

ISSN - 1561-5405

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

Электроника

Том 21

№ 6

2016

ноябрь - декабрь



Известия высших учебных заведений ЭЛЕКТРОНИКА

Том 21 № 6
2016 ноябрь–декабрь

Учредители:

Министерство
образования и науки
Российской Федерации

Национальный
исследовательский
университет «МИЭТ»

Главный редактор

Чаплыгин Ю.А., академик РАН,
д.т.н., проф.

Зам. главного редактора
Гаврилов С.А., д.т.н., проф.

Редакционная коллегия:

Бархоткин В.А., д.т.н., проф.
Бахтин А.А., канд. т.н., доц.
Быков Д.В., д.т.н., проф.
Горбачевич А.А., чл.-корр. РАН,
д.ф.-м.н., проф.

Грибов Б.Г., чл.-корр. РАН,
д.х.н., проф.

Казёнов Г.Г., д.т.н., проф.
Копилёв Б.Г., д.т.н., проф.
Коржинко Ю.Н., д.ф.-м.н., проф.
Королёв М.А., д.т.н., проф.
Красников Г.Я., акад. РАН,
д.т.н., проф.

Кубарев Ю.В., д.ф.-м.н., проф.
Лабунев В.А., акад. НАН Беларуси,
акад. РАН, д.т.н., проф.

Максимов И.А., PhD, проф.
Лундского университета
(Швеция)

Меликян В.Ш., чл.-корр. НАН Армении,
д.т.н., проф.

Неволин В.К., д.ф.-м.н., проф.
Неволин В.П., д.ф.-м.н., проф.
Петросянц К.О., д.т.н., проф.

Сазонов А.Ю., PhD, проф.
Университета Ватерлоо
(Канада)

Сауров А.П., акад. РАН, д.т.н., проф.
Селищев С.В., д.ф.-м.н., проф.

Сигов А.С., акад. РАН,
д.ф.-м.н., проф.

Таиров Ю.М., д.т.н., проф.
Телец В.А., д.т.н., проф.
Тимошенко С.П., д.т.н., проф.
Тихонов А.Н., д.т.н., проф.
Усанов Д.А., д.ф.-м.н., проф.

Научно-технический журнал

Издается с 1996 г.

Выходит 6 раз в год

СОДЕРЖАНИЕ

Фундаментальные исследования

Мороча А.К., Рожков А.С. О новых типах волн Стоунли и возможности их использования в интегральной акустоэлектронике 493

Материалы электронной техники

Вигдорovich Е.Н., Ермошин И.Г. Влияние структурного совершенства слоев квантовых ям гетероструктур на основе нитрида галлия на их излучательные характеристики 503

Костишко Б.Б., Светухин В.В., Явтушенко И.О. Модификация поверхности никеля фемтосекундными лазерными импульсами 510

Пеустров С.А. Влияние упаковки на воспроизводство сингонии кристалла кубического углерода 515

Технология микро- и нанoeлектроники

Солнышкин А.В., Кислова И.Л., Белов А.Н., Сыса А.В., Строганов А.А., Шевяков В.И., Силибин М.В., Михалчан А.А., Лысенко А.А. Электропроводность пленочных композитов на основе поливинилденфторида с углеродными нанотрубками 520

Лисицын С.А., Коломийцев А.С., Ильин О.И., Ильина М.В., Копилёв Б.Г., Быков А.В., Агеев О.А. Исследование режимов ионно-стимулированного осаждения наноразмерных структур платины методом фокусированных ионных пучков 529

Заведующая редакцией
С.Г. Заверва

Редактор
А.В. Тихонова

Научный редактор
С.Г. Заверва

Корректор
И.В. Проскуракова

Верстка
А.Ю. Рыжков
С.Ю. Рыжков

Адрес редакции: 124498,
г. Москва, г. Зеленоград,
пл. Шокина, д. 1, МИЭТ
Тел.: 8-499-734-6205
E-mail: magazine@mice.ru
http://www.miet.ru

Подписано в печать 09.12.2016.
Формат бумаги 60×84 1/8.
Цифровая печать.
Объем 13,48 усл.печ.л.,
12,372 уч.-изд.л.
Заказ 92.

Отпечатано
в типографии ИПК МИЭТ
124498, г. Москва, г. Зеленоград,
пл. Шокина, д. 1, МИЭТ

Свидетельство о регистрации
№ 014134
выдано Комитетом РФ по печати
12.10.95.

Включен в Перечень рецензируе-
мых научных изданий, в которых
должны быть опубликованы основ-
ные научные результаты диссертаций
на соискание ученой степени кандида-
та наук, на соискание ученой степени
доктора наук.

Включен в Российский индекс
научного цитирования и в Рейтинг
Science Index.

Включен в Russian Science Citation
Index на базе Web of Science.

*Кольцов В.Б., Ларионов Н.М., Слесарев С.А.,
Баркихоева Т.А.* Выделение галлия из многокомпо-
нентной эвтектики при утилизации технологических от-
ходов..... 537

Северюкова Е.А. Исследование механизмов образова-
ния и переноса поверхностных молекулярных загрязне-
ний 543

Микроэлектронные приборы и системы

Морозова Е.В., Шулежко В.В. Моделирование пере-
ходного тока в неоднородных органических полупро-
водниковых системах 551

Информационные технологии

Матюшкин И.В., Жемерикин А.В., Заплетина М.А.
Клеточно-автоматные алгоритмы сортировки строк и
умножения целых чисел по схеме Агрубина 557

Зо Вил Хтет, Колдаев В.Д. Агломеративные алгорит-
мы выделения инвариантных характеристик изображе-
ний 566

Интегральные радиоэлектронные устройства

Широ Г.Э., Романов С.П. Проектирование COS/SIN-
преобразователей в цифровых вычислительных устрой-
ствах синтеза радиолокационных сигналов 574

Краткие сообщения

Соловьев А.В., Крупкина Т.Ю., Романов А.А. Повы-
шение пробивного напряжения *n*-МОП-транзисторов
для радиационно стойких КНС КМОП БИС 583

Карташѐв С.С., Лосев В.В. Моделирование элемента
памяти с учетом дискретного зарядового состояния пла-
вающего затвора МОП-транзистора 586

Жаинов В.В., Иванов И.А., Королев П.С., Полесский С.Н.
Оценка уточненного ресурса оптических кабелей с уче-
том условий эксплуатации 589

От Российской академии наук 593

Юбилей

Таирову Юрию Михайловичу – 85 лет 594

Асееву Александру Леонидовичу – 70 лет 596

Конференции

2017 IEEE Conference of Russia Young Researchers
in Electrical and Electronic Engineering 3 стр. обложки

Тематический указатель статей, опубликованных в
2016 году 598

К сведению авторов 603

Карташѐв Сергей Сергеевич – магистр технических наук, аспирант кафедры интегральной электроники и микросистем (ИЭМС) МИЭТ. *Область научных интересов:* проектирование энергонезависимой памяти, проектирование и моделирование схем считывания к энергонезависимой памяти, топологическое проектирование и моделирование.

Лосев Владимир Вячеславович – доктор технических наук, профессор кафедры ИЭМС МИЭТ. *Область научных интересов:* проектирование систем на кристалле, проектирование и моделирование аналоговых блоков, топологическое проектирование и моделирование.
E-mail: dsd@miee.ru

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-

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]:

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

где $T_{\text{респ}}^{\text{ТУ}}$ – 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 $T_{\text{респ}}$ 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:

$$\frac{T_{\text{респ}}^{\text{ТУ}}}{T_{\text{респ}}} = \frac{\lambda_{\text{раб}}}{\lambda_{\text{максТУ}}}$$

где $\lambda_{\text{раб}}$ – интенсивность отказов элемента в режиме работы, ч⁻¹; $\lambda_{\text{максТУ}}$ – 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 $\lambda_{\text{максТУ}}$ рассчитываются по модели интенсивности отказов в режиме эксплуатации λ , из [2]:

$$\lambda_{\text{раб}} = \left[\lambda_{61} m K_{T1} + \lambda_{62} m \left(\frac{N}{t} \right)_{\text{ср}} K_{T2} + \lambda_{63} K_{T3} + \lambda_{64} \left(\frac{N}{t} \right)_{\text{ср}} \cdot K_{T4} \right] L_{\text{к}} K_{5} + \lambda_{65} m K_{T1} + K_{\text{к.т1}},$$

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 –
член
отн. ед.
возде
где T
ресур
Р
чески
тичес
сурса
жестк
4
2 · 10
1
0
Ка
отлича
плуата
ческих
ных, п
справоч
Таб
вающая
стандар
1. Л
ки // Ком
2. Н
3. Т
ловия. –
(дата обра

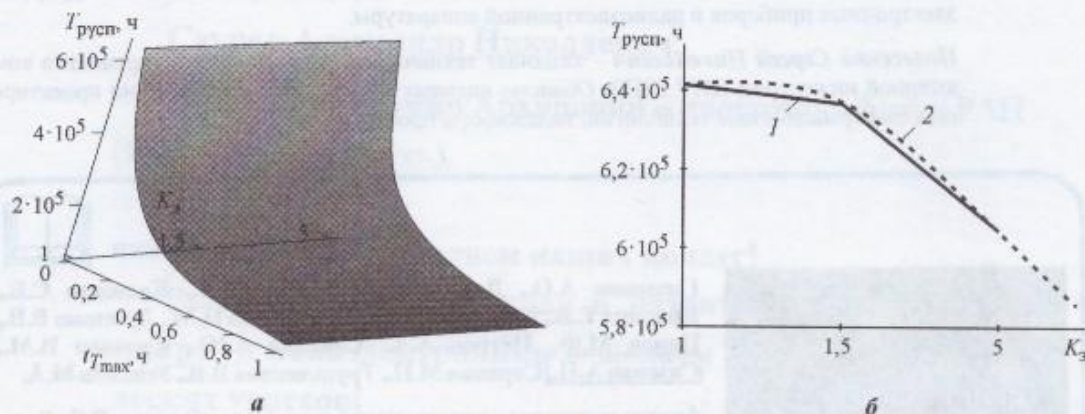
K_3 – коэффициент жесткости условий эксплуатации, отн. ед.; $\left(\frac{N}{t}\right)_{\text{ср}}$ – среднее количество сочленений, сочл./ч; L_k – длина оптического кабеля, м; $K_{к.г.1}$ – коэффициент критерия годности, отн. ед.

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

$$T_{\text{респ}}^* = \frac{T_{\text{респ}}^{\text{ТУ}} \cdot \lambda_{\text{maxТУ}}}{\lambda_{\text{раб}}}, \quad (2)$$

где $T_{\text{респ}}^*$ – уточненный гамма-процентный ресурс до списания, ч; $T_{\text{респ}}^{\text{ТУ}}$ – 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 $T_{\text{респ}}^*$ от времени эксплуатации при максимальной температуре t_{Tmax} и коэффициента жесткости K_3 условий эксплуатации.



Зависимости $T_{\text{респ}}^*$ 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., Мироенко О., Гусев А. Современный подход к оценке надежности изделий электронной техники // Компоненты и технологии. – 2000. – № 3. – С. 58–63.
2. Надежность электrorадиоизделий: Справочник. – М.: МО РФ, 2006. – 641 с.
3. ТУ16.К71-026-88. Оптические кабели для полевых и стационарных объектов и сооружений: технические условия. – М.: ИПЦ «ЛабoрКомплектСервис», 1988. – URL: http://www.laborant.ru/eltech/19_tab1/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 Schulze, Miguel Caldeirab, Joao Baptistab, Armin Zimmermann.** 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.

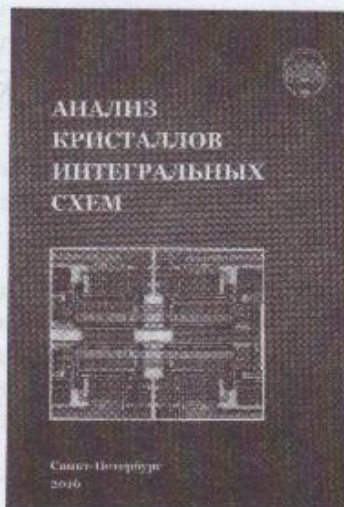
Жаднов Валерий Владимирович – кандидат технических наук, доцент департамента электронной инженерии Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (НИУ ВШЭ). *Область научных интересов:* математическое моделирование, надежность информационно-коммуникационные технологии, электроника,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