

УДК 621.396.6.019

Оценка уточненного ресурса оптических кабелей с учетом условий эксплуатации

В.В. Жаднов, И.А. Иванов, П.С. Королев, С.Н. Полесский

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»

Estimation of specified operating life of fiber cables taking into account operation conditions

V.V. Zhadnov, I.A. Ivanov, P.S. Korolev, S.N. Polesskiy

National research university «Higher school of economics», Moscow

Рассмотрена математическая модель гамма-процентного ресурса оптических кабелей, учитывающая зависимость конструктивно-технологических параметров, режимов и условий их применения. Показана возможность использования математической модели при проектировании волоконно-оптических систем передачи информации.

Ключевые слова: гамма-процентный ресурс; оптический кабель; долговечность; надежность.

The mathematical model of the gamma-percentile operating life of the optical cables, taking into account the dependency of the constructive-technological parameters, regimes and conditions of their application, has been considered. The possibility of using the mathematical model in designing the fiber-optic systems of the information transmission has been shown.

Keywords: gamma-percentile operating life, fiber-optic cables, durability, reliability.

Современный подход к оценке показателей надежности компонентов волоконно-оптических систем передачи информации описан в работе [1]. В технических условиях (ТУ), на основе которых сформирован справочник [2], приведены такие показатели надежности, как интенсивность отказов, гамма-процентный ресурс и др. Отметим, что в [2] характеристики долго-

© В.В. Жаднов, И.А. Иванов, П.С. Королев, С.Н. Полесский, 2016

вечности компонентов даны для предельно допустимых режимов эксплуатации. Поэтому для повышения точности математической модели гамма-процентного ресурса оптических кабелей необходимо учитывать параметры, характеризующие условия их эксплуатации.

В ТУ на оптические кабели даны значения гамма-процентного ресурса для режимов, зависящих от температуры T окружающей среды. Так, например, в ТУ [3] на оптический кабель ОК-ПН-01-3-2/0 приведены значения 95%-ного ресурса при изменении температуры от +35 до +70 °С. Однако данные по ресурсу в интервале температур от –60 до +35 °С отсутствуют, хотя, как показано в [4], воздействие отрицательных температур (до –50 °С) может привести к сокращению ресурса оптических кабелей из-за возможной деформации модульных трубок. Поэтому при проектировании волоконно-оптических систем передачи информации необходимо проводить уточненный расчет ресурса кабелей с учетом влияния температуры, а также других факторов.

Для решения поставленной задачи предлагается новая математическая модель гамма-процентного ресурса, основанная на модели стандарта [5]:

$$T_{\text{р\%п}}^{\text{ТУ}} = \frac{T_{\text{р\%п}}^{\text{ТУ}}}{K_{\text{и.э}} \cdot K_{\text{н}}}, \quad (1)$$

где $T_{\text{р\%п}}^{\text{ТУ}}$ – гамма-процентный ресурс для предельных условий по ТУ до списания, ч; $K_{\text{и.э}}$ – коэффициент интенсивности эксплуатации, отн. ед.; $K_{\text{н}}$ – коэффициент нагрузки по «критическому» параметру, отн. ед.

В соответствии с методикой стандарта [5] для расчета $T_{\text{р\%п}}$ по формуле (1) необходимо определить значение коэффициента $K_{\text{н}}$. Однако формула для его расчета ни в стандарте [5], ни в другой нормативно-технической документации не приводится.

В справочнике [2], а также в ТУ под коэффициентом нагрузки понимается отношение значений параметра нагрузки в рабочем режиме к максимально допустимому по ТУ. Например, для оптических кабелей параметром нагрузки является температура, которая определяет значение температурного коэффициента K_T . Этот коэффициент может быть использован в качестве коэффициента нагрузки.

В ТУ значения показателей долговечности приводятся «...для всех условий применения по ТУ». Таким образом, кроме K_T при оценке коэффициента нагрузки следует учитывать влияние и других внешних воздействующих факторов. Исходя из опыта эксплуатации изделий электронной техники, изменение ресурса обратно пропорционально изменению интенсивности отказов:

$$\frac{T_{\text{р\%п}}^{\text{ТУ}}}{T_{\text{р\%п}}} = \frac{\lambda_{\text{раб}}}{\lambda_{\text{maxТУ}}}.$$

где $\lambda_{\text{раб}}$ – интенсивность отказов элемента в режиме работы, ч⁻¹; $\lambda_{\text{maxТУ}}$ – интенсивность отказов элемента при максимально допустимом режиме по ТУ, ч⁻¹.

Анализ моделей в справочниках [2, 6] показал, что в [2] более полно учитывается влияние режимов и условий эксплуатации кабелей, в частности влияние отрицательных температур. Значения $\lambda_{\text{раб}}$ и $\lambda_{\text{maxТУ}}$ рассчитываются по модели интенсивности отказов в режиме эксплуатации λ_3 из [2]:

$$\lambda_{\text{раб}} = \left[\lambda_{61} m K_{T1} + \lambda_{62} m \left(\frac{N}{t} \right)_{\text{ср}} K_{T2} + \lambda_{63} K_{T3} + \lambda_{64} \left(\frac{N}{t} \right)_{\text{ср}} \cdot K_{T4} \right] L_{\text{к}} K_3 + \lambda_{65} m K_{T1} + K_{\text{к.г1}},$$

где $\lambda_{61}, \lambda_{62}, \lambda_{63}, \lambda_{64}, \lambda_{65}$ – базовые интенсивности отказов оптических волокон, ч⁻¹; m – количество оптических волокон в кабеле, шт.; $K_{T1}, K_{T2}, K_{T3}, K_{T4}$ – температурные коэффициенты, отн. ед.;

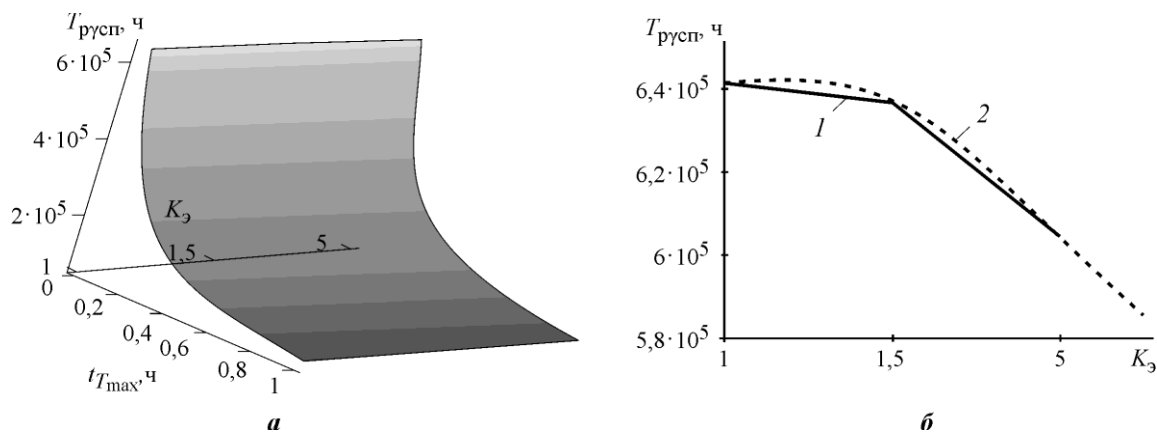
K_3 – коэффициент жесткости условий эксплуатации, отн. ед.; $\left(\frac{N}{t}\right)_{\text{ср}}$ – среднее количество сочленений, сочл./ч; $L_{\text{к}}$ – длина оптического кабеля, м; $K_{\text{к.г.1}}$ – коэффициент критерия годности, отн. ед.

Таким образом, уточненная модель ресурса, учитывающая комплексное влияние внешних воздействующих факторов, имеет вид

$$T_{\text{рyсп}}^* = \frac{T_{\text{рyсп}}^{\text{TУ}} \cdot \lambda_{\text{maxTУ}}}{\lambda_{\text{раб}}}, \quad (2)$$

где $T_{\text{рyсп}}^*$ – уточненный гамма-процентный ресурс до списания, ч; $T_{\text{рyсп}}^{\text{TУ}}$ – гамма-процентный ресурс до списания по ТУ, ч.

Результаты применения предложенной модели (2) для оценки уточненного ресурса оптических кабелей типа ОК-ПН-01-3-2/0 показали, что в контрольных точках по ТУ данные практически совпадают. На рисунке приведены графические зависимости гамма-процентного ресурса $T_{\text{рyсп}}^*$ от времени эксплуатации при максимальной температуре t_{Tmax} и коэффициента жесткости K_3 условий эксплуатации.



Зависимости $T_{\text{рyсп}}^*$ от t_{Tmax} и K_3 (а) и от K_3 (б): 1 – при эксплуатации в допустимом температурном режиме по ТУ [5]; 2 – при прямой интерполяции в граничных точках

Как видно на рисунка, расчетные значения ресурса для конкретных условий эксплуатации отличаются от приведенных в ТУ для «наихудшего» случая. При ужесточении условий эксплуатации значение ресурса уменьшается, что подтверждает реальная статистика отказов оптических кабелей. Значения ресурса в интервале температур от +30 до +55 °С отличаются от данных, приведенных в ТУ, в 3,2 раза для групп аппаратуры 1.1 и 1.2 по классификации справочника [2], а для группы 1.10 – в 3 раза.

Таким образом, предложенная математическая модель ресурса оптических кабелей, учитывающая режимы и условия их применения, дает более точную оценку ресурса по сравнению со стандартной методикой [5].

Литература

1. Лидский Э., Мироненко О., Гусев А. Современный подход к оценке надежности изделий электронной техники // Компоненты и технологии. – 2000. – № 3. – С. 58–63.
2. Надежность электрорадиоизделий: Справочник. – М.: МО РФ, 2006. – 641 с.
3. ТУ16.К71-026-88. Оптические кабели для полевых и стационарных объектов и сооружений: технические условия. – М.: ИТЦ «ЛаборКомплектСервис», 1988. – URL: http://www.laborant.ru/eltech/19/_tabl/d0480t01.html (дата обращения: 16.05.2016).

4. **Воронков А.А., Алехин И.Н.** Прогнозирование срока службы оптических кабелей связи, эксплуатирующихся в условиях низких температур // Изв. Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. – Т. 16. – № 4(3). – С. 534–536.

5. ОСТ 4.012.013-84. Аппаратура радиоэлектронная. Определение показателей долговечности. – М.: ВНИИ, 1985. – 15 с.

6. **Karin Schulzea, Miguel Caldeirab, Joao Baptistab, Armin Zimmermanna.** Model-Based Design and Evaluation of Fault-Tolerant Fibre-Optical Networks for Avionics // 11th Int. Probabilistic Safety Assessment and Management Conference and Annual European Safety and Reliability Conference 2012 (Helsinki, Finland, 25–29 Jun. 2012). – 2012.

Поступило после доработки 5 октября 2016 г.

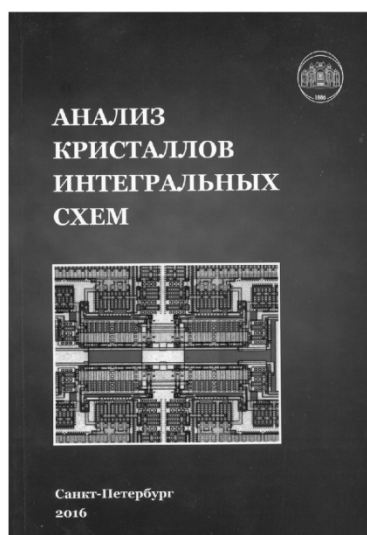
Жаднов Валерий Владимирович – кандидат технических наук, доцент департамента электронной инженерии Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ). *Область научных интересов:* математическое моделирование, надежность информационно-коммуникационные технологии, электроника, радиотехника, приборостроение.

Иванов Илья Александрович – кандидат технических наук, старший преподаватель департамента электронной инженерии НИУ ВШЭ. *Область научных интересов:* диагностика, надежность, проектирование и конструирование электронных приборов и радиоэлектронной аппаратуры. **E-mail:** i.ivanov@hse.ru

Королев Павел Сергеевич – магистрант департамента электронной инженерии НИУ ВШЭ. *Область научных интересов:* диагностика, надежность, проектирование и конструирование электронных приборов и радиоэлектронной аппаратуры.

Полесский Сергей Николаевич – кандидат технических наук, доцент департамента компьютерной инженерии НИУ ВШЭ. *Область научных интересов:* автоматизация проектирования, информационные технологии, надежность, проектирование систем.

Книжные новинки



Гасников А.О., Демин Ю.А., Ильин В.А., Калинин С.Б., Красник Е.В., Кузнецова М.А., Латникова Н.М., Лучинин В.В., Панов М.Ф., Петров А.А., Савенко А.Ю., Садовая И.М., Сазонов А.П., Серкова М.Н., Трушлякова В.В., Усикова М.А.

Анализ кристаллов интегральных схем / Под общ. ред. В.В. Лучинина. - СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2016. - 328 с.

В рамках системного подхода к анализу кристаллов ИС изложены вопросы их последовательного и локального препарирования, а также контроля элементного состава, геометрических и электрических параметров слоев и гетерогенных композиций. Особое внимание уделено топологическому анализу и контролю электрических параметров базовых элементов и функциональных узлов.

Впервые в отечественной литературе системно изложены вопросы конструкторско-схемотехнического, информационно-аппаратного и физико-химического противодействия реинжинирингу кристаллов ИС.

Издание содержит большой объем оригинального иллюстративного материала, полученного авторами в процессе разработки и анализа изделий интегральной электроники и микросистемной техники. По характеру изложения оно ориентировано на преподавателей, аспирантов и студентов, участвующих в образовательном процессе по направлениям «Электроника и наноэлектроника», «Нанотехнологии и микросистемная техника», «Компьютерная безопасность», «Конструирование и технология электронных средств», «Инфокоммуникационные технологии и системы связи». Кроме того, издание может быть полезно научным сотрудникам и инженерам, специализирующимся в области разработки, изготовления и контроля электронной компонентной базы.