

СВЕТО ТЕХНИКА

4 · 2023





ООО «ОПОРА ИНЖИНИРИНГ»

300057, г. Тула, ул. Железнодорожная, 56А, пом № 38
129626, Москва, 1-й Рижский переулок. 6/1



+7 (495) 785-37-40
+7 (495) 742-09-08



www.opora-e.com

Уважаемые читатели!



В.П. Будак
д.т.н., проф.,
академик АЭН РФ
BudakVP@gmail.com

В апреле этого года Международная комиссия по освещению (МКО) на своём сайте <https://cie.co.at/research-strategy> опубликовала обращение к исследователям в области светотехники и смежных научных направлений, озглавленное «Стратегия исследований МКО» (*CIE Research Strategy*). Спасибо нашему национальному комитету, который в своих рассылках обращает внимание на важнейшие документы МКО. В этом обращении указывается, что все документы МКО основаны на самых убедительных имеющихся научных данных и проходят тщательную проверку и процесс голосования среди экспертов. Поэтому исследователям очень важно обратить внимание на новые направления, среди которых МКО выделяет, прежде всего, темы, связанные с человеческими способностями и экологическими системами, будь то фундаментальные или прикладные. При этом подчёркивается, что именно публикации в рецензируемой литературе по этим темам послужат основой для следующего поколения технических отчётов и стандартов МКО.

Не могу не заметить, что МКО ждёт от нас новых идей, законов, теорий. В то же время мне лично не раз приходилось сталкиваться с тем, что на наших форумах и обсуждениях диссертаций чаще предлагается и ищется новое, а проверяется на соответствие стандартам МКО. Замечание «это что-то новое?!» считается ироничным убийственным аргументом при обсуждении диссертаций. Основу научной экспертизы составляет правильность обозначений и строгое соответствие ГОСТ. Не могу не заметить, что обозначения Международного светотехнического словаря – не ГОСТ, потому не обязательны, а лишь желательны для того, чтобы тебя легко понимало сообщество. Вообще, стоит заметить, что судить работу в рамках христианской этики «не суди других» можно только в соответствии с положением ВАК: актуальность

(иначе нерешённость), новизна (не опубликовано в открытой печати), обоснованность (доказанность логикой теории, точностью эксперимента, полнотой компьютерной модели) и достоверность (связь с существующей теорией). Остальное, как и орфографические ошибки, конечно, нуждается в исправлении, но не может быть критерием оценки научных исследований.

Какие же темы видятся МКО самыми актуальными на сегодня:

1. Рекомендации по здоровому освещению и не визуальным световым эффектам;
2. Качество цвета ИС, связанное с восприятием и предпочтениями;
3. Интегральная метрика ослепленности для различных приложений освещения;
4. Новые калибровочные источники и ИС для фотометрии, колориметрии и радиометрии;
5. Адаптивное, интеллектуальное и динамическое освещение;
6. Применение в колориметрии новых данных по спектральной чувствительности колбочек;
7. Зрительное ощущение: восприятие, измерение и показатели;
8. Адаптивные пользователю системы освещению;
9. Метрология для современных фотометрических и радиометрических устройств;
10. Воспроизведение и измерение 3D-объектов.

Каждая из указанных тем заслуживает детального обсуждения, что, конечно же, выходит за рамки колонки. Поэтому я остановлюсь на теме, которая мне представляется важнейшей для светотехнической практики сегодня – темы 3, которую кратко назову «критерий качества».

Система освещения должна обеспечивать достаточное количество света, не создавать ни дискомфортных бликов, ни маскирующих отражений, быть без мерцаний с равномерным освещением рабочего пространства, а также обеспечивать приемлемую цветопередачу. Опыт показывает, что при несоблюдении этих требований, скорее всего, возникнут жалобы обитателей, а их удовлетворённость освещением и производительность труда могут снизиться.

Проектировщики ОУ освоили эти требования, и сегодня редко можно встретить ОУ, освещение которых ухудшает визуальную эффективность либо влечёт сильный визуальный дискомфорт. Однако существует достаточно много ОУ, освещение которых воспринимается как мрачное и неинтересное, что послужило толчком к бурному развитию исследований качества освещения. Такой подход делает акцент на освещении, отвечающем широкому спектру потребностей человека, и важности оценки освещения с точки зрения пользователя. Поскольку пока не существует каких-либо всеобъемлющих и объективных (фотометрических) показателей визуального комфорта, опросы обитателей (экспертные оценки) освещаемого пространства остаются наиболее точным способом оценки освещённости офисных помещений.

Датский исследователь Дэвид П. Вайон (*D.P. Wyon*) выдвинул гипотезу о влиянии распределения яркости на различные поведенческие результаты, названную им картой связанных механизмов. Так, например, визуальный комфорт оказывает косвенное влияние на настроение и – через него – на ощущение здоровья и благополучия. А условия освещения, которые вызывают зрительный дискомфорт или отвлекают внимание, со временем повлияют на зрительные способности и оценку условий.

Целью экспертных оценок является определение соотношения между физическим стимулом и субъективной оценкой и поиск функции связи между ними. Для оценки освещения затруднительно однозначное определение фотометрических величин, поддающихся измерению, соответствующих определённому сигналу восприятия. Психофизическое исследование предполагает изучение связи между раздражителем и ощущением. Поэтому требуется получить субъективную оценку восприятия сцены освещения и распределения яркости в поле зрения наблюдателя, а также выполнить физическое измерение фотометрических параметров. Наиболее эффективным путём учёта влияния всех факторов на ощущение является аппроксимация результатов с помощью нейросети, а критерием эффективности построенной сети – отсутствие переобучения при добавлении новых данных.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

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

УЧРЕДИТЕЛИ:

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Г.В. Боос, председатель редакционной коллегии, к.т.н., НИУ «МЭИ», Москва
С.Г. Ашурков, к.т.н., Москва
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. Блаттнер (Peter Blattner) Федеральный Институт Метрологии METAS, Швейцария
В. ван Боммель (Wout van Bommel), Philips Lighting, Нидерланды
А.А. Богданов, к.т.н., ООО «МГК «Световые Технологии», Москва
А.С. Букатов, ГУП «Моссвет»
Н.В. Быстрянцева, к. арх., Университет ИТМО, С.-Петербург
Л.П. Варфоломеев, к.т.н., Москва
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
Е.А. Заева-Бурдонская, канд. искусствоведения, МГХПА им. С.Г. Строганова
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.Н. Макаров, к.т.н., НИУ «МЭИ»
Э. Миллс (Evan Mills), Lawrence Berkeley Laboratory, США
Л.Г. Новаковский, к.т.н., ООО «Фарос-Алеф», Москва
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., ФГБУ «НМИЦ ГБ им. Гельмгольца» Минздрава России
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. Шапаруняц, к.т.н., генеральный директор ВНИСИ им. С.И. Вавилова, Москва
Н.И. Щепетков, д. арх., проф., МАРХИ (ГА), Москва
И.В. Якименко, д.т.н., Смоленский филиал НИУ «МЭИ», Смоленск

РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА

Генеральный директор
Н.С. Шерри; sherri@bl-g.ru
 Старший научный редактор
Т.В. Смирнова; mtv@l-e-journal.com

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

Главный редактор
В.П. Будак, д.т.н., проф., академик АЭН РФ; budak@l-e-journal.com

Зам. главного редактора и научный редактор англоязычной версии
Р.И. Столяревская, д.т.н.; stoly@l-e-journal.com

Научный редактор
С.Г. Ашурков; ashurkov@l-e-journal.com

Научный редактор
А.Ю. Басов; basov@bl-g.ru
 Выпускающий редактор

П.А. Федорищев; fpa@l-e-journal.com
 Зав. редакцией

М.И. Титаренко; titarenko@l-e-journal.com
 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
 Грег Бизяк (*Grega Bizjak*), Люблянский университет;

Турция
 – Тугче Казанасмаз (*Tugce Kazanasmaz*), Измирский технологический институт;
 – Эрдал Шехирли (*Erdal Sehirlil*), университет Кастамону;
 – Ренгин Юнвер (*Rengin Unver*), Технический университет Йылдыз (Стамбул)

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

За содержание и редакцию информационных материалов ответственность несет источник информации.

Мнение редакции не всегда совпадает с мнением авторов статей

Сдано в набор 20.06.23. Подписано в печать 07.08.23
 Формат 60×88 1/8. Печ.л. 10,00. Тираж 1200

Отпечатано в типографии ООО «Группа Компаний Море»
 109147, Москва, ул. Марксистская, д. 34, к. 10

129626, Москва, проспект Мира, 106, ВНИСИ, оф. 334, 346; Тел. 7(495)682-58-46; 7(495)682-19-04

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

СОДЕРЖАНИЕ 4·2023

В НОМЕРЕ

ИЮЛЬ • АВГУСТ

Колонка главного редактора.....	1	Чэнь С., Ефременко Д.С., Чжан Ч., Мон Л.	Картирование наземных полей аквакультуры по снимкам дистанционного зондирования высокого разрешения	76
Бизнес и инновации	33, 58, 67, 74, 85, 90	Будак В.П., Гримайло А.В. Энергетический расчёт оптических систем: модификация прямого хода метода Монте-Карло.....	82	
Дранко О.И., Захарова А.А. Модель анализа эффективности организаций светотехнической отрасли: комплексный взгляд.....	4	Малик П., Шарма К. Анализ дугового разряда в МГЛ с керамической горелкой методом конечных элементов	86	
Карев А.В., Ляпунов С.А., Щепетков Н.И. Оценка осветительного прибора по степени светового загрязнения окружающей среды.....	16	Сенгиз М.С. Мастер-план освещения городских пространств	91	
Смирнова (Мешкова) Т.В., Заева-Бурдонская Е.А. Формирование новой идентичности объектов дорожного сервиса с помощью приёмов светодизайна. Предпроектный анализ.....	26	ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ И РАЗВИТИЯ СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ СТРАНЫ		
Будак В.П., Макаров Д.Н. Компьютерная графика в световом дизайне: итоги курсовых работ студентов-светотехников.....	34	Рудаков В.С., Таношина Т.А. История образования и развития акционерного общества «Кадошкинский электротехнический завод».....	99	
Столяревская Р.И. Обзор ретроспективы и реалий прикладной фотометрии. Часть 2: светодиодный вызов фотометрии	38	ХРОНИКА		
Госвами А.Д., Чакраборти С. Интеллектуальные системы управления в рамках концепции человеко-ориентированного освещения. Обзор стандартов уличного освещения.....	49	Памяти Ричарда Киттлера.....	25	
Когул И., Дюран Х.Э., Казанасмаз З.Т. Обеспечение визуального комфорта и повышение качества обзора в помещениях с различным остеклением.....	60	Лесман Е.А. Начало регулярного уличного освещения Санкт-Петербурга	37	
Маняхин Ф.И., Варламов Д.О., Скворцов А.А., Мокрецова Л.О., Николаев В.К. Измерение температуры активной области светодиодов средней мощности по динамике изменения прямого напряжения при токовом нагреве и охлаждении.....	69	Международные конференции и выставки в 2023 году (IV квартал).....	98	
		Горнов В.О. Освещение Акрополя в Афинах.....	104	

Модель анализа эффективности организаций светотехнической отрасли: комплексный взгляд

О.И. ДРАНКО, А.А. ЗАХАРОВА

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва
E-mail: olegdranko@gmail.com, zaawmail@gmail.com

Аннотация

Актуальность повышения эффективности финансовой деятельности предприятий и отрасли в целом актуальна как при стабильной экономической обстановке, так и в кризисной ситуации. При этом традиционные подходы нацелены на анализ финансового состояния в первом случае. В работе приводятся как классические, так и нетиповые показатели такого анализа, а также предлагается методика, опирающаяся на комплексный анализ расширенного набора финансовых показателей предприятий с последующей их классификацией. Это позволяет выделять предприятия со схожими моделями финансового развития. Результаты финансового анализа могут применяться для выявления не только угроз банкротства, но и повышения эффективности деятельности в реальном управлении на основе управленческой отчётности. Визуализация результатов моделирования в виде цветовых схем типа «светофор» позволяет оперативно выполнять интерпретацию результатов моделирования с выделением факторов финансово-экономической уязвимости.

Данный подход был опробован на выборке предприятий светотехнической отрасли с выручкой более 1 млрд руб. Сведения о финансовой отчётности брались из открытых источников.

В развитие настоящих исследований предполагается выработать комплекс мероприятий по повышению эффективности на основе модели финансового прогнозирования с выявлением внутренних резервов для улучшения финансово-экономического состояния и рассмотреть перечень мероприятий (детализацию факторов повышения эффективности), которые следует применять для предприятий светотехнической отрасли.

Ключевые слова: финансовый анализ, прогнозирование финансового

состояния, эффективность, экономика предприятия, экономика отрасли, моделирование, светотехническая отрасль

Введение

Светотехническая отрасль – стратегическая для развития страны, поскольку все сферы жизни предусматривают потребление результатов деятельности данной отрасли. Развитие технологий диктует и новые подходы, именно поэтому рассматриваются новые стандарты (о чём свидетельствуют ряд конференций, на которых эти вопросы обсуждались, проводимые выставки и т.п.). Оборудование по производству света и сам свет перестают быть суверенным предметом потребления. На первый план выходят эстетика, комфорт, надёжность, для чего развиваются соответствующие программные продукты, свет тоже становится умным.

Однако в текущих реалиях жизни наблюдаются значительные трансформации в определении целеполаганий при развитии не только бизнеса, но и обеспечении стабильности и дееспособности экономики. Если говорить о периоде до 2019 г., то приоритеты развития были нацелены на повышение удовлетворённости потребителя, и более динамичные компании более успешно осваивали рынки. При этом наблюдался значительный рост импорта как готовой продукции, так и преимущественной части комплектующих. Изменение логистических, экономических и иных условий делает актуальным вопрос улучшения эффективности управления и определения рычагов управления отраслью. Для этого важно иметь соответствующий инструмент, который позволя-

ет не столько ставить «диагноз» отрасли или предприятию¹, сколько становится инструментом формирования новых гипотез по определению причинно-следственных связей и кластеризации производственных сегментов для поиска новых механизмов их поддержки.

Функциональная схема анализа

В целом настоящая работа ориентирована на повышение эффективности деятельности предприятий и технологию выявления внутренних резервов и возможностей их развития.

Начальным этапом служит понимание потребности в повышении эффективности в разрезе организаций / юридических лиц. Выделим важные особенности анализа и принятия решений:

– В настоящей работе приведены примеры анализа по данным финансовой (бухгалтерской) отчётности из открытых источников. Но для более корректного анализа целесообразно использовать данные управленческого учёта.

– Как правило, бизнес ведётся в рамках групп компаний (холдингов). Некоторые юридические лица выступают в качестве производственных площадок с неполным функционалом по стратегии развития. Реализация продукции и закупка сырья может проводиться через специализированные торговые дома с перераспределением прибыли, инвестиций и рисков. Запасы, дебиторскую и кредиторскую задолженность в таких случаях следует анализировать с учётом внутрисекторных оборотов.

Укрупнённую последовательность работ можно представить в следующем виде:

1. Финансовый анализ: тренды развития, проблемные зоны по финансовым показателям.

2. Модель финансового прогнозирования (стратегического бюджетирования) по возможности улучшения денежных потоков и/или увеличения (возможно, кратного) стоимости бизнеса.

3. Инструменты повышения внутренней эффективности: маргиналь-

¹ Разномасштабность важна, поскольку традиционный упор на разделение уровней анализа отрасли и предприятий становится малоэффективным и даёт средние показатели по отрасли, а внутри наблюдается значительная дифференциация по показателям деятельности предприятий.

ный анализ с учётом узких мест; ценовая политика; анализ и сокращение затрат; анализ оборачиваемости по номенклатуре по оборотным активам; анализ инвестиционной программы: узкие места, показатели эффективности, выбор приоритетных проектов «20×80».

4. Организация работы: проектный офис / служба развития как координирующий орган; временные целевые группы и проекты развития, и их мотивация.

Содержанием данной статьи служит «1. Финансовый анализ», другие пункты предполагается рассмотреть в последующих публикациях.

Функциональная схема анализа финансовых показателей на основе модели финансового прогнозирования с выявлением внутренних резервов представлена на рис. 1.

Обзор

Классическая схема аналитической деятельности заключается в последовательном выполнении этапов: анализ, прогноз, управление [1]. Эти этапы осуществляются на основе показателей, характеризующих деятельность объекта исследования.

К ключевым показателям финансовой деятельности предприятий и отрасли в целом относятся классические типовые показатели, которые объединены в 5 групп с вариациями в каждой. Многие показатели внутри группы в значительной степени скоррелированы друг с другом, поэтому приведём лишь основные [2–4]: рентабельность; оборачиваемость; ликвидность; покрытие (структура капитала); положение на рынке ценных бумаг.

Одним из источников популярности показателем финансового анализа служит работа «Как сделать оценку кредитоспособности, исходя из финансовой отчётности компании?» Уильяма Бивера [5], который сравнил финансовые коэффициенты 79 обанкротившихся фирм с показателями 79 сохранившихся. У обанкротившихся фирм было больше долгов, более низкая рентабельность, меньше свободных средств и больше дебиторской задолженности. В результате у них был более низкий коэффициент текущей ликвидности и значительно более низкий коэффициент абсолютной ликвидно-

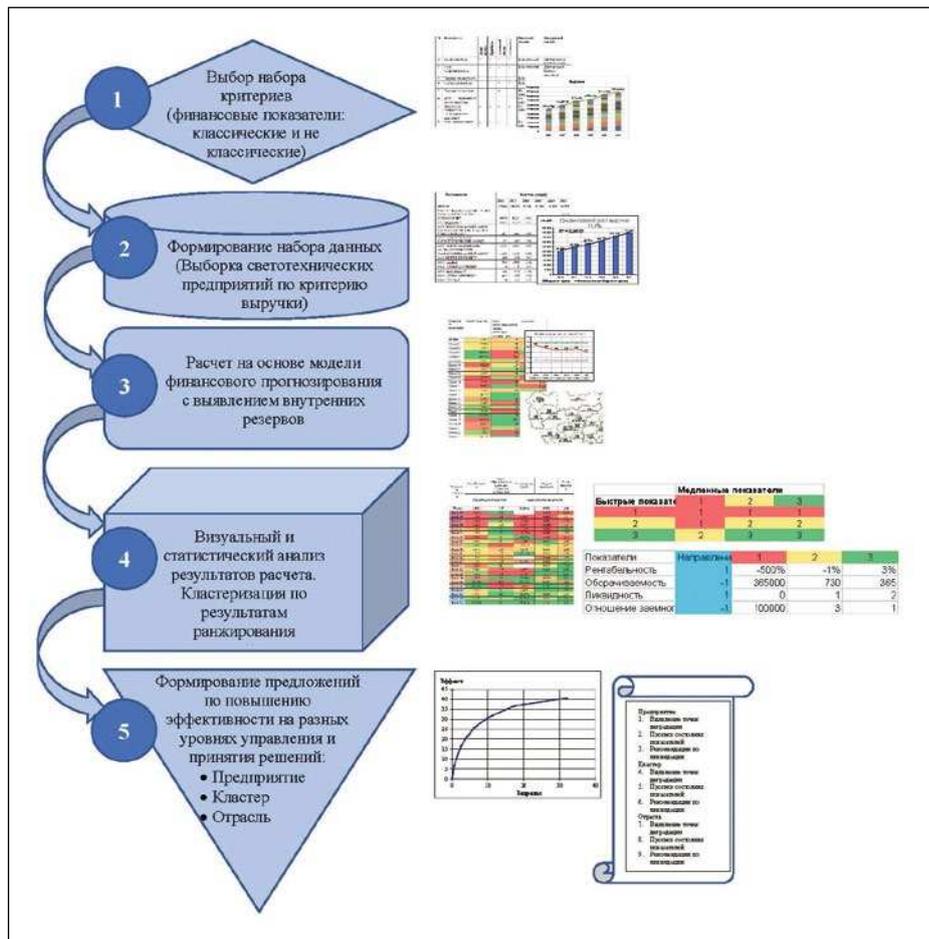


Рис. 1. Функциональная схема анализа финансовых показателей на основе модели финансового прогнозирования с выявлением внутренних резервов

сти. И удивительно, но у этих фирм было меньше запасов.

Важным фактором популярности данных показателей служит их простота и информационная доступность. По показателям исследователи (прежде всего в странах с развитыми базами данных для аналитической работы) определяют средние (типичные) значения показателей, которые становятся «нормой», ориентиром для других предприятий. В частности, результатом таких расчётов служит «норматив» по текущей ликвидности (не менее 2).

Одним из источников информации по показателям служит Росстат, в формате статистических сборников [6]. Приведена информация по отдельным группам показателей, в том числе с выделением по видам экономической деятельности (например, «производство электрического оборудования»):

- сальдированный финансовый результат (прибыль минус убыток);
- количество прибыльных и убыточных организаций;

- рентабельность проданных товаров, продукции (работ, услуг);
- отдельные показатели платёжеспособности и финансовой устойчивости;
- оборачиваемость оборотных активов.

Однако существуют и иные финансовые показатели, которые позволяют шире оценивать финансовое состояние предприятий и затрагивают другие аспекты соответствующего анализа. Можно отметить такие немассовые (нетиповые) показатели, как [7]:

- среднегодовой рост;
- анализ натуральных показателей;
- переменные / постоянные расходы;
- продажи на одного занятого (производительность труда);
- коэффициент заказов;
- продажи с квадратного метра (специфика для торговых предприятий);
- коэффициент Альтмана;
- формула Дюпона;
- экспорт / импорт;

Основные показатели финансового анализа

№	Показатель	Доля рынка	Прибыль	Денежный поток	Стоимость	Внешний анализ	Внутренний анализ
1	Рентабельность	+	+	+	+	Классический	Прибыльность бизнес-единиц
2	Срок оборачиваемости	-	+	+	+	Классический	Длительность бизнес-процессов
3	Текущая ликвидность	-	+	+	+	Классический	Бюджет ДДС
4	Структура капитала	-	-	+	+	Классический	Финансирование роста
5	Темп роста выручки	-	-	+	-	Не классический	Рост сегментов
6	Доля переменных затрат в выручке	-	-	-	+	Не классический	Маржинальность
7	Показатель банкротства «Z-коэффициент Альтмана»	-	-	-	-	Не классический	Бюджет ДДС
8	Комплексная оценка	±	-	-	+	Не классический	Есть ли?

• экономическая добавленная стоимость (*Economic Value Added, EVA*²).

Перечисленные выше показатели эмпирические и недостаточно систематизированные, поэтому редко применяются в расчётах.

Укажем на ограниченный характер применения методов финансового анализа: «Финансовые коэффициенты редко дают ответы, но они помогают задавать правильные вопросы» [8]. Для реальной практики необходимо детализировать значения показателей по данным управленческого (внутреннего) учёта с выделением возможностей управления ими.

Модель, метод

Самым распространённым методом управления верхнего уровня в России стал программно-целевой подход (управление). Работа [9] – одна из первых по формированию народнохозяйственных программ, от системы целей к мероприятиям по их достижению.

Разделяют два уровня: внешний и внутренний. Система показателей анализа верхнего уровня предусматривает оценивание таких факторов финансово-экономической деятельности, как выручка, затраты, инвестиции и риски в соответствии со следующими

критериями: доля рынка, прибыль, денежный поток и стоимость.

На внешнем уровне анализ выполняется по внешней (финансовой) отчётности, доступной внешним участникам, на внутреннем – по данным внутреннего (управленческого) учёта.

Используем понятие «капитал» как фактор, когда необходимо повысить эффективность не только по текущей прибыли, но и по капиталу. Эффективность использования капитала должна быть основным критерием в рамках данного общественного строя (используем слово «капитализм»). При этом критерием эффективности использования капитала может выступать «отдача от инвестированного капитала»:

$$ROIC = Pr / IC,$$

$$Pr = S - TC,$$

$$IC = FA + CA - CL,$$

где *ROIC* – отдача от инвестированного капитала, *Pr* – прибыль, *IC* – инвестированный капитал, *S* – выручка, *TC* – полные затраты, *FA* – внеоборотные активы, *CA* – оборотные (текущие) активы, *CL* – текущие пассивы.

Увеличение *ROIC* подразумевает не только увеличение прибыли через увеличение выручки и сокращение затрат, но и уменьшение инвестированного капитала через оптимизацию (рациональное использование) внеоборотных активов, оборотных активов, увеличение текущих пассивов.

Основной метод исследования – расчёт финансовых коэффициентов на базе финансовой отчётности организаций. Традиционно такой подход называют «анализом финансовых коэффициентов» или «финансовым анализом». Данный метод позволяет сформировать «внешний» взгляд на организацию. Такое название позволяет отделить данный метод от методов «экономического» анализа, которые в значительной мере формируются на данных управленческого, «внутреннего» анализа.

Рассмотрим основные предположения финансового анализа:

– финансовая отчётность отражает совокупность производственных, управленческих, коммерческих бизнес-процессов организации;

– проводится подтверждение (верификация) финансовой отчётности (аудит, налоговые проверки);

– основная деятельность компании сосредоточена в контуре рассматриваемой организации, она включает центры выручки, прибыли, инвестиций компании;

– на основе анализа финансовой отчётности возможно принятие решений по повышению эффективности компании.

В данной работе рассматриваются показатели финансового анализа, некоторые достаточно широко описаны в литературе («классические»), некоторые не являются оригинальными, но нешироко описаны в лите-

² *EVA* – зарегистрированная торговая марка консалтинговой компании *Stern Value Management* (прежнее название *Stern Stewart & Co*).

ратуре и не постоянно применяются в российских организациях (по выборочному исследованию авторов). В табл. 1 обобщённо показаны аналогии внутреннего анализа, которые позволяют принимать управленческие решения «внутри бизнеса», при этом бюджет движения денежных средств (ДДС) показан как основа для прогноза погашения долгов.

Данные

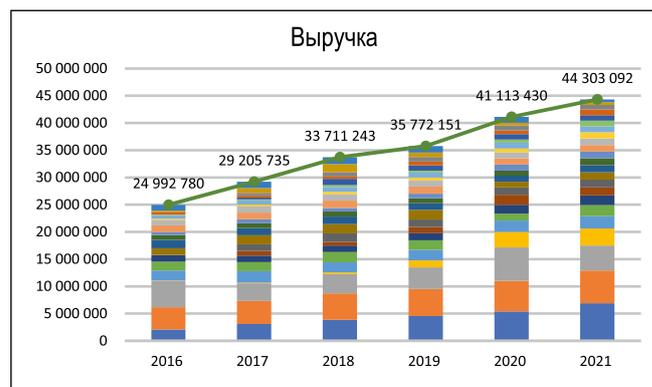
Для исследований применялись открытые данные финансовой отчётности организаций 2013–2021 гг. из ФНС (государственный информационный ресурс бухгалтерской (финансовой) отчетности) и Росстата.

В качестве источника информации по данным до 2018 г. выступает Росстат, а после 2019 г. – ФНС. При этом важно осуществлять корректное «слияние» данных их разных источников, что требует дополнительной верификации данных и формирования единой модели данных. Выборка отчётности проводилась для организаций с выручкой более 1000 млн руб.

Найдено 364 организации, код ОКВЭД-2 27.4 «Производство электрических ламп и осветительного оборудования». Посредством сервиса расширенного поиска www.rusprofile.ru (<https://www.rusprofile.ru/search-advanced>) найдено 703 организации с основным кодом ОКВЭД-2 27.40 «Производство электрических ламп и осветительного оборудования» на дату 28.11.2022. Отметим, что список организаций динамичен, основной код ОКВЭД-2 периодически в организациях изменяется, например с торгового 46.69.5 «Торговля оптовая производственным электротехническим оборудованием, машинами, аппаратурой и материалами» на производственный – 27.40. По соображениям конфиденциальности названия организаций не приводятся.

Некоторые расчёты проводились для «сводной организации» – суммарной организации по выборке. Данные сводной организации не всегда корректны, более корректно использовать консолидированную отчётность после вычета взаимных оборотов (доходов, расходов и обязательств). Но если организации независимы и не ведут общей хозяйственной деятельности (конкурируют), то взаимными оборотами можно пренебречь.

Рис. 2. Динамика суммарной выручки отрасли, по выборке организаций («набор из выручек отдельных организаций»)



Экспресс-анализ результатов финансовой отчётности

Ниже показаны некоторые результаты экспресс-анализа для «суммарной организации». Возможно проведение анализа по отдельным организациям.

• Рост выручки (нетиповой показатель)

Одним из важнейших показателей анализа деятельности предприятия служит рост выручки. По данным финансовой отчётности выборки, среднегодовой рост выручки за 2016–2021 гг. составил 11,9 % (рис. 2). Расчёт среднегодового роста показателя (*Compound Annual Growth Rate, CAGR*) может проводиться в нескольких вариантах, в данном случае используется показатель экспоненциального тренда, рассчитанного методом наименьших квадратов.

На рис. 2 показана динамика выручки организаций в виде столбчатых гистограмм, каждый слой соответствует выручке отдельных организаций. По графику видно, что есть более крупные организации, но нет «доминирующих».

Согласно дополнительному расчёту по индексу Херфиндаля – Хиршмана (*Herfindahl – Hirschman Index, HHI*) данная отрасль относится к низкоконцентрированным рынкам, $HHI = 752$ для данной выборки (см. https://ru.wikipedia.org/wiki/Индекс_Херфиндаля).

В табл. 2 (столбец 3) дана информация о росте выручки (*CAGR*) отдельных компаний за рассматриваемый период (2016–2021 гг.). В целом можно выделить группы организаций с темпом роста, превышающим средний рост выборки (зелёный цвет в таблице), со средним ростом (оттенки жёлтого цвета в таблице) и с низким или отрицательным темпом роста (отмечены красным).

Во внутреннем анализе целесообразно рассматривать темпы роста выручки (и других показателей) по бизнес-единицам, группам и наименованиям продукции по данным управленческого учёта.

Предварительный вывод: среднегодовой рост за период составляет 12 %, что превышает среднегодовую инфляцию за этот период. Наблюдается реальный рост в отрасли.

• Переменные и постоянные затраты (нетиповой показатель)

В общем виде линейная регрессионная зависимость полных затрат от выручки может быть представлена в виде уравнений

$$TC_i = k_{TCi} \cdot R_i + FC_i + \varepsilon_i,$$

$$M_i = 1 - k_{TCi},$$

где TC – полные затраты, R – выручка, k_{TC} – коэффициент переменности полных затрат в выручке, FC – постоянная часть полных затрат, M – маржинальность, ε – погрешность, i – индекс предприятия.

Это простой технический приём, который позволяет определять степень переменности полных затрат от выручки и, главное, маржинальность предприятия.

Подавляющее большинство рассматриваемых организаций – это «зрелые» организации на этапе юности / расцвета / стабильности (по Адизесу [10]). Поэтому у них стабильные технологии, устойчивые бизнес-циклы. Это позволяет предположить небольшую вариативность параметров предприятия и применимость линейной регрессии.

В управлении предприятиями разработаны традиционные приёмы определения маржинальности продукции как разности выручки и переменных (или прямых) затрат по этим видам продукции.

Рост выручки (CAGR) отдельных компаний, 2016–2021 гг., и переменная часть расходов, маржинальность, показатели линейной регрессии

Порядок, № компании	Рост выручки, CAGR	Маржинальность	Переменная часть расходов	R ² расходов
Итого	11,94 %	0,074	0,926	0,9959
Комп. 01	25,11 %	0,051	0,949	0,9992
Комп. 02	8,37 %	0,045	0,955	0,9950
Комп. 03	4,85 %	0,317	0,683	0,9541
Комп. 04	205,73 %	0,112	0,888	0,9979
Комп. 05	3,20 %	0,142	0,858	0,9826
Комп. 06	0,57 %	–0,006	1,006	0,9976
Комп. 07	9,06 %	0,160	0,840	0,9831
Комп. 08	–	0,019	0,981	0,9998
Комп. 09	66,75 %	0,011	0,989	0,9975
Комп. 10	–2,68 %	–0,063	1,063	0,9650
Комп. 11	–4,10 %	0,007	0,993	1,0000
Комп. 12	6,53 %	0,086	0,914	0,9622
Комп. 13	16,67 %	0,105	0,895	0,9867
Комп. 14	–0,79 %	–0,081	1,081	0,9864
Комп. 15	2,68 %	0,225	0,775	0,8995
Комп. 16	31,78 %	0,074	0,926	0,9993
Комп. 17	10,21 %	0,057	0,943	0,9983
Комп. 18	57,41 %	0,140	0,860	0,9967
Комп. 19	–	–0,173	1,173	0,9483
Комп. 20	19,99 %	0,031	0,969	0,9998
Комп. 21	–	0,037	0,963	0,9984
Комп. 22	0,43 %	0,170	0,830	0,9967

Маржинальность – способность увеличения прибыли при росте выручки. Малая маржинальность – малый рост прибыли при увеличении выручки.

Традиционно значение маржинальности по видам продукции определяется из калькуляций (данные управленческого учёта) и составляет 30–50 % в виде отношения маржинальной прибыли к выручке.

Этот часто используемый приём не учитывает дополнительных переменных затрат в составе накладных расходов.

Приведённые результаты расчётов (табл. 3) показывают, что маржинальность предприятия значительно меньше. По данным открытой финансовой отчётности не видно, на каких ста-

тях происходит расхождение (несоответствие) маржинальности совокупности продукции и предприятия в целом, но это несложно рассчитать и проанализировать по отдельным статьям бюджетов по данным внутреннего (управленческого) учёта. Расчёты показали, что зависимость полных затрат от выручки носит линейный характер.

Одно из преимуществ использования коэффициента переменности затрат – его аддитивность по отдельным подстатьям:

$$TC_{ij} = k_{TC,ij} \cdot R_i + FC_{ij} + \varepsilon_{ij},$$

$$k_{TC,i} = \sum_j k_{TC,ij}, FC_{TC,i} = \sum_j FC_{TC,ij},$$

где j – индекс статьи затрат.

Расчёты переменной и постоянной частей по статьям расходов на базе финансовой отчётности отражены в табл. 3. Но данные расчётов по финансовой отчётности в целом малоинформативны, так как по производственным затратам есть всего одна статья «Себестоимость...». Нет детализации по статьям материальных, энергетических, трудовых, ремонтных и прочих затрат. Зачастую сопоставляют информацию финансовой отчётности, бюджетов и калькуляций, и данный анализ позволяет выявлять некоторые неверные стереотипы руководства организаций в отношении затрат их компаний.

Во внутреннем анализе целесообразно рассматривать вклад переменной и постоянной частей основ-

Разделение переменной и постоянной частей по статьям расходов «сводной организации»

Наименование показателя	Переменная часть	Постоянная часть, млн руб.
Доходы и расходы по обычным видам деятельности		
Выручка от продаж	1,000	0
Себестоимость проданных товаров, продукции, работ, услуг	0,690	2 541
Валовая прибыль	0,310	-2 541
Коммерческие расходы	-0,144	1 925
Управленческие расходы	-0,058	-362
Прибыль (убыток) от продаж	0,108	-979
Прочие доходы и расходы		
Проценты к получению	0,003	-75
Проценты к уплате	-0,017	146
Доходы от участия в других организациях	0,000	54
Прочие доходы	0,232	-4 504
Прочие расходы	-0,243	4 448
Прибыль (убыток) до налогообложения	0,083	-909
Отложенные налоговые активы	0,000	33
Отложенные налоговые обязательства	0,000	-16
Текущий налог на прибыль	-0,017	264
Чистая прибыль (убыток) отчетного периода	0,074	-1 068
Полные затраты	0,9256	1 068

ных статей затрат в суммарные затраты. При несоответствии результатов расчётов с предпосылками бюджетов и калькуляций целесообразно проводить дополнительный анализ причин расхождений.

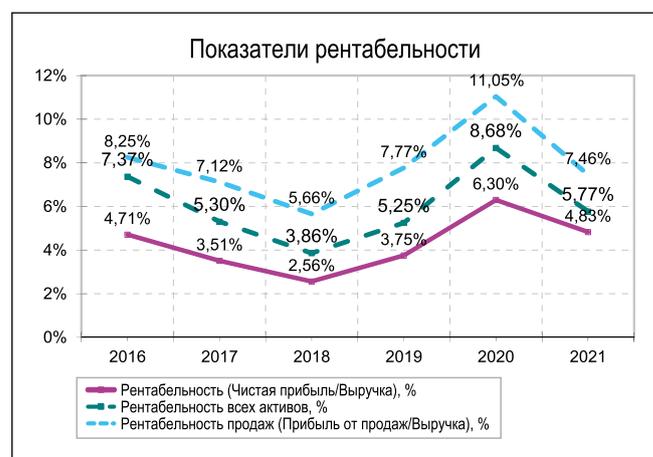
Предварительный вывод: переменная часть полных затрат совокупной выборки составляет 0,9256, «реальная» маржинальность от выручки $1 - 0,9256 = 0,0744$; для большинства организаций характерны статистически достоверные линейные регрессии по зависимости полных затрат от выручки с уровнем значимости $\alpha = 1\%$.

• Рентабельность

Показатель рентабельности служит типовым показателем анализа финансово-экономического состояния. Из нескольких вариантов основным в текущем анализе рассматривается рентабельность как отношение чистой прибыли к выручке (рис. 3, табл. 4).

Показатель рентабельности по «суммарной выборке» находится в диапазоне 2,56–6,30 % за разные годы

Рис. 3. Рентабельность «суммарной организации» по выборке



рассматриваемого периода, без явных трендов (рис. 3). Хотя и можно выделить периоды спада рентабельности (2016–2018 гг.) и её роста (2018–2020 гг.).

Предварительный вывод: рентабельность текущей деятельности – на типовом для России, среднем уровне.

• **Срок оборачиваемости (деловая активность)**

Срок (период) оборачиваемости чистого оборотного капитала (ЧОК) определяется по формуле

$$L_i = (CA_i - CL_i) / R_i \cdot T,$$

$$CA_i = AR_i + Inv_i + Cash_i + CAO_{th_i},$$

где L – срок оборачиваемости чистого оборотного капитала в днях, CA – оборотный капитал (*Current Assets*), CL –

Рентабельность, срок оборачиваемости и показатель банкротства «Z-коэффициент Альтмана» отдельных организаций

Порядок, № компании	Рентабельность	Срок оборачиваемости чистых оборотных активов, дни	Z-коэффициент Альтмана
Итого	4,83 %	135	2,01
Комп. 01	3,75 %	132	1,91
Комп. 02	4,07 %	135	1,88
Комп. 03	10,54 %	200	2,87
Комп. 04	10,76 %	403	1,64
Комп. 05	4,69 %	95	1,88
Комп. 06	0,22 %	123	1,50
Комп. 07	3,51 %	84	3,72
Комп. 08	4,33 %	142	2,55
Комп. 09	0,73 %	91	1,33
Комп. 10	1,24 %	183	1,90
Комп. 11	0,40 %	65	1,28
Комп. 12	4,28 %	133	2,57
Комп. 13	4,72 %	-12	2,23
Комп. 14	2,49 %	33	3,03
Комп. 15	5,48 %	175	3,86
Комп. 16	7,45 %	94	3,70
Комп. 17	7,05 %	191	2,01
Комп. 18	13,28 %	54	5,30
Комп. 19	-5,53 %	-221	0,27
Комп. 20	2,07 %	49	4,30
Комп. 21	2,02 %	92	3,18
Комп. 22	7,60 %	196	6,07

текущие пассивы (*Current Liabilities*), R – выручка, T – длительность периода в днях, принимается равной 365 (иногда – 360), AR – дебиторская задолженность, Inv – запасы, $Cash$ – остатки денежных средств, $CAOth$ – прочие оборотные активы, i – индекс организации.

В литературе для расчёта срока оборачиваемости часто рассматривается полусумма статей оборотного капитала на начало и на конец периода. Такой подход удобен для построения трендов. Но мы считаем, что для принятия решений предпочтительнее работать с показателями на ко-

нец периода – для поиска возможностей «размораживания» (высвобождения) оборотного капитала по наиболее поздним доступным данным.

Динамика срока оборачиваемости показывает (рис. 4), что по основным компонентам оборотного капитала срок оборачиваемости увеличивается. В целом это служит негативным фактором, свидетельствующим о «замораживании» оборотного капитала (или, более аккуратно, более медленном движении). Содержательно важно сопоставлять срок оборачиваемости с длительностью бизнес-процессов (технологических операций) по

предприятию. При значительных расходах необходимо проводить дополнительный анализ «замораживания» отдельных партий сырья и материалов, полуфабрикатов, готовой продукции, задолженности покупателей и возможности их «размораживания».

В табл. 4 приведена информация о сроке оборачиваемости чистых оборотных активов в днях по выборке, который составляет 135 дней (около 4,5 мес). Цветом показаны организации с «зелёным» – более коротким сроком оборачиваемости, «жёлтым» – примерно средним сроком оборачиваемо-

сти и «красным» – длинным сроком оборачиваемости. Отметим, что в некоторых организациях срок оборачиваемости чистого оборотного капитала отрицательный. С одной стороны, это может быть свидетельством хорошего бизнес-умения работы на чужих деньгах, а с другой – недостаточности оборотных средств для поддержания производственного и финансового циклов деятельности и недостаточной платёжеспособности организации.

Предварительный вывод: срок оборачиваемости «суммарной организации» увеличивается, что является негативной тенденцией.

• **Показатель банкротства «Z-коэффициент Альтмана»**

Для анализа и прогнозирования банкротства компаний в США провели анализ разных сочетаний взвешенных сумм финансово-экономических показателей. Была проанализирована отчётность 66 компаний, из которых половина обанкротилась. Статистическими методами на основе отчётности компаний США был определён в 1968 г. так называемый Z-коэффициент Альтмана [11] (Z-счёт, Z-score), рассчитываемый по формуле

$$Z = 1,2 \cdot X_1 + 1,4 \cdot X_2 + 3,3 \cdot X_3 + 0,6 \cdot X_4 + 1 \cdot X_5,$$

где X_1 – собственный оборотный капитал / сумма активов; X_2 – нераспределённая прибыль / сумма активов; X_3 – EBIT (Earnings Before Interest and Taxes), прибыль до процентов и налогов / сумма активов; X_4 – рыночная стоимость акций / задолженность; X_5 – выручка / сумма активов.

В 1983 г. Альтман опубликовал формулу для предприятий, которые не котировались на бирже [11, 12]:

$$Z = 0,717 \cdot X_1 + 0,847 \cdot X_2 + 3,107 \times X_3 + 0,42 \cdot X_4 + 0,995 \cdot X_5,$$

где X_4 – балансовая стоимость акций / задолженность.

«Пороговое» значение Z-коэффициента для «банкротных» компаний $Z_{\min} = 1,23$, а для «благополучных» – 2,90.

Следует указать, что подбор и веса коэффициентов, пороги по Z-коэффициенту определены статистическим образом для компаний США, и впрямую этот показатель не применим для организаций России. Но опыт финансового анализа показал, что Z-коэффи-

Рис. 4. Срок оборачиваемости «суммарной организации»

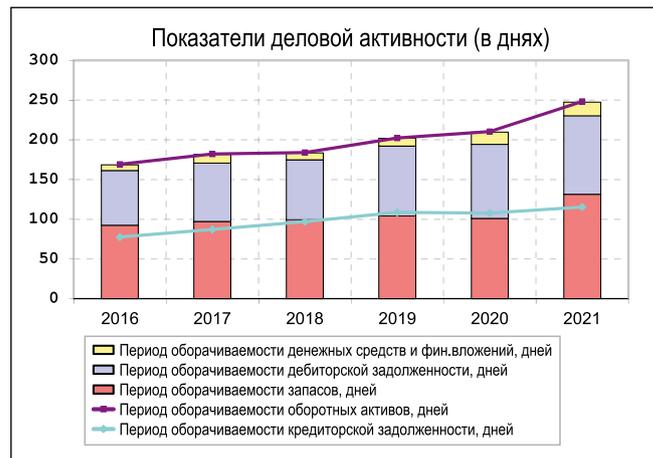
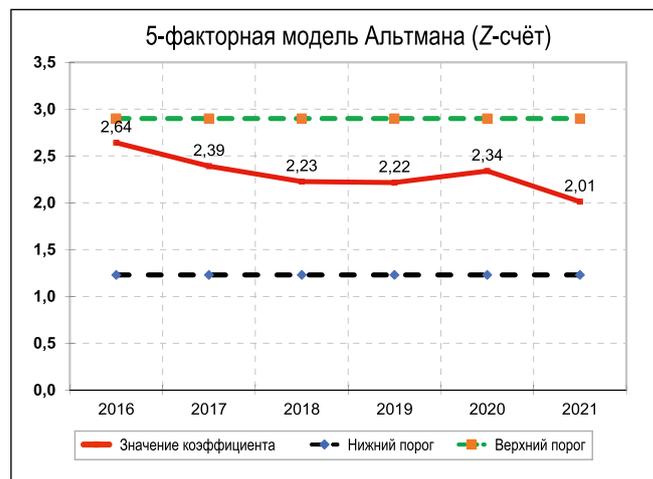


Рис. 5. Показатель банкротства «Z-коэффициент Альтмана» совокупной организации



циент Альтмана очень хорошо подсказывает финансовые сложности компаний при дополнительном анализе других показателей.

На рис. 5 показана динамика Z-коэффициента по «сводной организации» выборки. В целом следует отметить негативный тренд общего финансового состояния организации. В табл. 5 приведена информация о показателе банкротства «Z-коэффициент Альтмана» отдельных организаций. Цветом показаны организации с «зелёным» – благополучным положением, «жёлтым» – промежуточным положением и «красным» – сложным финансовым состоянием (согласно этому показателю).

Предварительный вывод: для отрасли в целом (совокупная выборка) – промежуточное состояние по показателю банкротства. Можно предварительно выделить сильные и слабые организации.

• **Комплексная оценка («светофор»)**

Анализ совокупности финансовых показателей (визуальный анализ цветовых схем и статистический анализ,

в том числе нормированных показателей) позволяет выделить следующие кластеры предприятий.

Первый кластер: устойчивые быстрорастущие организации. К этому кластеру можно отнести 6 организаций с высоким темпом роста, с выше средней рентабельностью и со сроками оборачиваемости ниже среднего. Для таких организаций рекомендуются мероприятия по контролю за инвестициями и оборотным капиталом, упорядочением бизнес-процессов и организационной структуры. **Второй кластер: неустойчивые быстрорастущие организации.** К этому кластеру можно отнести 3 организации, с высоким темпом роста, низкой или отрицательной рентабельностью и высокими сроками оборачиваемости. Для таких организаций рекомендуются мероприятия по контролю за ценообразованием, затратами, оборотным капиталом, упорядочением бизнес-процессов и организационной структуры. Важно оперативно внедрять антикризисные меры управления.

Третий кластер: устойчивые среднерастущие организации. К этому

Сводная таблица показателей

Порядок, № компании	Рентабельность, %	Срок оборачиваемости чистых оборотных активов, дни	Рост выручки CAGR, %	Маржинальность	Z-счёт Альтмана	
	Классические показатели		Неклассические показатели			
Итого	4,83 %	135	11,94 %	0,074	2,01	
Комп. 13	4,72 %	-12	16,67 %	0,105	2,23	1
Комп. 16	7,45 %	94	31,78 %	0,074	3,70	1
Комп. 18	13,28 %	54	57,41 %	0,140	5,30	1
Комп. 08	4,33 %	142	23,49 %	0,019	2,55	1
Комп. 01	3,75 %	132	25,11 %	0,051	1,91	1
Комп. 20	2,07 %	49	19,99 %	0,031	4,30	1
Комп. 04	10,76 %	403	205,73 %	0,112	1,64	2
Комп. 09	0,73 %	91	66,75 %	0,011	1,33	2
Комп. 19	-5,53 %	-221	23,03 %	-0,173	0,27	2
Комп. 21	2,02 %	92	14,23 %	0,037	3,18	3
Комп. 07	3,51 %	84	9,06 %	0,160	3,72	3
Комп. 17	7,05 %	191	10,21 %	0,057	2,01	3
Комп. 02	4,07 %	135	8,37 %	0,045	1,88	3
Комп. 12	4,28 %	133	6,53 %	0,086	2,57	3
Комп. 03	10,54 %	200	4,85 %	0,317	2,87	3
Комп. 15	5,48 %	175	2,68 %	0,225	3,86	3
Комп. 05	4,69 %	95	3,20 %	0,142	1,88	3
Комп. 22	7,60 %	196	0,43 %	0,170	6,07	4
Комп. 10	1,24 %	183	-2,68 %	-0,063	1,90	4
Комп. 11	0,40 %	65	-4,10 %	0,007	1,28	4
Комп. 14	2,49 %	33	-0,79 %	-0,081	3,03	4
Комп. 06	0,22 %	123	0,57 %	-0,006	1,50	4

кластеру можно отнести 8 организаций из выборки, со средними темпами роста, средней рентабельностью и средними сроками оборачиваемости. Для таких организаций рекомендуются мероприятия по контролю за конкурентами, ценообразованием, затратами.

Четвёртый кластер: **неустойчивые нерастающие организации**. К этому кластеру можно отнести 6 организаций из выборки, с отрицательными темпами роста, отрицательной рентабельностью / маржинальностью и высокими сроками оборачиваемости. Для таких организаций рекоменду-

ются мероприятия по контролю за рыночными нишами, денежным потоком, ценообразованием, затратами, оборотным капиталом. Важно оперативно внедрять антикризисные меры управления.

Для полноты систематизации кластеров необходимо выделить **неустойчивые среднерастающие и устойчивые нерастающие организации**. Но для рассмотренной выборки такие организации не выделены.

Для всех организаций целесообразны мероприятия по развитию продуктов, каналов сбыта и новых рынков.

Дискуссия и выводы

В данной работе предложен подход к анализу финансовых показателей, основанный на исследовании расширенного комплекса показателей, что позволяет сочетать понимание процессов на внешнем и внутреннем уровнях управления. Масштабирование возможно на уровнях отрасли, кластера или отдельного предприятия.

В работе приведён пример финансового анализа выборки предприятий светотехнической отрасли. В целом по отрасли (внешний контур управления) демонстрируются достаточно

стабильные показатели, но проведённый анализ на внутреннем контуре позволяет констатировать, что предприятия значительно дифференцированы и потому необходимо избирательно подходить к выбору модели управления отдельным предприятием или кластером.

Более того, принятые классические методики финансового анализа ориентированы на условия стабильности экономической ситуации, и в приоритете вопрос – как уберечь предприятие от банкротства? В условиях нестабильной экономической ситуации необходимо проводить финансовый анализ с позиций динамики внутренних показателей в совокупности и выявлять заблаговременно признаки нестабильности финансового благополучия предприятия, несмотря на внешние благополучные тренды.

Данный подход позволяет расширять границы финансового анализа, в том числе за счёт исследований и других аспектов функционирования предприятий. Так, например, в работе [13] представлены результаты анализа экспортно-импортных операций с привлечением инструмента картографирования и пространственного анализа данных.

Далее предполагается рассмотреть [14, 15] модель прогнозирования финансово-экономического состояния предприятий (на примере предприятий светотехнической отрасли) с выделением внутренних резервов и основных факторов повышения эффективности организаций. По опыту авторов, эти факторы включают в себя прежде всего управление выручкой, затратами и оборотными активами, как наиболее быстрые (по времени реагирования), влияющие (по достижению результата) и эффективные (относительно затрат на реализацию).

В работе [16] рассмотрен комплекс подходов по удвоению темпов экономического роста. Некоторые мероприятия требуют актуализации с учётом изменившейся макроэкономической ситуации, но исследования показали работоспособность предлагаемого подхода.

В перспективе предполагается рассмотреть перечень мероприятий (детализацию факторов повышения эффективности) [17–19] с возможным применением на предприятиях светотехнической отрасли.

Реализация мероприятий такого рода требует значительных организационных усилий руководства предприятий [20, 21].

В данной работе рассматривалась стандартная схема управления, однако предложенная в ней методика позволяет производить настройку на иерархические модели управления и масштабировать анализ финансовых показателей для всех уровней управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурков В.Н., Новиков Д.А. Как управлять организациями. – М.: Синтег, 2004. – 400 с.
2. Хелферт Э. Техника финансового анализа. 10-е изд. – СПб.: Питер, 2003. – 640 с.:
3. Ковалёв В.В. Финансовый менеджмент. Теория и практика. 3-е изд. М.: Проспект, 2014. – 1104 с.
4. Бернштейн Л.А. Анализ финансовой отчётности: Теория, практика и интерпретация. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 622 с.
5. Beaver W.H. «Financial Ratios as Predictors of Failure», Empirical Research in Accounting, selected studies (in supplement to the Journal of Accounting Research, January 1967), 1966. – P. 71–111.
6. Финансы России. 2022: Стат.сб./ Росстат. – М.: 2022. – 392 с.
7. Дранко О.И. Капиталоёмкость видов деятельности. // Аудит и финансовый анализ. – 2015. – № 3. – С. 67–70.
8. Брейли Р. Майерс С. Принципы корпоративных финансов: 7-е издание: Пер. с англ. – М.: Олимп-Бизнес, 2017. – 1120 с.
9. Поспелов Г.С., Ириков В.А. Программно-целевое планирование и управление. Введение. – М.: Сов. радио, 1976. – 440 с.
10. Жизненный цикл организации. URL: <https://adizes.ru/life-cycle-of-organization/> (дата обращения: 30.11.2022).
11. Altman E.I. Financial Ratios, Discriminant Analysis and Prediction of Corporate Bankruptcy // Journal of Finance. – 1968. – Vol. 23, Is. 4. – P. 589–609.
12. Скоун Т. Управленческий учёт. – М.: ЮНИТИ, 1997. – 132 с.
13. Дранко О.И., Захарова А.А. Экспресс-анализ экономических показателей на примере рынка светотехнического оборудования и материалов / Труды 32-й Международной конференции по компьютерной графике и машинному зрению ГрафиКон-2022–2022. – С. 805–814. DOI: 10.20948/graphicon-2022–805–814.
14. Дранко О.И. Прогнозирование финансового состояния предприятия на базе финансовой отчётности // Управленческий учёт. – 2010. – № 3. – С. 48–56.

15. Дранко О.И., Филимонов В.С. Исследование параметров управления в аналитической модели стоимости компании: рост сильных, падение слабых // Проблемы управления. – 2014. – № 6. – С. 52–58.

16. Ириков В.А., Новиков Д.А., Тренёв В.Н. Целостная система государственно-частного управления инновационным развитием как средство удвоения темпов выхода России из кризиса и посткризисного роста. – М.: ИПУ РАН, 2009. – 220 с.

17. Балашов В.Г., Ириков В.А., Иванова С.И. Рост и прорыв в лидеры: практикум по преодолению кризиса – М.: Дело, 2009. – 335 с.

18. Ириков В.А., Михеев В.А., Отарашвили З.А., Суиков Д.В. Разработка программы инновационного развития предприятия: Методика, практика, рекомендации по внедрению. / Под ред. В.А. Ирикова. – М.: Логос, МЗ-Пресс, 2013. – 112 с.

19. Богомолов А.С. и др. Стресс-тестирование нефинансовых организаций: подход к обратной задаче на основе аналитического решения // Проблемы управления. – 2021. – Т. 6. – С. 15–29.

20. Брег С. Настольная книга финансового директора. – М.: Альпина Паблшер, 2018. – 608 с.

21. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. 4-е изд., испр. и дополн. – М.: Ленанд, 2022. – 500 с.



Дранко Олег Иванович, доктор техн. наук, доцент. Окончил в 1988 г. Московский физико-технический институт. Ведущий научный сотрудник – заведующий лабораторией управления развитием

крупномасштабных систем Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. Область научных интересов: математическое моделирование, управление, финансовый менеджмент, стратегическое управление, большие данные



Захарова Алёна Александровна, доктор техн. наук, доцент. Окончила в 1994 г. Томский политехнический университет. Главный научный сотрудник лаборатории киберфизических систем

Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. Область научных интересов: визуальная аналитика, анализ данных, геоинформатика, моделирование и визуализация



Международная
светотехническая
корпорация



БООС ЛАЙТИНГ ГРУПП



ООО МСК «БЛ ГРУПП»
129626, г. Москва, пр. Мира, 106



www.bl-g.ru
info@bl-g.ru



+7 (495) 785-20-95

МСК «БЛ ГРУПП»



**разработка
и конструирование**



производство



проектирование



**монтаж
и эксплуатация**



**разработка ПО
и управление**



дистрибуция

Оценка осветительного прибора по степени светового загрязнения окружающей среды

*А.В. КАРЕВ¹, С.А. ЛЯПУНОВ¹, Н.И. ШЕПЕТКОВ²

МГК «Световые Технологии»¹, МАРХИ (ГА)², Москва
E-mail: *a.karev@ltcompany.com

Аннотация

Рассмотрены особенности эффекта светового загрязнения (СЗ) приборами наружного освещения. Проанализирован вклад различных составляющих в суммарное негативное воздействие СЗ на человека и биосферу. Показаны зависимости степени негативного эффекта от светового потока, пространственного распределения и спектра излучения осветительного прибора, а также влияние доли коротковолнового (синего) участка спектра на СЗ. Предложены методика оценки осветительного прибора со светодиодами по степени СЗ им окружающей среды и расчётный показатель СЗ. Проведён анализ ассортимента светильников утилитарного уличного освещения компании «Световые Технологии» по величине показателя СЗ. Показана целесообразность включения этого параметра в спецификацию осветительных приборов.

Ключевые слова: световое загрязнение, пространственное распределение света, спектральный состав света, осветительный прибор, общий показатель светового загрязнения окружающей среды осветительным прибором

Проблема светового загрязнения

Наружное освещение (НО) – неотъемлемый элемент современного города, основа безопасной жизнедеятельности и функционирования инженерно-технических структур, инструмент формирования искусственной световой среды [1]. На НО современного города расходуется от 20 до 40 % всей электроэнергии, потребляемой городскими хозяйствами [2]. В целом, человечество на НО расходует примерно 2–3 % электроэнергии, производимой в год [3], чему соответствует более 1 % общих выбросов парниковых газов в атмосферу [4]. Так что приход эффективной светодиодной (СД) технологии в светотехнику оказался как нельзя кстати, позволив существен-

но сократить расходы на освещение и продолжить наращивать количество осветительных приборов (ОП) в городских и сельских поселениях.

И всё бы хорошо, но постоянное увеличение доли искусственного света на нашей планете становится небезопасным для окружающей среды – она визуально загрязняется!

Однако не свет в этом виноват – свет не бывает грязным! Он выступает как правдивый, объективный индикатор мутности атмосферы, обусловленной как её химическим составом, так и наличием природных и антропогенных взвесей (аэрозолей) – влаги, пыли, копоти, сажи, выхлопов и т.п. Они, отражая и рассеивая «восходящий свет», становятся «катарактой» воздуха и причиной «осветлённого» вида ночного неба. «Осветление» усиливается в пасмурные ночи, когда облака отражают «восходящий свет» обратно вниз, особенно зимой, когда эффект усиливается благодаря снеж-

ному покрову. На рис. 1 показан эффект освещения ночного неба над Женевой (Швейцария) восходящим светом городской агломерации.

Осветление небосвода практически «не загрязняет» центральное поле зрения пешехода в городе и не нарушает экологию его визуального восприятия в экстерьере и отчасти в интерьере. Здесь основную негативную роль играет «паразитный свет» ОП. Почти во всех случаях СЗ связано с чрезмерным, неверно направленным светом электрических ОП с неудачно выбранными светораспределением, юстировкой и расположением.

При этом освещение ОП с СД, насыщенное холодно-белыми оттенками, оказалось наиболее энергоэффективным и бюджетным одновременно. Но внедрение таких «оптимальных решений» в современную практику реально трансформирует цветовой облик городов, и практически на наших глазах они «белеют и светлеют». На рис. 2 приведены фотографии, сделанные с борта МКС в 2012 и 2020 гг. На них видна цветовая и яркостная трансформации от перехода на ОП с СД холодных оттенков в НО за последние 10 лет.

Искусственный свет, рассеянный в воздушном пространстве атмосферы над городами и промышленными объектами, отчасти крадёт у нас

Рис. 1. Осветлённое ночное небо над Женевой. Фотография: Fabrice Coffrini/AFP/Getty Images

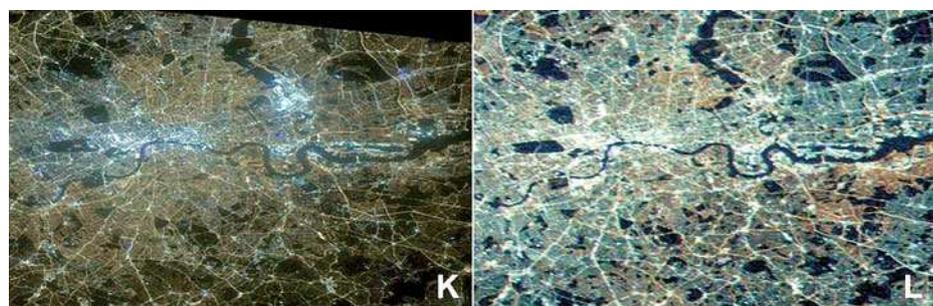


Рис. 2. Спутниковые фотографии Лондона в 2012 (K) и 2020 (L) гг. [3]

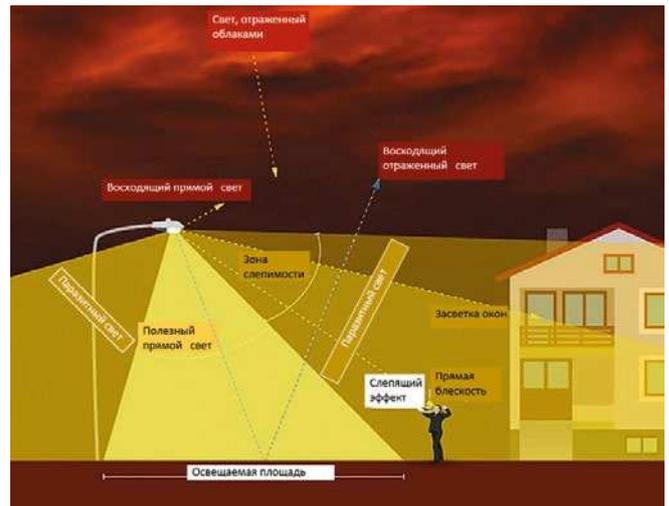
ночь, лишает возможности видеть ночное небо. Такое СЗ приводит к негативным последствиям для здоровья и благополучия человека, грозит существованию целых видов живых организмов и экосистем [5]. Минимизация СЗ становится обязательной задачей при проектировании утилитарного, архитектурного и рекламно-информационного освещения [6], а применение ОП, сертифицированных по критерию СЗ – признанной практикой [7, 8].

Рассмотрим подробнее, как формируется СЗ в условиях городской застройки, освещённой приборами утилитарного НО. На рис. 3 схематично показан ОП, установленный на опоре для освещения полотна проезжей части дороги. На него падает «полезный свет» ОП – световой поток, формируемый в соответствии со штатными характеристиками ОП.

«Полезный прямой свет» ОП, в соответствии с альбедо дорожного покрытия отражается в верхнюю полусферу и создаёт «восходящий отражённый свет». Из-за неидеальности оптической схемы ОП часть его света также уходит в верхнюю полусферу, создавая «восходящий прямой свет». Восходящие потоки света, рассеиваясь в воздушном аэрозоле и отражаясь от облаков, «подсвечивают небосвод» и создают *Skyglow* – СЗ в виде осветления ночного неба над населёнными пунктами и крупными предприятиями, которое воспринимается наблюдателем как «светящийся пузырь» желтовато-бурого, холодно-белого, марганцово-розового и др. цветов. Вторая составляющая СЗ – внешняя «засветка окон»: искусственный свет, проникающий в помещения снаружи в тёмное время суток. Эффект оказывает крайне негативное воздействие на людей в интерьерах. Российские стандарты не допускают превышения вертикальной освещённости на внешнем стекле окон жилых зданий, палат лечебных учреждений и некоторых других объектов выше регламентированной величины.

К следующей составляющей СЗ можно отнести яркие части ОП, оказывающиеся в визуальном кадре водителя или пешехода. Они создают прямую блёкость и вуалирующую яркость в глазах наблюдателя, что затрудняет адекватную оценку ситуации на дороге, снижает безопасность. Ситуацию на улицах усугубляет не-

Рис. 3. Схематичное изображение компонентов светового загрязнения, формируемых ОП наружного освещения [5]



регулируемый свет фар автомобилей, светофоров, вывесок, рекламных мониторов и др. Российские стандарты предусматривают ограничение яркости ОП в так называемой «зоне слепимости».

«Энергетический вес» всех трёх составляющих СЗ крайне велик. До 30 % энергии, расходуемой на НО, приходится на генерацию «паразитного света» и освещение пространства (не только не требуемое, но и предельно вредное) [8]!

Какие параметры светового прибора влияют на уровень светового загрязнения окружающей среды?

Степень СЗ, создаваемого рационально установленным ОП, определяется его техническими характеристиками, прежде всего **пространственным распределением света, световым потоком и спектром излучения.**

Для того, чтобы характеризовать эффективность работы ОП в плане минимизации СЗ по уровню светового потока и направлению излучения стандарт *IESNA TM-15-07 «Luminaire Classification System For Outdoor*

Luminaire» предлагает систему оценки, основанную на определении *BUG* рейтинга. *BUG* рейтинг – средство оценки всех форм СЗ, обусловленных экранированием и перераспределением света ОП.

Для реализации данного подхода пространство вокруг ОП разделено на зоны, определённые в соответствии с ожидаемым воздействием на окружающую среду (рис. 4) [9].

Задняя засветка (*BACKLIGHT*) – определяет величину светового потока в зонах пространства *BL*, *BM*, *BH* и *BVH*, которые расположены в направлении, противоположном области, предназначенной для освещения. Оценивается рейтингом *B*.

Верхняя засветка (*UPLIGHT*) – определяет величину светового потока в зонах верхней полусферы *UH* и *UL*, вызывающего искусственное свечение неба и определяющего прямые потери энергии. Более низкая зона верхнего света (зона *UL*) вызывает наибольшее свечение неба и отрицательно влияет на профессиональную и академическую астрономию. Оценивается рейтингом *U*.

Блеск (*GLARE*) – определяет величину светового потока в передних зонах *FH* и *FVH*, а также в задних зонах

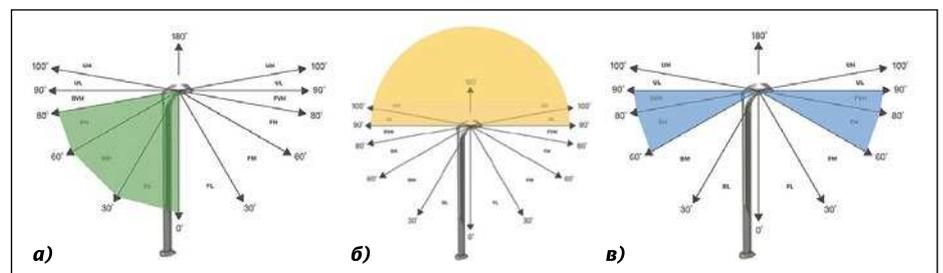


Рис. 4. Система измерения распределения светового потока ОП по TM-15-07 [9]: а – задняя засветка (*BACKLIGHT*); б – верхняя засветка (*UPLIGHT*); в – блеск (*GLARE*)

Пороговые значения светового потока в угловых зонах для рейтинга *B*, лм

Задняя засветка (<i>B</i>)						
Зона	<i>B0</i> менее	<i>B1</i> менее	<i>B2</i> менее	<i>B3</i> менее	<i>B4</i> менее	<i>B5</i>
<i>BH</i>	110	500	1000	2500	5000	>5000
<i>BM</i>	220	1000	2500	5000	8500	>8500
<i>BL</i>	110	500	1000	2500	5000	>5000

Таблица 1

Пороговые значения светового потока в угловых зонах для рейтинга *U*, лм

Верхняя засветка (<i>U</i>)						
Зона	<i>U0</i> менее	<i>U1</i> менее	<i>U2</i> менее	<i>U3</i> менее	<i>U4</i> менее	<i>U5</i>
<i>UH</i>	0	10	50	500	1000	>1000
<i>UL</i>	0	10	50	500	1000	>1000

Таблица 2

Пороговые значения светового потока в угловых зонах для рейтинга *G*, лм

Блеск (<i>G</i>) для асимметричных светильников						
Зона	<i>G0</i> менее	<i>G1</i> менее	<i>G2</i> менее	<i>G3</i> менее	<i>G4</i> менее	<i>G5</i>
<i>FVH</i>	10	100	225	500	750	>750
<i>BVH</i>	10	100	225	500	750	>750
<i>FH</i>	660	1800	5000	7500	12000	>12000
<i>BH</i>	110	500	1000	2500	5000	>5000

Таблица 3

Пороговые значения светового потока в угловых зонах для рейтинга *G*, лм

Блеск (<i>G</i>) для четырёхугольных симметричных светильников						
Зона	<i>G0</i> менее	<i>G1</i> менее	<i>G2</i> менее	<i>G3</i> менее	<i>G4</i> менее	<i>G5</i>
<i>FVH</i>	10	100	225	500	750	>750
<i>BVH</i>	10	100	225	500	750	>750
<i>FH</i>	660	1800	5000	7500	12000	>12000
<i>BH</i>	660	1800	5000	7500	12000	>12000

Таблица 4

BH и *BVH*, может вызывать дискомфорт или существенно затруднять работу зрительного аппарата. Оценивается рейтингом *G*.

Зональные пороговые значения светового потока, приведённые в табл. 1–4, основаны на данных *IES LM-35–20 «Approved Method: Photometric Testing of Floodlights Using High Intensity Discharge or Incandescent Lamps»*. Рейтинги задней подсветки, верхнего света и бле-

ска получают значения от 0 до 5 (желательнее меньшее значение) в зависимости от максимального количества света в этих зонах согласно пороговым значениям. В табл. 1–4 приведены пороговые значения светового потока в угловых зонах для трёх сегментов пространства, окружающего ОП и, соответственно, трёх значений итогового рейтинга *BUG*.

Итоговое значение каждого рейтинга определяется наихудшим показате-

лем по зонам, входящим в соответствующий сегмент окружающего пространства. Так, в статье [10] показано, что для ОП *FREGAT LED55* производства МГК «Световые Технологии» $B = 3$, $U = 0$, $G = 1$, а *BUG* рейтинг этого ОП выглядит как *B3-U0-G1*.

Таким образом, значение *BUG* рейтинга характеризует ОП с позиций потенциального *S3* за счёт особенностей светораспределения и величины световых потоков в критических пространственных зонах.

Согласно «Типовому постановлению об освещении» («*Model Lighting Ordinance*» – «*MLO*»), выпущенному совместно Ассоциацией тёмного неба (*IDA*) [6] и Североамериканским светотехническим обществом (*IESNA*), все освещаемые пространства делятся на 5 экологических зон: от зон нетронутой дикой природы (*LZ0*), до зон плотной застройки крупных городов (*LZ4*). Экологические требования «*MLO*» к НО устанавливают максимальные значения *BUG* рейтингов ОП, допустимых для установки в каждой из таких зон. Для абсолютного большинства зон и вариантов размещения ОП максимально допустимые *BUG* рейтинги ограничены значением 4 за исключением двух случаев рейтинга задней подсветки *B*, ограниченного значением 5.

В нашем анализе при определении рейтингов со значением 5 целесообразно принять ограничение по максимальным зональным световым потокам, соответствующим данному значению рейтинга. А именно в случае превышения зональным световым потоком значения нижней границы, установленной для рейтинга 5, более чем в два раза, ОП следует относить к «экологически несостоятельным» и неэффективным для целей утилитарного освещения.

На основании изложенного для упрощения количественной оценки опасности *S3* ОП по светораспределению и величине светового потока представляется целесообразным ввести специальный параметр L_F – показатель *S3* по световому потоку.

Данный показатель может быть выражен как нормализованная сумма рейтингов *B*, *U* и *G*:

$$L_F = (B + U + G) / 15, \quad (1)$$

где *B*, *U* и *G* лежат в диапазоне от 0 до 5.

Значение 15 в знаменателе формулы (1) есть сумма трёх максимально допустимых значений *BUG* рейтингов ОП.

Соответственно, худшим значением показателя L_F может быть 1, а лучшим – 0. Например, для ОП *FREGAT LED55* [10] $L_F = (3 + 0 + 1) / 15 = 0,27$.

Степень проявления негативных эффектов, вызываемых СЗ, зависит и от его спектрального состава. Появление новых технологий генерации искусственного света существенно изменило «палитру СЗ» нашей планеты. С середины прошлого века её основные краски были составлены линиями излучения ртути, в последней четверти века в них превалировало желтоватое излучение натрия, в наше время ночную световую среду формирует холодновато-голубоватое излучение СД белого света.

Этот оттенок обусловлен излучением СД наиболее массового применения. На рис. 5 показаны типичные спектральные характеристики СД тёплого, нейтрального и холодного оттенков белого света на основе гетероструктур *InGaN/GaN* [11].

Левые, узкие пики с максимумом на λ около 450 нм (рис. 5) соответствуют спектру электролюминесценции синего кристалла на основе гетероструктур *InGaN/GaN*; правые, широкие с максимумом в диапазоне λ 560–630 нм соответствуют зоне свечения люминофоров.

Количество излучения в коротковолновой части, 405–530 нм, в плане СЗ оказалось критичным сразу по нескольким составляющим негативного воздействия на человека и биосферу.

Рассмотрим составляющую, определяемую меланопической чувствительностью человека: составляющую *ML*. Спектральная область этой чувствительности – 430–530 нм, с максимумом на λ 470–490 нм (рис. 6).

В естественной обстановке свет данного диапазона поступает на ганглиозные клетки сетчатки глаз в светлое время и не поступает в тёмное время суток. По нейронной сети ретино-гипоталамического тракта сигнал от сетчатки передаётся в шишковидную железу головного мозга, формирующую гормональный ответ – секрецию мелатонина в отсутствие света (рис. 7) [12]. При наличии освещения начинаются подавление секреции мелатонина и стимуляция секреции гормона кортизола.

Рис. 5. Нормализованные спектры излучения СД с разной коррелированной цветовой температурой (КЦТ)

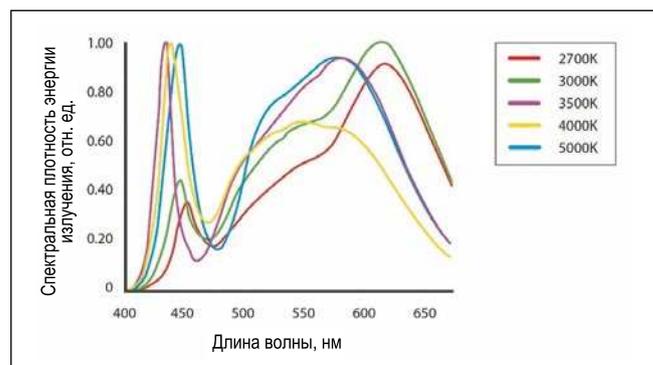
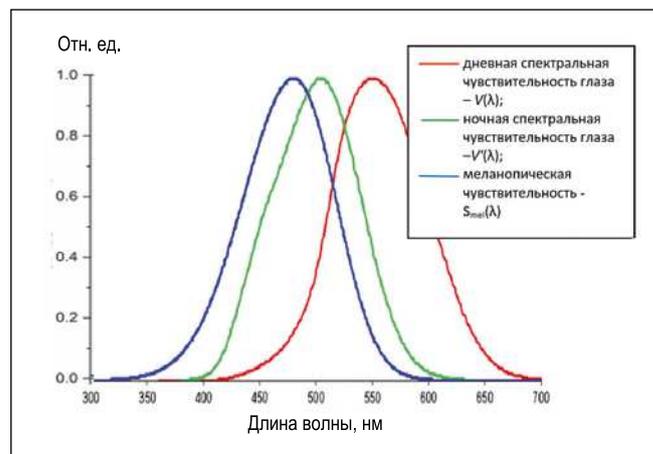


Рис. 6. Функции относительной спектральной световой эффективности монохроматического излучения для дневного и ночного зрения и кривая меланопической чувствительности



Гормон мелатонин – один из ключевых регуляторов циркадных ритмов человека, триггер процесса сна. С наступлением тёмного времени суток достигается определённая концентрация мелатонина в плазме крови обуславливает релаксацию организма: снижает концентрацию, замедляет скорость реакций, расслабляет мышцы [12, 13].

Теперь представим, что неконтролируемый свет ОП НО или светящегося от СЗ небосвода с большим содержанием «синей части спектра» всю ночь проникает в окно спальни квартиры или палаты медицинского учреждения, или слепит глаза водителей и пешеходов. Вследствие этого у людей могут сбиваться гормональные ритмы, циклы сна и бодрствования, нарушаться режим питания, ухудшаться самочувствие, провоцироваться серьёзные заболевания. Напротив, снижение СЗ может служить очень эффективной фармакотерапевтической стратегией, способствующей улучшению самочувствия и повышению качества жизни.

Степень негативного воздействия составляющей *ML* СЗ определяется энергетической освещённостью в меланопическом диапазоне на уровне роговицы глаз человека и может быть выражена как

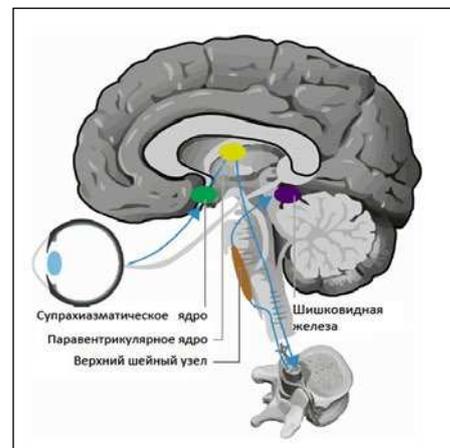


Рис. 7. Передача циркадной информации. Сигнал ганглиозных клеток сетчатки глаза передаётся через ретиногипоталамический тракт (показан синим цветом) к супрахиазматическому ядру – генератору циркадных ритмов (зелёный). Далее информация передаётся через нейроны паравентрикулярного ядра (жёлтый) и верхний шейный узел в шишковидную железу (фиолетовый), которая отвечает за секрецию мелатонина [12]

$$ML = C_1 \int_{430\text{нм}}^{530\text{нм}} E_e(\lambda) S_{\text{mel}}(\lambda) d\lambda,$$

где $E_e(\lambda)$ – спектральная плотность энергетической освещённости, $S_{\text{mel}}(\lambda)$ – функция относительной спектральной меланопической чувствительности глаза, C_1 – коэффициент пропорциональности.

Рис. 8. Функция относительной спектральной световой эффективности монохроматического излучения для дневного зрения и спектральная функция опасности синего света. Жёлтым прямоугольником условно показан диапазон максимальной чувствительности биосферы

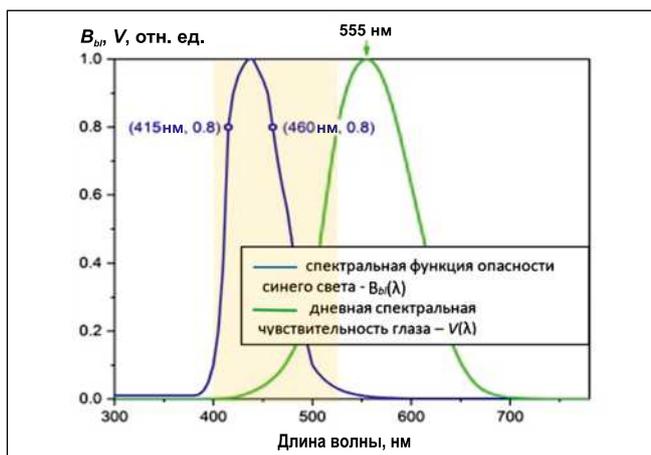
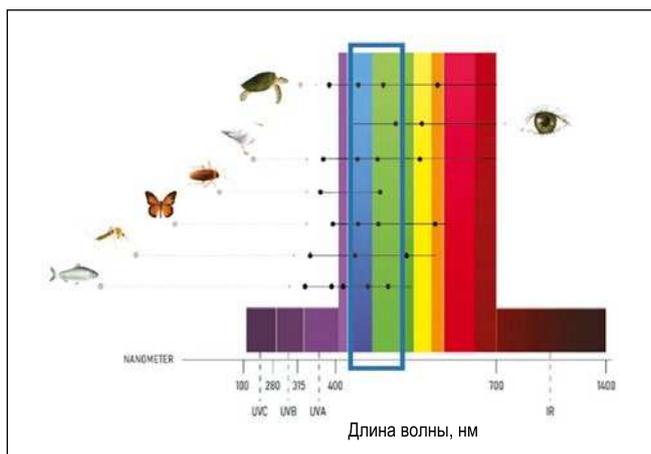


Рис. 9. Способность людей и животных воспринимать излучение с разной длиной волны (показана горизонтальными линиями). Пиковые значения чувствительности (представлены чёрными точками)



Следующая составляющая S_3 – BL , которая определяется наличием в видимом спектре коротковолнового участка 380–550 нм. Превышение допустимых уровней облучённости в этом диапазоне может вызывать повреждение сетчатки глаз. Такая проблема получила на практике название «опасность синего света» и определяется спектральной функцией опасности синего света $B_b(\lambda)$ (рис. 8), с максимальными значениями в диапазоне λ 415–460 нм [14].

Уровень эффекта определяется энергетической освещённостью, взвешенной по $B_b(\lambda)$:

$$BL = C_2 \int_{380\text{ нм}}^{550\text{ нм}} E_e(\lambda) \cdot B_b(\lambda) \cdot d\lambda,$$

где C_2 – коэффициент пропорциональности.

Однако в случаях S_3 городской среды уровни освещения сетчатки глаз, например, пешехода, водителя автомобиля или велосипедиста крайне малы. Так, показано [15], что в условиях ночного городского освещения освещённость на глазах во время вождения или пешеходного движения не превышает 6 лк. Поскольку, согласно

[14], для достижения категории риска опасности синего света при коррелированной цветовой температуре (КЦТ) ОП 4000 К освещённость на глазах должна быть выше 850 лк, негативный вклад эффекта опасности синего света в S_3 крайне мал.

Известно, что искусственный свет отрицательно влияет на многие виды животных и экологические сообщества [16], это определяет наличие ещё одной составляющей негативного проявления S_3 : составляющей BIO . Такой свет может влиять на поведение и физиологию, снижая выживаемость особей или их репродуктивную способность. Косвенный эффект может проявляться в изменении доступности среды обитания или пищевых ресурсов. Свет может привлекать хищников и инвазивных вредителей, которые могут представлять угрозу некоторым видам. Свет может дезориентировать ночных перелётных птиц (уток, гусей, ржанок, куликов, певчих и морских птиц), особенно во время миграции, заставляя их отклоняться от эффективных маршрутов или сталкиваться с объектами инфраструктуры [17]. Искусственное освещение также мо-

жет влиять на физиологию и фенологию растений, меняя рост, время цветения или распускания почек и др. Негативные последствия в окружающей биосфере проявляются больше, если загрязняющий ночью искусственный свет насыщен коротковолновым излучением, в том числе в рассматриваемом нами диапазоне λ 400–530 нм. На рис. 9 показана спектральная область восприимчивости излучения биосферой и выделена зона максимальной чувствительности в коротковолновой части видимого спектра [16].

Соответственно, составляющая BIO может быть выражена как

$$BIO = C_3 \int_{400\text{ нм}}^{550\text{ нм}} E_e(\lambda) K_{\text{bio}}(\lambda) d\lambda,$$

где $K_{\text{bio}}(\lambda)$ – функция условной чувствительности биосферы (примем её равной 1,0 в диапазоне λ 400–550 нм), C_3 – коэффициент пропорциональности.

Зависимым от спектрального состава загрязняющего света оказался и эффект свечения ночного неба – составляющая GL . Данный эффект вызывается рассеянием света в атмосфере, а точнее на частицах, входящих в её состав. Рассеяние света на аэрозолях, содержащих достаточно крупные частицы (воды, пыли, смога), практически не зависит от λ и называется рассеянием Ми. Рассеяние же света на мелких частицах, в основном молекулах кислорода и азота, подчиняется закону Рэлея. Согласно этому закону интенсивность рассеяния зависит от частоты в четвёртой степени, что приводит к сильному рассеянию в коротковолновой (синей) части спектра [18]. (Кстати, этот эффект объясняет голубой цвет дневного неба.) Зависимость интенсивности рассеяния Рэлея от λ излучения чёрного тела с температурой 5778 К приведена на рис. 10.

Соответственно, холодно-белый свет с большей долей коротковолнового спектра в выбранном нами условном диапазоне 400–530 нм, по закону Рэлея, будет рассеиваться в атмосфере более интенсивно по сравнению с нейтрально- или тепло-белым светом. Следствием этого является усиление эффекта S_3 в виде свечения ночного небосвода при увеличении «коротковолновой доли» в загрязняющем свете, т.е. при смещении баланса белого от тёплого оттенка к холодному.

Следует рассмотреть ещё один эффект, также усиливающий восприятие

эффекта свечения ночного неба и также зависящий от доли излучения в коротковолновой части видимого спектра. В условиях слабого освещения в ночное время зрительный аппарат переключается в режим ночного (скотопического) зрения [19]. В этом случае, зрительные ощущения обеспечиваются палочками сетчатки, которые наиболее чувствительны в левой части видимого спектра, с максимумом на λ 507 нм, и нечувствительны на λ , примерно больших 640 нм. Кривая «ночной чувствительности глаза» $V'(\lambda)$ приведена на рис. 5. Соответственно, оценка восприятия свечения ночного неба человеком будет существенно усилена «скотопическим взвешиванием» спектрального состава свечения. По некоторым данным [20] свет СД с высокой КЦТ добавляет в 3 раза больше скотопической яркости ночному небу, чем НЛВД (с их низкой КЦТ) при том же световом потоке. Данный эффект ещё больше подчёркивает вклад коротковолновой части спектра в СЗ. Составляющая GL может быть выражена как

$$GL = C_4 \int_{400\text{нм}}^{530\text{нм}} E_e(\lambda) \cdot K_{\text{ray}}(\lambda) \cdot V'(\lambda) d\lambda,$$

где $K_{\text{ray}}(\lambda)$ – функция относительной спектральной интенсивности рассеяния излучения в атмосфере, C_4 – коэффициент пропорциональности.

Таким образом, все составляющие эффекта СЗ имеют выраженную зависимость от спектрального состава. Для всех составляющих наиболее значимой оказывается коротковолновая (синяя) часть, 400–530 нм. Степень суммарного воздействия всех четырёх составляющих СЗ L_{sp} можно выразить как

$$L_{\text{sp}} = ML + BL + BIO + GL$$

или, если принять, что

$$S_{\text{mel}}(\lambda) + B_{\text{bl}}(\lambda) + K_{\text{bio}}(\lambda) + K_{\text{ray}}(\lambda) \cdot V'(\lambda) = S_{\text{sum}}(\lambda),$$

то

$$L_{\text{sp}} = C_5 \int_{400\text{нм}}^{530\text{нм}} E_e(\lambda) \cdot S_{\text{sum}}(\lambda) d\lambda, \quad (2)$$

где $S_{\text{sum}}(\lambda)$ – обобщённая функция восприимчивости СЗ окружающей средой, C_5 – коэффициент пропорциональности.

Соответственно, именно количество световой энергии в диапазоне 400–

Рис. 10. Спектральная зависимость интенсивности рассеяния атмосферой излучения чёрного тела с температурой 5778 К [18]

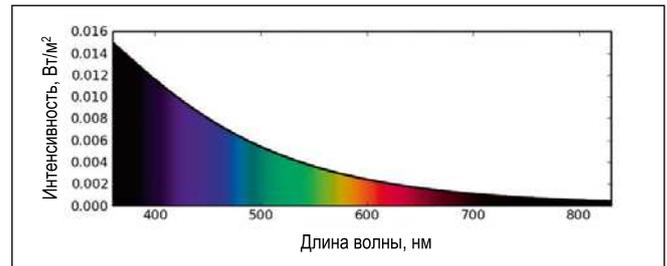
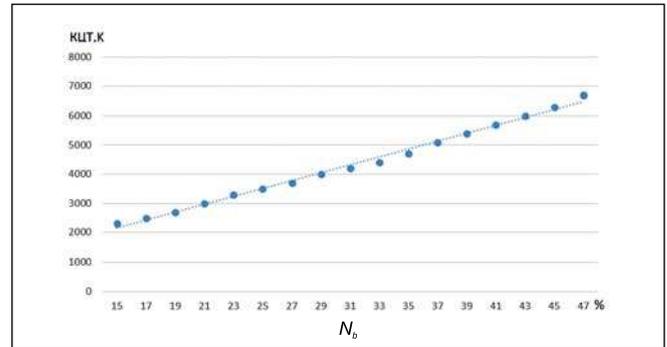


Рис. 11. Практически линейная зависимость значений коррелированной цветовой температуры от доли излучения светодиода в диапазоне λ 405–530 нм



530 нм определяет степень СЗ окружающей среды.

КЦТ – наиболее распространённый и хорошо известный параметр, характеризующий спектральный состав ИС. Измерение КЦТ не требует сложной техники и дополнительных расчётов, в отличие от альтернативных индикаторов, принятых для оценки степени проявления СЗ, например отношения скотопической яркости ИС (S) к фотопической (P) S/P [7] или спектрального G -индекса.

Понятно, что при рассмотрении существенно разных спектров КЦТ не может служить «исчерпывающим» параметром, характеризующим долю излучения в интересующей нас коротковолновой части спектра 400–530 нм [7]. Но, поскольку объект нашего исследования – ОП утилитарного освещения с СД на основе гетероструктур $InGaN/GaN$ и подобной формой спектров излучения (рис. 5), мы можем воспользоваться данными [21], связывающими процентную долю излучения в диапазоне λ 400–530 нм N_b (условно синюю зону спектра) в общем видимом диапазоне (380–780 нм) и КЦТ данных ИС с одинаковым световым потоком (табл. 5):

$$N_b = \int_{400\text{нм}}^{530\text{нм}} \varphi_e(\lambda) d\lambda / \int_{380\text{нм}}^{780\text{нм}} \varphi_e(\lambda) d\lambda \times 100, \%$$

где $\varphi_e(\lambda)$ – функция спектральной плотности излучения ИС.

Результаты расчётов показывают практически линейную зависимость

КЦТ СД ИС от N_b (здесь в диапазоне 405–530 нм) (рис. 11).

Соответственно, имеем:

$$T_{\text{ip}} \approx K \cdot N_b, \quad (3)$$

где T_{ip} – КЦТ СЗ, K – коэффициент пропорциональности.

Как показано выше, степень СЗ при прочих равных условиях определяется спектральным составом света, а именно уровнем излучения в диапазоне 400–530 нм (уравнение (2)). В то же время излучение в этой части спектра определяет значение T_{ip} (3).

Следовательно, степень СЗ при прочих равных условиях определяется T_{ip} :

Таблица 5

Коррелированная цветная температура и доля излучения светодиодов в спектральном диапазоне 405–530 нм [21]

Световой поток, лм	КЦТ, К	N_b , %
1000	2700	17–20
	3000	18–25
	3500	22–27
	4000	27–32
	4500	31–35
	5000	34–39
	5700	39–43
	6500	43–48

$$L_{sp} = k \cdot T_{lp},$$

где k – коэффициент пропорциональности.

КЦТ – наиболее распространённый интегральный показатель спектрального состава света ОП. Это упрощает оценку зависимости негативного проявления эффекта СЗ от спектрального состава света ОП с СД – по значениям КЦТ.

На основании изложенного для упрощения количественной оценки опасности СЗ ОП по спектральному составу представляется целесообразным ввести специальный параметр L_s – показатель СЗ ОП по спектру. Для удобства данный показатель может быть определён как КЦТ ОП, нормированная по условно максимальному значению КЦТ ОП утилитарного освещения, в качестве которого нами выбрано значение 6500 К, как наиболее вероятное верхнее значение КЦТ ОП, применяемых в НО.

Тогда имеем:

$$L_s = T_{cc} / 6500,$$

где T_{cc} – КЦТ ОП.

Например, T_{cc} ОП (светильника) *FREGAT LED55* равна 2850 К [7] и, соответственно, его $L_s = 2850/6500 = 0,44$.

На основании приведённых методик расчёта показателей СЗ ОП L_F и L_s целесообразно ввести следующий общий показатель СЗ ОП – L_{lp} , характеризующий ОП двумя параметрами одновременно:

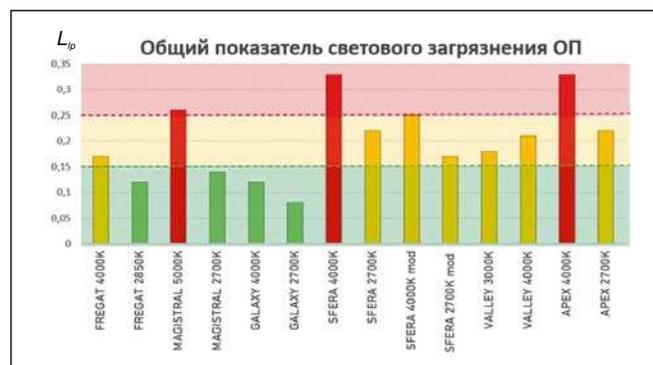
$$L_{lp} = L_F \cdot L_s.$$

Определим значение L_{lp} ОП *FREGAT LED55* [9], учитывая, что его $L_F = 0,27$, а $L_s = 0,44$. $L_{lp} = 0,27 \cdot 0,44 = 0,12$.

Применение методики оценки общего показателя светового загрязнения

В качестве примера применения предложенной методики мы рассчитали значения L_{lp} ряда ОП (светильников) НО производства МГК «Световые Технологии», предназначенных для освещения проезжей и пешеходной частей улиц и дорог городов, внутриквартальных территорий, скверов и парковых зон.

Рис. 12. Сравнение значений общего показателя светового загрязнения ОП наружного освещения L_{lp}



В табл. 6 приведены характеристики ОП, определяющие фотометрические и спектральные параметры, непосредственно влияющие на уровень СЗ, создаваемого прибором. Светораспределение ОП характеризуется КСС в определённых плоскостях, а спектр излучения – в данном случае КЦТ. Эти характеристики измерялись в ЦЗЛ МГК «Световые Технологии», по данным измерений определялись зональные световые потоки и в соответствии с методикой [9] рассчитывался *BUG* рейтинг. По предложенной в статье методике рассчитывался L_{lp} .

Если световой поток и светораспределение ОП определяют количественную сторону СЗ, то спектр излучения характеризует СЗ ОП качественно. При расчёте L_{lp} в случае, когда эти составляющие действуют однонаправленно, эффект СЗ усиливается, как в случае светильника *MAGISTRAL* с КЦТ 5000 К, в противном случае большой световой поток и относительно высокий *BUG* рейтинг могут компенсироваться низкой КЦТ, как в случае светильника *FREGAT LED55* с КЦТ 2850 К. Результаты расчётов L_{lp} наглядно демонстрируют большую «экологическую чистоту» ОП с низкой КЦТ.

У выбранных ОП существенно различаются КСС и световые потоки. Если у ОП для освещения проезжей и пешеходной частей улиц и дорог верхняя засветка практически отсутствует, то, например, свет парковых светильников *SFERA LED*, *VALLEY UP* и *APEX* попадает в зоны *UL* и *UH* (рис. 4). ОП большой мощности (большого светового потока) ожидаемо оказываются и наиболее агрессивными световыми загрязнителями окружающей среды. В этой связи следует подчеркнуть важность чёткого следования установленным нормативам при проектировании утилитарного освещения. Недопустимо закладывать «дополнительный запас» и допускать

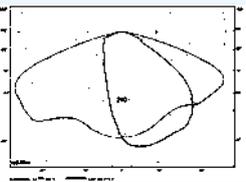
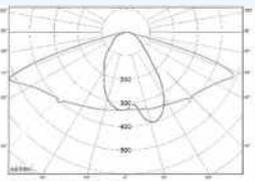
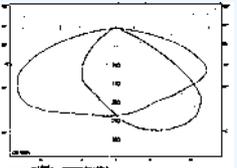
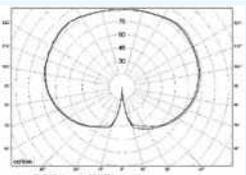
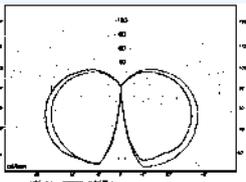
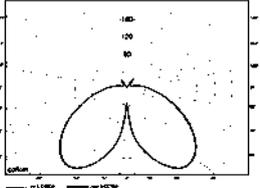
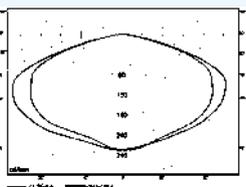
необоснованные превышения уровня яркости и освещённости на дорогах и улицах. Современные средства управления позволяют избегать таких «пересветов» в начальной стадии эксплуатации наружной ОУ, например, при использовании в ОП устройств управления со встроенной функцией постоянного светового потока или с иными средствами его контроля.

Конечно, оптимальным решением, снижающим СЗ, служит переход на более длинноволновые спектры излучения, на низкие КЦТ. При этом на рис. 12 в удобном для сравнения виде приведены значения показателя СЗ выбранных ОП и выделены цветами три условные зоны: низкого СЗ ($L_{lp} \leq 0,15$) – зелёная зона, среднего СЗ ($0,15 \leq L_{lp} \leq 0,25$) – жёлтая зона и высокого СЗ ($L_{lp} > 0,25$) – красная зона.

Возникает вопрос, можно ли снизить значение показателя СЗ серийно выпускаемого ОП? Для решения этого вопроса есть несколько опробованных технических решений, среди которых можно отметить применение специальных жалюзи, экранов и светофильтров [8].

Рассмотрим конструкцию венчающего шарообразного ОП *SFERA LED* из молочного поликарбоната, популярного у архитекторов садово-парковых территорий. Лаконичная классическая форма ОП позволяет свету беспрепятственно распространяться во все стороны, включая зоны, формирующие СЗ. У этого ОП в зоны *UL* (90–100°) и *UH* (100–180°) уходят 415 и 2082 лм (9 и 48 %) соответственно. Вследствие этого ОП имеет *BUG* рейтинг *BIU5G2*, а его версии с КЦТ 4000 и 2700 К имеют довольно большие L_{lp} – 0,33 и 0,22 соответственно. При этом уровень верхней засветки в зону *UH* (4000 К, 2082 лм) более чем вдвое превышает нижнюю границу рейтинга в 1000 лм. Как мы определили выше, ОП с такими показателями следует ха-

Характеристики ОП, определяющие его фотометрические и спектральные параметры и значения общего показателя светового загрязнения L_{lp}

Серия ОП	Внешний вид	КСС	КЦТ, К	BUG рейтинг	L_{lp}
FREGAT LED G2			4000	<i>B3</i> <i>U0</i> <i>G1</i>	0,165
			2850		0,117
MAGIST- RAL LED			5000	<i>B3</i> <i>U0</i> <i>G2</i>	0,307
			2700		0,166
GALAXY LED			4000	<i>B2</i> <i>U0</i> <i>G1</i>	0,123
			2700		0,083
SFERA LED			4000	<i>B1</i> <i>U5</i> <i>G2</i>	0,33
			2700		0,22
SFERA LED mod			4000	<i>B1</i> <i>U3</i> <i>G2</i>	0,25
			2700		0,17
APEX LED			4000	<i>B2</i> <i>U3</i> <i>G3</i>	0,33
			2700		0,22
VALLEY UP LED			4000	<i>B2</i> <i>U2</i> <i>G2</i>	0,20
			3000		0,18

рактизовать как «экологически несостоятельные» и как минимум информировать об этом потребителя.

Как повлияет затемнение рассеивателя ОП *SFERA LED* в зонах верхней засветки *UH* и *UL*? Для ответа на этот вопрос конструкция данного ОП была модифицирована путём нанесения на внешнюю поверхность верхней части

рассеивателя непрозрачного покрытия. Такая модификация ОП, *SFERA LED mod*, позволила снизить рейтинг верхней засветки *U* только на две единицы, с 5 до 3, *BUG* рейтинг составил *B1U3G2*. Это объяснимо тем, что светящиеся шарообразные части нижней полусферы продолжают направлять достаточно света в зоны верх-

ней засветки. В зону *UL* уходит 308 лм, а в зону *UH* – 424 лм, 5 и 7 % соответственно.

Параметры базового и модифицированного ОП *SFERA LED*, приведены в табл. 6. Из рис. 12 видно, что затемнение верхней зоны рассеивателя ОП *SFERA LED4000 К* не приводит к радикальному снижению L_{lp} модифици-

рованной версии этого ОП, но позволяет уйти из красной зоны. Улучшить экологическую безопасность данного прибора позволяет переход на КЦТ 2700 К.

Слабое влияние столь радикальной модификации ОП на уровень СЗ позволяет констатировать, что проблемы СЗ целесообразно решать на этапе проектирования ОП или целенаправленного выбора, для НО, экологически безопасной модели ОП.

Авторы планируют продолжить работу по определению и согласованию жёстких границ для L_{lp} , регламентирующих безопасный, приемлемый или недопустимый уровни экологической безопасности ОП, в том числе и с участием заинтересованных представителей светотехнической и экологической общественности.

Такими требованиями к L_{lp} целесообразно дополнить перечень мер, касающихся экологического проектирования и монтажа ОУ. К таким мерам в первую очередь надо отнести:

- проектирование систем НО с учётом фактора СЗ, исключая распространение света в верхнюю полусферу и иные «зоны паразитной засветки»;

- соблюдение регламентируемых требований к утилитарному освещению без превышения нормируемых значений и создания «эксплуатационных запасов»;

- применение систем динамичного управления освещением, обеспечивающих снижение освещения улиц и дорог в периоды снижения интенсивности транспортной активности;

- использование в НО ОП с пониженным содержанием коротковолнового излучения в спектре или с низкими значениями КЦТ (ниже 3000 К);

- максимальное использование дополнительных средств, обеспечивающих безопасность и ориентацию в городской среде и на улицах и магистралях, например, светоотражающие знаки и разметки, автоматические системы контроля движения автотранспортных средств и др.;

- минимизация антропогенного загрязнения атмосферы и окружающей среды, гармонизация жизнедеятельности общества и природы в целом.

Учитывая возрастающее общественное внимание к экологическим проблемам, в том числе к СЗ, представляется целесообразным ввести L_{lp} ОП в перечень параметров, ука-

зываемых в спецификации ОП утилитарного освещения. Это позволило бы разработчикам ОП учитывать данный параметр при оптимизации конструкции, импортёрам принимать более взвешенные решения при закупках, проектировщикам получать возможность выбора наиболее «экологических решений» уже на этапе проектирования ОУ, а заказчикам осмысленно требовать обеспечения защиты окружающей среды и населения от ненужного освещения.

Заключение

Проблема СЗ хорошо видна всем жителям крупных городов, однако серьёзные опасности, сопровождающие данный эффект, часто остаются скрытыми от глаз. Расчётные оценки потенциального уровня СЗ на стадии проектирования ОУ и выбора наиболее экологических решений практически никогда не ведутся ввиду отсутствия соответствующих расчётных инструментов. Предложенная методика позволяет проводить количественные оценки степени СЗ ОП с учётом распределения светового потока по критическим зонам и спектральных характеристик света. Анализ ассортимента ОП (светильников) МГК «Световые Технологии» на базе результатов определения L_{lp} ОП позволил выявить «экологически чистые» модели ОП, определить менее удачные конструкции и наметить пути их усовершенствования. В статье показана возможность использования L_{lp} ОП при выборе и сравнении ОП с целью минимизации эффекта СЗ, а также целесообразность включения данного параметра в спецификацию ОП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Щепетков Н.И. Световой дизайн города: Учебное пособие. – М.: Архитектура-С, 2006. – 320 с.
2. World Energy Outlook 2020. URL: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020> (дата обращения: 01.02.2023).
3. Bachanek K.H., Tundys B., Wiśniewski T., Puzio E., Maroušková A. Intelligent Street Lighting in a Smart City Concepts – A Direction to Energy Saving in Cities: An Overview and Case Study // Energies. – 2021. – Vol. 14 (11). DOI: 10.3390/en14113018.
4. The rapid transition to energy efficient lighting: an integrated policy approach. The United Nations Environment Programme/Global Environment Facility enlighten initiative.

URL: <https://www.unep.org/resources/report/rapid-transition-energy-efficient-lighting-integrated-policy-approach> (дата обращения: 01.02.2023).

5. Sanchez A. et al. Environmental risks from artificial nighttime lighting widespread and increasing across Europe // Science Advances. – 2022. – Vol 8, Is. 37. DOI: 10.1126/sciadv.abl6891 (дата обращения: 01.02.2023).

6. Галатану К.Д., Аиураф М., Лукаче Д.Д., Бю Д., Чугудеану К. Коэффициент использования для архитектурного освещения // Светотехника. – 2019. – № 4. – С. 30–37.

7. Radetsky L. LUNA requirements look to balance ecosystem and human needs in practice // LEDS MAGAZINE – 2022. – Sept. 2. URL: <https://www.ledsmagazine.com/architectural-lighting/article/14280035/luna-requirements-look-to-balance-ecosystem-and-human-needs-in-practice> (дата обращения: 01.02.2023).

8. International Dark-Sky Association (IDA). URL: <https://www.darksky.org/light-pollution/> (дата обращения: 01.02.2023).

9. BUG Rating System 101 // Enlighten Journal. – Vol. 2, Is. 1. URL: <https://www.landscapeforms.com/enlighten/pages/2-1/BUG-Rating-Article.aspx> (дата обращения: 01.02.2023).

10. Аникин Д., Данилко А., Карев А., Лятунов С. Возможно ли освещение современного города без светового загрязнения? // Полупроводниковая светотехника. – 2022. – № 2. – С. 16–19.

11. Ashdown I. Light pollution depends on the light source CCT // LEDS MAGAZINE. – 2015. – Oct. 20. – URL: <https://www.ledsmagazine.com/smart-lighting-iot/white-point-tuning/article/16695938/light-pollution-depends-on-the-light-source-cct-magazine> (дата обращения: 01.02.2023).

12. Blume C., Garbazza C., Spitschan M. Effects of light on human circadian rhythms, sleep and mood // Somnologie (Berl). – 2019 Sep;23(3). – P. 147–156. DOI: 10.1007/s11818-019-00215-x. Epub 2019 Aug 20. PMID: 31534436; PMCID: PMC6751071.

13. Wahl S, Engelhardt M, Schaupt P, Lappe C, Ivanov IV. The inner clock—Blue light sets the human rhythm. J. Biophotonics. 2019; 12: e201900102. <https://doi.org/10.1002/jbio.201900102>

14. IEC/TR62778: 2014 «Применение МЭК 62471 к источникам света и светильникам для оценки опасности от синего света».

15. Wood J., Black A., Isoardi G. Assessment of Blue Light Hazards and Correlated Colour Temperature for Public LED Lighting. March 2019. URL: https://www.energex.com.au/__data/assets/pdf_file/0004/757174/Blue-light-hazards-report-March-2019.pdf (дата обращения: 01.02.2023).

16. National Light Pollution Guidelines for Wildlife Including Marine Turtles, Seabirds and Migratory Shorebirds. Australian Department of the Environment and Energy. 2020. URL: <https://www.dceew.gov.au/sites/>

default/files/documents/national-light-pollution-guidelines-wildlife.pdf (дата обращения: 01.02.2023).

17. Zhao X., Zhang M., Che X., Zou F. Blue light attracts nocturnally migrating birds // The Condor: Ornithological Applications. – 2020. – No. 122. – P. 1–12. DOI:10.1093 / condor/duaa002.

18. Хюлт Г. ван де. Рассеяние света малыми частицами. Пер. с англ. /Под ред. Т.В. Водопьяновой. – М.: ИИЛ, 1961. – 536 с.

19. Справочная книга по светотехнике / Под общ. ред. Ю.Б. Айзенберга и Г.В. Бооса. – 4-е изд. – М.: Редакция журнала «Светотехника», 2019. – 892 с.

20. Luginbuhl C.B., Boleyb P.A., Davis D. The impact of light source spectral power distribution on sky glow // Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer. 2014. – Vol. 139. – P. 21–26. DOI: 10.1016/j.jqsrt.2013.12.004.

21. An Investigation of LED Street Lighting's Impact on Sky Glow / DOE Report, April 2017. URL: https://www.energy.gov/sites/prod/files/2017/05/f34/2017_led-impact-sky-glow.pdf (дата обращения: 01.02.2023).

ПАМЯТИ РИЧАРДА КИТТЛЕРА (06.12.1930–14.06.2023)



14 июня 2023 г. ушёл из жизни выдающийся учёный, педагог, доктор наук, проф. Ричард Киттлер, внёсший значительный вклад в развитие знаний в области строительной физики и естественного освещения.

Ричард Киттлер родился 6 декабря 1930 года в Братиславе, Чехословакия. С 1954 г. Р. Киттлер работал в Институте строительства и архитектуры Словацкой академии наук в Братиславе (ICA SAS), руководил кафедрой строительной светотехники (1967–1999 гг.), а в 1990–1992 гг. – возглавлял Институт строительства и архитектуры Словацкой академии наук в Братиславе и был членом Президиума Словацкой академии наук.

Р. Киттлер с 1960-х гг. Был активным членом Международной комиссии по освещению и Международного Совета по исследованиям и инновациям в строительстве (1965–1988), что принесло ему заслуженный авторитет и известность в международном профессиональном сообществе.

Научная деятельность доктора Киттлера в 60-е годы была связана с выведением расчётных формул и созданием графических инструментов для проектирования и оценки естественного освещения зданий. В рамках деятельности Технического комитета МКО ТС4.2 Р. Киттлеру было поручено разработать новый стандарт моделирования освещённости в условиях

ясного неба. Предложения проф. Киттлера по расчёту относительной яркости ясного неба, представленные им Роттердаме в 1967 г., стали основой для дальнейших исследований дневного освещения в условиях различного светового климата и привели к принятию и публикации стандарта распределения яркости ясного неба МКО. Среди других достижений проф. Киттлера – построение полусферического искусственного неба в ICA SAS для имитации эталона ясного, пасмурного и однородного равно яркого – «ламбертовского» – неба.

Совместно с проф. Р. Перезом из Университета Олбани (США) проф. Киттлер вывел функции градации и индикатрисы рассеяния и предложил набор из пятнадцати типов неба. Результатом работы стал принятый действующий с 2004 г. международный стандарт ISO 15469:2004(E)/CIE S011/E:2003 *Spatial Distribution of Daylight-CIE Standard General Sky*.

Благодаря исследованиям проф. Киттлера основа оценки дневной освещённости, методы и критерии изменились с безразмерного отношения на более реалистичную оценку в единицах фотометрических величин.

Проф. Р. Киттлер вёл активную преподавательскую деятельность, читая лекции на факультетах архитектуры в Чехии и Словакии, был приглашённым лектором Сиднейского университета в Австралии (в 1982 и 1987 гг.), Университета Манитобы в Канаде (1982 г.), а также читал лекции в пятнадцати университетах по всему миру.

Наследие проф. Киттлера включает в себя целый ряд значимых книг о дневном свете и большое количество научных и профессиональных публикаций в национальных и международных научных изданиях.

От имени редакции журнала «Светотехника» и от себя лично выражаем глубокое соболезнование родным и близким, коллегам и друзьям в связи с уходом из жизни замечательного учёного и человека. Мы скорбим вместе со всеми, кто любил Ричарда Киттлера.

Юлиан Айзенберг
Доктор техн. наук, профессор,
академик АЭН и РАЕН
Редакция журнала «Светотехника», Москва

Станислав Дарула
Ph. D., профессор
Институт строительства и архитектуры
Словацкой Академии наук, Братислава

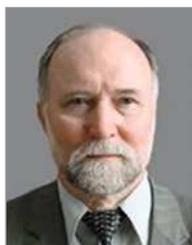


Карев Александр Владимирович, кандидат техн. наук. Окончил в 1983 г. МЭИ. Директор по науке ООО «МГК «Световые Технологии». Область научных интересов: светотехника



Ляпунов Станислав Анатольевич, инженер. Окончил в 1994 г. «Севмашвуз» – филиал Северного Арктического Федерального Университета в городе Северодвинске. Директор Товарно-

отраслевого департамента «Наружное освещение» ООО «МГК «Световые технологии»



Щетков Николай Иванович, доктор архитектуры, профессор. Окончил в 1965 г. МАРХИ. Заведующий кафедрой «Архитектурная физика» МАРХИ (ГА). Лауреат Государственной премии

РФ (за архитектурное освещение Москвы). Заслуженный деятель искусств РФ. Член-корр. РАЕН. Член редколлегии журналов «Светотехника» и «Light & Engineering»

Формирование новой идентичности объектов дорожного сервиса с помощью приёмов светодизайна. Предпроектный анализ

*Т.В. СМИРНОВА (МЕШКОВА)¹, Е.А. ЗАЕВА-БУРДОНСКАЯ²

НИУ «МЭИ»¹, РГХПУ им. С.Г. Строганова², Москва

E-mail: *tvmesh@mail.ru

Аннотация

В статье рассматриваются механизмы влияния приёмов и принципов светового дизайна на формирование идентичности зон дорожного сервиса в России. Приводится анализ художественно-эстетического потенциала светодизайна в формировании художественного образа объектов дорожной инфраструктуры на примере АЗС старого образца. С точки зрения функционального подхода разработана структура многофункциональной зоны дорожного сервиса, в рамках средового подхода выявлены особенности инфраструктуры многофункциональной зоны дорожного сервиса. Социокультурные факторы формирования светового образа АЗС позволили сформировать основные сценарии пользователей на территории АЗС как основу проектных моделей. Приводятся результаты анализа внедрённых и концептуальных проектных разработок многофункциональной зоны дорожного сервиса (отечественный и зарубежный опыт). Предпроектное исследование выполнено по методике, разработанной на кафедре «Средовой дизайн» РГХПУ им. С.Г. Строганова в рамках программы магистратуры «Дизайн среды».

Ключевые слова: дорожный сервис, световой дизайн, эстетика, многофункциональная зона, функциональное освещение, средовой подход

1. Введение

В современном мире световой дизайн набирает популярность и используется не только для украшения объекта или среды, но позволяет создавать более комфортную, безопасную, интересную, интригующую, зачаровывающую атмосферу пребывания в освещённой среде, даря зрителю новые эмоции. Светодизайн – новая дисциплина, сочетающая теоретические зна-

ния о свете и практические навыки его применения в пространстве по законам искусства [1].

Привычные приёмы решения световой среды городов дополняются благодаря новому направлению, в котором предметом проектных усилий становятся промышленные объекты топливно-энергетического комплекса. Автомобильные путешествия по России не приняты в связи со сложившимся мнением об ужасном сервисе и разбитых дорогах. Начиная с 2016 г. правительство взяло курс на улучшение дорожно-транспортного состояния страны, началась реконструкция старых и строительство новых автомагистралей и развязок, где система освещения становится полноценным и важнейшим элементом проектных решений.

Паспорт национального проекта «Безопасные качественные дороги» содержит глобальные цели по развитию транспортной инфраструктуры и улучшению качества городской среды в 1,5 раза. Поэтому световые решения должны наделяться синтезирующими функциями, так как создание комфортной для человека среды и формирование нового, эмоционально насыщенного и эстетически полноценного светового образа дорог позволит увеличить транспортный поток и тем самым улучшить экономику страны в целом.

До сих пор в проектной практике зон дорожного сервиса на территории РФ нет полноценных комплексных решений светодизайна в сочетании функционального и архитектурного освещения, которое было бы направлено на создание комфортной и безопасной световой среды. Поскольку федеральный проект «Безопасные качественные дороги» не содержит источников внебюджетного финансирования, а АЗС не подлежат финансированию из бюджета, то, конечно, инструментом реализации светотехнических идей и новаций для АЗС

в данном случае могут стать частные средства компаний, предоставляющих топливные услуги. А мотивацией к реализации для них будет увеличение притока посетителей и, как следствие, прибыли.

Цель исследования, представленного в статье, – реновация среды многофункциональной зоны транспортного узла средствами светодизайна в плане формирования нового имиджа российского дорожного сервиса. На первом этапе решались задачи, входящие в круг предпроектного исследования и определения функциональной структуры АЗС:

- провести предпроектный анализ проектируемой среды транспортного узла и аудит его существующего светотехнического решения;
- выявить потенциал приёмов архитектурного и рекламного освещения в существующих решениях АЗС на территории РФ;
- провести социокультурный анализ ситуации на дорогах во взаимосвязи с проблематикой светодизайна (статистика уровня ДТП на платных автомагистралях, наличие преступности, состояние уровня безопасности на удалённых от крупных городов участках дорог и др.);
- сделать обзор отечественных и зарубежных аналогов светодизайна в сфере транспортной инфраструктуры;
- сформулировать функциональную структуру среды АЗС с учётом инновационных технологий светодизайна.

2. Проблематика

В указах Президента РФ и национальном проекте «Безопасные и качественные автомобильные дороги» ставится амбициозная цель – снижение к 2024 г. смертности в ДТП в 3,5 раза по сравнению с показателями 2017 г. То есть до уровня, не превышающего 4 человек на 100 тыс. населения. В 2019 г. это соотношение составляло 11–12 смертей на 100 тыс. [2].

Освещение играет одну из ключевых ролей в аварийных ситуациях на дороге и придорожных территориях. Грамотно спроектированная дорожная ОУ снижает количество аварий на 20–30 %, в первую очередь серьёзных. При этом основное требование к светильникам наружного освещения – обеспечение нормируемого уровня яр-

кости дорожного покрытия при должной равномерности её распределения и при ограничении слепящего действия светильников [3].

При наличии грамотного освещения количество несчастных случаев со смертельным исходом и серьёзными травмами может снижаться на 30 % на городских дорогах с интенсивным движением, на 45 % на пригородных дорогах и на 50 % на автомагистралях [4]. По результатам исследований на дорогах разных категорий, которые ранее не освещались, МКО было выявлено, что после их освещения количество несчастных случаев со смертельным исходом снижается на 50 %, аварий с серьёзными повреждениями – на 67 % и простых аварий – на 84 % [5]. При этом также количество несчастных случаев с пешеходами сокращается с 57 до 45 %, количество несчастных случаев со смертельным исходом – с 65 до 48 %, количество несчастных случаев, приводящих к серьёзным травмам, – с 30 до 24 %, а общее количество всех несчастных случаев – с 53 до 14 % [6].

Тест, проведённый в Великобритании на дорогах с разным уровнем освещения, показал, что уровень аварийности на дорогах с яркостью дорожного покрытия в диапазоне от 1,2 до 2,0 кд/м² на 20–30 % ниже, чем на дорогах с яркостью от 0,3 до 1,2 кд/м² [7]. Данное исследование подтвердило, что повышенный уровень указанной яркости способствует снижению аварийности.

Освещение зон дорожного сервиса, таких как АЗС, также может влиять на снижение аварийности. Хорошо освещённые территории АЗС и подъезды к ним, которые водитель в тёмное время суток может идентифицировать с большого расстояния на трассе, могут нивелировать одну из причин ДТП – остановка и стоянка в запрещённых местах.

Кроме того, освещение дорог и придорожных территорий – также показатель экономики страны. Комфортное и безопасное функционирование дорог и дорожного сервиса в ночное время требует качественного освещения. Ведь с повышением уровня жизни населения потребление увеличивается, что влечёт за собой инвестиционную активность. Таким образом, повышение уровня и качества искусственного освещения ночью – индикатор и следствие экономического роста страны [8].

В настоящее время формирование световой среды объектов дорожного сервиса носит стихийный характер, отчасти близкий к случайному, так как в приоритете у топливных компаний – узнаваемость бренда и его реклама. Это приводит к отсутствию целостности восприятия дорог и зон придорожного сервиса в тёмное время суток, нерациональному использованию электроэнергии, а также к негативному воздействию освещения на зрительное восприятие и психоэмоциональное состояние человека [9–11].

Территория АЗС – остров безопасности при перемещении между городами. Наличие необходимых функций для обслуживания автомобиля и отдыха водителей и пассажиров делает АЗС мини-городом. А созданию функциональной структуры освещения городской среды, включающей зонирование и иерархию её объектов, способствует мастер-план. При этом в мастер-плане освещения городской среды обязательно должны присутствовать как функциональное, так и архитектурное освещение [12], которое и позволяет создавать впечатление или эмоции.

Отсутствие продуманного образа светового решения АЗС снижает эмоциональное восприятие среды, не побуждает к её посещению. Даже грамотно спроектированная осветительная установка, создающая нормируемые показатели освещения на территории АЗС, делает её всего лишь функцией во время автомобильного путешествия, причём не всегда заметной с трассы в тёмное время суток. При этом формирование нового светового образа АЗС как основной части дорожного сервиса позволит изменить эстетический облик дорог страны, привнести в путешествие более насыщенную эмоциональную составляющую и тем самым повысить популярность дорожных путешествий, увеличить транспортный поток, что позволит улучшить экономику страны в целом.

3. Методы

3.1. Анкетирование и определение потребности

В светотехнике обычно перед проектированием любого типа освещения на введённом в эксплуатацию объекте проводят обследование существующей ОУ с определением типов, количества, состояния ОП и способов их монтажа. Но для создания единой цветоцветовой среды объекта этого недостаточно. Важно его образно-эмоциональное восприятие. В нашем предпроектном исследовании для анализа социокультурного характера объекта было проведено анкетирование целевых групп потребителей услуг дорожного сервиса в рамках предпроектного исследования.

Исследование выполнялось по методике, разработанной на кафедре «Средовой дизайн» РГХПУ им. С.Г. Строганова в рамках программы магистратуры «Дизайн среды», и являлось частью магистерской диссертационной работы на тему «Светодизайн в формировании новой идентичности зон дорожного сервиса (на примере среды АЗС)» [13]. Анкетирование – удобный инструмент для формирования пользовательских (проектных) сценариев, на основании которых в дальнейшем будет создаваться проектная концепция светодизайна и собственно механизм проектирования.

По результатам анкетирования была составлена ментальная карта (рис. 1), посредством которой были сформированы следующие основные ассоциативные понятия: хай-тек; неон, яркие цвета; закусочная; топливо; комфорт; скорость; ландшафт.

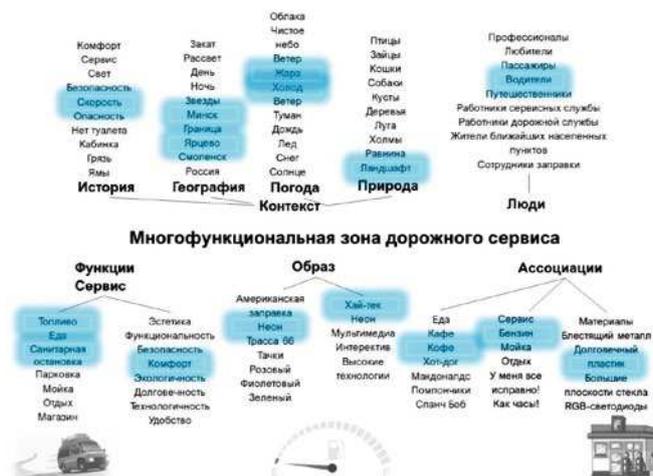
С опорой на эти понятия технологическими основаниями поиска концепции светового образа стали светодиодные технологии, RGB-проекторы и прожекторы, проектные сценарии и типологии освещения АЗС со световым зонированием и выделением доминант.

В результате анкетирования было выявлено, что во время автомобильного путешествия автомобилисту или пассажиру необходимо в среднем делать остановку каждые 3 ч. Большинство водителей и пассажиров во время остановки проводят на АЗС 30 мин, за которые они могут воспользоваться туалетом, выпить кофе, перекусить или размяться около автомобиля.

При этом более половины опрошенных ответило, что освещение на АЗС даёт ощущение безопасности [14]. А ярко освещённые объекты привлекают больше внимания и вызывают желание их посетить [15].

Однако в России не принято путешествовать на автомобиле из-за устоявшегося мнения о плохих доро-

Рис. 1. Ментальная карта



гах и некачественном сервисе услуг, что подтвердило 89 % опрошенных респондентов. Отношение целевых групп к дорожному сервису было выражено ассоциациями с фильмами в жанре «Апокалипсис» [13].

Только 39 % опрошенных ответили, что их доверие к дорожному сервису будет строится на узнавании бренда компании ТЭК. И всего лишь 16 % ответили утвердительно на вопрос «Как Вы думаете, безопасны ли дальние переезды по дорогам России?».

От 82 до 93 % респондентов однозначно ответили, что ярко освещённая АЗС с увеличенным набором услуг будет вызывать ощущение безопасности и комфорта во время передвижений по автомагистралям страны.

Таким образом, дорожное освещение и освещение зон придорожного сервиса – это освещение общественных зон, позволяющее человеку чувствовать себя более комфортно во время перемещения на автомобиле между городами. При этом основная функция освещения – это обеспечение безопасности, то есть возможность быстро обнаруживать и идентифицировать объекты на трассе и в её окружении.

Выводом из результатов анкетирования стало формирование потребительских или проектных сценариев для целевых групп. Всего было выявлено 6 проектных сценариев [13]. В качестве примера приведём сценарий для целевой группы «семья или мама с детьми» – посещение АЗС связано с потребностью санитарной остановки и отдыха детей, посещения мини-маркета и кафе.

Приёмы и принципы светового дизайна позволяют создавать интуитивно понятную навигацию по территории АЗС для целевых групп.

Например, световое зонирование и выделение объектов с помощью разных уравнений яркости позволяют воплощать световую иерархию. Тематические световые инсталляции декоративного освещения помогают создавать и усиливать эмоциональный образ. Именно заложенный в художественно осмысленную световую среду эмоциональный образ любого объекта привлекает внимание и вызывает к нему интерес. Таким образом, посещение АЗС становится частью увлекательного автомобильного приключения, например, для детей в случае целевой группы «семья или мама с детьми».

Целостное решение зон дорожного сервиса требует гармоничного сочетания приёмов функционального и декоративного освещения. Для безопасности, комфортного восприятия и идентификации объектов должны выполняться строго регламентированные параметры освещения. Эмоционально-образное световое решение не должно создавать дискомфорт. Так, необходимо избегать слишком больших контрастов при выстраивании световой иерархии объектов, которые напрямую могут влиять на безопасность перемещения и пешеходов, и водителей. При этом уровень освещения должен быть высоким, чтобы водитель мог издали замечать АЗС и иметь достаточно времени для принятия решения о посещении.

Проектирование дорожного освещения и освещения зон придорожного сервиса – одна из самых сложных задач, учитывая количество зависимых и независимых переменных, а также динамику их изменения и эстетическую составляющую. Сейчас весь мир пребывает в состоянии энергетического кризиса, а освещение дорог – значительный потребитель электроэнергии. Следовательно, при проектировании любой наружной ОУ для освещения дорог и дорожного сервиса требуется некоторая оптимизация для создания комфортной, безопасной, удобной и эстетически сбалансированной световой среды.

3.2. Функциональная структура зоны дорожного сервиса

Из основных функций, помимо заправки топливом, большинство респондентов выделяют возможность выпить кофе и воспользоваться туалетом (рис. 2). На современных АЗС эти услуги можно получить в мини-маркете или в кафе при заправке. Поэтому также одним из немаловажных факторов разработки системы освещения станет необходимость создания комфортной, безопасной и интуитивно понятной навигации для пешеходов и водителей, идентификации этих объектов. При создании светового образа объекта основой становится образ объекта при естественном освещении, его архитектурные особенности, окружающая среда, предназначение и т.п. [1].

С помощью метода персона-моделирования были выявлены основные и второстепенные функции АЗС. Основными стали функции санитарной остановки, приёма пищи в кафе или ресторане и мойки автомобиля, а второстепенными – покупки в мини-маркете, покупка кофе на вынос, отдых в мотеле, проверка автомобиля в сервисе, отдых с детьми на детской площадке и в комнате отдыха. Часто на современных АЗС санитарные услуги, покупка товаров и возможность перекусить сосредоточены в одном здании, а услуга мойки сопровождается подкачкой шин или выполняется в пристройке к сервису. Поэтому на территории АЗС важно выделить три основные функции, например, с помощью приёма светового зонирования:

- топливозаправочные колонки как функция заправки топливом;
- мини-маркет и кафе как функции покупки товаров и быстрого питания;
- сервис и мойка как функция обслуживания автомобиля.

Наличие и почти равнозначная значимость для целевых групп выше-названных функций свидетельствует

о среде АЗС как о многофункциональном объекте.

Доминантой на территории АЗС должен стать именно навес с топливозаправочными колонками как элемент её основной функции. Несмотря на то, что нормативных требований к цветоцветовому кодированию объектов АЗС нет, для выделения этой функции некоторые компании-производители светотехнического оборудования предлагают использовать более холодный тон белого света (5000 К) [16]. Именно такие световые решения часто встречаются на крупных АЗС на территории РФ. Решение также обусловлено политикой энергоэффективности: световая среда с более холодными оттенками освещения воспринимается более освещённой, чем тёплыми, при одинаковой яркости.

Для однозначной идентификации объекта АЗС с трассы должны выделяться зоны въезда и выезда. В зоне въезда всегда располагается информационная стена, выполненная в корпоративных цветах компании ТЭК, предоставляющей топливо. Сама стена – это самосветящийся элемент, но часто её яркости недостаточно для выделения АЗС на фоне тёмного ландшафта и ярко освещённой трассы. Вот почему так важно выделять средствами светового проектирования зону въезда (иначе водитель может просто проехать мимо).

Зона периметра важна для идентификации АЗС с трассы. Грамотное проектное решение зоны позволит обозначить границы безопасного освещённого пространства и создать единый законченный световой образ объекта транспортной инфраструктуры, выделяя его на фоне трассы и эстетически оправданно формируя акценты в планировочном решении.

3.3. Анализ внедрённых и концептуальных проектных разработок многофункциональной зоны дорожного сервиса: отечественный и зарубежный опыт

В качестве типовых были выбраны АЗС компании «Нефтьмагистраль» как наиболее популярные в Москве и Московской области с полным набором перечисленных выше функций.

На основе анализа результатов обследования существующих АЗС, про-

ведённого в 2020 г., с точки зрения функционального подхода к освещению были выделены следующие зоны АЗС:

- зоны подъезда, выезда, парковки и стела;
- навесная группа (заправочная зона);
- магазин и кафетерий;
- зона мойки автомобилей.

На современных АЗС идентичность соответствует бренду компании и выражается в элементах фирменного стиля компании: цвета материалов отделки, цветографическое решение вывесок и т.д. Вывески не всегда являются самосветящимися элементами, поэтому часто в тёмное время суток только по дизайну въездной стелы можно определить принадлежность АЗС бренду ТЭК.

Зона въезда – визитная карточка АЗС, первое, что видит водитель с трассы. Следствием становится необходимость применения средств светового дизайна для привлечения внимания водителя и создания первого впечатления от объекта. Стела – первый элемент зоны въезда. Она должна напрямую ассоциироваться с брендом компании. Освещение подъездной зоны к АЗС и выезда с территории должно обеспечивать безопасное перемещение транспортных средств и удобную навигацию.

В зоне въезда рассматриваемой АЗС водителя встречает информационная стена, а дополнительные консольные светильники со светодиодами нейтрально-белого света создают большой уровень освещения сравнительно с трассой. АЗС выделяется на фоне окружающей среды и видна с трассы, но при въезде на неё всё равно возникает дискомфорт от цветоцветового контраста из-за перемещения на скорости из тепло-белого в нейтрально-белое освещённое пространство (рис. 3).

Рис. 3. Освещение въездной зоны АЗС «Нефтьмагистраль»



Рис. 2. Облако слов, составленное по результатам анкетирования

С целью максимального сокращения времени реакции водителей на изменение дорожной обстановки рекомендуется придерживаться подходов, применяемых при освещении дорожных развязок: освещение должно создавать необходимый зрительный контраст, но при этом не вызывать дискомфорта. Рекомендованный уровень средней освещённости: 20–30 лк [16].

Функциональные зоны территории АЗС после въезда выделены разными приёмами освещения по уровню яркости, цвету и дизайну, что позволяет оптимально ориентироваться в пространстве. Белыми яркими «пятнами» выделены зоны топливозаправочных колонок (рис. 4) и мойки самообслуживания (рис. 5), менее ярким «жёлтым пятном» воспринимается зона с мини-маркетом и кафе (рис. 6). Однако ночной облик АЗС создаёт ощущение разрозненности и «пятнистости», что не способствует длительному пребыванию, вызывает желание быстрее заправить автомобиль и ехать дальше.

Различие в цветоцветовом оформлении навеса с топливозаправочными колонками с дизельным топливом и навеса для заправки бензином (рис. 4) не столько делит функцию «заправить автомобиль» по типу топлива, сколько вносит дополнительную путаницу в иерархию объектов на территории. Можно предположить,

Рис. 4. Освещение топливозаправочных колонок



Рис. 5. Освещение мойки самообслуживания



Рис. 6. Внутреннее освещение ресторана и мини-маркета АЗС «Нефтьмагистраль»



что объект с самым холодным освещением ($T_{\text{кд}}$ 5000–5500 К) – главная доминанта АЗС, с нейтрально-белым (4000 К) – второстепенные объекты, а здание кафе и мини-маркета – это объекты третьей значимости. При такой иерархии зоны с топливозаправочными колонками (бензин) и зона мойки самообслуживания визуально воспринимаются равнозначными, что неправильно.

Стоит отметить, что зона топливозаправочных колонок освещена с помощью специальных светильников с СД с повышенной защитой от влаги и пыли, которые полностью соответствуют требованиям к светильникам для освещения подобных объектов: серии *M3 90W 220V IP66*, с СД компании *NICHIA*.

Исходя из результатов анкетирования и выявленных на их основе проектных сценариев, световая иерархия объектов должна выстраиваться в следующем порядке: № 1 – навес с топливозаправочными колонками (с бензином как наиболее востребованным видом топлива); № 2 – мини-маркет как

функция оплаты топлива; № 3 – здание ресторана или кафе в здании мини-маркета; № 4 – сервис или мойка. Такая иерархия может выполняться за счёт цветоцветового кодирования, но более правильным и интуитивно понятным решением будет приём контраста в архитектурном освещении. Направленное акцентирующее освещение позволяет моделировать разные по яркости объекты в строгой выстроенной иерархии. Таким образом, объект с самым высоким уровнем яркости – это топливозаправочные колонки.

Уровни интерьерного освещения минимаркета и кафе могут быть выше, чем под навесом, что также регламентируется нормами [3]. В этом случае необходимо обращать внимание на то, как воспринимается освещение через световые витринные проёмы остекления. Часто уровень интерьерного освещения здания подобной архитектуры (рис. 6), достаточный для выполнения визуальных задач сотрудников и посетителей внутри, снаружи воспринимается как слабо освещённый

объект. Причина кроется в психологии – при равных уровнях освещения, объект, освещённый тёпло-белым светом, воспринимается как менее яркий по сравнению с холодным белым освещением. Под визуальными задачами сотрудников здесь понимается работа за кассовым аппаратом, на кухне и уборка во всех зонах помещения, а для посетителя – ориентация в пространстве, идентификация товаров для покупки и средств для оплаты товаров и услуг.

На АЗС «Нефтьмагистраль» во внутреннем освещении зоны магазина и кафе наблюдается чёткое разделение двух функций в одном помещении без перегородок. Тёпло-белое освещение зоны кафе привлекает и побуждает задержаться и выпить чашечку кофе или чая, отдохнуть от трассы (рис. 6). Зона кассы выделена дополнительно более высоким уровнем освещения, что позволяет посетителю сразу определить зону оплаты. Профильная система общего освещения *PROFILE30L LED*, подвесные светильники *Deko Light Zirkonia with acrylic cover* и большие световые проёмы создают такой уровень освещения в торговом зале и зоне кафе в ночное время, который воспринимается снаружи как светящийся фасад (рис. 6). Внутреннее и наружное освещение этой зоны позволяет привлекать посетителей, но совсем не вписывает объект в среду АЗС, чем нарушает визуальную целостность световой среды.

Анализ измеренных значений освещённости на территории АЗС был проведён на соответствие требованиям СП 52.13330 [3] (таблица). Измерения проводились в ноябре 2020 г. с помощью многофункционального измерителя ТКА-ПКМ (09), лицензия ОС.С.31.001.А № 38006/1 от 26.09.2019 г., действующая до 23.09.2024 г.

Из таблицы видно, что почти все нормативные значения освещённости выполняются. Однако функциональное освещение ограничено выполнением необходимых полезных функций, не несёт в себе эстетической составляющей, не создаёт интуитивно понятную, а значит, безопасную и комфортную навигацию по территории АЗС.

Отсутствие общих световых элементов или приёмов освещения, световой навигации, например, в виде освещённой пешеходной дорожки

Освещение автозаправочных станций и стоянок автомобилей

Освещаемые объекты	$E_{\text{ср. изм}}$ лк, не менее	$E_{\text{ср. норм}}$ лк, не менее
Под навесом топливозаправочных колонок	178	75
Под навесом мойки самообслуживания	150	200
Подъездные пути	30	15
Проезжая часть остальной территории АЗС	7	10
Открытые стоянки автомобилей	10	6

между навесом и зданием магазина, а также отсутствие гармоничных и продуманных светоцветового кодирования и светового зонирования, мешает целостному восприятию среды АЗС.

Из-за отсутствия освещения периметра и дополнительного освещения территории возникают сильные (до 1:25) световые контрасты объектов (таблица), что делает невозможным безопасное перемещение пешеходов без специальной одежды со светоотражающими элементами. Такие уровни контраста могут использоваться в сценическом освещении, но неприемлемы для объекта повышенной опасности, где важна мгновенная реакция всех участников движения.

Законодателями уровня качества и комфорта дорожного сервиса можно назвать Европу и США. Рассмотрим наиболее удачные интерпретации решения единой задачи – создание комфортной и функционально-обоснованной среды для транзитных автопутешественников в Германии, Испании и США.

Освещение на одной из АЗС в Германии выполнено просто и лаконично с привычным немецким качеством, установка функционального общего освещения также используется в качестве архитектурного. Цвет освещения не контрастирует с дорогой, при этом выделяя АЗС на фоне окружающей среды за счёт более высокого уровня освещения (рис. 7).

Из рис. 7 видно, что как таковое световое зонирование не используется, поскольку основные зоны – заправки топливом и его оплаты – расположены в одном сооружении и сами по себе являются освещённой доминантой. Периметрального освещения нет. Вероятно, сказывается экономия электроэнергии.

В другом примере освещения АЗС, в Испании, архитектурное освещение подчёркивает бренд компании, представляющей топливо (рис. 8).

История существующего освещения на АЗС США началась с 1950 г., с появления первой архитектурно-художественной подсветки в виде неоновой вывески. Уже в 1960 г. благодаря эволюции ИС и ОП к вывеске добавилось функциональное освещение, которое выделяло топливозаправочные колонки. К настоящему времени вывески модернизировались в самосветящуюся информационную стелу, а тра-

Autobahndirektion Südbayern, Мюнхен, Германия, зона магазина и навеса



Рис. 7. Освещение АЗС в Германии

CEPSA Service, Авила, Испания, зона навеса и магазина



Рис. 8. Освещение АЗС в Испании

диционные ИС для функционального освещения были заменены на СД ИС.

Световой акцент на территории АЗС в США ставится на здании закусочной (рис. 9, а), выделяя его за счёт архитектурного освещения. При этом основная функция – заправка топливом – выделена только за счёт функционального освещения встроенных в навес светильников. Здесь отсутствует световое зонирование и идентификация с брендом ТЭК через освещение.

4. Обсуждение

По результатам предпроектного анализа были сформулированы особенности инфраструктуры АЗС. По итогам анкетирования, проведённого среди целевых групп, было выявлено, что основные функции АЗС, помимо заправки топливом, – наличие санитарных услуг, мини-маркета, еды на вынос и мойки автомобиля. Было

отмечено, что ярко освещённая АЗС привлекает внимание, вызывает желание заехать на неё, способствует ощущению безопасности и комфорта.

Исследование выделило основные зоны светового проектирования: навес с топливозаправочными колонками, магазин и кафе, мойка и сервис, въезд и выезд, периметр АЗС. При этом доминантой служит навес над заправочным сервисом, а самые популярные услуги – мини-маркета и кафе – должны выделяться отличными от навеса уровнями освещения, световой иерархией объектов. При этом все объекты на территории АЗС должны объединяться общей идеей или концепцией для формирования единого образа. Для этого могут использоваться на выбор: одинаковые приёмы освещения; светоцветовое зонирование; применение дополнительных декоративных световых элементов в едином стиле; либо всё перечисленное вместе.



Рис. 9. Освещение АЗС в США:

а – архитектурное освещение здания закусочной; б – освещение навеса с топливозаправочными колонками

Нормируемые уровни освещения соблюдаются на всех объектах АЗС кроме остальной проезжей территории АЗС. Существующие уровни контраста можно отнести к приёму светового зонирования всех функций АЗС. Однако они слишком велики для объектов, где необходимо повышенное внимание всех участников движения.

Ведущие направления светового дизайна в формировании проектной стратегии объекта – использование потенциала СД технологий, динамичное освещение, световое зонирование с выделением доминант и иерархии функций АЗС, световая навигация для безопасного, комфортного и интуитивно понятного перемещения водителей и пешеходов.

5. Заключение

Освещение зон дорожного сервиса, таких как АЗС, может влиять на снижение аварийности. Однако отсутствие образа и эмоционального восприятия АЗС не побуждает к её посещению.

Существующие световые решения на примере разбора двух АЗС самых популярных компаний в Москве и Московской области обладают рядом недостатков:

- при въезде на территорию АЗС возникает зрительный дискомфорт от светового контраста освещения с трассой из-за применения ИС с разной $T_{кц}$;
- соблюдение нормативных уровней освещения в зоне топливозаправочных колонок гарантирует чёткую идентификацию основной функции АЗС для посетителей, но не гарантирует безопасного перемещения по территории;
- отсутствие единого образного начала и какой-либо структуры световой концепции не позволяет воспринимать целостно территорию АЗС, увеличи-

вает время идентификации существующих функций и выстраивание навигации до них;

- первое впечатление от рекламного освещения, выполняющего свою функцию идентификации принадлежности к бренду ТЭК, далее дезориентирует посетителей, поскольку расположение функций и навигация на АЗС других компаний отличаются.

Поэтому в зонах дорожного сервиса, помимо функционального и рекламного освещения, должны присутствовать и гармонично сочетаться приёмы архитектурного освещения. Направленное (акцентирующее) освещение позволит подчеркнуть топливозаправочные колонки или здание мини-маркета как «сердце» мини-города АЗС. Типовое световое зонирование и световая иерархия объектов АЗС позволит сокращать время на визуальный поиск необходимых функций и выстраивания навигации до них, что повышает количество пользователей в единицу времени и способствует подъёму экономики всей территории АЗС. Должны соблюдаться строго регламентированные параметры освещения, отвечающие за безопасность, комфортное восприятие и идентификацию объектов. Образно-эмоциональный световой образ, привлекающий внимание посетителей АЗС, не должен создавать дискомфорт.

Дорожное освещение и освещение зон придорожного сервиса – это освещение общественных зон, позволяющее человеку чувствовать себя более комфортно во время перемещения на автомобиле между населёнными пунктами. Приёмы и принципы светового дизайна могут создавать интуитивно понятную навигацию по территории АЗС для разных целевых групп за счёт иерархии освещённых зон. Однако следует учитывать приемлемые для всех участников движения по территории АЗС уровни контраста. Они долж-

ны визуально выстраивать иерархию функций АЗС при их комфортном наблюдении и идентификации с любой точки обзора на территории, не создавать «драматический эффект» сценарного освещения и соответствовать стандартам архитектурного освещения 1:3 [3].

Повышение уровня освещения остальной проезжей территории АЗС необходимо для комфортного и безопасного перемещения всех участников движения, а также для снижения «драматического эффекта» на обследуемой АЗС.

Согласно проведённому анкетированию более 80 % опрошенных ответили, что на хорошо освещённой АЗС повышается ощущение комфорта и безопасности. Таким образом, повышение качества освещения на АЗС может способствовать популяризации путешествий на автомобиле в РФ.

Особого внимания как объект светового проектирования заслуживает зона въезда – визитная карточка АЗС, зона, формирующая первое впечатление от объекта.

Грамотное проектное решение зоны периметра позволяет обозначать границы безопасного освещённого пространства и создавать единый законченный световой образ объекта транспортной инфраструктуры, выделяя его на фоне трассы и эстетически оправданно формируя акценты в планировочном решении.

Отсутствие концептуального образа среды и, как следствие, общих световых элементов или приёмов освещения, световой навигации, приёмов цветоцветового кодирования и светового зонирования – всё это мешает целостному и заинтересованному восприятию большинства существующих АЗС в РФ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Щенетков Н.И., Будак В.П. Итоги дискуссии по проблеме светового дизайна. Резюме редакции // Светотехника. – 2018. – № 6. – С. 74–76.
2. Паспорт национального проекта «Безопасные качественные дороги», от 12.11.2021.
3. СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение».
4. Kejanli D.T., Guneli P.S. The Process of Changing Road Lighting in Urbanization from Antiquity to the Present Day / III. Proceedings of the National Lighting Symposium and Exhibition, November 23–25, 2005. – P. 56–61.
5. URL: <http://www.geocities.com/targigrades1/cie.doc> (дата обращения: 01.10.2021).
6. Onaygil P. Urban Lighting, Light Pollution and Dark Sky Symposium, November 16, 2001, Antalya.

7. Onaygil P., Guler O., Colak N. Istanbul Urban Road Lighting / 5. National Lighting Congress, October 7–8, 2004, Istanbul. – P. 65–72.

8. Henderson J.V., Storeygard A., Weil D.N. Measuring Economic Growth from Outer Space // American Economic Review. – 2012. – Vol. 102, No. 2. – P. 994–1028.

9. Быстрянцева Н.В. Эстетика световой среды / Наука, образование и экспериментальное проектирование: Тезисы докладов научно-практической конференции, 07–11.04.2014. – М.: МАР-ХИ, 2014. – С. 331–332.

10. Быстрянцева Н.В., Ван дер Хейде Р. Формула света: исследование световой среды района Волхонки / В: Территория культуры. Кварталы Волхонки: Монография. – М.: Проект Белый Город, 2014. – 115 с.

11. Щетков Н.И. Световой дизайн города: учебное пособие // М.: Архитектура С. – 2006. – 320 с.

12. Cengiz M.S. Lighting Master Plan Application in Living Areas // Light & Engineering. – 2022. – Vol. 30, No. 6. – P. 124–132.

13. Мешкова Т.В. Светодизайн в формировании новой идентичности зон дорожного сервиса (на примере среды АЗС) / Магистерская диссертация (кафедра «Средовой дизайн» РГХПУ им. С.Г. Строганова), 2022 г.

14. Van Rijswijk L., Haans A. Illuminating for Safety: Investigating the Role of Lighting Appraisals on the Perception of Safety in the Urban Environment // Environment and Behavior. – 2018. – Vol. 50, No. 8. – P. 889–912.

15. Fotios S., Liachenko Monteiro A., Uttley J. Evaluation of pedestrian reassurance gained by higher illuminances in residential streets using the day–dark approach // Light. Res. Technol. – 2019. – Vol. 51. – P. 557–575.

16. Комплексные решения по освещению АЗС (буклет). МГК «Световые Технологии», 2015 г. URL: <http://www.ltcompany.com> (дата обращения: 01.10.2021).

Hyundai Mobis разрабатывает новаторские фары, предотвращающие ночные аварии

Разработанная Hyundai Mobis (HM) система освещения высокой чёткости (HD отображает информацию о движении на дорожном покрытии в режиме реального времени для повышения удобства и безопасности водителей. Она интегрирована с GPS-навигацией, чтобы информировать водителя о зоне дорожных работ впереди, и использует датчик камеры для отображения виртуального пешеходного перехода на дороге.

Система HD-освещения, разработанная HM, визуализирует дорожные знаки в виде текста или фигур и проецирует их на дорожное покрытие. Например, показывает водителям, что впереди идут дорожные работы, используя соответствующие символы, одновременно проецируя знак пешеходного перехода на дорожное покрытие с помощью фар, помогающих пешеходам безопасно переходить дорогу.

Несмотря на наличие удобных технологий безопасности, которые информируют пользователей об информации о движении, таких как GPS-навигация и дисплей HUD, система HD-освещения рассматривается как технология, учитывающая интересы не только водителей, но и возможности общения с пешеходами.

Система HD-освещения состоит из микро-СД HD и цифрового микрозеркального устройства (DMD), набора крошечных зеркал, которые вместе выполняют роль отражателя. Ключевые применяемые технологии являются технология, которая тщательно контролирует DMD, и программная логика, обеспечивающая эту работу. Информация, получаемая с переднего датчика (камеры) и GPS-навигации, также может быть интегрирована для предоставления водителю необходимой информации.

Система оснащена примерно 25000 микро-СД шириной по 0,04 мм, что в 250 раз больше, чем в фарах с СД (80–120 шт.), которые в настоящее время производятся серийно. Это позволяет фаре более чувствительно управлять освещением, поскольку в ней гораздо больше СД. Это помогает ей намного точнее определять местоположение объектов и пешеходов.

DMD – это сверхточный контроллер, который отражает свет с помощью микроскопических зеркал размером всего 0,01 мм. Свет плотно располо-



женных СД, отражается с помощью 1,3 миллиона цифровых зеркал, проецируя на поверхность дороги желаемые формы и символы. СД можно управлять индивидуально, чтобы проецировать чёткую информацию на дорогу независимо от дорожных условий.

Одной из важных особенностей системы HD-освещения HM является то, что она отражает данные, поступающие с датчика камеры и GPS-навигации в режиме реального времени. Например, когда автомобиль приближается к зоне дорожных работ, система HD-освещения отображает символ «В стадии дорожных работ» размером 1,5 м на расстоянии 15 м перед водителем, а также может информировать водителя об ограничении скорости. Технология предназначена для улучшения видимости и предотвращения аварий в ночное время. Таким образом, водитель, глядя вперёд, может легко определять, когда автомобиль приближается к «лежащему полицейскому» и где находятся въезды и съезды с шоссе.

Система HD-освещения также может активно предотвращать аварии с участием пешеходов. Датчик камеры распознаёт пешеходов во время движения по удалённому переулку и показывает виртуальный пешеходный переход на дороге, когда автомобиль останавливается. Это воплощает в жизнь т.н. технологию «коммуникационного освещения», которая взаимодействует с пешеходами не только с помощью аварийных огней или звукового сигнала, но и с помощью передних фар.

Ожидается, что данная инновация значительно уменьшит количество ночных автомобильных аварий как для водителей, так и для пешеходов.

ledinside.com
08.06.2023



Смирнова (Мешкова) Татьяна Валерьевна, кандидат техн. наук и маэстр дизайна. Окончила в 2010 г. МЭИ (ТУ). Основатель курса «Основы создания световых концепций» на кафедре «Светотехника» НИУ

«МЭИ». Старший научный редактор журнала «Light & Engineering». Область научных интересов: качество освещения, световой дизайн, визуальные эксперименты и дискомфорт



Заева-Бурдонская Елена Анатольевна, кандидат искусствоведения, профессор. Окончила в 1987 г. Московское высшее художественно-промышленное училище (б. Строгановское). И.о. зав. кафедрой «Средовой

дизайн» МГХПА им. С.Г. Строганова. Член Союза дизайнеров и Союза художников России. Лауреат премии Москвы

Компьютерная графика в световом дизайне: итоги курсовых работ студентов-светотехников

В.П. БУДАК, *Д.Н. МАКАРОВ

НИУ «МЭИ», Москва

E-mail: *makarovd@list.ru

Аннотация

Компьютерные программы 3D графики давно вышли за рамки интерактивных инструментов моделирования и проектирования. Программы позволяют в реальном времени проводить моделирование освещения в 3D сценах, что даёт уникальную возможность использовать их в образовании. В настоящее время авторами делается попытка использовать программы компьютерной графики в обучении световому дизайну студентов инженерных и гуманитарных направлений. Разработанная ими методика прошла апробацию в ведущих вузах Москвы. На основании методики удалось сформировать полноценный курс по обучению световому дизайну, который авторы провели для студентов-светотехников 3 курса НИУ «МЭИ». В настоящей статье даётся краткое содержание курса, описание методики и представлены наиболее яркие работы студентов. На примерах 3D моделирования освещения авторы демонстрируют, как и вследствие чего происходят изменения инженерного мышления в сторону творчества. Студенты отходят от классической светотехники и начинают делать первые шаги в направлении светового дизайна. Делаются выводы о целесообразности внедрения и дальнейшего совершенствования методики при обучении световому дизайну как в инженерных, так и гуманитарных вузах.

Ключевые слова: световой дизайн, методика, «DIALux», светотехника, 3D моделирование, моделирование освещения, образование

Введение

Настоящая статья подводит итог нашей исследовательской работы в области разработки единой методики обучения световому дизайну в ин-

женерном и художественном образовании [1]. Напомним, что основа предлагаемой нами методики обучения – отказ от традиционного деления преподавания на лекции, семинары и лабораторные работы в пользу мастер-классов, основанных на современных программах компьютерной графики. Особенностью нашего курса служит 100 % использование разных программ компьютерной графики в обучающем процессе, в том числе и наиболее востребованных в профессиональной среде – «DIALux», «DIALux evo» [2] и «Light-in-Night» [3], а также редактор 3D графики «3D Studio Max» [4] и редактор 2D графики «Adobe Photoshop» [5].

На первых занятиях курса мы знакомим слушателей с основами работы используемых компьютерных программ и проводим интерактивное изучение теоретического материала, основанного на демонстрации световых величин и законов на 3D моделях. Затем студенты получают индивидуальное задание по использованию изученного материала на конкретных осветительных установках (ОУ). Применение компьютерных 3D моделей в проектировании интерьерного и наружного освещения сегодня стало международным стандартом светодизайна. Получаемые в результате моделирования изображения объектов сцены в сочетании с многочисленными средствами анализа распределения света дают возможность получать как количественные показатели освещения (освещённость, яркость), так и качественные: уровень дискомфорта, неравномерность, световой ритм, контраст и др. По сути, правильное использование программ компьютерной графики может занять значительное место на курсах обучения студентов в архитектурных и художественных вузах, в которых основную роль играет воспитание в студентах «чувст-

ва света» [6] и умения использования света как художественного инструмента, тесно и безразрывно связанного со зрительным и эмоциональным восприятием.

Научную новизну публикуемой работы можно сформулировать как проведение изысканий, основанных на многолетнем преподавательском опыте российских и иностранных специалистов по компьютерной графике и световому дизайну, апробации и внедрении результатов данной работы в область обучения светодизайну в технических и гуманитарных образовательных учреждениях.

Описание методики курса

Более 5 лет наша команда разрабатывала и постоянно совершенствовала методику обучения световому дизайну инженеров-светотехников, дизайнеров и архитекторов. В результате, на основе разработанной методики, нам удалось собрать полноценный курс, который уже прошёл апробацию на инженерах кафедры «Светотехника» НИУ «МЭИ», дизайнерах МГХПА им. С.Г. Строганова и кафедры «Автоматизированное проектирование и дизайн» НИТУ «МИСиС».

В настоящей статье нам бы хотелось поделиться результатами работ студентов 3-го года обучения кафедры «Светотехника» НИУ «МЭИ», из групп ЭР-04–19 и ЭР-06–19, успешно прошедших обучение по нашей методике. В обучающем процессе, который длился 9 недель, с середины октября по конец декабря 2021 г., из расчёта 1,5 ч в неделю, участвовало 49 студентов. Занятия проходили в дистанционном режиме, что, конечно, несколько снижало усвояемость материала слушателями. Но, несмотря на технические и организационные сложности проведения занятий, нам удалось получить интересные результаты и сделать выводы по улучшению нашей методики.

Программа курса состоит из тематических квазинеависимых модулей, в каждом из которых слушатели выполняют определённые задачи моделирования и проектирования ОУ. При этом каждый модуль рассчитан на 1,5 ч. Подразумевается, что в случае, если студент по каким-то причинам не успел выполнить задание или хочет его усовершенствовать, то он может доделать работу дома и про-

демонстрировать результат на последующих занятиях. Таким образом, по окончании курса каждый студент выполняет 9 уникальных независимых проектов освещения: 1) проект по изучению световых и цветовых величин и их взаимосвязей; 2) освещение своей комнаты; 3) освещение классной комнаты; 4) освещение небольшого музейного пространства; 5) освещение офисного помещения; 6) освещение магазина одежды; 7) освещение автосалона; 8) освещение участка дороги; 9) проект архитектурного освещения здания.

Структура каждого занятия состоит из 3-х этапов по 30 мин каждый. Первый этап можно сформулировать как погружение слушателей в атмосферу объекта проектирования освещения. Преподаватель рассказывает, показывает и обозначает проблемы, цели и задачи моделирования световой среды на конкретном объекте. В основном демонстрируется графический материал, таблицы, блок-схемы, дополнительный материал, который помогает студентам в выполнении задания, даются ограничения согласно нормативным и правовым документам. Второй этап состоит в знакомстве слушателей с заранее подготовленной 3D моделью того или иного объекта исследования. Именно на модели наглядно ставится задача по проектированию ОУ, определяются основные исходные данные, критерии оценки, расчётные и контрольные точки. Заключительный, третий этап отводится для проверки выполненных ранее модулей. Для этого каждый слушатель заранее готовит краткую презентацию своего выполненного проекта или демонстрирует 3D модель. Ввиду ограниченности по времени и разницы навыков студентов в среднем за одно занятие удаётся проводить демонстрацию 3–4 проектов. Заключительная часть занятия, по нашему мнению, – наиболее важная, так как проходит в режиме диалога, между преподавателем и студентами, это повышает компетенции слушателей в области публичных выступлений и даёт возможность коллегам видеть приёмы освещения и подходы к решению задач других.

В результате за 9 недель обучения каждый слушатель выполняет 9 собственных проектов и может наблюдать до 36 аналогичных, по сути, но

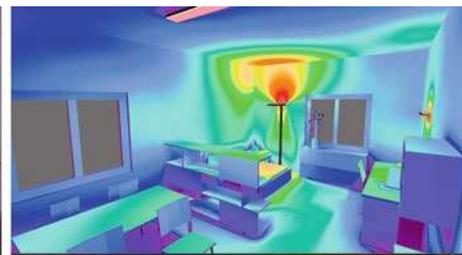


Рис. 1. Визуализация (слева) и распределение освещённости в фиктивных цветах (справа) в световом проекте «Жилая комната»



Рис. 2. Визуализация (слева) и распределение освещённости в фиктивных цветах (справа) в световом проекте «Музейное освещение»

разных по содержанию проектов. Как отмечают многие авторы [7–9], одна из важнейших составляющих в обучении дизайну и световому дизайну – это «насмотренность», т.е. накопленные у студентов визуальные образы разных вариантов световых решений.

Ввиду того, что в течение курса преподавателям предстоит оценка более 400 проектов освещения, стандартная система оценки знаний по 5-балльной шкале неэффективна, и нам пришлось разработать собственную балльную оценочную систему. Суть её заключается в том, что по каждому из модулей существует ряд задач, расположенных по мере увеличения их сложности, с обозначением баллов от 5 до 10. При этом студенты могут сами контролировать количество выполненных заданий от модуля к модулю. Могут выбирать только решение сложных, более дорогих по баллам, заданий или же выполнять большее количество более лёгких заданий с меньшими баллами. При этом дополнительно в баллах оцениваются демонстрация проектов на занятиях в размере 10 за один проект и выполнение специальных заданий, не входящих в основной список, от 5 до 15 баллов. Для объективной оценки работы студентов в течение всего курса и увязки со стандартной 5-балльной шкалой мы используем следующую градацию: 5 – от 135 баллов, 4 – от 100 баллов, 3 – от 60 баллов.

Результаты

Следует заметить, что наш курс проходили студенты 3 курса НИУ «МЭИ», которые только пришли на кафедру «Светотехника» и находились в самом начале изучения специальности. Их знания в области света и освещения не сильно превышали уровень школьной программы. В связи с этим нам пришлось вводить дополнительное занятие по основам светотехники, благодаря которому они получили базовые знания о природе, распространении и влиянии света на объекты окружающего пространства и человека. С другой стороны, проведение нашего курса на фактически неподготовленных ни теоретически, ни практически слушателях, было для нас профессиональным вызовом, и тем интересней оказались полученные результаты, с которыми мы хотим вас познакомить.

При этом мы продемонстрируем и прокомментируем наиболее яркие работы студентов.

Начнём с работы Цыганковой Татьяны, из группы ЭР-06–19, (рис. 1) и её первого светового проекта «Жилая комната». Достоинством работы можно считать то, что она выполнена в отведённое время и являлась одной из первых. 3D модель жилой комнаты не только выполнена, как говорится, «с нуля» в программе «*DIALux evo*», но и автор разместила на объектах мебели объекты с текстурой, не входящей

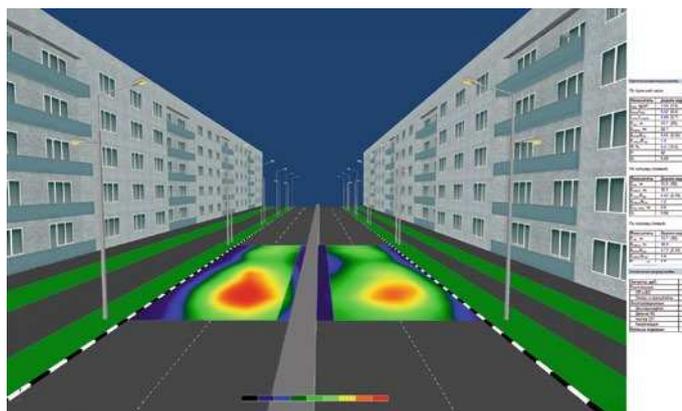
Распределение успеваемости студентов по курсу

Оценка	Баллы	Кол-во слушателей
5	от 135 до 175	8
4	от 100 до 135	26
3	от 60 до 100	15



Рис. 3. Визуализация помещения переговорной (слева) и визуализация освещения кабинета директора (справа) в световом проекте «Офисное освещение»

Рис. 4. Применение программы «Light-in-Night» для расчёта распределения яркости на дорожном покрытии



в базу программы (покрывало на кровати в виде логотипа «МЭИ»), расставила ОП разных типов, провела светотехнический анализ по распределению освещённости в пространстве сцены освещения и убедилась в соответствии полученных световых данных с нормативными.

Сурков Илья, из группы ЭР-04–19, (рис. 2) провёл исследование в области экспозиционно-выставочного освещения. Он не только подобрал светильники согласно техническим особенностям пространства, представил расчётные данные по уровням освещённости на экспонатах согласно действующим требованиям, но и смоделировал разницу восприятия картин при освещении их светильниками с разной коррелированной цветовой температурой и пришёл к определённому выводу по улучшению визуального восприятия картин.

Начиная с пятого занятия, а именно с проекта освещения офисного пространства, слушатели стали более раскрепощёнными и начали проявлять свои творческие способности. В работах начала проявляться фантазия и художественная выразительность. Другими словами, студенты начали уходить от стандартных световых решений и использования типовых СП в сторону моделирования собственных световых систем, подчас в нарушение их технических характеристик. Но мы считаем, что именно такие «вольности» в обучающем процессе допустимы и позволяют студентам расширять своё видение и «ощущение света». По сути, мы видим переход от технически сухой расстановки светильников в сторону «рисования светом», что, по нашему мнению, можно назвать «началом светового дизайна», пока не до конца осмысленного.

Минигареева Анна, из группы ЭР-06–19, (рис. 3) в процессе работы над освещением офисного пространства решила использовать нестандартные модели светильников собственной разработки. Так, в помещении переговорной для общего освещения она применила накладные светильники в виде световых кругов с изменяемой цветовой температурой. В своём докладе и при демонстрации проекта студент обосновала такой выбор светового решения как попытку смоделировать концепцию освещения «Human Centric Lighting» [10], направленную на улучшение самочувствия и работоспособности людей при динамичном изменении цветовой температуры светового поля в пространстве в течение дня. В пространстве кабинета директора был применён и смоделирован светильник в виде кривой безразрывной подвесной линии. Такой светильник, по мнению автора, наиболее органично подчёркивает профессиональную направленность компании, чей офис она освещает. Сфера деятельности компании – транспортировка и логистика товаров, и световое решение олицетворяет путь доставки товара клиенту.

Работа Минаева Никиты, из группы ЭР-04–19, (рис. 4) особо отличается от других тем, что представляет результаты расчётных исследований по дорожному освещению (по программе «Light-in-Night»), показывающие, что замена традиционных ИС и светильников на современные (на основе СД) позволяет до 30 % экономить электроэнергию. При этом уровни освещённости и яркости дорожного покрытия повышаются на 15 %, отвечая всем российским и международным нормам и правилам.

В рамках данной статьи не представлялось возможным показать даже 5 % работ курса, но авторы полагают, что представленные проекты слушателей дают представление о достигнутом ими уровне квалификации.

Заключение

Предлагаемая нами методика обучения студентов, основанная на программах компьютерной графики, которая переросла в полноценный курс, позволила за короткий срок обучить и направить студентов в мир светового дизайна.

Квалификационные результаты студентов приведены в таблице.

Распределение оценок укладывается в среднее распределение успеваемости на курсе. По окончании курса получены следующие результаты:

- с пятого занятия у слушателей начинают проявляться творческие способности в работе со светом;

- к концу курса студенты могут самостоятельно заниматься исследованиями в области светового дизайна на наиболее распространённых типах ОУ;

- по результатам проведённых занятий авторы заключили, что проведение курса по предлагаемой методике на 3D моделях перед практическими работами с реальными ОП и средствами измерений, значительно повышает образовательный эффект.

В результате обучения по предлагаемому нами курсу студенты получают следующие профессиональные компетенции: способность применять современные компьютерные технологии для подготовки текстовой, графической и проектно-технической документации с учётом требований действующих нормативных документов; способность осуществлять исследования и проектирование ОУ, а также разрабатывать дизайн освещения разных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Будак В.П., Ковыркова М.Д., Макаров Д.Н., Минаева С.Ю., Скорнякова А.А. Светодизайн: воспитание творческих способностей у студентов-светотехников // Светотехника. – 2019. – № 1. – С. 80–83.

2. DIAL: Light is our profession: Руководство пользователя / Официальный сайт разработчика программы. URL: <https://www.dial.de/en-GB/> (дата обращения: 20.08.2022).

3. Light-in-Night: Руководство пользователя / Официальный сайт разработчика программы. URL: <http://www.light-in-night.com> (дата обращения: 20.08.2022).

4. 3ds Max Software: Руководство пользователя / Официальный сайт разработчика программы. URL: <https://www.autodesk.com/products/3ds-max> (дата обращения 20.08.2022).

5. Официальное приложение Adobe Photoshop [Электронный ресурс]: Руководство пользователя // Официальный сайт разработчика программы. URL: <https://www.adobe.com/ru/products/photoshop> (дата обращения 20.08.2022).

6. Быстрянцева Н.В., Лекус Е.Ю., Смилга И.С., Чиримисина Д.А., Лукинская В.В. Ретроспектива дисциплины «Принципы и методы светового моделирования» в рамках направления Световой дизайн // Современные проблемы науки и образования. – 2020. – № 2. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=29688> (дата обращения: 20.08.2022).

7. Булатова А.В. Развитие креативности у дизайнеров и специалистов в области рекламы в процессе обучения в ВУЗе // Урал индустриальной модернизации Урала в XVIII – XXI вв.: Бакунинские чтения: материалы XII Всерос. науч. конф., посвящ. 90-летию заслуж. деятеля науки России, д – ра ист. наук, проф. А.В. Бакунина, Екатеринбург, 4–5 декабря 2014 г.: Т. 1. / РАН, УрО, Ин-т истории и археологии, УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина. – Екатеринбург, 2014. – С. 534–537.

8. The MSC program. Aalborg University / Официальный сайт Университета Ольборга, Дания / Специальность Светодизайн. URL: <https://www.light.aau.dk/msc-education> (дата обращения: 29.08.2022).

9. Professional studies master program lighting design / Официальный сайт Университета Висмара, Германия / Специальность Светодизайн. URL: https://studieren.de/fileadmin/europe/germany/_study/docs/Master_Lighting_Design.pdf (дата обращения: 20.08.2022).

10. van Bommel W. Design Aspects. In: Interior Lighting. – Springer, 2019. – P. 429.



Будак Владимир Павлович, доктор техн. наук, профессор. Окончил в 1981 г. МЭИ. Главный редактор журнала «Светотехника / Light & Engineering» и профессор кафедры светотехники ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ». Член-корреспондент Академии электротехнических наук РФ



Макаров Денис Николаевич, кандидат техн. наук. Окончил в 2005 г. «МЭИ» (ТУ). Практикующий светодизайнер (с 2002 г. по настоящее время) и преподаватель кафедры светотехники НИУ «МЭИ». Член редколлегии журнала «Светотехника / Light & Engineering»

НАЧАЛО РЕГУЛЯРНОГО УЛИЧНОГО ОСВЕЩЕНИЯ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

27 мая 2023 г. один из прекраснейших городов мира, Северная столица страны, город на Неве Санкт-Петербург торжественно отметил 320-ю годовщину своего основания, а также 300-летний Юбилей начала регулярного освещения города. В связи с этим событием, которое имеет чрезвычайную необходимость и актуальность для жизни ночного города, приводим короткую информацию о том, как это происходило.

К основанию Петербурга Петром I Великим уличное освещение уже существовало в Париже, Гамбурге, Берлине, Лондоне, Ганновере. Царь-преобразователь поставил вопрос об изыскании средств на уличное освещение всего Петербурга.

Так, 29 марта (18 марта) 1721 г. в поданном в Сенат донесении¹ Генерал-Полицмейстера А.М. Девиера сказано, что «его Царское Величество указал в Санкт-Петербурге ночные фонари по улицам учредить» таким образом, каким они поставлены у дома Его Величества. Фонарей таких «по расположению имеется быть, кроме Васильевского острова, 595», а содержать их должны служащие из дворцовых мест.

После рассмотрения донесения, 10 мая (29 апреля) 1721 года в Сенат принял решение № 3777 «О содержании по улицам фонарей», учредив таким образом первую систему регулярного уличного освещения столицы. Стоимость производства и установки 595 фонарей – «с железом и столбом» – была оценена в 15898 рублей, 13 алтынов и 2 деньги. Кроме того, была рассчитана стоимость эксплуатации этой осветительной установки, включавшая в себя расходы на конопляное масло, фитили, а также жалование за зажигание и «присмотр».

10 мая 2021 года исполнилось 300 лет этому значимому решению, в результате которого уже осенью 1723 года в Санкт-Петербурге горели первые 595 масляных фонарей, которые обслуживал штат из 64 фонарщиков.

Конкретной даты установки и «введения в эксплуатацию» их не зафиксировано, в связи с чем считаю важным обсудить учреждение символической даты начала уличного освещения Северной столицы 19 сентября – в день образования треста наружного освещения (а ныне – СПб ГБУ) «Ленсвет», который в следующем году отметит своё 90-летие.

Основываясь на вышесказанном, предлагаю: 19 сентября 2023 года отметить 300-ю годовщину работы регулярного уличного освещения Санкт-Петербурга.

Е.А. Лесман, инженер-энергетик, корреспондент журнала «Светотехника» в Санкт-Петербурге

¹ Полное Собрание Законов Российской Империи. Т. 6. С. 381

Обзор ретроспективы и реалий прикладной фотометрии

Часть 2: светодиодный вызов фотометрии

Р.И. СТОЛЯРЕВСКАЯ

Редакция журнала Светотехника / *Light & Engineering*, Москва

ООО ВНИСИ им. С.И. Вавилова

E-mail: stoly@rambler.ru

Аннотация

Это вторая часть статьи, посвящённой обзору современной прикладной фотометрии. В шести параграфах части 1 [1] данной публикации рассматривалось единство реализации канделы и Ватта и краткая история искусственных и электрических источников света вплоть до внедрения светодиодов (СД).

Замена традиционных источников общего освещения и сигнализации источниками излучения на основе СД, имеющих иное, чем у традиционных источников света, спектральное распределение светоизлучающих характеристик, поставила ряд вопросов в области метрологического обеспечения оптической радиометрии и прикладной фотометрии, связанных с единством воспроизведения единиц энергетических и фотометрических величин на основе Ватта.

Ключевые слова: фотометрия, оптическое излучение, оптическая радиометрия, спектрометрическая радиометрия, активное излучение, актинизм, чёрное тело, абсолютный радиометр, светоизлучающий диод, МКО (CIE), МКМВ (CIPM или VIPM)

7. Светодиодный вызов фотометрии

7.1. Эталонные источники света со светодиодами

Светоизмерительные лампы накаливания, дослуживающие свой почти реальный век, уходят в историю фотометрии вместе с исчезающим, практически повсеместно, производством традиционных ламп накаливания. Что взамен?

Тенденциям создания эталонных источников света со СД монохромными и мульти белыми было положено начало ещё в прошлом веке. Решалась, в первую очередь, задача стабилиза-

ции силы излучения таких источников [2–4].

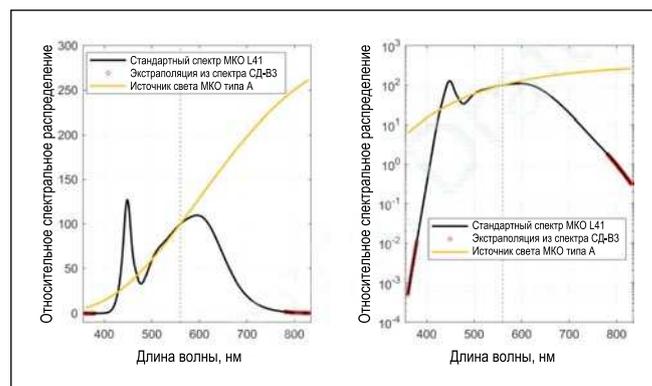
Сегодня ставится вопрос о спектральном распределении белого стандартного источника излучения на основе СД источника света, применяемого в методиках МКО для калибровки фотометрических головок, люксметров, яркометров и колориметров. На завершающей стадии голосования находится технический отчёт ТК 2–90 отделения 2 МКО «СД эталонный спектр для калибровки фотометров». Основная задача данной работы состоит в том, чтобы предложить индекс спектрального рассогласования и оценить возможности его применения при использовании реальных относительных спектральных распределений (ОСР) для тестируемых источников на СД с ОСР эталонного СД источника, связав с этой оценкой погрешности измерений фотометром. Целью данного документа является публикация эталонного СД спектра, на основе которого определяется индекс спектрального несоответствия СД источника света, реально применяемого при калибровке фотометров, скорректированных под относительную спектральную световую эффективность в сравнении со спектром стандартного источника света МКО L41 на основе СД. Для этого используется белый стандартный источник света СД-В3 с КЦТ равной 4103 К

[6] с учётом экстраполяции во всей области видимого излучения. Такой спектр стандартного источника света МКО получил название стандартного спектра МКО L41 (англ. *CIE reference spectrum L41*), рис. 1.

Предложения подготовлены на основании исследований, выполненных группой европейских экспертов [7, открытый доступ]. В этом исследовании спектральные данные, собранные для более чем 1500 изделий с белыми СД, использовались для расчёта восьми относительных спектральных распределений (ОСР) тестируемых осветителей со СД, отсортированных в соответствии с их КЦТ на 2700, 3000, 3500, 4000, 4500, 5000, 5700 и 6500 К, т.е. на 8 бинов. Пять из этих распределений, которые были представлены в МКО на рассмотрение для включения в пересмотренный Технический отчёт МКО № 15: Колориметрия [6], были дополнительно проанализированы, чтобы найти оптимальный эталонный спектр СД, который мог бы служить дополнительным или, в конечном итоге, заменить стандартный источник света МКО типа А для калибровки фотометров. Это было сделано путём исследования различий спектрального несоответствия, возникающих из-за отклонений между спектрами источника калибровки фотометра и спектра измеряемого СД продукта с учётом использования данных спектральной чувствительности разных фотометров. Моделирование проводилось с учётом реальных данных по КЦТ для рынка светодиодной продукции. В дополнение к этому было изучено влияние использования нескольких калибровочных источников.

Было обнаружено, что в целом все ОСР-кандидаты давали меньшие средние абсолютные ошибки спектрального несоответствия, чем стандартный источник света А. Калибровочный

Рис. 1. Сравнение относительных спектральных распределений эталонного спектра МКО L41, [4], его данных, экстраполированных для источника света LED – В3 [5] и стандартного источника света МКО типа А (слева линейная шкала, справа полулогарифмическая шкала)



спектр BL40 на основе СД, который был получен из бина 4000 К КЦТ, давал наименьшие спектральные расхождения в измерениях СД различных типов, уменьшая спектральные ошибки в среднем в 2 раза по сравнению с использованием стандартного источника света МКО типа А. Хотя дополнительные сокращения ошибок спектрального несоответствия могут быть получены при использовании нескольких спектров калибровки, на практике это улучшение может быть осложнено более трудоёмкой процедурой измерения, особенно в случае нескольких калибровочных спектров. Кроме того, BL40 давал наименьшие средние абсолютные ошибки спектрального рассогласования при измерении излучения, отличного от излучения СД, включая дневной свет, свет люминесцентных ламп и газоразрядных ламп высокого давления разных типов. В большинстве случаев с этими обычными типами источников света калибровочный спектр BL40 привёл к значительному снижению ошибок спектрального несоответствия по сравнению со стандартным источником света МКО типа А.

Помимо выводов, сделанных на основе проведённого анализа спектральных рассогласований, существуют практические аспекты, которые поддерживают выбор эталонного спектра измерительного светодиодного источника для калибровки фотометров, т.к. измерительные источники света на основе СД обладают преимуществами более длительного срока службы и повышенной надёжности при транспортировке по сравнению с измерительными лампами накаливания.

7.2. Новые индексы и классы оценки погрешности фотометров

Общий индекс спектрального несоответствия фотометра относительной спектральной световой эффективности f_1' количественно определяет отклонение между его реальной относительной спектральной чувствительностью $S_{rel}(\lambda)$ и его номинальной чувствительностью, функцией спектральной световой эффективности для дневного зрения, $V(\lambda)$.

Доминирование световых приборов на основе СД в общем освещении, вытеснение ими ламп накаливания и люминесцентных ламп, реальность замены при калибровке фотометров эта-

лонного источника света МКО типа А на источник МКО с эталонным спектром L41 ведёт к пересмотру критериев качества интегральных средств измерения световых величин (фотометров, люксметров, яркомеров и т.п.).

В статье [8] показано, что можно определить альтернативный индекс, что заметно лучше коррелирует с реальной общей ошибкой фотометрических измерений с источниками света, имеющими широкополосное спектральное распределение излучения. Этот индекс основан на фильтрации вариаций высоких спектральных частот между относительной спектральной чувствительностью фотометра и $V(\lambda)$. Авторы считают, что использование этого нового индекса для оценки общих фотометрических характеристик фотометров улучшит выбор фотометров высокого качества и, следовательно, будет способствовать общему улучшению фотометрических измерений.

В работе [9] на основе критериев эффективности отдельные индексы оцениваются с использованием различных наборов данных с помощью статистического анализа. В результате авторы делают вывод, что текущее определение индекса работает очень хорошо даже при изменённых условиях калибровки и применения и не нуждается в изменении. Другие оценки для нового определения индекса в некоторых случаях работают немного лучше, но в целом не создают лучших критериев.

В докладе [10] рассматривается индекс рассогласования спектрального распределения f_{sd} , который может быть использован как параметр оптимизации при выборе реального измерительного излучателя с белыми СД.

$$f_{sd,x} = \left| \frac{\int_{380\text{nm}}^{830\text{nm}} S(\lambda)V(\lambda) d\lambda}{\int_{380\text{nm}}^{830\text{nm}} S_x(\lambda)V(\lambda) d\lambda} - \frac{S_x(\lambda)V(\lambda)}{\int_{380\text{nm}}^{830\text{nm}} S_x(\lambda)V(\lambda) d\lambda} \right| d\lambda, \quad (1)$$

где $S(\lambda)$ и $S_x(\lambda)$ – спектральные распределения тестируемого источника и эталонного источника калибровки фотометра, соответственно. В случае использования эталонного источника МКО L41 $S_x(\lambda) = S_{L41}(\lambda)$. Этот параметр может быть связан с усреднённым зна-

чением погрешности спектральной коррекции при измерениях фотометрических величин фотометром, калибровка которого была выполнена по эталонному источнику со СД, имеющему спектр близкий к спектру L41. При этом нужно чётко понимать различия между индексом несоответствия спектрального распределения f_{sd} , коэффициентом спектральной коррекции фотометра F_x , в котором учитываются относительные спектральные распределения источника света для калибровки, тестируемого светового прибора, а также относительная спектральная характеристика фотометра, и общим индексом качества коррекции фотометра f_1' .

В материалах [7–10] приведены результаты исследований, на основе которых сделаны практические выводы [5] относительно выбора белых СД для физических эталонных источников света со СД. В целях классификации и выбора подходящих белых СД для физических эталонных СД источников излучения важно понимать, как они различаются с эталонным спектром МКО L41. Для оценки влияния класса фотометра и индекса спектрального несоответствия $f_{sd, L41}$ на погрешность спектральной коррекции фотометра, относительные спектральные характеристики исследуемых фотометров были разбиты на категории по классам качества в соответствии с общим индексом (табл. 1, п. 10 [1]) f_1' :

– МКО класс 4*: фотометры для прецизионных измерений эталонного уровня: $f_1' < 1,5 \%$;

– МКО класс 3*: фотометры с высоким уровнем точности: $1,5 \% < f_1' \leq 3 \%$;

– МКО класс 2*: фотометры со средним уровнем точности: $3 \% < f_1' \leq 6 \%$;

– МКО класс 1*: фотометры с низким уровнем точности (грубые измерения): $6 \% < f_1' \leq 9 \%$.

В работе [10] был предложен и подтверждён экспериментально индекс спектрального несоответствия для ОСР световых приборов со СД на основе определения около 100000 значений экспериментальных F_x (1298 ОСР в сочетании с 77 спектральными характеристиками фотометров). Это позволило согласовать относительные спектральные распределения тестируемых источников с ОСР эталонного спектра L41 для фотометри-

Результаты расчётов опасной синей яркости и допустимого времени экспозиции для ряда источников света [11]

Источник света (расстояние 0,5 м)	Освещённость на роговице, лк	Яркость, кд/м ²	Эффективная яркость, кд/м ²	Взвешенная опасная синяя яркость, L_b , Вт/ (м ² ·ср)	Допустимое время экспозиции (табл. 2, п. 1 [1])
Голубое небо	10000	4000	4000	6,2	Неопред. время ~ 44 ч
Люминесцентная лампа (Т8, 4100 К)	750	10000	10000	5,6	Неопред. время ~ 50 ч
Белый СД (3000 К)	98	$1,7 \cdot 10^7$	$1,0 \cdot 10^6$	388	43 мин.
Белый СД (4000 К)	98	$1,7 \cdot 10^7$	$1,0 \cdot 10^6$	510	33 мин.
Белый СД (6500 К)	98	$1,7 \cdot 10^7$	$1,0 \cdot 10^6$	858	20 мин.
Лампа накаливания	240	$1,2 \cdot 10^7$	$2,5 \cdot 10^6$	858	20 мин.
Синий СД, 500 мВт	29	$5,1 \cdot 10^6$	$1,7 \cdot 10^5$	2620	6,4 мин.
Синий СД, 3 Вт	99	$2,8 \cdot 10^6$	$1,0 \cdot 10^6$	15000	1,1 мин.
Световой короб с синими СД	600		9000	60	Неопред. время ~ 4,6 ч
Солнце	100000	$1,6 \cdot 10^9$	$1,6 \cdot 10^9$	$1,2 \cdot 10^6$	~1 с

ческой калибровки, подлежащей оценке. Разбиение на классы было выполнено с учётом линейной корреляции между индексом f_{sd} и средним значением $|1 - F_x|$, т.е. ожидаемым значением погрешности спектральной коррекции фотометра.

7.3. Синяя опасность

Вопросам опасного воздействия оптического излучения на человека и, в первую очередь, на его зрительные функции посвящено большое количество исследований. В книге, выпущенной МКО [11], представлены рекомендации по измерению интенсивности источников света в УФ, ви-

димом и инфракрасном спектральных диапазонах и оценке их потенциальной опасности для глаз или кожи. В дополнение к измерению обычно требуются расчёты для сравнения измеренного воздействия с границами оптической безопасности, которые определяют уровень опасности источника. Данный сборник трудов экспертов международного уровня представляет собой уникальный источник информации о достижениях этой важной области знаний. Материалы, опубликованные в этом сборнике, легли в основу стандарта МЭК – МКО по фотобиологической безопасности ламп и ламповых систем (см. табл. 2, п. 1 [1]).

Для белых СД на основе синих кристаллов и люминофора характерным является пик в синей области спектра 430–470 нм, рис. 2.

Острые фотохимические повреждения сетчатки из-за опасности синего света реальны. Опасность, в первую очередь, связана с мощностью излучения источников света и гораздо меньше связана со спектральным распределением этих источников света, особенно при её оценке по КЦТ. Например, при сравнении синего и белого СД можно было бы ожидать, что синий СД с максимальной длиной волны 450 нм потенциально будет опаснее белого СД с КЦТ 3000 К, и это действительно так. Однако разница в допустимом времени экспозиции среди светодиодных источников относительно мала (и ещё меньше, примерно в 2 раза, среди белых СД), тогда как солнце (источник с гораздо большей яркостью) в сотни раз опаснее, чем излучение голых СД. Таким образом, решая задачи освещения, варианты, при которых видны яркие источники света, всегда нужно анализировать с точки зрения опасности синего света, табл. 1, [12].

На рис. 2 представлены спектральные весовые функции, соответствующие:

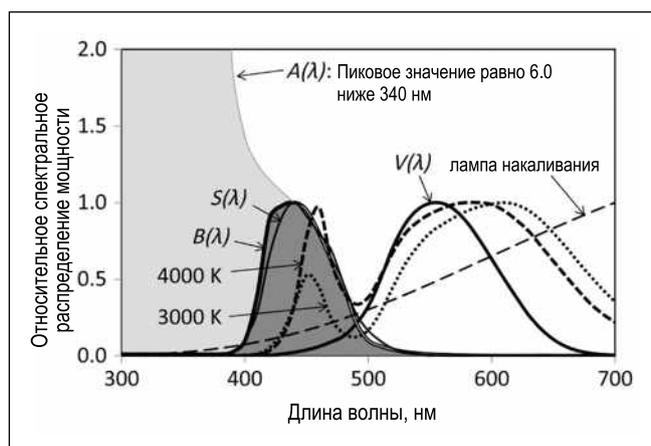


Рис. 2. Спектральные весовые функции и спектры светодиодных источников света

Терминология и обозначения МКО в области метрологии оптического излучения для откликов на свет фоторецепторов под влиянием клеток *ipRGC*

Наименование реакции	Индекс α	Фоторецептор	Фотопигмент	α -опт. активный спектр, $S_{\alpha}(\lambda)$	α -опт. облучённость, E_{α} [Вт·м ⁻²]	α -опт. эквивалент дневной освещённости D65, $E_{v,\alpha}$ [лк] и $K_{\alpha,v}^{D65}$ [мВт·лм ⁻¹]
<i>S-cone-optic</i>	sc	Колбочки с чувствительностью к коротковолновой части спектра видимого излучения	<i>S-cone photopsin (cyanolabe)</i>	$S_{sc}(\lambda)$	E_{sc}	$E_{v,sc}$ $K_{sc,v}^{D65}=0,8173$
<i>M-cone-optic</i>	mc	Колбочки с чувствительностью в средневолновой части спектра видимого излучения	<i>M-cone photopsin (chlorolabe)</i>	$S_{mc}(\lambda)$	E_{mc}	$E_{v,mc}$ $K_{mc,v}^{D65}=1,4558$
<i>L-cone-optic</i>	lc	Колбочки с чувствительностью в длинноволновой части спектра видимого излучения	<i>L-cone photopsin (erythrolabe)</i>	$S_{lc}(\lambda)$	E_{lc}	$E_{v,lc}$ $K_{lc,v}^{D65}=1,6289$
<i>Rhodopic</i>	rh	Палочки	Rhodopsin	$S_{rh}(\lambda)$	E_{rh}	$E_{v,rh}$ $K_{rh,v}^{D65}=1,4497$
<i>Melanopic</i>	mel	<i>ipRGCs</i> (внутренние светочувствительные ганглиозные клетки сетчатки)	<i>Melanopsin</i>	$S_{mel}(\lambda)$	E_{mel}	$E_{v,mel}$ $K_{mel,v}^{D65}=1,3262$

– относительной спектральной световой эффективности – $V(\lambda)$,

– функции опасности синего света – $B(\lambda)$, она показана темно-серой областью,

– функции афакии, связанной с проблемами хрусталика глаза – $A(\lambda)$, показана светло-серой областью;

– коротковолновой функции спектральной чувствительности колбочек – $S(\lambda)$, представляющей зрительную чувствительность сетчатки человека.

Функция риска афакии увеличивается до относительного значения 6,0 для длин волн короче 340 нм. Также для сравнения приведены относительные спектральные распределения мощности для ламп накаливания (КЦТ 2856 К) и белых СД на основе кристаллов *InGaN* (КЦТ 3000 и 4000 К) [11].

7.4. Незрительное восприятие света

Незрительные эффекты воздействия света – это фотобиологическое воздействие на организм. К таким реакциям на видимое излучение относятся: подавление мелатонина, изменение температуры тела, изменение

ритмов бодрствования и сна, фазовый сдвиг биологического ритма и изменение размера зрачка.

Не визуальный, а биологический механизм подавления мелатонина часто используется в исследованиях с участием людей. При этом метод с использованием образцов крови обеспечивает высокую точность результатов исследования. Исследователи из США [13] и Великобритании [14] изучали, независимо друг от друга, спектральную чувствитель-

ность человека к не визуальному восприятию света.

Обе группы использовали в качестве основы подавление мелатонина светом, падающим на глаза. Они также использовали одинаковую меру оценки реакции организма: время воздействия света, необходимое ночью для снижения уровня мелатонина у испытуемых до 50 % от максимального уровня мелатонина того же человека в полной темноте. Результаты обеих групп были опубликованы в 2001 году

Рис. 3. Лабораторная установка для исследования подавления мелатонина светом различных длин волн [13]

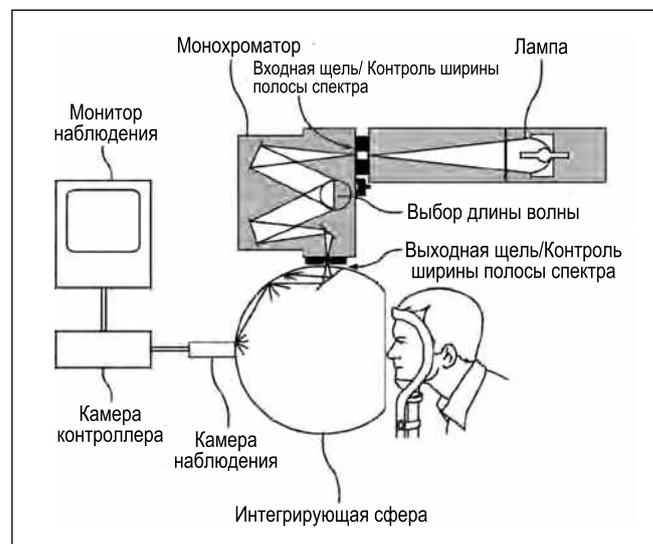
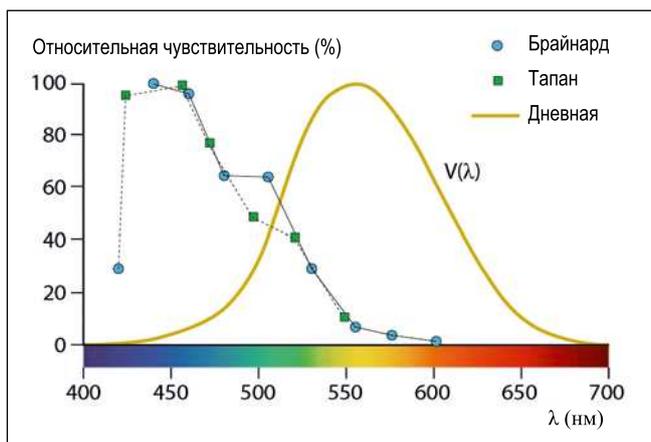


Рис. 4. Относительная спектральная характеристика функции подавления мелатонина в течение ночи показана вместе с кривой $V(\lambda)$ [13, 14]



[13] и [14]. Чтобы проиллюстрировать процедуру этих исследований, на рис. 3 показана экспериментальная установка группы под руководством доктора Брайнарда, США.

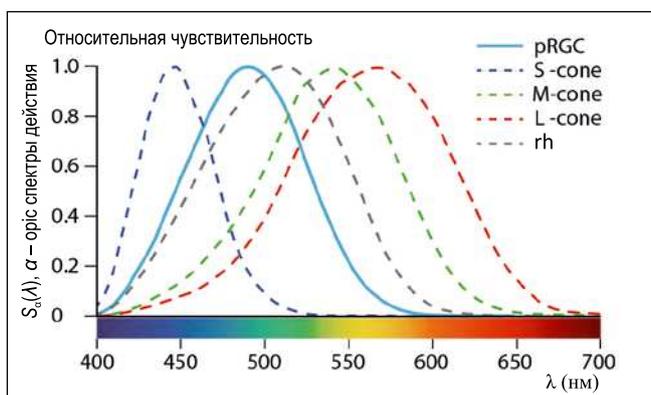
Поскольку у здоровых людей в дневное время мелатонин почти полностью подавляется, все эксперименты проводились ночью. Для обеспечения одинакового исходного состояния принимались только испытуемые, сохранявшие регулярный ритм сна-бодрствования.

Каждый испытуемый ждал начала фактического теста с 00:00 до 02:00 с завязанными глазами в лаборатории. После этого испытуемого осматривали в течение 90 мин. с откинутой и зафиксированной в держателе головой, внутреннюю часть сферы которой равномерно освещали монохроматическим светом от монохроматора. До и после теста брали образец крови, по которому в лаборатории определяли подавление мелатонина. Использование образцов крови обеспечивало большую точность оценок в сравнении с исследованиями образцов слюны. Испытания повторялись несколько ночей, чтобы воспроизвести тест с разными уровнями освещённости, в общей сложности для 9

различных монохроматических длин волн. Тесты в эксперименте Брайнарда были проведены с 72 испытуемыми. Судя по этому описанию, неудивительно, что для завершения всех экспериментов потребовалось несколько лет. На рис. 4 показаны усреднённые результаты определения относительной спектральной чувствительности испытуемых для обеих исследовательских групп на основе подавления мелатонина. Коротковолновый свет (синие-зелёный) намного эффективнее подавляет выработку мелатонина, чем длинноволновый (жёлто-красноватый). Чувствительность, основанная на подавлении мелатонина, сильно отличается от чувствительности, соответствующей функции $V(\lambda)$, которая также показана на рис. 4. Это доказательство того, что фотометрические единицы на основе $V(\lambda)$ непригодны для прогнозирования подавления мелатонина и, в более общем плане, не визуальных биологических эффектов воздействия света.

Спектральная характеристика подавления мелатонина является лишь одним из эффектов воздействия света, другие не визуальные реакции будут иметь иной вид спектральной зависимости. При этом все они в той или

Рис. 5. Относительные спектральные распределения α -opic спектров действия $S_\alpha(\lambda)$



иной мере связаны с фоторецепторами сетчатки давно известными или исследованными недавно.

7.5. Спектральные функции незрительных эффектов

Эффекты незрительного воздействия света зависят от спектрального распределения мощности излучения, его пространственного распределения, времени и продолжительности воздействия света. Они также зависят от индивидуальных параметров человека и история воздействия света. В науках о зрении и в фотобиологии есть необходимость определить стандартные физические величины на основе спектров действия актиничного излучения, которые описывают среднюю чувствительность к свету. Связь между этими величинами и фактически физиологическими реакциями на свет затем может быть изучена с использованием общих концепций измерения облучённости, которые сами по себе не зависят от наблюдения за субъективными реакциями какого-либо человека.

Вышеупомянутые биологические эффекты света вызываются стимуляцией глазных фоторецепторов. Классические зрительные рецепторы, палочки и колбочки, относительно хорошо изучены и описаны в существующих публикациях МКО. Исследования последних более чем двадцати лет показали, что у глаза есть другой тип фоторецепторов. Этот фоторецептор играет важную роль в не-визуальных эффектах света и имеет максимальную чувствительность в коротковолновой части видимого спектра. Такие фоторецепторы известны как внутренне светочувствительные ганглиозные клетки сетчатки (*ipRGC*), и их внутренняя фото-чувствительность основана на содержащемся в них фото-пигменте меланопсине. С начала 2000-х годов было признано, что меланопсин является фото-пигментом, придающим клетке *ipRGC* её внутреннюю фоточувствительность. Этот тип фото-пигмента отличается от палочковидного фото-пигмента опсина, а также от опсинов трёх типов колбочек, табл. 2.

При этом α -opic энергетическая освещённость E_α с учётом спектрального распределения для соответствующего индекса α определяется по формуле:

$$E_{\alpha} = \int E_e(\lambda) S_{\alpha}(\lambda) d\lambda, \quad (2)$$

где $E_e(\lambda)$ – абсолютное спектральное распределение энергетической освещённости, S_{α} – соответствующая весовая функция реакции фоторецептора, рис. 5.

Эквивалент дневной освещённости $E_{v,\alpha}$ определяется по формуле:

$$E_{v,\alpha}^{D65} = E_{\alpha} / K_{\alpha,v}^{D65}, \quad (3)$$

где $K_{\alpha,v}^{D65}$ коэффициент, рассчитываемый как отношение α -opic потока излучения Φ_{α} к световому потоку $D65$ Φ_v :

$$K_{\alpha,v}^{D65} = \Phi_{\alpha} / \Phi_v = \int \Phi_{e,\lambda}(\lambda) S_{\alpha}(\lambda) d\lambda / \int \Phi_{e,\lambda} V(\lambda) d\lambda. \quad (4)$$

5 значений этого коэффициента для 5 фото-пигментов представлены в табл. 2.

Следующим этапом развития исследований в области незрительного восприятия света является создание средств измерений, позволяющих сопоставить экспозиции воздействия видимого излучения и его незрительные реакции в количественном выражении, что, в свою очередь, позволит определить пределы допустимых эффективных доз и условий их восприятия. Для решения этой области задач в МКО создаётся новый технический комитет под названием «Методы переносной α -opic дозиметрии, ограничения, калибровка приборов и схемы обработки данных» (англ. *Wearable α -opic dosimetry methods, limitations, device calibration, and data schemes*), объединяющий экспертов отделений 2 и 6 по инициативе отделения 6.

В работе [15] представлены результаты разработки миниатюрного спектрометра, который может быть закреплён на одежде для сбора информации о спектральном распределении мощности света на уровне глаза, что даёт возможность определить влияние каждого светового раздражителя для каждого глазного фоторецептора путём вычисления эффективной облучённости. При калибровке прибора авторы учитывали часто встречающиеся источники погрешности, такие как темновой шум, насыщение сенсора, нелинейность, рассеянный свет, спектральные характеристики диспергирующей системы. Особенности устрой-

ства включают *IoT*-интеграцию, встроенное хранение и обработку данных, *Bluetooth Low Energy (BLE)* поддерживает передачу данных и облачное хранилище в одном связанном блоке.

7.6. Измерения временной модуляции света

По закону Тальбота, если точка на сетчатке возбуждается световым стимулом, который претерпевает периодические изменения по величине с частотой, превышающей критическую частоту пульсации, создаваемое зрительное восприятие идентично тому, которое создаётся постоянным стимулом, величина которого равна средней величине взятого за один период переменного стимула (см. табл. 2, п. 6 [1]).

Современные системы освещения со СД сильно различаются по степени, в которой их световая отдача демонстрирует временные изменения (временная модуляция света, англ. *temporal light modulation, TLM*). Известно, что *TLM* влияет на зрительное восприятие человека, нейробиологические процессы в организме и производительность труда, иногда, самым неблагоприятным образом. Термин временные световые артефакты (англ. *temporal light artefacts, TLA*) используется только для визуального восприятия человеком этих модуляций. Изменение визуального восприятия является результатом сравнения визуального восприятия среды, освещённой модулированным светом, с визуальным восприятием того же человека в той же среде, когда среда освещается немодулированным светом.

Поскольку существует бесконечное количество способов варьировать ток, подаваемый на СД, с точки зрения частоты, глубины модуляции, рабочего цикла и формы сигналов, светодиодные системы очень неоднородны в результирующих формах световых характеристик на выходе от одного продукта к другому даже от одного и того же производителя. Это разнообразие привело к возрождению исследовательского интереса к теме измерений временной модуляции света.

Эксперты МКО отнеслись с большим вниманием к этому направлению, выпустив технические рекомендации «Руководство по измерению временной модуляции света источников света и систем освещения» [16, в открытом доступе на сайте МКО]. Рекомен-

дации должны помочь лабораториям применять одну и ту же методологию измерения и протоколировать результаты последовательным и воспроизводимым образом. Документ описывает методы измерения *TLM* и *TLA* осветительного оборудования для общего освещения. Кроме того, изложенные в документе принципы могут быть применены в других областях, например, для оценки выставочного оборудования или системы фасадного освещения, хотя для этого потребуются, скорее всего, другая входная оптика измерительного оборудования.

Визуальное восприятие нестабильности, вызванной световым стимулом, яркость или спектральное распределение которого колеблется со временем для статичного наблюдателя в статической среде, называется миганием (англ. *flicker*). Мигание (фликер, пульсация, мелькания) – один из типов временных световых артефактов (*TLA*).

Другим типом *TLA* является стробоскопический эффект, который определяется как изменение восприятия движения, вызванное световым стимулом, яркость или спектральное распределение которого колеблется со временем для статичного наблюдателя в статической среде. При этом, если частота периодического колебания яркости совпадает с частотой вращающегося объекта, вращающийся объект воспринимается как статический. При квадратном периодическом колебании яркости движущиеся объекты воспринимаются как движущиеся дискретно, а не непрерывно. Величины, которые классифицируются как временные световые артефакты, измеряются, как правило, на более длинном участке формы световой волны и не ограничиваются повторяющейся формой волны, то есть сложные сигналы также могут быть проанализированы.

Характеристики *TLA*:

- кратковременный индекс мигания (символ P_{st}^{LM});
- мера видимости стробоскопического эффекта (обозначение M_{vs});
- perceptивная модуляция (символ M_p).

Назначение величины, называемой перцепционной модуляцией, состоит в том, чтобы точно предсказать восприятие мигания человеком для любого осветительного прибора, формы выходного светового сигнала и частоты. В частности, эта величина связа-

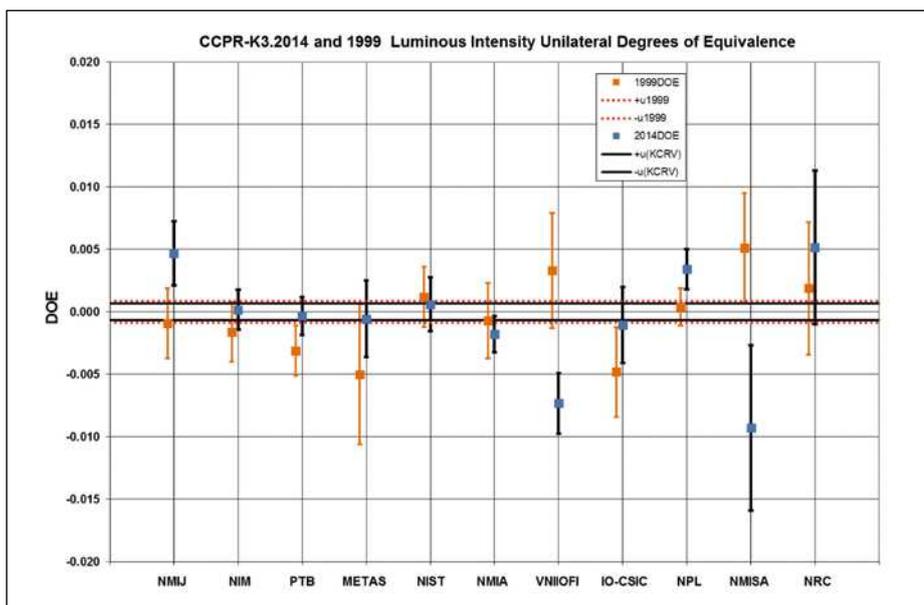


Рис. 6. Сравнение результатов сличений на эталонных лампах накаливания *CCPR-K3 1999* и *CCPR-K3 2014* (для относительных стандартных неопределённостей при $k=1$)

на с прямым восприятием пульсации, при которой частота модуляции достаточно мала, чтобы быть видимой напрямую (т.е. < 80 Гц).

Метрики *TLA* обычно определяются в отношении модуляции света в определённой полосе частот, тогда как *TLM* и соответствующие метрики могут выходить за рамки этих указанных полос частот.

Знание источника спектра, а также частоты модуляции может ограничить минимальные требования для получения формы светового сигнала. В случае, если один или несколько параметров неизвестны, рекомендуется использовать более строгие рекомендации по выборке, например, начиная с высокой частоты выборки и времени отбора проб и, соответственно, сокращая их. Руководство МКО предлагает следующие общие рекомендации:

- по частоте выборки – 20 кГц (или выше);
- по времени отбора – 1 с (или дольше);
- по спектральной чувствительности пульсометра – коррекция под относительную спектральную световую эффективность для дневного зрения $V(\lambda)$.

Помимо этих общих рекомендаций, в параграфе 4.4 рекомендаций МКО можно найти пункты с конкретными рекомендациями и ссылками на документы [17, 18 в открытом доступе], подготовленные Центром световых исследований при Политехническом институте Ренселлера (англ.

LRC, Rensselaer Polytechnic Institute, USA), которые включают в себя подробную информацию об измерительном оборудовании и условиях выполнения измерений.

8. Результаты международных сличений как показатель состояния точности измерений в прикладной фотометрии

Результаты международных сличений единиц физических величин, в том числе и фотометрических, являются определяющим показателем неопределённости измерений этих величин и, соответственно, воспроизведения их размеров единиц в системе СИ. Проведение таких международных (ключевых) сличений между национальными метрологическими институтами (*NIM*) и региональными метрологическими организациями (*RMO*) – прерогатива МБМВ. Выполнение этих задач в области оптической радиометрии лежит на Консультативном комитете по радиометрии и фотометрии (*CCPR*) МБМВ.

Последние ключевые сличения по силе света в рамках *CCPR* с использованием ламп накаливания в качестве перевозимых эталонов (*CCPR-K3.2014*) проводились в период с 2014 по 2020 гг. При этом Национальный исследовательский центр Канады (*NRC*) был выбран в качестве пилотирующей лаборатории. 12 участников (*NIM*) были отобраны из 3 групп *RMO* для участия и желания служить

в качестве связующих лабораторий с другими *NIM* и *RMO*. Решение использовать лампы накаливания, а не фотометры, в качестве перевозимых эталонов было принято рабочей группой после обсуждения с участниками [19]. Предыдущие ключевые сличения 1999 г. были выполнены, как на фотометрах, так и на лампах накаливания [20].

Сличения 2014 г. были организованы с последовательностью измерений *NMI-Pilot-NMI* перевозимыми эталонными лампами, поставляемыми каждым *NMI*, так называемый звёздный порядок выполнения сличений. Для облегчения измерения всех ламп от всех участников в одинаковых условиях, измерения в пилотной лаборатории не начинались до тех пор, пока все перевозимые эталонные лампы *NMI* не были получены лабораторией пилотом. Затем все лампы были измерены последовательно с использованием одной и той же измерительной установки в течение примерно 2 месяцев с ноября 2014 г. по январь 2015 г. Основными результатами ключевых сличений являются отличия от опорных значений ключевых сличений (*KCRV*): односторонние степени эквивалентности (*DOE*), т.е. между каждым *NMI* и *KCRV*, и двусторонние *DOE* между парами *NMI*. Для получения окончательных результатов сравнения было использовано в общей сложности 59 ламп (55 ламп типа *Osram* и 4 лампы типа *Polaron*). На рис. 6 приведены результаты сличений 11 лабораторий, чьи эталонные лампы успешно выдержали все испытания, связанные с их транспортировкой. Приведены односторонние отличия результирующей силы света лампы-участницы от опорного значения ключевых сличений – *KCRV* (англ. *key comparison reference value*), т.е. степени эквивалентности и их неопределённости.

Лаборатории участники перечислены ниже (рис. 6):

- Национальный исследовательский совет Канады (пилотная лаборатория) (англ. *NRC – National Research Council Canada*);
- Институт оптики, Испания (англ. *IO-CSIC – Instituto de Optica*);
- Федеральный институт метрологии, Швейцария (англ. *METAS – Federal Institute of Metrology*);
- Национальный институт метрологии, Китай (англ. *NIM – National Institute of Metrology*);

– Национальный институт стандартов и метрологии, США (англ. *NIST – National Institute of Standards and Metrology*);

– Национальный институт измерений, Австралия (англ. *NMIA – National Measurement Institute*);

– Национальный институт метрологии Японии, Япония (англ. *NMIJ – National Metrology Institute of Japan*);

– Национальный институт метрологии Южной Африки, Южная Африка (англ. *NMISA – National Metrology Institute of South Africa*);

– Национальная физическая лаборатория, Великобритания (англ. *NPL – National Physical Laboratory*);

– Физико-технический институт в Брауншвейге, Германия (англ. *PTB – Physikalisch-Technische Bundesanstalt*);

– Всероссийский научно-исследовательский институт оптико-физических измерений ВНИИОФИ, Россия.

Опорные величины $KCRV$ ключевых сличений на лампах 1999 г. были определены по результатам измерений ламп из 15 *NMI*. Неопределённость $KCRV$ немного изменилась с $U_{kcrv1999} = 0,086\%$ до $U_{kcrv2014} = 0,068\%$. Но, как видно из рис. 6, это изменение незначительно по сравнению с *DOE* и неопределённостями *DOE* (вертикальная линия на каждом значении *DOE*) для, практически, всех лабораторий участниц. Оси абсцисс наборов данных на рис. 6 немного смещены, чтобы облегчить сравнение. Сравнения результатов сличений трёх участников (*NIM*, *NIST* и *NMIA*) демонстрируют поразительно близкие результаты сличений 1999 и 2014 гг.

На рис. 7 представлены результаты ключевых сличений *CCPRK3-b* 1999, выраженные в относительных отличиях от средневзвешенного значения $KCRV$ световой чувствительности фотометров в процентах для каждой лаборатории. Неопределённости соответствуют стандартным неопределённостям ($k=1$), установленным лабораториями, и не включают неопределённость самого сравнения.

Для России (ВНИИОФИ) результаты международных сличений в области фотометрии 1999 г. выглядят успешнее по сравнению с 2014 г.

Одно из важнейших направлений оптической радиометрии – это международные сличения спектральных распределений энергетических параметров источников оптического излучения [21, 22].

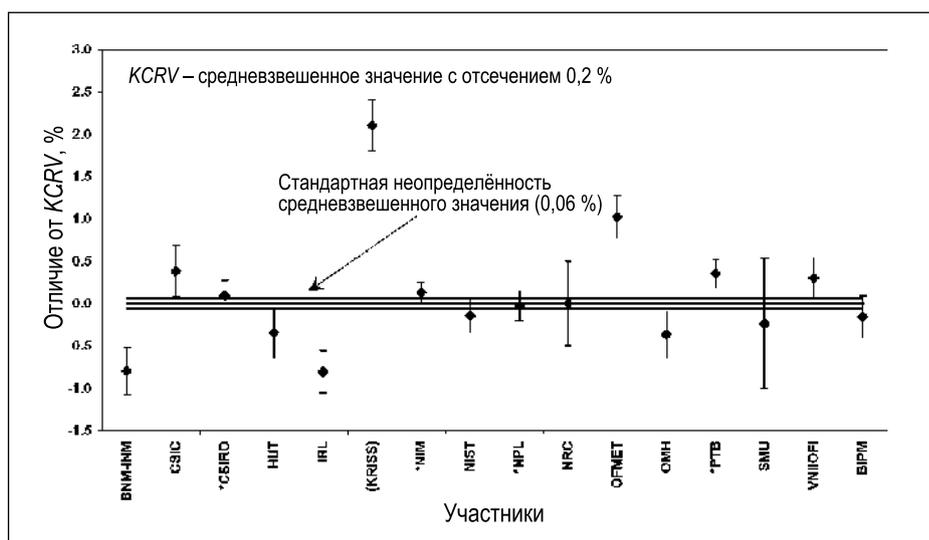


Рис. 7. Результаты ключевых сличений 1999 г. по световой чувствительности фотометров, усреднённые по группе фотометров для каждой лаборатории

Корейский научно-исследовательский институт стандартов и науки (*KRISS*) и ВНИИОФИ в 2008 г. провели двусторонние сличения спектральной освещённости в спектральной области от 250 до 2500 нм. Цель этого сравнения заключалась в оценке эквивалентности шкал спектральной освещённости между двумя лабораториями и привязке шкалы спектральной освещённости *KRISS* к ключевым сличениям *CCPR K1.a*, проведённым в 2000–2003 гг. Технический протокол был одобрен *CCPR WG-KC* в апреле 2008 г. *KRISS* выступила в качестве пилотного проекта по снижению нагрузки на ВНИИОФИ как связующую лабораторию. *PTB* выступал в качестве нейтрального партнёра, чтобы гарантировать закрытость результатов сличений. *PTB* собрал результаты измерений и отправил их обратно обоим участникам. *KRISS* подготовил отчёт на основе результатов измерений, предоставленных *PTB*. Спектральные значения освещённости, измеренные *KRISS* и ВНИИОФИ, совпали в пределах стандартных неопределённостей ($k = 1$) от 250 до 2500 нм, рис. 8. Односторонний *DOE KRISS* был рассчитан с использованием одностороннего *DOE* ВНИИОФИ, чтобы связать шкалу спектральной освещённости *KRISS* с ключевыми сличениями *CCPR K1.a*. Неопределённости одностороннего *DOE KRISS* определялись с использованием неопределённостей измерений *KRISS* и ВНИИОФИ и неопределённостей одностороннего *DOE* ВНИИОФИ, а также с учётом корреляции измерений ВНИИОФИ меж-

ду ключевыми *CCPR* и этими двусторонними сличениями. Относительные различия спектральной освещённости для трёх ламп, измеренных в *KRISS* и ВНИИОФИ, представлены на рис. 8.

Международное энергетическое агентство энергоэффективного использования конечного оборудования (англ. *IEA 4E – International Energy Agency’s Energy Efficient End-use Equipment*) в рамках проекта «Применение твердотельного освещения» (англ. *Solid State Lighting Annex (SSL Annex)*) провело международные межлабораторные сличения (*IC2017*) по измерениям характеристик светодиодной продукции с помощью гониофотометров различной конструкции [23]. В сличениях участвовали 36 лабораторий из 19 стран с использованием в общей сумме 42 гониофотометрических установок. Основной целью сличений была организация масштабных исследований уровня согласованности в измерениях нескольких типов световых приборов со СД различными типами гониофотометров, включая приборы ближнего поля, с вращающимися источниками света, а также гониофотометры зеркального типа.

В рамках сличений сравнивались измерения 16 параметров, то есть 8 основных параметров: общий световой поток, световая отдача, среднеквадратичный ток, активная мощность, коэффициент мощности, цветность u', v' , КЦТ и индекс цветопередачи R_a ; и 8 гониофотометрических величин: интенсивность центрального луча, угол луча, парциальный световой поток (конус 15°),

Рис. 8. Относительные различия спектральной освещённости для трёх ламп, измеренных в KRISS и ВНИИОФИ

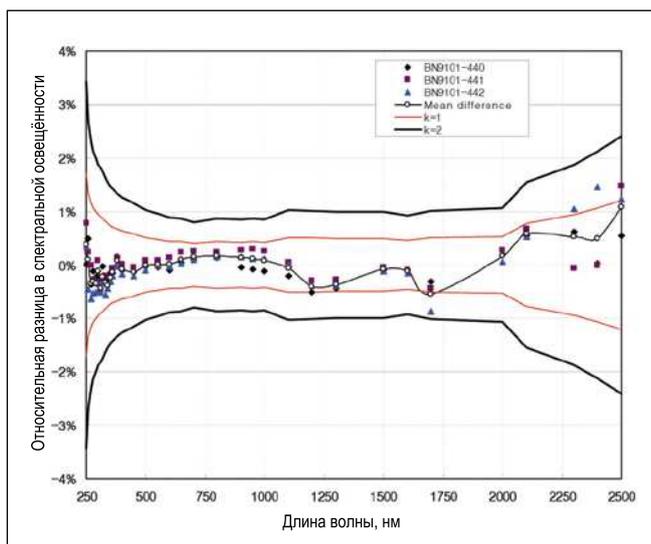
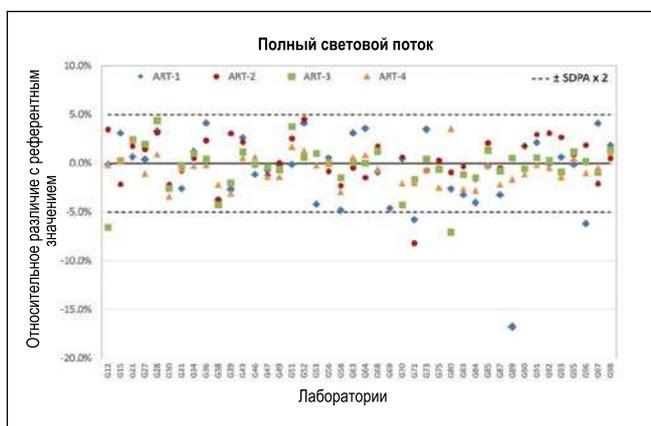


Рис. 9. Результаты сличений по световому потоку (названия лабораторий участниц зашифрованы) [23]



три парциальных потока светильника уличного освещения и угловая однородность цвета, а также распределение силы света. Были проведены анализы для сравнения результатов на 42 лабораторных приборах, а также для сравнения результатов различных типов гониофотометров для каждого количества и каждого типа артефакта для оценки их эквивалентности. В первом анализе представлены сравнения между всеми 42 гониофотометрами для каждой величины и каждого артефакта. При анализе результатов общих фотометрических и колориметрических величин, и электрических величин было установлено:

- результаты участников по измерениям полного светового потока, в основном, были в пределах $\pm 5\%$ от опорного значения, что было ожидаемым результатом;

- результаты измерений показали большие отклонения по току, больше чем ожидалось, со стандартным отклонением $\approx 3\%$ для светодиодной лампы, даже несмотря на то, что сообщаемые участниками погрешности

измерений обычно составляли менее 1% (расширенная неопределённость, $k = 2$); параметр сильно зависел от артефакта; стандартное отклонение для тока, например, для внутренних планарных светильников составляло всего $0,5\%$;

- цветность – результаты измерения координат цветности u' , v' , были в соответствии с опорным значением в пределах $\pm 0,002$, но с несколькими выбросами для каждого артефакта;

- результаты измерения КЦТ варьировались от стандартного отклонения 26 K для *ART-1* (номинальная ТЦ 2700 K) до 91 K для *APT-2* (номинальная ТЦ 5700 K), что считалось вполне разумным.

Участникам было разрешено использовать интегрирующую сферу, оснащённую спектрорадиометром (сфера-спектрорадиометр), или гониофотометр со спектрорадиометром (гониоспектрорадиометр) для измерения цвета.

В качестве артефактов для сличений были выбраны типичные светильники внутреннего и наружного освеще-

щения, а также направленная лампа с узким лучом. Эти четыре артефакта были выбраны для проверки множества различных аспектов гониофотометрических измерений:

- *ART-1* – это типичная узконаправленная светодиодная лампа *MR-16* (угол луча $\approx 12^\circ$), выбранная специально для сравнения измерений угла луча, интенсивности центрального луча и парциального светового потока;

- *APT-2* – типичный комнатный планарный светильник на основе СД с широким, близким к ламбертовскому, распределением интенсивности;

- *ART-3* – ещё один светильник на основе СД для внутреннего освещения с малым излучением света вверх, выбранный для проверки способности измерять углы вверх;

- *ART-4* – типичный светильник на основе СД уличного освещения, имеющий асимметричное распределение силы света в горизонтальной плоскости.

Результаты *IC2017* показали, что общие различия в результатах измерений тремя типами гониофотометров были незначительными для всех измеряемых величин. По их результатам можно считать, что гониофотометры ближнего поля и с вращающимся источником имеют эквивалентную точность в сравнении с гониофотометром зеркального типа в пределах допустимых погрешностей для измерений типовых световых приборов со СД, использованных в этом раунде сличений.

На рис. 9 приведены результаты сличений суммарного светового потока для всех 4 артефактов.

IC2017, в котором приняли участие 36 участников и 42 прибора со всего мира, является крупнейшим из когда-либо проводившихся межлабораторных сравнений гониофотометров. Это сравнение предоставило ценные данные, сравнивающие измерения продуктов *SSL* различными типами гониофотометров для 16 различных величин для 4 артефактов: три разных светильника на основе СД и один – лампы с узконаправленным лучом. Эти межлабораторные сличения подтвердили согласованность между участниками измерений важных величин, таких как общий световой поток, световая отдача и цветовые величины. С другой стороны, они показали неожиданно большие вариации в измерениях некоторых электрических и гониофотометриче-

ских параметров в зависимости от измеряемого артефакта. Также сличения выявили ряд конкретных проблем с измерением гониофотометрических величин в результатах участников, что указывает на то, что для измерения этих величин для продуктов SSL необходимы дополнительные рекомендации в стандарте МКО CIE S025 или других соответствующих стандартах.

Заключение

В рассматриваемый промежуток времени, середина прошлого столетия – 20-е гг. века нынешнего, важными вехами для прикладной фотометрии некогерентного оптического излучения стали:

– достижения в области воспроизведения единиц энергетических величин оптической радиометрии на основе абсолютных радиометров, высокотемпературных чёрных тел, чёрных тел на эвтектиках, приёмников с квантовым выходом, близким к единице – трап детекторов;

– экспериментальное определение физической константы Стефана – Больцмана;

– экспериментальное определение максимальной спектральной световой эффективности (физической константы) для дневного зрения;

– слияние фотометрии с оптической радиометрией на основе переопределения основной единицы системы СИ кандеры и её привязке к Ватту;

– появление нового типа источников света со СД и создание эталонных средств измерений на их основе;

– внимание к спектральной чувствительности зрительного восприятия в зависимости от уровня воспринимаемой яркости, мезопические функции зрения;

– внимание к незрительному восприятию света в связи с отличием спектра СД осветительных приборов от спектров дневного света и ламп накаливания;

– внимание к СД осветительным приборам для агротехники и животноводства;

– достижения оптоэлектроники в создании мини-спектрометров с ПЗС матрицами и средств измерений световых величин с использованием имидж камер с оцифровкой данных изображений;

– разработка и создание гониофотометров ближнего поля;

– колоссальный труд международного светотехнического сообщества под эгидой экспертов МКО и ККФР в подготовке и постоянной ревизии технических отчётов и стандартов, организации и проведении международных сличений ключевого и межлабораторного уровня с целью обеспечения единства измерений на Земле в области оптической радиометрии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Столяревская Р.И. Обзор ретроспективы и реалий прикладной фотометрии. Часть 1: Кандела и Ватт, от лампы накаливания к светодиоду // Светотехника. – 2023. – № 3. – С. 86–96.

2. Агафонов Д.Р., Саприцкий В.И., Столяревская Р.И., Толстых Г.Н. Рабочий эталон силы света на основе светодиодов // Светотехника. – 2000. – № 3. – С. 9–12.

3. Ивахин Е. А., Тищенко Е.В., Хлевной Б.Б., Широков С.С. Разработка новых фотометрических эталонов на основе мощных светодиодов // Светотехника. – 2018. – № 1. С. 45–48.

4. Nakazawa, Y., Godo, K., Niwa, K., Zama, T., Yamaji, Y., Matsuoka, S. Establishment of 2π total spectral radiant flux scale with a broadband LED-based transfer standard source // Metrologia, 2020, Vol. 57, # 6, 065024.

5. CIE, Division 2, TC2–90 Technical Report (Approval Draft): LED Reference Spectrum for Photometer Calibration.

6. CIE015–2018: Colorimetry, 4th Edition, Div.1, ISBN: 978–3–902842–13–8.

7. Kokka, A., Poikonen, T., Blattner, P., Jost, S., Ferrero, A., Pulli, T., Ngo, M., Thorseth, A., Gerloff, T., Dekker, P., Stuker, F., Klej, A., Ludwig, K., Schneider, M., Reinert, T., Ikonen, E. Development of white LED illuminants for colorimetry and recommendation of white LED reference spectrum for photometry // Metrologia, 2018, Vol. 55, pp. 526–534 (open access).

8. Ferrero, A., Velazquez, J.L., Pons, A., Campos, J. Index for the Evaluation of the General Photometric Performance of Photometers // Optics Express 18033, 2018, Vol. 26, # 14.

9. Krüger, U., Ferrero, A., Mantela, V., Thorseth, A., Trampert, K., Pellegrino, O., Sperling, A. Evaluation of Different General $V(\lambda)$ Mismatch Indices of Photometers for LED-based Light Sources in General Lighting Applications // Metrologia, 2022, in press (open access).

10. Ferrero, A., Kokka, A., Pulli, T., Poikonen, T., Schneide, r T., Stuker, F., Blattner, P., Pons, A., Ikonen, E. Definition of Spectral Mismatch Index for Spectral Power Distributions // CIE – 2019: Proceedings of the 29th Session of the CIE, Washington D.C., USA, June 14–22, 2019, pp. 85–92.

11. CIE016–1998: Measurements of Optical Radiation Hazards, Gaithersburg, Maryland, USA, Div.6, ISBN: 978 39804789 5 3.

12. Bullough, J.D., Bierman, A., Rea, M.S. Evaluating the Blue-Light Hazard from Solid State Lighting // International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, 2017.

13. Brainard, G.C., Hanifin, J.P., Greeson, J.M., Byrne, B., Glickman, G., Gerner, E., Rol-

lag, M.D. Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor // J. Neurosci, 2001, Vol. 21, # 16, pp. 6405–6412.

14. Thapan, K., Arendt, J., Skene, D.J. An action spectrum for melatonin suppression: evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans // J. Physiol. Vol. 535 # Part 1, pp. 261–267.

15. Mohamed, A., Kalavally, V., Cain, S.W., Phillips, A.J.K., Mcglashan, E.M., Chee, P.T. Wearable light spectral sensor optimized for measuring daily α -opic light exposure // Optics EXPRESS, 2021, Vol. 29, # 17, Optics Express 27612.

16. CIE TN012–2021: Guidance on the Measurement of Temporal Light Modulation of Light Sources and Lighting Systems.

17. ASSIST 2015: Recommended metric for assessing the direct perception of light source flicker, Vol. 11, #3.

18. ASSIST 2014: Application Consideration Related to Stroboscopic Effects from Light Source Flicker, Vol. 11, # 2.

19. Gaertner, A., Côté, E., Campos, J., Obein, G., Blattner, P., Schafar, R., Hui, L., Xiaomei, J., Miller, C., Zong, Y., Atkinson, E., Thorvaldson, E., Kinoshita, K., Sieberhagen, R., Rabe, I., Goodman, T., Scott, B., Sperling, A., Lindner, D., Khlevnoy, B., Ivashin, E. / CCPR Key Comparison 2022, CCPR-K3 Final Report: Luminous Intensity, 246 p.

20. Köhler, R., Stock, M., Garreau, C. Final Report on the International Comparison of Luminous Responsivity CCPR-K3.b / Bureau International des Poids et Mesures Pavillon de Breteuil, 92312 Sèvres Cedex, France, January 2004.

21. Woolliams, E.R., Cox, M.G., Fox, N.P., Harris, P.M. Key Comparison of Spectral Irradiance 250 nm to 2500 nm / Final Report of the CCPR K1-a, BIPM, 2005.

22. Shin, D.J., Park, C.W., Kolesnikova, S.S., Khlevnoy, B.B. Final report of bilateral comparisons Spectral Irradiance from 250 nm to 2500 nm // APMP.PR.K1.a.1–2008 Bilateral Comparison between KRISS (Korea) and VNIIOFI (Russia), Final Report 10 August 2010.

23. Ohno, Y. et al. IEA 4E Solid State Lighting Annex Interlaboratory Comparison / SSL Annex, 2017, IC2017 Final Report.



Столяревская Раиса Иосифовна, доктор тех. наук, окончила физический факультет Казанского государственного университета в 1968 г. С 1976 по 2002 гг. работала во ВНИИОФИ, где, начи-

ная с 1996 г., возглавляла фотометрическую лабораторию. Является представителем РНК МКО в отделении 2 МКО с 1999 г. В настоящее время – научный редактор англоязычной версии журнала Светотехника / Light & Engineering и заместитель главного редактора этого издания



Международная
светотехническая
корпорация



БООС ЛАЙТИНГ ГРУПП



Интеллектуальные системы управления в рамках концепции человеко-ориентированного освещения. Обзор стандартов уличного освещения¹

А.Д. ГОСВАМИ, С. ЧАКРАБОРТИ

Светотехническая лаборатория, кафедра электротехники, Университет Джадавпура, Индия
E-mail: suddhasatwachakraborty@gmail.com

Аннотация

В статье представлен аналитический обзор нормативных документов, регламентирующих требования к дорожному освещению. Опираясь на мнение автомобилистов и пешеходов, был проведён анализ этих стандартов с точки зрения их эффективности для реализации концепции освещения, ориентированного на человека (англ. *human centric lighting*, *HCL*). А также был использован новый метод оценки влияния различных условий освещения на работоспособность пользователей на основе данных электроэнцефалограммы. *HCL*, в своей простейшей форме, – это концепция освещения, направленная на повышение качества освещения в рассматриваемой среде, выстроенная на основе результатов анализа визуального и невизуального действия света на работоспособность и самочувствие пользователя. Применение концепции *HCL* позволяет создавать комфортную световую среду для пользователя, где есть возможность контролировать факторы, повышающие настроение и производительность, улучшающие самочувствие и т.д. В этой статье предпринята попытка определить основы стандарта интеллектуального уличного освещения для Индии как результат исследований по внедрению автоматизированной интеллектуальной системы уличного освещения, ориентированного на человека. Это поможет существенно повысить энергоэффективность уличного освещения. Экспериментальные исследования, представленные в статье, показывают зависимость времени реакции пользователя на обнаружение и уровень видимости наблюдаемого объекта от изменения КЦТ основного, пери-

ферийных и мерцающих периферийных источников в виде количественной оценки параметров освещения *HCL*. Результаты эксперимента, проведённого в лаборатории университета Джадавпура, показывают, что при высоких значениях КЦТ время реакции на обнаружение объекта наблюдателями увеличивается, также как и при пульсации источников света. Однако пульсация не оказывает существенного влияния на уменьшение времени реакции на обнаружение объекта с увеличением значения КЦТ основного источника.

Ключевые слова: освещение, ориентированное на человека, *human centric lighting*, *HCL*, ЭЭГ, стандарты дорожного освещения, интеллектуальное уличное освещение, *smart street lighting*, КЦТ, пульсация, *flicker*

1. Введение

В большинстве своём, в Индии применяются устаревшие схемы уличного освещения и руководящие принципы. Суммарное количество уличных светильников в Индии к настоящему моменту достигает более 27 млн шт. Статистика показывает, что от 20 до 40 % электроэнергии идёт на цели уличного освещения. Как правило, в светильниках применяются традиционные источники света: металлогалогенные лампы (МГЛ), натриевые лампы высокого и низкого давления (НЛВД и НЛНД, соответственно) или компактные люминесцентные лампы (КЛЛ). Часто можно наблюдать, что уличное освещение включено даже днём, а также в ночное время, когда движения на улицах нет. Это приводит к потере огромного количества энергии. Кроме того, более 1 млн человек погибают и несколько 10 млн человек получают травмы в результате дорожно-транспортных происшествий

в ночное время по всему миру. Травмы в результате дорожно-транспортных происшествий (ДТП) – это девятая по значимости причина инвалидности до 2000 г. [1]. Индия занимает первое место в списке из 199 стран по количеству смертей в результате ДТП, и на её долю приходится 11 % смертей, связанных с несчастными случаями во всём мире. Число смертей в результате ДТП увеличилось на 59,116 % с 2005 по 2019 гг. и составило 151113 в 2019 г. [2]. Тематическое исследование, проведённое в 2014 г. в Тамилнаде², показывает, что визуальные факторы, такие как освещение и видимость, становятся причиной аварий в 47 % случаев [3]. Всё вышперечисленное показывает, что грамотное проектирование освещения для улиц, дорог и особенно магистралей в Индии необходимо для обеспечения безопасности и значительного снижения количества ДТП из-за факторов видимости. При этом в рамках национальной программы уличного освещения Индии (англ. *the Street Lighting National Program*, *SLNP*) уже было установлено 30 млн светильников на основе светодиодов (СД) по всей стране на различных участках протяжённостью 50000 км. Эта программа направлена на снижение общего энергопотребления всей страны и повышение энергоэффективности в уличном освещении. Тем не менее при проектировании уличного и дорожного освещения, а также системы управления в Индии возникает множество проблем из-за отсутствия надлежащего стандарта или рекомендаций. Также стоит отметить, что существующие рекомендуемые нормативные значения не имеют достаточного обоснования.

Международная комиссия по освещению (МКО) в стандарте 115–2010 «Дорожное освещение» (англ. *CIE115–2010 Road Lighting*) приводит две основные цели дорожного освещения: во-первых, обеспечить безопасное движение всем участникам дорожного движения, включая водителей автотранспортных средств, мотоциклистов, велосипедистов и водителей транспортных средств, запряжённых животными; и во-вторых, создать условия видимости пешеходам для обнаружения опасности, ори-

¹ Перевод Смирновой (Мешковой) Т.В.

² Примечание редактора: Тамилнад – штат на юге Индии.

ентации в пространстве, идентификации других пешеходов и повышения чувства безопасности. Третья цель заключается в повышении эстетики внешнего вид улиц в дневное и ночное время. Такие руководящие принципы, как *CIE115:2010*, *EN13201-1:2014*, *EN13201-2:2015*, *IESNA/ANSI RP-8:2014* и *BS5489-1:2013*, содержат рекомендации для количественных параметров освещения дорог. Однако эти рекомендации также не имеют достаточного обоснования. Европейские стандарты (англ. *the European standard, EN*) и рекомендации МКО классифицируются по группам пользователей: для автомобилистов и для пешеходов.

Индийский стандарт *IS: 1944* (части I и II)-1970 также предназначен для проектирования освещения для разных групп пользователей: для автомобилистов и для пешеходов. В существующем в Индии своде правил по проектированию уличного освещения приведены рекомендации по внешнему виду осветительной установки, дизайну применяемых светильников и поддержанию уже существующего художественно-декоративного стиля. На самом деле, этот свод правил основан на публикации МКО № 12 (E-33.1) 1965 г. (международные рекомендации по освещению магистралей общего пользования) и *BS CP1004*: части 1 и 2: 1963 – «Уличное освещение», выпущенного британским институтом стандартов. Однако в этих документах также нет рекомендаций по выполнению количественных параметров освещения применительно к Индии. И последнее, но не менее важное: освещение дорог – это обширная тема для обсуждения. Поэтому область исследования в настоящей статье ограничена уличным освещением.

Нормативные документы в области освещения в Индии не предусматривают проектирование и применение интеллектуальных систем управления. Кроме того, в них также не упоминается концепция *HCL*, поскольку на данный момент ещё недостаточно сформирован набор параметров и их числовые значения для создания освещения, ориентированного на человека, на улицах и дорогах. По этой причине в светотехнической лаборатории электротехнического факультета университета Джадавпур были проведены два эксперимента, в одном из которых анализируется влияние из-

менения КЦТ основного и периферийных источников на время реакции наблюдателей на распознавание объектов и уровень видимости, а в другом проводится анализ влияния частоты пульсации периферийного источника на время реакции способности наблюдателей распознавать объекты при изменении КЦТ основного источника, для оптимизации и проектирования ОУ уличного освещения. В первом эксперименте было обнаружено, что уровень адаптации и зрительная чувствительность повышаются при более высоких значениях КЦТ основного и периферийных источников, при этом среднее время реакции водителей значительно сокращается, а видимость цели малых размеров увеличивается [4]. Результаты второго эксперимента по измерению времени реакции и анализу поведения пользователя показали, что пульсация источников света на периферии зрения существенно увеличивает время обнаружения объекта [5].

В дальнейшем необходимо провести исследование по определению набора параметров, отвечающих концепции *HCL* в рамках уличного освещения, а также сделать количественный анализ этих параметров. После того, как всех необходимые параметры и их числовые значения будут определены, можно приступить к оптимизации уличного освещения.

2. Краткая история ранних стандартов дорожного освещения и их развития

Первые улицы были освещены старыми масляными фонарями в 1684 г. в Великобритании, когда лорд-мэр привёз из Лондона 24 фонаря и установил их на улицах Хай-стрит и Каугейт-стрит. После этого городской совет Эдинбурга установил масляные фонари там, где это было сочтено уместным, и в 1701 г. назначил фонариков для включения и поддержания освещения ночью. В 1786 г. городской совет Эдинбурга уже отвечал за техническое обслуживание 307 фонарей, которые устанавливались в течение 50 лет со дня появления первого фонаря на улицах города. В октябре 1820 г. комиссарами полиции города Эдинбурга был разработан общепризнанный стандарт «Технические характеристики чугунных столбов, фонарей и ламп для сжигания газа»

для уличного освещения Эдинбурга. Это был первый признанный стандарт или свод правил уличного освещения в Великобритании, а также во всём мире [6]. Этот свод правил подтолкнул к развитию исследовательскую деятельность, в результате которой были включены уже в следующую версию документа. В 1927 г. появилась британская стандартная спецификация 307 для уличного освещения, согласно которой классифицировалось 8 классов освещения в зависимости от минимальной высоты установки и максимального соотношения между пространством и высотой. Диапазон освещённости для этих 8 классов составил от 0,1 до 21,5 лк. Однако указанный диапазон не имел экспериментального обоснования и был эмпирическим. В 1928 г. свод правил был пересмотрен после эпохального эксперимента Вальдрама, в рамках которого были проведены натурные эксперименты на 52 установках в Шеффилде, Великобритания.

Ранние стандарты не включали расчётные показатели или параметры освещения, например, такие как освещённость, они скорее описывали характеристики ламп. Одним из ярких примеров был британский стандарт 1974 г. К счастью, появление компьютерных технологий сделало прорыв в области проектирования освещения и позволило легко решать сложные обратные задачи. В 1985 г. британский стандарт был пересмотрен на основе рекомендаций МКО, после чего был выпущен документ *CIE12.2:1977*.

Первый в Индии стандарт или свод правил уличного освещения был опубликован в 1961 г. Затем он был пересмотрен на основе рекомендаций МКО и британского стандарта в 1970 г. В новой версии свода правил говорилось, что за прошедшие годы количество автотранспортных средств, курсирующих по улицам городов Индии, значительно увеличилось. Кроме того, теперь доступны эффективные источники света для использования в установках уличного освещения, и уровни освещённости, ранее считавшиеся слишком высокими, могут быть достигнуты без увеличения энергопотребления. Секционный комитет счёл, что предписанные ранее значения освещённости на практике низкие, что побудило к их пересмотру и выпуску новой версии документа.

2.1. Условия уличного освещения для водителей

Водители во всём мире оцениваются как основные участники дорожного движения согласно различным типам стандартов дорожного освещения. В этом контексте в стандартах в основном используются 2 подхода: учёт зрительных функций и учёт ДТП [7]. Светотехническое общество Северной Америки (англ. *Illuminating Engineering Society of North America, IESNA*) использовало эксперимент Бокса в качестве экспериментальной основы для проектирования уличного освещения в Северной Америке и использует его до сих пор. Бокс проанализировал связь между изменениями освещённости и ДТП на автостраде протяжённостью 203 ми. Результат был поразительным: количество ДТП в ночное время может быть уменьшено в среднем на 40 % за счёт установки светильников на автострадах, но, если уровень освещённости превысит определённое значение, может возникнуть дискомфортная блёскость. Исходя из своего анализа, он рекомендовал уровень освещённости 5,4 лк для автострад [8]. Стоит отметить, что эксперимент был проведён только на одном типе дорог, а недавние исследования не подтверждают устойчивой взаимосвязи между уровнем освещённости и ДТП [9]. Несмотря на это, эксперимент Бокса стал основополагающим в современном экспериментальном подходе к уличному освещению, а также в современных стандартах дорожного освещения.

Первый шаг к созданию прочной экспериментальной базы как основы для проектирования уличного освещения для создания нормативов – это установление соответствующей фотометрической величины. Лучший кандидат для этого – яркость. Именно яркость определяет, насколько хорошо виден объект, не освещённость [7]. Яркость – это количество видимого света на единицу телесного угла в единицу времени на единицу площади в заданном направлении. Впервые яркость как фотометрический параметр была разработана в 1970-х гг. и признана МКО в документе *CIE30.2:1982* в 1982 г., а *IESNA* приняла её в стандарте *ANSI IESNA RP-8* в 1983 г. В процессе принятия метода яркости (англ. *luminance method*) были преобразованы все ранее использовавшие-

ся значения освещённости в значения яркости, учитывая классификацию дорожного покрытия. Дело в том, что яркость в любой точке улицы зависит от освещённости в этой точке и материала, из которого была сделана улица. В этом методе трудно определить точку наблюдения и направление обзора, а эти факторы очень важны для расчёта яркости [10]. Кроме того, у метода яркости имеются ограничения, поскольку отражательная способность дорожного покрытия – это переменная величина (отражательная способность поверхности зависит от характера поверхности, например, однородности материала, из которого изготовлена поверхность, погодных условий окружающей среды и угла, под которым поверхность освещается), которая также зависит от погодных условий. Ещё одно ограничение, с которым столкнулись, – это то, что яркость дорожного покрытия трудно измерить как с инструментальной, так и с технической точек зрения [11, 12]. Второй шаг заключается в определении того, как изменения яркости дорожного покрытия влияют на факторы визуальной и невизуальной эффективности (способность распознавать объект, время реакции и мышечный отклик). Очевидно, что увеличение яркости или уровня освещённости снижает смертность в ДТП и количество аварий за счёт того, что водители могут легко распознать опасное препятствие или объект в поле своего зрения при более высокой яркости, и соответственно, быстрее принять решение о торможении [9]. Адриан разработал модель видимости, основанную на обнаружении небольших объектов на дороге. Он определил конкретный небольшой объект и вычислил уровень видимости (англ. *visibility level, VL*) массива этих объектов, нашёл взвешенную функцию в виде единой матрицы и назвал её видимостью малой цели (англ. *small target visibility, STV*) [13]. Этот метод проектирования был включён в пересмотренный стандарт *ANSI IESNA RP-8* в 2000 г. Однако в дальнейшем он использовался только как критерий выбора ОУ при проектировании, поскольку в реальных условиях для измерений и оценки его фактически невозможно применять. Более того, в настоящий момент в качестве единственного критерия проектирования уличного освещения принята именно яркость, а освещённость исполь-

зуется в качестве средства проверки в полевых условиях. МКО в стандарте *CIE115:1995* представила две категории: *M*-категория и *P*-категория. *M*-категория включала в себя 5 классов для автомобилистов, а *P*-категория была введена для пешеходов. В 2010 г. МКО представила свой пересмотренный стандарт дорожного освещения *CIE115:2010*. В этом стандарте перечислены 6 классов как для категории *M*, так и для *P*, а сами классы определяются весовыми коэффициентами. Каждому классу соответствует определённый уровень яркости и её равномерности.

В *IS: 1944* (части I и II)-1970 все автомобильные дороги Индии были разделены на 6 групп (группа *A, B, C, D, E, F*), а две группы *A* и *B* были разделены на 2 подгруппы каждая, то есть подгруппы *A1, A2, B1, B2*, соответственно. Группы классифицируются по важности дорожного движения (в частности, плотности трафика), а свод правил рекомендует конкретные количественные значения освещённости для них. К сожалению, в этом документе в качестве основной фотометрической величины для целей проектирования по-прежнему используется освещённость, хотя яркость тоже указывается как важный параметр. Свод правил в Индии в основном нацелен на визуальный комфорт для водителей, а для пешеходов приводится несколько рекомендаций. Поэтому для успешного проектирования уличного освещения рассматриваются 4 фактора:

- 1) требования к водителям;
- 2) поле зрения водителя;
- 3) видимость;
- 4) ограничение слепящего действия и визуальный комфорт.

Первый фактор отвечает за хорошую видимость дороги, хорошие визуальные условия для управления автомобилем (в том числе ночью), быстрое распознавание объектов, хорошую видимость для распознавания силуэтов и непрерывного и равномерного освещения. Второй фактор отвечает за то, что любое препятствие или любое обстоятельство, приводящее к возникновению препятствия, должно быть чётко видно в поле зрения (поле зрения – это вся область, которую можно увидеть, когда глаза сфокусированы на одной точке) и гарантирует нашу сосредоточенность на яркости и контрастах на поле зрения. Третий фак-

Классификация осветительных установок и уровней освещённости согласно IS: 1944 (части I и II)-19

Классификация ОУ	Тип дороги	Средний уровень освещённости дорожного покрытия (лк)	Соотношение минимальной/средней освещённости	Общее (поперечное) изменение освещённости (%)
Группа A1	Важные транспортные маршруты с высокоскоростным движением	30	0,4	33
Группа A2	Другие основные дороги со смешанным движением, такие как главные городские улицы, автомагистрали, сквозные проезды и т.д.	15	0,4	33
Группа B1	Второстепенные дороги со значительным трафиком, такие как основные местные транспортные магистрали, торговые улицы и т.д.	8	0,3	20
Группа B2	Второстепенные дороги с ограниченным движением	4	0,3	20

тор напрямую связан с контрастами, при этом в своде правил указано, что поверхность, которая образует фон, в первую очередь, должна иметь высокую и равномерную яркость. Последний и четвёртый фактор касается повышения визуального комфорта и уменьшения яркости. Несмотря на то, что в стандарте много говорится о важности яркости и её влиянии на условия наблюдения на практике, освещённость используется в качестве основного показателя. В этом и заключается основное различие индийского стандарта с другими, следовательно подходы к проектированию в Индии также разнятся с общепринятыми мировыми. Поэтому индийский стандарт стал стагнирующим и требует пересмотра как можно скорее.

2.2. Условия уличного освещения для пешеходов

Основная роль уличного освещения для пешеходов заключается в том, чтобы дать им возможность идентифицировать опасное препятствие, сориентироваться и снизить уровень преступности против людей или имущества. Информация о достаточном уличном освещении для пешеходов представлена в виде рекомендаций для автомобилистов по обнаружению движения в непосредственной близости, описанных в стандарте британского института стандартов BS5489-1: 2013, Дорожное освещение: часть 1. В 1992 г. британский стандарт рекомендовали 3 класса освещения для второстепенных дорог. Стандартом

установлено 3 уровня освещённости для этих классов: 3,5, 6,0, и 10 лк. Указанные уровни освещённости были получены в результате масштабного полевого исследования, в ходе которого небольшая группа людей оценила уличное освещение в 24 населённых пунктах Великобритании по 9-балльной шкале категорий, описанной в BS5489-3: 1992, Дорожное освещение: часть 3. Однако из-за смещения диапазона стимулов не удалось получить фактические результаты. Смещение диапазона стимулов означает, что разный диапазон освещённости может соответствовать одной и той же оценке, например «хорошо», «плохо» и т.д. [14, 15]. В 1995 г. МКО привела 6 классов освещения с диапазоном от 1,5 до 20 лк. Европейский стандарт EN13201-2:2003 также утвердил 6 классов освещения для уличного освещения в 2003 г. Несмотря на то, что отсутствовали эмпирические данные, IESNA использовала аналогичные методы для определения 6 классов, подобных классам категории M в рекомендациях МКО. Позже эти стандарты были пересмотрены до EN13201-1:2014, EN13201-2:2015 и CIE115:2010 и стали практически идентичными. При этом количественные значения параметров, упомянутых в этих стандартах, не имели надлежащей экспериментальной основы, как говорилось ранее в статье, а также отсутствовали какие-либо указания по оценке пользовательских потребностей для создания условий освещения, ориентированного на человека. В табл. 1 приведена классификация

дорог в Индии и рекомендуемые значения освещённости, присвоенные каждому типу дорог.

3. Техническая революция

Мы живём в эпоху постмодернизма. Теперь в наших руках самые большие, интеллектуальные, эффективные и экономичные технологии. У нас есть компьютеры, которые могут легко решать сложные задачи за считанные секунды. Помимо этого, лампы или источники света также прошли колоссальный путь от масляных фонарей или газовых ламп до СД. У нас есть НЛВД, НЛНД и ДРЛ, а также другие «переходные» лампы. В отличие от НЛВД или НЛНД технология СД обладает прекрасным спектральным распределением мощности, очень низким временем запуска, а также СД можно управлять неограниченно. Вот почему традиционные источники света, такие как НЛВД и НЛНД, устаревают по прошествии десятилетия, а СД совершили революцию в светотехнической промышленности. Во-вторых, внедрение сумеречной (англ. *mesopic*) фотометрии изменило дорожную карту стандартов дорожного освещения. Несмотря на то, что условия освещения дороги в ночное время должны подпадать под сумеречное зрение, так как в этом случае для выполнения зрительной работы задействованы как палочки, так и колбочки, до настоящего момента для описания этих процессов использовалась только дневная (англ. *photopic*) фотометрия. Дневная фотометрия учитывает только реакцию

колбочковых фоторецепторов. Сумеречные зрительные реакции представляют собой взвешенную комбинацию дневных и ночных (англ. *scotopic*) реакций, которые описаны в виде сумеречной системы МКО [16]. В настоящее время продолжают исследования по надлежащему использованию сумеречной системы в дорожном освещении. В-третьих, огромный прогресс был достигнут в области технологий, связанных с освещением дорог. Открытие высокоточной системы *GPS* (глобальной системы позиционирования), интеллектуальных камер, интеллектуальных датчиков, приборов для измерения освещённости, мобильных устройств слежения за направлением глаз помогает нам получать различные данные о дорожном освещении. Кроме того, проведение поведенческих экспериментов открывают путь к пониманию реакций водителей и пешеходов [9]. Ещё одним открытием стало автономное транспортное средство (АТС), которое может передвигаться без участия человека и, соответственно, совершать торможение, что обещает снижение количества ДТП. Однако для применения АТС в реальной жизни требуется продолжение исследований, поскольку максимальное количество типов транспортных средств ещё не автономны [17].

4. Концепция *HCL*

4.1. Понятие освещения, ориентированного на человека

Последние разработки саму суть проектирования освещения и светового дизайна поднимают на новый уровень. В исследовательской зоне появился новый термин «освещение, ориентированное на человека» или англ. *human centric lighting, HCL*. Суть концепции *HCL* заключается в комплексном подходе к свету и освещению как посредникам визуальных, биологических и поведенческих реакций человека. На самом деле, концепция *HCL* сочетает в себе визуальное и не визуальное действие света на человека. В рамках концепции *HCL* можно настроить такие условия освещения, которые будут способствовать повышению настроения, улучшать самочувствие и здоровье, то есть концентрироваться на здоровье и самочувствии человека. Эту концепцию и подход также можно назвать челове-

ческим фактором в освещении. Свет – это основной стимул для работы биологических часов человека. Каждое утро свет перезапускает цикл сна-бодрствования человека и стимулирует супрахиазматическое ядро (англ. *suprachiasmatic nucleus, SCN*), ответственное за циркадный ритм [18]. Концепция *HCL*, опираясь на действие естественного освещения, и в совокупности со светодиодным освещением и системой управления – это будущее светотехники в ближайшие годы. Далее в статье будет использоваться уже устоявшаяся аббревиатура *HCL* [19]. Исходя из вышеописанного, концепция *HCL* включает в себя несколько аспектов или факторов. Ниже перечислены некоторые из них: циркадный ритм, настроение, острота зрения, восприятие, энергосбережение и экологическая безопасность, продуктивность и результативность работы. Предполагается, что в ближайшем будущем к упомянутому списку также присоединятся некоторые новые аспекты. Хотя *HCL*, динамическое освещение или циркадное освещение – это больше маркетинговые термины, общее у этих понятий и процессов – это изменение спектра или освещённости, или и того, и другого в течение 24-часового дня. Поэтому в этом случае более корректным будет использование термина «интегративное освещение», который был недавно предложен МКО. Но в настоящей статье для простоты понимания будет использоваться термин *HCL*.

4.2. Преимущества концепции *HCL*

Концепция *HCL* сочетает в себе визуальное и не визуальное действие света на человека для улучшения его здоровья, самочувствия и работоспособности. Преимущества применения *HCL* можно условно разделить на три группы:

- 1) визуальные: создание условий хорошей видимости, визуальный комфорт, безопасность;
- 2) биологические: повышение бдительности, концентрация, глубокий и стабильный цикл сна-бодрствования, управление когнитивными способностями;
- 3) эмоциональные: улучшение настроения, расслабление, управление импульсивными реакциями и проявлениями [20].

4.3. Применение *HCL* в дорожном освещении

Из предыдущего обсуждения очевидно, что свет оказывает прямое и косвенное влияние на функционирование нашего мозга, и, соответственно, за счёт оптимизации различных факторов при проектировании освещения можно достичь желаемой функции мозга. При проектировании дорожного освещения важные факторы – это обнаружение объектов, их распознавание и принятие решений водителями или пешеходами [21]. Таким образом, измерение функционирования этих когнитивных показателей во времени может дать нам обширные знания о том, как дорожное освещение может влиять на пользователей [22]. Результаты таких исследований могут стать основой для стандарта по интеллектуальному дорожному освещению, ориентированному на человека, поскольку будут содержать экспериментальную базу (т.е. необходимое и достаточное обоснование) для рекомендаций по количественным показателям освещения. Ещё один немаловажный аспект, который может быть рассмотрен и решён в рамках таких исследований, – это снятие неопределённостей и неточностей уже существующих стандартов дорожного освещения. Изучение временных процессов когнитивного функционирования любых пользователей лучше всего осуществлять с помощью измерения потенциала, связанного с событиями (англ. *event related potential, ERP*). Связанные с событием потенциалы – это изменяющееся значение напряжения, которое связано с конкретным когнитивным событием и измеряется с помощью электроэнцефалографии (ЭЭГ) [23].

4.4. Эксперименты по повышению эффективности вождения

Юкио Акаши с коллегами провёл полевое исследование, чтобы собрать фундаментальные данные о визуальных характеристиках при сумеречных уровнях освещения во время управления автомобилем. Испытуемые управляли транспортным средством по освещённой улице и в процессе выполняли задачу по принятию решения высокого порядка. Задача состояла в том, чтобы идентифицировать цель

вне оси, движущуюся по направлению к улице или от неё, и, соответственно, затормозить или ускорить движение. В эксперименте было создано 2 типа условий освещения. Первый тип условий создавался ОУ на основе 5 МГЛ 60 Вт, второй – ОУ на основе 5 НЛВД 60 Вт. Данные контролировались с помощью GPS и ИК-сенсорной системы, установленной на автомобиле для наведения на цель. Также для сравнения эксперимент проводился в дневное время. Результаты эксперимента показали, что время реакции как на торможение, так и на ускорение монотонно уменьшается с увеличением средней яркости. При этом средняя яркость подходит в качестве корректирующей переменной для характеристики уровней освещения для различных источников света в отношении сложной визуальной задачи. Однако стоит отметить, что эксперимент проводится с использованием морально устаревших источников света, светильников и, в целом, ОУ. Если провести подобный эксперимент с современными светильниками на основе СД, можно получить ещё более качественный и важный для отрасли анализ [24]. Хи с коллегами провёл эксперимент по сравнению времени реакции в условиях освещения НЛВД и МГЛ. Эксперимент показал, что более высокое соотношение S/P (англ. *scotopic/photopic ratio*, отношение световой отдачи источника света в условиях ночного зрения к световой отдаче в условиях дневного) создаёт более комфортные визуальные условия для водителей при уровне яркости менее $1,0 \text{ кд/м}^2$ [25]. Хиллс и др. выделил определяющие факторы для принятия решений при управлении автомобилем: задние фары, препятствие на дорожном покрытии и пешеходы. Хиллс количественно оценил эти факторы по разнице яркости между целью и фоном и визуальному размеру цели [26]. Также исследования показали, что уровень видимости VL – это важнейший фактор идентификации объектов водителями. VL – это отношение фактической разницы яркости между целью и фоном и разницы ранее указанной величины при пороговом значении. Было отмечено, когда значение $VL > 1,0$, цель начинает выделяться силуэтом [27]. Недавнее исследование показало, что $VL \geq 7,0$ обеспечивает обнаружение цели [28], а на обнаружение влияют размер, коэффи-

циент отражения и яркость цели [26]. Другое исследование, где для анализа результатов применялась ЭЭГ, показало, что водители лучше ориентируются и идентифицируют цель при освещении МГЛ по сравнению с освещением НЛВД. А также было отмечено сокращение времени реакции водителей при освещении МГЛ [25]. Все исследования, упомянутые в рамках данной статьи, и не упомянутые работы прямо указывают на то, что для разработки стандартов дорожного освещения нового поколения необходимо изучить и провести эксперименты с параметрами, непосредственно связанными с поведением водителей и пешеходов при выполнении визуальных и невизуальных задач. Решая эту задачу, в лабораторных условиях были проведены 2 эксперимента, описанные ниже.

4.5. Лабораторные эксперименты

В светотехнической лаборатории электротехнического факультета университета Джадавпур был проведён эксперимент по исследованию влияния изменения КЦТ основного и периферийных источников на время реакции наблюдателей, уровень видимости VL и видимость малой цели STV для обнаружения объектов. Также во время проведения эксперимента задачей наблюдателей была оценка сцены освещения. Для контроля экспозиции в сочетании с устройством под управлением *Arduino* для измерения времени реакции участников обоих экспериментов использовалось специальное стекло с активным затвором. Объекты случайным образом размещались в заранее определённых точках сетки под основным источником для конкретной сцены освещения, после чего фиксировалось время реакции. Различные визуальные условия в сцене освещения создавались путём изменения КЦТ периферийных источников на 3 уровнях при 1 уровне КЦТ основного источника. В первом эксперименте использовалось 4 уровня КЦТ основного источника. Для измерения уровня яркости использовался яркомер *LS-100*, на основании полученных данных рассчитывались VL и STV . В этом эксперименте было обнаружено, что уровень адаптации и зрительная чувствительность повышаются при более высоких

значениях КЦТ основного и периферийных источников, при этом среднее время реакции водителей значительно сокращается, а видимость цели малых размеров увеличивается [4].

Для исследования влияния КЦТ периферийных источников на распознавание объектов был проведён второй эксперимент. В эксперименте приняло участие 20 здоровых людей с нормальными неврологическими и метаболическими функциями. Эксперимент проводился для 2 типов условий освещения при 4 уровнях КЦТ источника света. В качестве результатов исследования фиксировались данные о реакции/времени отклика, а также о восприятии цвета объекта в различных условиях освещения. На основании полученных данных было выявлено, что КЦТ источника света влияет на время отклика (реакцию) пользователя [29].

Также был проведён эксперимент по исследованию времени реакции на распознавание объектов в условиях пульсаций с участием 10 психологически здоровых людей без каких-либо отклонений. В эксперименте были созданы условия с 5 уровнями характерных частот пульсации периферийных источников при 4 уровнях КЦТ основных источников. Результаты показали, что пульсации оказывают сильное влияние на распознавание объектов человеком. При этом для достижения приемлемого времени распознавания объектов частота пульсаций не должна превышать 5 Гц [5].

Для изучения вероятных временных процессов в головном мозге при обнаружении объектов в условиях освещения МГЛ и НЛВД было проведено ещё одно лабораторное исследование. Данные о процессах в головном мозге снимались с помощью ЭЭГ. Согласно топографическим графикам активности мозга, связанной с событиями, обнаружение объектов происходило быстрее в условиях освещения МГЛ по сравнению с НЛВД. Кроме того, были обнаружены значительные различия в активности кожи головы [22].

В ходе этого исследования был вновь тщательно проведён поведенческий и углублённый анализ состояния испытуемого, управляющего транспортным средством в условиях имитируемого дорожного освещения, освещаемого НЛВД и МГЛ. Для изучения потенциальных временных процессов

и существенных изменений в распределении мозговых волн для идентификации объекта, расположенного по оси (фовеально), вместе рассматривались ЭЭГ и данные о времени реакции водителя. Результаты показали, что из 2 типов ламп предпочтительной оказалась МГЛ, так как спектр МГЛ лучше влияет на когнитивные функции человека [30].

Недавно был открыт новый метод энергосбережения для уличного освещения, получивший название «переключение угла светового пучка» (англ. *beam angle switching*). Новый метод был проверен в экспериментальных условиях, в ходе которых исследовалась реакция водителей при обнаружении объектов в различных условиях освещения, таких как «пржектор», «встречное движение» и «номинальная работа» светильника на основе СД (англ. *pro, counter, и full glow*, соответственно). Эксперимент проводился на моделируемой дороге, и оценивались такие параметры как зрительная работоспособность и показатели энергосбережения, чтобы продемонстрировать жизнеспособность нового метода [31].

5. Умное освещение как часть HCL

Понятие «умное освещение» или интеллектуальное освещение, как и концепция HCL, произвели революцию в светодизайне и светотехнической отрасли в целом. На самом деле, интеллектуальное освещение можно рассматривать как часть HCL [32]. Кроме того, интеллектуальность может быть использована для разработки эффективного стандарта дорожного освещения, ориентированного на потребление энергии. В этой статье ранее обсуждалось, что HCL и исследования на его основе могут дать чётко определённую экспериментальную основу для рекомендаций по количественным параметрам освещения. Для лучшего понимания далее рассмотрим некоторые исследовательские разработки в области интеллектуального освещения.

Ранее была предложена система уличного освещения со встроенной функцией обнаружения транспортных средств, которая включает в себя калькулятор окупаемости (расчёт срока окупаемости включает в себя светильники, люминесцентные лампы,

различные приспособления и альтернативы для замены) *Wipro Lighting*, специально разработанный для расчёта окупаемости систем дорожного освещения. Система оснащена ИК-датчиками для обнаружения движения и другими датчиками для регулирования яркости. Система использует микроконтроллер 8051 для управления и технологию ШИМ для регулирования яркости [33]. Исследовательской группой во главе с Никола Тривеллин была предложена усовершенствованная система освещения на основе белых СД с возможностью изменять КЦТ в широком диапазоне, при этом разумно изменяя спектральную плотность мощности в синюю область с высоким значением CRI [34]. Анджем Ожадовичем и коллегами предложена интеллектуальная система уличного освещения, работающая по протоколу *LonWorks* (стандарт *ISO/IEC EN14908*), а функциональные схемы основаны на 4 классах эффективности систем автоматизации и управления зданиями (англ. *building automation and control systems, BACS*), определённых в стандарте *EN15323* [35].

Новым аспектом интеллектуального уличного освещения стало обнаружение транспортных средств или пешеходов с помощью камеры и интеллектуального управления. Ранее интеллектуальные системы использовали датчики присутствия, такие как ИК-датчик (англ. *infra-red*), для обнаружения движения объекта и принятия соответствующих мер. Теперь для прямого распознавания объектов можно использовать камеру, а также чтобы избежать ложного срабатывания системы. Так для управления освещением разработан прототип системы на базе камеры для проверки положения, в которой система использует простую цифровую камеру на базе CMOS и ν -лямбда-фильтр для определения яркости целевой области. Преимущество такой системы заключается в сокращении количества датчиков присутствия, поскольку камера сама работает как датчик присутствия. Она также может измерять освещённость, температуру и влажность [36]. Однако недостатком стало то, что система не смогла распознать пассажиров, что привело к ложному срабатыванию.

Из чего сделан вывод, что алгоритм распознавания пассажиров не был полностью надёжным и требует доработки. А также система не учитывала естественное освещение. Каррильо с коллегами предложил аналогичный тип интеллектуальной системы, в которой они использовали веб-камеру в качестве измерителя яркости и управляли освещением в витрине магазина. Их алгоритм управления был надёжным в отличие от предыдущей системы и корректно работал при любом освещении. Это было единственное отличие от предыдущей системы [37]. Была разработана другая система, в составе которой использовалась только одна камера. Эта камера работала как датчик освещённости, так и датчик движения. Здесь камера использовала адаптивную модель гауссовой смешанной системы (англ. *adaptive gaussian mixture model, AGMM*) для обнаружения нескольких объектов и нацеливания определённого светильника на основе СД на сам объект. Таким образом, световое пятно могло следовать за объектом [38]. Однако предложенная система по-прежнему была не способна распознавать объекты. Анна Мерин Джордж и др. предложила систему на базе программируемых логических интегральных схем *Spartan 3*, которая может управлять уличным освещением, оценивая плотность движения и яркость дорожного покрытия [39]. Другой метод обработки изображений был реализован для мониторинга и обнаружения неисправностей уличного освещения с использованием архитектуры программируемых пользователем вентильных матриц (англ. *FieldProgrammable Gate Arrays, FPGA*), которые позволяют обнаруживать и распознавать такие объекты как человек [40]. Ведавьяса Каматх и др. предложили систему на базе *Raspberry-Pi³*, которая может обнаруживать человека как объект распознавания и после того, как объект распознан, посылает команды управления уличными светильниками [41]. Также недавно была предложена система динамического управления уличным освещением на базе легковесной глубокой нейронной сети. Эта система может легко обнаруживать и распознавать пешеходов или автомобиль

³ Прим. ред.: *Raspberry Pi* – одноплатный компьютер размером с банковскую карту, изначально разработанный как бюджетная система для обучения информатике, но позже получивший более широкое применение и известность.

и соответствующим образом управлять освещением [42].

Вышеописанные тенденции исследований в области интеллектуальных систем уличного освещения на базе камер показывают, как легко можно получать данные о яркости дорожного покрытия и трафике в реальном времени. Что, в свою очередь, может лечь в основу разработки новых стандартов дорожного освещения или пересмотра старых. Кроме того, исходя из этих собранных данных и знаний, определение целесообразности может быть изменено с параметров освещения и энергоцентризма на человекоцентризм, где параметры освещения и другие параметры будут оптимизированы или контролироваться с помощью измеренных параметров, ориентированных на человека.

6. Подход к разработке политики для программы интеллектуального уличного освещения

Весьма примечательно, что правительство Индии в целях повышения качества освещения на своих улицах и дорогах уже ведёт модернизацию ОУ с традиционными светильниками и источниками света, заменяя их светильниками на основе СД. Национальная программа уличного освещения Индии была запущена в 2015 г., и стала крупнейшей в мире программой замены уличного освещения наряду с программой «*Unnat Jyoti – Доступные светодиоды для всех*» (сокр. *UJALA*), крупнейшим в мире проектом по внутреннему освещению, возглавляемой и реализуемой энергосервисной компанией правительства Индии (англ. *Energy Efficiency Services Limited, EESL*), совместным предприятием государственного сектора при Министерстве энергетики Индии. В рамках этой программы уже установлено 1,03 млн светильников на основе СД, что позволяет, по оценкам, экономить энергию в размере 6,97 млрд кВт×ч в год при минимальном потреблении электроэнергии в 1161 МВт. Несмотря на все эти усилия, Индии предстоит пройти долгий путь по модернизации старой системы уличного освещения, используя инновационные интеллектуальные решения и современные светотехнические технологии. При этом энергосервисная компания правительства Индии долж-

на включить в программу такие важные аспекты в области проектирования уличного освещения, как перечислены ниже.

1. Индийский стандарт уличного освещения должен включать подход, ориентированный на человека. В рамках концепции *HCL* следует проанализировать влияние различных сценариев освещения на водителей и пешеходов. Необходимо измерить различные параметры, ориентированные на человека, такие как время реакции, уровень видимости, видимость малой цели, контрастность и т.д., а ОУ уличного освещения должна быть спроектирована и оптимизирована в соответствии с результатами анализа. Это может значительно сократить количество ДТП в ночное время, создать комфортные и безопасные визуальные условия для водителей и пешеходов в тёмное время суток, а также снизить уровень преступности в ночное время.

2. В настоящем стандарте также должен быть изменён базовый параметр проектирования уличного освещения: вместо освещённости яркость. На базе нового параметра необходимо создать новую классификацию улиц и дорог в Индии, и на уровне правительства дать руководящие указания по проектированию ОУ на основе нового параметра. Кроме того, необходимо ввести классификацию улиц по объёму энергопотребления ОУ для применения системы управления с целью повышения энергоэффективности [43].

3. Для конкретной зоны освещения должна быть установлена центральная система управления (диспетчерский пункт), которая позволяет дистанционно контролировать ОУ, включая управление временем включения и выключения, или снижать мощность светильника, обеспечивая гибкие режимы диммирования.

4. Немаловажный аспект – это утилизация отходов после модернизации существующей ОУ. В стандарте должны появиться правительственные рекомендации и инициативы, определяющие порядок и правила переработки ламп, содержащих ртуть (ЛЛ, ДРЛ, КЛЛ и т.д.), и утилизации других отходов, таких как лампы накаливания или светильники.

Кроме того, после внедрения компонентов управления уличные светильники должны быть подключены через беспроводную сеть, такую как

Zigbee, или через приложение на базе интернета вещей для правильной передачи состояния системы или неисправностей в диспетчерский пункт центральной системы управления. Система уличного освещения может быть оснащена системой мониторинга погоды для мониторинга ключевых погодных характеристик, таких как туман, уровень естественной освещённости, влажность, температура, для дальнейшего использования в разработке или исследованиях.

7. Обсуждение

В настоящей статье обсуждались различные аспекты стандартов дорожного освещения, включая концепцию *HCL*, интеллектуальное уличное освещение, их разработки и использование камеры в качестве датчика освещённости и распознавания объектов. Всё вышесказанное позволяет утверждать, что для создания обоснованных рекомендаций по количественным параметрам освещения дорог необходимо понимание когнитивных и визуальных характеристик водителей транспортных средств и пешеходов в различных условиях освещения. Такие данные можно получить, исследуя функционирование мозга пользователей во времени с помощью ЭЭГ в процессе поведенческого или тематического эксперимента. Полученные результаты позволят спроектировать надёжную интеллектуальную энергоэффективную систему уличного освещения. Подобный эксперимент на основе данных ЭЭГ был описан выше в статье, а его результаты показали, что обнаружение объекта происходит быстрее при освещении МГЛ, чем НЛВД. В настоящей статье обсуждалась важность такого рода исследования временных процессов на основе ЭЭГ для оценки визуальных и невизуальных реакций человека, а ЭЭГ рассматривалась как будущая метрика для определения условий освещения, ориентированных на человека, и дальнейшей оптимизации ОУ на основании них [22].

Индийский стандарт дорожного освещения 1944 (части I и II)-1970 не определил надлежащей экспериментальной основы или показателя, на основе которого свод правил дорожного освещения давал бы рекомендации по количественным параметрам. Хотя в нём описывалась польза метода яркости, для проектирования все рав-

но используется метод освещённости для простоты подхода, несмотря на то что он приводит к ошибочному анализу. Более того, в этом документе не учитываются пешеходы. Рекомендации по дорожному освещению для пешеходов ограничиваются дорожными переходами. Все это указывает на то, что индийский свод правил нуждается в пересмотре. Достаточно много направлений и параметров необходимо добавить в новую версию свода правил дорожного освещения. В основу должен лечь подход, ориентированный на человека, или концепция *HCL*. В ходе масштабного полевого исследования Ли и соавторы установили систему сбора данных в 2500 автомобилях в 7 штатах США. Каждая поездка отслеживалась, а данные фиксировались и сохранялись. Полученная в результате база данных обеспечила обширную базу данных о поведении водителей в США. Этот экспериментальный метод может быть применён и к Индии. Создание такой базы данных о поведении водителей потенциально может стать основным двигателем исследований в области дорожного освещения в Индии.

Заключение

Нормативные документы в области освещения, и, в частности, освещения улиц и дорог, должны учитывать процессы адаптации. Для начала необходимо определить краткосрочные и долгосрочные аспекты проектирования дорожного освещения, влияющие на водителей и пешеходов. А далее пересмотреть свод правил согласно новым данным. Индийский стандарт дорожного освещения – это устаревший документ, датируемый 1970-ми гг. С тех пор эволюция в области светотехники привнесла в нашу жизнь новое поколение источников света, светильников и систем управления. А новая версия свода правил дорожного освещения в Индии должна учитывать современные реалии. Кроме того, одним из первоочередных направлений для включения в новую версию должны стать рекомендации для создания условий освещения для пешеходов на дорогах. Для этого исследователям необходимо изучить поведенческие модели пользователей дорожного освещения для дальнейшего применения в проектировании. Результаты первого эксперимента, про-

ведённого в лаборатории университета Джадавпура, показали, что при высоких значениях КЦТ основных и периферийных источников время реакции для обнаружения объектов наблюдателями увеличивается, а также пульсации действуют как раздражающий блёский фактор и увеличивают время реакции, но пульсации не оказывают существенного влияния на уменьшение времени реакции для обнаружения объектов наблюдателями с увеличением значения КЦТ основного источника. Также было показано, что видимость малой цели также растёт с увеличением КЦТ основных и периферийных источников. Для исследования зависимости визуальных и не визуальных реакций пользователей от освещения дороги может быть использована ЭЭГ. Данные от ЭЭГ позволяют подготовить достаточное обоснование для рекомендаций по количественным параметрам освещения. Таким образом, разработка новой версии стандарта дорожного освещения может быть построена на базе концепции *HCL*. К настоящему моменту бюро индийских стандартов (англ. *Bureau of Indian Standards, BIS*) уже сформировало 44 электротехнических подразделения (англ. *Electrotechnical Divisions, ETD*) для пересмотра всех электротехнических стандартов. Как и подразделение 4 МКО, бюро индийских стандартов также имеет 49 электротехнических подразделения и 23 электротехнических подразделения для пересмотра стандартов освещения. Ожидается, что работа электротехнических подразделений приведёт к скорейшему выпуску нового стандарта дорожного освещения в Индии.

Благодарности

Авторы хотели бы выразить признательность руководству и коллективу светотехнической лаборатории факультета электротехники Университета Джадавпур за предоставление инфраструктурной поддержки для проведения этой обзорной работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Peden, M., Richard, S., Sleet, D., Mohan, D., Hyder, A.A., Jarawan, E., Mathers, C. World Report on Road Traffic Injury Prevention // World Health Organization, 2004.
2. Transport Research Wing. Ministry of Road Transport and Highways / Govt. of India. Road Accidents in India – 2019.

3. Pitchipoo, P., Sivaprakasam, R. Analysis of Prime Reasons for Night Time Accidents in Public Transport Corporations // Proceedings of International Conference on Advances in Industrial Engineering Applications (ICAIEA2014), 2014, # January 6–8.

4. Goswami, A.D., Roy, J., Naskar, A., Chakrabarty, S. A Laboratory based Study on the Effect of CCT Change of LED Light Sources on Reaction Time and Visibility Level for Object Recognition // Optik, Elsevier, Volume In press, Available online 25 May 2022, 169353.

5. Goswami, A.D., Chakrabarty, S., Ghosh, B., Roy, J., Naskar A. A laboratory-based study on the effect of peripheral flickering LED sources on reaction time of drivers for object recognition // Optik, 2023, # 273, 170428 p.

6. A History of Street Lighting in the Old and New Towns of Edinburgh World Heritage Site. Khrystyna Shakhmatova, Krzysztof Jan Chuchra, Steve Francey, original research by Andrew Kerr, February, 2012.

7. Fotios, S., Gibbons, R. Road lighting research for drivers and pedestrians: The basis of luminance and illuminance recommendations // Lighting Res. Technol., 2018, Vol. 50, pp. 154–186.

8. Box, P.C. IERI Project 85–67: Relationship between illumination and freeway accidents // Illuminating Engineering 1971, Vol. 66, # 5, pp. 365–393.

9. Gibbons, R., Guo, F., Medina, A., Terry, T., Du, J., Lutkevich, P., Corkum, D., Vetere, P. Report no. FHWA HRT 14050. Guidelines for the Implementation of Reduced Lighting on Roadways // Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg: Federal Highway Administration, 2014.

10. Sorensen, K. Report 10: Road Surface Reflection Data // Lyngby, Denmark: The Danish Illuminating Engineering Laboratory, 1975.

11. Gordon, P. Control measurements for road lighting // Lighting Research and Technology, 1987, Vol. 19, pp. 97–99.

12. Frederiksen, E., Gudum, J. The quality of street lighting installations under changing weather conditions // Lighting Research and Technology, 1972, Vol. 4, pp. 90–96.

13. Adrian, W. Visibility of targets: Model for calculation // Lighting Research and Technology, 1989, Vol. 21, pp. 181–188.

14. Fotios, S., Castleton, H. Specifying enough light to feel reassured on pedestrian footpaths // Leukos, 2016, Vol. 12, pp. 235–243.

15. Kent, M.G., Fotios, S., Cheung, T. Stimulus range bias leads to different settings when using luminance adjustment to evaluate discomfort due to glare // Building and Environment, Elsevier, 2019, Vol. 153, pp. 281–287.

16. Commission International de L'E'clairage. Recommended System for Visual Performance Based Mesopic Photometry. CIE191:2010. Vienna: CIE, 2010.

17. Leuttel, T., Himmelsbach, M., Wuensche, H.J. Autonomous ground vehicles – concepts and a path to the future // Proceedings of the IEEE, 2012, Vol. 100, pp. 1831–1839.

18. Rea, M.S., Figueiro, M.G., Bullough, J.D. Circadian photobiology: an emerging framework for lighting practice and research // Lighting Res. Technol., 2002, Vol. 34, # 3, pp. 177–190.

19. Houser, K.W., Boyce, P.R., Zeitzer, J.M., Herf, M. Human-centric lighting: Myth, magic or metaphor? // Lighting Res. Technol., 2020, # 0, pp. 1–22.

20. International Association of Lighting Designers (IALD), LightingEurope. Joint position paper on Human Centric Lighting. February, 2017.

21. Fotios, S., Cheal, C. Obstacle detection: A pilot study investigating the effects of lamp type, illuminance and age. // Light. Res. Technol., 2009, Vol. 41, # 4, pp. 321–342.

22. Biswas, R., Chakraborty, S., Nath, P. Laboratory Based EEG Study to Investigate the Influence of Light Sources on Brain Processing for Detection of Object Designed with Metal Halide and High-pressure Sodium Lamp // Journal of Science and Technology in Lighting, 2017, Vol. 41.

23. Pivik, R.T., Broughton, R.J., Coppola, R., Davidson, R.J., Fox, N., Nuwer, M.R. Guidelines for the recording and quantitative analysis of electroencephalographic activity in research contexts // Psychophysiology, 1993, Vol. 30, # 6, pp. 547–558.

24. Akashi, Y., Rea, M.S., Bullough, J.D. Driver decision making in response to peripheral moving targets under mesopic light levels // Lighting Research and Technology, 2007, Vol. 39, pp. 53–67.

25. He, Y., Rea, M., Bierman, A., Bullough, J. Evaluating light source efficacy under mesopic conditions using reaction times // Journal of the Illuminating Engineering Society, 1997, Vol. 26, pp. 125–138.

26. Hills, B.L. Visibility under night driving conditions: Part 3 // Lighting Research and Technology, 1976, Vol. 8, pp. 11–26.

27. Bacelar, A., Cariou, J., Hamard, M. Calculational visibility model for road lighting installations // Lighting Research and Technology, 1999, Vol. 31, pp. 177–180.

28. Buyukkinaci, B., Onaygil, S., Guler, O., Yurtseven, M.B. Determining minimum visibility levels in different road lighting scenarios // Lighting Research and Technology, 2017, Vol. 1.

29. Chakraborty, S., Pallav, D., Sounak, D., Sayed N.A. A laboratory-based study on influence of peripheral source on On-axis object detection under different correlated color temperatures // Optik, 2022, # 249, 168258 p.

30. Chakraborty, S., Ray, D., Palit, I. An EEG based comparative study on driver's performance under the influence of metal halide and high-pressure sodium lighting // Optik – International Journal for Light and Electron Optics, 2021, # 245, 167676 p.

31. Chakraborty, S., Goswami, A.D., Mazumdar, S. Beam controlled lighting design: An approach towards optimization of road lighting design // Optik, 2022, # 261, 169165 p.

32. Boyce, P. Editorial: Exploring human-centric lighting // Lighting Res. Technol., 2016, Vol. 48, 101 p.

33. Subramani, C., Surya, S., Gowtham, J., Chari, R., Srinivasan, S., Siddharth, J.P., Shrimali, H. Energy efficiency and pay-back calculation on street lighting systems // AIP Conference Proceedings, 2019, # 2112, 020082 p.

34. Trivellini, N., Meneghini, M., Ferretti, M., Barbisan, D., Dal Lago, M., Meneghesso, G., Zanoni, E. Effects and exploitation of Tunable White Light for circadian rhythm and human-centric lighting // IEEE, 2015, 978–1–4673–8167–3/15/\$31.00.

35. Ożadowicz, A., Grela, J. Energy saving in the street lighting control system – a new approach based on the EN-15232 standard // Energy Efficiency, 2017, Vol. 10, pp. 563–576.

36. Newsham, G.R., Arsenault, C. A camera as a sensor for lighting and shading control // Lighting Res. Technol., 2009, Vol. 41, pp. 143–163.

37. Carrillo, C., Diaz-Dorado, E., Cidrás, J., Bouza-Pregal, A., Falcón, P., Fernández, A., Álvarez-Sánchez, A. Lighting control system based on digital camera for energy saving in shop windows // Energy and Buildings, 2013, Vol. 59, pp. 143–151.

38. Ngoc, G.P., Lee, S.H., Kwon, K.R. Automatic LED Lighting System Using Moving Object Detection by Single Camera / Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2014.

39. George, A.M., George, M.A., Varghese, S.G. Camera Based Street Light Control System on FPGA Platform // Proceedings of 2015 International Conference on Green Buildings, Civil and Architecture Engineering (ICGBCAE'15) Dubai, 2015, # Dec. 25–26, pp. 120–126.

40. Chakrapani, D.N.B., Padma, Sai Y., Naveen Kumar, V., Archana Bhanke, K. Street Light Data Acquisition Using VLSI Based Object Recognition // International Conference on Computational Intelligence and Computing Research, IEEE, 2016.

41. Kamath, V., Padiyar U. S., Bhattacharjee, S., Charan Reddy Nayini, S. Camera Based Occupancy Detection and Lighting Control // International Journal of Engineering & Technology, 2018, Vol. 7, # 4.41, pp. 211–214.

42. Baek, J.W., Choi, Y.W., Lee, J.G., Lim, K.T. Edge Camera based Dynamic Lighting Control System for Smart Streetlights // ICAIIC, IEEE, 2020.

43. Chakraborty, S., Ray, D., Mazumdar, S. Introduction of A New Lighting Class for Motorized Roads in Indian Scenario // Light & Engineering, 2021, Vol. 29, # 2, pp. 39–49.



Айшварья Дев Госвами (Aiswarya Dev Goswami), М. Е. Аспирант факультета электротехники

Университета Джадавпур. Научные интересы включают интеллектуальные системы освещения,

системы освещения, ориентированные на человека, электронное управление интеллектуальными системами освещения



Суддхасатва Чакраборми (Suddhasatwa Chakraborty),

Ph. D. Доцент и ведущий светотехнической лаборатории факультета электротехники Университета Джадавпур. Помимо академической работы, активно участвует в различных исследовательских проектах. Область научных интересов в основном охватывает уличное

освещение, освещение, ориентированное на человека, и человеческий фактор в освещении

Учёные создали материалы с многоволновым излучением для светодиодов и лазеров

Нанокристаллы перовскита, состоящие из ионов цезия, свинца и галогенов, таких как хлор, бром и йод, находят широкое применение при разработке и производстве СД и лазеров. Они поглощают УФ излучение и затем переизлучают его в виде света с определённой длиной волны. При этом цвет и интенсивность свечения перовскитов можно контролировать путём обработки их прекурсорами – источниками ионов ряда химических элементов. Однако синтез легированных (с добавлением ионов) наноструктур перовскитов проводится при высоких температурах, что может приводить к нарушению кристаллической структуры образцов и негативно влияет на их оптические свойства.

Учёные из Университета ИТМО, Городского университета Гонконга и Санкт-Петербургского государственного университета получили образцы, легированные ионами иттербия при комнатной температуре. Для этого они синтезировали наноструктуры перовскита, а уже затем добавляли к ним раствор, содержащий ионы иттербия. Они встраивались в структуру перовскитов, что привело к появлению ИК излучения. Изменение количества добавляемых прекурсоров позволило точно настраивать оптические свойства создаваемых образцов. Так, чем больше добавлялось раствора иттербия, тем интенсивнее становилось свечение.

Авторы детально исследовали оптические свойства образцов и установили, что увеличение степени легирования приводило к повышению интенсивности люминесценции в ближнем ИК диапазоне спектра. Важно, что нанокристаллы сохраняли свою форму и кристаллическую структуру после обработки.

Далее исследователи расширили свой подход для его использования с другими ионами. Для этого они обрабатывали нанопластины перовскитов прекурсорами, содержащими ионы марганца, в результате чего были получены образцы с полосой люминесценции в красной области спектра, что интересно для создания разных типов СД.

В заключительном эксперименте авторы использовали два прекурсора – растворы, содержащие ионы иттербия и марганца. Такой подход совместного легирования позволил получить образцы с излучением в трёх разных диапазонах спектра. При этом регулирование соотношения добавляемых прекурсоров дало возможность контролировать степень обработки нанокристаллов, тем самым настраивая их оптические свойства.

Разработанная технология существенно упростит использование перовскитов в области оптоэлектроники и полупроводниковых источников излучения.

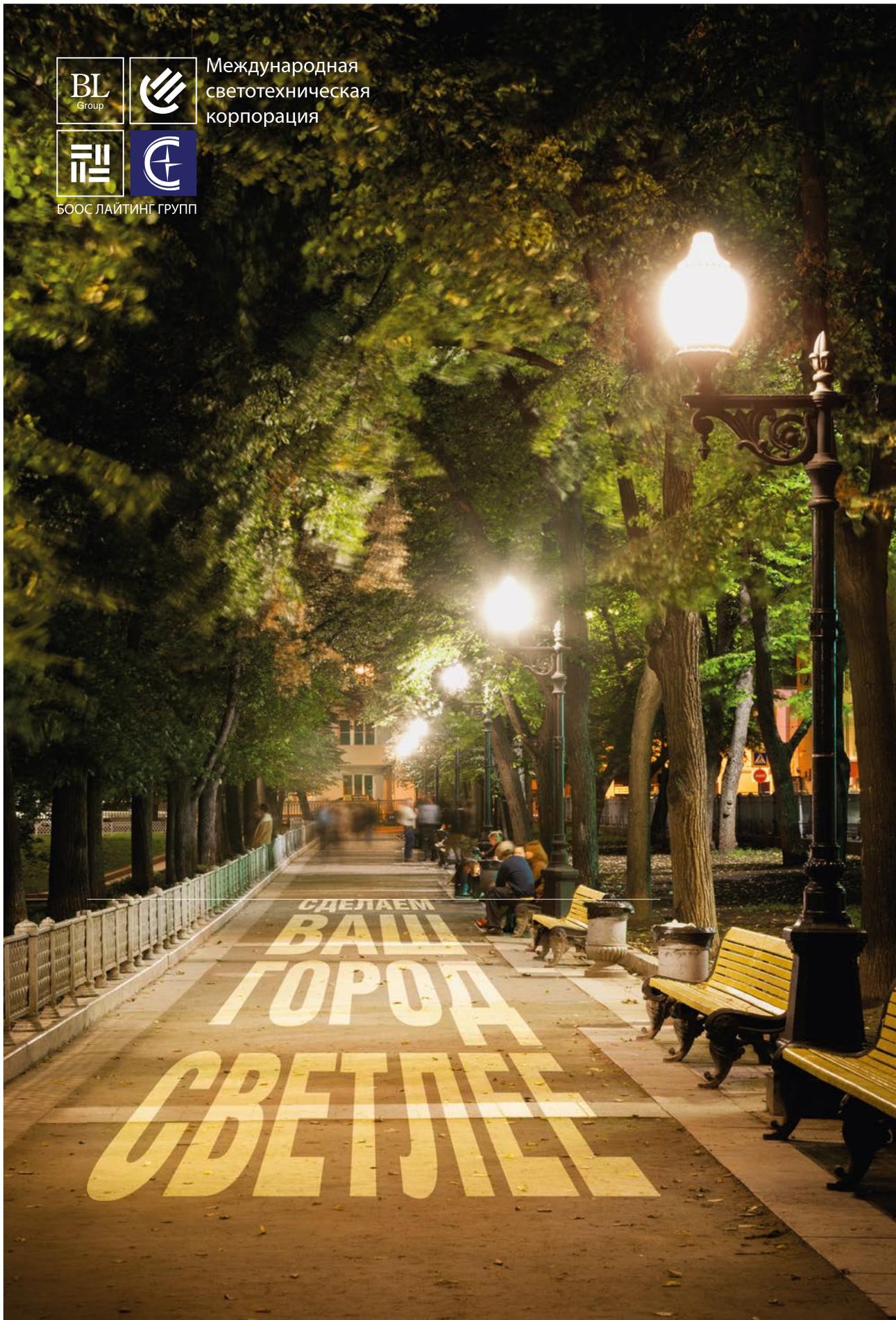
indicator.ru
07.06.2023



Международная
светотехническая
корпорация



БООС ЛАЙТИНГ ГРУПП



Обеспечение визуального комфорта и повышение качества обзора в помещениях с различным остеклением¹

И. КОГУЛ¹, Х.Э. ДЮРАН², З.Т. КАЗАНАСМАЗ¹

¹Кафедра архитектуры, факультет архитектуры, Измирский технологический институт, Турция

²Кафедра городского и регионального планирования, факультет архитектуры, Измирский технологический институт, Турция

*Email: ilgincataroglu@iyte.edu.tr

Аннотация

Окна – это такие элементы, которые способны одновременно как впускать, так и выпускать свет и воздух снаружи. А вид из окон влияет на восприятие нами среды внутри помещений. Визуальный комфорт – это ключевая задача при создании качественных внутренних пространств. Тип остекления в помещениях с естественным освещением становится очень важным для комфорта. По мере развития технологий остекления расширяются и возможности, доступные пользователям. Цель настоящего исследования заключается в анализе влияния различных типов остекления и вида за окном на восприятие и удовлетворённость пользователя интересом, а также на применяемые приёмы и принципы дизайна интерьера при проектировании и строительстве. В программе *Relux* были созданы модели помещений с различным коэффициентом пропускания (20, 50 и 90 %), цветом остекления (голубой и жёлтый) и видами из окон (улица и пейзаж). Далее полученные визуализации сцен освещения оценивались по бальной шкале. Всего в опросе приняли участие 40 человек. Статистический анализ проводился с использованием *Stata* и *EViews*. В качестве результатов расчёта в *Relux* были получены значения яркости и освещённости, которые в дальнейшем использовались для количественной оценки и связи с оценочной шкалой. Эксперимент показал, что с увеличением коэффициента пропускания количество людей, которые находят помещение привлекательным, и качество обзора снижаются, но при этом окружающая среда кажется им более светлой. При использовании тонированного остекления пользователи отмечают помещения как интересные, но

при этом привлекательность и качество обзора снижаются. Вид из окна на пейзаж вместо вида на улицу создаёт более интересную, визуально привлекательную обстановку внутри и повышает удовлетворённость обзором всего помещения (сцены).

Ключевые слова: тонированное остекление, естественный свет, коэффициент пропускания, качество обзора, визуальный комфорт, вид из окна

1. Введение

Естественное освещение – это один из ключевых способов для повышения энергоэффективности и экологичности зданий. Поскольку это основной источник света, помимо искусственного освещения, который задействует зрительную реакцию человека и реалистично передаёт цвета. Уже доказано, насколько важен естественный свет для человека [1, 2]. Естественное освещение влияет на здоровье, самочувствие, снижает уровень стресса и придаёт привлекательный вид окружающему пространству. Воздействие естественного света благотворно влияет на физиологию и психологию человека [3, 4] и благоприятно сказывается на психологическом комфорте, внешнем виде места и находящихся в нём предметов, визуальной привлекательности, а также на общем состоянии здоровья и зрении.

Естественный свет проникает через окна в помещение, то есть окна – это источник естественного света, которые также могут открываться для проветривания помещения. Таким образом, пользователи имеют прямой доступ к виду за окном. Различные системы остекления, цвет стекла [5] и значение коэффициента пропускания [6] влияют на восприятие пользователями помещения с точки зрения визуального комфорта, привлекательности, уюта и естественности [7]. Ка-

чество обзора влияет на пространственную светлоту, удовлетворённость внутренней обстановкой, общее самочувствие и снижение стресса [8, 9]. Таким образом, выбор оптимального типа остекления и его сочетания с видом – это актуальная задача при проектировании естественного освещения в зданиях. Поэтому настоящее исследование включает в себя опрос по оценке степени влияния различных видов остекления в совокупности с различными видами за окном. В ходе опроса участников были проанализированы типы остекления с различными коэффициентами пропускания в диапазоне от 38,2 до 82,5 %. Результаты показали, что с увеличением коэффициента пропускания также повышаются визуальная привлекательность, уровень освещённости, красота и аккуратность внутреннего пространства [6]. Другое исследование было сосредоточено на цветах остекления – бронзовом, голубом и нейтральном. Люди, как правило, выбирают бронзовое остекление, когда ожидают большего визуального комфорта, привлекательности и уровня освещённости. Хотя доказано, что голубое остекление вызывало снижение уровня возбуждения [7]. Так была разработана технология электрохромных стёкол, позволяющая изменять цвет остекления и коэффициент пропускания света. Применение новой технологии в окнах снижает избыточную освещённость и создаёт более комфортную визуальную среду [10].

Вид из окна и его наблюдение довольно сильно влияет на человека [11]. Некоторые исследования показали, что, например, вид на луг или горы лучше помогает при тошноте, связанной со стрессом, по сравнению с видом на внутренний двор или здание [11, 12]. Экспериментальное исследование показало, что толерантность людей к дискомфортному яркому свету повышается, если за окном есть какой-то вид, а не пустота [13]. В [14] были выделены наиболее предпочтительные типы видов для пользователей, которые могут привести к уменьшению дискомфорта от яркого света. Результаты исследования не показали устойчивую связь типа остекления и видов с восприятием пользователями внутренней среды и визуальным комфортом. Определённые *LEED* пороговые значения 300–3000 лк могут не восприниматься как комфортные

¹ Перевод Смирновой (Мешковой) Т.В.

пользователями [15]. В этом контексте возникает вопрос: будет ли в помещении комфортно, если стандартные требования выполнены? Исследование [15] направлено на поиск ответа на этот вопрос. Один из критериев проектирования энергоэффективных зданий – это максимально возможное применение естественного освещения в помещениях [16]. Этот критерий появился из принадлежности зданий, поскольку все они предназначены для работы или жилья людей в них. А потребности пользователей в помещениях – это визуальный комфорт, хорошее самочувствие, зрительная работоспособность и т.д. [17, 18]. Такие исследования поддерживают разработку рекомендаций по созданию условий освещения, ориентированных на человека (англ. *human centric lighting, HCL*). Для лучшей организации естественного освещения в помещении ещё на этапе проектирования здания необходимо проводить предварительные исследования. В этом контексте предпроектный анализ строится на применении таких методов, как опросы, компьютерное моделирование, анализ программного обеспечения, оптимизация и т.д. [17–20].

Цель настоящего исследования заключается в определении подходящих цветов и непрозрачности остекления для контроля проникновения естественного света в помещение для обеспечения визуального комфорта и показателей качества обзора. Поскольку натурное проведение эксперимента ограничено большим количеством неопределённостей, таких как изменение погодных условий или состояния неба в течение дня, принято решение проводить исследования в моделируемой среде *Relux*.

2. Методы

2.1. Моделирование

В программе *Relux* была создана 3D-модель комнаты, выходящей окнами на восток. Местонахождение – город Измир (38.41 с.ш.; 27.13 в.д.). Размеры комнаты составляют 6×4 м², её высота – 2,8 м. Для максимального проникновения естественного света в помещение и лучшего обзора вида за окном размеры окон варьируются от 1,8 до 2,4 м. Светотехнический расчёт проводился для 11:00 21 марта и 21 июня. Высота рабочей пло-

Опросник

Вопрос	Ожидаемая реакция
Насколько интересно это пространство?	Понять, как сочетание типа остекления и вида за окном влияют на заинтересованность пользователей в смоделированных условиях
Насколько привлекательно это пространство?	Оценить, как остекление и виды из окон влияют на визуальную привлекательность помещения
Насколько вы удовлетворены светлотой в помещении?	Понять влияние изменения типов остекления и видов на восприятие пользователями яркости, то есть больше или меньше света содержит помещение по ощущениям
Насколько привлекателен этот вид?	Сравнение ощущений при наблюдении различных видов при различных типах остекления

кости составляет 0,8 м. Рабочая плоскость состоит из 54 расчётных точек, расположенных с интервалом 0,50 м. В эксперименте применялись следующие типы остекления: голубое с коэффициентом пропускания 25 %, жёлтое с коэффициентом пропускания 66 %, и три прозрачных остекления с низким 20 %, средним 50 % и высоким 90 % коэффициентами пропускания. Из окна можно было наблюдать 2 вида: на улицу и на пейзаж города Измир. Всего получилось 10 различных вариантов с типами остекления и видами из окна. Фотореалистичные изображения полученных сцен освещения представлены на рис. 1. В дальнейшем полученные изображения будут оцениваться по бальной шкале. Для оценки визуального комфорта и соответствия нормативным значениям в результате светотехнического расчёта были получены значения горизонтальной естественной освещённости и распределения яркости в пространстве.

2.2. Опрос

В опросе приняли участие в общей сложности 40 человек: 26 жен-

щин и 14 мужчин в возрасте от 20 до 53 лет. Опросник состоял из 4 вопросов. Каждая сцена освещения из 10 подвергалась оценке. Всего получилось 40 вопросов по шкале Лайкерта. Вопросы были направлены на анализ реакции пользователей в зависимости от изменений в типе остекления (табл. 1).

2.3. Статистический анализ

Для анализа и обработки полученных данных применялись метод наименьших квадратов и порядковая/упорядоченная логистическая регрессия (англ. *Ordinal/Ordered Logistic Regression, OLR*) [21] с использованием *Stata* и *EViews*. Метод наименьших квадратов применяется для определения значимости влияния независимых переменных (возраст, пол, ландшафт, жёлтый, голубой, коэффициент пропускания) на зависимые переменные (интересный, привлекательный, качество обзора, пространственная светлота). Порядковая логистическая регрессия используется для обеспечения надёжности, поскольку данные представлены в дискретной форме,



Рис. 1. Сцены освещения

Зависимые и независимые переменные

Имя переменной	Определение	Измерение
Интересный (зависимая переменная)	Насколько интересной участники находят смоделированную сцену освещения	Ответы варьируются от 0 до 5
Привлекательный (зависимая переменная)	Насколько привлекательной участники находят смоделированную сцену освещения	Ответы варьируются от 0 до 5
Пространственная светлота (зависимая переменная)	Насколько сцена освещения наполнена светом (по ощущениям)	Ответы варьируются от 0 до 5
Качество обзора (зависимая переменная)	Насколько хорошо просматривается сцена освещения	Ответы варьируются от 0 до 5
Возраст (независимая переменная)	Возрастной интервал участников опроса	От 20 до 53 лет
Пол (независимая переменная)	Пол участников опроса	Состоят из 26 женщин и 14 мужчин
Жёлтое остекление (независимая переменная)	Остекление жёлтого цвета с коэффициентом пропускания 66 %	Цветное остекление
Голубое остекление (независимая переменная)	Остекление голубого цвета с коэффициентом пропускания 25 %	Цветное остекление
Коэффициент пропускания остекления (независимая переменная)	Три типа прозрачного остекления с коэффициентами пропускания 20, 50 и 90 %	Низкий / Средний / Высокий коэффициент пропускания

а регрессии методом наименьших квадратов могут не удовлетворять стандартным предположениям линейных регрессий в случае дискретных данных [22, 23]. Результаты опроса были преобразованы в переменные, описанные в табл. 2.

3. Результаты

3.1. Анализ

В этом разделе рассматриваются основные свойства переменных и зависимость предпочтения участников от них. Каждая переменная используется для оценки соответствующего ей вопроса. Для удобства анализа количество баллов согласно ответам на вопросы отображается в графическом виде.

Для анализа переменной «интересный» всего было опрошено 40 участников. Степень интереса оценивалась

по 5-бальной шкале, где 0 – это крайне неинтересно, а 5 – это чрезвычайно интересно. Результаты показали, что сцена освещения 9 с жёлтым остеклением с коэффициентом пропускания 66 % и видом на пейзаж наиболее интересна для наблюдателей. Средняя оценка по первому вопросу составила 3,025 баллов. Всего 28 участников из 40 поставили 3,4 или 5 баллов этой сцене освещения, а 16 участников из 28 поставили 4 балла. Другими словами, более половины присутствующих посчитали, что эта сцена освещения интересная. При этом наименее интересной была признана сцена освещения 1 с прозрачным остеклением с коэффициентом пропускания 20 % и видом на улицу. Средняя оценка сцены освещения 1 составила 1,4 баллов. 31 наблюдатель из 40 поставили 0,1 или 2 балла этой сцене освещения, а 13 из них поставили 1 балл (рис. 2).

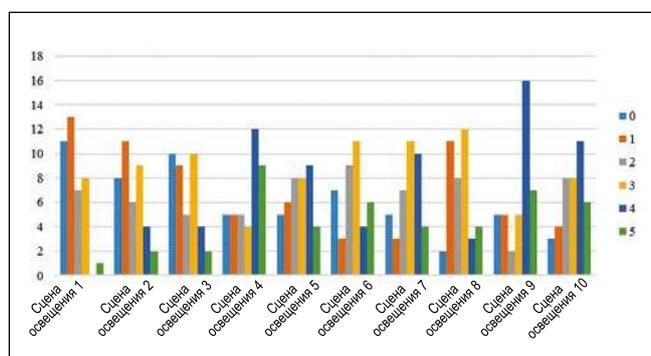


Рис. 2. Графические результаты по вопросу: «Насколько интересно это пространство?»

Для анализа переменной «привлекательный» также было опрошено 40 участников, с просьбой оценить сцену освещения по шкале от 0 до 5. Согласно результатам опроса, участники считают сцену освещения 7 с прозрачным остеклением с коэффициентом пропускания 50 % и видом на пейзаж наиболее привлекательной. В общей сложности 38 из 40 участников поставили оценки 3,4 или 5 баллов, а 17 из них поставили 4 балла этой сцене освещения. Однако из графического анализа получается, что сцена освещения с коэффициентом пропускания 50 % набрала больше баллов по сравнению со сценой, где коэффициент пропускания 20 %. Хотя заметных отличий не наблюдается. Сцена освещения 4 набрала наименьшее количество баллов по второму вопросу. Это показывает, что пользователи, как правило, не находят привлекательной сцену освещения с жёлтым остеклением и видом на улицу. 35 из 40 участников поставили 0,1 или 2 балла сцене освещения 4, а 24 из них поставили 0 баллов. Тем не менее возникает диссонанс между ответами на первый и второй вопросы: сцена освещения с жёлтым остеклением для наблюдателей выглядела интересной, но не привлекательной (рис. 3).

Ответы на третий вопрос соответствуют восприятию яркости в сцене освещения. Результаты опроса пока-

зали, что по ощущению наполненности светом больше всего удовлетворяет пользователей сцена освещения 3 с прозрачным остеклением с коэффициентом пропускания 90 % и видом на улицу: 35 участников из 40 поставили 3,4 или 5 баллов, а 17 из них поставили 5 баллов. Также было выявлено, что вид за окном никак не влияет на удовлетворённость пространственной светлотой в сцене освещения. Очевидно, что с увеличением коэффициента пропускания, яркость и светлота в сцене также увеличивается. При этом голубое или жёлтое остекление оказывает негативное влияние на удовлетворённость уровнем пространственной светлоты. Эти результаты подтверждаются в виде полученных графиков: участники ставят более высокие оценки сценам освещения с более высокими значениями коэффициента пропускания 50 и 90 % по сравнению со сценой освещения с коэффициентом пропускания 20 % или цветным остеклением (рис. 4).

Последний вопрос направлен на оценку восприятия сцены освещения при различных видах из окна: на улицу или на пейзаж. А именно оценить, какой из видов для наблюдателей будет более привлекательным. В этом случае 38 из 40 участников поставили от 3,4 до 5 баллов, а 26 из них поставили 5 баллов сцене освещения 6 с прозрачным остеклением с коэффициентом пропускания 20 % и видом на пейзаж.

Было выявлено, что вид из окна на пейзаж более предпочтителен пользователями по сравнению с видом на улицу. При этом голубое и жёлтое остекление негативно сказывается на восприятии пейзажа через окно. Другими словами, в этом случае предпочтительнее сцены освещения с прозрачным остеклением с низким коэффициентом пропускания. Как было отмечено ранее, светлота увеличивается по мере увеличения значения коэффициента пропускания. Таким образом, можно сделать вывод, что с увеличением светлоты качество обзора снижается. Результаты показали, что сцена освещения 3 с прозрачным остеклением с коэффициентом пропускания 90 % и видом на улицу оценивается как с плохим обзором. 38 участников поставили 0,1 или 2 балла этой сцене освещения. 25 из 40 участников поставили 0 баллов сцене освещения 4 с жёлтым остеклением. Из этого мож-

Рис. 3. Графические результаты по вопросу: «Насколько привлекательно это пространство?»

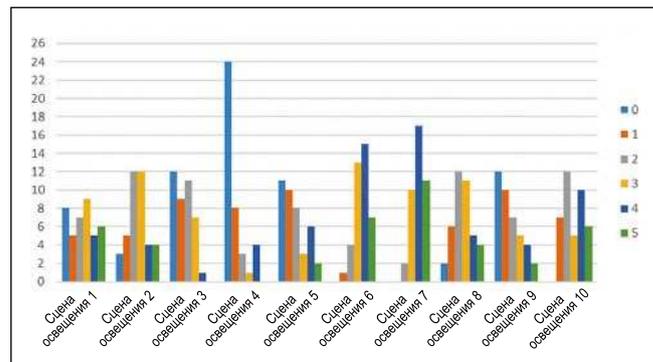


Рис. 4. Графические результаты по вопросу: «Насколько вы удовлетворены светлотой в помещении?»

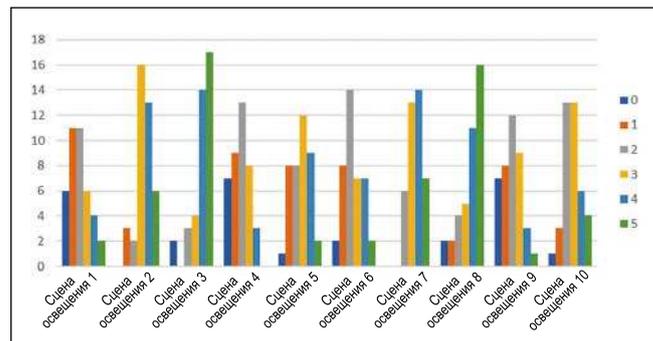
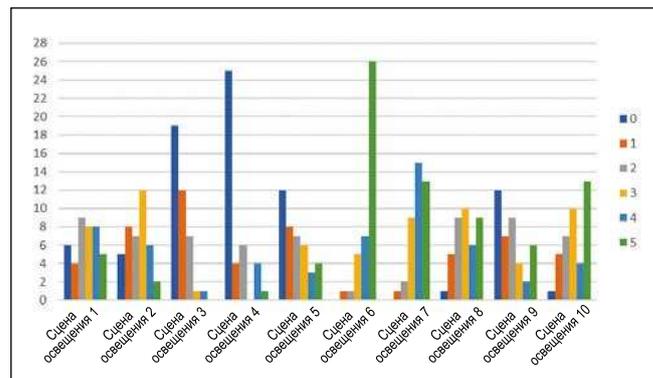


Рис. 5. Графические результаты по вопросу: «Насколько привлекателен этот вид?»



но сделать вывод, что участники, как правило, выбирают прозрачное остекление, а не цветное, из-за качества обзора (рис. 5).

3.2. Метод наименьших квадратов

Результаты регрессивного анализа с помощью метода наименьших квадратов представлены в табл. 3. Для оценки уровня статистической значимости гипотезы были определены p -значения (значение вероятности). Коэффициенты в регрессионном анализе – это параметры, которые используются для оценки влияния независимых переменных на зависимые. R^2 – это коэффициент детерминации, который используется для оценки степени соответствия регрессионной модели метода наименьших квадратов [24]. Помимо этого, для проверки на-

личия гетероскедастичности в регрессии применяется тест Уайта.

Результаты показали, что первая независимая переменная «возраст» оказывает положительное и слабо значимое влияние только на качество обзора, то есть у пожилых качество обзора выше по сравнению с молодыми ($p=0,0894$). Вторая переменная «пол» оказывает значительное влияние на оценку сцен освещения по критериям «интересный» и «привлекательный». В этом случае по оценкам участников мужского пола созданные сцены освещения получают более высокие баллы по критериям «интересный» и «привлекательный» по сравнению с женской составляющей группы ($p=0,0517$ и $p=0,0209$).

Также было доказано, что вид из окна оказывает положительное и значительное влияние на критерии «интересный» и «привлекательный» в слу-

Результаты регрессионного анализа методом наименьших квадратов (*если $p \leq 0,05$ статистически значимо)

	Интересный		Привлекательный		Качество обзора		Светлота	
	Коэффициенты	<i>p</i> -значения	Коэффициенты	<i>p</i> -значения	Коэффициенты	<i>p</i> -значения	Коэффициенты	<i>p</i> -значения
<i>c</i>	1,493136	0	2,508979	0	2,869296	0	1,549724	0
Возраст	0,004245	0,6813	0,012026	0,1275	0,014249*	0,0894	0,009479	0,179
Пол	0,323731*	0,0517	0,326308**	0,0209	0,104048	0,5255	0,033718	0,8023
Пейзаж	0,585***	0,0001	1,145***	0	1,44***	0	0,125	0,3233
Жёлтый	0,877635***	0,0001	-1,31598***	0	-1,255***	0	-1,620169***	0
Голубой	0,676014***	0,0011	-0,851098***	0,0009	-1,0125***	0	0,236233	0,195
Коэф. пропускания	0,209459	0,4957	-1,518581***	0	-2***	0	2,363176***	0
R^2	0,102776		0,317819		0,341173		0,259858	
Тест Уайта	1,550049*		2,454922***		1,848831**		1,072266**	
<i>p</i>	0,0622		0,0005		0,0149		0,3767	

чае, если снаружи открывается вид на пейзаж, а не на улицу. При этом пейзаж повышает качество обзора сцены освещения.

Жёлтое остекление оказывает негативное и значительное влияние на степень привлекательности сцены освещения ($p=0$), светлоту ($p=0$) и повышение качество обзора ($p=0$). При этом жёлтое остекление по мнению опрошенных делает сцену освещения интересной ($p=0,0001$). И несмотря на то, что жёлтое остекление имеет более высокий коэффициент пропускания по сравнению с голубым, сцена освещения воспринимается как менее светлая. Второй цвет остекления, голубой, оказывает негативное и значительное влияние на степень привлекательности сцены освещения ($p=0,0009$) и качество обзора ($p=0$). Тем не менее, по мнению опрошенных голубое остекление, как и жёлтое, делает сцену освещения интересной, но с меньшим эффектом ($p=0,0011$).

Также было доказано, что коэффициент пропускания оказывает значительное влияние на зависимые переменные. При увеличении коэффициента пропускания с 20 до 90 %, участники, как правило, находят сцену освещения менее привлекательной ($p=0$) и с плохим качеством обзора ($p=0$), но при этом более светлой ($p=0$).

В дополнение к методу наименьших квадратов также применялась

порядковая логистическая регрессия, результаты которой представлены в табл. 4. При сравнении с методом наименьших квадратов видно, что результаты накладываются друг на друга. Коэффициенты и *p*-значения переменных близки друг к другу. При анализе переменной «возраст» методом наименьших квадратов выявлено, что возраст оказывает положительное и слабо значимое влияние только на качество обзора ($p=0,0894$). Однако, согласно анализу с помощью порядковой логистической регрессии возраст не оказывает никакого влияния на зависимые переменные ($p=0,18$). Это означает, что нет никакой связи между возрастом и тем, что помещение кажется интересным, привлекательным, светлым или с лучшим качеством обзора.

3.3. Анализ естественного освещения

Светотехнический расчёт для 11:00 21 марта показал, что с увеличением коэффициента пропускания, увеличивается и горизонтальная естественная освещённость. При использовании остекления с коэффициентом пропускания 90 % на большей части помещения возникают неравномерные световые пятна, блики. Максимальное значение освещённости для этого остекления составляет 37700 лк, а минимальное – 351 лк. На 16 % пло-

щади рассматриваемой сцены освещения освещённость >3000 лк, что приводит к визуальному дискомфорту и блёскости. Минимальное значение освещённости в сцене с прозрачным остеклением и коэффициентом пропускания 20 % составляет 74 лк. И при этом на 74 % площади сцены освещённость <300 лк, из-за чего возникает потребность в искусственном освещении для создания условий визуального комфорта, и только на 5 % площади помещения освещённость >3000 лк. В сцене с прозрачным остеклением и коэффициентом пропускания 50 % минимальное значение освещённости составляет 190 лк, а максимальное – 18700 лк. Минимальная освещённость в сцене с жёлтым остеклением составляет 96 лк, а максимальная – 8630 лк, при этом с голубым остеклением минимальное значение оставляет 267 лк, а максимальное – 26400 лк. На 64 % площади сцены с жёлтым остеклением, расположенная далеко от окна часть, освещённость <300 лк, из-за чего возникает потребность в искусственном освещении. При этом около окна возникают яркие световые пятна с высокими значениями освещённости, которые можно и необходимо устранять с помощью дополнительных жалюзи или штор. Голубое остекление сделало сцену светлее, так как на 93 % площади освещённость >300 лк. Согласно результатам опроса большин-

Результаты анализа методом порядковой/упорядоченной логистической регрессии (* если $p \leq 0,05$ статистически значимо)

	Интересный		Привлекательный		Качество обзора		Светлота	
	Коэффициенты	<i>p</i> -значения	Коэффициенты	<i>p</i> -значения	Коэффициенты	<i>p</i> -значения	Коэффициенты	<i>p</i> -значения
<i>c</i>								
Возраст	0,0035775	0,738	0,0126134	0,178	0,0139746	0,18	0,0157616	0,114
Пол	0,4617441**	0,023	0,4594896**	0,022	0,1286976	0,544	0,0175369	0,929
Пейзаж	0,6786529***	0	1,464129***	0	1,74839***	0	0,1623792	0,36
Жёлтый	1,161144***	0	-1,890655***	0	-1,703538***	0	-2,405735***	0
Голубой	0,8055711***	0,001	-1,095299***	0	-1,277378***	0	0,3625509	0,138
Коэф. пропускания	0,1946438	0,583	-1,879474***	0	-2,506824***	0	3,914368***	0
R^2	0,0332		0,1062		0,117		0,0949	
Вероятность (<i>F</i>)	0.0000		0.0000		0.0000		0.0000	

ство наблюдателей отметили цены освещения 3 и 8 с прозрачным остеклением с высоким коэффициентом пропускания 90 % как наиболее наполненные светом, то есть пространственная светлота высокая. Средняя освещённость в этих сценах составляет 3060 лк. Недостаточная светлота по оценкам наблюдателей была в сцене освещения с прозрачным остеклением с коэффициентом пропускания 20 %, где среднее значение освещённости составило 533 лк. Однако удовлетворённость обзором меняется с точностью до наоборот: наблюдателей, как правило, устраивало качество обзора при низких значениях освещённости. Несмотря на то, что освещённость в сцене с жёлтым остеклением составляет 2150 лк, наблюдатели оценивали светлоту как недостаточную. Таким образом, можно сделать вывод, что субъективное восприятие сцены наиболее сильно зависит от цвета остекления (рис. 6).

Аналогично был сделан светотехнический расчёт для 11:00 21 июня. Результаты расчёта показали, что зависимость освещённости от коэффициента пропускания остекления такая же, как и 21 марта. При этом в летний период полученные значения освещённости намного выше по сравнению с весенним. В сцене освещения с прозрачным остеклением с коэффициентом пропускания 20 % максимальное значение освещённости увеличилось с 6310 до 8150 лк, а мини-

мальное значение освещённости – с 74 до 92 лк. В сцене освещения с прозрачным остеклением с коэффициентом пропускания 90 % освещённость достигла 45400 лк. В то время как на 67 % площади сцены с прозрачным остеклением с коэффициентом пропускания 20 % освещённость составляет <300 лк, а в сцене с прозрачным остеклением с коэффициентом пропускания 90 % на 100 % площади освещённость >300 лк.

Несмотря на то, что во всех расчётных точках сцены освещённость >300 лк, равномерность была не достигнута, поскольку на 11 % площади освещённость превышает значение 3000 лк. В сценах с цветным остеклением наблюдаются такие же тенденции. В сцене освещения с жёлтым остеклением освещённость достигла 11000 лк, а на 52 % площади – менее 300 лк, то есть половине сцены может потребоваться искусственное освещение. В сцене с голубым остеклением максимальное значение освещённости составило 26400 лк в марте, а в июне оно достигло 32200 лк, при этом в большинстве точек освещённость >300 лк. Для обеих сцен: как с жёлтым, так и с голубым остеклением освещённость превышает 3000 лк на 7 % площади. Поскольку опрос проводился только для 21 марта, анализ предпочтений наблюдателей отсутствует для летнего периода. Однако результаты расчётов показывают, что в летние месяцы для визуального

комфорта становится более важным аспект контроля проникновения солнечного света через окна.

В каждой сцене освещения с помощью программы *Relux* был выполнен расчёт распределения яркости для оценки равномерности её распределения. Также значения яркости 21 июня выше, чем 21 марта. Самая высокая яркость наблюдается на окнах 750 кд/м², поскольку это основные источники естественного света в помещении. Расчёт коэффициентов яркости необходим для оценки равномерности её распределения и визуального комфорта, поскольку в каждой сцене освещения возникают солнечные блики. При том, для ограничения дискомфорта их значения должны соответствовать нормативным. В сценах освещения 1, 5, 6 и 10 блики обладают яркостью в диапазоне 400–500 кд/м². Стены помещения в сценах 1 и 6 имеют значение яркости приблизительно 75 кд/м². Таким образом, отношение яркости стены к окну составляет 1:10, что оценивается как неравномерное распределение яркости в помещении. В сценах 2 и 7 яркость стен варьируется от 200 до 400 кд/м², поэтому отношение яркости стены к окну будет в диапазоне от 2,6:10 до 5,3:10, то есть равномерное распределение яркости, по сравнению со сценами с низким коэффициентом пропускания остекления. Яркость стен в сценах 3 и 8 варьируется от 250 до 650 кд/м². А отношение яркости стены

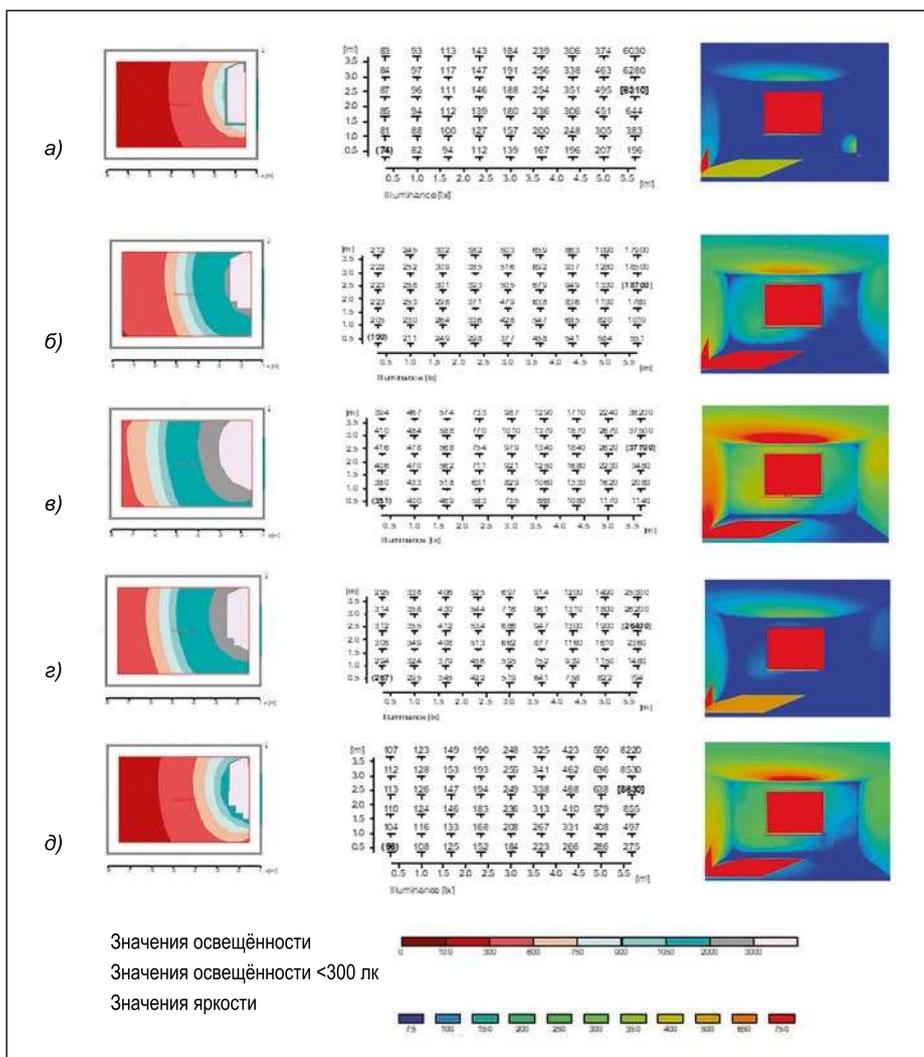


Рис. 6. Распределения освещённости и яркости в сценах освещения в 11.00 21 марта: а – 1 и 6; б – 2 и 7; в – 3 и 8; г – 4 и 9; д – 5 и 10

к окну составляет от 3,3:10 до 8,6:10. Таким образом, можно сделать вывод: в сценах освещения с более высокими коэффициентами пропускания остекления распределение яркости (солнечного света в помещениях) более равномерное. Однако значения яркости могут быть избыточными для пользователей. Несмотря на то, что цвета остекления разные, поскольку значения коэффициентов пропускания остекления близки, значения яркости в сценах 4 и 9 практически равны значениям в сценах 2 и 7. Такая же тенденция наблюдается в сценах 1 и 6, а также в сценах 5 и 10.

4. Обсуждения и выводы

В этом исследовании представлены результаты опроса, направленного на определение того, как различные виды остекления и обзора влияют на восприятие интерьера пользователя

ми, а также на применяемые приёмы и принципы дизайна интерьера. Работа включает в себя моделирование различных условий естественного освещения и статистический анализ оценок наблюдателей.

Результаты показали, что наблюдатели предпочитают, чтобы из окна открывался вид на пейзаж. Это положительно влияет на то, насколько место кажется интересным и привлекательным. Наблюдатели не были удовлетворены качеством обзора и привлекательностью сцен освещения с жёлтым и голубым остеклением. Однако цветное остекление делает помещение более интересным. Несмотря на то, что жёлтое остекление имеет более высокий коэффициент пропускания, чем голубое, сцена освещения воспринимается как менее светлая. Наблюдатели, как правило, находили помещение менее привлекательным, но более светлым, когда значение ко-

эффициента пропускания повышалось с 20 до 90 %.

Несмотря на то, что наблюдатели были удовлетворены видом из окна на пейзаж в сцене с прозрачным остеклением с коэффициентом пропускания 20 и 50 %, естественная освещённость в них была ниже порогового значения 300 лк. То есть такие условия можно отнести к комфортным по восприятию, однако в этом случае возникает потребность в искусственном освещении [15]. Наблюдатели отмечали, что сцена освещения привлекательна, если в ней использовалось прозрачное остекление с коэффициентом пропускания 90 %. При этом результаты светотехнического расчёта в программе *Relux* показали, что эти сцены очень светлые, и в них требуется ограничение дискомфорта блёскости.

Каждая переменная в исследовании по-разному влияет на удовлетворённость пользователей и восприятие окружающей среды. Оценка визуальных условий должна проводиться, учитывая всестороннее влияние света на человека. Поскольку основная цель – это обеспечение качественного освещения для комфорта пользователей. В этом ключе проектирование освещения позволяет создавать визуальные условия в соответствии с восприятием пользователями окружающей среды. Возможно, нормативная база в области остекления в будущем будет пересмотрена на базе настоящего исследования для создания визуальных условий при естественном освещении, ориентированных на человека.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Alrubaih, M.S., Zain, M.F.M., Alghoul, M.A., Ibrahim, N.L.N., Shameri, M.A., Elayeb, O. Research and development on aspects of daylighting fundamentals // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, Vol. 21, pp. 494–505.
2. Li, D.H.W., Lam, J.C. Evaluation of lighting performance in office buildings with daylighting controls // *Energy and Buildings*, 2001, Vol. 33, # 8, pp. 793–803.
3. Turan, I., Chegut, A., Fink, D., Reinhart, C. The value of daylight in office spaces // *Building and Environment*, 2020, Vol. 168.
4. Plympton, P., Conway, S., Epstein, K. Daylighting in schools: Improving student performance and health at a price schools can afford // *American Solar Energy Society Conference*, 2000.

5. *Chinazzo, G., Wienold, J., Andersen, M.* Effect of indoor temperature and glazing with saturated colour on visual perception of daylight // LEUKOS – Journal of Illuminating Engineering Society of North America, 2020, Vol. 17, # 2, pp. 183–204.

6. *Pineault, N., Dubois, M.C.* Effect of window glazing type on daylight quality: scale model study of a living room under natural sky // LEUKOS – The Journal of the Illuminating Engineering Society, 2013, Vol. 5, # 2, pp. 83–99.

7. *Chen, X., Zhang, X., Du, J.* Exploring the effects of daylight and glazing types on self-reported satisfactions and performances: a pilot investigation in an office // Architectural Science Review, 2019, Vol. 62, # 4, pp. 338–353.

8. *Ko, W.H., Schiavon, S., Zhang, H., Graham, L.T., Brager, G., Mauss, I., Lin, Y.* The impact of a view from a window on thermal comfort, emotion, and cognitive performance // Building and Environment, 2020, Vol. 175.

9. *Ozdemir, A.* The effect of window views' openness and naturalness on the perception of rooms' spaciousness and brightness: A visual preference study // Scientific Research and Essays, 2010, Vol. 5, # 16, pp. 2275–87.

10. *Ajaji, Y., André, P.* Thermal comfort and visual comfort in an office building equipped with smart electrochromic glazing: An experimental study // Energy Procedia, 2015, Vol. 78, pp. 2464–9.

11. *Edwards, L., Torcellini, P.* A literature review of the effects of natural light on building occupants, 2002.

12. *Heerwagen, J.H.* The role of nature in the view from the window // International Daylighting Conference Proceedings II, 1986, pp. 4–7.

13. *Geun, Y.Y., Ju, Y.S., Jeong, T.K.* Influence of window views on the subjective evaluation of discomfort glare // Indoor and Built Environment, 2011, Vol. 1, pp. 65–74.

14. *Tuaycharoen, N.* Windows are less glaring when there is a preferred view // Built-Environment Sri Lanka, 2011, Vol. 9.

15. LEED v4 for Building Design and Construction, 2019.

16. *Kızılörenli, E., Alakavuk, E.* Examining the daylight performance of office buildings on the example of the rectorate building in Izmir // Light & Engineering, 2021, Vol. 29, # 6, pp. 53–58.

17. *Cevik, A., Kazanasmaz, T., Duran, H.E.* User lighting preferences based on navigation and space quality in virtual exhibition environments // Light & Engineering, 2020, Vol. 28, # 2, pp. 28–37.

18. *Kose, F., Kazanasmaz, T.* Applicability of a prismatic panel to optimize window size and depth of a south-facing room for a better daylight performance // Light & Engineering, 2020, Vol. 28, # 4, pp. 63–67.

19. *Kazanasmaz, T., Ors P.F.* Comparison of advanced daylighting systems to improve

illuminance and uniformity through simulation modelling // Light & Engineering, 2014, Vol. 22, # 3, pp. 56–66.

20. *Agirbas, A., Alakavuk, E.* Facade Optimization for An Education Building Using Multi-Objective Evolutionary Algorithms // Light and Engineering, Vol. 28, # 6, pp. 41–50.

21. *White, H.* A Heteroskedasticity-Consistent Covariance Matrix Estimator and a Direct Test for Heteroskedasticity // Econometrica, 1980, Vol. 48, # 4, 817 p.

22. *McCullagh, P.* Regression Models for Ordinal Data // Journal of the Royal Statistical Society, 1980 Series B (Methodological), Vol. 42, # 2, pp. 109–142.

23. *Winship, C., Mare, R.D.* Regression Models with Ordinal Variables // American Sociological Review, 1984, Vol. 49, # 4, pp. 512–525.

24. *Gujarati, D.N., Porter D.C.* Basic econometrics 5th edition / Prentice Hall, 2003.

25. *Gould, W.* StataCorp. Stata Statistical Software: Release 17 / College Station, 2021. TX: StataCorp LLC

26. HIS Markit. EViews Student Version Lite for Mac, S&P Global, 2020–2022.

Физики УрФУ повысили эффективность солнечных панелей на 10 %

Физики Уральского федерального университета повысили эффективность солнечных панелей. Они добавили дополнительный конструкционный слой – наночастицы оксида гадолиния с ионами эрбия – на поверхность кремниевых ячеек и таким образом улучшили КПД. В лабораторных условиях прирост эффективности прототипа по сравнению с обычной кремниевой ячейкой составил 10 %. Показатели панелей в окружающей среде – в дождь, с перепадами температуры и при других погодных условиях – учёные будут проверять до конца года.

«Мы взяли за основу кремниевые солнечные элементы, так как это «классический» вариант. У таких ячеек предел эффективности – без побочных факторов, которые ведут к потерям КПД, – 29 %, – поясняет соавтор работы старший научный сотрудник лаборатории «Физика функциональных материалов углеродной микро- и оптоэлектроники» УрФУ Юлия Кузнецова. – Если мы говорим о многослойных (тандемных) системах, то там в зависимости от используемых материалов предел эффективности варьируется от 21 до 33 %. Наша разработка подойдет и для кремниевых, и для других солнечных панелей. Дополнительный конструкционный слой поможет улучшить эффективность любых ячеек».

На сегодня разработки по повышению эффективности солнечных панелей ведутся по двум направлениям – расширению диапазона солнечного света, который участвует в преобразовании энергии, и снижению потерь при работе (к примеру, добавляю антиотражающее покрытие или светоплощающие элементы, чтобы на ячейку попадало больше света). Материал физиков УрФУ расширяет спектральный диапазон работы ячеек.

«В аналогичных разработках, как правило, используют перовскиты. Мы же используем диэлектрик. Он эффективно поглощает УФ излучение (с λ от 200 до 400 нм). Таким образом, за счёт эффективного поглощения именно УФ излучения – мы расширили спектральный диапазон, чем и повысили эффективность».

В этом и заключается особенность нашей работы. Полупроводники, в свою очередь, не столь эффективно поглощают ультрафиолет и не в полной степени используют спектральный диапазон солнечного излучения», – говорит соавтор исследований доцент кафедры «Редкие металлы и наноматериалы» УрФУ Максим Машковцев.

scientificrussia.ru
05.06.2023



Илгин Козул (Ilgin Soğul), В. Е. Научный сотрудник Измирского технологического института. Сейчас учится в магистратуре в Измирском технологическом институте.

Темы её исследований – архитектурное освещение, естественное освещение и технологии умных окон



Хасан Энгин Дюран (Hasan Engin Duran), Ph. D. Доцент кафедры городского и регионального планирования Измирского технологического института, Турция. Имеет 16-летний академический опыт

в области регионального роста, развития, конвергенции и неравенства доходов, статистического анализа и методов исследований



Туğçe Казанасмаз (Tuğçe Kazanasmaz), Ph. D. Профессор кафедры архитектуры Измирского технологического института, Турция. Имеет 21-летний академический опыт

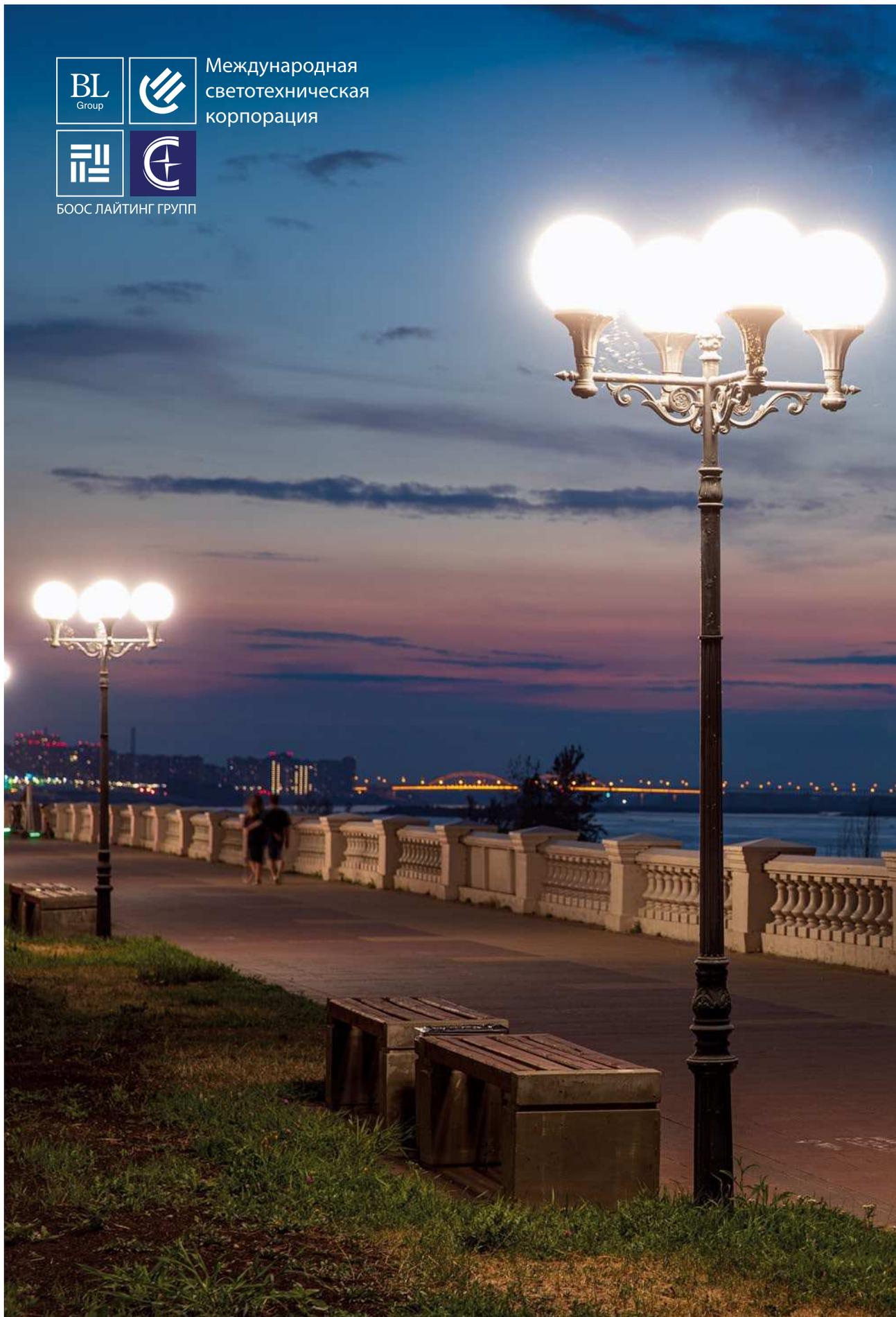
в области архитектурного освещения, строительной физики и энергоэффективного дизайна



Международная
светотехническая
корпорация



БООС ЛАЙТИНГ ГРУПП



Измерение температуры активной области светодиодов средней мощности по динамике изменения прямого напряжения при токовом нагреве и охлаждении

*Ф.И. МАНЯХИН¹, Д.О. ВАРЛАМОВ², А.А. СКВОРЦОВ²,
Л.О. МОКРЕЦОВА¹, В.К. НИКОЛАЕВ²

НИТУ «МИСиС»¹, Московский политехнический университет², Москва
E-mail: *zaomisis@yandex.ru

Аннотация

Проведён краткий анализ наиболее распространённых неразрушающих методов измерения температуры активной области светодиодов (СД) и указаны их недостатки. Проведены измерения температуры активной области светодиодов средней мощности по динамике изменения прямого напряжения при нагреве токами разной плотности и в процессе остывания в режиме протекания малого, так называемого «измерительного», тока, не вызывающего разогрев СД. Приведена электрическая схема, реализующая использованный метод. Результаты измерений показывают, что тепловое сопротивление СД, определяемое по результатам измерения температуры активной области предлагаемым методом, больше справочного. Проведено сравнение результатов температурных измерений с использованием традиционных методов анализа спектров излучения СД и по температурной зависимости прямого напряжения.

Ключевые слова: светодиоды, температура активной области, тепловое сопротивление, температурная зависимость прямого напряжения, динамика измерения прямого напряжения при нагреве и остывании

Влиянию температурных режимов на параметры светодиодов (СД) посвящено немало публикаций. В одних внимание акцентируется на внутреннем и внешнем квантовых выходах [1, 2], в других – на зависимости прямого напряжения от температуры [3–5]. Относительно меньшая доля публикаций посвящена влиянию температурных режимов на скорость деградации указанных параметров и спектральные характеристики.

Если говорить о температурной зависимости прямого напряжения на

СД, то нужно отметить, что, как правило, задают и контролируют прямой ток СД. Прямое напряжение на СД зависит от температуры практически линейно [6] с отрицательным коэффициентом пропорциональности a , который принимает значения по модулю 1,5–2,5 мВ/°С. То есть при колебаниях внешней температуры от –50 до +50 °С изменение прямого напряжения при малых прямых токах равно 150–250 мВ (для СД на основе нитрида галлия это 5–8 %). В большинстве практических случаев СД не работают в таких условиях, поэтому указанная зависимость для СД не очень критична.

Однако прямое напряжение – наиболее термочувствительный параметр, который достаточно просто и точно поддаётся измерению и теоретическому описанию и потому представляет интерес для использования при измерении температуры активной области p – n -структур и для использования последних в качестве термочувствительных элементов.

При номинальных и повышенных токах коэффициент температурной зависимости прямого напряжения на СД сам зависит от задаваемого тока [6] и изменение его значений при изменении температуры неоднозначно, но находится практически в том же диапазоне.

Чувствительны к изменению внешней температуры внутренние и внешние квантовые выходы [7–12]. При изменении температуры окружающей среды от 210 до 300 К наблюдаемый спад квантовой эффективности при малых плотностях тока максимально составляет около 50 %, а при плотности тока 100 А/см²–30 % [10].

Оценить температуру активной области позволяет метод, основанный на анализе спектров излучения СД, снятых при разных прямых токах, так как

на положение максимума спектра влияет температурная зависимость ширины запрещённой зоны полупроводника активной области. Однако этот метод довольно трудоёмок, с промежуточным тестированием спектров по температуре, что приводит к накоплению ошибки определения температуры [13, 14].

С созданием СД на основе GaN появились оптимистические прогнозы, мало подкреплённые длительными испытаниями, о большом сроке их службы. Однако первые работы [15, 16] и последующие [17–19] показали, что это не совсем так. В режимах, когда ток превышает номинальный (не вполне оптимальный по рассеиваемой мощности) деградация квантового выхода СД становится заметной уже через 2000 ч непрерывной работы при постоянном токе. Причём, помимо физических причин, связанных с особенностями распределения электрического поля в области пространственного заряда p – n -перехода, существенную роль играет температура активного слоя. Так, концентрация точечных дефектов в активной области расположения квантовых ям N_t растёт со временем в соответствии с зависимостью [17]

$$N_t(t) = \frac{3}{2} \frac{JU_i}{X_o \Delta E} \tau_A \times \exp\left(-\frac{E_d}{2(kT + \Delta E)}\right) \times \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau_A}\right)\right], \quad (1)$$

где J – плотность тока, U_i – отклонение прямого напряжения от экспоненциальной зависимости, X_o – ширина компенсированного слоя p – n -перехода, ΔE – энергия горячих электронов в активной области, τ_A – среднее время существования точечного дефекта от образования до аннигиляции, k – постоянная Больцмана, T – температура активной области квантовых ям, E_d – энергия, необходимая для смещения атомов из узлов кристаллической решётки.

Как видно из (1), температура входит в показатель экспоненты, следствием чего является существенная зависимость от неё концентрации образующихся в процессе протекания прямого тока безызлучательных центров рекомбинации при заданном времени наработки.

Повышенные электрические режимы используют для ускоренных испытаний на ресурс, для прогнозирования срока службы СД. Однако даже незначительные ошибки в определении температуры, допустим в 10 %, могут приводить к существенным ошибкам в прогнозе по указанной выше причине.

Пока мы говорили о температуре внешней среды. Но при протекании прямого тока в СД выделяется значительная тепловая энергия, которая приводит к разогреву активной области дополнительно к внешнему температурному воздействию, т.е. перегреву ΔT . Источниками выделения тепла могут быть как область расположения квантовых ям, так и квазинейтральные слои диодной структуры и омические контакты. Независимо от этого физические процессы, определяющие параметры p - n -перехода зависят от его температуры.

В справочных данных по параметрам и характеристикам мощных СД для определения их температурных режимов приводятся диаграммы для определения рабочего прямого тока с использованием такого параметра, как тепловое сопротивление или его конкретное значение.

Согласно [20] для расчёта температуры перехода T_j используется следующее уравнение:

$$T_j = R_{thj-ref} \cdot P_H + T_{ref},$$

где $R_{thj-ref}$ – тепловое сопротивление переход – контрольная точка на корпусе прибора; P_H – мощность, рассеиваемая СД; T_{ref} – некоторая исходная температура (это может быть температура окружающей среды или температура в какой либо контрольной точке). Обозначения взяты из [20].

Стандарт *EIA/JEDEC JESD51.1* определяет тепловое сопротивление как:

$$R_{thj-x} = \frac{T_j - T_x}{P_H}, \quad (2)$$

где T_x – температура в некоторой контрольной точке X ; обозначения в (2) – из этого стандарта.

Таким образом, температура p - n -перехода определяется с использованием теплового сопротивления, кото-

рое может измеряться, например, с помощью установки *T3ster*¹.

Из *EIA/JEDEC JESD51.1* следует, что тепловое сопротивление с применением теории теплопереноса позволяет измерять температуру активной области биполярной структуры.

Цель настоящей работы – апробация модернизированного метода (с устройством для его реализации) измерения температуры непосредственно активной области мощных СД, основанного на регистрации динамики изменения прямого напряжения при импульсном нагреве прямым током и последующем остывании СД при малом токе экспоненциального участка ВАХ, при котором измеряется температура перегрева активной области.

Как и по ГОСТ 19656.15–84, через испытуемый СД пропускается импульс прямого постоянного тока, при котором в кристалле выделяется разогревающая мощность. Ток импульс длится до установления стационарного температурного режима, при котором наступает тепловое равновесие между кристаллом, подложкой и теплоотводом (кристаллодержателем, корпусом). При этом температура элементов конструкции СД стабилизируется. Эксперименты показывают, что время установления этого режима составляет не более 60 с.

Затем СД переводится в режим протекания тока малой плотности (около $1 \cdot 10^{-2}$ А/см²), при котором снимается переходный процесс изменения прямого напряжения при естественном остывании (в настоящей работе без радиаторов), рис. 1. Регистрирующее устройство фиксирует мгновенные значения прямого напряжения в течение всего процесса измерения, каждое в течение 50 мс, и записывает в электронную память.

Так как по теории p - n -перехода [6, 21, 22] прямое напряжение характеризует электрический режим именно активной области, то данный метод фиксирует температурный режим именно активной области.

В отличие от ГОСТ 19656.15–84, в представленном методе конкретизируется значение измерительного тока в экспоненциальной области ВАХ, фиксируется пиковое значение прямо-

го напряжения в момент начала остывания, а коэффициент a определяется не по двум измеренным значениям температуры и напряжения в термостате, а по зависимости из массива точек прямого напряжения при медленно меняющейся температуре путём линейной аппроксимации, что снижает погрешность определения a до менее чем 1 %. В конечном счёте погрешность определения температуры активной области составляет не более 2 %, то есть намного меньше 25 %, указанных в ГОСТ.

В качестве температурного датчика при измерении коэффициента a используется цифровой датчик *DS18B20*. Диапазон измеряемых температур: от -55 до $+125$ °С. Шаг измерения: $0,1$ °С. Для измерения прямого напряжения применяется 18-битный АЦП *MCP3421* типа «сигма-дельта», работающий в 14-битном режиме для увеличения быстродействия. Шаг дискретности: 250 мкВ.

Из результатов фиксации динамики прямого напряжения (рис. 1) следует, что температура перегрева активной области

$$\Delta T = \frac{u_o - u(0)}{a} = \frac{\Delta U}{a},$$

где u_o – мгновенное значение прямого напряжения на СД перед подачей импульса разогревающего тока, $u(0)$ – мгновенное значение прямого напряжения на СД после отключения разогревающего тока размыканием ключа K (рис. 2) в нулевой момент времени начала остывания, a – коэффициент пропорциональности температурной зависимости прямого напряжения (определяется по изменению прямого напряжения в соответствующем диапазоне температур) [6].

Температура активной области с учётом температуры внешней среды определяется по формуле

$$T_j = \Delta T + T_{ref}.$$

Температура перегрева активной области ΔT определяется данным методом программно и её значение выводится на экран монитора измерительного устройства (рис. 1). Массив данных формируется в файл форматов *.txt или *.dat, которые используются для дальнейшей обработки в пакетах «*ORIGIN*» или «*MathCad*».

¹ *T3ster* – это тестер переходных температур, разработанный *Mentor Graphics* (США) и основанный на международном стандартном методе статических испытаний *JESD51-1*, для измерения параметров транзисторов *IGBT*, силовых диодов, СД и УФ диодов.

Упрощённое условно-графическое изображение электрической схемы устройства, реализующего описанный метод, приведено на рис. 2.

Управление работой измерителя ведётся по разработанному в соответствии с методом программному обеспечению посредством микроконтроллера МК *Atmega 8*.

В исходном состоянии через СД, установленный в цепь отрицательной обратной связи операционного усилителя ОУ2, протекает малый, так называемый «измерительный», ток $I_{И} = U_{ОП}/R_{И}$, значение которого соответствует экспоненциальному участку ВАХ. Операционный усилитель выполняет роль практически идеального источника тока со стабильностью 0,1 %. В ГОСТ 19656.15–84 регламентируется значение внутреннего сопротивления источника тока 10 кОм, со стабильностью 2 %. На выходе усилителя мощности УМ ОУ2 фиксируется прямое напряжение на СД.

Микроконтроллер задаёт на выходе операционного усилителя ОУ1 напряжение U . По команде с МК при замыкании ключа К через СД задаётся разогревающий импульс тока $I_P = U/R_1 + U_{ОП}/R_{И} \approx U/R_1$ ($U/R_1 \gg U_{ОП}/R_{И}$) длительностью, достаточной для достижения на СД установившейся температуры; в нашем случае 30–60 с.

По окончании разогрева ключ К размыкается, и через СД протекает малый измерительный ток силой $U_{ОП}/R_{И}$, позволяющий применять принятый математический аппарат для выражения температурной зависимости прямого напряжения [6]. Использовать измерительные токи со значениями вне экспоненты ВАХ нельзя, так как разработанный математический аппарат для температурной зависимости прямого напряжения вне этой области не работает и вносится существенная погрешность при определении температуры (до 25 %). Кроме того, нужно иметь в виду, что коэффициент a линейно зависит от логарифма плотности тока, при котором он измеряется [6].

Время остывания устанавливается экспериментально и, как правило, не превышает 60 с. Для измерения температуры, создаваемой разогревающим током, достаточно знания прямого напряжения в момент отключения разогревающего тока $u(0)$.

Коэффициент пропорциональности a определялся не по двум точкам при

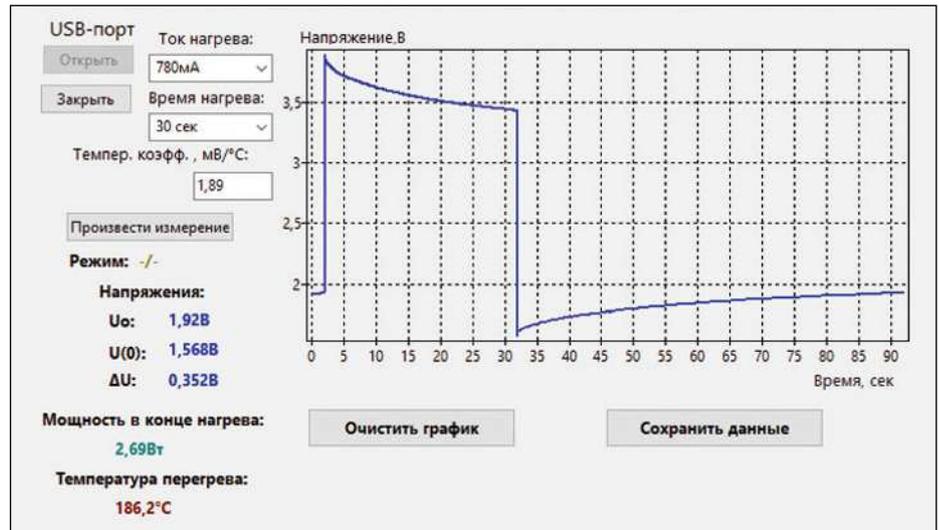


Рис. 1. Вид переходного процесса изменения прямого напряжения на зелёном СД при подаче импульса разогревающего тока и при последующем естественном остывании

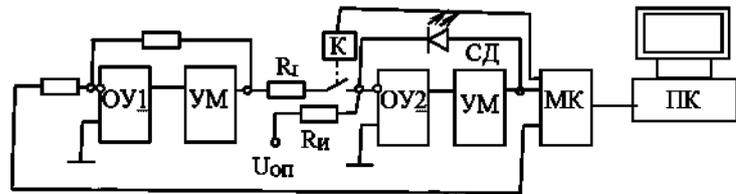


Рис. 2. Условно-графическое изображение электрической схемы измерения температуры активного слоя $p-n$ -перехода по динамике изменения прямого напряжения (пояснения далее в тексте)

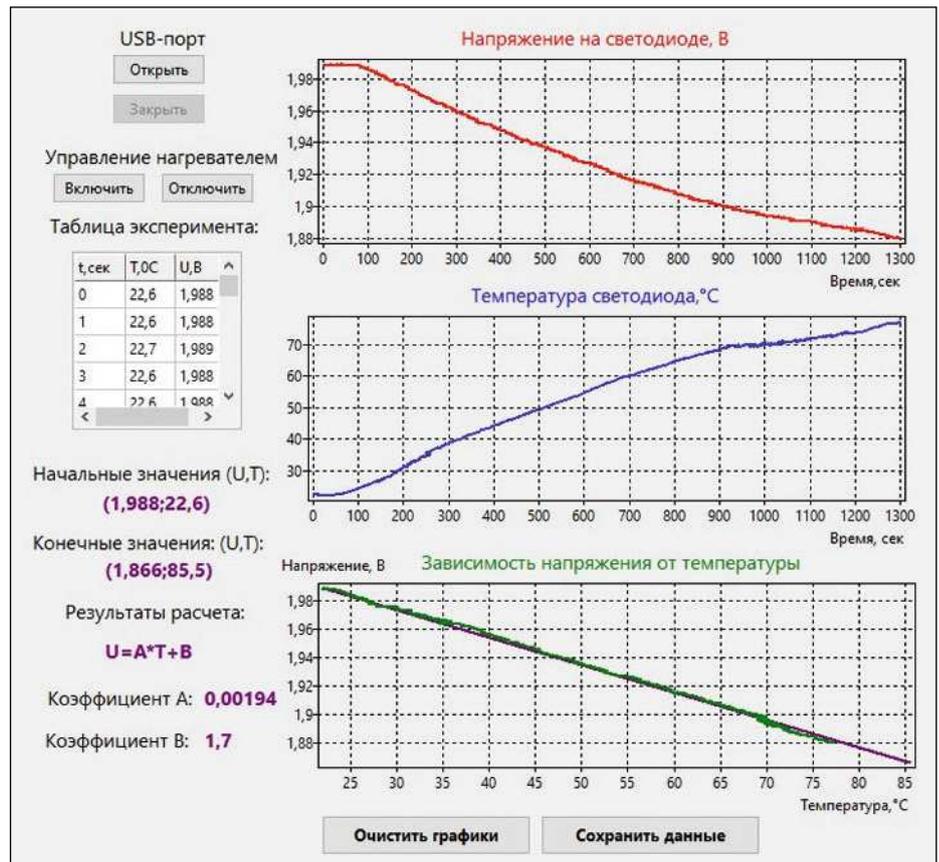


Рис. 3. Диаграммы нагрева СД и зависимости прямого напряжения на нём от температуры

Рис. 4. Зависимость температуры перегрева активной области p - n -перехода СД от задаваемой мощности при температуре окружающей среды $23\text{ }^\circ\text{C}$

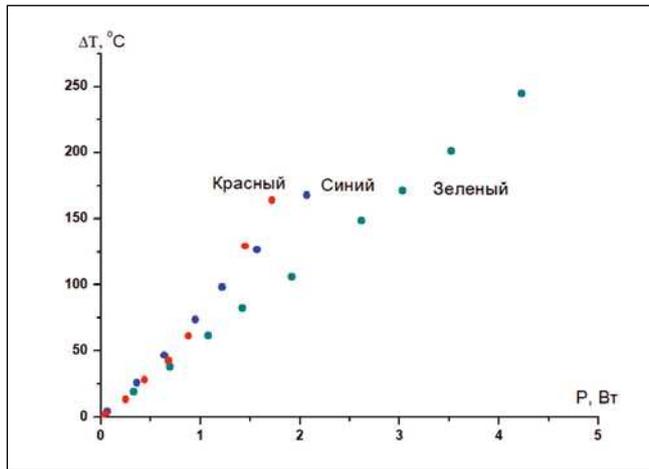
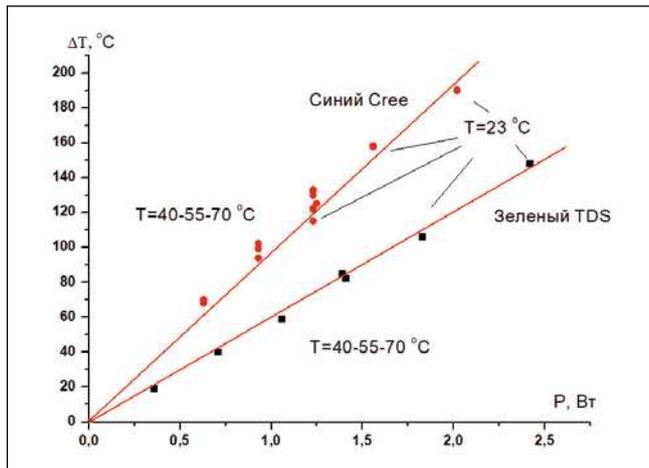


Рис. 5. Зависимость температуры перегрева активных областей синего и зелёного СД при разных температурах окружающей среды



выдержке в термостате, как это рекомендуется в ГОСТ 19656.15–84, Приложение 1, а снятием зависимости прямого напряжения от температуры в диапазоне $25\text{--}90\text{ }^\circ\text{C}$ при медленном нагреве СД со скоростью одна точка в секунду в течение $10\text{--}20$ мин, что составляет $0.05\text{--}0,1\text{ }^\circ\text{C}/\text{с}$. Соответствующая диаграмма нагрева приведена на рис. 3.

В экспериментальных исследованиях использовались СД фирмы Cree красного (*XPEBRD-L1-0000-00701*), зелёного (*XPEBGR-L1-0000-00E01*) и синего (*XPEBBL-L1-0000-00201*) света с номинальным током 350 мА .

Измерялись температура перегрева активной области СД структур (области вблизи металлургической границы) – для выявления зависимости её температуры от потребляемой мощности без учёта отвода излучения. Измерения проводились при разных температурах окружающей среды, от 40 до $70\text{ }^\circ\text{C}$, при разогревающих токах от 25 до 800 мА . Потребляемая мощность рассчитывалась по ВАХ. Для каждого исследованного образца по методике, описанной в [6], определялся коэффи-

циент a при заданном измерительном токе. Результаты измерений приведены на рис. 4 и 5.

С учётом определения теплового сопротивления по стандарту *EIA/JEDEC JESD51.1* были рассчитаны их значения для результатов, представленных на рис. 4. Для синего СД $R_{J\text{-act}} = 95\text{ К}/\text{Вт}$, для зелёного – $58\text{ К}/\text{Вт}$, что значительно больше справочных значений. Для красных СД при больших мощностях P наблюдается рост $R_{J\text{-act}}$ от $60\text{ К}/\text{Вт}$ при $P < 0.4\text{ Вт}$ до $90\text{ К}/\text{Вт}$ при $P = 1,7\text{ Вт}$.

Методы измерения температуры p - n -перехода по температурной зависимости прямого напряжения при стабилизированном токе используются широко. Их самые существенные недостатки – отсутствие корректной персональной градуировки по коэффициенту пропорциональности с учётом его зависимости от тока, который, как правило, принимается априорно, и высокая трудоёмкость предварительной работы по выявлению влияния внешней температуры, что приводит к накоплению существенной ошибки измерений.

Далее обратимся к опубликованным работам по температурной зависимости спектров излучения СД. Наиболее совпадающие результаты с результатами настоящей работы приведены в [14, 24].

В [14, рис. 3] представлены температурные зависимости пиковой длины волны основной полосы излучения красного СД на основе структуры *AllnGaP* с множественными квантовыми ямами при разных токах, от 1 до 200 мА . Среднее температурное изменение ширины запрещённой зоны *AllnGaP*, рассчитанное по этим данным,

$$\frac{\Delta E_g}{\Delta T} = 1,24 \cdot \left(\frac{1}{\lambda(T_2)} - \frac{1}{\lambda(T_1)} \right) = 4,7 \cdot 10^{-4} \text{ эВ}/^\circ\text{C},$$

достаточно хорошо совпадает по величине с рассчитанным по формуле Варшни [25],

$$\frac{dE_g}{dT} = \frac{d}{dT} \left(E_g(0) - \frac{\alpha T^2}{\beta + T} \right) = \frac{\alpha T(2\beta + T)}{(\beta + T)^2} = 5,0 \cdot 10^{-4} \text{ эВ}/^\circ\text{C}.$$

В этих формулах: $\lambda(T_1)$ и $\lambda(T_2)$ – пиковые длины волн спектров при разных температурах, мкм; $E_g(0)$ – ширина запрещённой зоны полупроводника в квантовых ямах; α и β – коэффициенты Варшни.

Основываясь на данных по изменению пиковой длины волны спектра, авторы получили значение теплового сопротивления $37\text{ К}/\text{Вт}$. При этом в расчётах они учли, что разогревающая мощность создаёт температурный перегрев именно в активном слое и теплоперенос к корпусу СД осуществляется через *GaAs* подложку с высоким коэффициентом теплопроводности, $0,56\text{ Вт}/(\text{см} \cdot \text{К})$.

Подобные же результаты получены для маломощных УФ диодов [14, рис. 6.2]. При нагреве УФ диода от 20 до $100\text{ }^\circ\text{C}$ максимум спектра сдвигался линейно в сторону больших длин волн с коэффициентом пропорциональности $5,3 \cdot 10^{-4}\text{ эВ}/^\circ\text{C}$, что также совпадает со справочными данными. Однако, в отличие от теплового сопротивления красных СД, рассчитанное тепловое сопротивление УФ диода составило около $330\text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$. Столь большое значение достаточно хоро-

шо согласуется с результатами работы [6], по маломощным СД, с использованием предложенного выше метода.

Однако нужно отметить, что в обоих случаях измерению температуры по сдвигу максимума спектра излучения предшествует достаточно сложная и трудоёмкая подготовительная работа по тестированию (градуировке), в то время как в предлагаемом методе градуировка занимает около 15–20 мин без термостата, а измерение – 1 мин.

О проблематичности использования спектров излучения СД свидетельствуют результаты работы [26, рис. 2], по спектрам СД, аналогичных использованным в настоящей работе, при токах от 100 до 1000 мА. При этом следовало ожидать сдвиг максимумов спектров в длинноволновую область, например, для синих СД, на 21 нм, а реально наблюдается сдвиг в коротковолновую область на 2 нм. Аналогичный эффект наблюдается и у зелёного СД.

Увеличение пиковой длины волны также наблюдалось у красного и янтарного СД, но коэффициент температурного изменения ширины запрещённой зоны их в 4 раза меньше расчётного по справочным данным.

Похожий эффект сдвига максимума спектра излучения УФ диодов и синих СД в коротковолновую область при росте прямого тока выявлен в работах [27, рис. 1 и 2] и [28, рис. 1].

Приведённые аргументы позволяют сделать вывод, что измерение температуры активной области биполярных структур по изменению прямого напряжения в динамичном режиме свободно от указанных недостатков других методов и обеспечено надёжным способом градуировки и аргументированным математическим аппаратом, основанным и подтверждённым многочисленными физическими исследованиями, подкреплённым принятой теорией $p-n$ -перехода.

Заключение

Представленная работа служит продолжением исследований, начатых в [6]. В настоящей и предшествующей работах получены результаты, показывающие перспективность представленного модернизированного (ГОСТ 19656.15–84) метода измерения температуры активной области СД и УФ диодов по динамике изменения пря-

мого напряжения при токовых нагреве и охлаждении.

Он обладает простотой реализации и схемно-технического решения, строго обоснованным физико-математическим аппаратом и является практически прямым неразрушающим методом измерения температуры перегрева активной области биполярных структур.

Предложенный метод и устройство его реализации обладают довольно высокой точностью и повторяемостью результатов и могут использоваться для оперативного измерения температуры перегрева металлургической границы $p-n$ -структур при протекании как прямого, так и обратного токов.

Исследование выполнено в рамках научной программы Национального центра физики и математики (проект «Ядерная и радиационная физика»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Meynard D.S. et al.* Temperature dependent efficiency droop in GaInN light-emitting diodes with different current densities // *Appl. Phys. Lett.* – 2012. – Vol. 100, Is. 8. – 081106. DOI:10.1063/1.3688041.
2. *Guo Z.-Q. et al.* On a relationship among optical power, current density, and junction temperature for InGaN-based light-emitting diodes // *AIP Advances.* – 2017. – Vol. 7, Is. 1. – 015307. DOI: 10.1063/1.4974877.
3. *Tetzlaff T. et al.* Estimation of LED Junction Temperature Based on Forward Voltage Method for Digital Hardware Implementation / 2016 European Modelling Symposium. DOI 10.1109/EMS.2016.42
4. *Xi Y., Xi J.-Q., Gessmann T. et al.* Junction temperature measurements in deep-UV light-emitting diodes // *Appl. Phys. Lett.* – 2005. – Vol. 86, Is. 3. – 031907.
5. *Muslu A.M. et al.* Impact of junction temperature over forward voltage drop for red, blue and green high power light emitting diode chips // 2017, 16th IEEE Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems.
6. *Варламов Д.О., Маняхин Ф.И., Скворцов А.А.* Взаимосвязь температурных и электрических режимов маломощных высокоэффективных светодиодов // *Светотехника.* – 2023. – № 1. – С. 24–29.
7. *Маняхин Ф.И., Мокрецова Л.О.* Физико-математическая модель зависимости внутренней квантовой эффективности светодиодов с квантовыми ямами от тока // *Светотехника.* – 2020. – № 5. – С. 73–78.
8. *Войцеховский А.В., Несмелов С.Н., Кульчицкий Н.А., Мельников А.А.* Влияние дислокаций на внутреннюю квантовую эффективность светоизлучающих структур на

основе квантовых ям InGaN/GaN // *Нано- и микросистемная техника.* – 2011. – № 8. – С. 27–35.

9. *Shim J.-I., Shin D.-S.* Measuring the internal quantum efficiency of light-emitting diodes towards accurate reliable room-temperature characterization // *Nanophotonics.* – 2018. – September. – P. 1–15.

10. *Павлюченко А.С., Рожанский И.В., Закгейм Д.А.* Проявление инжекционного механизма падения эффективности светодиодов на основе AlInGaN в температурной зависимости внешнего квантового выхода // *ФТП.* – 2009. – Т. 43, Вып. 10. – С. 1391–1395.

11. *Meneghini M., Santi C. de, Tibaldi A. et al.* Thermal droop in III-nitride based light emitting diodes: Physical origin and perspectives // *J. Appl. Phys.* – 2020. – Vol. 127, Is. 21. – 211102.

12. *Titkov I., Karpov S.Y., Yadav A. et al.* Temperature-Dependent Internal Quantum Efficiency of Blue High-Brightness Light-Emitting Diodes // *IEEE Journal of Quantum Electronics.* – 2014. – Vol. 50, No. 11, – P. 911–920.

13. *Xi Y., Schubert E.F.* Junction-temperature measurement in GaN ultraviolet light-emitting diodes using diode forward voltage method // *Appl. Phys. Lett.* – 2004. – Vol. 85, Is. 12, – P. 2163–2165.

14. *Шуберт Ф.* Светодиоды / Пер. с англ. Под ред. А.Э. Юновича – 2-е изд. – М.: Физматлит, 2008, – 494 с.

15. *Manyakhin F., Kovalev A., Yunovich A.E.* Aging Mechanisms of InGaN/AlGaIn/GaN Light Emitting Diodes Operating at High Currents // *MRS Internet Journal Nitride Semiconductor Research.* – 1998. – Vol. 3, No. 53. – P. 1–5.

16. *Kudryashov V.E. et al.* Dependence of aging on inhomogeneities in InGaN/AlGaIn/GaN light-emitting diodes // *MRS Internet Journal of Nitride Semiconductor Research.* – 2000. – Vol. 5. – P. 668–674.

17. *Маняхин Ф.И., Мокрецова Л.О.* Закономерность снижения квантового выхода светодиодов с квантовыми ямами при длительном протекании тока с позиции модели ABC // *Светотехника.* – 2021. – № 3. – С. 29–35.

18. *Meneghini M., Trevisanello L-R, Zahner T., Strauss U., Meneghesso G., Zanoni E.* High-Temperature degradation of GaN LEDs related to passivation // *IEEE Transactions on Electron Dev.* – 2006. – Vol. 53, No. 12. – P. 2982–2986.

19. *Meneghesso G., Levada S., Pierobon R., Rampazzo F., Zanoni E., Cavalini A., Castalini A., Scamareio G., Du S., Eliashevich L.* Degradation mechanisms on GaN-based LEDs after accelerated DC current aging / *Digest. International Electron Devices Meeting.* – Dec. 8, 2002. – P. 103–105. DOI: 10.1109/IEDM.2002.1175789

20. *Ежов В.* Стандартизация и расчёт тепловых характеристик мощных светодиодов // *Электронные компоненты*. – 2009. – № 6. – С. 42–48.

21. *Shockley W.* The Theory of p-n Junctions in Semiconductors and p-n Junction Transistors // *Belt Syst. Tec. J.* – 1949. – Vol. 28 – P. 435–489.

22. *Sah C. T., Noyce R.N., Shockley W.* Carrier Generation and Recombination in P-N Junctions and P-N Junction Characteristics // *Proc. IRE.* – 1957. – Vol. 45 – P. 1228–1243.

23. *Манягин Ф.И., Ваттана А.Б., Мокрецова Л.О.* Применение механизма рекомбинации Шокли-Нойса-Саа для модели вольтамперной характеристики светодиодных структур с квантовыми ямами // *Светотехника*. – 2020. – № 4. – С. 45–50.

24. *Сергеев В.А., Широков А.А.* Определение локальных температур в структурах красных AlInGaP/GaAs светодиодов в импульсном режиме // *Письма в ЖТФ*. – 2009. – Т. 35, Вып. 9. – С. 1–10.

25. *Varshni Y.P.* Temperature dependence of the energy gap in semiconductors // *Physica*. – 1967. – Vol. 34. – P. 149–154. DOI:10.1016/0031-8914(67)90062-6 Corpus ID: 120605623.

26. *Делян Р.А., Ерохин М.М., Маркова С.Н., Потапов А.С., Савицкая А.Г., Терехов Г.П., Туркин А.Н.* Выбор метода аппроксимации спектрального распределения цветных светодиодов и сравнение их параметров и характеристик в номинальном режиме // *Светотехника*. – 2023. – № 1. – С. 48–53.

27. *Волков В.В., Коган Л.М., Туркин А.Н., Юнович А.Э.* Спектры люминесценции мощных светодиодов на основе нитрида галлия в ультрафиолетовой и фиолетовой областях спектра // *ЖТФ*. – 2018. – Т. 52, Вып. 10. – С. 1172–1176.

28. *Кудряшов В.Е., Мамакин С.С., Туркин А.Н., Юнович А.Э., Ковалёв А.Н., Манягин Ф.И.* Спектры и квантовый выход излучения светодиодов с квантовыми ямами на основе гетероструктур из GaN – зависимость от тока и напряжения // *ФТП*, – 2001. – Т. 35, Вып. 7. – С. 861–868.



Манягин Фёдор Иванович, доктор физ.-мат. наук, профессор. Окончил в 1973 г. МИЭМ. Профессор кафедры «Автоматизированное проектирование и дизайн» НИТУ «МИСиС». Автор и соавтор более 160 публикаций. Награждён грамотой Минобрнауки РФ, лауреат конкурса «Золотые имена высшей школы 2018» в номинации «За вклад в науку и высшее образование».

«Золотые имена высшей школы 2018» в номинации «За вклад в науку и высшее образование».

«За вклад в науку и высшее образование». Область научных интересов: полупроводниковая электроника, физика полупроводниковых приборов



Варламов Дмитрий Олегович, инженер. Окончил в 2005 г. МГТУ «МАМИ». Старший преподаватель кафедры «Электрооборудование и промышленная электроника»

Московского политехнического университета. Автор и соавтор более 40 публикаций. Область научных интересов: микроконтроллерные системы, светодиоды



Скворцов Аркадий Алексеевич, доктор физ.-мат. наук. Зав. кафедрой Московского политехнического университета. Автор и соавтор более 150 научных статей и монографий по полупроводниковому

материаловедению и проблеме деградации систем металлизации и контактов в структурах микро- и нанoeлектроники



Мокрецова Людмила Олеговна, кандидат техн. наук, доцент. Окончила в 1978 г. Московский институт стали и сплавов (МИСиС). Доцент кафедры «Автоматизированное проектирование

и дизайн» НИТУ «МИСиС». Лауреат конкурса «Золотые имена высшей школы 2018» в номинации «За внедрение инновационных методик преподавания». Область научных интересов: трёхмерное моделирование в световом дизайне



Николаев Владимир Константинович, кандидат экон. наук. Научный сотрудник кафедры «Динамика, прочность машин и сопротивление материалов» Московского политехнического университета. Автор (соавтор) более 25 научных статей и монографий по микроэлектронике и организации производства предприятий приборостроительной отрасли

приборостроительной отрасли

Рынок светодиодных чипов восстановится в 2023 году

Годовая рыночная стоимость светодиодных чипов вырастет до 2,9 млрд долларов в 2023 году

TrendForce сообщила о значительном снижении мирового спроса на светодиоды (СД) в течение 2022 г., что привело к заметному спаду как на рынках СД освещения, так и на рынках видеосенсоров. Отрасль столкнулась с избытком СД чипов, что привело к непрерывному падению цен в течение всего года.

Совокупное воздействие объёма и снижения цен привело к резкому снижению рыночной стоимости мировых СД чипов на 23 % в 2022 г., сократившись до \$2,78 млрд. Несмотря на эту сложную ситуацию, прогнозируется, что СД индустрия восстановится в 2023 г., в первую очередь благодаря оживлению рынка СД освещения. Ожидаемый отскок может повысить стоимость производства СД чипов, которая, по оценкам, составит \$2,92 млрд в 2023 г.

Ожидается, что СД коммерческое освещение станет лидером по возвращению на более широкий рынок СД освещения. С точки зрения цепочки поставок, индустрия СД освещения достигла низкой точки в 2018 г., что привело к массовому исчезновению нескольких малых и средних предприятий. Более того, некоторые производители СД чипов для освещения последовательно переходят в более прибыльные сектора, такие как технология отображения. Этот сдвиг привёл к сокращению предложения и, соответственно, к снижению уровня запасов.

В ответ на эти изменения несколько СД компаний решили повысить свои цены. В первую очередь выросли цены на СД чипы, специально используемые для освещения. Наиболее значительный рост цен наблюдался на маломощные СД чипы площадью 300 мил / м2 или менее, на которые цены выросли примерно на 3–5 %. В некоторых случаях рост цен на чипы уникальных размеров достигал 10 %.

Анализ TrendForce подчёркивает, что большинство мировых поставщиков СД чипов находятся в Китае. В последние годы обострившаяся конкуренция в отрасли вынудила некоторые компании уйти с рынка СД чипов. В то же время китайские производители СД чипов снизили своё внимание к сектору чипов. Большинство поставщиков, которые остались на рынке, сообщали о постоянных убытках в течение длительного периода.

В Китае недавнее повышение цен на маломощные СД чипы рассматривается как краткосрочная стратегия повышения прибыльности. Заглядывая в будущее, TrendForce прогнозирует, что за счёт достижения баланса между спросом и предложением и увеличения концентрации отрасли СД индустрия постепенно вернётся к нормальному состоянию.

compoundsemiconductor.net
01.06.2023



Международная
светотехническая
корпорация



БООС ЛАЙТИНГ ГРУПП



ООО «СВЕТОСЕРВИС-СТАВРОПОЛЬЕ»

357341, Ставропольский край,
г. Лермонтов, ул. Краснодарская, 6



+7 (8793) 38-33-71



www.svetoservis.ru

Картирование наземных полей аквакультуры по снимкам дистанционного зондирования высокого разрешения

С. ЧЭНЬ^{1,2}, Д.С. ЕФРЕМЕНКО³, Ж. ЧЖАН⁴, Л. МОН^{1,*}

¹Школа дистанционного зондирования и информационной инженерии, Уханьский университет, Китай

²Кафедра космонавтики и геодезии, Мюнхенский технический университет (ТУМ), Германия

³Институт технологии дистанционного зондирования (IMF), Германский центр авиации и космонавтики (DLR), Германия

⁴Информационный центр (Центр гидрологического мониторинга и прогнозирования), Министерство водных ресурсов, Китай

*Email: lkmeng@whu.edu.cn

Аннотация

Свёрточные нейронные сети широко используются для обработки изображений, полученных в процессе дистанционного зондирования Земли. Аквакультуры играют важную роль в обеспечении продовольственной безопасности, поэтому их состояние необходимо контролировать. В данной работе предлагается новая легковесная нейронная сеть для поиска полей аквакультуры на местности по изображениям дистанционного зондирования высокого разрешения. Структура предложенной сети сегментации прудов основана на архитектуре *UNet*, что обеспечивает более высокую скорость обучения по сравнению с существующими аналогами. Эксперименты проводились на наборе спутниковых данных *Gaofen* в Шанхае, Китай. Предложенная сеть обнаруживает пруды аквакультуры на суше быстрее, чем современные модели на основе нейронных сетей, и достигает общей точности около 90 %¹.

Ключевые слова: аквакультура, дистанционное зондирование (ДЗ), свёрточные нейронные сети (*CNN*), глубокое обучение (*DL*), *GF-1*

1. Введение

За последние несколько лет интеллектуальные системы интерпретации сигналов активно развиваются в различных областях светотехники и дистанционного зондирования. Быстрое развитие платформ многоспектраль-

ного дистанционного зондирования открывает беспрецедентные возможности для составления карт землепользования и почвенного покрова. Состояние первичной промышленности, включающей в себя сельское хозяйство, лесное хозяйство и рыболовство, варьируется от района к району из-за влияния территории и климата. Дистанционное зондирование позволяет отслеживать состояние и развитие первичной промышленности. Тем не менее, из-за того, что высокое пространственное разрешение часто достигается за счёт ухудшения временного и спектрального разрешения (и наоборот), дистанционное зондирование используется весьма ограничено для мониторинга небольших категорий землепользования. Однако с накоплением мультиспектральных изображений дистанционного зондирования с высоким пространственным разрешением исследователи начали уделять особое внимание малоразмерным типам землепользования. В частности, в 21 веке всё большее признание получают секторы рыболовства и аквакультуры благодаря их существенному вкладу в глобальную продовольственную безопасность и питание. В связи с этим задача мониторинга размеров аквакультурных площадей представляется актуальной.

Было проведено несколько работ по картированию аквакультурных прудов и нерестилищ вдоль побережья. В работе Лиань и др. [1] была разработана сеть глубокого полу-/слабо контролируемого обучения для нахождения прибрежных аквакультурных зон. Описанная в работе модель позволила решить такие проблемы, как сложность маркировки и неустойчивость модели, и получила общую точность

около 80 % при использовании спутниковых данных *Gaofen* (*GF*) с различным пространственным разрешением. Чуань и др. [2] также проводили сегментацию в заданном морском районе и достигли более высокой точности благодаря нейронной сети *UNet*. Данные *GF* были использованы в работе Жюу и др. [3] также для исследования морских аквакультурных районов Бохайского моря, что позволило достичь очень высокой точности. Однако этот алгоритм может быть применён только в случае однородного фона прибрежных районов аквакультуры. При картировании водных хозяйств мы не можем использовать только спектральные характеристики пикселей (например, так называемый, индекс воды, используемый в некоторых работах), так как в этом случае невозможно отличить рыбные хозяйства от естественных водоёмов. Необходимо включать в модель дополнительные источники информации.

За последние несколько лет глубокое обучение стало наиболее популярным и эффективным подходом для анализа данных дистанционного зондирования в целом [4], и картирования аквакультурных территорий с использованием данных дистанционного зондирования [5–6], в частности. Машинное обучение широко используется для решения различных задач обработки изображений и компьютерного зрения [7]. Основная идея метода заключается в имитации когнитивной компетенции человека для решения задач, связанных с большими данными [8]. При интерпретации данных дистанционного зондирования глубокое обучение часто используется в приложениях по землепользованию и почвенному покрову, включая сельское хозяйство и рыболовство [9–11]. Методы глубокого обучения показали высокую эффективность в задачах детектирования дорог, зданий и самолётов [12–14]. На основе машинного обучения было разработано несколько моделей семантической сегментации.

В данной работе мы предлагаем многослойную архитектуру глубокого обучения для сегментации аквакультурных территорий на мультиспектральных изображениях дистанционного зондирования. Ядром архитектуры является неглубокая сеть *UNet*. Разработанный алгоритм применяется для семантической сегментации прудов аквакультуры на основе изо-

¹ Работа выполнена при поддержке Национальной программы ключевых исследований и разработок Китая (грант № 2021YFB3900603).

бражений *GF1*, *GF1B* и *GF1C*. Все эти три спутника, входящие в группировку *Gaofen-1*, имеют на борту панхроматическую/мультиспектральную (*PMS*) камеру, которая позволяет получать мультиспектральные изображения с пространственным разрешением 8 м.

2. Область исследования

Шанхай – это прибрежный город с развитой речной сетью на суше. Мы рассматриваем пруды аквакультуры в Шанхае, используя мультиспектральные изображения, полученные со спутников *GF-1*. Исследуемая территория делится на две категории: пруды аквакультуры и фон. Для нашего исследования были взяты изображения территории площадью 6340 км² (табл. 1). Территория содержит крупные пруды (> 40000 м²), расположенные вдоль береговой линии, и небольшие пруды (около 15000 м²) на сельскохозяйственных угодьях. Территория достаточно большая, чтобы считать её репрезентативной.

Чтобы получить данные для обучения модели, массив изображений размечается вручную путём визуальной интерпретации. Области прудов могут быть показаны и выделены благодаря оптическим свойствам, характерным для воды. Как показано на рис. 1, вода имеет низкие значения отражательной способности при длине волны > 800 нм, и имеет высокие значения отражательной способности при длине волны, близкой к 500 нм.

В камере *Gaofen-1 PMS* мультиспектральный сигнал снимается в четырёх диапазонах (которые описаны в табл. 2). Длина волны варьируется от 450 до 890 нм. По значениям измерений в зелёном и инфракрасном каналах можно детектировать водяную поверхность на изображениях *Gaofen-1*.

Для произвольно выбранных 6 пикселей на нашем входном изображении отражательные способности реки и прудов весьма схожи (рис. 2). Поэтому на практике невозможно отличить пруды от рек, исследуя только радиометрические величины.

Всего было собрано 8280 локаций различных видов прудов аквакультуры, информация о которых приведена в табл. 3. Эти территории случайным образом разделены на тренировочные (90 %) и валидационные (10 %) данные. Поскольку пруды аквакульту-

Таблица 1
Даты измерений и координаты прудов для аквакультуры в Шанхае в 2020 году

Регион и год	<i>GF1</i>	<i>GF1B</i>	<i>GF1C</i>
Шанхай, Китай 2020	20.08 (E121.2_N30.8, E121.2_N31.1, E121.3_N31.4, E121.4_N31.6, E121.5_N31.9, E121.5_N30.7, E121.6_N31.0, E121.7_N31.3, E121.7_N31.6)	19.08 (E122.1_N30.8, E122.3_N31.3)	28.04 (E120.8_N31.3, E120.9_N31.9)

Таблица 2

Возможности камеры *Gaofen-1 PMS*

Камера <i>PMS</i>	Канал	Длина волны (мкм)
	Канал 1 – Синий	0,45–0,52
	Канал 2 – Зелёный	0,52–0,59
	Канал 3 – Красный	0,63–0,69
	Канал 4 – Ближний инфракрасный	0,77–0,89

Рис. 1. Кривая спектрального отражения почвы (сухой и влажной), воды и растительности [15]

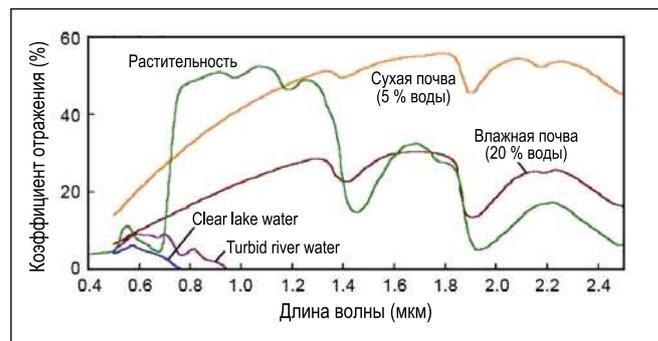
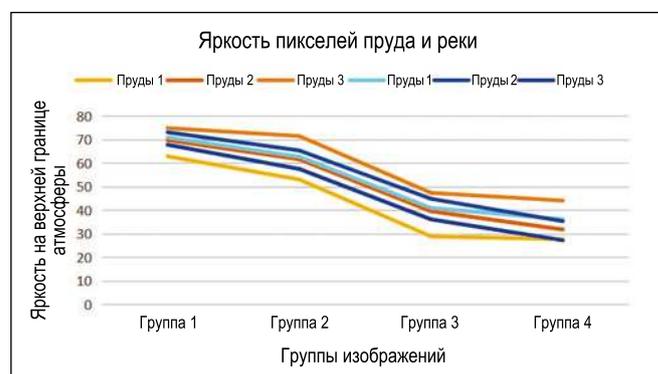


Рис. 2. Функция отражения прудов и рек на верхней границе атмосферы



ры разнообразны по форме и размеру, задача их определения становится достаточно сложной. Разветвлённая речная сеть вносит дополнительные трудности.

3. Методология

3.1. Общий обзор архитектуры

В данной работе предлагается четырёхуровневый иерархический алгоритм для обнаружения прудов ак-

вакультуры по многоспектральным спутниковым снимкам высокого разрешения. Эти четыре уровня включают в себя предварительную обработку, улучшение характеристик, классификацию с учителем и постобработку (рис. 3).

Принимая во внимание искажения геометрии и шум, нам необходимо предварительно обработать изображения со спутников, прежде чем применять к ним модель обучения. Для этого можно выбрать несколько

программ, например, *The Environment for Visualizing Images (ENVI)*, *Pixel Information Expert (PIE)*, а также некоторые инструменты, предоставляемые разработчиками спутников. В нашем случае в качестве инструмента предварительной обработки выбран *PIE*. Это уровень 1 нашего иерархического алгоритма. На уровне 2 производится улучшение качества изображения с помощью алгоритма гистограмм направленных градиентов (англ. *histograms of oriented gradients, HOG*), после чего наш набор данных может использоваться для обучения нейронной сети для классификации с учителем.

Уровень 3 является ядром этой архитектуры. Предлагается неглубокая свёрточная нейронная сеть на основе архитектуры *UNet*, которая позволяет ускорить анализ изображения, сократить набор подгоночных параметров модели и получить хорошую обобщающую способность на малом количе-

стве выборок. Легковесная нейронная сеть сравнивается с существующими методами сегментации, такими как *Mobilenet*, *SegNet* и *UNet* [16–17].

Уровень 4 – это этап постобработки, направленный на улучшение результата извлечения прудов аквакультуры на основе нормализованного дифференциального индекса воды, и предоставление результата. Роли всех этих уровней подробно описаны далее.

3.2. Уровень 1: предварительная обработка

На уровне 1 мы используем *PIE* в качестве инструмента для предварительной обработки. Радиометрическая калибровка и калибровка геометрии выполняются для всех данных. Калибровочные параметры предоставляются в качестве входных данных вместе с исходными данными для преобразования данных спектрометра (*DN*) в абсолютное значение яркости [18]:

$$L_e = Gain \cdot DN + Bias, \quad (1)$$

где L_e – яркость на верхней границе атмосферы (*TOA*) от чёрной, серой и белой калибровочных мишеней; *Gain* и *Bias* – коэффициенты радиометрической калибровки датчика *GF PMS*; *DN* – цифровые значения спектрометра для чёрной, серой и белой калибровочных мишеней, наблюдаемых датчиком *GF PMS* [19].

3.3. Уровень 2: улучшение изображений

В качестве подготовительной работы к классификации с учителем мы улучшаем данные дистанционного зондирования путём добавления дополнительного канала. Сначала мы производим грубое выделение водных участков, переводим в серые изображения, а затем вычисляем на их основе гистограмму направленного градиента *HOG* (рис. 4). По сути *HOG* извлекает информацию о распределении краёв цели в локальных областях, что позволяет оценить форму цели [20]. Пруды аквакультуры имеют схожие спектральные характеристики с другими водными пространствами. Поэтому нам необходимо найти различия между ними. Мы обнаружили, что пруды аквакультуры имеют схожие прямоугольные формы (что позволяет умень-

шить влияние воздушного потока). Таким образом, вычисление *HOG* на основе грубого выделения акватории значительно помогает отделить пруды от естественных водных сетей.

3.4. Уровень 3: классификация с помощью неглубокой свёрточной нейронной сети

Этот этап является основным элементом нашего модуля, который выполняет контролируемую классификацию прудов аквакультуры и фонов с помощью неглубокой свёрточной нейронной сети. В отличие от уже существующих методов, предлагаемая сеть извлекает признаки через набор данных с учётом *HOG* и использует интегрированную функцию потерь для оптимизации качества покрытия в результате классификации. В данной модели используются три уровня свёрточной сети.

Разработанная нейронная сеть основана на архитектуре *UNet* [21]. Она имеет простую структуру, но способна добиться значительного успеха в извлечении признаков из данных дистанционного зондирования. Она сочетает крупномасштабные особенности с мелкими признаками посредством конкатенации в процессе деконволюции. Крупномасштабные (грубые) признаки используются для локализации, а мелкие (точные) – для точной сегментации. Однако для точного выделения прудов аквакультуры на суше требуется широкий спектр обучающих данных, включая как огромные пруды вдоль береговой линии, так и крошечные пруды внутри континента, из-за сложного окружения и различных масштабов прудов.

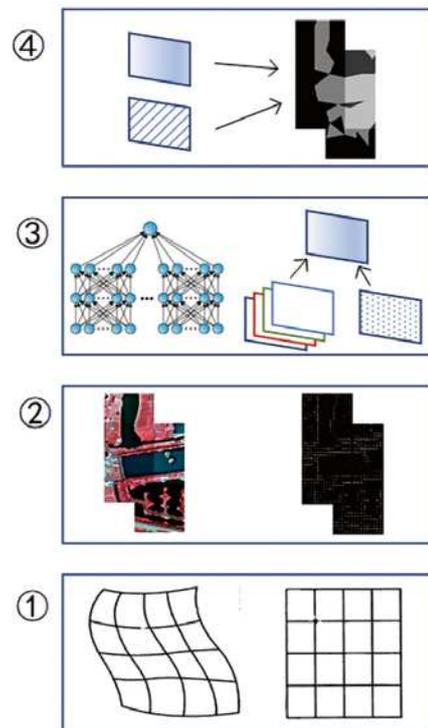


Рис. 3. Четырёхуровневая иерархическая модель глубокого обучения для пиксельной сегментации прудов аквакультуры с использованием спутниковых данных, где 1 – это предварительная обработка для устранения искажений; 2 – это улучшение характеристик с помощью гистограмм направленных градиентов (*HOG*); 3 – это классификация с учителем для разделения изображения на пруды и фон; 4 – это последующая обработка с использованием нормализованного дифференциального индекса воды для улучшения карты сегментации

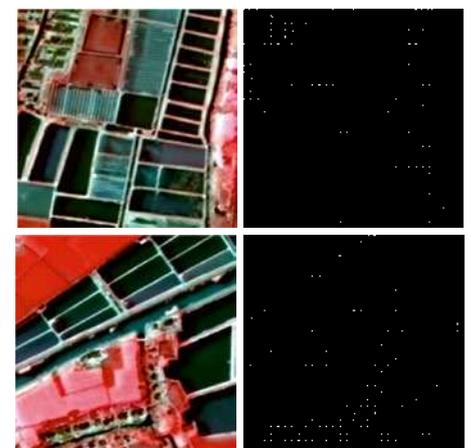


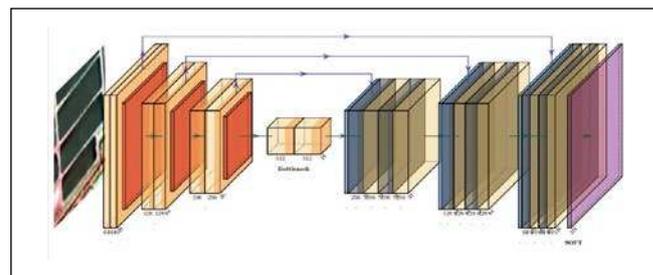
Рис. 4. Цветное изображение (слева) и соответствующее *HOG* изображение (справа)

Количество и площадь территорий, собранных в ходе наземных исследований для Шанхая в 2020 году

#	Класс	Критерий по площади, м ²	Изображения		Площадь, км ²	
			#	%	#	%
1	Большие пруды вдоль береговой линии	> 40000	51	0,6159	15,605	25,9586
2	Сгруппированные небольшие пруды	1000–40000	2805	33,8768	22,316	37,1222
3	Разрозненные небольшие пруды	<1000	5424	65,5072	22,194	36,9192

Также необходимо учитывать скорость обучения нейронной сети наряду с точностью. Мы улучшили структуру *UNet*, используя дополнительный *HOG* канал и уменьшив глубину свёрточной нейронной сети для решения вышеуказанных проблем. При обучении используется оптимизатор *Adam*. Для того чтобы сосредоточиться на небольших прудах, которые трудно классифицировать на снимках дистанционного зондирования, мы используем комбинацию потерь перекрёстной энтропии и фокальных потерь в качестве функции потерь, подлежащей минимизации в процессе обучения нейронной сети. Благодаря использованию фокальной функции потерь наша нейронная сеть может решить проблему неравномерного размера выборки для каждой категории и уделить больше внимания тем пикселям, которые трудно классифицировать, то есть пикселям прудов в нашем исследовании. Архитектура этой модифицированной модели, которую мы назвали *PondsNet*, представлена на рис. 5 [22–23].

Сеть состоит из сужающей и расширяющей секций, как и структура *UNet*. Поскольку это легковесная сеть, она включает в себя только 15 свёрточных слоёв. Сужающаяся секция состоит из блоков с 64, 128 и 256 каналами, соответственно. Каждый блок повторяет две свёртки 3×3, за которыми следует выпрямленный линейный блок (*ReLU*) и операция объединения 2×2 *max*. На каждом шаге понижения дискретизации количество каналов удваивалось. Затем в секции расширения каждый блок выполняет шаг конволюции, который уменьшает карту признаков в 2 раза, конкатенирует соответствующим образом обрезанную карту признаков и проводит две свёртки 3×3 с последующим *ReLU*. На последнем слое использу-

Рис. 5. Общая архитектура *PondsNet*

ется свёртка 1×1 для сопоставления каждого 64-компонентного вектора признаков с двумя классами – пруды и фон (рис. 5). Нейронная сеть реализована на основе *Pytorch*.

3.5. Уровень 4: постобработка

Для улучшения качества картирования мы разработали этап постобработки с использованием имеющейся информации из исходных данных. Поскольку пруды аквакультуры заполнены водой, в качестве проверки можно использовать нормализованный дифференциальный индекс воды (*NDWI*). Отметим, что подобные индексы, зависящие от соотношения сигналов в разных каналах, успешно используются и для классификации растительности [24]. Вероятность того, что пиксели являются водоёмами, устанавливается равной нулю, если значение *NDWI* ниже порога. В результате этот шаг стирает некоторые объекты с похожим очертанием (прямоугольников), но не заполненные водой, и оптимизирует точность сегментации. *NDWI* определяется следующим образом:

$$NDWI = \frac{GREEN - NIR}{GREEN + NIR}, \quad (2)$$

где *GREEN* и *NIR* – значения отражений в зелёном и ближнем инфракрасном диапазонах на изображениях дистанционного зондирования, соответственно. На снимках *Gaofen-1* они соответствуют второму и четвёртому

каналам. Например, некоторые крыши имеют схожий рисунок с прудами аквакультуры на изображениях в видимом диапазоне. Использование *NDWI* для проверки помогает отличить пруды аквакультуры от фона. На этом этапе не применялись методы компьютерной графики. На полях аквакультуры есть несколько малых участков земли, которые используются рыбаками, например, для хранения инструментов, которые с большой вероятностью будут стёрты при применении морфологических преобразований над изображениями. Тем не менее, морфологические преобразования, такие как эрозия и дилатация, играют существенную роль в решении проблемы дискретных пикселей [25–26].

4. Результаты

Разработанная модель была применена к данным, полученным с камеры *PMS* на борту спутника *Gaofen-1*. Для получения раstra водоёмов с пространственной привязкой используются библиотеки *Pytorch* и *GDAL*. Результаты нашей модели и сравнительные графики показаны на рис. 6. Рис. 6a – это исходное изображение в псевдоцветах, на котором видны пруды в голубовато-синих тонах, а остальные показывают результаты, полученные с помощью различных сетей. Последний (рис. 6e) – это результат нашей модели (*PondsNet+NDWI*). Заметим, что на рис. 6e два небольших

Сравнение *PondsNet* с другими сетями

Модель	<i>Segnet+Mobilenet</i>	<i>UNet</i>	Неглубокая сеть <i>UNet</i>	<i>PondsNet</i> (<i>UNet+HOG</i>)	<i>PondsNet</i> с постобработкой
Средняя точность	81,20 %	84,55 %	84,78 %	90,25 %	91,07 %
Среднее значение <i>MIoU</i>	0,67	0,72	0,72	0,84	0,84
Время обучения (с за 500 изображений)	2881,46	14578,81	4608,43	6804,11	(6804,11)

острова хорошо проявлены по сравнению с другими изображениями, а контуры прудов относительно чёткие.

Попиксельная классификация прудов аквакультуры достигла общей точности 91,069 % с помощью неглубокой свёрточной нейронной сети. Метрика *Intersection over Union (IoU)*, также известная как коэффициент Жаккара, составила 0,8369 при использовании процедуры постобработки.

По сравнению с современными сетями, предложенная сеть *PondsNet* имеет лучшие показатели, как по скорости, так и по точности, как показано на табл. 4.

Сравнивая производительность *Segnet* и *UNet* в базовой структуре, мы видим, что *Segnet+Mobilenet* работает очень быстро, хотя и имеет низкую точность. Однако, когда мы сократили слой *UNet* (т.е. *Shallow UNet*), время обучения значительно сократи-

лось, и мы даже получили неожиданный рост точности. С помощью оптимизации мы получили модель, более подходящую для нашей задачи. По сравнению с *Shallow UNet* сеть, *PondsNet* смогла повысить точность на 6 % при незначительных затратах времени. Все эти тесты проводились на компьютере с процессором *Intel Core i7-6700*, оперативной памятью 32 ГБ и графическим процессором *NVIDIA GeForce GTX 1070*.

5. Заключение

Мы предложили относительно легковесную нейронную сеть, названную *PondsNet*, для сегментации прудов аквакультуры на изображениях дистанционного зондирования с высоким пространственным разрешением. Она способна достичь точности классификации по пикселям около 91 % и требует меньше времени на обучение,

чем модели *UNet*. Например, обучение на 500 фрагментах изображения занимает менее 2 ч. Обученная модель является быстрой и не создаёт узких мест в цепочке обработки данных.

В целом сеть *PondsNet* сегментации мелких прудов позволила нам получить высокую семантическую точность сегментации, а также быструю скорость обучения для картирования прудов аквакультуры. Учитывая, что при базовой структуре *UNet* сохраняются низкие требования к обучающим данным, большие наборы данных для обучения нейронной сети не требуются. *PondsNet* снижает стоимость данных и время, затрачиваемое на их интерпретацию человеком, что делает модель пригодной для практического применения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Liang, C.; Cheng, B.; Xiao, B.; He, C.; Liu, X.; Jia, N.; Chen, J. Semi-/Weakly-Supervised Semantic Segmentation Method and Its Application for Coastal Aquaculture Areas Based on Multi-Source Remote Sensing Images // Taking the Fujian Coastal Area (Mainly Sanduo) as an Example. *Remote Sens*, 2021, 13, 1083.
- Yu, C., Liu, Y., Hu, Z., Xia, X. Accurate segmentation of remote sensing cages based on U-Net and voting mechanism // Proc. SPIE 12166, Seventh Asia Pacific Conference on Optics Manufacture and 2021 International Forum of Young Scientists on Advanced Optical Manufacturing (APCOM and YSAOM 2021), 2022, # 121662T.
- Zhu, H., Li, K., Wang, L., Chu, J., Gao, N., Chen, Y. Spectral Characteristic Analysis and Remote Sensing Classification of Coastal Aquaculture Areas Based on GF-1 Data // *Journal of Coastal Research*, 2019, Vol. 90, # sp1, pp. 49–57.
- Zhu, X.X. et al. Deep Learning in Remote Sensing: A Comprehensive Review and List of Resources // in *IEEE Geoscience and*

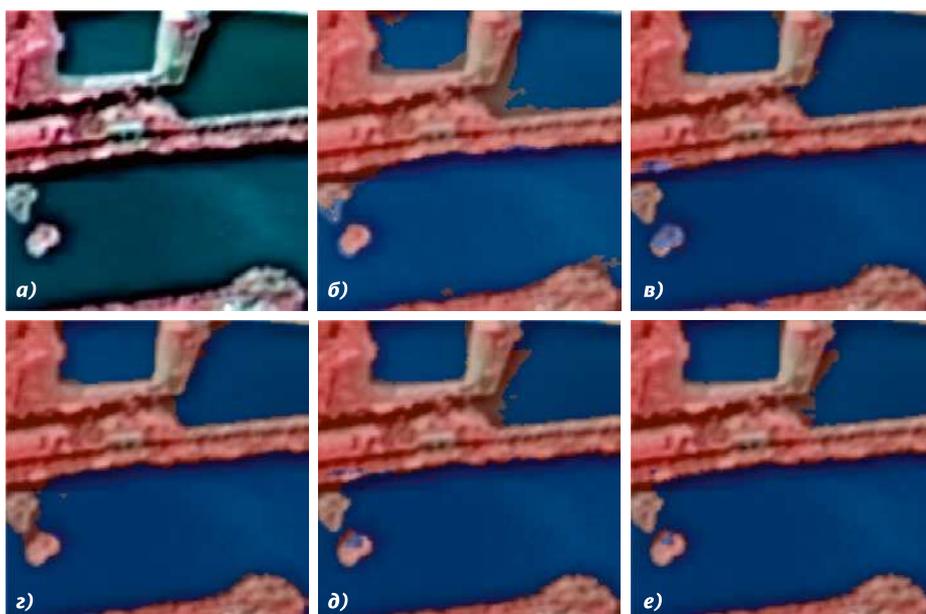


Рис. 6. Определение прудов аквакультуры: а) исходное изображение; б) *Segnet+MobileNet*; в) *Unet*; г) *Shallow Unet*; д) *PondsNet*; е) *PondsNet+NDWI*

Remote Sensing Magazine, 2017, Vol. 5, # 4, pp. 8–36.

5. Zou, Z., Chen, C., Liu, Z., Zhang, Z., Liang, J., Chen, H., Wang, L. Extraction of Aquaculture Ponds along Coastal Region Using U2-Net Deep Learning Model from Remote Sensing Images // Remote Sensing, 2022, Vol. 14, # 16, 4001 p.

6. Lu, Y., Shao, W., Sun, J. Extraction of Offshore Aquaculture Areas from Medium-Resolution Remote Sensing Images Based on Deep Learning // Remote Sensing, 2021, Vol. 13, # 19, 3854 p.

7. LeCun, Y., Bengio, Y., Hinton, G. Deep learning // Nature, 2015, Vol. 521, pp. 436–444.

8. Kussul, N., Lavreniuk, M., Skakun, S., Shelestov, A. Deep Learning Classification of Land Cover and Crop Types Using Remote Sensing Data // in IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2017, Vol. 14, # 5, pp. 778–782.

9. Abebaw, A., Shailender, K. Transfer Learning Models for Land Cover and Land Use Classification in Remote Sensing Image // Applied Artificial Intelligence, 2022, Vol. 36, # 1.

10. Mohammadi, M., Sharifi, A. Evaluation of Convolutional Neural Networks for Urban Mapping Using Satellite Images // J Indian Soc Remote Sens, 2021, Vol. 49, pp. 2125–2131.

11. Bell, T.W., Nidziedo, N.J., Siegel, D.A., Miller, R.J., Cavanaugh, K.C., Nelson, N.B., Reed, D.C., Fedorov, D., Moran, C., Snyder, J.N., Cavanaugh, K.C., Yorke, C.E., Griffith, M. The Utility of Satellites and Autonomous Remote Sensing Platforms for Monitoring Offshore Aquaculture Farms: A Case Study for Canopy Forming Kelps // Front. Mar. Sci., 2020, Vol. 7, # 520223.

12. Abdollahi, A., Pradhan, B., Shukla, N., Chakraborty, S., Alamri, A. Deep Learning Approaches Applied to Remote Sensing Datasets for Road Extraction: A State-Of-The-Art Review // Remote Sensing, 2020, Vol. 12, # 9, 1444 p.

13. Chen, K., Fu, K., Gao, X., Yan, M., Sun, X., Zhang, H. Building extraction from remote sensing images with deep learning in a supervised manner // 2017 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2017.

14. Al Mansoori, S., Kunhu, A., AlHammedi, A. Effective Airplane Detection in High Resolution Satellite Images using YOLOv3 Model // 2021 4th International Conference on Signal Processing and Information Security (ICSPIS), 2021, pp. 57–60.

15. Huete, A.R. Remote Sensing for Environmental Monitoring Environmental Moni-

toring and Characterization // Elsevier, 2004, pp. 183–206.

16. Sandler, M., Howard, A., Zhu, M., Zhmoginov, A., Chen, L.-C. MobileNetV2: Inverted Residuals and Linear Bottlenecks // 2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2018, pp. 4510–4520.

17. Badrinarayanan, V., Kendall, A., Cipolla, R. SegNet: A Deep Convolutional Encoder-Decoder Architecture for Image Segmentation // in IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2017, Vol. 39, # 12, pp. 2481–2495.

18. Gao, H., Gu, X., Yu, T., Liu, L., Sun, Y., Xie, Y., Liu, Q. Validation of the Calibration Coefficient of the GaoFen-1 PMS Sensor Using the Landsat 8 OLI // Remote Sensing, 2016, Vol. 8, # 2, 132 p.

19. Liu, Y., Li, C., Ma, L., Wang, N., Qian, Y., Tang, L. Vicarious absolute radiometric calibration of GF-2 PMS2 sensor using permanent artificial targets in China // Proc. SPIE10000, Sensors, Systems, and Next-Generation Satellites XX, 2016, # 1000019.

20. Korkmaz, S.A., Akcicek, A., Binol, H., Korkmaz, Mehmet, F. Recognition of the stomach cancer images with probabilistic HOG feature vector histograms by using HOG features // 2017 IEEE 15th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics (SISY), 2017, pp. 000339–000342.

21. Ronneberger, O., Fischer, P., Brox, T. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation, 2015, # May 2015.

22. Ronneberger, O., Fischer, P., Brox, T. (2015). U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. In: Navab, N., Hornegger, J., Wells, W., Frangi, A. (eds) Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2015, MICCAI 2015 / Lecture Notes in Computer Science, 2015, Vol. 9351.

23. Su, H., Wei, S., Qiu, J., Wu, W. RaftNet: A New Deep Neural Network for Coastal Raft Aquaculture Extraction from Landsat 8 OLI Data // Remote Sens, 2022, Vol. 14, # 4587.

24. Катаев М.Ю., Дадонова М.М. Методика распознавания растительности на основе цветового и текстурного анализа RGB изображений // Светотехника, – 2019, – № 2, – С. 34–39.

25. Chen, T. Wu, Q.H., Rahmani-Torkaman, R., Hughes, J. A pseudo top-hat mathematical morphological approach to edge detection in dark regions, 2002, Vol. 35, # 1, pp. 199–210.

26. Zhang, J., Feng, M.Q., Wang, Y. Automatic segmentation of remote sensing images on water bodies based on image enhancement // Traitement du Signal, 2020, Vol. 37, # 6, pp. 1037–1043.



Суозинь Чэнь,

бакалавр.

С 2021 года приняла участие в программе космической науки и техники, ориентированной на Землю (ESPACE), в Мюнхенском

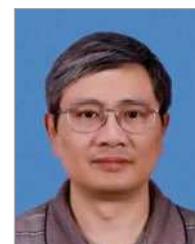
техническом университете. В настоящее время она учится на магистратуре в Уханьского университета и ТУМ. Её научные интересы включают дистанционное зондирование, веб-ГИС и машинное обучение



Дмитрий Сергеевич Ефременко,

Ph. D. Окончил Московский энергетический институт (МЭИ) в 2009 году. С 2011 г. - научный сотрудник Немецкого аэрокосмического центра (DLR), доцент Мюнхенского

технического университета. Опубликовал более 70 рецензируемых работ. Научные интересы включают передачу излучения, дистанционное зондирование и машинное обучение



Линькуй Мон,

Ph. D. Окончил Хуачжунский научно-технический университет. В настоящее время профессор школы дистанционного зондирования и информации

Уханьского университета. Его научные интересы включают приложения дистанционного зондирования, интернет-ГИС и компьютерную архитектуру



Жиюань Чжан,

Ph. D. С 2019 года он работает инженером в Информационном центре (Центр мониторинга гидрологии и прогнозирования) Министерства водных

ресурсов. Его научные интересы включают применение дистанционного зондирования в охране водных ресурсов и геоинформационных системах

Энергетический расчёт оптических систем: модификация прямого хода метода Монте-Карло

*В.П. БУДАК, **А.В. ГРИМАЙЛО

НИУ «МЭИ», Москва

E-mail: *BudakVP@gmail.com, **GrimailoAV@gmail.com

Аннотация

Неотъемлемая часть разработки оптических систем осветительных приборов – расчёт их выходных фотометрических характеристик, которые описывают энергетику света. Наиболее распространённый сегодня способ решения данной задачи – прямой метод Монте-Карло. Однако его существенным недостатком была и остаётся низкая скорость сходимости, зачастую не позволяющая получать результат за приемлемое время даже на современном вычислительном оборудовании. Поэтому поиск путей совершенствования данного метода не теряет актуальность и служит предметом исследований большого числа авторов. Один из этих путей – применение известного из теории статистического моделирования метода гистограмм, который сводится к разложению искомой величины по системе ортогональных функций, образующих ортонормированный базис. Это позволяет исключить усреднение искомой величины и организовать расчёт так, что любой прошедший через оптическую систему луч вносит вклад в функцию распределения всей искомой реакции приёмника. Тем самым достигается увеличение скорости сходимости метода. Наибольший интерес здесь представляет разложение распределения искомой величины в ряд по полиномам Лежандра и связанным с ними сферическим функциям. К настоящему моменту данная модификация метода Монте-Карло была реализована только для случая оптических систем осветительных приборов с осесимметричным светораспределением. В данной работе предлагается способ, позволяющий применять указанный метод для оптических систем осветительных приборов с произвольным светораспределением. Достижимое в результате сокращение времени счёта при решении прямой задачи открывает новые пути решения обратных задач, таких как расчёт оптических систем на заданное светораспределение.

Ключевые слова: оптическая система, Монте-Карло, трассировка лучей, сферические функции

Введение

Важнейший этап проектирования любого осветительного прибора (ОП) – расчёт его оптической системы. При этом в первую очередь внимание уделяется выходным фотометрическим величинам, которые характеризуют энергетику света. Начиная со второй половины прошлого века всё более широкое применение для решения подобных задач получает метод статистических испытаний (метод Монте-Карло (ММК)). Сегодня данный метод является основным и уже получил реализацию в виде различных коммерческих программных комплексов.

Слабой стороной ММК была и остаётся его достаточно низкая сходимость [1], в ряде случаев не позволяющая

получать результат с требуемой точностью за приемлемое время даже на современных ЭВМ. Это обуславливает актуальность дальнейшего поиска способов повышения эффективности метода.

Прямой метод статистических испытаний основывается на лучевом (фотометрическом) представлении структуры светового поля [2] и заключается в имитации процесса распространения излучения от источника света (ИС) до внешнего пространства [3, 4]. При таком моделировании используется вероятностная интерпретация фотометрических величин. Световой поток Φ_A , попадающий от ИС на площадку ΔA , сопоставляется с вероятностью P_A попадания на эту площадку лучей, вышедших из рассматриваемого ИС. При этом

$$\Phi_A = P_A \Phi_{\text{ИС}},$$

где $\Phi_{\text{ИС}}$ – световой поток ИС. Таким образом, задача сводится к нахождению P_A . Для этого производится математический эксперимент: всё излучение ИС представляется в виде конечной совокупности N лучей, каждому из которых приписывается некоторый начальный вес W . Затем, для каждого луча прослеживают (трассируют) траекторию его движения в рассматриваемом объёме, например, по формулам Д.П. Федера [5]; вес луча при этом изменяется в случае его взаимодействия с поверхностями, ограничивающими этот объём.

В результате построения траекторий всех N лучей получаем сумму $\sum_{i=1}^N W_i$, отношение которой к N есть статистическая оценка \bar{P}_A искомой вероятности P_A .

$$P_A \approx \bar{P}_A = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N W_i.$$

Используя такую процедуру, можно получать оценки любых фотометрических величин. В случае расчёта оптических систем ОП интерес в первую очередь представляет сила света, оценка усреднённого значения которой в пределах телесного угла $\Omega(\varphi, \theta)$ с осью, ориентированной по направлению (φ, θ) , может определяться как

$$I(\varphi, \theta) = \frac{\Phi_{\text{ИС}}}{\Omega N} \sum_{i=1}^N W_i.$$

В работах [6, 7] было предложено вместо прямого моделирования использовать метод гистограмм [8], известный из теории статистического моделирования, который сводится к разложению искомой величины по системе образующих ортонормированный базис ортогональных функций $\{\Psi_k(\mathbf{x}_d)\}$, условие ортонормированности которых имеет вид

$$\int \Psi_i(\mathbf{x}_d) \Psi_j(\mathbf{x}_d) d\mathbf{x}_d = \delta_{ij} = \begin{cases} 1, & i = j, \\ 0, & i \neq j, \end{cases}$$

где $\mathbf{x}_d = \{\mathbf{r}_d, \hat{\mathbf{l}}_d\}$ – точка в пятимерном фазовом пространстве изображений.

В этом случае искомую величину (реакцию соответствующего приёмника) $R(\mathbf{x}_d)$ можно представить в виде линейной комбинации элементов $\Psi_k(\mathbf{x})$:

$$R(\mathbf{x}_d) = C_R \sum_{k=0}^{\infty} b_k \Psi_k(\mathbf{x}_d),$$

где C_R – нормировочная константа, а b_k определяются как

$$b_k = \int R(\mathbf{x}_d) \Psi_k(\mathbf{x}_d) d\mathbf{x}_d. \quad (1)$$

Особый интерес здесь представляет разложение в ряд по полиномам Лежандра – для случая осевой симметрии фотометрического тела – и связанным с ними сферическим функциям [9] – для фотометрического тела произвольной формы, поскольку эти ряды достаточно быстро сходятся к искомой функции даже при небольшом числе членов ряда.

Вариант осевой симметрии с разложением по полиномам Лежандра был реализован в [7], однако его можно несколько усовершенствовать, проводя разложение не на всём интервале $[-1, 1]$, а только там, где искомая величина $R(\mathbf{x}_d)$ отлична от нуля. Это позволяет уменьшать количество членов ряда и тем самым повышать скорость вычислений. Второй вариант, основанный на разложении $R(\mathbf{x}_d)$ по сферическим функциям, до сих пор не был реализован: авторам настоящей статьи не удалось выявить соответствующих работ. Поэтому следующие разделы будут посвящены модификации спектрального метода, предложенного в [6, 7], путём использования разложения в ряд по сферическим функциям и уменьшения интервала разложения по полиномам Лежандра.

Модификация спектрального метода на основе разложения в ряд по полиномам Лежандра

Пусть оптическая система некоторого ОП формирует осесимметричное светораспределение, то есть сила света $I(\varphi, \theta)$ не зависит от изменения азимутального угла φ : $I(\varphi, \theta)|_{\varphi=\text{var}} = \text{const}$, тогда $I(\varphi, \theta) = I(\theta)$. Также условимся, что $I(\theta)$ отлична от нуля на интервале $[0, \theta_m]$. Обозначим $\mu = \cos \theta$, $\mu_m = \cos \theta_m$ и определим новую переменную $x = k\mu + b$, которая задана на интервале $[-1, 1]$. Тогда имеем систему уравнений

$$\begin{cases} -1 = k\mu_m + b, \\ 1 = k + b, \end{cases}$$

решая которую относительно b и k , получим:

$$b = -\frac{1 + \mu_m}{1 - \mu_m}, \quad k = \frac{2}{1 - \mu_m},$$

$$x = 1 - \frac{2(1 - \mu)}{1 - \mu_m}, \quad dx = \frac{2d\mu}{1 - \mu_m}.$$

Таким образом, для x функция $I(x)$ будет определена на интервале $[-1, 1]$, что позволяет разложить её в ряд по полиномам Лежандра:

$$I(x) = \sum_{k=0}^M \frac{2k+1}{2} C_k P_k(x). \quad (2)$$

Умножим обе части уравнения (2) на $P_n(x)$ и проинтегрируем на интервале $[-1, 1]$. Поскольку полиномы Лежандра на этом интервале ортогональны с весом [10]

$$\int_{-1}^1 P_n(x) P_k(x) dx = \frac{2}{2k+1} \delta_{nk},$$

получим выражение

$$\begin{aligned} \int_{-1}^1 I(x) P_n(x) dx &= \sum_{k=0}^M \frac{2k+1}{2} C_k \int_{-1}^1 P_k(x) P_n(x) dx = \\ &= \sum_{k=0}^M \frac{2k+1}{2} C_k \frac{2}{2k+1} \delta_{nk} = C_n. \end{aligned}$$

Следовательно, коэффициенты C_k ряда (2) определяются как

$$C_k = \int_{-1}^1 I(x) P_k(x) dx.$$

$$\begin{aligned} \Phi &= \oint_{(4\pi)} I(\theta) d\Omega(\varphi, \theta) = \int_{\varphi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\theta_m} I(\theta) \sin \theta d\varphi d\theta = \\ &= 2\pi \int_{\theta=0}^{\theta_m} I(\theta) \sin \theta d\theta = 2\pi \int_{\mu_m}^1 I(\mu) d\mu. \end{aligned}$$

На оси переменной x предыдущее выражение принимает вид

$$\Phi = \pi(1 - \mu_m) \int_{-1}^1 I(x) dx,$$

что позволяет считать величину

$$p(x) = \frac{\pi(1 - \mu_m)}{\Phi} I(x)$$

плотностью вероятности на интервале $[-1, 1]$. Поэтому расчёт коэффициентов C_k ряда (2) можно проводить методом статистических испытаний [1]. Тогда оценка $\bar{C}_k \approx C_k$ определяется следующим образом:

$$C_k \approx \bar{C}_k = \frac{\Phi}{\pi(1 - \mu_m)} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_k(\xi_i),$$

где ξ_i – случайные числа, распределённые с плотностью вероятности $p(x)$ на интервале $[-1, 1]$; N – число испытаний (число лучей, вышедших из ИС).

Модификация спектрального метода на основе разложения в ряд по сферическим функциям

В случае, если оптическая система ОП формирует несимметричное светораспределение и сила света $I(\psi, \eta)$ зависит как от азимутального угла ψ , так и от зенитного угла η , для разложения в ряд в качестве ортогонального базиса $\{\Psi_k(\mathbf{x}_d)\}$ необходимо использовать систему функций с двойной ортогональностью. Этому условию, в част-

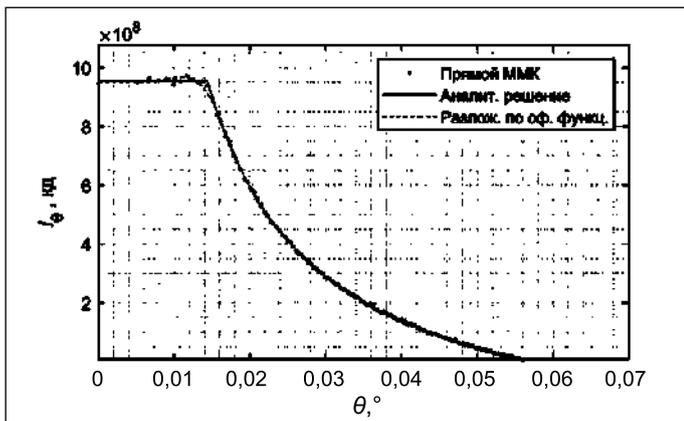


Рис. 1. КСС системы параболический отражатель – шаровой источник света

ности, удовлетворяют сферические функции. Тогда ряд будет иметь вид

$$I(\psi, \eta) = \sum_{l=0}^{\infty} \sum_{m=-l}^l c_l^m Y_l^m(\psi, \eta),$$

где $\{Y_l^m(\psi, \eta)\}$ – модифицированные сферические функции, ортогональные в области изменения аргументов $\psi_1 \leq \psi \leq \psi_2$, $\eta_1 \leq \eta \leq \eta_2$ и имеющие вид

$$\begin{cases} Y_l^m(\psi, \eta) = \frac{(l-m)!}{(l+m)!} P_l^m(\mu) \cos(m\varphi), \\ Y_l^0(\psi, \eta) = P_l^0(\mu), \\ Y_l^{-m}(\psi, \eta) = \frac{(l-m)!}{(l+m)!} P_l^m(\mu) \sin(m\varphi). \end{cases}$$

Здесь $\mu = f(\eta)$, $\varphi = g(\psi)$ функционально связаны соответственно предыдущему разделу таким образом, что если $\eta \in [\eta_1, \eta_2]$ и $\psi \in [\psi_1, \psi_2]$, то $\mu \in [-1, 1]$ и $\varphi \in [0, 2\pi]$; $\{P_l^m(\mu)\}$ – присоединённые функции Лежандра, которые выражаются как [9]

$$P_l^m(\mu) = (-1)^m \sqrt{\frac{(l-m)!}{(l+m)!}} (1-\mu^2)^{\frac{m}{2}} \frac{d^m P_l(\mu)}{d\mu^m}.$$

Согласно выражению (1) коэффициенты c_l^m определяются как

$$c_l^m = C_R \int_{\psi_1}^{\psi_2} \int_{\eta_1}^{\eta_2} I(\psi, \eta) Y_l^m(\psi, \eta) d\psi d\eta,$$

где $C_R = \left(\|Y_l^m\|^2\right)^{-1}$ – нормировочная константа, $\|Y_l^m\|^2$ – квадрат нормы модифицированных сферических функций:

$$\|Y_l^m\|^2 = \oint_{\Omega} Y_l^m(\psi, \eta)^2 d\psi d\eta = c_l \frac{\pi}{(2l+1)(l+m)!} \varepsilon,$$

$$\varepsilon = \begin{cases} 1, m \neq 0, \\ 2, m = 0, \end{cases}$$

причём константа c_l определяется видом преобразований $\mu = f(\eta)$ и $\varphi = g(\psi)$.

Пусть сила света $I(\psi, \eta)$ отлична от нуля в области $\psi \in [0, 2\pi]$, $\eta \in [0, \eta_m]$. В этом случае $\mu = f(\eta)$ по аналогии с предыдущим разделом определится как

$$\mu = 1 - \frac{2(1 - \cos \eta)}{1 - \cos \eta_m}, \quad d \cos \eta = \frac{1 - \cos \eta_m}{2} d\mu.$$

Следовательно, квадрат нормы модифицированных сферических функций $\|Y_l^m\|^2$ выражается как

$$\|Y_l^m\|^2 = \oint_{\Omega} Y_l^m(\psi, \eta)^2 d\psi d\eta = \frac{\pi(1 - \cos \eta_m)(l-m)!}{2(2l+1)(l+m)!} \varepsilon.$$

Соответственно, выражение для коэффициентов c_l^m имеет вид

$$\begin{aligned} c_l^m &= C_R \int_0^{2\pi} \int_0^{\eta_m} I(\psi, \eta) Y_l^m(\theta, \varphi) \sin \theta d\psi d\theta = \\ &= C_R \int_0^{2\pi} \int_{-1}^1 I(\psi, \eta) Y_l^m(\mu, \varphi) d\psi d\mu, \end{aligned}$$

где $I(\psi, \mu) = I(\psi, f(\eta))$; C_R – нормировочный множитель:

$$C_R = \left(\|Y_l^m\|^2\right)^{-1} = \frac{1}{\pi(1 - \cos \eta_m)} \frac{2(2l+1)(l+m)!}{(l-m)!} \frac{1}{\varepsilon}.$$

Реализация спектрального метода на основе разложения в ряд по сферическим функциям

Описанный в предыдущем разделе метод был реализован в среде *Mathworks* «*MATLAB*». В качестве примера была выбрана система параболический отражатель – шаровой ИС, поскольку для этого случая есть точное аналитическое решение, которое позволяет проверять правильность работы программы.

КСС системы параболический отражатель – шаровой ИС, центр которого совпадает с фокусом параболического, определяется следующим выражением [11]:

$$I(\alpha) = \begin{cases} 4\pi\rho Lf^2 \operatorname{tg}^2 \frac{\varphi_{\max}}{2}, & 0 \leq \alpha \leq \alpha_{\min}, \\ 4\pi\rho Lf^2 \left(\frac{\alpha_0}{\alpha} - 1\right), & \alpha_{\min} \leq \alpha \leq \alpha_{\max}, \end{cases}$$

где ρ – коэффициент отражения параболического, f – его фокусное расстояние, L – яркость ИС, φ_{\max} – угол охвата, а α_0 , α_{\min} и α_{\max} определяются как

$$\alpha_0 = \alpha_{\max} = \frac{r}{f}, \quad \alpha_{\min} = \alpha_0 \cos^2 \frac{\varphi_{\max}}{2},$$

где r – радиус ИС.

Моделирование проводилось при следующих значениях исходных параметров: $\rho = 1$, $f = 10$ см, $r = 4,5$ см, $\Phi = 1000$ лм $\Rightarrow L = 125,1$ кд/м², $\varphi_{\max} = 120^\circ$. Результат моделирования показан на рис. 1. КСС получена путём пересечения фотометрического тела полуплоскостью для азимутального угла $\psi = 0$.

Заключение

Модификация спектрального метода [6, 7] путём разложения искомой величины по сферическим функциям позволяет получать фотометрическое тело, формируемое произвольной оптической системой. При этом в разы сокращается время счёта по сравнению с прямым ММК.

Благодаря широкому применению средств векторизации вычислений, доступных в *Mathworks* «*MATLAB*», время счёта удалось дополнительно сократить путём практического полного исключения циклов из алгоритма программы.

Новые возможности, связанные с уменьшением затрат времени на вычисления, в свою очередь, открывают пути создания новых методов решения обратных задач, которые, по сути, сводятся к многократному решению прямой задачи. В частности, особый интерес представляет расчёт [12] оптических систем на заданное светораспределение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Соболь И.М.* Численные методы Монте-Карло. – М.: Наука, 1973. – 312 с.
2. *Розенберг Г.В.* Луч света (К теории светового поля) // УФН. – 1977. – Т. 121, Вып. 1. – С. 97–138.
3. *Коробко А.А., Куц О.К.* Использование метода Монте-Карло в светотехнических расчётах // Светотехника. – 1986. – № 10. – С. 14–17.
4. *Куц О.К.* Оптический расчёт световых и облучательных приборов на ЭВМ. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 152 с.
5. *Feder D.P.* Optical Calculations with Automatic Computing Machinery // J. Opt. Soc. Am. – 1951. – Vol. 41, No. 9. – P. 630–635.
6. *Барцев А.А., Будаков В.П.* Расчёт фотометрических характеристик оптических систем методом Монте-Карло в прямом ходе лучей // Светотехника. – 1993. – № 4. – С. 4–8.
7. *Барцев А.А.* Разработка методов математического моделирования оптических систем как элемента автоматизации проектирования световых приборов / Дис...к-та техн. наук. – М., 1994. – 202 с.
8. *Чецов Н.Н.* Статистические решающие правила и оптимальные выводы. – М.: Наука, 1972. – 520 с.
9. *Гельфанд И.М.* Представления группы вращения и группы Лоренца, их применения. – М.: Физматгиз, 1958. – 368 с.
10. *Корн Г., Корн Т.* Справочник по математике (для научных работников и инженеров). – М.: Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1974. – 832 с.
11. *Карякин Н.А.* Световые приборы прожекторного и проекторного типов. – М.: Высшая школа, 1966. – 412 с.
12. *Wang K. et al.* Freeform Optics for LED Packages and Applications. – Chennai: Wiley, 2017. – 360 p.



Будаков Владимир Павлович, доктор техн. наук, профессор. Окончил в 1981 г. МЭИ. Главный редактор журнала «Светотехника / Light & Engineering» и профессор кафедры светотехники ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ». Член-корреспондент Академии электротехнических наук РФ



Гримайло Антон Валентинович, аспирант кафедры светотехники НИУ «МЭИ»

Найден мостик перехода от электроники к фотонике

Фотонные устройства передают информацию с помощью фотонов и в скором времени могут заменить электронные, поскольку оптическое излучение (ОИ) перемещается гораздо быстрее электронов, а при распространении сигнала в этом случае нет потерь и нагрева из-за сопротивления материала проводника. Однако минимальный размер фотонных элементов ограничен длиной волны проходящего ОИ.

Для создания нанометровых устройств необходимо использовать материалы, пропускающие УФ излучение с длинами волн менее 300 нм. Более того, материал должен обладать высоким показателем преломления n , чтобы ещё больше сжимать волну, и быть доступным: недорогим и простым в производстве. Физики из МФТИ ищут соединения, которые удовлетворяют всем этим условиям.

Научный сотрудник Центра фотоники и двумерных материалов МФТИ Георгий Ермолаев, рассказывает: «Показатель преломления очень важен в фотонике. Чем он выше у материала, тем выше эффективность устройств, сделанных из него, тем проще управлять светом. Благодаря этому сейчас активно развивается целое направление исследований – высокорепрафрактивные материалы».

В последней работе учёные МФТИ исследовали оптические свойства гексагонального нитрида бора hBN и обнаружили, что он обладает рекордным n в УФ области. Также физики разработали на основе нитрида бора (BN) оптические элементы: нанометровый волновод и хиральное зеркало.

Несмотря на применение материала в двумерной нанофотонике и оптоэлектронике, его оптические свойства изучались в достаточно узком диапазоне длин волн. Отчасти это связано с небольшим размером образцов BN , что затрудняет экспериментальные измерения. Физики из МФТИ смогли определить n и показатель анизотропии вещества в широком диапазоне, от 250 до 1700 нм, с помощью эллипсометрии и сканирующей оптической микроскопии.

Максимальное значение n на длине волны 250 нм составило 2,75, что позволяет создавать фотонные элементы порядка десятков нанометров. Столь миниатюрные устройства можно использовать в фотонных интегральных схемах компьютеров вместо электронных компонентов.

Чтобы показать практические возможности BN , физики сконструировали 40-нм волновод – канал, переносящий ОИ. Компьютерное моделирование показало, что ОИ в волноводе распространяется практически без оптических потерь, не затухая. Также учёные создали из BN модель хирального зеркала – устройства, которое отражает закрученное в одну сторону поляризованное ОИ и пропускает закрученное в другую. Зеркало поможет отличать биомолекулы, имеющие одинаковый состав и строение, но несимметричные. Например, такой прибор нужен в фармакологии.

Низкие оптические потери, высокий показатель анизотропии и рекордный n преломления в УФ области делают BN перспективным материалом для создания нанофотонных устройств.

Георгий Ермолаев комментирует: «Ультрафиолетовая нанофотоника только зарождается: нужно уменьшать длину волны света, чтобы уменьшать размеры фотонных устройств. Мы показали, что BN – отличная платформа для этого, так как, помимо высокого показателя преломления, у него ещё и гигантская оптическая анизотропия, которая также увеличивает его эффективность. А низкие оптические потери позволяют передавать информацию на большие расстояния практически без затухания. Мы нашли наконец-то мостик, который бы позволил перейти от электроники к фотонике, то есть использовать преимущества фотона по сравнению с электроном. Сейчас работаем над тем, чтобы уже в реальной фотонной интегральной схеме показать это превосходство».

naked-science.ru
05.06.2023

Анализ дугового разряда в МГЛ с керамической горелкой методом конечных элементов¹

П. МАЛИК^{1,2}, К. ШАРМА¹

¹Университет Манипала, Джайпур, Индия

²Университет инженерии и менеджмента, Джайпур, Индия

E-mail: pallavi_malikk@rediffmail.com

Аннотация

Металлогалогенные лампы (МГЛ) относятся к категории газоразрядных ламп высокой интенсивности (ГЛВИ), работа которых основана на явлении термического разряда высокой интенсивности в плазме. В этой статье рассмотрены МГЛ с керамической горелкой. Разряд в МГЛ отличается от других дуговых разрядов по следующим параметрам: скорость всего разряда подчиняется распределению Максвелла; возбуждённые энергетические состояния описываются распределением Больцмана; состав плазмы может быть выведен из локального химического равновесия. В этой статье исследуется температурный режим и непосредственное влияние температуры на срок службы МГЛ.

Температурный режим МГЛ численно исследован с использованием WELSIM 2.0 и математической модели плазмы. Один из важных компонентов конструкции МГЛ – это электрод, поскольку он имеет непосредственное влияние на срок службы лампы. В связи с этим исследование проводится с учётом уравнения энергетического баланса. Уравнение решается с использованием метода конечных элементов. Необходимое граничное условие для решения уравнения – это наличие плазменного пограничного слоя для катодной теплопроводности. Анализ позволяет получить распределение температуры внутри лампы при различной геометрии электрода. Решение уравнения было проведено для режима зажигания лампы и отношения E/N^2 . Стоит отметить, что эволюция ГЛВИ заключается в повышении производительности дуговой трубки, изменении химической реакции внутри

неё, давления и температурного режима. А для МГЛ ещё один важный аспект – это соотношение между электрическим полем и численной плотностью газа, которое также влияет на срок службы лампы.

Таким образом, из вышесказанного можно сделать вывод, что механизм переноса излучения в ГЛВИ играет ключевую роль при определении срока службы по отношению к другим параметрам лампы. В статье рассматриваются все эти аспекты с использованием систем выполнения разработки процессов (англ. *process development execution systems, PDEs*), модели которых по существу описывают внутренние процессы в лампе.

Ключевые слова: электроды, плазменный пограничный слой, механизм переноса излучения, ГЛВИ

1. Введение

ГЛВИ постепенно заменяются светодиодными технологиями. Однако до сих пор ГЛВИ, в частности МГЛ, активно применяются для наружного освещения больших пространств и спортивных объектов. При этом опыт применения МГЛ показал, что заявленный срок службы снижается до 50 % при половине номинального. Этот недостаток привёл к ограничению применения МГЛ, даже не смотря на высокий индекс цветопередачи и световую отдачу таких источников света. Кроме того, было замечено, что чем выше мощность МГЛ, тем выше скорость спада светового потока. Этот процесс обусловлен конструкцией дуговой трубки лампы.

Для всех газоразрядных ламп, таких как ГЛВИ и люминесцентные лампы, используется стандартная про-

цедура определения срока службы. Отличия заключаются только в различном периоде рабочего цикла. Например, МГЛ, которые обычно применяются для внутреннего освещения благодаря высокой цветопередаче, работают в режиме частого переключения и, следовательно, необходимая для прогнозирования срока службы процедура должна отличаться от процедуры для источников света, работающих в других условиях [1].

Чанин [2] исследовал влияние катодного разряда в нагривых лампах низкого давления (НЛНД), который приводит к испарению натрия и, следовательно, потере эффективности. Уэймут в своём исследовании [3] показал, что если электронный ток на аноде больше анодного тока в ГЛВИ, то анод будет заряжаться отрицательно.

Для МГЛ было отмечено, что производительность таких ламп зависит от их положения во время эксплуатации. Гольштейн, Тригг и Айронс исследовали переходные процессы [4–13]. Влияние положения лампы на переходные процессы дополнительно подтверждено исследованиями Молишема и Эри [14].

Листер с коллегами [15] исследовал влияние ускорения конвективных потоков под действием силы тяжести в ГЛВИ и предложил для описания этого процесса соотношение Навье–Стокса. Листер изучил работу всех предыдущих исследователей и выявил различия в конструкции люминесцентных ламп и ГЛВИ, явления образования дуги, термодинамики жидкости, влияния силы тяжести на крепление дуги в ГЛВИ и характеристик используемых внутри ламп материалов. В некотором смысле это продолжение исследований, проведённых на сегодняшний день в области газоразрядных ламп низкого и высокого давления.

Фабела и др. [16] изучили характеристики натриевых ламп высокого давления (НЛВД) и предложили электрическую модель катода (англ. *electrical cathode model, ESM*) для наблюдения мгновенного падения напряжения и распределения температуры внутри катодной оболочки. Эта модель может быть использована для прогнозирования длительности работы НЛВД. Для НЛНД необходимо учитывать возможность осаждения ионов натрия внутри дуговой трубки. Работая с лампами ГЛВИ, важно

¹ Перевод Смирновой (Мешковой) Т.В.

² Примечание редактора: это соотношение часто используется, поскольку средняя энергия электронов (и, следовательно, многие другие свойства разряда) – это функция. Это означает, что увеличение электрической напряжённости E на некоторый коэффициент q имеет те же последствия, что и снижение плотности газа N на коэффициент q .

оценивать современные тенденции их применения. Например, дуговые ртутные лампы (ДРЛ) в этой статье не рассматриваются, поскольку они устарели. Так, из ГЛВИ самые популярные лампы, которые могут быть интересны современному рынку светотехники с точки зрения применения, – это НЛВД и МГЛ.

Лауден и Шмидт [17] исследовали влияние температуры и давления в дуговой трубке НЛВД. З. Тот и Х. Ловас [18] пришли к выводу, что рабочее положение горелки и осаждение металла внутри дуговой трубки также влияют на производительность МГЛ.

Корацца и др. [19] исследовали воздействие водорода в ГЛВИ и пришли к выводу, что это наиболее вредоносный элемент, препятствующий возникновению разряда в лампе. Корацца предположил, что введение геттерных материалов в виде цирконий – алюминиевых и других редкоземельных сплавов способствует поглощению газообразных примесей внутри дуговой трубки ГЛВИ.

Алексеев и др. [20] исследовали ГЛВИ без содержания ртути – ксенонные лампы. Для повышения долговечности электродов, и, следовательно, срока службы такой лампы в неё добавляется двуокись тория. Однако стоит отметить, что торий радиоактивен и не самый экономически доступный элемент для производства ламп. В этом исследовании также было уделено внимание изучению способа крепления дуги и его влияние на срок службы лампы.

Ван Кастерен в своей работе исследовал влияние различных типов ПРА при работе с ГЛВИ [21].

В национальной информационной программе по продуктам освещения [22] и технологии силовой электроники [23] описано влияние диммирования ГЛВИ наряду с управлением их балластом.

Другие факторы, влияющие на срок службы ГЛВИ, включают количество запусков, рабочее напряжение, неэффективные устройства управления (балласты, конденсаторы и т.д.) и чрезвычайно высокие рабочие температуры. Эти факторы измеряются непосредственно и анализируются в зависимости от времени их работы.

Ши и др. [24] заметили, что для МГЛ качество входной мощности и частоты наряду с выбором зажигающего устройства можно считать важ-

ными параметрами, влияющими на их производительность. Кастерен и др. [25] с помощью *MATLAB* исследовали модель МГЛ с керамической горелкой, в основе которой использовалась модель разряда в плазме.

Уэймут [26] объяснил взаимосвязь между эмиссией электронов с катода и температурой и электрическим полем. Маккоун [27] вывел математическую зависимость между электрическим полем и падением потенциала в катодной оболочке.

Литченберг и др. [28] исследовали различные режимы крепления дуги: точечный, диффузный и сверхточечный. На основании чего был сделан вывод, что на структуру поверхности электродов большое влияние оказывают различные режимы крепления дуги.

Флеш и Нейгер [29] численно исследовали взаимодействие между электродами и плазмой в ГЛВИ.

Стофеллис, Хаут и Крузен [30] наблюдали влияние силы тяжести на дугу и пришли к выводу, что на стабильность дуги огромное влияние оказывает наличие условий микрогравитации и макрогравитации в макросреде.

Крессо и др. [31] исследовали мощность МГЛ с керамической горелкой, используя коэффициент излучения, который менялся в зависимости от различных добавок (кальций, натрий, вольфрам, диспрозий и иодид таллия или стронций).

В этой статье исследуется температурный режим и непосредственное влияние температуры на срок службы ГЛВИ. Численно исследован температурный профиль для ГЛВИ. Известно, что ГЛВИ работают в двух различных режимах в зависимости от электрического поля катода, а именно – в режиме горячей точки и рассеянном режиме. По сути эти два режима относятся к двум различным режимам дугового соединения электродов. Поскольку электрод – это основной элемент конструкции, влияющий на срок службы ГЛВИ, цель исследования заключается в изучении работы электродов с помощью уравнения энергетического баланса. Уравнение решается методом конечных элементов с помощью *WELSIM 2.0*. Необходимое граничное условие для решения уравнения – это наличие плазменного пограничного слоя для катодной теплопроводности. Анализ позволяет получить распреде-

ление температуры внутри лампы при различной геометрии электрода.

2. Модель ГЛВИ

Набор уравнений для моделирования ГЛВИ с керамической горелкой включает в себя основные уравнения, описанные Кастереном и другими исследователями [25–30]. Одно из самых важных уравнений – это математическое описание модели электрода лампы, которая, в свою очередь, включает модель плазмы наряду с физическими процессами в области электрода.

Ши и др. [24] вывели уравнение для описания температурного режима электрода. Ниже приведены численные модели электродов ГЛВИ.

$$W_k = I(V_c - (\varphi / e) + (5k_B T_k / 2e)), \quad (1)$$

где W_k – это потребляемая мощность катода, I – это ток разряда, V_c – это напряжение на катоде, Φ – это рабочая функция, k_B – это постоянная Больцмана, T_k – это температура на катоде, e – это заряд электрона.

$$W_a = I(V_a + (\varphi / e)), \quad (2)$$

где W_a – это поглощаемая анодом мощность, V_a – это напряжение на аноде.

Температурный профиль внутри дуговой трубки ГЛВИ может быть получен с помощью электрической модели катода, предложенного Фабела и др. [26], в котором общая плотность тока J связана с температурой активной поверхности катода T_{act} следующим соотношением:

$$J = \left(\frac{1 + \beta}{1 - \gamma\beta} \right) A T_{act}^2 \exp \left\{ \frac{e\phi(E_k)}{k_B T_{act}} \right\}, \quad (3)$$

где β – это отношение плотности ионного тока J_i к плотности электронного тока J_e , γ – это отношение вторичной электронной эмиссии J_e^{sec} к J_i , A – это постоянная Ричардсона (1.2×10^6 Ам⁻² К⁻²), E_k – это электрическое поле катода, $\phi(E_k)$ – это разница между рабочей функцией вольфрама и поправкой Шоттки для рабочей функции вольфрама.

Вышеприведённые уравнения справедливы для всех типов МГЛ: как с кварцевыми, так и с керамическими горелками. Однако различия в моделях также присутствуют.

Для МГЛ с кварцевой горелкой подаваемая электрическая энергия рассеивается между электродами лампы и плазменным ионным разрядом. В то время как для МГЛ с керамической горелкой входящая электрическая энергия рассеивается возможными способами излучения: теплопроводности, диффузии и конвекции. При этом потери в первую очередь связаны с теплопроводностью и излучением. Электрическая модель условно классифицируется как плазменная или электродная. Уравнения (1) – (3) относятся к электродной модели МГЛ с керамической горелкой.

3. Модель плазмы

Уравнение энергетического баланса задаётся формулой:

$$P_{in} = P_{rad} + P_{cond} + P_{ele}, \quad (4)$$

где P_{in} – это потребляемая электрическая мощность, P_{rad} – это излучение, P_{cond} – это теплопроводность, P_{ele} – это мощность электрода.

Уравнения равновесия мощности на внешнем экране дуговой трубки вблизи стенки оцениваются с помощью трёх основных факторов. Во-первых, тепло будет выходить из разрядной трубки с помощью теплового излучения P_{out} . Во-вторых, разрядная трубка нагревается за счёт теплопроводности плазмы. В-третьих, излучаемая энергия, поглощаемая атомами в этой области, также идёт на нагрев внешнего слоя.

Следовательно, уравнение энергетического баланса для разрядной трубки задаётся формулой:

$$P_{out} = P_{cond} + a_1 P_{rad}, \quad (5)$$

где P_{out} – это общая тепловая мощность, a_1 – это коэффициент поглощения стенки.

Мощность излучения связана с законом Больцмана и электронным газом. Суммарное излучение лампы представляет собой комбинацию спектра излучения ртути и других галогенидов металлов или добавок. Таким образом, модель излучения может быть математически описана следующим образом:

$$P_{rad}(T) = n_o \cdot b \cdot e^{-\frac{eV}{k_B T}}, \quad (6)$$

где n_o – это концентрация атомов в основном состоянии, b – это константа для уровня энергии, eV – это энергия фотона, k_B – это постоянная Больцмана.

При нормальных условиях эксплуатации общее количество ртути, присутствующей внутри дуговой трубки, полностью испаряется. Однако в случае уменьшения потребляемой электрической мощности температура стенок снизится, и газообразная ртуть может начать конденсироваться внутри стенок, когда температура холодной точки приблизится к пороговой температуре ртути T_{sat} . В таких условиях концентрация газообразной ртути снижается. Согласно закону идеального газа, из этого следует, что n_o задаётся следующим уравнением:

$$n_o(T, T_w) = \frac{P(T_w) \cdot V}{RT} \approx \frac{e^{-\frac{\alpha_p}{T}}}{T}, \quad (7)$$

где P – это давление газа в дуговой трубке, V – это объём дуговой трубки, R – это постоянная газа, α_p – это постоянная давления, $f(T_w)$ – это функция температуры холодной точки, T_{sat} – это температура насыщенной ртути.

При упрощении приведённой выше модели и учёте влияния энергетических уровней ионов и атомов наряду с металлическими добавками конечное уравнение модели плазмы может быть переопределено следующим образом:

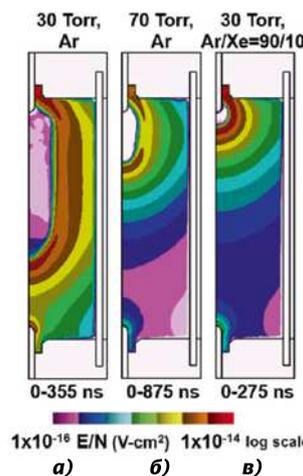


Рис. 1. Динамика плазмы, включающая три режима во время трёх периодов запуска: а – напряжение сжимается перед ионизацией; б – при более высоких давлениях требуется больше времени для закрытия зазора между электродами; в – пик E/N быстрее проходит зазор, что приводит к более быстрому времени пробоя

$$R(T, T_w) = \frac{\alpha_4 T^{3/4} (e^{-\frac{\alpha_7}{f(T_w)}} + e^{-\frac{\alpha_8}{T_w}})}{\sqrt{e^{-\frac{\alpha_7}{f(T_w)}} \frac{eV_{HG}}{kT} + e^{-\frac{\alpha_8}{f(T_w)}} \frac{eV_m}{kT}}}, \quad (7)$$

где a_4 – это постоянная пропорциональности сопротивления лампы, a_5 – это уровень энергии ртути, a_6 – это уровень энергии металлических добавок, a_7 – это постоянная давления ртути, a_8 – это постоянная давления металлических добавок, e – это заряд электрона, V_{HG} – это уровень возбуждения ртутного столба, V_{METAL} – это уровень возбуждения металлических добавок.

Параметры a_6 и a_8 могут меняться, что является подтверждением изменения уровня концентрации металлических добавок.

4. Результаты и обсуждения

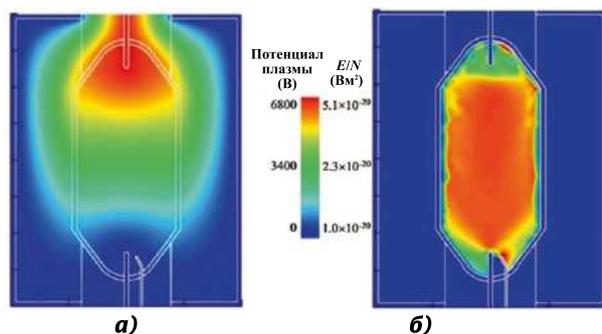
Решение приведённых выше уравнений было выполнено с помощью WELSIM 2.0, а полученные результаты приведены на рис. 1. На рис. 1а показано состояние перед ионизацией. На рис. 1б и рис. 1в изображён процесс закрытия электродного зазора наряду с изменением E/N , которое приводит к переходу электродного зазора.

Здесь учитывается уравнение энергетического баланса. Следует понимать, что отношение E/N (отношение электрического поля к числу частиц плотности газа) играет жизненно важную роль в понимании динамики плазмы. Уравнение решается с использованием метода конечных элементов. Необходимое граничное условие для решения уравнения – наличие плазменного пограничного слоя для катодной теплопроводности. Анализ позволяет получить распределение температуры внутри лампы при различной геометрии электрода.

На рис. 2 показано распределение потенциала вдоль дуговой трубки во время пробоя и соответствующее значение E/N . Очевидно, что по мере увеличения потенциала на лампе время пробоя существенно сокращается, что способствует быстрому зажиганию дуги. Отношение E/N также показывает этот профиль распределения E/N по длине дуговой трубки.

Соотношение между электрическим полем и численной плотностью газа для МГЛ имеет ключевое значение при определении срока служ-

Рис. 2. Распределение электрического потенциала при пробое при 240 нс (а) и E/N при 240 нс непосредственно при пробое (б)



бы. Было отмечено, что при высоком давлении паров после выключения лампы МГЛ невозможно включить повторно. Перезажигание ламп производится только после периода охлаждения, когда давление паров снижается до приемлемого уровня. Таким образом, из вышесказанного можно сделать вывод, что механизм переноса излучения в ГЛВИ играет ключевую роль помимо других параметров, влияющих на срок службы ГЛВИ. Основные уравнения, описывающие эти процессы, приведены ниже.

$$-\nabla \cdot (\epsilon \nabla \phi) = \sum_{j=1}^n q_j N_j + \rho, \quad (9)$$

$$\frac{\partial N_i}{\partial t} = -\nabla \cdot \left(-D_i \nabla N_i + \frac{q_i}{|q_i|} \mu_i N_i \nabla \phi \right) + S_i = -\nabla \cdot \phi_i + S_i, \quad (10)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = \left[\sum_{j=1}^n q_j [-\nabla \cdot \phi_j + S_j] - \nabla \cdot [\sigma (-\nabla \phi)] \right], \quad (11)$$

где ϵ – это диэлектрическая проницаемость, ϕ – это электрический потенциал, q – это элементарный заряд, N – это плотность численности видов, ρ – это плотность заряда, D – это коэффициент диффузии, μ – это подвижность, S – это функция-источник из-за столкновений, σ – это проводимость.

Решение приведённых выше уравнений (9), (10) и (11) даёт исчерпывающее представление о явлении пробоя в МГЛ, а также о введении формулирующей смеси с буферным газом для снижения напряжения пробоя в МГЛ. Решения приведённых выше уравнений с использованием метода конечных элементов для ламп различной конструкции позволяют достаточно точно определить их срок службы.

5. Заключение

В настоящем исследовании была разработана и представлена математическая модель МГЛ, которая включает в себя модель дугового разряда и модель работы электродов. Для более точного моделирования рассмотренное выше уравнение энергетического баланса одномерной плазмы включает дополнительный член, отвечающий за суммарное излучение лампы, то есть комбинацию спектра излучения ртути и других галогенидов металлов. Приведённое выше моделирование определяет результаты, включающие различные периоды времени, и соответствующее соотношение E/N для оптимального пробоя. В этом исследовании рассматривается дуговой разряд в плазме, возникающий между электродами лампы, и температурный режим стенок электродов. В исследовании рассматриваются различные условия при запуске и соответствующий им температурный профиль электродов лампы. Очевидно, что температура стенки играет ключевую роль в определении срока службы лампы. Также исследуется распределение электрического потенциала при запуске вместе с профилем E/N . Можно сделать вывод, что потери на электроде – это следствие явлений проводимости и излучения. Потери связаны с изменением баланса мощности и соответствующим снижением производительности лампы. Из исследования видно, что высокий температурный профиль стенки, сопровождающийся началом пробоя, указывает на испарение галогенидов и снижение индекса цветопередачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. National Lighting Product Information Program // Lighting Answers, 2006, Vol. 9, # 1. [Online] Available www.lrc.rpi.edu/programs/nlpiip/lightinganswers/t8.

2. Chanin, L. M. in Gaseous Electronics edited by Merle N. Hirsh and H.J. Oskam // Academic, New York, 1978, Vol. 1, p. 133.

3. Waymouth, J.F. Electric Discharge Lamps / MIT, Cambridge, MA, 1971, pp. 1–353.

4. Holstein, T. Imprisonment of Resonance Radiation in Gases // Phys. Rev., 1947, # 72, 1212 p.

5. Holstein, T. Imprisonment of Resonance Radiation in Gases. II // Phys. Rev. 1951, # 83, 1159 p.

6. Irons, F. E. // Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer 22, 1979a, #1.

7. Irons, F. E. // Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer 22, 1979b, #21.

8. Irons, F. E. // Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer 22, 1979c, #37.

9. Van Trigt, C. Analytically Solvable Problems in Radiative Transfer. I // Physics Reviews, 1969, #181, 97 p.

10. Van Trigt, C. Analytically Solvable Problems in Radiative Transfer. II // Physics Reviews, 1970, # A1, 1298 p.

11. Van Trigt, C. Analytically Solvable Problems in Radiative Transfer. III // Physics Reviews, 1971, # A4, 1303 p.

12. Van Trigt, C. Complete redistribution in the transfer of resonance radiation // Physics Reviews, 1976a, # A13, 726 p.

13. Van Trigt, C. Complete redistribution in the transfer of resonance radiation // Physics Reviews, 1976b, # A13, 734 p.

14. Molisch, A. F., Oehry, B.P. Radiation Trapping in Atomic Vapours // Clarendon, Oxford, 1998.

15. Lister, G.G., Lawler, J.E., Lapatovich, W.V., Godyak, V.A. The physics of discharge lamps // Reviews of Modern Physics, 2004, Vol. 76, pp. 541–598.

16. Fabela, T., Pacheco-Sotelo, J.O., Pacheco, M., Benitez-Read, J.S., Lopez-Callejas, R., Zissis, G., Bhosle, S. Modelling the voltage drop across the Cathode sheath in HPS // IEEE Transactions on Plasma Science, 2007, Vol. 35, # 4, pp. 1104–1110.

17. Loudon, W.C., Schmidt, K. High Pressure sodium discharge arc lamps // Journal Illuminating Engineering Society, 1966, Vol. 49, pp. 696–702.

18. Toth, Z., Lovas, H. Chemistry of materials science phenomena in high intensity discharge light sources // Pure and Applied Chemistry, 2007, Vol. 79, # 10, pp. 1771–1778.

19. Corazza, A., Giorgi, A., Boffito, C., Mas-saro, V., Caccia, D. Characteristics of the getter materials in high intensity discharge lamps // IEEE Annual Industry Applications Conference, 2006, pp. 1801–1807.

20. Alexejev, A., Flesch, P., Mentel, J., Awakowicz, P. Change of the arc attachment mode and its effect on the lifetime in automotive high intensity discharge lamps // Journal of Applied Physics, 2016, # 120, 133301 p.

21. Van Casteren, D.H.J. Electronic operation and control of high intensity gas discharge lamps / Ph. D. thesis, 2012.

22. Dimming Systems for high Intensity discharge lamps / National Lighting Product Information program, 1994, Vol. 1, # 4. [Online] Available www.lrc.rpi.edu/programs/LAHID.pdf.

23. Shedding light on HID ballast control / Power Electronics Technology. [Online] Available www.powerelectronics.com.

24. Shi, S., Li, W., Zhang, W., Zhang, S. Effects of frequency and current on the electrode temperature of HID lamps // Consumer Electronics, Communications and Networks, CECNet 2012, Yichang, pp. 1010–1013.

25. Casteren, D.h.j.V., Duarte, J.L., Hendrix, M.A.M. Physics based MATLAB model for ceramic metal halide lamps // Conference Record of the 2006 IEEE Industry Applications Conference Forty-First IAS Annual Meeting, 2006, pp. 1391–1396.

26. Waymouth, J.F. Analysis of Cathode-spot behaviour in high-pressure discharge lamps // Journal of Light and Visual Environment, 1982, Vol. 6, # 2, pp. 53–64.

27. Mackeown, S.S. The Cathode drop in an electric arc // Physics Review, 1929, Vol. 34, # 4, pp. 611–614.

28. Litchenberg, S. and et.al. Observation of different modes of cathodic arc attachment to HID electrodes in a model lamp // Journal of Physics D: Applied Physics, 2002, # 35, pp. 1648–1656.

29. Flesch, P., Neiger, M. Numerical Investigation of time dependent electrode plasma interaction in commercial HID lamps // IEEE Transactions on Plasma Science, 2005, Vol. 33, # 2, pp. 508–509.

30. Stofells, W., Hout, F., Kroesen, G. Helical instability in metal halide lamps under micro and hypergravity conditions // Applied Physics Letters, 2006, Vol. 88, # 091502, pp. 1–3.

31. Cressault, Y., Teuletand, P., Zissis, G. Radiative properties of ceramic metal-halide high intensity discharge lamps containing additives in argon plasma // Japanese Journal of Applied Physics, 2016, Vol. 55, # 752.

Предлагаемое решение может удвоить эффективность лёгких солнечных элементов для космических приложений

Когда дело доходит до обеспечения энергией космических исследований и поселений, широко доступные солнечные элементы (СЭ) из кремния или арсенида галлия всё ещё слишком тяжелы, чтобы их можно было транспортировать ракетой. Для решения этой проблемы изучается широкий спектр лёгких альтернатив, включая СЭ из тонкого слоя селенида молибдена, которые относятся к более широкой категории двумерных СЭ с дихалькогенидом переходного металла (2D TMDC).

В опубликованной 6 июня в журнале «Device» статье предлагается решение, которое может повысить эффективность 2D TMDC СЭ с 5, как уже было продемонстрировано, до 12 %.

«Я думаю, люди постепенно приходят к осознанию того, что 2D TMDC являются превосходными фотоэлектрическими материалами, хотя и не для наземных применений, а для таких, как космические», – говорит ведущий автор Дип Яривала из Университета Пенсильвании. «Вес 2D TMDC СЭ в 100 раз меньше, чем у СЭ из кремния или арсенида галлия, поэтому внезапно первые становятся очень привлекательной технологией».

Хотя 2D TMDC СЭ не так эффективны, как кремниевые, они вырабатывают больше электроэнергии на единицу веса, свойство, известное как «удельная мощность». Это связано с тем, что слой толщиной всего 3–5 нм поглощает количество солнечного света, сравнимое с поглощаемым СЭ, имеющимися в продаже. Их чрезвычайная тонкость – это то, за что их называют «2D» – они считаются «плоскими», потому что их толщина составляет всего несколько атомов.

Количество СЭ, которые придётся перевозить, настолько велико, что в настоящее время ни один космический аппарат не может доставлять материалы такого типа экономически целесообразным способом. Поэтому решение заключается в использовании более лёгких

СЭ, которые дают гораздо большую удельную мощность.

Весь потенциал 2D TMDC СЭ ещё не полностью реализован, поэтому Яривала и его команда стремились ещё больше повысить эффективность элементов. Обычно производительность СЭ такого типа оптимизируется за счёт изготовления серии тестовых устройств, но команда Яривалы считает, что важно сделать это путём компьютерного моделирования.

Кроме того, команда считает, что для того, чтобы действительно раздвинуть границы эффективности, важно должным образом учитывать одну из определяющих (и сложных для моделирования) особенностей 2D TMDC СЭ: экситоны.

Экситоны образуются, когда СЭ поглощает солнечный свет, и их доминирующее присутствие – причина того, что 2D TMDC СЭ обладает таким высоким поглощением солнечного света. Электричество вырабатывается СЭ, когда положительно и отрицательно заряженные компоненты экситона отводятся к отдельным электродам.

Моделируя СЭ таким образом, команда смогла разработать конструкцию с удвоенной эффективностью по сравнению с тем, что уже было продемонстрировано экспериментально.

«Уникальность этого СЭ заключается в его сверхрешётчатой структуре, которая, по сути, означает наличие чередующихся слоев 2D TMDC, разделённых разделителем или непроводниковым слоем», – говорит Яривала. «Расстояние между слоями позволяет многократно отражать свет внутри структуры СЭ, даже если структура СЭ чрезвычайно тонкая... Мы не ожидали, что эффективность таких тонких СЭ составит 12 %. Учитывая, что в настоящее время КПД составляет менее 5 %, я надеюсь, что в ближайшие четыре–пять лет люди смогут реально продемонстрировать 2D TMDC СЭ с КПД 10 % и выше».

techxplore.com
08.06.2023



Паллави Малик (Pallavi Malik) окончила Университет Пенджаба и Центральный университет Раджастана. Автор патентов и научных статей в международных журналах. Автор разработки алгоритма выявления Covid-19 с использованием искусственного интеллекта. Область научных интересов: токопроводящие жидкости для газоразрядных ламп

ритма выявления Covid-19 с использованием искусственного интеллекта. Область научных интересов: токопроводящие жидкости для газоразрядных ламп



Калпна Шарма (Kalpna Sharma), доктор мат. наук. Профессор кафедры математики и статистики в Университете Манипала, пожизненный член Индийского математического общества, Математических обществ Рамануджана и Калькутты,

Национального общества гидромеханики и гидроэнергетики, Индийского общества теоретической и прикладной механики, Международной академии физических наук, участник Форума междисциплинарной математики. Имеет 20-летний опыт преподавания и 12-летний опыт управления в области науки и образования

ПАРТНЁРЫ ЖУРНАЛА

Редколлегия и редакция с большим удовлетворением отмечают организацию сообщества «Партнёры журнала «Светотехника» и выражают благодарность нашим партнёрам, поверившим во взаимную эффективность такого сотрудничества



International
Lighting
Engineering
Corporation



interlight | intelligent building
RUSSIA | RUSSIA

Мастер-план освещения городских пространств¹

М.С. СЕНГИЗ

Архитектурно-инженерный факультет, Университет Битлис Эрен, Турция
E-mail: msaitcengiz@gmail.com

Аннотация

Когда проект рассматривается в комплексе, где каждое здание, жилое пространство и окружающая среда – это его части, система освещения должна соответствовать стилю архитектуры и культурному наследию, а также выявлять и выгодно подчёркивать материалы отделки. Предпочтение имитационному дизайну как на объектах исторического наследия, так и в новых проектах загородных домов не обеспечивает эстетического эффекта, ожидаемого от архитектуры. Неспособность разработать продукт в специфике здания и его окружения, приводит к посредственности в архитектуре. Освещение окружающей среды без учёта потребностей людей и других живых существ наносит вред экосистеме и здоровью человека. Из-за всех этих негативных факторов реализация мастер-плана освещения в архитектуре стала необходимой для современных эко-эффективных городов. В этом исследовании были приведены этапы реализации мастер-плана освещения для идеального города с устойчивым развитием² и проведён анализ возможных сценариев.

Ключевые слова: мастер-план освещения, архитектурное освещение, функциональное освещение, световой дизайн

1. Введение

В течение дня города освещаются естественным светом, и люди, здания и другие городские элементы воспринимаются при этом переменном освещении с разными цветами и разным уровнем освещённости. Однако для восприятия формы и цветов всех этих элементов ночью необходим уже

искусственный свет. Так искусственное освещение применяется для проявления городских элементов ночью и даже для создания доминирующих образов. Хорошо продуманное освещение способствует визуализации города, раскрывая его материальную и духовную красоту. Выделение при помощи освещения достопримечательностей, ставших образами для ночных городов, создают приятную и впечатляющую атмосферу и делают их центром притяжения для туристов, посещающих город [1–4]. Для создания такой атмосферы гармонии в каждой части города необходимы мастер-планы освещения (*lighting master plans, LMP*).

Городское освещение в рамках мастер-плана требует комплексного подхода, который касается всех аспектов городской жизни. Функциональное и безопасное использование городских районов в ночное время гарантирует, что архитектура и многие важные элементы города могут быть восприняты местными и приезжими пользователями города ночью. Когда темнеет, оживлённая городская жизнь и эстетические отражения ночного вида города раскрывают различия в городском планировании. Этот подход представляет собой отправную точку существующего требования мастер-плана освещения. В городах, где нет мастер-плана освещения, на каждой улице, на каждой дороге встречаются различные по форме и конфигурации опоры освещения и светильники. Большое количество таких разноплановых светящихся элементов в городе, цветность которых не синхронизирована, вызывает дискомфорт и отвлекает водителей [5–13]. Фасадное освещение высотных зданий на главных дорогах, расположенных пря-

мо на её обочине, также не удовлетворяет требованиям эстетики, энергоэффективности и безопасности. В городах, где не применяется мастер-план, не может быть достигнута гармония между городом, природой и освещением. Отсутствие мастер-плана освещения становится причиной, по которой качество жизни в городской среде резко снижается, а мировой рейтинг города в этой категории падает. Характерными чертами таких городов становятся визуальное и световое загрязнение, загрязнение воздуха, отсутствие связи с природой и интенсивное движение [5–9].

2. Влияние светового дизайна на городскую идентичность

В городах каждый район, каждое пространство и каждое здание имеют разные потребности, разные планировки и разные функции. Образ жизни, идентичность, исторические и архитектурные особенности городов различаются. Освещение в городских районах требует различных схем и сценариев. Световой дизайн играет важную роль в отражении идентичности города в тёмное время суток, восприятию его образа, создании безопасной и здоровой окружающей среды. Приёмы светового дизайна позволяют выделить исторические и архитектурные ценности в силуэте города и подчеркнуть эстетику городской среды. Планирование освещения в городских районах должно соответствовать культурной составляющей и архитектурными особенностями города. Световой дизайн в городских пространствах должен быть функциональным, эстетичным и экономичным, а также удовлетворять физиологические, психологические и социальные потребности пользователей. К психологическим аспектам относятся восприятие и эмоции, а к социальным – культура и общественная жизнь. Также важно, чтобы световой дизайн соответствовал культурной структуре, социальному образу жизни пользователя, его ожиданиям и обеспечивал его удовлетворённость средой. Световой дизайн города и его элементы не должны быть независимыми друг от друга. Чтобы интегрировать и согласовать схемы освещения друг с другом, следует провести анализ особенностей города, архитектуры объектов и сооружений, которые в дальнейшем пла-

¹ Перевод Смирновой (Мешковой) Т.В.

² Прим. редактора: устойчивое развитие – развитие, при котором удовлетворение потребностей нынешних поколений осуществляется без ущерба для возможностей будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности. В данном контексте касается экологии и светового загрязнения.

нируется выделить с помощью освещения, и создать мастер-план освещения. Этот этап анализа очень важен для обеспечения целостности восприятия и гармонии в образе города. Важное требование – это систематизация освещения с целостным подходом к проектированию, основанным на определённом плане и программе в соответствии с характеристиками и идентичностью города, размещение его элементов в определённом порядке и, таким образом, подготовка мастер-планов освещения [5–9, 14–16].

У каждого города должен быть общий мастер-план освещения, разработанный в соответствии с его характеристиками. При отсутствии городского мастер-плана освещения, то есть при точечном и случайном освещении, город будет выглядеть неприглядно. Освещение, созданное вне определённой системы, затрудняет визуализацию городских ценностей, приводит к избыточному потреблению энергии и становится причиной светового и цветового загрязнения [17–24]. Анализ отдельных архитектурных объектов, которые планируется выделить с помощью освещения, также должен быть проведён в рамках общего исследования городской территории или её части. Во время проведения этого анализа необходимо рассматривать, с одной стороны, город как целостный организм, а, другой стороны, – выявлять особенности самого объекта освещения. В случае, если это трёхмерные объекты, необходимо изучить их с точки зрения таких факторов, как их функции, внешний вид, историческое наследие, образ, символика, архитектурные особенности, художественные ценности и силуэт. Кроме того, для визуализации этих объектов и их целостного восприятия в городском пространстве следует также оценивать такие факторы, как их местоположение, угол обзора, расстояние (ближнее-дальнее) и учитывать определённые ракурсы. Оценка существующей системы освещения – это самая важная задача при анализе городской среды. Для выявления преимуществ и недостатков, а также для определения срока службы и условий модернизации существующих светильников необходимо изучить их технические характеристики, оценить эстетическую составляющую и класс энергоэффективности [5–9]. Гармония в городской среде достигается за

счёт создания структуры освещения отдельных объектов, в которой с помощью приёмов светового дизайн они дополняют друг друга. У городских элементов есть конкретные задачи. Городские элементы, такие как уличные щиты управления и связи, транспортные средства, регулирующие движение, знаки, общественный транспорт, остановки, заправочные станции, переходы, маршрутизаторы, телефонные будки, памятники, церкви, бассейны, часы, фонтаны, мусорные баки и т.д. – всё это части проекта. В зависимости от культурных особенностей и образа жизни городских пользователей их ожидания от городских элементов также меняются с течением времени. Городские элементы должны отвечать новым задачам, которые возникают с развитием города, и должны строиться с учётом перспективного подхода к проектированию. Развитие города и технологий, а также меняющиеся потребности жителей и посетителей создают динамичное пространство для светового дизайна. Поскольку городские элементы представляют собой набор взаимосвязанных систем, охватывающих очень большую площадь, световой дизайн должен быть направлен на создание целостной среды, учитывая идентичность каждого из элементов, способствовать её развитию и поддерживать визуальную гармонию.

3. Эстетический и безопасный подход при создании мастер-плана освещения

В современном мире у каждого города должна быть стратегия и руководство по освещению, то есть мастер-план освещения. Основная цель мастер-плана – определить эстетические и функциональные критерии освещения, повысить эффективность и качество городского освещения, а также создать безопасную, комфортную и хорошо структурированную среду для пользователей городского пространства. Основные требования к мастер-плану освещения – это экономия энергии, снижение затрат на техническое обслуживание за счёт модернизации городского освещения и применения энергоэффективных решений, создание безопасной среды, обеспечение визуального комфорта, а также повышение уровня привлекательности города.

Первый шаг в разработке мастер-плана освещения – это анализ культурного облика и функций города, чтобы лучше понять город и его потребности в освещении. Для этой цели необходимо собрать необходимые данные о безопасности, общественной жизни пользователей городского пространства, плотности дорожного движения, а также об активности в дневное и ночное время суток. На основе этих данных следует составить карту текущих условий в городе. Темы и области, подлежащие анализу, – это географические особенности, плотность движения, жилые районы, зелёные зоны, зоны развлечений, туристические зоны, приоритетные зоны безопасности, уровни освещения, существующая система освещения и её недостатки, а также требования к освещению. В качестве второго шага проектировщики должны разделить город на зоны на основе требований к освещению, эксплуатационных характеристик и стандартов, которым необходимо следовать. Основная цель проектирования должна быть определена в соответствии с типом зоны. Например, недавно развивающийся город будет стремиться создать современную городскую атмосферу с использованием новейших технологий освещения [5–9]. После этого этапа будут проанализированы решения, которые должны быть приняты для мастер-плана освещения. Новые условия освещения, применяемая система освещения и светильники обязательно должны соответствовать стандартам. На последнем этапе рассматривается архитектурное освещение. Именно в рамках архитектурного освещения выстраивается иерархия элементов городских районов и определяется, где, когда, как и в каком объёме будет обеспечиваться освещение.

4. Алгоритм создания мастер-плана освещения города

Освещение – это самый мощный параметр, который оказывает наиболее важное влияние на визуальное восприятие среди остальных параметров окружающей среды. Концепция масштаба (город целиком, район, отдельные элементы) – это отправная точка при подготовке мастер-плана освещения. Анализ городского освещения в масштабе объекта, места, региона и города представляет собой

базовую информацию, которая будет определять все требования к освещению. Мастер-план освещения следует внедрять поэтапно в городское пространство, начиная с обследования или аналитического этапа, продолжая проектированием и заканчивая внедрением. На рис. 1 показан алгоритм мастер-плана освещения.

Подготовка мастер-плана освещения должна начинаться с анализа характера всего города. В этом анализе в первую очередь должны быть выявлены такие факторы, как размер города, учитывая, что городские элементы расположены на большой территории, и нередко присутствует присоединение новых поселений к старым городам. Исторические города, например, могут иметь другие особенности, а также демонстрировать доминирующий характер в городском анализе. Они могут иметь такие черты, как университетский город или большую объединённую территорию объектов культурного наследия и искусства. Выделение этих особенностей, которые важны в городской жизни, с помощью освещения делает город привлекательным.

4.1. Обследование

При обследовании города или определённого района следует учитывать некоторые природные элементы (такие как горы, долины, холмы, реки, озёра и каналы), которые также могут стать центрами притяжения и, таким образом, повлиять на повышение популярности городского пространства или его части. С точки зрения природных характеристик города, каждый город имеет множество уникальных особенностей, таких как климат, топография и побережье. Обилие природных чудес в городе делает этот город ещё более привлекательным. Природные данные – это основные факторы, определяющие характеристики сооружений и районов. Например, города, расположенные на каналах, прибрежные города и прибрежные районы, – это города с природными особенностями. Для некоторых городов важно учитывать искусственные элементы ландшафта – дополнения к естественной среде, без которых восприятие уже не будет целостным. С точки зрения анализа территории города важно выявить особые качества города, его отдельные функции или области,



Рис. 1. Алгоритм мастер-плана освещения [5–9]



Рис. 2. Набережная Марины ночью и ландшафтное освещение

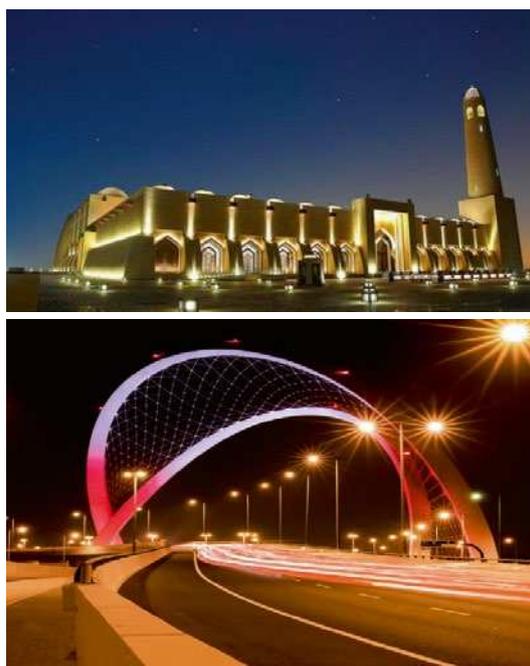
Рис. 3. Городские дороги, спроектированные в рамках мастер-плана освещения



Рис. 4. Силуэт города Доха с разных ракурсов



Рис. 5. Государственная Большая мечеть Дохи и мост Катара



которые важны для городской жизни. На рис. 2 представлена набережная Марины ночью и ландшафтное освещение [25].

В крупных городах анализ территории должен проводиться в масштабе города, а также его отдельных районов с типовыми характеристиками. В рамках этого анализа должны быть выявлены типовые исторические районы, новые районы, районы искусства, культурного наследия и образования, промышленные районы, торговые районы, выставочные площади, жилые районы, парки, сады и зелёные зоны. Результатом анализа территории могут стать приоритеты в освещении [5–9]. Приоритетными должны быть районы, которые несут в себе особенности города. Целостный подход к созданию мастер-плана освещения города диктует необходимость уже на аналитическом этапе рассмотрения функциональной и архитектурной систем освещения в комплексе. Поскольку основные элементы функционального освещения, такие как дороги, перекрёстки и площади, формируют транспортную сеть в городском планировании, их визуальный образ ночью также играет активную роль в использовании города. В рамках создания мастер-плана освещения, например, окружной дороги, могут быть проанализированы такие факторы, как эффективность, ширина и пропускная способность дорог с точки зрения использования пешеходов и транспортных средств, конструкции по бокам и архитектурные/исторические/художественные особенности этих сооружений. Городские дороги, спроектированные в рамках мастер-плана освещения, показаны на рис. 3 [26, 27].

Что касается архитектурного освещения, то объекты архитектуры играют активную роль в мастер-плане освещения. Учитывая территориальные особенности города, наиболее влиятельные элементы в этом контексте обычно – это различные исторические или современные здания. Здания, различные по своим функциям, архитектурной форме, историческим и современным ценностям, оказывают наибольшее влияние при создании ночного образа города и раскрытии его силуэта. На рис. 4 изображён силуэт города Катар-Доха с разных ракурсов [28, 29].

Когда мастер-план освещения рассматривается с точки зрения образа

города, подразумевается, что формирование этого образа играет активную роль в отражении идентичности города. В качестве примера могут быть рассмотрены религиозные здания в некоторых городах, которые становятся образом этого города. На рис. 5 показана государственная Большая мечеть в городе Катар-Доха и мост Катара, который стал символом города [30, 31].

Когда мастер-план освещения рассматривается с точки зрения силуэта города, важно понимать, что силуэт запоминается и создаёт впечатление о городе. В формировании силуэта города участвуют объекты архитектуры, а также окружающее пространство вокруг них. Например, замок на холме, дворец, башня и т.д. С разных ракурсов в разных частях некоторых городов, могут отражаться совершенно разные силуэты. Например, силуэты, созданные историческими памятниками в исторических районах, и силуэты, созданные современными достопримечательностями в районе нового города, одновременно могут формировать силуэт города. В случае, если большое количество достопримечательностей участвует в формировании силуэта города, для выстраивания их иерархии важно изучить их эффективные изображения с ближнего и дальнего расстояния. Принимая во внимание факторы окружающей среды, иерархия объектов может быть выстроена за счёт различных уровней яркости и цвета. В формировании символов города при анализе важно выделять объекты, которые характеризуют город, создают впечатление и запоминаются. Несмотря на то, что обычно это исторические, оригинальные и разнообразные сооружения, современные здания также могут стать символами города. Возможные расстояния обзора силуэта наряду с направлениями обзора – это ещё один важный аспект при анализе города. Расстояние также влияет на элементы, формирующие силуэт города, поскольку оно влияет на угол обзора [32–34]. Примеры значимых для силуэта города современных архитектурных сооружений можно увидеть на рис. 6.

Анализ отдельных объектов освещения в рамках создания мастер-плана должен проводиться в комплексе с анализом всей территории города



Рис. 6. Важные современные архитектурные сооружения в силуэте города

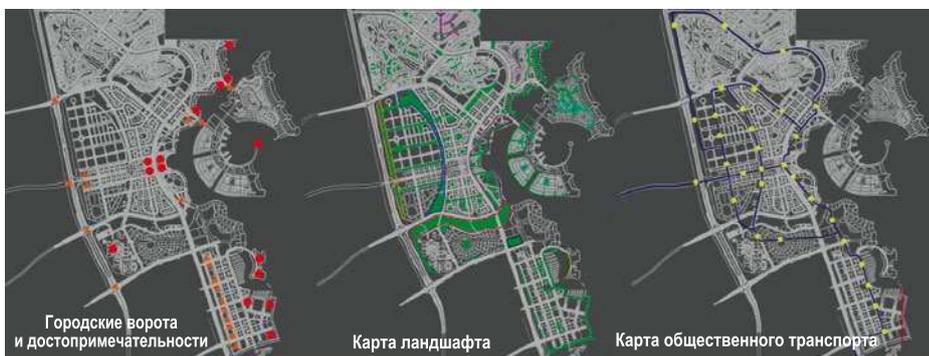


Рис. 7. Планы освещения, входящие в мастер-план города Катар

или его части, где расположен объект, как было указано выше в разделе 2.

4.2. Проектирование

Основная цель ночного освещения в городах на этапе проектирования в рамках мастер-плана освещения – это отражение городских ценностей, которые пользователи наблюдают в течение дня и ночи. При этом ночной образ города можно скорректировать за счёт искусственного освещения, не освещая неприглядные элементы, тем самым скрывая недостатки городского пространства, проявляющиеся при естественном освещении. Образ города ночью может сильно отличаться в зависимости от применяемого освещения [5–9]. Ночной образ города, как и его эмоциональное восприятие формируется освещением определённых в ходе анализа объектов. С другой стороны, эти эффекты обеспечивают множество косвенных и прямых возможностей благодаря созданному впечатлению о городе. А монотонные фасады могут превратиться в интересную среду благодаря мастер-плану освещения. Интерес можно повысить, осветив архитектурные детали, формы и уникальные конструкции зданий.

Архитектурное освещение фасадов не только создаёт культовый ночной образ города, но и придаёт ему ха-

актер и жизненную силу. Освещение вертикальных плоскостей позволяет городу продемонстрировать свою архитектурную сущность, объём, текстуру и цвет. В вертикальных плоскостях следует отдавать предпочтение низким уровням освещённости. Должно быть нивелировано излучение света в атмосферу. Акцент следует сделать на ландшафте, чтобы выделить дорожные развязки и превратить их в фокусные точки. Наличие деревьев и зелени в городской среде придаёт особый характер атмосфере этого места. Именно поэтому световой дизайн должен учитывать специфику этих элементов [35–37]. На рис. 7 представлены планы освещения, входящие в проект мастер-плана для города Катар. Здесь изображены городские ворота и достопримечательности, карты ландшафта и общественного транспорта.

Карта иерархии дорог показывает последовательное или шахматное расположение улиц города. Такой подход даёт преимущества при анализе и классификации освещения. Карта иерархии дорог обеспечивает визуальное представление улиц и соединяющих их дорог [35–37]. На рис. 8 показана выстроенная иерархия и ширина дорог.

В городе может быть слишком много мест или объектов, которые необходимо осветить. Поэтому может оказаться невозможным осветить все

Рис. 8. Классификация по ширине и иерархия дорог



Рис. 9. Регулирование освещения в зависимости от времени работы в ночное время в рамках мастер-плана

Рис. 10. Автоматическое регулирование системы дорожного освещения в зависимости от использования транспортным средством или человеком



элементы. В этом контексте важно оценивать освещение с экономической точки зрения [38–44]. Энергопотребление на цели освещения значительно, а, соответственно, затраты также будут расти. В городах освещение должно осуществляться в порядке приоритета освещаемых элементов. Традиционные уличные светильники – это источники света, которые располагаются на высоте на обочине дороги или пешеходной дорожки, включаются каждую ночь в определённое время и непрерывно потребляют максимум энергии в течение всей ночи. Однако уличное освещение в рамках мастер-плана даёт возможность эффективно использовать потребляемую энергию в зависимости от времени суток. Например, уменьшение уровня яркости дорожного покрытия в поздние часы снижает потребление энергии [35–37,

45–50]. Регулирование уровня освещения в рамках мастер-плана в зависимости от времени работы представлено на рис. 9 [51–53].

Что касается существующего освещения, то оценка существующей системы освещения – это приоритетная задача при городском анализе. Потому что почти в каждом городе есть определённое освещение, за исключением недавно построенных городов или городских районов [14–16]. Учитывая, что каждая система освещения имеет определённый срок эксплуатации, её замена по истечении этого срока неизбежна. Следовательно, к этому вопросу следует подходить в рамках мастер-плана освещения. Опять же, полное выключение света, когда на дорогах нет транспортных средств или людей, и включение освещения при обнаружении движения снижает потребление

энергии [35–37, 45–50]. На рис. 10 показано автоматическое регулирование дорожного освещения в зависимости от использования транспортным средством и человеком.

По окончании этого этапа наступает этап внедрения разработанных решений в строительство. Таким образом, мастер-план освещения начинает работать в реальном времени.

5. Заключение

В настоящем исследовании приведена поэтапная схема разработки и внедрения мастер-плана освещения в городе Катар-Доха. Это один из успешных примеров городского освещения в архитектурных целях.

Мастер-план освещения необходим для того, чтобы принести историческое и архитектурное наследие или природно-искусственные красоты или другие визуальные ценности в городах на службу людям, когда стемнёт. Благодаря мастер-плану освещения для каждого города может быть создан уникальный образ. Достопримечательности и историческое наследие будет визуализировано и в ночное время, а туристический потенциал будет расти. Кроме того, в рамках мастер-плана освещения создаётся комфортная и безопасная среда, что способствует ощущению защищённости в таких городах. При этом снижается уровень светового загрязнения. Негативное влияние света на городскую растительность и городских жителей исчезнет. Это делает важные исторические и современные здания города, а также природные и искусственные элементы ландшафта центром притяжения. Исторические и туристические места, дороги, ночной пейзаж, пляж, отели и башни становятся центром притяжения за счёт выстраивания световой иерархии этих объектов.

Мастер-план освещения даёт городам возможность выразить свои особенности, повысить визуальную динамику, снизить количество несчастных случаев и увеличить количество национальных и международных культурных, коммерческих и художественных мероприятий. Нельзя игнорировать роль городского освещения во внешнем виде, окружающей среде и экономике города. По этой причине городские власти должны быть осведомлены о качестве окружающей среды, комфорте и финансовых требованиях,

а подготовка мастер-плана освещения для каждого города должна осуществляться государством в качестве обязательного условия. Единственное решение для достижения этой цели – это планировать каждый шаг и сотрудничать с архитекторами, городскими дизайнерами и светодизайнерами.

Хотя не все города имеют одинаковые ценности, тот факт, что каждый город обладает своей идентичностью, делает мастер-план освещения актуальным и значимым документом. Кроме того, такие факторы, как уровень развития стран, экономическая мощь и энергетические ресурсы, играют активную роль в реализации мастер-плана освещения. Поскольку оптимальное освещение создаётся с помощью целостного подхода в рамках мастер-плана, с одной стороны, и требует знаний и планирования, с другой стороны, для реализации нужны инвестиции в проектирование, строительство и дальнейшую эксплуатацию. Таким образом, благодаря мастер-плану вместо случайного освещения появляется рациональное, управляемое и энергоэффективное освещение. При таком планировании эффективное использование энергии должно быть приоритетом, особенно для развивающихся стран и стран, зависящих от иностранных инвестиций. Освещение в рамках мастер-плана должно быть спроектировано в соответствии с принципом энергоэффективности. Следует применять правила эффективности, такие как уменьшение освещённости после определённого времени в ночное время и включение светильников на полную мощность только на перекрёстках и второстепенных дорогах только в тех местах, где могут быть пешеходы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Unver, R.*, Perception of the City, People and the Environment, City Management // Symposium on Human and Environmental Problems, 1999, Vol. 1, pp. 14–23.
2. *Serefhanoglu Sozen, M.* Lighting is Technical and Aesthetic. Arrademento // 2011, Vol. 5, pp. 116.
3. *Happy, Sh., Wolf, C.* Determination of Priority Urban Elements for City Lighting Master Plan // SETSCI Conf. Indexing System, 2018, Vol. 3, pp. 641–644.
4. *Unver, R., Ozturk, L.* Basic features in the illumination of various building surfaces, colloquium on city lighting // Kocaeli: Izmir

Branch of the Chamber of Electrical Engineers TMMOB, 1992.

5. *Serefhanoglu Sozen, M., Beekeeper, P.* Halic Region- Religious Buildings within the Scope of Istanbul Lighting Master Plan // Building Physics Congress, Yildi Technical University, Istanbul, 1999.

6. *Serefhanoglu Sozen, M.* Urban Beautification and Lighting Master Plan // CIE, Part 5. TC21 City Beautification, 2005.

7. *Serefhanoglu Sozen, M., Arifoglu, N.* Istanbul Lighting Master Plan Preparatory Studies Galata-Pera-Beyoglu Region // Building Physics Congress, Yildiz Technical Univ, Istanbul, 1999.

8. *Sozen, Sh.M.* Urban beautification and lighting master plan // III. Proceedings of the National Lighting Symposium and Exhibition, November 23–25, 2005, pp. 11–18.

9. *Genghis, M.S.* Role of Functional Lighting Urban Beautification: Qatar-Doha Road Lighting Case // Light & Engineering, 2022, Vol. 30, #3, pp. 34–42.

10. *Genghis, M.S.* Effects of Luminaire Angle and Illumination Topology on Illumination Parameters In Road Lighting // Light & Engineering, 2020, Vol. 28, #4, 47–56.

11. *Genghis, M.S. Cengiz, C.* Numerical Analysis of Tunnel LED Lighting Maintenance Factor // IIUM Engineering Journal, 2018, Vol. 19, #2, pp. 154–163.

12. *Genghis, M.S.* The Relationship between Maintenance Factor and Lighting Level in Tunnel Lighting // Light & Engineering, 2019, Vol. 27, #3, pp. 75–88.

13. *Palta, O., Lightning, P., Constructive, I., Eren, M., Ilcihan, Z., Aybay, E., Gencer, G.* Cost Comparison in Lighting and Selection Criteria in Leds // IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering, 2017, Vol. 12, #6, pp. 5–10.

14. *Browed, D.* Priority Lighting on the Historical Peninsula and the Study of the Night Effect of the Historical Peninsula on the Istanbul Skyline // Master Thesis, Yildiz Technical Univ., Istanbul, 2007.

15. *Sen, Z.* Examination of urban values of the Bosphorus Strait from the point of view of lighting and recommendations, // Yildiz Technical University Institute of Natural and Applied Sciences, Department of Architecture, 1997.

16. Arup Lighting Design Team, Kemeralti Lighting Master Plan, July-2018.

17. *Genghis, M.S., Genghis, C.* The Role of Landscape Lighting for Urban Beauty in Architecture //11. ISPEC International Engineering and Science. Kong., 129–134, 18–19 September 2021, Mus.

18. *Unver, R.* Cities, Light and Energy Efficiency // 10. National Lighting Congress-ATMK, ISBN: 978–975–561–459–5, 2015, 33–36.

19. *Unver, R.* Perception of the City, Man and the Environment, Urban Management // Symposium on Human and Environmental Problems, ISBN975–8215–66–3, 1999, Vol. 1, pp. 14–23.

20. *Unver, R.* City and Lighting // Electricity, 1999, Vol. 128, pp. 131–140.

21. *Unver, R.* The Use of Energy in Lighting, Elektrokent-Perpa, 2000, Vol. 74, pp. 110–115.

22. *Unver, R., Lecturer, M.* Stages of Design, Application, Use of Lighting and Interior Lighting // Lightworld, 2014, Vol. 29, pp. 76–82.

23. *Parlakayildiz, S.* Global Energy Efficiency // Wall Publishing, Izmir, 2021.

24. *Genghis, MS.* Evaluation of Smart Grids and Turkey, Global Advanced Research Journal of Engineering Technology and Innovation // 2014, Vol. 3, #7, pp. 149–153.

25. <https://www.myholidays.com/blog/lusail-city-qatar/> (Date of Access: 01.01.2022)

26. Lusail, <https://envacuk.co.uk/project/lusail/> (Date of Access: 01.01.2022)

27. Cities <https://envac.com.sg/what-we-do/cities/> (Date of Access: 01.01.2022)

28. https://elevation.maplogs.com/poi/street_52_doha_qatar.356381.html (Date of Access: 01.01.2022)

29. <https://www.businessinsider.com/lusail-city-qatar-2014-9> (Date of Access: 01.01.2022)

30. Bridge in Qatar <https://www.ashghal.gov.qa/en> (Date of Access: 01.01.2022)

31. State Grand Mosque Doha, https://www.tripadvisor.com.tr/Attraction_Review-g294009-d386696-Reviews-State_Grand_Mosque-Doha.html (Date of Access: 01.01.2022)

32. <https://solutionsbyliftinstituut.com/portfolio/lusail/> (Date of Access: 01.01.2022)

33. Tower Lusail, <https://www.construction-weekonline.com/projects-tenders/article-16715-crescent-tower-in-lusail-inspired-by-qatarswords> (Date of Access: 01.01.2022)

34. <https://www.timeoutdoha.com/gallery/430138-10-awesome-pictures-of-qatars-new-city-lusail?page=9&img=9> (Date of Access: 01.01.2022)

35. *Genghis, M.S. Cengiz, C.* Lighting and Human Interaction In Shopping Stores // 7th International Conference on Agriculture, Animal Sciences and Rural Development, 18.09.2021.

36. <https://www.lusail.com/building-a-nations-legacy/>, Lusail Nightscape Volume 1: Master Plan Strategy Holistic Approach and Technical Recommendations Stage 1. (Date: 10.10.2021)

37. https://www.lusail.com/the-smart-heart-of-the-future/sustainable_city_of_the_future_Qatar (Date of Access: 10.10.2021)

38. *Genghis, M.S.* Using artificial lighting to support natural lighting in architectural building designs // Light & Engineering, 2022, Vol. 30, #1, pp. 113–123.

39. *Cengiz C., Genghis M.S.* Using Symmetric and Asymmetric Lens In Urban Lighting // II. International Halich Congress On Multidisciplinary Science. Fig., 29–30 October 2021.

40. *Efe, P.B., Varhan, D.* Interior Lighting of a Historical Building by Using LED Luminaires A Case Study of Fatih Pasha Mosque // Light & Engineering, 2020, Vol. 28, #4, pp. 77–83.

41. *Eren, M., Yapici, I., Yildirim, S., Cengiz, C., Gencer, G., Palta, O., Aybay, E., Yurci,*

Y. Driver circuit effects in Lighting Systems, Realization of warming in lighting // IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering, 2017, Vol. 12, #6, Ver. III, pp. 1–4.

42. *Cengiz, C., Cengiz, M.S., Yurci, Y., Kaynakli, M., Parlakyildiz, S., Ilcihan, Z.* Realization of warming in lighting // IOSR Journal of EE Engineering, 2017, Vol. 12, #6, Ver. II, pp. 83–85.

43. *Genghis, M.S.* Effects of Luminaire Angle and Illumination Topology on Illumination Parameters in Road Lighting // Light & Engineering, 2020, Vol. 28, #4, pp. 47–56.

44. *Cevik, A., Kazanasmaz, T., Duran, H.E.* User lighting preferences based on navigation and space quality in virtual exhibition environment // Light & Engineering, 2020, Vol. 28, #2, pp. 28–37.

45. *Koknel Yener, A.* Performance Analysis of Window Glazing from Visual Comfort Energy Conservation Points of View // Architectural Science Review, 2003, Vol. 46, #4, pp. 395–401.

46. *Arpacioğlu, U., Calışkan, C.I., Sahin, B., Odevci, N.* KTDm for Increasing Daylight Efficiency in Architectural Planning // Design Theory, 2020, Vol. 16, #29, pp. 53–78.

47. *Kurtay, C., Esen, O.* A method for ensuring optimal efficiency at 30° and 45° latitudes in the design of light shelves for office buildings // Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University, 2019, Vol. 34, #2, pp. 835–844.

48. *Cengiz C., Genghis M.S.* The Relationship Between Shadow and Visual Comfort in Indoor Areas // II. International Halich Congress On Multidisciplinary Science. Fig. 29–30 Oct. 2021-Ist.

49. *Palta, O.* The Historical Development of Microprocessors and Coding with Arduino, // Wall Publishing, 2021.

50. *Genghis, M.S.* Smart meter and cost experiment // Przegląd Elektrotechnic, 2013, Vol. 89, #11, pp. 206–209.

51. <https://www.royist.com/travel/rosewood-doha-to-open-in-lusail-city-in-qatar-in-2022/>

52. <https://www.ehafws.com/wp-content/uploads/2014/02/AI-Lusail-Towers-Complex-Qatar-scaled.jpg> (Date of Access: 01.01.2022)

53. <https://www.youtube.com/watch?v=h-FOC2hCmxG> (Date of Access: 01.01.2022)

МЕЖДУНАРОДНЫЕ КОНФЕРЕНЦИИ И ВЫСТАВКИ В 2023 ГОДУ (IV квартал)

Дата	Название мероприятия	Место проведения
04–06.10	Photonix Makuhari 2023 Международная выставка лазеров и фотоники	Тиба, Япония exponet.ru
10–12.10	Expo-Russia Iran – 2023 1-я Международная промышленная выставка	Тегеран, Иран exponet.ru
11–13.10.	Российская энергетическая неделя – 2023 Международный форум	Москва, РФ exponet.ru
22–26.10	Guzhen International Lighting Fair (GILF) Autumn 2023 Международная выставка осветительной техники	Чжуншань, КНР manufacturer.lighting.com
23–26.10.	Технофорум – 2023 Международная выставка оборудования и технологий обработки конструкционных материалов: металла, камня, дерева, органических, полимерных и композиционных материалов	Москва, РФ exponet.ru
27–30.10	Hong Kong International Lighting Fair Autumn 2023 Международная выставка осветительного оборудования и технологий	Гонконг, Специальный административный район КНР manufacturer.lighting.com
31.10–03.11	Энергосбережение и энергоэффективность. Инновационные технологии и оборудование – 2023 14-я Международная специализированная выставка	Санкт-Петербург, РФ exponet.ru
28–30.11	Российский промышленник – 2023 Международный промышленный форум	
06–08.12	Expo-Russia Vietnam – 2023 Международная промышленная выставка	Ханой, Вьетнам exponet.ru



Мехмет Саит Сениз (Mehmet Sait Cengiz), Ph. D. Его основным родом деятельности является проектирование осветительных установок различного назначения, а область научных интересов сосредоточена на архитектурном освещении

ресов сосредоточена на архитектурном освещении

Подписывайтесь на журнал

**СВЕТО
ТЕХНИКА**

На 2–е полугодие
2023 года

Индекс журнала 70808
в каталоге «Пресса России», отдел «АРЗИ».
Редакция также оформляет подписку на журнал

Адрес редакции: 129626, г. Москва,
Проспект Мира, оф. 334, 346
Тел. (495) 682-58-46
E-mail: bulgakova@l-e-journal.com

История образования и развития акционерного общества «Кадошкинский электротехнический завод»

Глядя в прошлое, обнажите головы, глядя в будущее – засучите рукава.
Дж.Б. Шоу

Кадошкино – рабочий посёлок и железнодорожная станция, центр Кадошкинского района Мордовии в 1935–1962 гг. и с 1991 г. по н.в. В период упразднения входил в состав Рузаевского и Инсарского районов. Посёлок ведёт свою родословную с 1893 г., когда через Инсарский уезд Пензенской губернии прошла Московско-Казанская железная дорога, владельцем которой был капиталист барон К.Ф. фон Мекк. Этот участок назывался Разъездом «575-я верста».

Почти до середины прошлого столетия Кадошкино оставался малонаселённым. Так, в 1938 г. здесь проживало всего 92 человека, в основном железнодорожники. В 50-х гг. посёлок начал строиться, но многолюдным и «промышленным» стал после 1965 г. благодаря организации и работе электротехнического завода.

К 1965 г. светотехническая отрасль Мордовии крепко стояла на ногах: действовали крупнейший в стране Саранский электроламповый (СЭЛЗ) и Ардатовский светотехнический (АСТЗ) заводы. Датой рождения Кадошкинского электротехнического считается 17 марта 1965 г., согласно Постановлению № 80 Совнархоза Волго-Вятского экономического района – об организации Кадошкинского электротехнического завода (КЭТЗ). Началось строительство – переоборудование двухэтажного административного здания и сооружение пристройки к нему. Но строительство затянулось, можно сказать, на неопределённое время. Причина была одна – не хватало квалифицированных рабочих рук, да и механизация труда оставляла желать лучшего (а лопатой да ломом много не наработаешь).

В связи с этим были скорректированы планы, и срок выпуска первой продукции сдвинут на апрель 1964 г. Но и в апреле предприятие не заработало, хотя подвижки были видны и сделано было довольно много.

Вопрос о том, быть или не быть в Кадошкино заводу, мог бы остаться без ответа, но тут следует учесть тот факт, что в то же время и именно в Мордовии большое развитие получила светотехническая промышленность. Такие гиганты, как саранские заводы СЭЛЗ и СИС ЭВС, нуждались во всё большем количестве специальных комплектующих электротехнических изделий – ПРА. Из-за их нехватки требуемые объёмы выпуска не обеспечивались и АСТЗ. Вследствие этого Иван Семёнович Коваленко, генеральный директор производственного объединения «Светотехника», и пошёл на создание электротехнического завода-филиала в п. Кадошкино. Так что уже к январю 1965 г. был определён и хозяин филиала, и его специализация.

Понимали, что придётся начинать с нуля. Базы, кроме недостроенного здания, фактически никакой, и квалифицированных рабочих придётся готовить. Но Коваленко решает на «кадошкинский» вариант. 17 марта 1965 г. было подписано вышеупомянутое Постановление № 80 Совнархоза Волго-Вятского экономического района о создании в системе ПО «Светотехника» Кадошкинского электротехнического завода на самостоятельном балансе по производству ПРА для люминесцентных ламп.

Первыми электротехниками фактически стали не инженеры, конструкторы и технологи – они придут на КЭТЗ несколько позже, а рабочие, группа которых в конце января была направлена на учёбу на АСТЗ.

В конце марта 1965 г. в Кадошкино приехал Виктор Петрович Малашкин (рис. 1) – на должность директора, тогда же с АСТЗ прибыла группа рабочих-специалистов среднего звена для оказания помощи в установке демонтированного оборудования и обучения здесь же на месте рабочим профессиям разнорабочих, ставших учениками.

За два месяца была проведена огромная работа. Времени на раскочку Малашкину не давалось, продукцию решили выдать уже во втором квартале, вместо запланированного второго полугодия.

К середине апреля штат заводчан – служащих и рабочих – составил 61 человек, а к концу месяца – около 100, и набор продолжался. То было время патриотизма: все рабочие и руководящий состав, не считаясь с личными нуждами, обстоятельствами, трудностями были объединены одним стремлением – как можно быстрее смонтировать оборудование и начать выпуск новой продукции. При этом строили не только завод, но и жильё. И вот фактически всё стало готово к началу выпуска продукции. 28 мая был собран первый ПРА с маркой КЭТЗ – по настоящему большой праздник. И не омрачало его то, что первые аппараты изготовлялись из «распатроненных» нашими рабочими дросселей, доставляемых с АСТЗ.

До конца мая 1965 г. была собрана партия в 120 шт. Параллельно сборщики освоили новую марку ПРА – 2УБК-40/220. А в июне основному цеху было «доведено оперативное задание» по ПО «Светотехника» выпустить 1000 ПРА, а с конвейера их сошло 2000 шт. С этих моментов и началась деятельность будущего промышленного флагмана района. Уже в августе в срочном порядке была принята программа по подготовке кадров непосредственно на своём заводе, через так называемые техминимумы, школы группового или индивидуального обучения. В 1966 г. было организовано 11 кружков технического прогресса с охватом 300 человек, инженерно-технические работники повышали свою квалификацию в группе конкретной экономики, а школу сельской молодёжи уже до конца года окончило около 100 человек.



Рис. 1. Директор завода в 1965–1972 гг. В.П. Малашкин

Рис. 2. Директор завода в 1971-1981 гг. Е.И. Батраков



1965 г. датируется рождение партийной, комсомольской и профсоюзной организаций КЭТЗ. Памятен этот год был и тем, что заводские строители, как обещали, сдали под ключ первый 7-квартирный дом по улице Заводской и рядом заложили второй.

Первый год становления показал, что заводчане опередили плановый календарь – годовое задание закрыли 29 декабря. Причём в декабре обеспечили объём на 104,8 %. Освоены, как и намечалось, были три вида ПРА, в том числе на экспорт в тропическом исполнении. И можно сказать, что каждый следующий год в жизни завода знаменовался дальнейшим совершенствованием производства.

В январе 1966 г. о кадошкинских электротехниках в республиканской газете «Советская Мордовия» вышла небольшая заметка, в которой рассказывалось о становлении «самого молодого предприятия Мордовии» и его новых шагах. Шаги и действительно делались – уверенно, твёрдой поступью. Во-первых, росла численность работников – с 300 человек в начале, до около 600 к концу года. Во-вторых,



Рис. 3. Тепличный облучатель ОТ-400 МИ, МЕ (первая партия – в 1971 г.)

начав с одной марки, «УБИ», заводчане освоили четыре новые. В-третьих, началась модернизация производства.

При всех заметных успехах сохранялся ещё ряд проблем. Так, с ростом объёмов производства и заводских мощностей требовалось всё больше и больше квалифицированных кадров. По этой причине сразу же из числа молодёжи было выбрано восемь и десять кандидатов для поступления в вузы и техникумы соответственно; на самом предприятии работала программа по обучению и воспитанию кадров, закреплению их на заводе; в лексикон работников прочно вошло выражение «техническая эстетика», как приложение к другому – «качество», причём эстетика не только продукции, но и рабочего места.

В первую пятилетку большую работу проделали строители – капитальное строительство развернулось как никогда, особенно социальных и жилых объектов: детского комбината на 140 мест, столовой на 80 и общежития на 120.

Между тем кадошкинские электротехники подходили к своему пятилетию. Не юбилей, конечно, но дата для молодого предприятия весьма знаменательная, и оно ещё раз оправдало звание флагмана промышленности района и одного из лидеров мордовской светотехнической отрасли.

22 марта 1971 г. директорский пост покинул Виктор Петрович Малашкин, в связи с переходом на АСТЗ, и его преемником стал главный инженер Евгений Иванович Батраков (рис. 2).

В IV квартале 1969 г. Минэлектротехпром СССР поручил нашему предприятию провести разработку и освоение серийного производства тепличных облучателей на базе «ра-

стениеводческой» лампы ДРЛФ-400, разработанной СКТО СИС СПО «Светотехника». Облучатель надлежало разработать в двух модификациях – «индуктивной» и «емкостной», которые в теплицах собирались в гирлянду, что обеспечивало значительное снижение энергозатрат за счёт повышения коэффициента мощности облучательной установки.

Первая опытная партия тепличных облучателей была выпущена, согласно обязательству, в марте 1971 г. (рис. 3).

Разработка кадошкинских электротехников оказалась настолько подходящей для всех видов культур закрытого грунта, что марка «ОТ» была самой популярной три десятилетия.

За годы 9-й пятилетки было создано более 30 видов новых изделий. Валовой выпуск и реализация продукции возросли на 273 % и 88 % её видов получило Знак качества.

Казалось бы, далеко ещё было до спортивного форума – Олимпиады, но подготовка к ней шла не только в предолимпийской Москве, но и на КЭТЗ. В частности, коллектив экспериментального участка трудился над выполнением важнейшего государственного заказа – изготовление новых ПРА для осветительного оборудования, обеспечивающего получение качественных цветных телевизионных изображений. Кстати, КЭТЗ – единственное предприятие в стране, которому было доверено это задание (как занявшему место основного советского производителя ПРА для рядных ламп).



Рис. 4. Директор завода в 1981-2012 гг. Ю.В. Репин



Рис. 5. Тепличный облучатель ОТ-1000 (начало массового выпуска – 1975 г.)

При этом требовалось разработать семь типов ПРА: четыре для шаровых и три для линейных металлогалогенных ламп. Испытания непосредственно в телецентре «Останкино» показали, что кадошкинские ПРА отвечают соответствующим требованиям лучших мировых стандартов.

Чтобы достичь всех намеченных рубежей, требовались освоение новых видов изделий и внедрение передовых технологий, механизации и автоматизации производственных процессов. К этому инженерно-технические службы КЭТЗ были готовы и уже начинали внедрять в производство ПРА для ламп, выпускаемых по лицензии фирмы «Ивасаки электрик», внедряли в производство ПРА со штампованным ПТ-образным магнитопроводом. А с 1983 г. КЭТЗ приступил к выпуску и полупроводниковых ПРА (ЭПРА).

В июле 1981 г. на КЭТЗ произошла смена руководства: на основании приказа Главка «Союзэлектросвет» МЭТП СССР Е.И. Батраков был освобожден от должности директора в связи с переводом на Ставропольский завод электроавтоматики. Его преемником на этом посту стал Юрий Васильевич Репин (рис. 4).

Большая нагрузка ложилась на инженерно-технические кадры КЭТЗ. Так, конструкторским отделом разрабатывалось четыре вида эргономичных ЭПРА мощностью от 250 до 700 Вт с низким коэффициентом пульсации светового потока включаемых с ними ламп, завершалась работа по внедрению в производство новых тепличных светильников ОТ (рис. 5) и началась (впервые в СССР) разработка тепличного светильника для личных подсобных хозяйств (рис. 6).

В 1986 г. был разработан светильник ГСП 26–400, с вертикальным рас-



Рис. 6. Тепличный светильник для личных подсобных хозяйств РСР-125 (начало выпуска – 1985 г.)

положением лампы (ДРИ 400) в светотехнической арматуре и креплением оксидированного отражателя непосредственно на лампе. Для освещения полусекций теплиц новых светильников требуется в 1,6 раза меньше, чем облучателей ОТ-400.

В 1989 г. совместно с ВНИСИ был разработан тепличный светильник ГСП26–1000, с лампой ДРИ 1000, и КЭТЗ стал его единственным производителем в стране. По всем параметрам новинка превосходила российские аналоги.

Кадошкинские электротехники также первыми в СССР разработали и подготовили к производству ПРА к светильникам для буровых установок и рыболовных судов. Перспективной оказалась и разработка ИЗУ для маломощных натриевых («ДНАТ») и металлогалогенных («ДРИ») ламп. Продукцию КЭТЗ экспортировал на четыре континента и имел развитую сеть потребления в СССР.

В 1991 г. началась работа по приватизации предприятия. В протоколе № 7 конференции работников КЭТЗ было зафиксировано решение о переводе предприятия в акционерное общество открытого типа.

Предприятия после акционирования сами стали хозяевами (со своими акционерами). Наше министерство было упразднено, и теперь само-

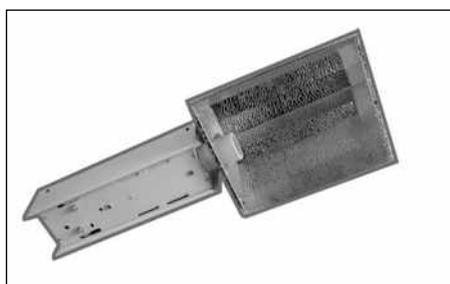


Рис. 8. Тепличный светильник ЖСП-55–600, с ЭПРА (начало выпуска – 2007 г.)



Рис. 7. Тепличные светильники ЖСП-30–400, с лампой ДнаЗ 400 «Reflux», и ЖСП-44, с отражателем из аланода (начало выпуска – 1999 г.)

стоятельно приходилось планировать и искать рынки сбыта. В новой стране зарождалась «рыночная экономика», в которой устояли немногие предприятия. По счастью, благодаря умелому руководству генерального директора Ю.В. Репина, сумевшему быстро сориентироваться в потоке рыночной неразберихи, КЭТЗ остался на плаву, работал с прибылью, не останавливался ни на один день.

В середине 90-х разработаны и освоены в производстве светильники для освещения промышленных и животноводческих помещений. Своего рода маленькую революцию совершил в области тепличного выращивания растений светильник-облучатель ЖСП30–400, с зеркальной лампой ДнаЗ400 «Reflux» (рис. 7). В последующем были созданы светильники-облучатели с ЭПРА и другими типами ламп (рис. 8 и 9).

К концу 1998 г. КЭТЗ попытался занять другую нишу – наладил выпуск уличных светильников, серии «РКУ», и довольно удачно стал конкурировать на рынке России, куда добавились вскоре кадошкинские светильники для парков и скверов.

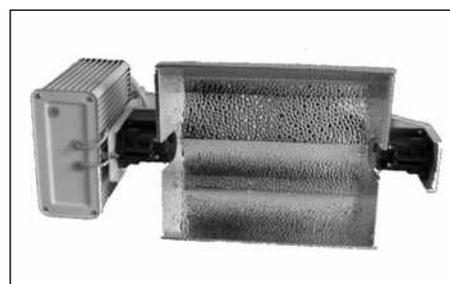


Рис. 9. Тепличный светильник ЖСП-38–1000, с ЭПРА (начало выпуска – 2012 г.)

Рис. 10. Генеральный директор завода с 2012 г. В.С. Рудаков



Рис. 11. Заготовительно-штамповочный участок



Рис. 12. Участок сборки радиоэлектронных компонентов



Рис. 13. Сборочный участок



Пятилетие 2000–2005 гг. имело для нас ряд особенностей:

- В 2000 г. на 9-й Международной выставке «Электро-2000» КЭТЗ получил диплом в номинации «За качество», а в следующем году, на «Электро-2001», – в номинации «За эффективную работу на рынке стран СНГ».

- В июле 2001 г. вошёл в эксплуатацию новый корпус по производству световых приборов.

- В 2003 г. появился проект «Разработка и освоение серийного производства высокоэффективных светильников для наружного освещения с лампами ДРЛ и ДНаТ, мощностью 150/250 Вт».

- В марте и августе 2001 г. на базе КЭТЗ состоялось рабочее совещание Ассоциации «Российский свет». В нём приняли участие представители 30 фирм из разных регионов России, производящих свето- и электротехническую продукцию. Выбор места проведения был не случаен: в том году исполнилось 30 лет с начала выпуска на КЭТЗ тепличных облучателей серии «ОТ». На совещании выступили: доктор техн. наук, профессор, зав. лабораторией световых приборов ООО «ВНИСИ», действительный член АЭН РФ, генеральный директор Московского дома света, главный редактор журнала «Светотехника» Ю.Б. Айзенберг; доктор техн. наук, профессор, зав. кафедрой светотехники МЭИ А.Е. Атаев; исполнительный директор Международной межправительственной организации «Интер-Электро» Ю.С. Косминский и др.

- В июле 2003 г. на завод прибыла рабочая группа специалистов-светотехников: генеральный директор ЗАО «Светосервис» Е.В. Лирина; генеральный директор ООО «ВНИСИ», президент Межрегионального светотехнического общества Г.Р. Шахпарунянц; генеральный директор ОАО «Лисма» В.В. Литюшкин. Её целью было ознакомление с производством, финансово-экономическим положением и кадровым потенциалом предприятия. В августе по итогам визита было принято предварительное решение о вхождении КЭТЗ в состав светотехнического холдинга – ЗАО «Светосервис», и уже с 1 октября 2003 г. АО «КЭТЗ» стал работать в составе холдинга, ныне носящего название «Международная светотехническая корпорация «БЛ ГРУПП».

• С 2004 г. на предприятии внедрена система менеджмента качества в соответствии с требованиями международных стандартов серии ISO 9001:2008. Система менеджмента качества АО «КЭТЗ» – важная составная часть общей системы управления предприятием. В 2005 г. была утверждена «политика в области качества», цель которой – разработка, производство и поставка конкурентоспособной продукции на основе взаимовыгодного партнёрства с потребителями и поставщиками. Был разработан основополагающий документ – «Руководство по качеству», на базе которого разработано и внедрено более 40 стандартов по регулированию процессов производства и обеспечению выпуска качественной продукции.

В июле 2012 г. на собрании акционеров Ю.В. Репин, проработав руководителем предприятия 31 год, был избран освобождённым председате-

лем Совета директоров АО «КЭТЗ». В том же году генеральным директором стал Владимир Сергеевич Рудаков (рис. 10).

С 2013 г. на предприятии началась компания по полной модернизации всего производства. Было приобретено высокопроизводительное оборудование для заготовительно-штамповочного участка (рис. 11) и инструментального цеха. После проведения реконструкции склада ПДО были запущены участки сборки радиоэлектронных компонентов (рис. 12) и светильников. Был также реализован инвестиционный проект по модернизации и техническому перевооружению производственных мощностей (рис. 13). Всё это позволило повысить производительность труда (на 52 %) и конкурентоспособность продукции, уверенно смотреть в будущее.

В настоящее время предприятие выпускает под торговой мар-

кой «GALAD» светотехническую продукцию более 200 серий и 1000 модификаций, основу которой составляют: ПРА разной мощности; традиционные светильники наружного освещения (консольные, подвесные, промышленные и спецназначения); тепличные светильники; светильники со светодиодами разного назначения; радиоэлектронные компоненты.

За 58 лет коллектив завода доказал, что умеет работать в любых условиях, работать и созидать. И долг ныне работающего поколения – беречь созданное руками и сердцами первостроителей и создателей нашего предприятия, беречь и приумножать.

*С уважением к читателям
журнала, генеральный директор
АО «КЭТЗ» В.С. Рудаков и начальник
отдела кадров Т.А. Таношина*



Международная
светотехническая
корпорация

**МСК «БЛ ГРУПП»:
СВЕТ В КАЖДОМ ГОРОДЕ**

Освещение Акрополя в Афинах

Кардинальная модернизация освещения комплекса Акрополя в Афинах была инициирована Министерством культуры и спорта Греции, поддержана и профинансирована фондом Онассиса (*Onassis Foundation*).

Объект Всемирного наследия ЮНЕСКО, Акрополь является достопримечательностью древнего города и считается международным символом греческой цивилизации. Храмы Акрополя – одни из самых известных архитектурных памятников древнего мира. Афинский Акрополь, символизирующий величие античной греческой цивилизации, является национальным достоянием Греции. В список Всемирного наследия памятников культуры ЮНЕСКО уникальный комплекс внесён в 1987 году.

Построенный в V веке до н.э. при Перикле, Акрополь расположен на холме в центре столицы Греции. Это древняя цитадель, в которой находятся остатки 20 сооружений, имеющих большое архитектурное и историческое значение, в том числе Парфенон. Перикл (494–429 г. до н.э.) – афинский государственный деятель, один из «отцов-основателей» афинской демократии, известный оратор, стратег и полководец. Он значительно укрепил морское могущество Афин, а сам город, и в особенности Акрополь, украсил прекрасными сооруже-

ниями. Именно в это время в Афинах наступил «Периклов век» – время наивысшего экономического и культурного подъёма города.

Премьера новой системы освещения храмов и памятников афинского Акрополя прошла в торжественной обстановке 30 сентября 2020 года. С речью выступила министр культуры Греции Лина Мендони: «Сегодня новым ярким светом озарились древнейшие постройки и памятники на нашем священном скалистом холме – Акрополе. Это итог огромного труда, в первую очередь сотрудников компании *Eleftheria Deko & Associates* и лично её руководителя – Элефтерии Деко, а также учёных – искусствоведов, техников и электромонтажников. Поздравляем Элефтерию Деко, её сподвижников и партнёров с их великолепным профессиональным и творческим достижением, которое делает честь нашей стране. Новый свет Акрополя теперь «путешествует» по всему миру, освещая самый значимый памятник западной цивилизации и продвигая культурное наследие Греции».

Проект разрабатывался и осуществлялся в тесном сотрудничестве с компетентными службами Министерства культуры и спорта, руководителями Археологической службы, ведомством по охране исторических памятников страны и получило все законодательные согласования и разрешения.

За два последующих года проект получил всемирное признание и был удостоен трёх престижных международных премий, каждая из которых может считаться «светотехническим Оскаром». Проект получил первую премию в категории «*Award of Merit*» 38-го конкурса Международной ассоциации светодизайнеров «*IALD Awards 2022*», а также премию международного конкурса по светодизайну «*LIT Lighting Design Awards*».

Освещение Акрополя осуществлено с применением СД светильников, предоставленных фирмами *ERCO* (Германия), *Linea Light* (Италия) и *Griven* (Италия).

Eleftheria Deko & Associates – многократно отмеченное наградами проектно-инжиниринговое бюро, специализирующееся на архитектурном светодизайне, сценическом освещении и освещении праздничных мероприятий. Обладая обширным опытом многочисленных и значительных проектов освещения, реализованных в общественном и частном секторе, многопрофильная команда предлагает интегрированные световые решения и профессиональные дизайнерские подходы, отвечающие конкретным потребностям различных клиентов.

Элефтерия Деко и её сотрудники по достоинству оценили отличные характеристики всех типов применённых СД светильников, выбор которых позволил оптимально реализовать творческий замысел авторов.

Новое освещение древнего шедевра мировой культуры – храмов и памятников Акрополя в Афинах – можно уверенно назвать одним из лучших проектов архитектурного светодизайна XXI века.

В.О. Горнов
Корреспондент журнала



Управление светом – основа безопасности



- Экономия
- Безопасность
- Энергоэффективность



ООО «Светосервис-ТМ»
129626, Москва, 1-й Рижский
переулок, д. 6, стр.2



info@svs-tm.ru
svs-tm.ru



+7 (495) 780-75 98

Оформить подписку, купить журнал или статью можно на сайте
журнала «Светотехника» www.l-e-journal.com
(периодичность издания 1 раз в 2 месяца)

Журнал «СВЕТОТЕХНИКА»
(периодичность 6 журналов / год)

Печатная версия	
Журнал	1 550 руб.
Годовая подписка	9 000 руб.
Электронная версия	
Статья	450 руб.
Журнал	1 000 руб.
Годовая подписка для физ. лиц	5 700 руб.
Годовая подписка для юр. лиц	15 000 руб.

Журнал «LIGHT & ENGINEERING»
(периодичность 6 журналов / год)

Печатная версия	
Журнал	40 долл. США*
Готовая подписка (6 экз.)	210 долл. США*
Электронная версия	
Статья	6 долл. США*
Журнал	35 долл. США*
Годовая подписка для физ. лиц	180 долл. США*
Годовая подписка для юр. лиц	240 долл. США*

*Примечание: по курсу ЦБ на дату оплаты.
По согласованию с редакцией для юридических лиц доступна подписка на 6 месяцев (3 журнала)

Журнал «СВЕТОТЕХНИКА» ДЛЯ ДЕТЕЙ И ИХ РОДИТЕЛЕЙ
(периодичность 3 журнала / год)

Журнал печатная версия	790 руб.
Журнал электронная версия для физ. лиц	390 руб.
Журнал электронная версия для юр. лиц	1 250 руб.

ISSN 0039-7067



9 770039 706006 >

Адрес редакции: 129626, г. Москва, Проспект Мира, д. 106, офис 346
Тел. (495) 682-58-46, 682-19-04; E-mail: bulgakova@l-e-journal.com