Международные разработки стандартов в области определения полезного срока службы СД источников света и осветительных приборов на их основе

Р.И. Столяревская

Журнал «СВЕТОТЕХНИКА»
10 ноября 2016г.

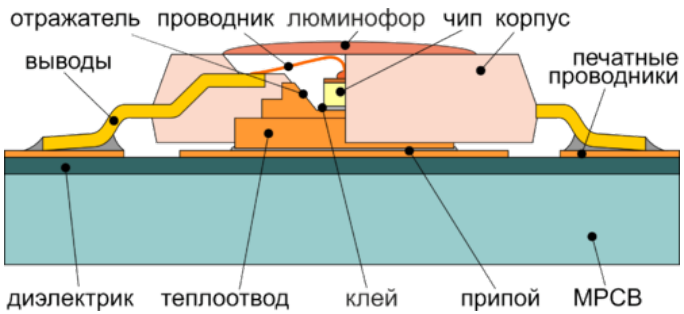
Ресурс – срок службы

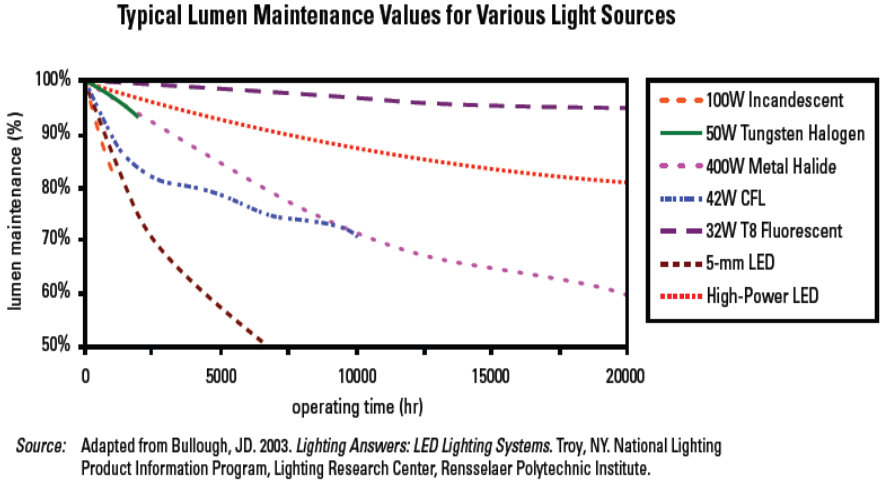
Полезный срок службы или технический ресурс – продолжительность функционирования изделия до достижения им предельного состояния, при котором его дальнейшая эксплуатация нежелательна или невозможна из-за снижения эффективности или возросшей опасности для среды обитания

Полезный срок службы – технический ресурс

Useful Life Time

Процессы деградации белых СД



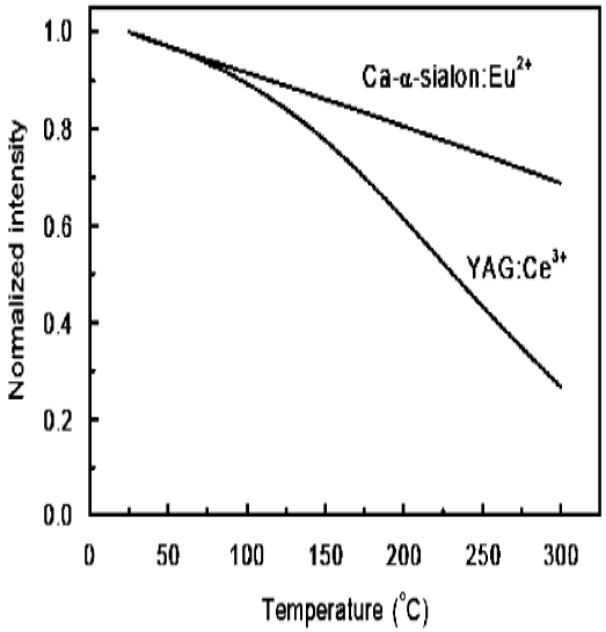


Source: Adapted from Bullough, JD. 2003. *Lighting Answers: LED Lighting Systems.* Troy, NY. National Lighting Product Information Program, Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute.

Процессы деградации под воздействием тепловых и электрических перегрузок

- Образование и рост дислокаций несоответствия
- Образование дислокаций в основание прибора
- Переход аморфной полимерной субстанции из состояния стеклования с расширением
- Деградация люминофоров самой разной природы:

- процессы окисления;
- изменения в кристаллах решётки, обусловленные диффузией;
- химические реакции в окружающей среде;
- температурный эффект



Нормативная база оценки ресурса в США

IES LM-79-08 Electrical and Photometric Measurements of Solid-State Lighting Products

IES LM-80-08 Methods for Measuring Lumen Maintenance of LED Light Sources

IES LM-85-14 High Power LED Electrical and Photometric Test

IES LM-82-12 Characterization of LED Light Engines and LED Lamps for Electrical and Photometric Properties as a Function of Temperature

IES LM-84-14 Measuring Luminous Flux and Color Maintenance of LED Lamps, Light Engines, and Luminaires

IES LM-86-15 Measuring Luminous Flux and Color Maintenance of Remote Phosphor Components

IES LM-80-15 Measuring Luminous Flux and Color Maintenance of LED Packages, Arrays and Modules

-**TM-21-11**: Projecting Long Term Lumen Maintenance of LED Light Sources

-**TM-28-14**: Projecting Long-Term Luminous Flux Maintenance of LED Lamps and Luminaires.

-**TM-26-15**: Methods for Projecting Catastrophic Failure Rate of LED Packages

CIE S 025/E:2015: Test Method for LED Lamps, LED Luminaires and LED Modules

IES LM-79-08 Electrical and Photometric Measurements of Solid-State Lighting Products

- ОСНОВНОЕ ОТЛИЧИЕ – использование методик абсолютной фотометрии для всех типов осветительных приборов со светодиодами

- ОСНОВНОЕ ОТЛИЧИЕ - настоятельно рекомендуется, чтобы фотометрические и колориметрические величины определялись по результатам измерений спектральных составляющих потока излучения с помощью спектрорадиометра

- **Стандарт определяет требования для измерения электрических, фотометрических и колориметрических характеристик светодиодных ламп, светодиодных модулей и светильников со светодиодами, работающих на переменном или постоянном токе, возможно с встроенным блоком управления.**
- **Фотометрические и колориметрические характеристики, регламентируемые стандартом:**

- полный световой поток,

- парциальный световой поток,

- распределение силы света,

- осевая сила света,

- яркость и распределение яркости,

- световая отдача,

- координаты цветности,

- коррелированная цветовая температура (CCT),

- индекс цветопередачи (CRI) и угловая цветовая однородность.

- **Стандарт даёт рекомендации по составлению бюджета неопределённости для определения номинальных значений фотометрических параметров продукта, т.е. номинальных и толерантных параметров для спецификации СД осветительного прибора**

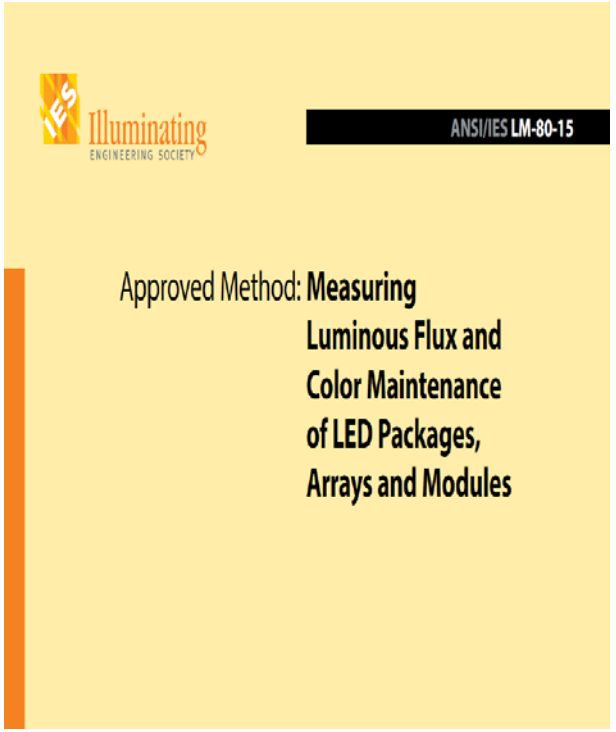
Методики измерения спада светового потока LM

- **LM-80-08: УТВЕРЖДЕННАЯ IESNA МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ СВЕТОВОГО ПОТОКА СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА**

- **Маркировка образца, отбор образцов, условия окружающей среды;**
- **Электрические и температурные условия;**
- **Процедура измерений;** *L_{70} и L_{50}*
- **Продолжительность и интервалы тестирования;**
- **Форма отчёта об испытаниях**
- **Rated Lumen Maintenance Life, Lp**

Совершенствование методики IES LM -80-15

IES LM-80-15: LED LUMEN AND COLOR MAINTENANCE TEST :



•Расширение задач: изменение цветности во времени (МКО 1976 u' , v'), определение спада потока фотонов и спада потока излучения

• Расширение на большую область применения систем питания СД:

– источник питания постоянного тока,

– источник питания постоянного напряжения,

- источник питания переменного тока с регулируемым напряжением,

- источник питания с ШИМ модуляцией тока

• Процедура тестирования:

– Продолжительность тестирования 6000 часов, сбор данных тестирования минимум через каждые 1000 часов

– Тест выполняется при двух температурах Ts, 55°C and 85°C.

Фотонный поток, μмоль/с: $\Phi_p = \int_{\lambda}^{\lambda} \frac{\lambda}{Nhc} \Phi_\lambda(\lambda) d\lambda$

Принципиальные различия методик LM

- **IES LM-85-14: LED Photometry Test:**

IESNA Approved Method for the Electrical and
Photometric Measurements of **High Power LEDs**

• Цель: Создание методики воспроизводимых измерений полного светового потока, полного потока излучения, полного фотонного потока, электрической мощности, тока и напряжения, световой отдачи и цветовых характеристик (координаты цветности, КЦТ, Ra, для белых) сверхмощных СД, используемых в системах общего освещения

- Метод распространяется на СД упаковки и СД множества и не распространяется на СД модули и СД электронно-оптические узлы (engines).
- Методика включает процедуры измерений на постоянном токе в импульсном и непрерывном режимах работы. При работе СД на постоянном токе и вообще во всех случаях, термические условия должны соответствовать температуре *p*-*n*-перехода, которая может составлять от 60°C до 100°C. Измерения параметров должны выполняться при температуре перехода, заявленной производителем.
- Методика не распространяется на УФ СД и СД, работающие на переменном токе.
- При работе на постоянном токе должно использоваться активное термостатирование.

Принципиальные различия методик LM

- **IES LM-82-12: Characterization of LED Light Engines and LED Lamps for Electrical and Photometric Properties as a Function of Temperature**

- – IES Методика для определения температурной зависимости электрических и фотометрических характеристик СД электронно-оптических узлов и интегрированных СД ламп.
- – Методика описывает процедуру проведения испытаний, условия проведения для обеспечения воспроизводимых и сопоставимых между лабораториями результатов при любой заданной температуре.
- - Отчёт об испытаниях должен содержать данные о температуре эксперимента, полном световом потоке испытываемого образца, потребляемой электрической мощности и цветности.
- Производитель изделия должен специфицировать точки мониторинга температуры СД продукта и его драйвера –T_b и T_d соответственно.
- Измерения выполняются в камерах тепла и холода относительно лабораторных измерений , выполненных при 25 °C

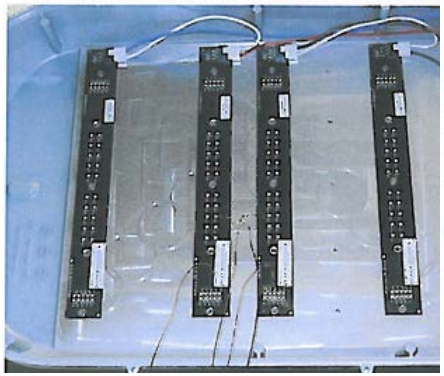
Table 1. Recommended Table Format for the Test Report

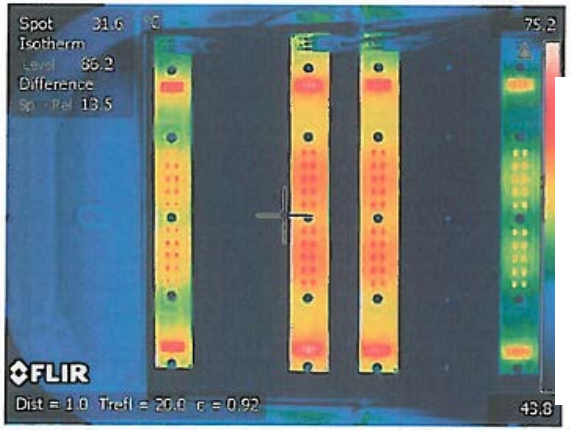
Test date, facility, equipment, and operator			
UUT description (manufacturer, description, catalog number)			
If applicable, UUT driver description (manufacturer, description, catalog number, input and output parameters)			
Description of test method including testing configuration.			
Internal procedure reference			
	Initial Temperature	First Elevated Temperature (Initial + 25°C)	Second Elevated Temperature (per Test Requesters)
Measured temperature of T_b (or T_d)			
Input power (W)			
Input voltage (V)			
Input current (A)			
Luminous flux (lm)			
Luminous efficacy (lm/W)			
CIE chromaticity (x,y or u',v') (as optional)			
Correlated color temperature (K) (as optional)			
Uncertainties			

Принципиальные различия методик LM

- **IES LM-84-14 Методика измерения спада светового потока и изменения цветности СД ламп, СД электронно-оптических узлов, и СД ОП**
- Методика распространяется на интегрированные и не интегрированные СД лампы, СД электронно-оптические узлы и СД ОП
- Все измерения выполняются при температуре 25 +-5 °C. Температуры камеры отжига 55 °C и 85 °C
- В каждом интервале измерений, выполняемых в соответствии со стандартом LM-79-08, испытываемое устройство вынимается из камеры тестирования и переносится в лабораторию. После выполнения измерений прибор возвращается на место работы

Оценка горячих точек методами бесконтактной термометрии



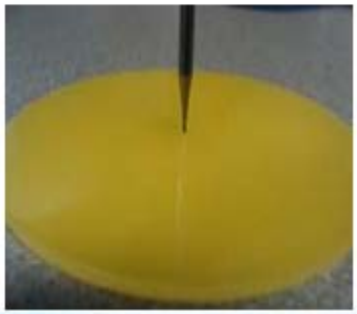
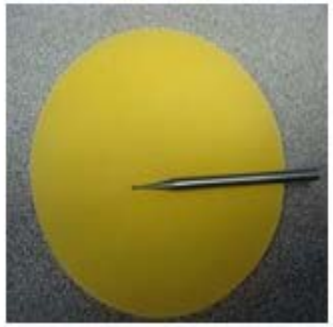
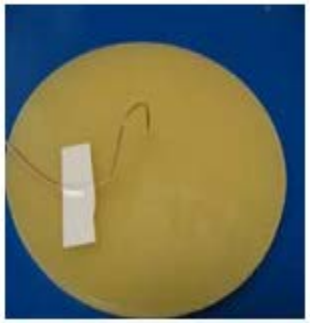


In all cases using the combined method, LED packages should be instrumented with thermocouples (TC) in accordance with the manufacturer's recommendations for TC location. Thermocouples should be placed in intimate contact with the surfaces indicated in the LED manufacturer's literature and bonded using an appropriate method (e.g. adhesive or soldering) endorsed by the manufacturer. It is recommended that multiple LEDs in the assembly be fitted with TCs, to ensure that the testing is capturing representative values.

LM -86-15 Принципиальные различия методик LM

- Метод испытаний соответствует методике LM-80 с различием в том, что объектом тестирования является люминофор, а не светодиод

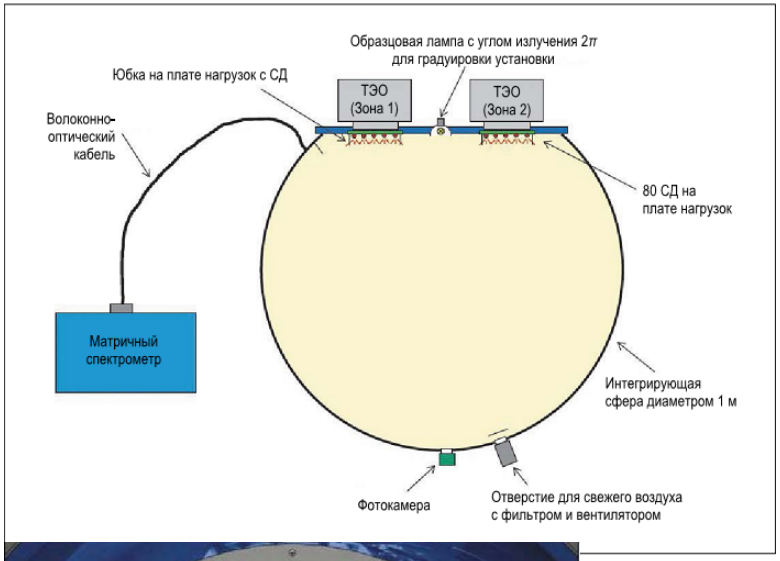
- Операции теста:
- контроль освещённости люминофора на специальной тестовой платформе;
- контроль температуры люминофора,
- измерения светового потока, излучаемого поверхностью люминофора.
- Измерения:
- Измерить температуру корпуса платформы;
- определить доминантную (пиковую или центроидную) длину волны излучения СД накачки;
- измерить поток излучения или освещённость на люминофоре, создаваемую светодиодом накачки;
- измерить равномерность распределения освещённости (максим. разброс в пределах 60%) ;
- световой поток, создаваемый поверхностью люминофора;
- рассчитать конверсионную эффективность (отдачу) в определённый интервал времени
- $$K_{conv}=\Phi_{v,emit}/\Phi_{e,incident}$$

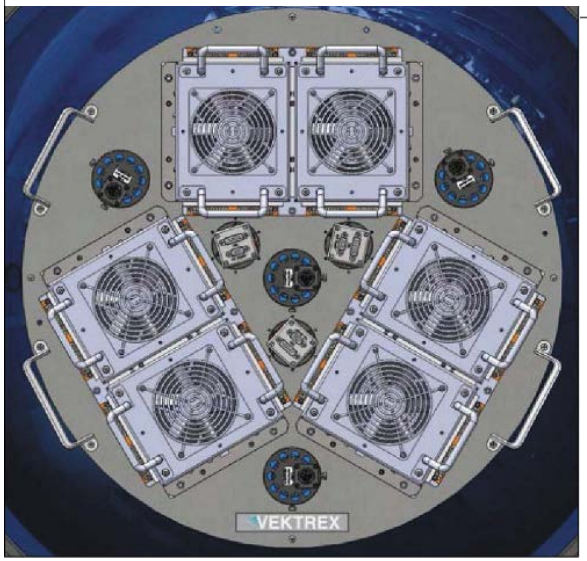




Методики прогнозирования срока службы ТМ

- **TM 21-11**: Projecting Long Term Lumen Maintenance of LED Light Source (Challenges to make long-term projection with short-term testing data)
- **TM 28-14**: Projecting Long-Term Luminous Flux Maintenance of LED Lamps and Luminaires
- A calculation tool: To provide users with lumen maintenance life (e.g., L70) projection with data collected from LM-80 and LM-84 testing
- To predict estimated lumen output values at a given time duration
- To interpolate lumen maintenance behaviors for in-situ temperature status (different from testing temperature)
- **TM 26-15**: Methods for Projecting Catastrophic Failure Rate of LED Packages

Испытания светодиодов в НИСТ



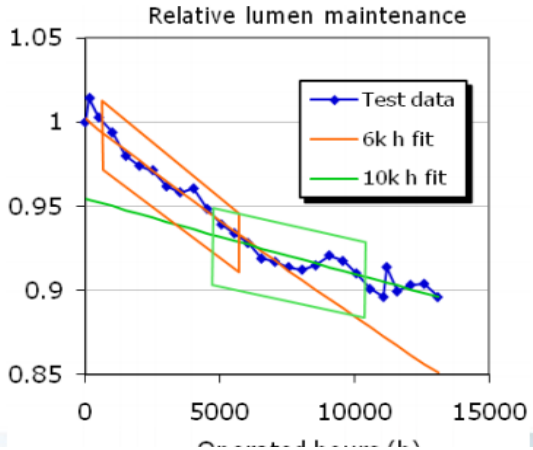


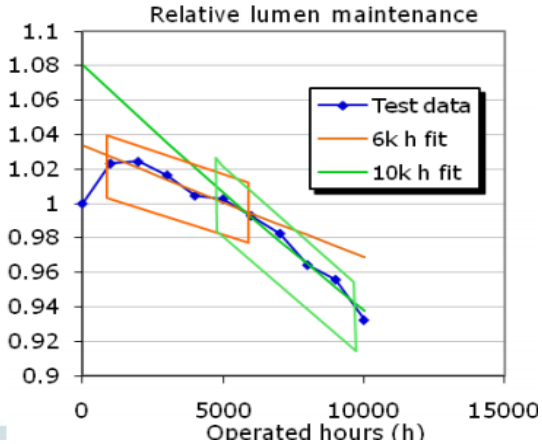
Установка для испытания СД на срок службы была разработана и смонтирована в Национальном институте стандартов и технологий США (NIST). В этой установке используется интегрирующая сфера диаметром 1 м, позволяющая проводить испытания на старение и измерение оптических характеристик 480-ти СД при шести условиях испытаний диапазоне температур от 25 до 115oC. Температура, при которой испытываются СД, при проведении измерений поддерживается с точностью ± 0,05oC. Эта стабильность, а также возможность проводить частые измерения без изменения компоновки измерительной установки, позволили получать обладающие высоким разрешением совокупности данных, что позволило улучшить модели прогнозирования сроков службы изделий с СД

Методики прогнозирования срока службы TM -21-11

Development of TM-21

- Challenges to make long-term projection with short-term testing data
  - Studied several possible (9) models that express potential LED physical lumen decay behaviors using over 40 sets of LM-80 data collected
  - Study shows many LEDs exhibit some rapid changes over the first 1,000 or more hours
  - Statistics of model-fitting using only 6,000 hours of LM-80 data was not conclusive enough to find a suitable model to represent lumen output degradation
  - LED lumen depreciation trends often change after 6,000 hours in one way or another





Модели НИСТ прогнозирования технического ресурса

Table G1. Engineering-based models used in the analysis of model fitting for LED lumen decay life projection

Model	Decay Rate	Closed Form Solution	Comment
1	$\frac{dI_v}{dt} = k_1$	$I_v = I_v^o + k_1 (t - t^o)$	
2	$\frac{dI_v}{dt} = k_2 I_v$	$I_v = I_v^o \exp[k_2 (t - t^o)]$	
3	$\frac{dI_v}{dt} = k_1 I_v + k_2 I_v$	$I_v = \left(I_v^o + \frac{k_1}{k_2}\right)\exp[k_2 (t - t^o)] - \frac{k_1}{k_2}$	Model 1 + Model 2
4	$\frac{dI_v}{dt} = \frac{k_3}{t}$	$I_v = I_v^o + k_3 \ln\left(\frac{t}{t^o}\right)$	
5	$\frac{dI_v}{dt} = k_1 + \frac{k_3}{t}$	$I_v = I_v^o + k_1 (t - t^o) + k_3 \ln\left(\frac{t}{t^o}\right)$	Model 1 + Model 4
6	$\frac{dI_v}{dt} = k_4 I_v^2$	$I_v = \frac{I_v^o}{1 + I_v^o k_4 (t - t^o)}$	
7	$\frac{dI_v}{dt} = k_5 \frac{I_v}{t}$	$I_v = I_v^o (t/t^o)^{k_5}$	
8	$\frac{dI_v}{dt} = k_2 I_v + \frac{k_5 I_v}{t}$	$I_v = I_v^o \exp[k_2 (t - t^o)](t/t^o)^{k_5}$	Model 2 + Model 7
9		$I_v = I_v^o \exp\left[-\frac{(t - t^o)}{k_6}\right]^{k_7}$	

Модели НИСТ прогнозирования технического ресурса

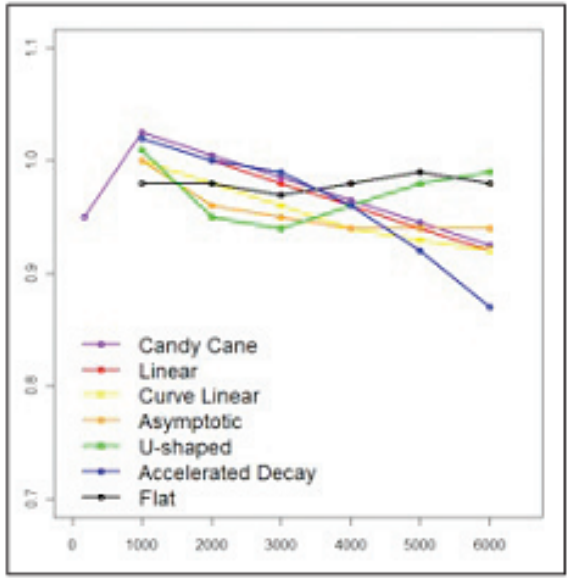


Figure G1. Theoretical decay scenarios reflecting typical/ possible LED light source decay profiles

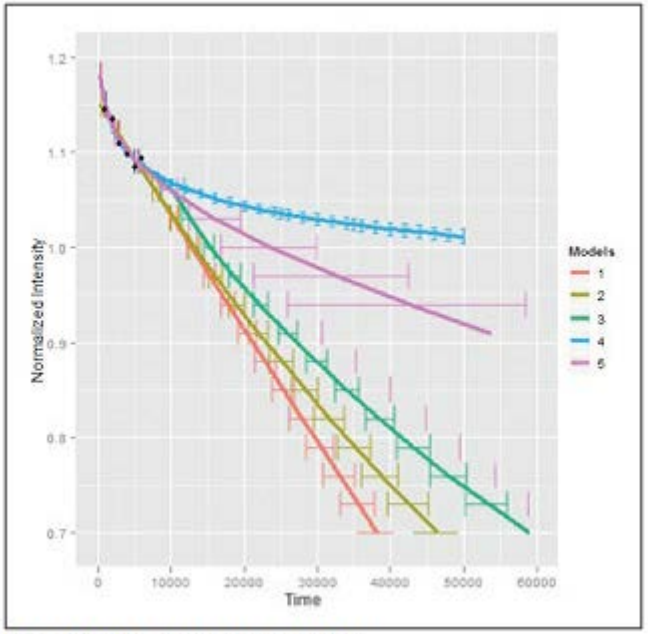


Figure G5. Model projection – real LED data

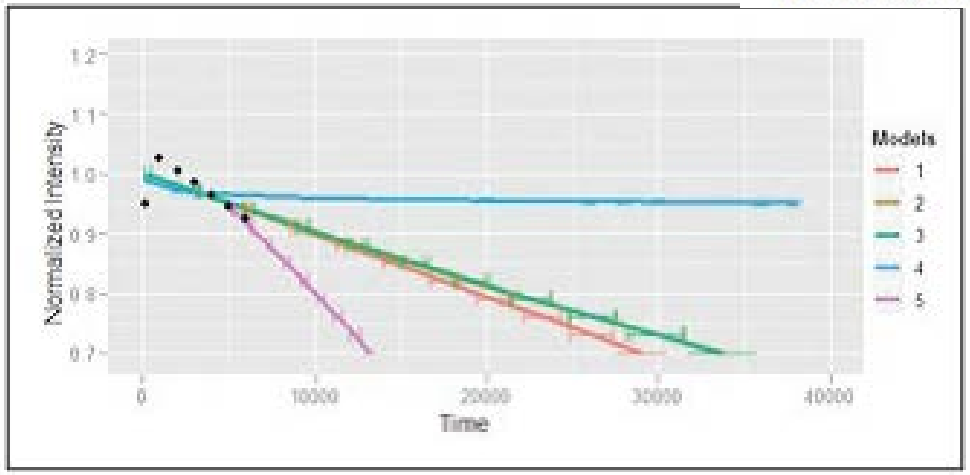


Figure G3. Model projection – "Candy Cane" data

Методика прогнозирования срока службы TM-21-11

Luminous flux data collection

- LM-80 test of 6,000 hours data
- Additional measurements after the initial 1,000 hours at intervals smaller than 1,000 hours are encouraged.
- Additional measurements beyond 6,000 hours are encouraged
- Longer duration of test data will provide the basis for more accurate lumen maintenance projections

Table E8. 10000 hours LM-80-08 test data at case temperature point $T_{s,2}$ = 85°C

Sample#	0	500	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000
1	1.000	0.995	0.969	0.972	0.957	0.944	0.933	0.929	0.924	0.918	0.913	0.914
2	1.000	0.986	0.961	0.968	0.958	0.946	0.938	0.937	0.932	0.924	0.918	0.922
3	1.000	0.969	0.951	0.951	0.938	0.923	0.918	0.917	0.911	0.902	0.898	0.902
4	1.000	0.988	0.972	0.973	0.959	0.950	0.948	0.947	0.949	0.942	0.938	0.941
5	1.000	0.971	0.950	0.950	0.936	0.922	0.911	0.907	0.903	0.894	0.888	0.889
6	1.000	0.974	0.956	0.953	0.941	0.927	0.919	0.914	0.913	0.905	0.900	0.902
7	1.000	0.988	0.971	0.974	0.966	0.956	0.950	0.950	0.950	0.944	0.939	0.942
8	1.000	0.985	0.969	0.976	0.965	0.956	0.951	0.950	0.948	0.942	0.935	0.936
9	1.000	0.986	0.967	0.969	0.954	0.938	0.930	0.924	0.921	0.911	0.905	0.905
10	1.000	0.949	0.922	0.921	0.907	0.894	0.885	0.885	0.880	0.876	0.873	0.878
11	1.000	0.993	0.978	0.982	0.974	0.966	0.961	0.959	0.958	0.952	0.949	0.953
12	1.000	0.991	0.976	0.977	0.970	0.959	0.953	0.949	0.949	0.944	0.939	0.941
13	1.000	0.981	0.963	0.972	0.966	0.956	0.950	0.952	0.951	0.947	0.944	0.950
14	1.000	0.992	0.976	0.982	0.972	0.962	0.958	0.958	0.956	0.949	0.943	0.948
15	1.000	0.967	0.947	0.943	0.932	0.920	0.914	0.914	0.909	0.903	0.900	0.906
16	1.000	0.984	0.967	0.973	0.965	0.941	0.940	0.940	0.938	0.931	0.927	0.931
17	1.000	0.992	0.977	0.982	0.971	0.962	0.956	0.957	0.955	0.947	0.942	0.949
18	1.000	0.984	0.967	0.967	0.952	0.939	0.932	0.928	0.925	0.917	0.913	0.916
19	1.000	0.981	0.964	0.964	0.953	0.939	0.933	0.929	0.928	0.923	0.919	0.923
20	1.000	0.982	0.966	0.970	0.960	0.951	0.948	0.941	0.943	0.937	0.932	0.933
Average	1.0000	0.9819	0.9635	0.9660	0.9548	0.9426	0.9364	0.9344	0.9322	0.9254	0.9208	0.9241
ln(Average)	0.00000	-0.01827	-0.03718	-0.03459	-0.04625	-0.05911	-0.06571	-0.06785	-0.07021	-0.07753	-0.08251	-0.07893

Построение кривой спада светового потока

Table E9. Least square curve-fit for 10000 hours LM-80-08 test data at temperature point $T_{s,1}$ = 55°C

Point#	Time [h]	ln (Average)	xy	x	y	x^2
1	5000	-0.04573	-228.7	5000	-0.0457	2.500E+07
2	6000	-0.04688	-281.3	6000	-0.0469	3.600E+07
3	7000	-0.04604	-322.3	7000	-0.0460	4.900E+07
4	8000	-0.05087	-407.0	8000	-0.0509	6.400E+07
5	9000	-0.05477	-492.9	9000	-0.0548	8.100E+07
6	10000	-0.05182	-518.2	10000	-0.0518	1.000E+08
	Sums	-0.29611	-2250.3	45000	-0.2961	3.550E+08
	Slope	-1.684E-06				
	Intercept	-3.672E-02				
	α_1	1.684E-06				
	B_1	9.639E-01				
	Calculated L_{70} (10k)	189,965				
	Reported L_{70} (10k)	>60,000				

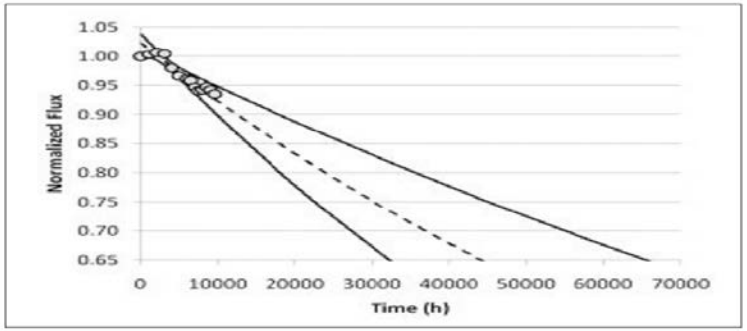


Figure D1. The grey circles are the normalized data. The dashed line is the optimized curve-fit to the 1000 – 6000 hours data. The solid lines are the confidence bands with respect to the optimized fit.

$$y = mx + b$$

$$m = \frac{n\Sigma xy - \Sigma x\Sigma y}{n\Sigma x^2 - (\Sigma x)^2} \qquad b = \frac{\Sigma y - m\Sigma x}{n}$$

$$x_k = t_k \qquad k = 1, 2, \ldots, n, \text{ and}$$
$$y_k = \ln \Phi_k \quad k = 1, 2, \ldots, n,$$

$$B = \exp(b)$$

$$\alpha = -m$$

$$\Sigma xy = x_1y_1 + x_2y_2 + \ldots + x_ny_n$$

$$\Sigma x = x_1 + x_2 + \ldots + x_n$$

$$\Sigma y = y_1 + y_2 + \ldots + y_n$$

$$\Sigma x^2 = x_1^2 + x_2^2 + \ldots + x_n^2 \quad .$$

Прогнозирование технического ресурса

- Построение экспоненциальной кривой:

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

- где ***t*** – время работы СД;
- ***ф (t)*** – усреднённый по набору относительный световой поток в точке, соответствующей времени *t;*
- ***B*** – проектируемая начальная константа для выбранной (рекомендованной) модели;
- ***a*** – постоянная спада экспоненты, полученная методом приближения наименьших квадратов.

$$L_{p\,(Dk)} = \frac{ln\left(100 \cdot \frac{B}{p}\right)}{a}$$

где L_p – срок службы СД до спада светового потока до уровня *p* в процентном отношении к начальному значению;

D – суммарная продолжительность горения СД, делённая на 1000 и округлённая до ближайшего целого числа;

k– коэффициент, учитывающий выборку образцов.

Методики прогнозирования срока службы ТМ (продолжение)

- Скорость реакции деградации моделируется уравнением, которое было получено шведским химиком Сванте Аррениусом на основе теории термодинамики применительно к температурной зависимости химической реакции :

$$\alpha_i = A \exp\left(\frac{-E_a}{k_B T_{s,i}}\right),$$

where:

A = pre-exponential factor;

E_a = activation energy (in eV);

$T_{s,i}$ = in-situ absolute temperature (in K);

k_B = Boltzmann's constant (8.6173×10^{-5} eV/K).

Data Interpolation for In-Situ Temperature

- Step 1
  - Obtain α_1 and α_2 for two temperatures $T_{s,1}$ and $T_{s,2}$ which were calculated in the curve-fits, calculate the ratio:

$$\frac{E_a}{k_B} = \frac{\ln\alpha_1 - \ln\alpha_2}{\frac{1}{T_{s,2}} - \frac{1}{T_{s,1}}}$$

- Step 2
  - Using the above ratio, plug in $T_{s,1}$ to calculate pre-exponential factor A:

$$A = \alpha_1 \exp\left(\frac{E_a}{k_B T_{s,1}}\right)$$

- Obtain decay rate for in-situ temperature case

$$\alpha_i = A \exp\left(\frac{-E_a}{k_B T_{s,i}}\right)$$

Projection for In-Situ Temperature

- Step 3
  - Calculate B_0:

$$B_0 = \sqrt{B_1 B_2}$$

- Step 4
  - Using the above result of B_0, calculate lumen maintenance life for L_p for in-situ case temperature $T_{s,i}$ as:

$$L_p = \frac{\ln\left(100 \times \frac{B_0}{p}\right)}{\alpha_i}$$

- Step 5
  - Calculate the in-situ luminous flux output at time $\Phi_i(t)$ for $T_{s,i}$ as:

$$\Phi_i(t) = B_0 \exp(-\alpha_i t)$$

TM-28-14 Projecting Long-Term Luminous Flux Maintenance of LED Lamps and Luminaires

- **Method 1**: Прямые расчёты на основе данных, полученных в соответствии с LM-84-14
- – Если имеются данные для 6000 часов наблюдения, для прогнозирования можно использовать TM-21;
- – Эти данные можно также использовать для интерполяции между температурами исследования на основе TM-21-11, используя соотношение Аррениуса, если данные соответствуют продукту, используемому при одинаковых условиях питания прибора для каждой температуры окружающей среды.
- **Method 2:** Объединённая экстраполяция на основе данных LM-84 и LM-80
- • Нормализация и усреднение;
- – приведение к 1 (100%) всех данных на стадии 0 часов,
- – усреднение и нормализация всех данных на всех интервалах измерений для всех образцов.
- • Выборка данных и моделирование кривой
- – Ts в данных LM-80 должна быть близкой или чуть выше, чем в эксперименте по методике LM-84 , но обязательно при том же токе питания
- • Δα

$$\Delta a = a_{\text{LM-84}} - a_{\text{LM-80}}$$

$$\ln\left[r(t)\right] = \Delta\alpha \cdot t + b$$

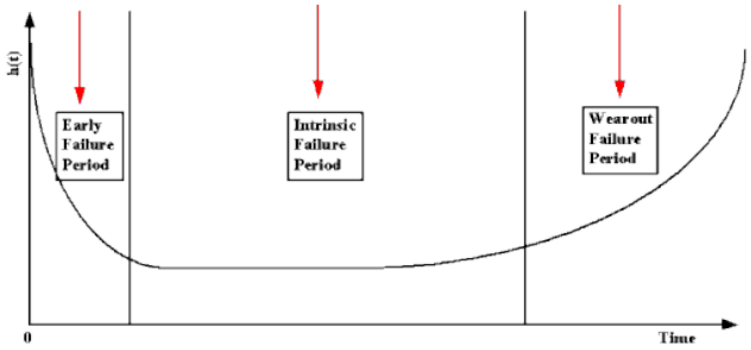
$$L_p = \frac{\ln\left(100 \cdot \frac{B}{p}\right) - b}{\alpha + \Delta\alpha},$$

Метод прогнозирования катастрофических отказов для СД (отказ/1 000 000 000 часов)

Methods of Projections

ES TM-26 Recommended Methods

- Define LED rated life
  - Time duration in hours when Lp is reached (based upon TM-21). In addition, the accumulated catastrophic failures (in % or ppm) in the same time duration when Lp in reached (hours).
- Projecting catastrophic failures
  - Early failure period
  - Intrinsic failure period
  - Wear-out failure period



Стандарт РФ для оценки спада светового потока:

Федеральное Агентство по Техническому Регулированию и Метрологии

Национальный Стандарт Российской Федерации

ГОСТ Р 54350 – 2015

- **10.15 Испытание осветительного прибора со светодиодами на устойчивость световых и цветовых параметров к температурным воздействиям**

10.15.1 Устойчивость определяют по изменениям светового потока и КЦТ ОП при воздействии и после воздействия температуры окружающего воздуха.

10.15.2 Испытания проводят в климатической камере. Условия проведения испытаний по ГОСТ 60598-1. Камера должна быть оборудована оптическим устройством, например, волоконным световодом, для вывода света от ОП к фотометрической головке и спектрометру. ОП устанавливают в камере в рабочее положение. Изменение КЦТ (показания $T_{кц,0}$, $T_{кц,1}$ и т.д.) измеряют с помощью спектрометров или спектроколориметров.»

Результаты испытаний

	Результаты измерения	
Температура в камере, ˚С	Световой поток, отн. единицы	КЦТ, К
+25	n_0	$T_{кц,0}$
+40	n_1	$T_{кц,1}$
+25	n_2	$T_{кц,2}$
-45*	n_3	$T_{кц,3}$
+25	n_4	$T_{кц,4}$

* Для ОП внутреннего освещение принимают значение равное - 10ºС

10.15.4 ОП считают выдержавшим испытание на устойчивость световых и цветовых параметров к воздействию температур, если отношения n_1/n_0 и n_3/n_0 составляют не менее 0,7, а абсолютные значения разностей

$T_{кц,1} - T_{кц,0}$ и $T_{кц,3} - T_{кц,0}$ – не более 500 К.

ОП считают выдержавшим испытание на восстанавливаемость световых и цветовых параметров после воздействия температур, если отношения

$n_2 - n_0/n_0$, $n_3 - n_0/n_0$ и $T_{кц,2} - T_{кц,0} / T_{кц,0}$, $T_{кц,4} - T_{кц,0} / T_{кц,0}$ составляют не более 0,05.

Вопросы к обсуждению:

1. Соответствует ли оснащение и метрологическое обеспечение отечественных аккредитованных испытательных лабораторий требованиям международного стандарта S025?
2. Какое дополнительное оборудование необходимо для исследования процессов деградации и оценки технического ресурса ОП со светодиодами?
3. Назрела ли необходимость разработки системы отечественных стандартов, рекомендующих процедуру и методику определения технического ресурса СД и ОП на их основе?
4. Какие российские испытательные лаборатории уже готовы участвовать в исследованиях предлагаемых методик?
5. Есть ли альтернатива методикам, предложенным в NIST и ANSI?

Спасибо за внимание!

E-mail: lights-nr@inbox.ru