

Майкл Люн (Michael Leung)

Перевод: Андрей Паксюткин | avp@e-neon.ru | Андрей Скрипниченко | aps@e-neon.ru

# Объективное сравнение белых светодиодов и решений

## с дистанцированным люминофором

**Сторонники технологии «дистанцированного» («отнесенного», от англ. remote) люминофора утверждают, что она дает значительное преимущество для эффективности светильников и ламп по отношению к решениям, использующим белые светодиоды с люминофорным преобразованием. Но, как объясняет Майкл Люн, главный инженер технологического центра Cree в Санта-Барбаре (SBTC), сравнивать следует сходные приложения.**

Так как «по-настоящему» белых светодиодов нет, существует множество подходов к созданию их белого света. В наиболее распространенных конструкциях светильников и ламп используются светодиоды, у которых люминофор, применяемый для получения белого света, помещен непосредственно в корпус с излучающим кристаллом синего цвета свечения — иначе говоря, светодиоды с люминофорным преобразованием. Другой подход, называемый «дистанцированный» люминофор, основан на использовании синих светодиодов, камер смещения и покрытой люминофором вторичной оптики, которые физически отделены от светодиодных источников света.

Есть сторонники обоих подходов, хотя в последнее время поклонники «дистанцированного» люминофора утверждают, что преимущество такого способа в эффективности достигает 30%. В этой статье мы будем оценивать эти два подхода в конкретных светильниках и всенаправленных лампах-«ретрофитах» с точки зрения стоимости, производительности и других факторов.

Наше сравнение иллюстрирует типичный сценарий разработки. Мы рассмотрим светодиодный чип, люминофор и конфигурацию всей системы. Методика оценки построена так, чтобы большинство элементов лампы или светильника были одинаковыми в обоих случаях, за исключением расположения люминофора.

Для объективного сравнения необходимы, в первую очередь, базовые светодиодные технологии со сравнимой производительностью, подходящие для использования в обоих вариантах. Поскольку выбор подхода обуславливается требованиями к устройству, компания Cree не отдает предпочтения какому-либо одному способу. Она производит белые и синие (Royal blue) светодиоды серии XLamp XT-E на одной и той же производственной платформе со сравнимыми длинами волн и мощностью излучения. Пластины, которые станут белыми светодиодами, покрываются люминофором, а те, которым суждено стать синими, остаются без покрытия. Светодиоды помещаются в одинаковые корпуса размером 3,45×3,45 мм в форм-факторе XT-E. Команда

инженеров из технологического центра SBTC собрала синие и белые светодиоды в отдельных модульных источниках света в виде матрицы 3×3 светодиода. Для светильника и лампы с «дистанцированным» люминофором специалисты сделали диск и колпак лампы, покрытый люминофором, используя тот же тепло-белый (3000 К) люминофор, который был использован в теплых белых светодиодах XT-E. Инженеры также получили в свое распоряжение для сравнения некоторые коммерчески доступные образцы оптики с «дистанцированным» люминофором. Было решено провести оценку ламп с «диск» и «колбой» с целью выяснения, играет ли конфигурация какую-либо роль в достижении эффективности.

Объективное сравнение должно проводиться в условиях типичной эксплуатации, поэтому в него были включены результаты базового тестирования при +25 °С, а также испытания при высокой температуре и измерения светового потока. Для оценки разных конфигураций при высокой температуре был смонтирован светодиодный модуль на источнике тепла с температурой +85 °С, который через 30 мин. достиг устойчивого температурного состояния. Во время натурных испытаний светодиоды были запитаны током 700 мА, световой поток системы составил около 1400 лм.

### Конфигурация светильника и лампы

Определив условия для тестирования, перейдем к описанию конфигураций светильников и ламп. Был изготовлен четырехдюймовый светодиодный светильник с белыми светодиодами, пластиковым конусом-рефлектором и четырехдюймовым диффузором из поликарбоната (рис. 1).

Для версии с «дистанцированным» люминофором использовался источник синего света, пластиковый конус-рефлектор, а также большой и малый диски, покрытые люминофором (рис. 2).

На каждом из рисунков можно видеть два светодиодных модуля, установленных



Рис. 1. Белые светодиоды, пластиковый конус-рефлектор и четырехдюймовый диффузор из поликарбоната

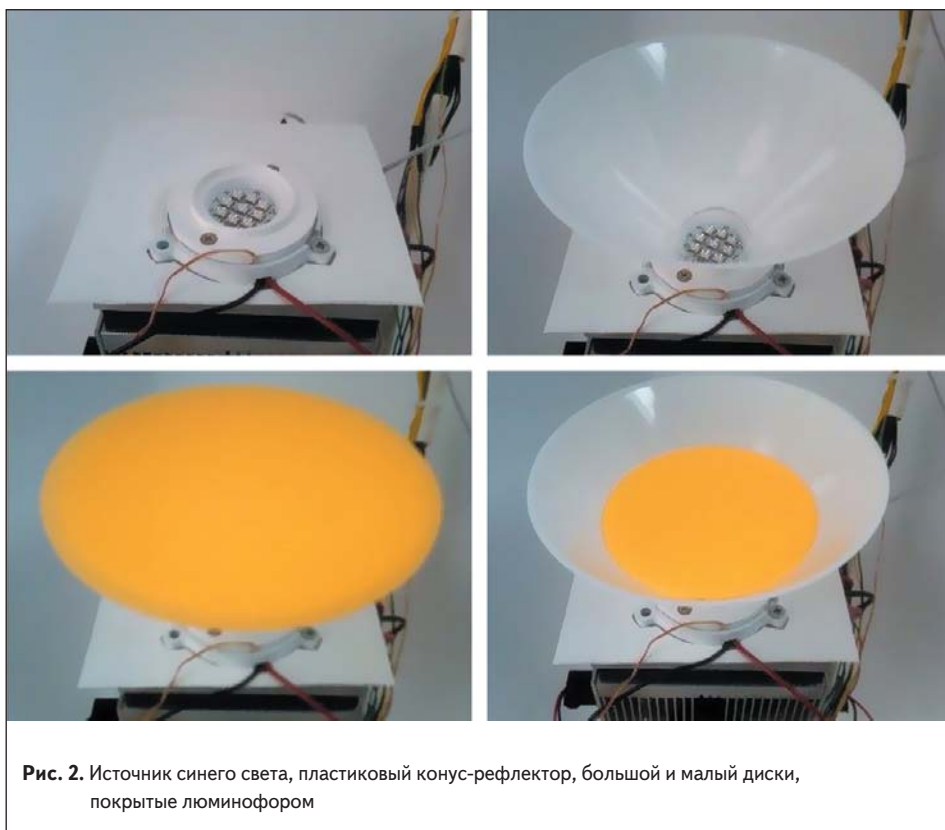


Рис. 2. Источник синего света, пластиковый конус-рефлектор, большой и малый диски, покрытые люминофором

на источнике тепла, который упоминался ранее. Для испытания лампы-«ретрофита» использовались те же источники света, установленные на те же источники тепла. Для испытания белых светодиодов применялась матовая стеклянная сфера диаметром 35 мм, установленная сверху на светодиодный источник света (рис. 3).

При испытании лампы с «дистанцированным» люминофором использовалась ее стеклянная оптика и коммерческий вариант (рис. 4).

## Результаты измерений

Рассмотрим данные, полученные во время испытаний, начиная со светильника (таблица 1). Измерения его светового потока проводились в различных условиях.

Значение светового потока белых светодиодов при температуре +85 °С (в стабильном режиме) составило 1234 лм. Для объективного сравнения белых светодиодов и системы с «дистанцированным» люминофором проводились измерения



Рис. 3. Матовая стеклянная сфера диаметром 35 мм



Рис. 4. Лампа с «дистанцированным» люминофором

белых светодиодов с рефлектором и потом с диффузором, чтобы имитировать типичное применение светильников. Измеренный для такой системы световой поток составил 1146 лм, и это значение было использовано в качестве основы для сравнения с системой на основе «дистанцированного» люминофора.

Таблица 1. Итоговая таблица для светодиодных светильников

Светодиод	Описание	Световой поток при +25 °С, лм	Световой поток при +85 °С, лм	% от «точки отсчета» при +85 °С	Примечание	% потери «горячих» лм в сравнении с «холодными» лм
ХТ-Е WW (ТБ)	9ХТ-Е теплый белый	1471	1234		«Точка отсчета» при +85 °С — 1234 лм	16,1%↓
ХТ-Е WW (ТБ)	9ХТ-Е+рефлектор	1416	1187	3,8↓		16,4%↓
ХТ-Е WW (ТБ)	9ХТ-Е+рефлектор+диффузор	1358	1146	7,2↓	Рефлектор+диффузор привели к потерям 7–15% светового потока, эффективность рефлектора 96,5%	15,6%↓
ХТ-Е синий (RB)	9ХТ-Е синий (RB)	7,74 Вт	6,66 Вт		Снижение энергопотребления при повышении температуры окружающей среды	14%↓ Вт
ХТ-Е синий (RB)	9ХТ-Е синий (RB)+рефлектор	7,32 Вт	6,29 Вт		Снижение энергопотребления при повышении температуры окружающей среды. Эффективность рефлектора 95% для синих светодиодов	14%↓ Вт
ХТ-Е синий (RB)	9ХТ-Е синий (RB)+рефлектор+диск-диффузор тип L компании Cree	1541	1324	7,3↑	На 15% выше, чем ХТ-Е ТБ+рефлектор+диффузор	14%↓
ХТ-Е синий (RB)	9ХТ-Е синий (RB)+рефлектор+диск-диффузор тип L компании X	1589	1363	10,5↑	На 19% выше, чем ХТ-Е ТБ+рефлектор+диффузор	14,2%↓
ХТ-Е синий (RB)	9ХТ-Е синий (RB)+рефлектор+диск-диффузор тип S компании X	1542	1322	7,1↑	На 15% выше, чем ХТ-Е ТБ+рефлектор+диффузор	14,3%↓

Таблица 2. Итоговая таблица для светодиодных ламп «ретрофитов»

Светодиод	Описание	Световой поток при +25 °С, лм	Световой поток при +85 °С, лм	% от «точки отсчета» при +85 °С	Примечание	% потери «горячих» лм в сравнении с «холодными» лм
ХТ-Е WW (ТБ)	9ХТ-Е теплый белый	1471	1234		«Точка отсчета» при +85 °С — 1234 лм	16,1%
ХТ-Е WW (ТБ)	9ХТ-Е+колба-диффузор	1314	1099	10,9%	Эффективность других образцов диффузоров находится в диапазоне 92–85%, в зависимости от покрытия	16,4%
ХТ-Е синий (RB)	9ХТ-Е синий (RB)	7,74 Вт	6,66 Вт		Снижение энергопотребления при повышении температуры окружающей среды	14% Вт
ХТ-Е синий (RB)	9ХТ-Е синий (RB)+колба-диффузор Cree	1551	1326	7,5%	На 20,6% выше, чем ХТ-Е WW+диффузор-колба	14,5%
ХТ-Е синий (RB)	9ХТ-Е синий (RB)+колба-диффузор компании X	1315	1127	8,7%	На 2,5% выше чем ХТ-Е WW+диффузор-колба	14,3%

Используя источник синего света (на светодиодах Royal blue), инженеры провели испытания трех дисков в системе с «дистанцированным» люминофором. Небольшие размеры коммерческих дисков привели к различным расстояниям между источником света и вторичной оптикой, как это видно на рис. 2. С диффузором Cree световой поток составил 1324 лм, что было на 15% больше, чем 1146 лм, принятых за «точку отсчета». Для коммерческих доступных дисков с люминофором световой поток достиг значения 1363 лм (19% прироста) и 1322 лм (15% прироста) для большого и маленького дисков соответственно.

Теперь давайте рассмотрим испытания «ретрофитной» лампы (табл. 2).

Выход света у «голых» белых светодиодов составил 1234 лм, как и у светильника, взятого за образец. Световой поток для белых светодиодов с диффузной колбой составил 1099 лм при +85 °С установившейся температуры.

Испытуемая оптика имела тонкое диффузное покрытие, характерное для «ретрофитных» ламп, хотя некоторые продукты могут иметь более толстое покрытие, что может привести к снижению светового потока. Световой поток в 1099 лм принят за точку отсчета для сравнения системы с «дистанцированным» люминофором.

С источником синего света испытывались два диффузора с нанесенным люминофором. С изделием от Cree световой поток составил 1326 лм при +85 °С установившейся температуры, что на 20,6% больше по сравнению с базовым значением. С коммерческими изделиями был получен световой поток 1127 лм при +85 °С, что на 2,5% больше базового.

### Стабильность цвета при изменении температуры

Инженеры SBTC измеряли также сдвиг цвета при изменении температуры от +25

до +85 °С. Мы не будем здесь подробно рассматривать эти результаты, подведем лишь итоги.

В случае с белыми светодиодами люминофор находится на светодиоде чипе. Поэтому температура люминофора может быть очень близка к температуре кристалла светодиода — около +90 °С, в то время как температура окружающей среды достигает +85 °С. Эффективность люминофора может упасть при повышении температуры, таким образом, будет меньше желтого, и общий цвет системы сместится в сторону синего. Вообще говоря, системы с «дистанцированным» люминофором проявляют меньшее изменение цвета при изменении температуры.

Конечно, разработчики лампы или светильника могут компенсировать цветовой сдвиг, тестируя свои изделия при разных температурах. Более того, производители светодиодов, как, например, Cree, все чаще производят «биновку» своих изделий при температуре +85 °С, так что конструкторы будут знать, как именно поведут себя компоненты в изделии.

Учитывая, что наши тесты систем с «дистанцированным» люминофором в различных конфигурациях показали увеличившийся световой поток, вы можете подумать, что такой подход имеет явные преимущества. Наши «испытуемые» сопоставимы с реальными изделиями, такими как встраиваемые светильники или лампы-бра. Но оценка не закончена, пока мы не рассмотрим, почему система с «дистанцированным» люминофором показала преимущества, и не рассчитаем стоимость каждого подхода.

### Как это работает

В белом светодиоде люминофор находится очень близко к чипу — в виде тонкого покрытия или силиконового герметика. Синий свет,

излучаемый светодиодным чипом, испускается во всех направлениях. Некоторые лучи света будут взаимодействовать с люминофором на светодиодных чипах, в результате преобразовываясь в желтый свет. На самом деле результатом преобразования является излучение со множеством различных длин волн, преимущественно желтого цвета. Эти желтые лучи испускаются также во всех направлениях, и некоторые из них будут отражаться обратно на светодиодный чип и поглощаться им, результатом чего будет потеря эффективности (рис. 5).

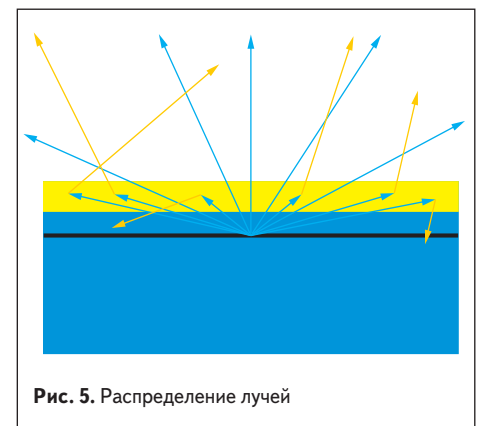
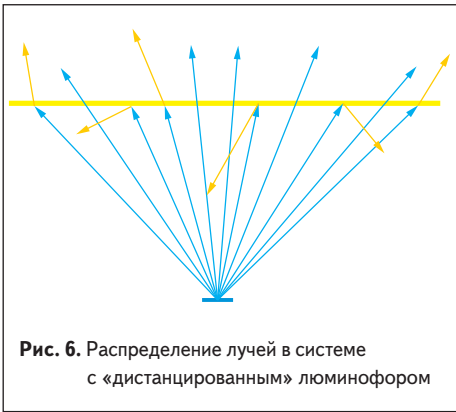


Рис. 5. Распределение лучей

Для сравнения, в системе с «дистанцированным» люминофором он находится далеко от светодиодного чипа. При попадании синего света на люминофор происходит его возбуждение и излучаемый люминофором желтый свет также распространяется во всех направлениях, как и в белых светодиодах. Но, поскольку светодиодный чип находится на большом расстоянии, шансов попасть в него и быть поглощенными у желтых лучей гораздо меньше.

При условии, что система с «дистанцированным» люминофором грамотно



**Рис. 6.** Распределение лучей в системе с «дистанцированным» люминофором

спроектирована, снабжена эффективным рефлектором, который перенаправляет желтый свет, падающий внутрь, то общая эффективность такой системы будет выше, чем в случае с белым светодиодом (рис. 6).

### Стоимость компромиссов

Итак, мы подошли к грубому сравнению стоимости обоих подходов. В качестве примера рассмотрим следующий сценарий. Можно построить типичный светильник на 1000 лм с помощью 10 светодиодов по цене около \$1,7 (общая стоимость составит около \$17). Для обеспечения прироста светового потока в 20% есть два варианта: добавить два дополнительных светодиода, увеличив стоимость компонентов на \$3,4,

или перейти на дизайн с «дистанцированным» люминофором, основанный на представленных в статье измерениях. Типовые диски с люминофором в настоящее время можно найти по цене \$15 (у дистрибьюторов), хотя при больших объемах заказа она может составить от \$8.

Разработчики освещения и системные интеграторы должны решить, какой метод лучше всего соответствует их применению. Подход с «дистанцированным» люминофором обладает еще и таким преимуществом, как цветовая стабильность. Однако в некоторых приложениях дизайнеры или конечные потребители предпочитают белый внешний вид светильника желтому оттенку диффузора с «дистанцированным» люминофором, когда лампа или светильник выключены.

Наше сравнение показывает, что системы с «дистанционным» фосфором могут обеспечить усиление выхода света на 20% при большом световом потоке и высокой температуре окружающей среды. На данный момент эти успехи достигнуты увеличением стоимости системы и, в том числе, возможными патентно-лицензионными сборами. Конструкторы светильников должны определить, какой из подходов является оптимальным для их конкретного приложения. Но, пока стоимость «удаленного» люминофора еще высока, белые светодиоды, вероятно, будут доминирующим выбором для общего освещения. ●

*Оригинал статьи размещен на сайте журнала LEDs Magazine: <http://ledsmagazine.com/features/9/7/6>*