

А.В. Аладов, в.н. Аладов, В.П. Валухов, А.Л. Закгейм, А.ф. Цацульников

В последние годы становится всё более ясно, что архитектурно-строительная наука не может без учёта достижений современного прогресса технического развития ответить на актуальные вопросы, возникающие перед строительной отраслью Республики Беларусь. Вполне понятно, что с учётом ставящихся сегодня официальных задач, большая часть работ архитектурно-строительной науки посвящена экономике, в первую очередь – энергосбережению и другим технологиям, позволяющим экономить ресурсы и снижать стоимость строительства. Мы уже публиковали предложения по удешевлению жилья за счёт планировочного решения, предложения по снижению энергопотребления чисто архитектурными приёмами, одновременно поднимали и некоторые вопросы экологических аспектов в архитектурном проектировании [11, 12].

Следует заметить, что до настоящего времени круг экологических проблем, в основном ограничивается чисто утилитарными факторами – удалению мусора и вредными выбросами человеческой жизнедеятельности. Но здоровье и самочувствие человека, как выясняется, во многом зависит от того, что и как он воспринимает зрительно. Так недавно, относительно, конечно, возник новый, не совсем пока привычный, термин – «Видеоэкология» [13]. Оказалось, что на здоровье и самочувствие людей действует не только загрязнение окружающей среды, но и.....плохая безликая архитектура! Доктор (медицины, а не архитектуры!) убедительно доказал, что традиции мировой архитектуры основываются на объективных законах, и пренебрежение ими приводит к довольно таки негативным последствиям – не только расстраивает зрение, но и калечит нервную систему. Но восприятие среды зависит не только от её материальной формы, но и от её освещения. Мы уже публиковали исследование И.П. Реутской [14], посвященное восприятию объектов архитектуры в зависимости от точки зрения и качества естественного освещения. Но вот вопросы воздействия искусственного освещения оцениваются в архитектурно-строительной науке, в основном не с точки зрения качества, а скорее количества. Стремление видеть больше и лучше, желание продлить светлое время суток, пройдя через лучину и газовые горелки, привело от лампочки Яблочкова к применению широкого ассортимента различных форм электрического освещения с обильным разнообразием современных светильников.

Но тут возникает вопрос – всякое ли искусственное освещение, при котором работает современный человек в свете вышесказанного полезно для здоровья? Как совместить всё более популярное стремление зодчих к расширению корпусов зданий, дающего как экономии площади застройки, так и энергоэкономический эффект? Ведь даже в яркий день в помещении глубиной более 6 метров естественный свет в необходимом количестве не проникает. Сегодня эту проблему решают просто – повесили люминесцентные или другие «лампы дневного света» – свет есть – и прекрасно.

При этом при смешанном освещении естественным с даже «полезным» искусственным светом не так-то просто достичь нужного результата – постоянного освещения рабочего пространства светом с оптимальными параметрами естественного света или его аналога. Вот и появилось новое определение – Светоэкология. Мы уже давали некоторые материалы о «интеллектуальном» свете в № 1.2 (14, 15) за прошлый год и эта статья развивает положения, разработанные Физико-техническим институтом им. А.Ф. Иоффе РАН.

Сейчас уже общепризнано, что наиболее интересные перспективы «интеллектуального» света, связаны с возможностью оказания положительного влияния на психофизиологическое и общее физическое здоровье человека или, другими словами, созданием оптимальной для жизнедеятельности световой среды. В последние годы светододы, благодаря своим технико-экономическим преимуществам

(низкое энергопотребление, длительный ресурс с минимальными эксплуатационными расходами, миниатюрность, конструктивная гибкость, отсутствие опасных ИК и УФ компонент излучения и др.) выдвинулись в качестве главных претендентов на роль источников освещения в будущем. Действительно, успехи, достигнутые в повышении световой отдачи белых СД, впечатляют: на февраль 2014 г. рекорд для лабораторных образцов составил 300 лм/Вт, а уровень серийных приборов приблизился к 200 лм/Вт [1]. (В качестве исторической справки отметим, что десять лет назад оптимистические прогнозы для световой отдачи СД составляли 60–80 лм/Вт).

В новой ситуации, когда мировые лидеры Nichia, Cree, Philips Lumileds, Osram вышли на примерно равный и очень высокий уровень световой отдачи, существенную роль в конкурентной борьбе приобретают качественные показатели генерируемого света. Если речь идет об освещении, то это, в первую очередь, возможность реализации широкого диапазона цветовых температур - 2700-6500К при обеспечении высоких значений индексов цветопередачи [2]. По современным требованиям для высококлассного освещения общий индекс цветопередачи  $R_a$  должен быть не менее 95, а специальные индексы цветопередачи для насыщенных цветов  $R_g-R_{1-p}$ , по крайней мере, не ниже 85 [3]. Наконец, новое и, вероятно, важнейшее качество освещения – **управляемость**, то есть возможность изменения в процессе работы спектрально-цветовых параметров. Управляемость по спектру (или цвету) кардинально расширяет функциональные возможности источников света, меняя подходы к решению множества светотехнических задач, от наиболее масштабной – общего освещения, в том числе комфортное смешанное и в глубине помещения, до специальных: медицина, особенно хирургия., агротехника, архитектурно-декоративная подсветка, музейное освещение, [4,5]. Степень управляемости может быть разной: от варьирования во времени в определенном диапазоне цветовой температуры до воспроизведения широкой гаммы естественных цветов, включающей миллионы цветовых оттенков.

Вопросы оптимизации цветосмещения для получения белого света с заданной цветовой температурой и оптимальным компромиссом в соотношении «световая отдача – индекс цветопередачи» применительно к СД подробно исследовались в последнее десятилетие [6-8]. Один из главных полученных результатов кратко заключается в следующем: при типичной полуширине спектров полупроводниковых излучателей  $\Delta\lambda_{0.5} \sim 15-40$  нм получение белого света с высоким значением общего индекса цветопередачи  $R_a > 95$  требует сложения излучения 4-5-ти полупроводниковых излучателей с пиковыми длинами волн  $\lambda_{peak}$  относительно равномерно распределенных в видимом диапазоне. Дальнейшее, более плотное заполнение спектра излучения абсолютно черного тела (АЧТ) за счет увеличения числа СД, мало что добавляет к значению  $R_a$ , но ведет к заметным потерям световой отдачи и усложнению системы. В то же время, даже небольшое отклонение пиковой длины волны  $\lambda_{peak}$  отдельных СД от оптимальных значений может приводить к резкому падению отдельных индексов цветопередачи, особенно  $R_g-R_{1-p}$ , относящихся к насыщенным цветам. Использование для цветосмещения люминофорных СД с более широким спектром  $\Delta\lambda_{0.5} \sim 70-100$  нм, естественно, облегчает проблему.

Экспериментальные исследования в совокупности с моделированием при широком охвате исходных спектров по  $\lambda_{peak}$  и  $\Delta\lambda_{0.5}$  показывают, что для синтеза высококачественного белого света в широком диапазоне  $T_c = 2500-10000$ К оптимальным является набор 6 спектральных полос полупроводниковых СД. При этом для каждой конкретной цветовой температуры  $T_c$  достаточно сложение 4-х полос. Выбор 6-цветного светодиодного модуля обуслов-

лен стремлением повысить его универсальность за счет перекрытия широкого диапазона  $T_c$  и акцентирования некоторых цветов для специальных условий освещения (микроскопия, хирургия, музеи).

Разработка конструкции и технологии изготовления энергоэффективных динамически управляемых светодиодных источников освещения (ЭДУСИО), обеспечивающие оптимальную световую среду для жизнедеятельности человека, предназначаются для освещения жилых, общественных и производственных помещений с обеспечением возможности регулирования спектрально-цветовых и яркостных характеристик освещения во времени для создания оптимальной световой среды, а именно:

- Имитация внутри помещений, лишённых окон, естественного, отвечающего биологическим циклам, освещения с плавным изменением цветовой температуры в течение дня, особенно при дефиците в зимний период естественного света;
- Создание специальных условий освещения:
  - для повышения работоспособности и концентрации внимания персонала, работающего при больших психофизических нагрузках (авиадиспетчеры, операторы центров управления, экипажи автономных объектов: подводные лодки, космические корабли и др.);
  - для релаксации и снятия нервного напряжения у перечисленного выше персонала, а также людей испытывавших стрессовые нагрузки (военные, МЧС и др.);
- Музейное освещение с обеспечением наилучшего воспроизведение всей цветовой палитры живописи и создания комфортной световой среды для восприятия предметов искусства;
- Осветительные системы для освещения медицинских учреждений.

ЭДУСИО обеспечивают излучение белого света со спектрально-цветовыми и яркостными характеристиками, изменяемыми во времени по заданной плавной программе (рис 1а,б). Управление параметрами излучения осуществляется дистанционно по радиоканалу от пульта дистанционного управления (ПДУ) или персонального компьютера (ПК). При этом обеспечиваются три режима работы:

- «Выключено» - сеть 220 В отключена;
- «Дежурный режим (спящий)» - питание 220 В включено, свет выключен;
- «Рабочий режим» - работа в режиме обеспечения заданных требований к цветовым (калориметрическим) и световым (фотометрическим) характеристикам.

Микроконтроллер обеспечивает прием команд управления от ПДУ или ПК, управление световыми характеристиками, контроль температуры платы светодиодов (не более 50 °С)

Мощность потребления ЭДУСИО от источника питания не превышает 40 Вт в рабочем режиме, что позволяет не предусматривать наличие корректора коэффициента мощности. В дежурном режиме мощность рассеяния не превышает 0,5 Вт.

ПДУ ЭДУСИО обеспечивает: хранение во внутренней памяти режимов работы ЭДУСИО; выбор программы и времени работы пользователем с помощью кнопок ПДУ; управление работой ЭДУСИО; синхронизацию работы нескольких ЭДУСИО; привязку режима работы к реальному времени (времени суток); управление ЭДУСИО (Соответствующий интерфейс позволяет легко выбирать цветовые характеристики и изменять во времени по заданному алгоритму цвет и яркость излучения плавное изменение спектра излучения в течение суток с возможностью последующего повторения цикла) по радиоканалу на расстоянии до 35 метров.

Разветвленная сеть ЭДУСИО Стандарт ZigBee относится к устройствам локальных радиосетей – устройствам малого радиуса действия, используемые для замены физических кабелей в локальных сетях передачи данных в пре-

делах здания (помещения).

Спецификация ZigBee ориентирована на приложения, требующие гарантированной безопасной передачи данных при относительно небольших скоростях и возможности длительной работы сетевых устройств от автономных источников питания. Технология ZigBee позволяет при малом энергопотреблении поддерживать не только простые топологии сети, но и самоорганизующуюся и самовосстанавливающуюся ячеистую топологию с ретрансляцией и маршрутизацией сообщений. Стандарт ZigBee предписывает беспроводным устройствам иметь рабочий цикл не более 1% от всего времени работы, что позволяет продлить время автономной работы датчика от нескольких месяцев до нескольких лет.

Достоинством стандарта ZigBee является возможность беспроводного изменения основных параметров новых устройств, вводимых в уже готовую сеть. Механизм удаленного управления позволяет значительно расширить энергосберегающие функции в том числе за счет возможности динамического изменения конфигурации параметров сети. Устройства ZigBee обладают одним из самых маломощных передатчиков в сочетании с самым чувствительным из всех конкурентов приемников. Такая комбинация дает очевидный положительный эффект – значительно меньшую степень облучения людей, находящихся в зоне работы сети. Это особенно актуально для ЭДУСИО, учитывая основное назначение устройства – обеспечение оптимальной световой среды для жизнедеятельности человека в условиях присутствия персонала. В этом случае, технология ZigBee наилучшим образом будет отвечать условиям безопасности и экологичности окружающей среды из всего набора беспроводных стандартов.

Ключевым элементом источника является полихромный СД модуль. Современная СД промышленность (зарубежная) предлагает широкую номенклатуру 3-4-х цветных эффективных и мощных СД в качестве элементной базы для полихромных источников. Среди лучших: Cree Inc. (XLamp XM-L Color, XLamp MC-E Color), LedEngin (LZ4-00MA10, LZ4-04MDCA), Luminus (CBM-380), они применялись нами в предыдущих разработках [9]. Их главное достоинство – максимальные на сегодняшний день энергетические характеристики, ограничение – неполная цветовая гамма. Это либо RGBA, либо RGBW излучатели, где R, G, B, A – монохромные красные (630нм), зеленые (520нм), синие (460нм) и желтые (590нм) СД, а W – люминофорные СД холодного  $T_c \sim 6500K$  или нейтрального  $T_c \sim 4000K$  белого света. Для преодоления указанного ограничения и создания эффективных излучателей на «дефицитные» длины волн, в ФТИ им. А.Ф.Иоффе совместно с НТЦ микроэлектроники РАН активно ведутся исследования по совершенствованию ростовых технологий излучающих гетероструктур в системе AlInGaN. были выращены гетероструктуры типа двойной синий - сине-зеленый (460+490нм) или синий плюс глубокий зеленый (460+560нм) и др. [10], то есть варианты СД, необходимые для достижения высоких индексов цветопередачи, но отсутствующие на рынке. Опытные образцы таких излучающих кристаллов используются в нашем 6-цветном модуле, фотография которого представлена на рис.1в. в сравнении с известными промышленными образцами LZ4-04MDCA (Led Engin) и XLamp XM-L Color (Cree). Всего в источнике задействовано 9 последовательно включенных 6-цветных модуля.

Вышеописанный прибор является достаточно универсальным источником света, предполагающим широкое применение для общего освещения, музейного освещения, в медицине.

Таким образом, возможно сделать вывод о том, что решение поставленных вопросов лежит в описанном выше применении «интеллектуального» света - автоматическом регулировании яркости и цветности света светодиодных светильников в зависимости от состояния естественного освещения помещений – как в зоне нормативного освещения естественным светом, так и в глубине помещения. Разработаны светодиодные, динамически управляемые, спектрально-перестраиваемые источники света различного назначения, позволяющие синтезировать либо белый свет

в широком диапазоне цветовых температур, либо окрашенное излучение различных цветовых оттенков. Подобные источники света представляют большой интерес, как для общего освещения, так и для ряда специальных применений: архитектурно-художественной подсветки, освещения операционных, микроскопии, фототерапии, коррекции психофизиологического состояния человека, агротехники и т.д.

Применительно к музеям, художественным галереям, выставкам позволяют успешно решать не только технико-экономические вопросы (экономия электроэнергии, эксплуатационных расходов, снижение опасностей загрязнения вредными веществами, повреждения от УФ и ИК компонент излучения и др.), но и радикально меняют всю концепцию освещения художественных объектов. Появляется возможность индивидуальной настройки спектральных и цветовых параметров освещения, отвечающим условиям наилучшего зрительного восприятия цветов, что особенно актуально для произведений живописи с широкой цветовой палитрой.

Попутно решается и другая проблема: создание впечатления связи с внешним пространством при физическом отсутствии токового, что также работает как экологический (светозоологический) компонент архитектурного решения. Есть основания полагать, что у нас у всех в какой-то степени имеются зачатки клаустрофобии. Человек подсознательно ощущает некий дискомфорт, не имея чувства связи с окружающей средой, и это может привести к ослаблению иммунитета. Феномен достаточно не изученный, но наблюдаемый на практике. Учёт этого обстоятельства также мог

бы значительно повысить светозоологический климат глубоких и замкнутых помещений при автоматическом регулировании освещённости светодиодными светильниками.

Учитывая достаточно серьёзные наработки в этой области было бы целесообразно проработать и определённые нормативные рекомендации, учитывающие кроме количественных и качественные параметры светового климата в архитектурно-строительном проектировании.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ (контракт №02.G25.31.0014) с учётом договора о сотрудничестве между БНТУ и НТЦ МиСГ РАН

### Сведения об авторах

**Аладов Андрей Вальменович.** Старший научный сотрудник ФГБУН Научно-технологический центр микроэлектроники и субмикронных гетероструктур РАН

**Аладов Вальмен Николаевич.** Доктор архитектуры, профессор БНТУ

**Закгейм Александр Львович,** кандидат технических наук, Заместитель директора по научной работе, ФГБУН Научно-технологический центр микроэлектроники и субмикронных гетероструктур РАН

**Валюхов Владимир Петрович,** доктор технических наук. Профессор ФГАУО ВО Санкт-Петербургский политехнический университет

**Цацульников Андрей Федорович,** кандидат физико-математических наук Старший научный сотрудник ФГБУН Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН



Рис.1. Фото общего вида ЭДУСИО с пультами управления (а), электрическая блок-схема (б), общий вид мультикристалльных светодиодных матриц в сравнении с мировыми аналогами (в)

### Литература

1. Cree's MK-R LED Offers up to 200 Lumen-Per-Watt. LED professional Review 35, 2013, 6 Lighting// J. of Display Technology 3 (2), 2007, p.160.
2. Specifications for the Chromaticity of Solid State Lighting Products. ANSI/NEMA C78.377-2008.
3. LED Engin Achieves Highest Color Rendering in World's Smallest LED Emitters for High-End Directional Lighting/. LED Professional Review LpR 37 | May/June 2013, p.28. URL: [www.led-professional.com/products/leds\\_led\\_modules/led-engin-achieves-highest-color-rendering-in-world2019s-smallest-led-emitters-for-high-end-directional-lighting](http://www.led-professional.com/products/leds_led_modules/led-engin-achieves-highest-color-rendering-in-world2019s-smallest-led-emitters-for-high-end-directional-lighting)

4. А.Л. Закгейм. Светодиодные системы освещения: энергоэффективность, зрительное восприятие, безопасность для здоровья человека. *Светотехника*, №6 (2012), с.12-21
5. В.Н. Аладов, И.П. Реутская, А.В. Аладов, А.Л. Закгейм, М.Н. Мизеров, А.Е. Черняков. Динамически управляемая световая среда как неотъемлемый компонент экологической архитектурной среды. *Архитектура и строительные науки* №1,2 (14-15) 2013, с.2-6
6. A. Zukauskas., R.Vaicekauskas, F.Ivanauskas, R.Gaska, M.S.Shur. Optimization of white polychromatic semiconductor lamps// *Appl. Phys. Lett.* 80 (2002), 234
7. S.Chhajed Y.Xi, Y.-L. Li, Th.Gessmann, E. F. Schubert. Influence of junction temperature on chromaticity and color-rendering properties of trichromatic white-light sources based on light-emitting diodes// *J. Appl.Phys.*, 97 (2005) 054506
8. Гутцайт Э.М., Закгейм А.Л., Коган Л. М., Маслов В.Э., Социн Н.П., Юнович А.Э. Анализ спектральных характеристик светодиодных модулей для воспроизведения стандартных источников света. // Сборник статей 9-го Белорусско-Российского семинара «Полупроводниковые лазеры и системы на их основе» Минск, 28-31 мая 2013 г. с.186-190.
9. А.В. Аладов, Е.Д. Васильева, А.Л. Закгейм, Г.В. Иткинсон, В.В. Лундин, М.Н. Мизеров, В.М. Устинов, А.Ф. Цацульников. О современных мощных светодиодах и их светотехническом применении. *Светотехника* №.3 (2010), с.8-16
10. А.Ф. Цацульников, В.В. Лундин, А.В. Сахаров, Е.Е. Заварин, С.О. Усов, А.Е. Николаев, Н.В. Крыжановская, М.А. Синицын, В.С. Сизов, А.Л. Закгейм, М.Н. Мизеров. Монолитный белый светодиод с активной областью на основе квантовых ям InGaN, разделенных короткопериодными InGaN/GaN-сверхрешетками. *Физика и техника полупроводников*, 2010, том 44, вып. 6. с. 837
11. Аладов В.Н, Реутская И.П., Рак Т.А. Развитие номенклатуры квартир и типологии многоквартирных жилых зданий в современных социально-экономических условиях. \ // *АИСН* №1(8С2-5
12. Аладов В.Н. Новые типы д домов-комплексов с обслуживанием. // *АИСН* №1 (11) .с7-9
13. Филин В.А. *Видеоэкология. Что для глаза хорошо, а что – плохо.* М; *Видеоэкология*, 2006;-512 с
14. Реутская И.П. ,ПрокопеноК.И. Экологическая комфортность архитектурной среды жилища. // *АИСН* №1,2 (12,13) с9 -11

Поступила в редакцию 17.09.2014 г.