

## УСКОРЕННАЯ ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ Манего С.А.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Современный этап развития светодиодной техники показывает существенное увеличение надежности и долговечности светодиодных устройств (СУ). Поэтому актуальным становится проблема сокращения времени испытаний на надежность и долговечность таких устройств. Одним из методов, с помощью которых можно успешно решить данную проблему, является метод форсированных испытаний, в котором для ускорения процессов старения используются нагрузки, превышающие стандартные эксплуатационные нагрузки. При проведении форсированных испытаний необходимо решать задачи выбора уровня эксплуатационных нагрузок, а также, если, число форсирующих факторов несколько, требуется учет и согласование уровней этих факторов которые влияют на возникновения отказа прибора. Далее, необходимо построить математическую модель работоспособности СУ, выражающую зависимость выходных параметров прибора и соответствующих уровней форсирования. Данный метод испытаний заключается в следующем [1]. Выбирают уровни и режимы форсирования такими, чтобы при нагрузке СУ обладало определенным запасом работоспособности т. е., внутренняя физическая картина состояния прибора существенно не должна изменяться, а граничным уровнем форсирования является тот, где она существенно изменилась.

Таким образом, нахождение связи между работоспособностью прибора, определяемой значениями его параметров, и уровнями воздействующих факторов в виде математической модели позволяет определить работоспособность прибора для различных возможных вариантов уровней и времени воздействия факторов при эксплуатации.

Математическая модель работоспособности прибора имеет вид:

$$Y = f(x, t) + \varepsilon(x), \quad (1)$$

где  $Y$  – работоспособность СУ по результатам испытаний партии, состоящей из  $z$  выборок приборов, находящихся в  $z$  различных режимах  $x = (x_1, \dots, x_m)$ , каждая координата которого может изменяться на некотором множестве уровней  $x_i \in \{x_i^1, \dots, x_m^{g_i}\}$ , где  $g$  – количество уровней  $i$ -го фактора форсирования, а  $m$  – общее количество форсирующих факторов.  $\varepsilon(x)$  – ошибка в оценке работоспособности СУ. Используя данный метод можно определить показатель работоспособности  $Y$  в номинальном режиме по результатам кратковременных форсированных испытаний и найти

коэффициент ускоренного определения работоспособности путем сравнения степени работоспособности или времени наработки до отказа в номинальном и форсированном режимах.

Порядок построения модели (1) зависит от ее вида. Если использовать линейные по коэффициентам регрессионные модели, то зависимость показателя работоспособности от режимов и времени можно построить, проведя испытания по планам первого или второго порядка, в которые наряду с форсирующими факторами включено и время. Тогда, применяя метод наименьших квадратов (МНК), можно непосредственно построить модель (1). Однако использование таких моделей не всегда обеспечивает требуемую точность при прогнозировании работоспособности или показателя надежности. Это объясняется тем, что реальная зависимость работоспособности от времени является нелинейной и, в частности, для светящихся устройств эта зависимость имеет следующий вид:

$$Y(B, t) = 1 - b_1 \exp[-b_2 t], \quad (2)$$

где  $Y(B, t)$  – показатель работоспособности;

$b_1, b_2$  – коэффициенты модели, режимов.

При построении зависимости (1) сначала по результатам испытаний  $z$  выборок в  $z$  различных режимах строится  $z$  моделей типа (2). Далее с помощью метода наименьших квадратов вычисляют коэффициенты регрессии, используя которые в качестве откликов включают их в уравнение (2). Таким образом получаем следующую модель работоспособности (1)

$$Y = 1 - A_1 x^* \exp[-A_2 x^* t], \quad (3)$$

где  $x^*$  – вектор форсирующих режимов.

Используя данную моделью можно определить показатели надежности новых партий изделий по результатам кратковременных испытаний в форсированных режимах. Для этого испытывают выборку в форсированном режиме в течение времени  $t_\phi$  до получения заданного уровня показателя работоспособности  $Y_\Gamma$ . Далее, используя (3), можно составить равенство:

$$1 - A_1 x_n^* \exp(-A_2 x_n^* t_n) = 1 - A_1 x_\phi^* \exp(-A_2 x_\phi^* t_\phi), \quad (4)$$

откуда получим выражение для определения времени наработки до значения  $Y_\Gamma$  в номинальном режиме  $t_n$ .

Анализируя равенство (4) для получения времени наработки в нормальном режиме  $t_n$  до значения  $Y_T$  следует отметить, что кроме режимов  $x_\phi$  необходимо знать время  $t_\phi$  наработки до значения  $Y_T$ . Очевидно, что испытания можно сократить, если осуществить экстраполяцию показателя  $Y$  до значения  $Y_T$  и предсказать время  $t_\phi$ . Т. е. необходимо решить обратную задачу прогнозирования по полученной модели и определить с помощью выражения (4) наработки до  $Y_T$  в номинальном режиме. Для этого, с заданной вероятностью определяется время  $t_\phi$  достижения границы области работоспособности. Затем с помощью выражения (4) определяют наработку до  $Y_T$  в номинальном режиме. Достоверность полученных значений  $Y$  находится путем определения доверительного интервала.

$$\Delta = t(f, \alpha) \sqrt{S^2} (1 + x^* (x^* x)^{-1} x_i) \quad (5)$$

где  $t(f, \alpha)$  – квантиль распределения Стьюдента на заданном уровне значимости  $\alpha$ ,  $S^2$  – оценка дисперсии ошибки измерения, которая находится из выражения

$$S^2 = \sum_{i=1}^N (Y_i - Y_{np})^2 / f$$

где  $Y_i$ , и  $Y_{np}$ , – экспериментальные и предсказываемые значения  $Y$  соответственно;  $f = N - M$  – число степеней свободы;  $N$  – количество точек (наблюдений), по которым строилась модель (2);  $M$  – количество коэффициентов модели (2). Из равенства  $Y_{np} + \Delta = Y_T$  с вероятностью  $P = 1 - \alpha$  определяется время наработки  $t_\phi$  до  $Y_T$  в форсированном режиме. По найденному времени  $t_\phi$  и выражению (4) с этой же вероятностью будет найдено время наработки  $t_n$  до значения  $Y_T$  в нормальных условиях.

Используя данные испытаний светодиодов с малым телом свечения (СМС) [2] была проведена оценка вероятности постепенных отказов светодиодов (оценка проводилась по величине уменьшения интенсивности излучения до  $I \geq 0.8 \cdot I_n$ ). График зависимости интенсивности излучения светодиодов от времени наработки при  $T = 80^\circ\text{C}$  и  $I_1 = 15 \text{ mA}$  представлен на рисунке 1.

Вероятность появления постепенных отказов, рассчитывалась с помощью таблиц нормированного нормального распределения.

Анализ оценки вероятности отказа показал, что с увеличением времени наработки наблюдалось уменьшение вероятности отказов, при достижении времени  $t_n \geq 500$  ч. она увеличивалась.

Коэффициенты  $b_1$  и  $b_2$  в качестве откликов были получены в работе [2].

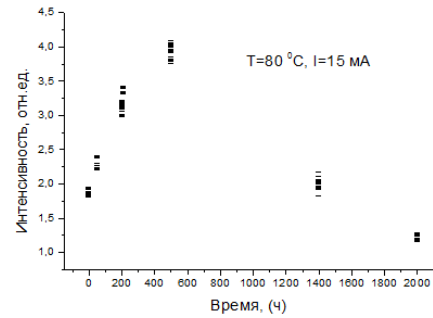


Рисунок 1 – Зависимость интенсивности люминесценции светодиодов (СМС) от времени наработки

$$b_1 = 0,8683 - 0,0717 \cdot T - 0,1068 \cdot I - 0,0813 \cdot T \cdot I + 0,0176 \cdot T^2 - 0,03212 \cdot I^2;$$

$$b_2 = 10^{-3} \cdot (0,652 + 0,566 \cdot T + 0,654 \cdot I + 0,3562 \cdot T \cdot I + 0,004 \cdot T^2 + 0,201 \cdot I^2).$$

Подставив коэффициенты  $b_1$  и  $b_2$  в уравнение (2) можно оценить вероятность отказа светодиодов с малым телом свечения до  $P_{0T} = 0,2$ . Для этого, логарифмируем уравнение (3):

$$\ln[1 - Y(B, t)] = \ln b_1 - b_2 t.$$

$$\ln b_1 = 0,14116; b_2 = 0,3267 \cdot 10^{-4}, b_1 = 0,86835.$$

Таким образом, вероятность отказа светодиодов с малым телом свечения имеет вид:

$$P_0 = 1 - 0,86835 \cdot \exp(-0,0003267 \cdot t).$$

Далее определяем остаточную дисперсию данной регрессионной модели второго порядка  $S^2 = 7,605 \cdot 10^{-6}$ , и воспользовавшись уравнением (5) для предсказываемых по данной модели значений  $P$ , находим доверительные интервалы  $\Delta$ . По результатам этих вычислений находим наработку в форсированном режиме, при которой выполняется условие  $P_0 + \Delta = 0,2$ . Используя найденное время и уравнение (4), находим время наработки до вероятности отказа при номинальных режимах  $P_{0T} = 0,2$ .

#### Литература

1. Гаскаров Д.В. Применение форсированных режимов для ускоренных оценки надежности электронных приборов / Д.В. Гаскаров, Н.Г. Моисеев // Электронная техника. Сер. Управление качеством, стандартизация, метрология, испытания, 1983, Вып. 6(105), с. 67–70.
2. Манего С.А. Моделирование испытаний светодиодных устройств / Приборостроение – 2017: материалы 10 Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 1–3 ноября 2017 г. / Белорус. нац. техн. ун-т; редкол.: О.К. Гусев (предс.) [и др.]. – Минск: БНТУ, 2017. – С. 370–380.