

Программная модель

для оценки эффективности

и надежности светодиодных источников света и приборов

Проанализированы факторы, влияющие на эффективность и надежность светодиодных источников света и приборов на их основе. Предложена и описана программная модель по ускоренному анализу степени надежности этих изделий.

Светодиоды на сегодня являются, пожалуй, самыми перспективными источниками света. Благодаря своей уникальности они вытесняют из многих сфер применения не только лампы накаливания, но еще и достаточно молодые люминесцентные лампы. Причин для этого много: экологически чистое производство и отсутствие серьезных проблем с утилизацией; высокая устойчивость светодиодов к механическим воздействиям и работоспособность в широком диапазоне температур; высокая пожаро- и взрывобезопасность; компактность; огромный срок службы, достигающий 100 тыс. часов [1]. Все эти «неоспоримые» преимущества заявляются как ведущими производителями светодиодов (Cree, Nichia, OSRAM, Lumileds, Vishay), так и фирмами-однодневками. Хотя существует большая разница в значениях параметров различных типов светодиодов от разных производителей.

В некоторых случаях речь идет даже о «глобальном» переходе на светодиоды в качестве альтернативного источника света. Так, в 2008 г. ОАО «РЖД» назначили полигоном для освоения и внедрения светодиодных технологий [2].

Однако без недостатков пока не могут обойтись даже эти современные полупроводниковые источники света: несомненным минусом является их высокая цена. Окупаемость же современных светодиодов составляет 2,5–3 г.; при этом некоторыми специалистами делается оговорка, что это утверждение справедливо лишь при условии реконструкции, то есть замены того, что уже выработало свой ресурс [2].

Одной из основных характеристик светодиодов, делающих их особенно привлекательными с точки зрения альтернативы другим

источникам света, является, как уже было отмечено выше, их фантастически длительный срок службы. Будучи важнейшим параметром (в первую очередь, с точки зрения надежности) источников света, он отражает такие неблагоприятные факторы при эксплуатации ламп, как их выход из строя: перегорание (как известно, у тепловых источников света более частое) и снижение светового потока в процессе срока службы. В настоящее время нет стандарта, определяющего срок службы для светодиодов, хотя существуют предложения считать этим сроком время, в течение которого световой поток уменьшается до некоторого значения (до 70 или 50%) от начальной величины. В ряде случаев заявленный срок службы светодиодов является величиной приблизительной, полученной на данный момент лишь путем математического моделирования.

Основной проблемой, вызывающей снижение рабочего ресурса светодиодов, является нарушение температурного режима при эксплуатации. В свою очередь, температурный режим определяется конструкцией светильника. Однако в рекламных проспектах производители часто указывают именно срок службы светодиодов, тогда как в светильнике из-за перегрева они могут работать меньше заявленного производителем срока.

Также стоит отметить, что, как и у всех других источников света, параметры светодиодов ухудшаются с течением времени, и это связано с такими факторами, как величина прямого тока, теплоотвод, тип и качество используемых чипов. Более того: подавляющее большинство производимых в настоящее время светодиодов, по словам ведущих специалистов в этой области, деградирует в течение нескольких месяцев. Так, при исполь-

зовании вторичной оптики светодиода могут наблюдаться такие отрицательные физические воздействия на излучающий кристалл, как повышенные температуры, механические напряжения, действия различных химически активных сред и т. д. Все они оказывают влияние на качество последующего эксплуатационного периода светодиода и, следовательно, светового прибора на его основе [3].

Определение надежности любого изделия должно обязательно осуществляться по общепринятым стандартам и методикам. Однако в настоящее время не существует общего стандарта для тестирования светодиодов. Некоторые их производители, например Cree, пользуются стандартом JESD22 для тестирования: светодиоды испытываются при максимально допустимом токе, продолжительность указанных тестов составляет 42 суток; критериями выхода светодиода из строя являются снижение светового потока более чем на 15%, короткое замыкание, разрыв цепи. Если наблюдается хотя бы одно из указанных явлений, светодиод считается вышедшим из строя [3].

В качестве первого шага на пути решения проблемы отсутствия общепризнанной методики оценки эффективности российских и зарубежных светодиодов и световых приборов на их основе можно предложить программную модель по ускоренному анализу степени надежности этих изделий [4].

Как известно, для получения необходимой информации о надежности изделия и его элементов необходимо провести в соответствующем объеме испытания в условиях и режимах, по возможности близких к реальным условиям эксплуатации, и затем, используя методы математической статистики, обработать данные этих испытаний.

Основные виды испытаний на надежность — определительные и контрольные. Кроме них в ряде случаев проводятся испытания с целью прогнозирования надежности и технического состояния изделий.

Определительные испытания проводятся для нахождения фактических количественных показателей надежности после окончательного освоения изделия производством или после его модернизации на опытных образцах, изготовленных по серийному технологическому циклу. При определительных испытаниях оцениваются законы распределения отказов и параметры этих законов. Результаты определительных испытаний служат для оценки соответствия фактических показателей надежности техническим условиям.

Контрольные испытания на надежность проводятся для контроля соответствия количественных показателей надежности требованиям стандартов или ТУ. Контрольные испытания проводятся периодически в сроки, установленные стандартами или ТУ на данное изделие.

Первичная обработка экспериментального материала состоит в упорядочении выборочных наблюдений для каждого интервала наработки, в определении числовых характеристик статистического распределения исследуемого параметра и графическом представлении результатов в виде гистограмм, полигонов и эмпирических функций распределения.

Для исследования и оценки надежности используются, в частности, следующие методики:

- Проверка достаточности данных хронометража, когда при построении плана последовательных испытаний делают вывод о ходе дальнейших исследований.
- Определение вида закона распределения.
- Расчет комплексных показателей надежности.

Для определения вида закона распределения в результате опыта получают вариационный ряд некоторой интересующей исследователя характеристики, результатами расчетов полученных данных заполняется таблица. После нанесения экспериментальных точек (рис. 1) на координатную сетку $(1 - H_i / \sum n_i) = f(x)$ (n — количество отказов за рассматриваемый интервал времени; x — интервал времени; H — частота отказов на данном интервале) проводится проверка, состоящая в определении возможности линейной интерполяции экспериментальных данных, определении наибольшего отклонения D и проверке по критерию согласия Колмогорова. Прямую проводят так, чтобы отклонения экспериментальных точек от нее были минимальными (рис. 1, синяя линия), и проверяется согласие экспериментального распределения с теоретическими распределениями (экспоненциального, нормального, Вейбулла и др.). Наибольшее отклонение определяется сравнением отклонений по оси ординат экспериментальных точек от прямой при различных значениях времени. Если возможна линейная интерполяция, находится наибольшее отклонение D (рис. 1, «Отклонение»).

Рассчитывается критерий согласия Колмогорова, по которому если $D\sqrt{k} < 1$ (рис.1, «Критерий»)

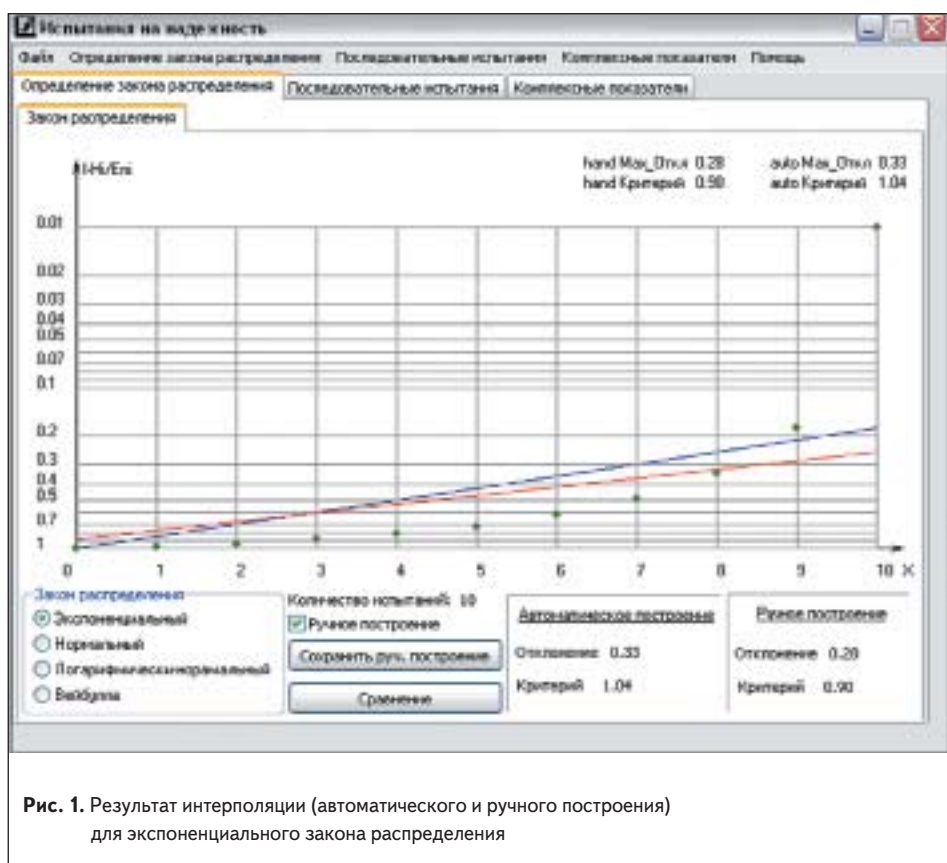


Рис. 1. Результат интерполяции (автоматического и ручного построения) для экспоненциального закона распределения

(k — общее количество экспериментальных точек), то закон распределения времени безотказной работы не противоречит экспоненциальному. Если $D\sqrt{k} \geq 1$ и исследователя

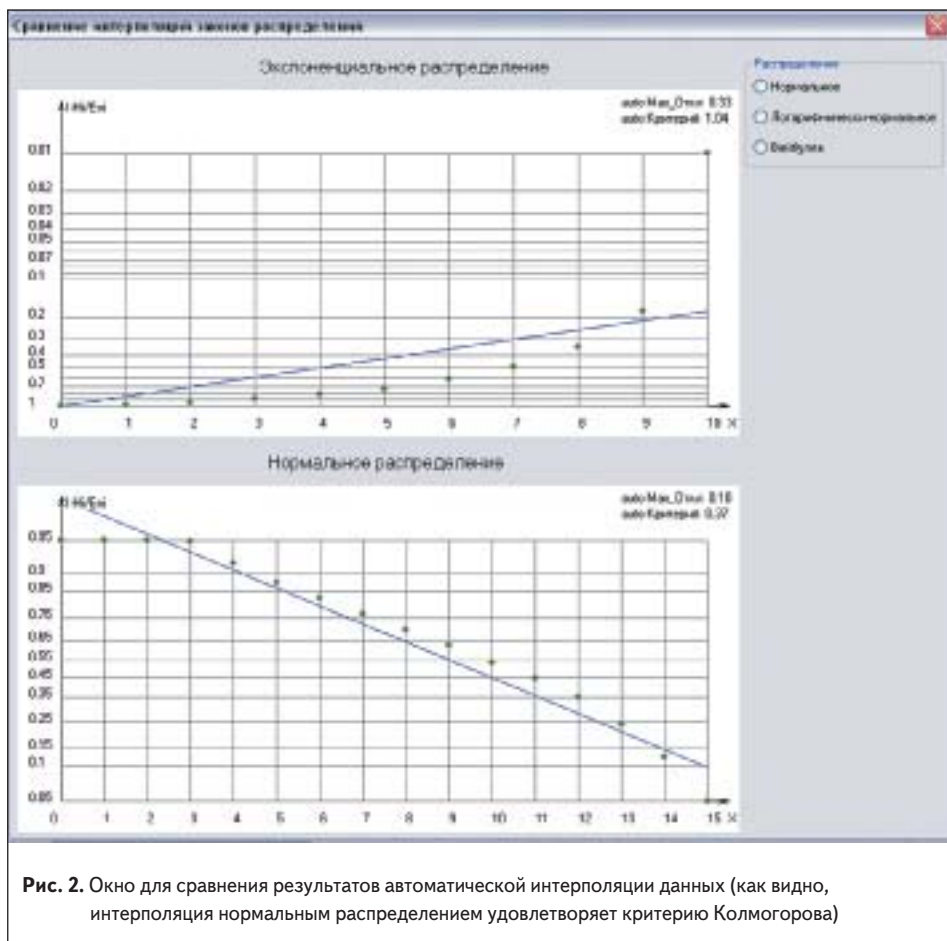


Рис. 2. Окно для сравнения результатов автоматической интерполяции данных (как видно, интерполяция нормальным распределением удовлетворяет критерию Колмогорова)

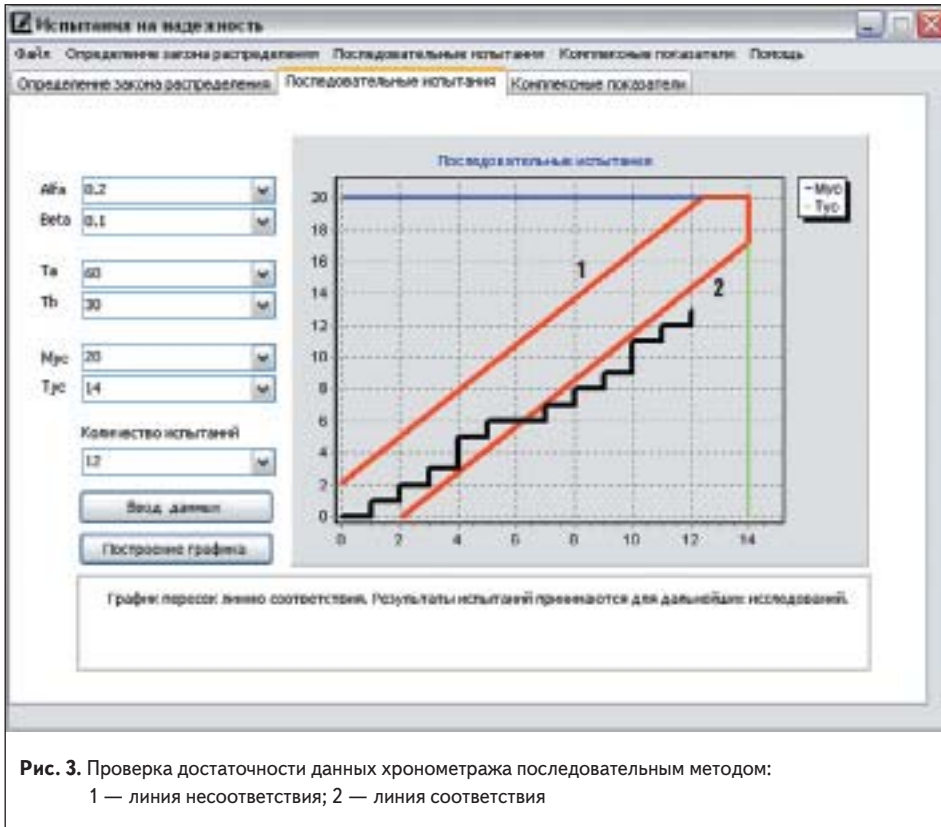


Рис. 3. Проверка достаточности данных хронометража последовательным методом: 1 — линия несоответствия; 2 — линия соответствия

не устраивает автоматическая интерполяция, он может осуществить ее вручную (рис. 1, красная линия). В противном случае проверяется согласие экспериментального распределения с нормальным и т. д.

Результаты линейной интерполяции разными законами распределения можно сравнить для возможности субъективного выбора исследователем одного из них (рис. 2). После подтверждения вида закона распределения определяют параметры этого закона.

Эти методики при ручной реализации требуют достаточно много времени. Поэтому для их программной реализации использована среда объектно-ориентированного программирования Delphi 7, на базе которой разработана программа «Испытания на надежность».

Для определения вида закона распределения исследуемой характеристики нужно ввести в программу количество произведенных испытаний и данные, полученные экспериментальным путем. После этого активизируется процесс интерполяции введенных данных

применительно к первому виду закона распределения — экспоненциальному (рис. 1). Если автоматическая интерполяция не устраивает пользователя или критерий согласия Колмогорова не выполняется, то можно осуществить интерполяцию данных «вручную». Для сравнения результатов автоматической интерполяции различными законами распределения используется режим их совместного просмотра.

После определения вида закона распределения можно решать многие задачи по оценке и анализу показателей надежности.

Для проверки достаточности данных хронометража последовательным методом используются следующие исходные данные (рис. 3, на графике показана функция $m = f(t_i/T_\alpha)$):

- риск поставщика α ;
- риск заказчика β ;
- приемочное значение средней наработки на отказ T_α (ч);
- браковочный уровень средней наработки на отказ T_β (ч);

Таблица. Показатели надежности

Показатель	Выражение
Интенсивность отказов	$\lambda(x) = f(x)/P(x)$
Плотность распределения	$f(x) = \lambda e^{-\lambda x}$
Функция распределения	$F(x) = \int_0^x \lambda e^{-\lambda x} dx$
Вероятность безотказной работы	$P(x) = 1 - F(x)$
Параметр потока отказов	$\omega(t) = 1/T_{cp}$
Средняя наработка на отказ	$T_{cp} = \frac{\sum t_i}{n}$

Примечание: T_{cp} — средняя наработка изделия на отказ; t_i — время испытаний на i -м интервале; n — количество отказов за все время испытаний; x — величина, в зависимости от которой исследуются все функции, в основном это время t .

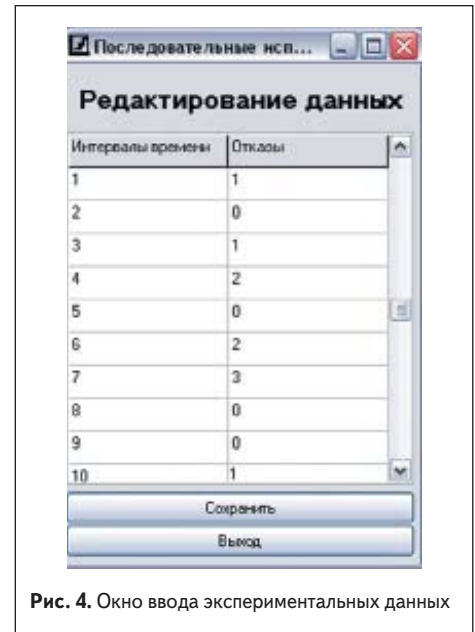


Рис. 4. Окно ввода экспериментальных данных

- усечение результатов испытаний по количеству отказов m_{yc} ;
- усечение результатов испытаний по времени t_{yc} (ч);
- время испытания t_x (ч).

Чтобы избежать неопределенности при выборе T_α , при отсутствии специальных требований рекомендовано принимать $T_\alpha = 2T_\beta$. Заранее принимают решение об усечении (ограничении) последовательного анализа. При этом методика предполагает одновременное испытание всех образцов с фиксацией отказов в моменты их возникновения. Параметры усечения m_{yc} и t_{yc} определяются по таблицам, приведенным в ГОСТ 27.410-83, или устанавливаются исследователем.

Кроме того, вводятся полученные экспериментально интересующие исследователя показатели (например, число отказов за период времени) (рис. 4).

После подтверждения вида закона распределения, определяют параметры этого закона (в частности, функции из таблицы). Таким образом, данная программа для исследования надежности, целью которой является обработка результатов последовательных испытаний и определение вида закона распределения, существенно снижает трудоемкость подобных исследований. ●

Литература

1. Гридин В. Н. и др. Полупроводниковая лампа — источник освещения, альтернативный лампам накаливания и электролюминесцентным лампам // Компьютерная оптика. 2008. Том 32. № 4.
2. Российские светодиоды: как заскочить в уходящий поезд? <http://www.magazine-svet.ru>.
3. Светодиоды-долгожители: правда или мифификация? <http://www.magazine-svet.ru>.
4. Байнева И. И., Байнев В. В. Компьютерное моделирование и исследование надежности изделий электронной техники // Учебный эксперимент в образовании. 2010. № 4.