезвычайно ярким и вызывающим дискомфорт, и что фиксация взгляда на таких источниках света может считаться необычным поведением. Кроме того, освещение с высокой цветовой температурой воспринимается большинством людей как неприятное и некомфортное, особенно если говорить о бытовом освещении. Известно, что в повседневной жизни мы испытываем кратковременное воздействие высоких уровней освещения, и это может происходить много раз в день. Однако накопление этих экспозиций в течение

дня не приведёт к превышению пределов экспонирования.

Несмотря на то, что МКО считает, что «опасность синего света» не является проблемой для используемых в общем освещении источников белого света даже с повышенным содержанием излучения в синей области спектра, рекомендуется соблюдать осторожность в случаях многодневного постоянного воздействия оптического излучения, когда уровни экспонирования приближаются к пределам экспонирования для опасности синего света. Конечно, таких воздействий следует избегать. Такое экспонирование маловероятно в случае источников белого света, но возможно в случае источников, излучающих преимущественно синий свет.

Следует также понимать, что использование источников, излучающих преимущественно синий свет, в первую очередь вызывает беспокойство относительно их воздействия на глаза детей. Даже если пределы экспонирования для опасности синего света не превышены, такие источники света могут оказаться ослепительно яркими для молодёжи. По этой причине не рекомендуется использовать синие световые индикаторные лампы в игрушках и прочих устройствах, на которые могут смотреть дети. Если источники синего света в таких изделиях всё же используются, то пределы экспонирования следует уменьшить в 10 раз. Это даже важнее в случае источников света, излучающих в фиолетовой и граничащей с ультрафиолетовой (*deep-violet*) областях спектра.

Высказывалось мнение, что воздействие синего света можно связать с опасностью возрастной макулярной дегенерации. Эти заявления на данный момент являются умозрительными и не подкрепляются рецензированными публикациями.

Термин «опасность синего света» не следует использовать применительно к искажениям циркадных ритмов и нарушению сна. Однако МКО осознаёт обеспокоенность общества невидимым воздействием синего света на здоровье людей и уже опубликовала официальное заявление по этому вопросу [4], обновлённая редакция которого, учитывающая, например, CIE S026:2018 [5], со временем будет опубликована.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ICNIRP *Guidelines on Limits of exposure to incoherent visible and infrared radiation. Health Physics*. 105(1):74–96; 2013 (available from www.icnirp.org).

2. Sliney, D H, Bergman, R and O’Hagan, J. Photobiological Risk Classification

of Lamps and Lamp Systems – History and Rationale. *LEUKOS*, 12:4, 213–234, 2016, DOI: 10.1080/15502724.2016.1145551.

3. IEC62471:2006/CIE S009:2002 Sécurité photobiologique des lampes et des appareils utilisant des lampes / Photobiological safety of lamps and lamp systems (bilingual edition).

4. CIE *Position Statement on Non-Visual Effects of Light – Recommending Proper Light at the Proper Time*, June 28, 2015.

5. CIE S026/E:2018 *CIE System for Metrology of Optical Radiation for ipRGC–Influenced Responses to Light*.

О МКО и её официальных заявлениях

Международная комиссия по освещению (*International Commission on Illumination*, известная также как *CIE*, что является аббревиатурой её наименования на французском языке (*Commission Internationale de l’Eclairage*)) является приверженцем мирового сотрудничества и обмена информацией по всем вопросам, касающимся научных и практических аспектов света и освещения, цвета и зрения, фотобиологии и формирования изображений.

Имея мощные технические, научные и культурные корни, МКО является независимой некоммерческой

организацией, которая служит входящим в неё странам на добровольной основе. С момента своего образования в 1913 г., МКО признавалась в качестве высшего авторитета в вопросах светотехники и как таковая признана Международной организацией по стандартизации как орган международной стандартизации. В этом качестве МКО опубликовала ряд международных стандартов по основным аспектам света и освещения.

Официальные заявления МКО одобряются правлением МКО, в которое входят руководители всех отделений МКО (подразделения МКО, выпол-

няющие научные исследования), а перед этим согласовываются с соответствующими техническими комитетами МКО.

Для получения дополнительной информации обратитесь, пожалуйста, в центральное бюро МКО:

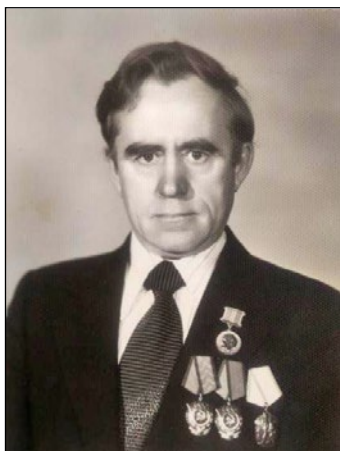
CIE Central Bureau
Kathryn Nield, General Secretary
(генеральный секретарь)
Babenbergerstraße 9/9A, A-1010
Vienna, Austria
Телефон: +43 1 714 31 87
Email: kathryn.nield@cie.co.at
Website: <http://www.cie.co.at>

УШЁЛ ИЗ ЖИЗНИ Ю.Е. НОВОСЁЛОВ (1932–2019)

На 87 году жизни скончался бывший заместитель министра электротехнической промышленности СССР, ветеран отечественной электротехнической промышленности Юрий Евлампиевич Новосёлов.

Ю.Е. Новосёлов в 1961 году окончил механический факультет Томского политехнического института. В 1970 году Новосёлов был назначен директором Томского электролампового завода. С 1970 по 1976 гг. под руководством завода Юрия Евлампиевича достиг наибольшего объёма производства – более 140 млн электроламп в год. Ассортимент продукции завода составлял более 100 наименований.

С 1976 по 1981 гг. работал заместителем начальника Союзэлектросвета по производству, с 1981 по 1983 гг. – главным



инженером Союзэлектросвета, с 1983 по 1987 гг. – начальником Главэлектросвета, а в 1987 г. был назначен заместителем министра Минэлектротехпрома СССР. В 1994 годы был избран в Совет Фонда социальной защиты ветеранов электротехнической про-

мышленности, где на протяжении многих лет оказывал помощь и поддержку ветеранам со всего бывшего СССР.

Юрий Евлампиевич был видным организатором светотехнической промышленности и электротехнического производства. За большой вклад в развитие электротехнической отрасли и энергетики страны был награждён двумя орденами Трудового Красного знамени, орденами Дружбы народов, «Знак Почёта», медалями.

Сегодня все мы, друзья и коллеги, глубоко скорбим в связи с уходом из жизни Новосёлова Юрия Евлампиевича и выражаем самые глубокие соболезнования его супруге и всем членам его семьи. Светлая память о Юрии Евлампиевиче навсегда сохранится в наших сердцах.



Международная
светотехническая
корпорация



БООС ЛАЙТИНГ ГРУПП

ООО «Светосервис-Сочи»

Гарантия высокого качества жизни жителей города

Благоустройство придомовых территорий, прокладка высоковольтных линий, а также монтаж приборов учета – уникальный для нашей страны опыт. При разработке проекта главным условием было вовлечение жителей в работу по созданию нового облика наших городов. Им дана возможность не только решить, как будут потрачены средства, но и вести контроль за реализацией.



354055, г. Сочи,
ул. Тоннельная, 2Б



www.svetoservis.ru



+7 (968) 300-63-30
+7 (862) 296-54-40



Международная
светотехническая
корпорация



БООС ЛАЙТИНГ ГРУПП

Преимущества выбора OPORA ENGINEERING



КАЧЕСТВО СВАРНОГО ШВА - ПРОЧНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ



**СТАЛЬ - ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ СТАЛИ В ЗАВИСИМОСТИ
ОТ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ**



ГАРАНТИРОВАННЫЙ СРОК СЛУЖБЫ - 25 ЛЕТ

www.opora-e.com

**Оформить подписку или купить статью Вы можете на сайте журнала
«Светотехника / Light & Engineering»
www.e-l-journal.com**

Стоимость подписки на журнал «Светотехника» на 2019 год

№	Наименование журнала	Версия	Период	Цена	Кол-во
1	«Светотехника»	бумажная	2 месяца	1 500 руб.	1 экз.
2	«Светотехника»	электронная	2 месяца	1 000 руб.	1 экз.
3	«Светотехника»	бумажная	Полугодие	4 500 руб.	3 экз.
4	«Светотехника» для физ.лиц	электронная	Полугодие	3 000 руб.	3 экз.
5	«Светотехника» для юр.лиц	электронная	Полугодие	6 000 руб.	3 экз.
6	«Светотехника»	бумажная	Год	9 000 руб.	6 экз.
7	«Светотехника» для физ.лиц	электронная	Год	6 000 руб.	6 экз.
8	«Светотехника» для юр.лиц	электронная	Год	12 000 руб.	6 экз.

Подписка на детское приложение к научно-техническому журналу «Светотехника». Второе полугодие 2019 года

№	Наименование журнала	Версия	Период	Цена	Кол-во
1	«Светотехника» для детей	бумажная	2-е полугодие	1 800 руб.	2 экз.
2	«Светотехника» для детей	электронная	2-е полугодие	900 руб.	2 экз.

СПЕЦИАЛЬНОЕ ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПРИ ГОДОВОЙ ПОДПИСКЕ!!!

№	Наименование журнала	Версия	Период	Цена	Кол-во
1	«Светотехника» + «Светотехника» для детей	бумажная	Год	9 180 руб.	6+2 экз.
2	«Светотехника» + «Светотехника» для детей	электронная	Год	6 100 руб.	6+2 экз.

Стоимость журнала «Light & Engineering» на 2019 год

№	Наименование журнала	Версия	Период	Цена	Кол-во
1	«Light & Engineering»	бумажная	2 месяца	35 Евро	1 экз.
2	«Light & Engineering»	электронная	2 месяца	30 Евро	1 экз.
3	«Light & Engineering»	бумажная	Полугодие	70 Евро	3 экз.
4	«Light & Engineering» для физ.лиц	электронная	Полугодие	60 Евро	3 экз.
5	«Light & Engineering» для юр.лиц	электронная	Полугодие	225 Евро	3 экз.
6	«Light & Engineering»	бумажная	Год	140 Евро	6 экз.
7	«Light & Engineering» для физ.лиц	электронная	Год	120 Евро	6 экз.
8	«Light & Engineering» для юр.лиц	электронная	Год	450 Евро	6 экз.

Стоимость статьи из журналов «Светотехника» и «Light & Engineering» на 2019 год

№	Наименование журнала	Версия	Кол-во	Цена
1	«Светотехника»	электронная	1 экз. статьи	400 руб.
2	«Light and Engineering»	электронная	1 экз. статьи	5 Евро