Проблемы явных и скрытых энергетических потерь в светодиодных осветительных приборах

Часть 3

В предыдущих частях статьи мы рассмотрели виды потерь, связанные с обеспечением рабочего режима светодиода. Настало время поговорить о потерях, связанных непосредственно с самим его излучением. Этой проблеме совершенно незаслуженно уделяют меньше внимания, чем следовало бы. При ближайшем рассмотрении потери по оптическому каналу не менее опасны, чем потери по теплу и электрическому каналу вместе взятым. Свет — это очень тонкий вид энергии, и управлять им непросто. Тем более в приложениях с ограничением по стоимости, какими, безусловно, являются все выпускаемые крупными сериями светотехнические изделия. Однако время требует от разработчиков учитывать все возможные факторы, влияющие на эффективность изделия. Именно поэтому качество системы, формирующей КСС светильника, так важно.

Теория ослабления энергии излучения базируется на трёх основных законах. Мы остановимся только на одном из них, который в начале XIV в. сформулировал Френель. Впоследствии из него была выведена формула для ослабления энергии излучения при прохождении раздела двух оптических сред. Этот достаточно сложный метод интегрального исчисления по спектру и направлению поляризации обладает избыточной для светотехнических приложений точностью, поэтому нас интересует его упрощённый вид, который оперирует только угловыми значениями и коэффициентами преломления сред. Физический смысл этого метода в том, что на ослабление световой энергии влияют два основных фактора — разница коэффициентов преломления двух оптических сред и угол падения лучей на границу перехода светового потока из одной среды в другую. Из формулы потерь по Френелю следует, что разница между коэффициентами преломления и угол падения лучей к нормали, проведённой к границе раздела сред, должны быть минимальны. На рисунке 1 наглядно отображён этот принцип.

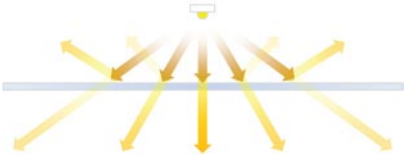


***Рис. 1.** Потери при переходе излучения через границу раздела оптических сред*

Выбор материалов, из которых изготавливается большинство формирующих КСС систем для светодиодов, не так велик — это несколько разновидностей поликарбоната и полиметилметакрилат. Данные материалы обладают разнонаправленными качественно-экономическими характеристиками, поэтому необходимо учитывать множество факторов, никак не связанных с их оптическими характеристиками, а именно: прочность, горючесть, устойчивость к воздействию ультрафиолета и, конечно, цену. Например, поликарбонат обеспечивает максимальную защиту изделия (его трудно сломать, разбить, оно не воспламеняется), однако он имеет больший по сравнению с полиметилметакрилатом коэффициент преломления света и неустойчив к воздействию ультрафиолета. В свою очередь, полиметилметакрилат очень хорош по оптическим показателям, но горюч и имеет меньшую прочность.

В качестве примера рассмотрим часто решаемую в настоящее время задачу — светодиод установлен перед рассеивающим экраном. Решив эту задачу для плоского листа поликарбоната можно обнаружить, что ослабление светового потока при прохождении одной границы раздела сред по нормали составляет около 0,445 дБ. Соответственно, потери при прохождении плоской пластины из этого материала достигают 14—16%. В большей степени они обусловлены сравнительно высоким значением коэффициента преломления поликарбоната (1,58—1,585), из-за чего большее количество энергии отразится от первой грани в обратном направлении, а впоследствии и от второй при выходе из толщи материала.

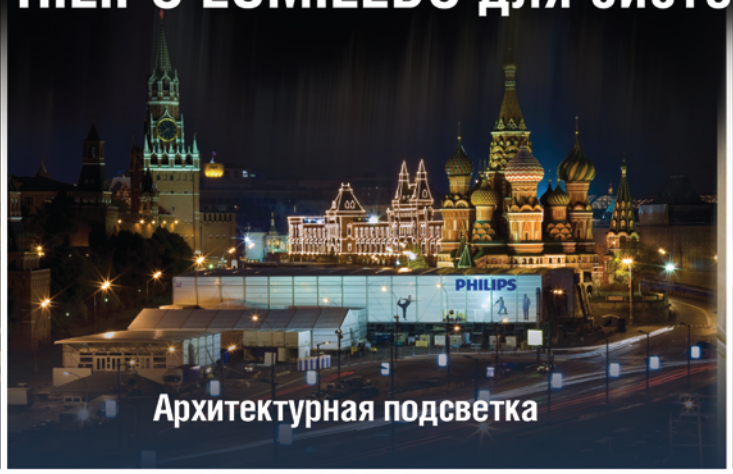
Антон Булдыгин

Окончил Московский Государственный Университет Приборостроения и Информатики, кафедра оптоэлектронные приборы и системы. Участвовал в работах по созданию систем ориентации спутников ВПК. Позже занимался разработкой систем автоматизации зданий в интеграционной компании. С 2009 года руководитель группы разработок ООО «Светотроника».

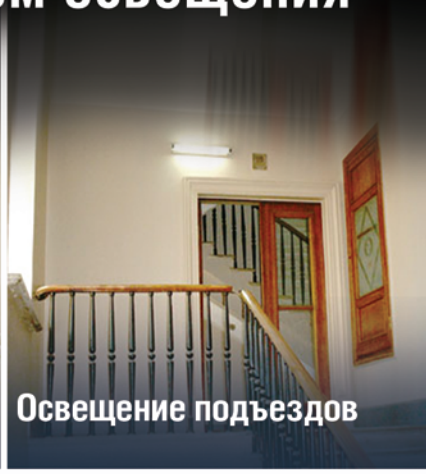
светотроника

Разработка комплексных решений на базе светодиодов PHILIPS LUMILEDS для систем освещения

Транспортное освещение



Архитектурная подсветка


Освещение подъездов

Торговое освещение

Освещение торговых центров

Офисное освещение

Промышленное освещение

Уличное освещение

Освещение лифтов

ОТ ИДЕИ ДО РЕШЕНИЯ

Представитель в Украине
E-mail: compel@svitonline.com

www.svetotronica.ru

Инженер по светотехническим решениям
E-mail: terekhov@svetotronika.ru

Эти потери могут значительно увеличиваться при матировании любой из поверхностей листа, т.к. вероятность падения лучей на границу раздела сред под тупыми углами к нормали возрастает. В настоящее время такой способ трансформации светодиода из точечного источника света в протяжённый встречается достаточно часто. Рациональным использованием дорогостоящей световой энергии его явно не назовёшь, затраты на прохождение матированных поверхностей огромны — 28—40%. Очевидно, что это значительно снижает эффективность светильника, отбрасывая его на совершенно неконкурентный с прочими протяжёнными источниками света уровень. Можно несколько улучшить ситуацию, зафиксировав лист в таком положении, при котором матовая поверхность находится со стороны, противоположной падению излучения. В этом случае некоторая часть лучей, переотразившись в толще материала, выйдет наружу. Однако такой метод едва ли обеспечит значительный прирост эффективности, — речь может идти лишь о единицах процентов. Использование микропризм и микролинз позволяет также значительно снизить габаритную яркость. В таком случае количество потерь окажется больше, чем у плоской пластины, но едва ли превысит 20%. Применение подобных рассеивателей желательно в тех случаях, где это позволяет эстетика разрабатываемого изделия.

Использование листа прозрачного полиметилметакрилата в описанной выше задаче обеспечит лучшее по сравнению с поликарбонатом значение потерь. Как и в предыдущем случае, это связано с тем, что значение коэффициента преломления материала составляет 1,49. Ослабление светового потока на одной границе раздела сред для нормального падения луча — около 0,339 дБ. Соответственно, при прохождении пластины световой поток снизится приблизительно на 11—13%. При использовании полиметилметакрилата приходится мириться с его эксплуатационными особенностями.

Несколько лучше дела обстоят в конструкциях, где требуется сформировать направленную КСС. Хотя проблема энергетических потерь по оптическому каналу по-прежнему остаётся, она в значительной мере решается за счет большего коэффициента использования светового потока и увеличения силы света. Дело в том, что светодиод справедливо считается источником света с исключительной управляемостью по оптическому каналу. Излучение светодиода изначально является направленным и исходит от очень малой светящейся площади. С точки зрения геометрической оптики, управлять таким пучком лучей значительно проще и эффективнее, чем светом всесторонне направленного источника. Следовательно, коэффициент использования светового потока светодиодной системы значительно выше, чем у ламповой. Это обстоятельство позволяет говорить об управлении излучением как о ещё одном факторе энергосбережения. Ведь важно не только получить высокие показатели световой отдачи, но и максимально правильно распорядиться излучением источника света.

Лампы любого типа рассеивают свет во всех направлениях, поэтому КСС светильника формируется путем ограничения фронтального излучения и управления тыловым с помощью отражателя. Реже встречаются линзовые системы, которые управляют и фронтальным, и тыловым излучением. Ясно, что и в том, и в другом случаях управление энергией не слишком эффективно. Однако существенно то, что энергетические потери снижаются, и для некоторых образцов светильников эффективность практически приближается к световой отдаче источника света.

У светодиода ситуация обратная. Поскольку использовать этот источник в открытом виде в большинстве случаев затруднительно из-за избыточной габаритной яркости, управлять приходится всем световым потоком. Эффективность управления при этом значительно выше, но и потери возрастают. Как уже отмечалось, этот недостаток нивелируется путём увеличения силы света, однако в абсолютных единицах световой поток всё же неуклонно падает. Как правило, потери на вторичной оптике в большинстве случаев несколько меньше потерь на плоских рассеивателях или стёклах, т.к. использование линз значительно увеличивает вероятность падения лучей светодиода по нормали к поверхности, т.е. с наименьшими по Френелю потерями. Падение энергии излучения на вторичной оптике, как правило, не превышает 15%, а лучшие образцы достигают 8-% потерь.

К сожалению, почти вся вторичная оптика производится из полиметилметакрилата, что накладывает на конструкцию определённые ограничения, связанные с эксплуатационными характеристиками этого материала. Однако реальных эффективных как с оптической, так и с экономической точек зрения альтернатив использованию вторичной оптики пока нет.

Крайне осторожно следует относиться к использованию вторичной оптики с широким углом пространственного распределения силы света совместно с плоским защитным стеклом. Такие конструкции нередко встречаются в проектах уличных светильников. В них большая часть излучения падает на плоское стекло под сравнительно большими к нормали его поверхности углами, в результате чего возникают большие потери при отражении. Оценивать эти потери следует в каждом конкретном случае отдельно, однако учитывая, что они на вторичной оптике в среднем составляют 10—12%, значение эффективности такой системы колеблется около 70%. Если учесть падение эффективности на рассеиваемом тепле и питании, то такой светильник едва ли сможет претендовать на звание энергоэффективного решения. В случае, когда защитное стекло необходимо, целесообразно согласовать его профиль с КСС светодиодного модуля. Это достаточно технологичная и недорогая операция может удержать суммарные потери в пределах 25%.

В целом, осмысленная работа с оптическими материалами и системами может существенно поднять эффективность всего изделия, ведь формирование КСС — это один из важнейших и ответственейших этапов разработки: выбор материалов, конструкции оптической системы и оценка основных её фотометрических параметров заслуживают самого пристального внимания.