

# Многогранный взгляд на инновации в области коллективной светотехники

A multifaceted view of innovations in the field of collective lighting technology

doi 10.26310/2071-3010.2023.292.2.009



**И. Е. Васильева,<sup>1</sup>**  
к. т. н.,  
ведущий инженер  
✉ vasilevagoz@mail.ru

**I. E. Vasileva,<sup>1</sup>**  
leading design engineer



**А. Г. Сайбель,<sup>1, 2</sup>**  
д. т. н., доцент,  
профессор  
✉ saybel\_ag@mail.ru

**A. G. Saybel,<sup>1, 2</sup>**  
doctor of Technical  
Sciences,  
associate Professor,  
professor



**Д. К. Щеглов,<sup>1, 2</sup>**  
к. т. н., доцент,  
начальник центра,  
заведующий кафедрой  
✉ \_dk@bk.ru

**D. K. Shcheglov,<sup>1, 2</sup>**  
candidate of Technical  
Sciences, associate  
Professor

<sup>1</sup> «Северо-Западный региональный центр Концерна ВКО «Алмаз — Антей» — Обуховский завод», Санкт-Петербург

<sup>1</sup> Company «Northwest Regional Center of the VKO «Almaz — Antey» — Obukhov Plant», St. Petersburg

<sup>2</sup> Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова»

<sup>2</sup> Baltic State Technical University «VOENMECH» D. F. Ustinova»

В статье рассматриваются основные особенности и вызовы, связанные с внедрением светодиодных проектных решений на примере системы городского освещения. Представлен инновационный подход к проектированию систем освещения для различных пространств и территорий.

The article discusses the main features and challenges associated with the implementation of LED project solutions using the example of urban lighting systems. An innovative approach to designing lighting systems for various spaces and areas is presented.

**Ключевые слова:** коллективная светотехника, светодиодное освещение, уличное освещение, перспективы развития, особенности проектирования, LiFi

Keywords: collectivelighting engineering, LEDlighting, streetlighting, development prospects, design features, LiFi.

*Если человеку все до лампочки, значит, ему уже больше ничего не светит!*  
П. Н. Яблочков, русский электротехник

## Введение

Создание комфортной городской среды связано с решением множества организационно-технических задач, которые часто требуют нестандартных подходов и инновационных решений. В частности, одним из таких инновационных решений стало повсеместное внедрение технологий светодиодного освещения. С начала внедрения этих технологий прошло всего несколько лет, однако, многие люди уже привыкли к разнообразию энергоэффективных источников света, которые установлены не только в жилых помещениях, но и на улицах городов.

Оснащение больших территорий светодиодным освещением кажется простой задачей, но на самом деле она имеет множество особенностей. Расширение номенклатуры и области применения современных светодиодных систем в сочетании с потребностями общества в создании комфортной и уютной городской среды обуславливает возникновение нового направления научно-технического творчества, названного авторами «коллективная светотехника».

Коллективная светотехника — это совокупность современных интеллектуальных технологий, подходов и методов разработки эффективных световых решений для создания комфортного и безопасного общественного окружающего пространства, объединяющего уличное освещение, подсветку зданий, площадей,

мостов, парков и других объектов, а также интеграцию света с архитектурой и ландшафтом.

## Особенности современного освещения

Применение светодиодных источников света позволяет снизить энергопотребление примерно в десять раз по сравнению с лампами накаливания и, как следствие, сократить финансовые расходы на освещение. Одновременно с этим развитие научно-технического прогресса неизбежно приводит к возникновению новых требований со стороны пользователей. Например, если раньше наличие пульсаций светового потока (до 15% у ламп накаливания и до 25% у люминесцентных ламп) не интересовало широкую аудиторию потребителей, за исключением специалистов в области освещения и офтальмологов, то в настоящее время ограничения на величину пульсаций регламентированы нормативными документами [1] и являются важным критерием при выборе потребителями световых приборов.

С разнообразием возможностей, предоставляемых светодиодными источниками света, растет и количество вариантов их применения: от мощных киловаттных прожекторов для стадионов до водонепроницаемых многоцветных подсветок акваторий. При этом светодиодные системы позволяют создавать уникальные пространственные образы и сцены.

Архитектурная подсветка зданий, праздничная подсветка улиц (см. рисунок), с одной стороны, дарят положительные эмоции, участвуя в эстетических процессах, с другой стороны — могут кому-то мешать отдыхать, нарушать привычные ритмы жизни людей, животных и растений.



Рис. Пример праздничной и архитектурной подсветки улиц Санкт-Петербурга

Выбор неправильных светотехнических характеристик, таких как коэффициент цветопередачи или цветовая температура, может серьезно исказить задумку и творческий замысел авторов проекта. Это может существенно ухудшить комфортность эстетического восприятия цветовой картинке и даже оказать влияние на психологическое и физическое состояние людей [2].

### Априорные положения проектирования освещения

Проведенный анализ разнообразных требований к наружному освещению подтверждает мнение авторов статьи [3], которые отмечают важность привлечения квалифицированных специалистов-дизайнеров при проектировании освещения. Также необходимо пересмотреть устаревшие нормативные требования, которые сосредоточены исключительно на аспекте безопасности. Освещение должно учитывать широкий спектр факторов, включая эстетику, комфортность и эмоциональное воздействие на человека.

В таблице 1 приведены основные проблемные вопросы, связанные с освещением общественных территорий, а также их описание.

Решению некоторых из вышеупомянутых проблемных вопросов, связанных с эффективностью и безопасностью городской инфраструктуры, может способствовать внедрение умных системы освещения. Эти системы основаны на использовании датчиков уровней освещенности поверхностей и/или обнаружения присутствия биологических объектов, а также на применении технологий беспроводной передачи данных, таких как Wi-Fi, Bluetooth или ZigBee. Они позволяют оптимизировать контроль и управление уровнями освещенности, обеспечивая непрерывный мониторинг и отчетность, и способствуют повышению эффективности и безопасности городской инфраструктуры.

В течение последнего десятилетия также обретают всемирную популярность системы освещения отдельных зданий на основе возобновляемых источников энергии, таких как солнечные батареи и ветрогенераторы, что помогает снизить затраты на энергопотребление и уменьшить воздействие на окружающую среду.

Системы освещения могут не только выполнять свои прямые функции, но и способствовать повышению безопасности граждан, существенно увеличивать скорость расследования чрезвычайных ситуаций. Для этого действующие или вновь создаваемые системы видеонаблюдения могут быть дополнены логическими блоками, связанными с системами освещения, которые в случае обнаружения условного события (ДТП, нападения, аварий на коммуникациях и т.д.) будут локально увеличивать уровень освещенности, улучшать качество записи видеосигналов посредством видеокамер, а также передавать соответствующие сигналы на пульта операторов.

Направление развития систем освещения для повышения комфорта и качества жизни включает

Таблица 1.

Обзор проблемных вопросов, связанных с освещением общественных территорий

Проблемный вопрос	Описание ситуации
Большое, постоянно возрастающее энергопотребление	В России на освещение расходуется около 12% электроэнергии или примерно 115 млрд. кВтч, в среднем по миру эта цифра составляет 20%, что приводит к высоким затратам на электроэнергию и увеличению выбросов парниковых газов
Световое загрязнение	Яркий свет от городского освещения создает световое загрязнение, которое может влиять на наблюдение космических объектов и нарушать биоритмы животных, а также создавать световой шум в окружающей среде
Управление освещением	Возникающие в отдельных ситуациях нестандартные требования к освещению могут вызывать необходимость ручного управления освещением вручную, что требует организации отдельной системы управления с привлечением штата специалистов
Техническое обслуживание систем освещения	Необходимость регулярного технического обслуживания систем освещения: как планового, текущего, связанного с контролем работоспособности светильников и коммутационных элементов, включающего в себя замену вышедших из строя источников света контроль состояния электрических кабелей и несущих элементов, так и аварийного, связанного с устранением внезапных повреждений
Проблемы безопасности	Плохо освещенные улицы более опасны для прохожих и водителей, как увеличивающие вероятность возникновения дорожно-транспортных происшествий (ДТП), травм при наличии гололеда и различных видов препятствий, рост числа правонарушений
Проблемы финансирования	Установка, эксплуатация и обслуживание систем городского освещения являются относительно дорогостоящими, особенно для малых городов или городов с ограниченным бюджетом
Экологические проблемы	Некоторые источники уличного освещения, такие как ртутные лампы высокого давления (РЛВД), содержат опасные вещества, которые могут стать причиной загрязнения окружающей среды в случаях механического повреждения ламп или при их утилизации

Пути развития светодиодных источников света

Направление развития	Описание направления развития
Увеличение энергоэффективности светодиодных источников света	Постоянно разрабатываются все более мощные и энергоэффективные светодиоды [4]. Производители улучшают свои технологии и разрабатывают новые материалы, позволяющие сократить энергетические потери и увеличить срок службы источников света.
Улучшение дизайна	Светодиодные светильники становятся все более компактными, тонкими и элегантными. Помимо новых форм и дизайнерских решений, возрастает функциональность, заключающаяся в удобстве монтажа и демонтажа, универсальности и надежности крепления источников света на объектах.
Совершенствование управляемости	Современные светодиодные светильники могут управляться от отдельных пультов или с помощью специальных приложений на смартфонах и других электронных устройствах. Управление мощностью светового излучения, цветовой коррелированной температурой, направлениями излучения светового потока и другими характеристиками светодиодных источников света позволяет пользователю настраивать параметры, обеспечивающие создание идеальной атмосферы, соответствующей освещаемому событию. Системы управления освещением на основе Интернета вещей (IoT) [5], позволяют собирать и анализировать данные об использовании уличного освещения, что позволяет оптимизировать расходы на энергию и улучшить качество обслуживания. Кроме того, они позволяют наблюдать и управлять уличным освещением из единого центра. Это позволяет снизить затраты и улучшить качество обслуживания.
Улучшение экологических показателей	Постоянное относительное снижение энергопотребления светодиодными светильниками существенно уменьшает расход электроэнергии, более длительный срок службы по сравнению с традиционными видами ламп позволяет уменьшить воздействие на окружающую среду.
Взаимоинтеграция технологий	Светодиодные светильники могут быть интегрированы с другими технологиями, такими как датчики движения и звука, что позволяет создавать умные системы управления освещением.
Применение альтернативных источников энергии	Солнечные батареи могут быть установлены на уличных фонарях, чтобы заряжать их днем и использовать запасенную энергию для освещения ночью. Фонари на ветряной энергии оснащены компактными ветрогенераторами, преобразующими кинетическое движение вращения ветряного двигателя в электроэнергию.

в себя осуществление организационно-технических решений, предназначенных для создания позитивной зрительной атмосферы на улицах городов. К таким решениям относятся, например, декоративные светильники и инсталляции, в том числе на основе smart-освещения, когда включение/выключение, интенсивность и цветовая гамма источников корректируется датчиками движения или с помощью приложений на смартфонах. Современные технологии позволяют реализовывать проекты, управление цветом в которых может быть осуществлено коллективно, например, на основе мажоритарного правила или с учетом весов разделившихся мнений.

В таблице 2 представлены перспективы развития светодиодных источников света.

В части совершенствования управляемости светодиодными источниками света также необходимо отметить технологию *LiFi* (*Light Fidelity*) [6], которая использует для передачи данных световые волны вместо радиоволн, используемых в *WiFi*. Технология основана на использовании свойства светодиодных источников света быстро включаться и выключаться.

Технология *LiFi* имеет ряд преимуществ перед *WiFi*: в тысячи раз более высокую скорость передачи данных, более низкая задержка и более высокая безопасность. Также она может быть использована в технологических системах, где использование радиоволн запрещено, например, в больницах и на борту самолетов.

Однако *LiFi* имеет и некоторые недостатки, такие как ограниченный диапазон передачи данных, зависимость от прямой видимости между светильниками и уязвимость к внешним источникам света. Тем не менее, эта технология является многообещающей и может быть использована в различных областях, та-

ких как медицинские учреждения, производственные помещения, офисные здания и транспортные системы.

### Особенности проектирования систем освещения

Огромное разнообразие и постоянные доработки светодиодных источников света приводят к частому обновлению модельного ряда, при котором прошлогодние хиты становятся устаревшими и уходят с рынка.

Следствием стремительного развития и бесконечного появления все новых и новых разработок модельного ряда комплектующих становится практическое отсутствие возможности создания масштабной или серийной идеальной светодиодной системы освещения, как соответствующей последнему уровню достижений светотехники. Идеальная разработка и практическая реализация системы освещения могут совместно существовать лишь в относительно короткий промежуток времени.

Кроме того, проект системы освещения, разработанный два-три года назад на основе новейших моделей источников света, впоследствии оказывается непригодным для реализации из-за отсутствия моделей в продаже, относительного ухудшения их светотехнических и электротехнических характеристик или отсутствия запасных частей. Разработчикам приходится переделывать проект с учетом доступного на момент реализации ассортимента, что приводит к перерасходу средств на проектирование.

Выявленное противоречие побудило разработать методический аппарат, направленный не только на выбор оптимальных для решения частной задачи источников света [7], но и на экстраполяцию основных характеристик, что позволяет осуществлять долгосрочное проектирование систем освещения без

нанесения экономического ущерба, заключающегося в многократных доработках [8].

Основным принципом перспективного проектирования, учитывающего характер происходящих изменений элементов и технологий в области светотехники, является проектное формирование прогнозов состояния рынка и методического обеспечения на момент реализации проекта. Основой прогнозного анализа, учитывающего многообразие вариантов светодиодных источников света, выступает единая база данных, прототипом которой может выступать [9]. Специализированная база данных может быть предназначена, например, для проектирования уличного освещения в городе или регионе. Изменяющиеся условия эксплуатации, требования к установке, разнообразные светотехнические характеристики обосновывают необходимость учета всех доступных к применению источников света.

Посредством факторного анализа элементов, содержащихся в базе данных, определяются соотношения между основными характеристиками источников света, что позволяет решить задачу экстраполяции исходных данных на заданный период, предоставляя возможность проектирования систем освещения на основе опережающих исходных данных [9] и проектных решений. Сформированные временные ряды по каждому параметру и регрессионные зависимости пар параметров позволяют определить инновационный потенциал выбранного вида техники.

Особенностью технических устройств, описываемых вектором параметров, является сложность их ранжирования. Если базу данных, содержащую сравниваемые элементы, рассматривать как множество  $n$ -мерных векторов значений параметров, то путем сравнения с заданным  $n$ -мерным вектором требуемых значений параметров можно сформировать подмножество, содержащее элементы, соответствующие критерию пригодности. Сравнивая элементы сформированного подмножества можно сформировать новое подмножество меньшей мощности, включающее множество Парето, каждый элемент которого соответствует директивным требованиям и превосходит другие элементы минимум по одному параметру.

Дальнейшее ранжирование элементов может осуществляться двумя принципиально различными путями.

Первый из них предполагает директивное установление весов значимости для каждого параметра. Такой подход позволяет еще снизить мощность множества,

но не обеспечивает гарантированное выполнение единственного варианта ранжирования.

Второй предлагает использование свертки показателем качества элемента множества в единый численно выражаемый показатель, используемый для попарного сравнения для формирования ранжирующего ряда. В качестве реализации такого подхода удобно использовать в качестве единого интегрального показателя значение близости значения вектора значений характеристик элемента к идеалу, представляющему  $n$ -мерный вектор, образованный максимальными значениями каждого параметра всех элементов анализируемого подмножества. При этом диапазон разброса значений каждого параметра позволяет сформировать значимость отклонений анализируемого элемента от идеального.

Разработанные программные средства, такие как [10], предоставляют возможность автоматизировать эти процедуры.

### Заключение

Современные технологии, делая нашу жизнь комфортнее, предъявляют новые требования к протяженным во времени процессам проектирования больших систем, включая необходимость экстраполяции текущего состояния научно-технической практики с учетом тенденций ее эволюции на длительную перспективу.

Основой таких прогнозов является корректный анализ накопленных данных, позволяющих, рассматривая их как результаты измерений значений функции, описывающей эволюционный процесс, построить тренд развития и оперировать его значениями как прогнозным уровнем техники на момент реализации проектных решений.

Причиной низкого качества такого прогноза помимо недостаточности, недостоверности или загрязненности исходных данных и некорректности выполненных процедур анализа, может стать революционное изменение в технике или методике ее применения, по силе существенно превышающее потенциальную вариативность эволюционного процесса.

Вместе с тем, поиск путей минимизации затрат при реализации проектов, построенных на новых технологиях и использовании бурно развивающихся образцов техники, является благородной задачей, призванной расширению практики внедрения инновационных решений в повседневную жизнь и быт.

### Список использованных источников

1. ГОСТ 34819–2021. Приборы осветительные. Светотехнические требования и методы испытаний. — М.: Российский институт стандартизации, 2022. — 58 с.
2. Капцов В. А., Дейнего В. Н. Эволюция искусственного освещения: взгляд гигиениста/Под ред. М. Ф. Вильк, В. А. Капцова. — М.: РАН, 2021. — 632 с.
3. Блиц-опрос. Актуальные проблемы формирования комфортной городской среды//Современная светотехника. — 2021. — № 5 (73). — С. 2–10.
4. Официальный сайт компании Cree. — URL: <https://cree-led.com>.
5. Щелгов Д. К., Пиликов Н. А., Тимофеев В. И. Концептуальные основы цифровой трансформации организаций оборонно-промышленного комплекса/Автоматизация в промышленности. 2021. № 2. — С. 13–23.
6. Jacques Coetzee. LiFi beats Wi-Fi with 1GB wireless speeds over pulsing LEDs/Gearburn. News.13 Jan 2014. — URL: <https://memeburn.com/gearburn/2014/01/lifi-beats-wi-fi-with-1gb-wireless-speeds-over-pulsing-leds/>
7. Васильева И. Е. Алгоритм выбора источников света в процессе проектирования светодиодных систем освещения малых помещений военного назначения//Вестник Концерна ВКО «Алмаз — Антей». — 2022. — № 4. — С. 91–100.
8. Васильева И. Е., Сайбель А. Г. Определение взаимосвязей характеристик светодиодных светильников расчетными методами//Омский научный вестник. — 2021. — № 3 (177). — С. 49–53.
9. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2021622173/Васильева И. Е., Сайбель А. Г.
10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022614115/Васильева И. Е., Сайбель А. Г.

## References

1. GOST 34819–2021. Lighting devices. Photometric requirements and test methods. — Moscow: Russian Institute of Standardization, 2022. — 58 p.
2. Kaptsov V. A., Deinego V. N. Evolution of artificial lighting: a hygienist's perspective. In: Wilk M. F., Kaptsov V. A. (Eds.) — M.: Russian Academy of Sciences, 2021. — 632 p.
3. Blitz survey. Current problems in creating a comfortable urban environment. Modern Lighting. 2021. No.5 (73). — P. 2–10.
4. Official website of Cree company. — URL: <https://cree-led.com>.
5. Shcheglov D. K., Pilikov N. A., Timofeev V. I. Conceptual Foundations of Digital Transformation in Defense Industry Organizations//Automation in Industry. 2021. No.2. — P. 13–23.
6. Jacques Coetzee. LiFi beats Wi-Fi with 1GB wireless speeds over pulsing LEDs/Gearburn. News.13 Jan 2014. — URL: <https://memeburn.com/gearburn/2014/01/lifi-beats-wi-fi-with-1gb-wireless-speeds-over-pulsing-leds/>
7. Vasileva I. E. Algorithm for selecting light sources in the design process of LED lighting systems for small military premises. Bulletin of the Concern VKO «Almaz — Antey». 2022. No.4. — P. 91–100.
8. Vasileva I. E., Saybel A. G. Determination of interrelationships of LED luminaire characteristics by calculation methods. Omsk Scientific Herald. 2021. No.3 (177). — P. 49–53.
9. Certificate of state registration of the database No. 2021622173/Vasileva I. E., Saybel A. G.
10. Certificate of state registration of computer program No. 2022614115/Vasileva I. E., Saybel A. G.