

Жизнь после жизни:

TM-21 предсказывает

В представленном недавно Обществом инженеров-светотехников США документе TM-21 описывается метод оценки снижения светового потока светодиодов, позволяющий проводить экстраполяцию срока их службы за пределы 6000 ч, рассказывает занимающийся разработкой стандартов для программы твердотельного освещения Эрик Ричман (Eric Richman), главный инженер отдела исследований Тихоокеанской северо-западной национальной лаборатории при Департаменте США по энергетике (DOE).

В августе 2011 г. Общество инженеров-светотехников (IES) опубликовало документ TM-21, озаглавленный «Метод оценки деградации светового потока на протяжении срока службы источников света на светодиодах». Этот подход рекомендуется для оценки снижения светового потока светодиодных сборок, матриц или модулей и основан на данных, собранных в соответствии со стандартом LM-80. Специалисты IES ожидают, что TM-21 станет общепринятой методикой для прогнозирования полезного срока службы осветительных изделий на светодиодах при рабочих температурах, приближенных к реальным. Настоящая статья иллюстрирует процесс разработки документа и проясняет, как и когда применять метод экстраполяции жизненного цикла для получения обоснованной и полезной оценки.

Почему TM-21 и почему сейчас?

Все мы знакомы с действительной, а иногда и преувеличенной продолжительностью срока службы, свойственной светодиодам. Длительность эксплуатации — один из важных аргументов

в пользу LED-технологии при проектировании освещения. Проблема заключается в том, как измерить или оценить этот жизненный цикл, чтобы предоставить потребителям достоверные данные о сроке службы изделия в сравнении с другим возможным выбором. Кроме того, общая надежность всего осветительного прибора на светодиодах зависит и от устойчивой работы отдельных его компонентов (устройства управления, линзы и т. п.), что должно учитываться во время оценки ресурса.

Срок службы стандартной осветительной техники определяется как время отказа содержимого лампы или катода. Для большинства источников света временной период до наступления отказа демонстрирует приемлемый уровень светотдачи (непрерывные линии на рис. 1). Это облегчает определение момента, когда надо заменить лампу.

Однако у светодиодов нет катода с деградацией интенсивности эмиссии или существенно изменяющего эффективность преобразования со временем люминофора, что удобно оповещало бы о конце срока службы (пунктирная линия на рис. 1). Более того, быстрое развитие технологии и желание вывести продукт на рынок

в сжатые сроки не позволяют в действительности провести проверочные испытания длительности заявляемого срока службы (35 000 или даже 100 000 ч). В результате в отрасли пришлось принять определение момента окончания срока службы светодиода как точку, начиная с которой он больше не обеспечивает нормативный уровень светотдачи.

Кроме того, срок службы и характеристики светодиодных осветительных изделий в большой степени зависят от избыточного тепла, оставшегося на диоде. Поэтому необходимо испытывать светодиоды при различных температурах. К примеру, когда источник установлен в осветительном приборе, его действительную рабочую температуру можно измерить и определить таким образом снижение светового потока изделия.

Учитывая нужды твердотельной индустрии, Комитет по техническим процедурам (TPC) IES приступил к разработке тестов, предназначенных для определения продолжительности срока службы светодиодов. Изначально необходимо было определить базовую деградацию светового потока компонентов светодиодного источника, идентифицированную по модулям, сборкам или матрицам диодов. Это исследование вылилось в итоге в стандарт LM-80, который требует от производителей собирать данные об изменении светового потока в течение 6000 ч работы светильника (хотя рекомендуется проводить испытания в течение 10 000 ч или дольше). Однако пока не существует утвержденного способа использования этой информации для экстраполяции данной характеристики. Комитет IES TM-21, который в настоящее время работает над стандартами распространения данных LM-80 для оценки деградации света, отложил рассмотрение вопроса по изменению цвета светильников. В стандарте LM-80 не предусматривается пролонгация гарантий работы светодиодов далее чем на 6 тыс. ч, в то время как документ TM-21 предлагает методику расчетов деградации в более длительном временном промежутке.

Рабочая группа по TM-21, как часть TPC IES, была сформирована с целью разработки метода прогнозирования уменьшения светового потока и в течение трех лет изучала различные характеристики светодиодов. Специалисты оценивали многие варианты прогнозирования, начиная с анализа различ-

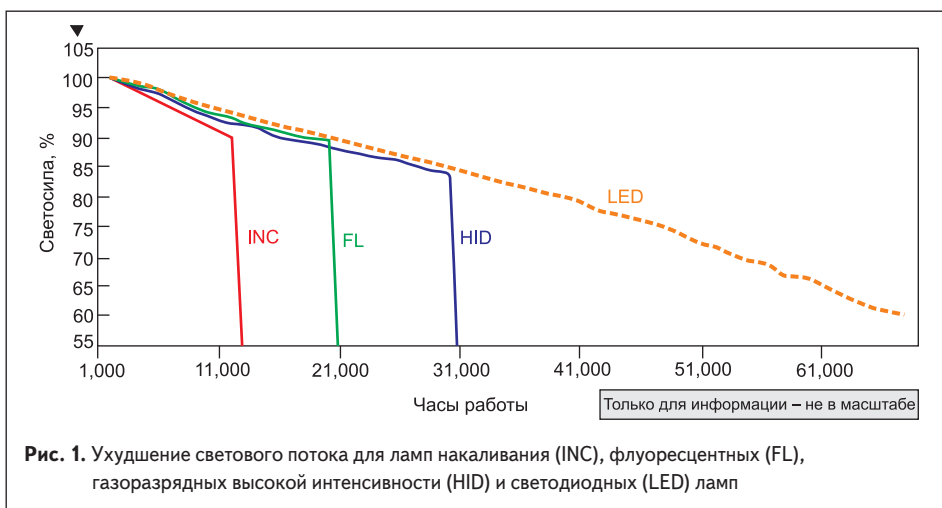


Рис. 1. Ухудшение светового потока для ламп накаливания (INC), флуоресцентных (FL), газоразрядных высокой интенсивности (HID) и светодиодных (LED) ламп

ных математических и инженерных моделей, чтобы получить эффективный и полезный метод по определению и оценке деградации снижения светового потока.

Затем была проанализирована стабильность светового потока светодиода с использованием более чем 40 наборов опытных данных LM-80-08 (из которых 20 со временем наработки 10 000 ч или более), полученных от четырех крупнейших производителей светодиодов. Группа исследователей из TPC IES также проверила точность прогнозов, используя различные предложенные модели и данные LM-80, которые распространяются на 15 000 ч.

Анализ ситуации в соответствии с данными различных производителей

Проведенные исследования показали, что уменьшение светового потока светодиодов при любых условиях происходит после 6000 ч наработки и что нет надежного и непротиворечивого способа прогнозирования их поведения за пределами этого срока.

Объем данных, полученных в результате 10 000 ч наработки, зачастую недостаточен для обеспечения четкой статистической достоверности при экстраполяции кривой спада светового потока в отношении таких больших величин, как, например, 35 000 ч.

Специалисты светодиодной индустрии понимают, что на начальной стадии работы светодиодов они демонстрируют большую потерю светового потока, нежели на поздних сроках их эксплуатации. Рабочая группа TM-21 пришла к заключению, что наиболее обоснованный подход к экстраполяции данных по деградации светового потока — это избегать использования начальных переменных величин, поскольку они обычно связаны с наличием локальных пиков, которые идентифицируются как максимум кривой и возникают из-за наложения возможных снижений светового потока на рост на раннем этапе. При использовании аппроксимации по более позднему потоку данных (рис. 2 и 3)

получается более точная кривая деградации светового потока изделия.

Чем является и чем не является TM-21

Прежде всего, TM-21 не определяет обычный срок службы или время наработки на отказ, как обычно делается для прочих источников освещения. То, что предоставляет TM-21, — это прогнозирование стабильности светового потока светодиодного источника освещения (сборки/матрицы/модуля), основанное на данных, собранных в соответствии с LM-80. Эта информация может быть затем использована для прогноза по ожидаемой деградации источника освещения как части целой системы (прибора). Необходимо, однако, заметить, что TM-21 не является завершающим инструментом оценки жизненного ресурса изделий.

В документе TM-21 использованы все данные, предоставляемые в рамках теста LM-80. Данный стандарт требует аккумулировать данные за 6000 ч с шагом в 1000 ч, но TPC IES определила, что при более длинных потоках данные, взятые за более короткий интервал (менее чем 1000 ч), обеспечивают лучшую оценку. В методике приведены данные к 1 (100%) при 0 часов, и усредняется каждый показатель для каждого образца устройства для каждого условия испытания (варьируются температурные условия).

В документе TM-21 рекомендованный размер выборки составляет 20 образцов (светодиодные сборки, матрицы или модули). На основе оценки неопределенности измерений при различных размерах выборки можно сказать, что больший ее размер (30 образцов) не приводит к существенному увеличению погрешности, а меньший (10 образцов) значительно снизит погрешность оценки деградации.

Как это работает

Как обсуждалось ранее, измерения на поздних стадиях демонстрируют более характерную

кривую спада. Таким образом, для данных за 6000 ч (минимум по LM-80) и до 10 000 ч выполняется аппроксимация по данным, собранным за последние 5000 ч. Для данных, собранных за период, превышающий 10 000 ч, TM-21 использует более позднюю их половину.

Затем, в соответствии с методом TM-21, к данным применяется экспоненциальное приближение с использованием метода наименьших квадратов:

$$\Phi(t) = B \exp(-\alpha t),$$

где: t — рабочее время в часах; $\Phi(t)$ — средний приведенный световой поток на выходе за время t ; B — прогнозируемая начальная постоянная, полученная аппроксимацией методом наименьших квадратов; α — константа скорости уменьшения, полученная аппроксимацией методом наименьших квадратов. Таким образом, прогнозируемое значение стабильности светового потока определяется по формуле:

$$L_p = \ln(100B/p)/\alpha,$$

где: L_p — ресурс стабильности светового потока в часах; p — поддерживаемый процент от начального значения светового потока.

Этот процесс можно приспособить для любого уровня светового потока, определенного пользователем (например, 70 или 50). Если желаемый уровень светового потока достигнут во время программы испытаний по LM-80, указывается этот показатель времени.

Во время разработки метода, описанного в TM-21, стало понятно, что данные, ограниченные 6000 ч, могут дать математический результат, который не обязательно является обоснованным или правдоподобным. Например, плоские кривые или кривые с задержкой возрастания для светодиодных изделий не представляют практического интереса.

Рабочая группа TPC IES проанализировала 40 наборов данных для определения погрешности, соответствующей модели и ее отношению

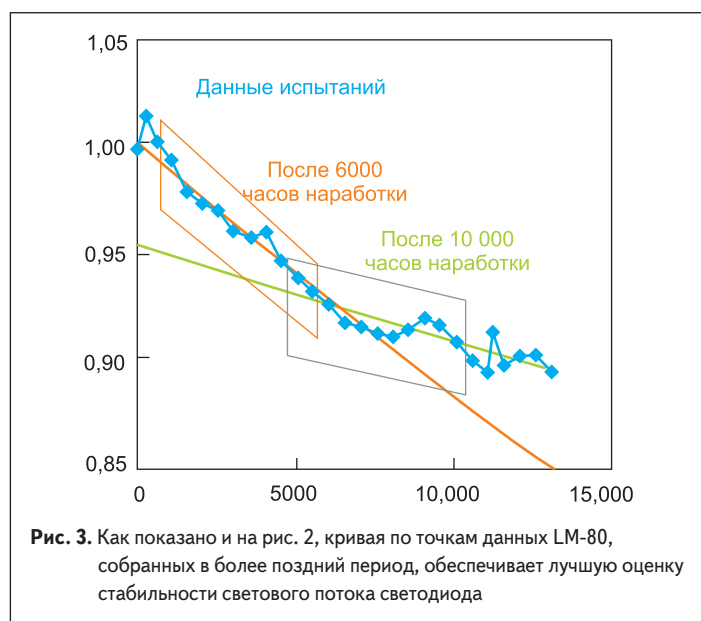
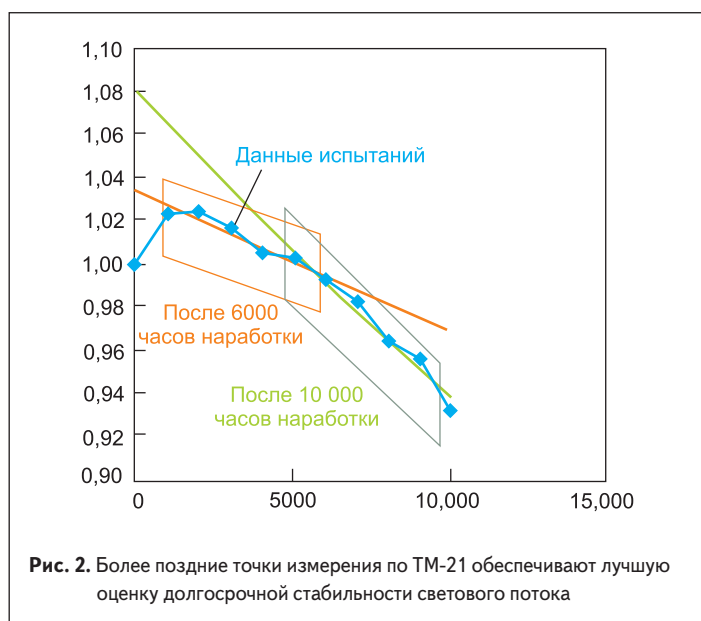


Таблица. Параметры экстраполяции результатов 10 000 ч наработки в соответствии с критериями LM-80 для температуры корпуса на месте $T_{s,i}$ при $+70^\circ\text{C}$

$T_{s,1}$, $^\circ\text{C}$	55
$T_{s,1}$, K	328,15
a_1	1,684E-06
B_1	0,9639
$T_{s,2}$, $^\circ\text{C}$	85
$T_{s,2}$, K	358,15
a_2	3,354E-06
B_2	0,9525
E_a/k_B	2699
A	6,283E-03
B_0	9,582E-01
$T_{s,i}$, $^\circ\text{C}$	70
$T_{s,i}$, K	343,15
a_i	
Предполагаемые $L_{70}(Dk)$	130,131
Фактические $L_{70}(Dk)$	>60,000

к пределам прогнозирования. Рекомендованные пределы прогнозирования:

- для выборки из 20 единиц возможна экстраполяция вплоть до шестикратной продолжительности испытаний;
- для 10 единиц максимум составит 5,5-кратную продолжительность испытаний.

Методику TM-21 также можно использовать для интерполяции между кривыми тестовых значений для определения реальных характеристик деградации, которые изделие будет демонстрировать при установке в прибор, где тепловые условия варьируются.

Когда прибор проходит испытания при температурах, оговоренных LM-80 ($+55\dots+85^\circ\text{C}$ и по выбору производителя), то TM-21 предписывает использовать уравнение Аррениуса для интерполяции между температурой испытаний, поскольку оно объясняет влияние температуры на константу скорости, важной для температурно-зависимых светодиодов.

В таблице представлены примеры экстраполяции при внутренней температуре устройства $+70^\circ\text{C}$ (в графическом виде они приведены на рис. 4). Экстраполяция при температурах, выходящих за температуры испытаний по LM-80, не рекомендуется или необоснованна.

Документ TM-21 предлагает ввести единообразную систему представления информации по различным изделиям. Основной формой представления является $L_p(Dk)$, где: p — поддерживаемый процент от начального значения светосилы; D — общая продолжительность испытаний в часах, разделенная на 1000 и округленная.

Например:

$L_{70}(6k) = 34\ 000$ ч представляют результаты данных испытания 6000 часов;

$L_{70}(10k) = 51\ 000$ часов представляют результаты данных испытания 10 000 часов; $L_{70}(6k) > 36\ 000$ часов представляют результаты с учетом шестикратного увеличения времени прогнозирования; $L_{70}(4k) = 4400$ часов представляют результаты при значении, полученном во время испытаний.

Методология изложена в документе TM-21 в виде формул и методик, но ее можно трансформировать в сравнительную таблицу или формат другого программного инструмента. Ее можно также использовать и для других применений, однако, чтобы избежать ошибок и погрешностей при компьютерной реализации данного метода, следует использовать встроенный набор примеров для промежуточной проверки результатов.

Применение TM-21 в светодиодной промышленности

TM-21 является результатом продолжительных исследований. Данный документ представляет собой реальный метод прогнозирования стабильности светового потока светодиодных сборок, матриц и модулей в действительных расчетных условиях. Однако деградация светового потока диода в динамике времени — это один из многих возможных процессов, свойственных изделиям со светодиодами.

В SSL-отрасли предпринимаются попытки понять, с помощью каких измерений можно предсказать продолжительность жизненного цикла светодиодной продукции, как оценить надежность компонентов изделия, предсказать срок службы устройства управления и оценить влияние среды эксплуатации на характеристики осветительного прибора.

Документ TM-21 по мере необходимости может использоваться в научных лабораториях, на производстве и т. д. Ожидается, что он найдет широкое применение в программах по аттестации продуктов (например, Energy Star) как часть необходимой документации, удостоверяющей соответствие требуемым характеристикам.

Оригинал статьи опубликован в журнале *LEDs Magazin* 11'2011 (www.ledsmagazine.com).

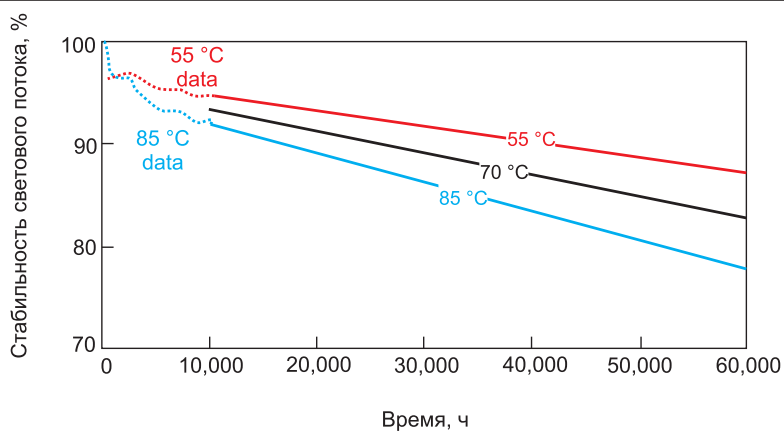


Рис. 4. Кривые деградации по измеренным данным и по экстраполяции на основе внутренней температуры устройства $+70^\circ\text{C}$