

А.В. АЛТУХОВ

*Аспирант, лаборатория инновационного бизнеса и предпринимательства Экономического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова
e-mail: alexei.altoukhov@gmail.com*

А.В. ЕФИМОВ

*Доктор архитектуры, профессор, заведующий кафедрой «Дизайн архитектурной среды» Московский архитектурный институт (государственная академия)
e-mail: efimov-andrey@yandex.ru*

A.V. ALTOUKHOV

*Post-graduate student, Innovation Business & Entrepreneurship Lab, Faculty of Economics
e-mail: alexei.altoukhov@gmail.com*

A.V. EFIMOV

*Doctor of architecture, professor. Head of the department «Design of the architectural environment» Moscow Architectural Institute (State Academy)
e-mail: efimov-andrey@yandex.ru*

ИНДУСТРИАЛЬНЫЕ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СВЕТОЦВЕТОВОЙ СРЕДЫ В УСЛОВИЯХ «УМНОГО» ГОРОДА

INDUSTRIAL PLATFORMS FOR CREATING A LIGHT-COLOR ENVIRONMENT IN A SMART CITY

Создание «умных» городов базируется на научно-технологическом развитии и личностном росте сообщества. Основой «умных» городов с «умными» домами являются индустриальные платформы. Свет и цвет — основополагающие факторы, влияющие на здоровье, психическое состояние и работоспособность человека. Постоянно растет роль освещения, ориентированного на потребности человеческого организма, которое основывается на циркадных ритмах. Авторы предлагают объединить технологии биомедицинской аналитики, получаемой от смартфонов

с полихромным светодиодным освещением, и полихромными ячейками Гретцеля на базе индустриальной платформы «умного» освещения, управляемого искусственным интеллектом (ИИ). Технологической базой платформы является полупроводник нитрид галлия (GaN) — передовой материал для светодиодов, лазеров и транзисторов.

The creation of «smart» cities is based on scientific and technological development and the personal growth of the community. The basis of «smart» cities with smart homes are industrial platforms. Light and color are fundamental factors affecting a person's health, mental state and performance. The role of lighting, focused on the needs of the human body, which is based on circadian rhythms, is constantly growing. The authors propose combining biomedical analytics technologies obtained from smartphones with polychrome LED lighting and Gretzel polychrome cells based on the industrial platform of smart lighting controlled by artificial intelligence (AI). The technological base of the platform is gallium nitride (GaN) semiconductor — an advanced material for LEDs, lasers and transistors.

Ключевые слова: Светодизайн, Умный город, Умное освещение, Нитрид галлия, ячейки Гретцеля, Платформа, Индустрия 4.0, Искусственный интеллект, Большие данные.

Keywords: Lighting Design, Smart City, Smart Lighting, Gallium Nitride, Dye-sensitized solar cell, Platform, Industry 4.0, Artificial Intelligence, Big Data.

Начало абстракционизма было положено в 1910 году русским художником Василием Кандинским, учеником выдающегося русского экономиста рубежа XIX–XX веко профессора Александра Чупрова на кафедре политической экономии и статистики юридического факультета Московского университета. Кандинский утверждал, что каждый цвет обладал присущей только ему духовно-выразительной ценностью, что позволяет передавать присущие только ему эмоциональные переживания, не прибегая к изображению реальных предметов [12].

Согласно профессору Московской государственной художественно-промышленной академии имени С.Г.Строганова Александру

Лаврентьеву, среди произведений и объектов русского мирового художественного и дизайн-авангарда тема света занимает особое место. В связи с открытиями физиков в начале XX века в области радиации, изучения атомной структуры вещества, художники исследовали тему свечения, излучения, световой динамики. Особенно эта тема привлекала представителей новаторских течений: футуризма, супрематизма, беспредметного творчества [14].

Десятилетие спустя швейцарский теоретик нового искусства Иоганнес Иттен (Johannes Itten) на вводных курсах в созданной им школе Баухауз учил, что восприятие света, в противоположность к его физико-химической реальности, является реальностью психофизиологической. Цвет как таковой и цветовое воздействие идентичны только при гармоничном созвучии [5, 10].

Физиология человека эволюционировала миллионы лет, соотносясь с 24-часовым ритмом, однако необходимость проводить много времени на работе нарушила привычные условия жизни человека. Роль освещения, ориентированного на потребности человеческого организма и базирующегося на циркадных ритмах, приобретает все большее значение. Об этом свидетельствует награждение в 2017 году Нобелевской премией по физиологии и медицине трех ученых из США — Джеффри Холла (Jeffrey C. Hall), Майкла Росбаша (Michael Morris Rosbash) и Майкла Янга (Michael W. Young), описавших работу биологических часов растений, животных и людей.

Синие компоненты света вызывают образование в клетках зрительной системы фотохромного пигмента меланопсина. Синий свет подавляет выработку мелатонина — гормона, который способствует наступлению сна. Сотни исследований доказали, что из-за синего излучения в неподходящее время на 65% повышается риск заболевания раком груди и на 37% диабетом, а также значительно растет вероятность осложнения сердечнососудистых и других заболеваний [22]. Для хорошего самочувствия человеку нужно искусственное освещение, максимально приближенное к естественным условиям.

Сегодня технология светодиодного освещения освоена, основные усилия направлены на оптимизацию его спектральной составляющей. Сделать это достаточно просто, благодаря электронной составляющей этого излучения. Для комфортного состояния людей, в первую очередь, должно быть обеспечено плавное изменение цветовой темпера-

туры: от тепло-белого утром (2700 К) к нейтрально- или холодно-белому днем (5000–6000 К) и снова к теплему оттенку вечером (2700 К). С одной стороны, синие составляющие излучения белых светодиодов действуют на человека стимулирующим образом в утренние часы или в тех случаях, когда нужна сосредоточенность. Когда же нам надо расслабиться, то предпочтительны желтые и красные составляющие светового излучения.

Иногда бывают внештатные всплески активности. Для таких случаев должна быть возможность выйти из привычного состояния для немедленной мобилизации внимания. Использование синей части спектра освещения способно внести существенный вклад в повышении работоспособности [20, 30].

Необходимо сменять периоды концентрированного внимания с промежутками отдыха. И тут не обойтись без расслабляющего режима освещения. Первым примером программируемого светодизайна стала лампа Yang Metamorfosi итальянской компании Artemide в 2000 году. В конце XX века классический дизайн вступил в один из самых сложных этапов своей истории — появление мощных систем автоматизированного проектирования позволило создавать дизайнерам похожие друг на друга объекты дизайна, просто смешивая множество заранее разработанных программных элементов. Дизайнеры компании Artemide определили своим объектом разработок не сам продукт-светильник, а его смысл, то есть свет, особенно окраску света. Они начали с изучения психологической составляющей света. Artemide взялась за этот проект, поставив перед собой цель выявить радикальные смысловые изменения, о которых бы никогда не задумались глобальные конкуренты. Речь шла о том, чтобы люди покупали лампы не из-за их красоты или технических характеристик, а из-за излучаемого ими света и порождаемых им эмоций. За полгода междисциплинарная команда, состоящая из социальных психологов, медиков, архитекторов, маркетологов, предложила концепцию «гуманного света» — такого света, который улучшает состояние людей [3].

Самая последняя разработка международного значения — запатентованная технология Hue корпорации Philips, позволяющая пользователям задавать интенсивность освещения и его цвет в зависимости от своих предпочтений. Единственный недостаток такого освещения — психологический дискомфорт при частых перемещениях между помещениями с разной цветовой температурой.

Концепция «умных» городов базируется на научно-технологическом развитии и личностном росте сообщества [18]. Конвергенция высоких технологий, экономики, права и социальной психологии позволит создать новые типы образований, объединяющих сообщества людей посредством индустриальных платформ [19, 21]. Согласно Нику Срничику (Nick Srnicek), индустриальные платформы создаются посредством сочетания оборудования и программного обеспечения, необходимых для перевода традиционного производства на «интернет-рельсы», что позволит снизить производственные издержки и превратить продукты в услуги [17]. По мере снижения затрат на сбор, хранение и анализ данных все больше компаний пытаются внедрять платформы в традиционное производство. Самые заметные из этих попыток происходят под рубрикой «промышленного интернета вещей», «больших данных» и «Индустрии 4.0» [2]. Промышленные платформы позволяют сократить затраты на рабочую силу на 25%, на энергоресурсы на 20% (энергию распределяют дата-центры), а эксплуатационные расходы — на 40% (за счет своевременных оповещений о точках износа). Они кардинально улучшают показатели и превращают открытость, доверие и коллективный интеллект в основные ценности «умного» города [1, 6, 27].

Современные светодиодные лампы с переменным цветом свечения, подстраиваемые под циркадные ритмы человеческого организма, а также новые достижения по созданию цветовой температуры, освещенности и рассеивания света, являются ответом технологий XXI века идеям начала XX века [24]. «Умное» освещение в ближайшем будущем охватит все стороны жизни городов [10, 11, 15]. Известные на сегодня системы управления освещением на основе стандартов Dali (Digital Addressable Lighting Interface), PLC (Programmable Logic Controller), ZigBee и Xbee имеют как явные преимущества, так и ряд серьезных недостатков, которые ограничивают их применение. Разные технологические процессы производства не позволяют совместное использование кремниевой электроники для управления светодиодами и нитрид-галлиевых (GaN) светильников. Индустриальная платформа, полностью построенная на основе нитрид-галлиевой оптоэлектроники, позволит существенно оптимизировать управление светом и повысить КПД всей системы освещения.

«Умное» освещение «умных» городов, на наш взгляд, позволят реализовать три передовые технологии, разработанные в Швейцарии.

1. Технология выращивания «чистых» GaN-пластины с низкой себестоимостью.

2. Биомедицинская аналитика с мобильных телефонов.

3. Ячейки Гретцеля.

Нитрид галлия (GaN) — полупроводниковый материал, открытый в середине XX века. Начал активно использоваться с конца 90-х годов после отработки основных этапов его производства. На сегодня является самым перспективным полупроводником, позволяет производить:

— высокоэффективные синие и белые светодиоды для освещения и высокоскоростной защищенной передачи информации посредством света по стандарту LiFi;

— мощные высокочастотные транзисторы для обработки информации;

— синие высокоэнергичные лазеры для средств связи и видеопроекторов.

Вследствие своей химической природы и повышенной инертности, сохраняет свою работоспособность при высоких температурах и напряжениях, а также обладает повышенной устойчивостью к ионизирующему излучению. К преимуществам GaN также относится его нетоксичность. Полупроводник GaN позволяет улучшить параметры устройств, ранее разработанных на основе кремния, в 10 раз (теоретически в 1000 раз). Широкое применение GaN сдерживают его высокая цена и большое количество дефектов в GaN-пластинах.

Разработанная в 2010-х годах в лаборатории LASPE (Laboratory of Advanced Semiconductors for Photonics and Electronics) Федеральной политехнической школы Лозанны (École polytechnique fédérale de Lausanne — EPFL) технология позволяет выращивать «чистые» GaN-пластины с низкой себестоимостью [26, 31]. А на основе выращенных пластин производить оптоэлектронные компоненты (транзисторы, светодиоды, лазеры). Такие светодиоды намного полезнее для зрения человека: они дают равномерный свет без мерцания.

С удешевлением биосенсоров и вычислительной мощности телемедицина становится все доступнее. Как полагают в швейцарской компании Leman Micro Devices SA, созданной в 2010 году сотрудниками EPFL Марком Джонсоном (Mark Jones) и Михаилом Нагогой в Лозанне, Швейцария, все большая часть смартфонов будет оснащаться устройствами для диагностики состояния организма с высокой точностью.

Разработанный и производимый компанией продукт E-Checkup ТМ для аналитики психофизиологического состояния клиента позволяет измерять температуру тела, насыщение крови кислородом, частоту сердечных сокращений и частоту дыхания.

Учитывая ожидаемый рост оснащенных этим устройством смартфонов, вскоре должна быть доступна большая база данных анонимных измерений. Это даст возможность вести статистику измерений здоровья пользователей и адаптировать с помощью ИИ освещенность (спектр, интенсивность) к их физиологическому состоянию.

Реализация интеграции биомедицинской аналитики с управлением полихромным светодиодным освещением возможна на индустриальной платформе «умного» освещения, управляемой ИИ.

Экспоненциальный рост населения и его благосостояния, а также удешевление производства электроприборов приведут в ближайшем будущем «умные» города к энергетическому голоду. Спрос на электрическую энергию ежегодно растет на 3%, в то время как доля ее эффективного расходования увеличивается лишь на 1.5%. На освещение приходится около 19% мирового потребления электроэнергии. Эффективное использование электроэнергии стало одной из 17 целей ООН, принятых в рамках глобальной стратегии устойчивого развития в 2016 до 2030 года [23].

Полвека назад были изобретены солнечные панели на основе аморфного полупроводника кремния и за это время, благодаря технологической и экономической экспансии Китая (80% солнечных панелей произведены в КНР), стоимость их производства снизилась в десятки раз, повышены КПД панелей. Солнечная энергия используется для питания не подключенных к общей электросети систем освещения на основе светодиодов. Наружное и внутреннее освещение посредством солнечной энергии в процессе функционирования такой системы свидетельствует о ее дружелюбности окружающей среде и о разумном использовании ресурсов [25].

К сожалению, энергетические затраты на производство солнечных батарей сравнимы с их энерговыработкой на протяжении их недолгого жизненного цикла. Их применение эффективно только в тропических и субтропических зонах с высокой инсоляцией, а большинство крупных мегаполисов находятся в умеренном или субполярном климате.

Использование технологий распределенного управления электропитанием SmartGrid на основе ИИ лишь ненадолго сможет задержать

энергетический кризис, но позволит лучше контролировать и оптимизировать распределенные энергосети.

Технологические возможности для выхода из энергетического кризиса городов существуют уже сегодня. Они эстетически красивы и позволяют вырабатывать электроэнергию — это ячейки Гретцеля. В начале 90-х годов прошлого века профессором EPFL Михаэлем Гретцелем (Mihael Graetzel) была разработана и запатентована так называемая ячейка Гретцеля [4, 29]. Материалами для создания ячейки Гретцеля служат дешевые компоненты на базе органического спирта и оксида титана. Для лучшего поглощения солнечной энергии используются красители. Цвет ячеек Гретцеля может варьироваться от фиолетового до красного.

Покрывая внешние стены коммерческой и жилой недвижимости разноцветными ячейками Гретцеля, архитекторы создают автономный энергетический комплекс и решают проблему внешней архитектурной колористики здания [7, 8]. Строительство современных зданий из железобетонных конструкций позволяет создавать полностью стеклянные стены [28]. Но при полностью прозрачных стенах люди чувствуют себя неуютно и незащищено. Согласно доктору Полу Кидуэллу, для комфортного проживания площадь остекления должна колебаться от 40% до 60% [13]. Использование ячеек Гретцеля на оставшихся 60–40% площади стен, совместно с остеклением, создаст необходимую человеку психологическую защиту, осветит помещения в приглушенные тона, а также будет вырабатывать электроэнергию.

Создание энергоэффективного витража на основе полихромных ячеек Гретцеля не за горами. Если кто видел витражи Шартрского собора при менявшемся освещении, особенно, когда при заходящем солнце вспыхивает большое круглое окно, превращаясь в великолепный заключительный аккорд, тот никогда не забудет этого момента, а витражи на основе ячеек Гретцеля будут способны еще и вырабатывать электроэнергию.

Заключение

В 1910 Василий Кандинский положил начало абстракционизму — передаче эмоциональных переживаний цветом. Современные светодиодные лампы с переменным цветом свечения, подстраиваемые под циркадные ритмы человеческого организма, а также новые достижения по созданию цветовой температуры, освещенности и рассеивания света являются ответом технологий XXI века идеям начала XX века.

С удешевлением биосенсоров и вычислительной мощности телемедицина становится все доступнее. Реализация интеграции биомедицинской аналитики с управлением полихромными светодиодным освещением возможна на индустриальной платформе «умного» освещения, управляемой ИИ. Биосенсоры позволят управлять полихромным светодиодным освещением: если человеку нужно расслабиться, добавить больше желтого в спектр излучения, если, наоборот, проснуться — синего цвета.

Для повышения электроавтономности и колористической привлекательности здания рекомендуется облицевать его полихромными ячейками Гретцеля, которые являются эффективной альтернативой кремниевых солнечных панелей. Ячейки Гретцеля можно использовать не только как облицовочный материал, но и вместо стен. Непрозрачные, в отличие от стекол, они создадут психологический комфорт, наполнят комнату приглушенными цветовыми оттенками, а также будут вырабатывать бесплатное электричество на основе солнечной энергии.

Создание индустриальной платформы «умное» освещение для «умного» города на основе промышленного интернета вещей и ИИ, созданных на основе галлий-нитридных технологий для светодиодов, лазеров для передачи информации и транзисторов в качестве вычислительных элементов, позволит реализовать самые смелые дизайнерские и архитектурные проекты, например, создание в миниатюре энергоэффективного витража, наподобие Шартрского.

Авторы выражают благодарность Валерию Алексеевичу Алтухову, прочитавшему наш текст и давшему нам ряд ценных советов.

Библиография:

1. Алтухов А.В., Дорофеева А.А. Устойчивое развитие «интеллектуальных территорий» на основе высоких технологий // Природопользование и устойчивое развитие регионов России. II Международная научно-практическая конференция. 2019 г. Пенза, 2019. С. 11–15.

2. Алтухов А.В., Дорофеева А.А. Социокультурные аспекты «Умных городов» // Россия и Запад: диалог культур. В печати.

3. Верганти Р. Инновации, направляемые дизайном: как изменить правила конкуренции посредством радикальных смысловых инноваций. М.: Издательский дом «Дело» РАНХиГС, 2018. 384 с.

4. В Top 50 исследователей специалисты по солнечным элементам нового типа и по сверхмалым роботам URL: http://uni-ch.ru/press_CH/prCH_FNS_Horizons_2006_68_01_Top50.html (дата обращения: 04.10.2019).

5. *Выготский Л.С.* Психология искусства. М.: Юрайт, 2019. 414 с.
6. *Дорофеева А.А., Алтухов А.В., Федоров А.Д.* Урбанистика. Функциональные компоненты интеллектуальных территорий // *Social Sciences: Achievements and Prospects Journal*. 2019. Т. 6. № 14. С. 19–36.
7. *Ефимов А.В.* Колористика города. М.: Стройиздат, 1990. 272 с.
8. *Ефимов А., Панова Н.* Архитектурная колористика и пластические искусства. М.: БуксМарт, 2019. 424 с.
9. *Иттен И.* Искусство цвета. М.: Издатель Дмитрий Аронов, 2018. 96 с.
10. *Зотин О.* «Умный» свет в «Умном» городе. Часть II. Об эволюции «Умного» освещения // *Полупроводниковая светотехника*. 2017. № 5. С. 68–74.
11. *Зотин О.* «Умный» свет в «Умном» городе. Часть IV. На пути к укладу 7.3 завершающе-незавершенные размышления о некоторых аспектах VI светотехнической революции с философскими и искусствоведческими экскурсами // *Полупроводниковая светотехника*. 2018. № 1. С. 63–73.
12. *Кандинский В.В.* О духовном в искусстве. М.: Эксмо-пресс, 2016. 160 с.
13. *Кидуэлл П.* Психология города. Как быть счастливым в мегаполисе. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2018. 288 с.
14. *Лаврентьев А.Н., Квиличи В.* Свет дизайн-авангарда // *Искусство света: дизайн, архитектура, художественное и проектное творчество*. М., 2019. С. 179–189.
15. *Луусуа А., Пихладжаними Х., Юнтунен Е.* Проект SenCity: оценка восприятия интеллектуального освещения жителями «умных» городов // *Светотехника*. 2018. № 2. С. 22–27.
16. О Концепции единой цветоцветовой среды города Москвы. Правительство Москвы. Постановление от 11 ноября 2008 года № 1037-ПП.
17. *Срничек Н.* Капитализм платформ. М.: Дом Высшей Школы Экономики, 2019. 128 с.
18. *Таунсенд Э.* Умные города. Большие данные, гражданские хакеры и поиски новой утопии. М.: Издательство Института Гайдара, 2019. 400 с.
19. *Макафи Э., Бриньолфсон Э.* Машина, платформа, толпа. М.: Манн, Иванов, Фербер, 2019. 320 с.
20. *Малик Р., Мазумдар С.* Осветительный прибор с регулируемой цветовой температурой с красными, синими и белыми СД // *Светотехника*. 2017. № 4. С. 51–59.
21. *Моазед А., Джонсон Н.* Платформа, практическое применение бизнес-модели. М.: Альпина Паблишер, 2019. 288 с.
22. *Халпер М.* Биодинамическое освещение рабочих мест // *Современная светотехника*. 2017. № 6 (50). С. 32–35.

23. Цели в области устойчивого развития URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/sustainable-development-goals/> (дата обращения: 04.10.2019).
24. *Шенетков Н.И.* Световой дизайн города. М.: Архитектура-С, 2006. 320 с.
25. *Элленбергер М.* Системы светодиодного освещения с использованием солнечной энергии // Полупроводниковая светотехника. 2014. № 6. С. 58–60.
26. *Altoukhov A., Levrat J., Feltin E., Carlin J.-F., Castiglia A., Butté R., Grandjean N.* High reflectivity airgap distributed Bragg reflectors realized by wet etching of AlInN sacrificial layers // Applied Physics Letters. 2009. Vol. 95. № 19. P. 191102–191102–3.
27. European Union Innovation partnership on Smart cities and Communities. URL: https://ec.europa.eu/info/eu-regional-and-urban-development/topics/cities-and-urban-development/city-initiatives/smart-cities_en (дата обращения: 04.10.2019).
28. EPFL's campus has the world's first solar window. URL: <https://actu.epfl.ch/news/epfl-s-campus-has-the-world-s-first-solar-window/> (дата обращения: 04.10.2019).
29. *O'Regan B., Graetzel M.* A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films // Nature. 1991. Vol. 24. № 353. P. 737–740.
30. *Perdahci C., Ozkan H.* LEDs colours mixing using their SPD and developing of the mathematical model for CCT calculation // Light & Engineering. 2019. Vol. 27. № 1. P. 86–96.
31. *Simeonov D., Feltin E., Altoukhov A., Castiglia A., Carlin J.-F., Butté R., Grandjean N.* High quality nitride based microdisks obtained via selective wet etching of AlInN sacrificial layers // Applied Physics Letters. 2008. Vol. 92. № 17. P. 171102–191102–3.