

Александр Карев, к. т. н.

Полезный срок службы светодиодных светильников и формирование выбора потребителя

➤ Вопросы, сопровождающие рациональный выбор светодиодного светильника, должны решаться не только на основе информации о начальных параметрах и цене изделия. В большинстве случаев важнее оказываются характеристики, подтверждающие поведение светильника в течение полезного срока службы.



Обеспечение продолжительного срока службы светодиодного светильника всегда сопровождается увеличением конечной стоимости изделия. В связи с этим потребитель должен задумываться, какой реальный срок службы нужен для той или иной области применения светильника. Например, нужен ли срок службы 50 000 ч для офисного светильника, если здание офисного центра планируется реконструировать через два-три года? Может быть, в этом случае использовать менее дорогой светильник с меньшим сроком службы? С другой стороны, частая утилизация вышедших из эксплуатации приборов с ограниченным ресурсом может стать дополнительным аргументом против такого решения. В другом случае, возможно, больший поток от одной световой точки более предпочтителен и можно «разогнать светодиод», жертвуя ресурсом, или, наоборот, требуется осветить помещение равномернее, не предполагая замену светильников в обозримом будущем. Игрет ли период окупаемости новой установки важную роль? Или модный дизайн интерьера решает все?

Как формируется понятие полезного срока службы для светодиодного светильника?

Светодиодный светильник — законченное сложное техническое изделие, состоящее из различных материалов, компонент, деталей, устройств, работающих в определенных условиях и режимах. Понятно, что надежность изделия и его срок службы определяются надежностью каждого элемента, качеством тех или иных процессов и технологий. Рис. 1 иллюстрирует общую надежность как производную надежности всех элементов светодиодного светильника, объединенных производственным процессом. Вероятность безотказной работы (надежность) — $R_{\text{светильника}}$ — определяется как произведение вероятности безотказной работы каждого элемента, учитывая, что каждый элемент системы может стать причиной выхода прибора из строя.

Имеющиеся к настоящему времени результаты наблюдения за реально работающими светильниками наружного освещения в США (на базе анализа 212 млн шт.×ч наработки) позволили сегментировать основные причины выхода их из строя (рис. 2) [1]. Конечно, причины отказов светильников, применяемых в других областях, имеют несколько отличные

соотношения, однако приведенный пример неплохо иллюстрирует ситуацию.

Все причины, нарушающие работоспособность изделия, можно разделить по характеру последствий на параметрические и внезапные.

К причинам, обуславливающим параметрический выход светильника из строя, относится, прежде всего, сегмент «Светодиоды и светодиодные кластеры». Конечно, и здесь присутствует небольшой процент «внезапного финала», но основными причинами остаются: спад светового потока, дрейф координат цветности от первоначального значения и постепенное погасание части светодиодов.

Спад светового потока во времени происходит постепенно и относится к параметрическим причинам. Он обуславливается физикой работы полупроводниковых приборов, свойствами материалов, тепловым и электрическим режимом работы.

В мировой практике устройства осветительных установок общего освещения принят допустимый безопасный уровень снижения светового потока — не ниже 70% от первоначального (может ассоциироваться со значениями коэффициента запаса (эксплуатации) осветительной установки [2]). Исходя из этих соображений порог допустимого снижения светового потока светодиодных светильников общего освещения в ходе эксплуатации принимают на уровне 30%, для декоративного света — 50%; также возможны и другие пороги для светильников специального назначения.

Соответственно, потребитель должен понимать и представлять, что световой поток светодиодного светового прибора с долгим сроком службы будет снижаться по определенному закону в процессе эксплуатации.

Как прогнозируют темп снижения потока во времени и как это следует описывать в документации?

В связи с тем что испытания светильников на срок службы и экспериментальное выявление тенденций изменения светового потока — чрезвычайно продолжительные процессы (50 000 ч — это более пяти лет испытаний), их практическое проведение в условиях производства невозможно. Для оценки динамики спада светового потока на начальном этапе (6000–10 000 ч) используют экспериментальные данные, полученные согласно стандарту IES LM-80-08 / (Measuring Lumen Maintenance of LED Light Sources). Прогнозирование поведения



Рис. 1. Надёжность светодиодного светильника — производная надёжности всех составляющих: $R_{\text{светильника}} = R_{\text{светодиода}} \times R_{\text{оптической части}} \times R_{\dots} \times R_{\dots} \times R_{\text{драйвер}}$

светильника на дальнейших стадиях эксплуатации проводят на основе методики стандарта IES TM-21-11 (Projecting Long Term Lumen Maintenance of LED Light Sources). Для этого применяют метод экспоненциальной экстраполяции данных на начальном участке 1000–10 000 ч.

На рис. 3 (на основе данных компании Lumileds [3]) показаны типичные кривые спада светового потока светодиодных источников при трех различных температурах T_s на двух участках: 1000–10 000 ч — экспериментальные данные; 10 000–100 000 ч — расчетные. Обычно зону уверенной экстраполяции ограничивают шестикратной продолжительностью экспериментального участка, в данном случае до 60 000 ч. Желтым

цветом показан уровень предельного снижения потока — 70% от начального.

Анализ результатов данного прогнозирования полезного срока службы позволяет заключить, что все представленные режимы работы обеспечивают надежную эксплуатацию изделия в пределах 60 000 ч, а для температур $T_s = +55^\circ\text{C}$ и $T_s = +85^\circ\text{C}$ (T_s — температура в точке пайки) ресурс оказывается намного больше.

При допустимом уровне спада потока в 30% точка пересечения кривой спада потока определяет значение полезного срока службы — L_{70} . На практике, вследствие неопределенностей тренда, мы получим временной диапазон наиболее вероятного достижения порогового значения.

Сегментация причин выхода из строя светодиодного светильника наружного освещения /1/

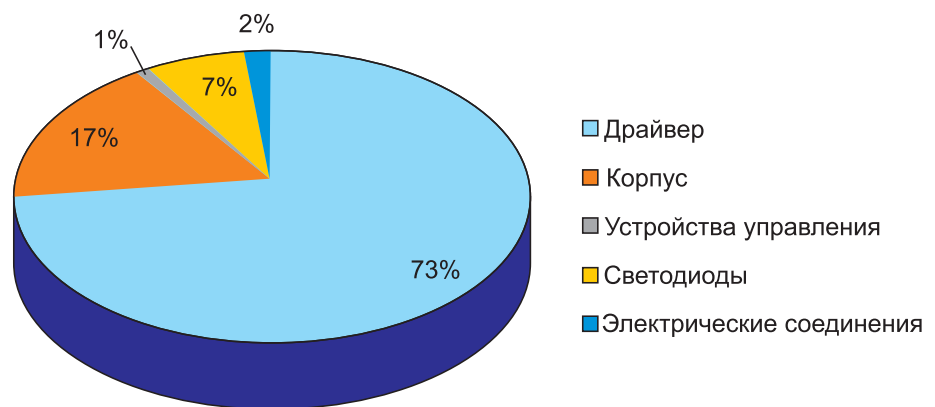


Рис. 2. Основные причины выхода светильников из строя

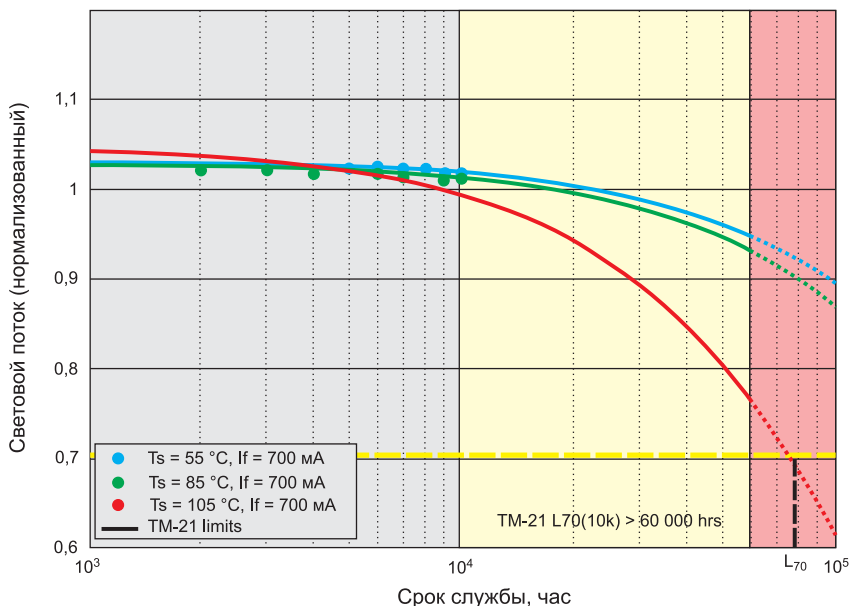


Рис. 3. Схема, поясняющая оценку прогнозируемого полезного срока службы светильника как функцию отказов по световому потоку

Таким образом, конструируя и производя светильник со строго определенным режимом работы конкретного светодиода, получаем возможность оценить спад светового потока светильника во времени и определить полезный срок службы как функцию отказов по световому потоку — L_x .

То есть если указывается срок службы светильника (L_{70}) 50 000 ч, то это значит, что световые потери к этому времени не превысят 30% от заявленных первоначально.

Информация о снижении светового потока во времени должна быть отражена

в описании светильников [4]. А проектирование осветительной установки следует проводить с учетом данного факта (типичного для расчетов осветительных установок).

Дрейф координат цветности по цветовому пространству МКО также происходит постепенно, но в результате может привести к выходу светильника из строя по причине несоответствия эстетическим требованиям, предъявляемым к осветительной установке.

Причин дрейфа координат цветности достаточно много: деградация эмиттера, люминофора, инкапсулянта. Направление

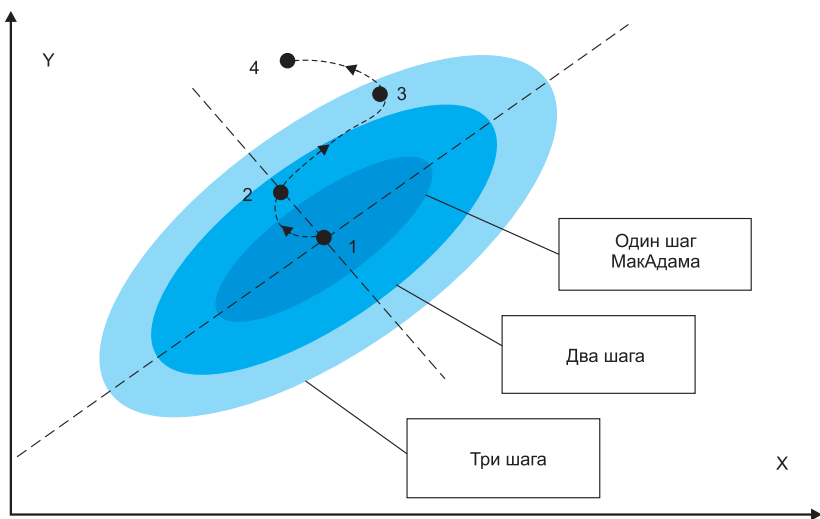


Рис. 4. Условная траектория дрейфа координат цветности источника света на цветовом пространстве МКО в зависимости от времени наработки

дрейфа разнонаправлено и определяется составом люминофора, рабочей температурой, внешними химическими загрязнителями. Кроме этого, на стабильность данной величины влияет деградация пластиковых оптических элементов: линз, диффузоров, рефлекторов. При старении пластиковых оптических материалов поглощение растет больше в коротковолновой части спектра (сине-зеленая) и меньше в красно-желтой.

В целом, определить тенденции направления дрейфа цветовых координат со временем не представляется возможным, но можно спрогнозировать амплитуду.

Для оценки стабильности координат цветности на цветовом пространстве используют специальную систему измерения цвета — эллипсы МакАдама, порог, при котором разница цвета становится заметной [2] (рис. 4). Эллипс МакАдама вычерчивается на диаграмме цветового пространства так, что цвет в центре эллипса отличается на определенную величину от цвета в любой точке на границе эллипса. Экспериментально было установлено, что внутри концентрических эллипсов определенного размера (шаги МакАдама) цветовые различия в той или иной степени не ощущаются наблюдателем. Так, внутри эллипса одного шага цветовые различия ощущают 65% наблюдателей, внутри двух шагов — 95%, внутри трех шагов — 99%.

Соответственно, стабильность источника света во времени можно определить, измерив, на сколько шагов МакАдама координаты отделились от начальной точки (положение 1, рис. 4). На рисунке схематично показан возможный дрейф цветности светильника во времени. После 1 000 ч работы цветность лежит в пределах двух шагов (2), после 2 000 ч — в пределах трех шагов (3), а после 20 000 ч (4) уходит из допустимой области на цветовом пространстве. На практике принято описывать начальный максимальный разброс цветности и установившийся к 6 000 ч работы, выраженный в эллипсах МакАдама. Согласно ГОСТ Р 56231, координаты цветности после 2 000 ч работы не должны выходить за пределы допуска начального разброса.

В таблице [5, 6] приведена классификация цветовой неопределенности в шагах МакАдама, принятая для описания допустимых порогов отклонения цветности излучения светильника на практике.

В случае если координаты выходят за изначально установленные допустимые границы на цветовом пространстве, это также считается завершением полезного срока службы светильника.

Еще одной причиной постепенного выхода светильника из строя является «выгорание» нескольких светодиодов в кластере, когда это приводит внешний вид светильника к «эстетическому коллапсу». Принято ограничивать такие дефекты предельной долей сгоревших диодов от общего числа в кластере, например не более 5 или 10%.

Внезапные причины выхода из строя светильников можно сегментировать на основе диаграммы (рис. 2), и на них приходится подавляющая доля отказов. Практически три четверти выходов светильников из строя обусловлены выходом из строя драйвера или элементов системы контроля. Как и у любого электронного устройства, срок службы драйвера определяется сроком службы электронных компонент, входящих в его состав. Наиболее уязвимым элементом в данном случае являются электролитические конденсаторы. Их срок службы во многом определяется их рабочей температурой. Электронные компоненты другого типа вносят свой вклад в снижение надежности, в основном, внезапным выходом из строя по той или иной причине. Соответственно, характеризовать процесс внезапного выхода из строя можно вероятностной оценкой физического отказа светильника. Светильник в целом можно представить состоящим из двух больших частей: светодиоды и драйвер. Соответственно, накопительная вероятность внезапного отказа определяется как произведение вероятностей отказов каждой части.

На рис. 5 условно показано поведение такой системы в ходе эксплуатации, где видно, что накопительная вероятность отказа, например 0,3, будет достигнута системой в точке наработки $F_{30} = 48\,000$ ч.

На практике для заявленного полезного срока службы светильника как функции внезапных отказов F_y , указывается вероятность внезапного выхода светильников из строя в процентах. Например, $F_{10} = 50\,000$ ч. Это означает, что в течение 50 000 ч эксплуатации существует вероятность выхода из строя не более 10% изделий.

С учетом приведенных выше рассуждений и стандарта [6] можно принять для описания прогнозной оценки полезного

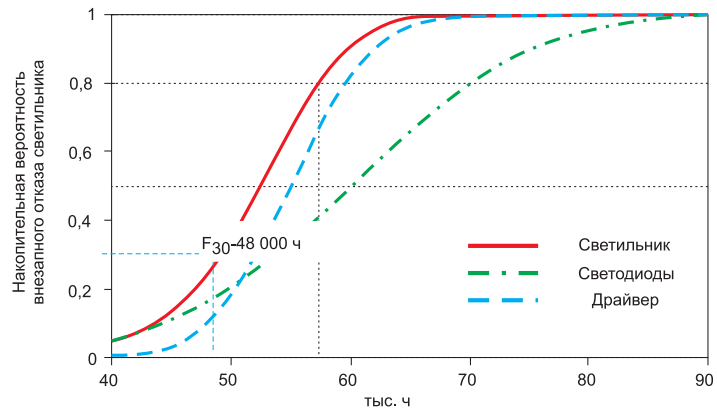


Рис. 5. Накопительная вероятность внезапного отказа светодиодного светильника как функция вероятности внезапного отказа светодиодов и драйвера

Таблица. Классификация цветовой неопределенности в шагах МакАдама

Размер эллипса МакАдама с центром в начальных координатах	Категория вариативности	
	начальная	установившаяся
3 шага	3	3
5 шагов	5	5
7 шагов	7	7
>7 шагов	7+	7+

срока службы светодиодного светильника следующее.

Полезный срок службы светильника всегда должен определяться как комбинация двух параметров¹:

- Время снижения светового потока L_x до порогового значения x , где x — доля от уровня первоначального потока в %. Например, для офисных светильников L_{70} ($x = 70\%$) или для декоративных — L_{50} ($x = 50\%$), указывается в часах.
- Время до внезапного физического отказа светильников F_y в количестве, достигающем порогового значения y , где y — доля от первоначального числа светильников в %. Например, $y = 10\%$ светильников (или $y = 50\%$), указывается в часах.

Таким образом, если указывается полезный срок службы светильника F_{10} , $L_{70} = 50\,000$ ч, то это значит, что световые потери к этому времени составят не более 30% (L_{70}) при физическом выходе из строя не более 10% (F_{10}) светильников.

Именно на основе данного параметра можно принять рациональное решение при выборе светильника, грамотно спроектировать осветительную установку, провести адекватное технико-экономическое обоснование целесообразности конкретной осветительной установки.

Именно этот параметр должен указывать производитель в технических условиях (ТУ) и сопроводительных документах на светильник. Необходимость внесения полезного срока службы светильника со светодиодами в ТУ, паспорт и иные сопроводительные документы должна быть стандартизирована и подтверждаться при сертификационных испытаниях независимыми лабораториями. ●

Литература

1. www1.eere.energy.gov/buildings/ssl/pdfs/led_luminaire_lifetime_guide_sept2014.pdf
2. Справочная книга по светотехнике. Под ред. Ю. Б. Айзенберга. М.: Знак. 2006.
3. www.lumileds.com/technology/luxeon-technology/lumen-maintenance-and-reliability
4. ГОСТ Р 56231-2014/IEC/PAS 62722-2-1:2011 «Светильники. Часть 2-1. Частные требования к характеристикам светильников со светодиодными источниками света».
5. www.led-professional.com/technology/standardization/standardization-of-performance-criteria-for-led-luminaires/celma_tf_apples_pears-kr
6. ГОСТ Р 56230-2014/IEC/PAS 62717:2011 «Модули светодиодные для общего освещения. Эксплуатационные требования». <http://docs.cntd.ru/document/1200115433>

¹ Параметрические причины выхода из строя, носящие эстетический характер, следует учитывать отдельно.