

3. Берем курс на широкополосный мобильный доступ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.nokia-siemens-networks.com>. 01.06. 2012 г. - Загл. с экрана.
4. Report of the Spectrum Rights and Responsibilities Working Group, Federal Communications Commission Spectrum Policy Task Force [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.fcc.gov/sptf/files/SRRWGFinalReport.doc>. 01.06. 2012 г. - Загл. с экрана.
5. Глоба, Л.С. Использование SDR-решений в реконфигурируемых мобильных сетях [Текст] / Л.С. Глоба, В.В. Курдеча, Н.А. Зингаева // Наукові записки УНДІРТ. – 2011. – № 1(17). – С. 42–50.
6. Поповский, В.В. Проблемы освоения высвобождаемых участков диапазона частот [Текст] / В.В. Поповский, Л.А. Токарь // Радиотехника, всеукр. межведомств. научно-технич. сборник. – 2007. – вып. 148. – С. 177–184.
7. Тихвинский, В.О. Сети мобильной связи LTE: технология и архитектура [Текст] / В. О. Тихвинский, С.В. Терентьев, А.В. Юрчук. – М.: Эко-Трендз. – 2010. – 284 с.
8. 3GPP TR 25.913 Requirements for Evolved UTRA (E-UTRA) and Evolved (E-UTRAN) [Text] / Release 7. – 2006. – V 7.3.0. – 45 p.

У статті дана оцінка показників надійності блоку детектування та їх розрахунків за допомогою експоненціального та DN-розподілу. Встановлено, що розрахунок на основі ймовірнісно-фізичних моделей відмов дає більш точне значення параметрів

Ключові слова: ймовірність безвідмовної роботи, DN-розподіл

В статье дана оценка показателей надежности блока детектирования и их расчет с помощью экспоненциального и DN - распределения. Установлено, что расчет на основе вероятностно-физических моделей отказов дает более точное значение параметров

Ключевые слова: вероятность безотказной работы, DN - распределение

The article gives an estimation of reliability indexes of a detection unit and the calculations with the help of exponential and DN-distribution. It is established that the calculation based on probabilistic physical models of failure gives more accurate parameter values

Keywords: probability of failure-free operation, DN-distribution

УДК 621.3.019

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ НАДЕЖНОСТИ ПРИБОРА ДОСМОТРОВОГО КОНТРОЛЯ

Т.Н. Козак

Ведущий инженер

Научно-исследовательская лаборатория
специализированных технологий

Научно-исследовательский и проектно-
конструкторский институт «Искра»
ул. Звейнека, 145 с, г. Луганск, Украина, 91033

Контактный тел.: (0642) 71-75-92

E-mail: official@iskra.lugansk.ua,

iskra_nipki@mail.ru

1. Введение

Все чаще для обнаружения несанкционированных вложений внутри конструкций транспортных средств используются портативные радиоизотопные приборы, принцип работы которых основан на регистрации проходящего или обратно рассеянного излучения [1], они содержат в своем составе источник ионизирующего излучения (обычно 133Ba).

Поэтому в соответствии с [2] надежность приборов данного класса и его элементов должна быть высокой.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

На основе проведенного в [3] анализа существующих приборов досмотрового контроля установлено, что в большинстве случаев приборы имеют двухблочную конструкцию: блок детектирования и блок обработки данных и индикации. Т.к. источник гамма-излучения расположен в блоке детектирования, то анализ надежности данного блока является актуальным.

Для оценки надежности объекта используются определенные теоретические модели надежно-

сти (функции распределения наработки до отказа). «Традиционно сложилось некоторое разделение в направлениях теории и практики надежности машин (механических объектов, технических систем, содержащих механические узлы) и аппаратуры (изделий электронной техники, технических устройств, содержащих электронные и радиоэлементы)» [4].

Определение количественных показателей надежности по установленным закономерностям возникновения отказов раньше основывалось на вероятностной (статистической) теории, т.е. по полученной статистике отказов изделия для расчета использовалось одно из распределений случайных величин (экспоненциальное, Вейбулла, нормальное, логарифмически нормальное, гамма- и альфа- распределения). Наиболее распространенным для решения задач надежности электронных изделий и систем являлось однопараметрическое экспоненциальное распределение. Однако, «Однопараметричность модели, с одной стороны, упрощает решение задач надежности, с другой стороны, накладывает на модель ряд существенных ограничений и делает ее весьма грубо приближенной» [4].

В последнее время стали использоваться вероятностно-физические модели надежности, использующие законы распределения отказов на основе анализа физических процессов деградации. «Получение более достоверных оценок показателей надежности при испытании (наблюдении) малой выборки образцов может быть обеспечено при использовании дополнительной априорной информации.

В частности, использование в качестве теоретических функций распределения наработки до отказа (на отказ) вероятностно-физических моделей отказов, например, применительно к электронным системам диффузионного немонотонного распределения (DN-распределения), рекомендованного стандартом [5], позволяет успешно решать поставленную задачу» [6].

Следовательно, сравнительный анализ показателей надежности блока детектирования на основе однопараметрического экспоненциального закона и вероятностно-физических моделей отказов (в частности DN-распределения) является актуальным.

3. Цель и задачи исследования

Целью данной работы является сравнительный анализ показателей надежности блока детектирования прибора досмотрового контроля, полученных с использованием вероятностной и вероятностно-физической моделей.

Расчет показателей надежности блока детектирования проведен на примере Детектора скрытых пустот «Рось 4М» [7].

Основными составными частями блока детектирования детектора скрытых пустот являются: множитель, сцинтилляционная сборка, коммутационные изделия, соединительные провода и неразъемные соединения.

Множитель состоит из резисторов, конденсаторов, диодов, транзисторов, печатных плат, трансформаторов, интегральных микросхем.

3.1. Вероятностный метод с использованием экспоненциального распределения

Исходной информацией для расчета показателей безотказности системы является интенсивность отказов компонентов системы.

Методы априорной оценки надежности интегральных схем основаны на применении экспоненциального распределения в качестве модели распределения наработки до отказа, т.е. на использовании так называемого лямбда-метода – суммирования интенсивностей отказов [7].

Интенсивность отказов блока детектирования определяем по формуле [9]:

$$\lambda_{\text{БД}} = \sum_{i=1}^m \lambda_{mi}, \quad (1)$$

где λ_{mi} – интенсивность отказов составных частей блока детектирования;

m – количество составных частей.

Интенсивность отказов составных частей рассчитываем по формуле [9]:

$$\lambda_{mi} = \sum_{j=1}^n \lambda_{\text{эл}ij}, \quad (2)$$

где $\lambda_{\text{эл}ij}$ – интенсивность отказов однотипных деталей и элементов;

n – количество однотипных элементов.

К однотипным элементам относятся детали, выполняющие одинаковые функции (транзисторы, резисторы, конденсаторы и т.д.).

Интенсивность отказов элементов блока детектирования зависит от режима работы элементов и при расчете учитываются поправочными коэффициентами (см. табл. 1).

Математическая модель для расчета интенсивности отказов однотипных элементов имеет вид [10]:

$$\lambda_{\text{эл}i} = \lambda_0 \cdot \prod_i K_i, \quad (3)$$

где λ_0 – значение интенсивности отказов элемента при нормальных условиях: температуре окружающей среды $(25 \pm 10)^\circ\text{C}$, атмосферном давлении 0,1013 Мпа, относительной влажности $(65 \pm 15)\%$, при естественном фоне радиации и при коэффициенте нагрузки $K_n=1$ [10].

Расчет эксплуатационной интенсивности отказов компонентов блока детектирования проведен согласно формул (4-15) [11], значения λ_0 и поправочных коэффициентов взяты из справочника [9]. Результаты расчета помещены в табл. 2.

Вероятность безотказной работы блока детектирования при использовании экспоненциального распределения определяется по формуле [5]:

$$P_E(t) = e^{-\lambda t} \quad (15)$$

при $t=1000$ ч вероятность безотказной работы равна

$$P_E(1000) = e^{4,08 \cdot 10^{-6} \cdot 1000} = 0.995$$

Таблица 1

Условные обозначения и определения коэффициентов

Коэф.	Определение составляющих моделей
K_P	Коэффициент режима, зависящий от электрической нагрузки и (или) температуры окружающей среды
$K_{Э}$	Коэффициент, зависящий от условий эксплуатации
$K_{СЛ}$	Коэффициент, учитывающий степень интеграции микросхемы и температуру кристалла (корпуса)
$K_{Ф}$	Коэффициент, учитывающий функциональное назначение прибора
K_{S1}	Коэффициент, зависящий от величины отношения рабочего напряжения к максимально допустимому по ТУ
K_C	Коэффициент, зависящий от величины номинальной емкости
K_R	Коэффициент, зависящий от величины номинального сопротивления
K_M	Коэффициент, зависящий от величины номинальной мощности резисторов
$K_{К.К.}$	Коэффициент, зависящий от количества задействованных контактов
K_T	Коэффициент, зависящий от максимальной рабочей температуры окружающей среды
$K_{П}$	Коэффициент, зависящий от количества слоев в плате
K_V	Коэффициент, учитывающий снижение электрической нагрузки по напряжению питания

Значение средней наработки до отказа T_{cp} определяется по формуле [5]:

$$T_{cp}^E = \frac{1}{\lambda_{БД}} \tag{16}$$

Средняя наработка до отказа T_{cp}^E блока детектирования равна

$$T_{cp}^E = \frac{1}{4,08 \cdot 10^{-6}} = 245098, \text{ ч.} \tag{17}$$

3.2. Вероятностно-физический метод с использованием DN-распределения

Расчет показателей надежности выполнен по «Методике расчета показателей надежности объектов на основе показателей надежности элементов, имеющих DN-распределение наработок до отказа» (приложение К ДСТУ 2862-94) [5].

Для блока детектирования (см. схему на рис. 1) детектора контрабанды по табл. 3 ДСТУ 2862-94 выбрана структурная схема надежности устройства ССН-1 (последовательная из разнотипных элементов, то есть отказ устройства наступает при отказе любого элемента).

Для этой схемы вероятность безотказной работы устройства в интервале времени (0...t) определяется по выражению (табл.К.2 ДСТУ 2862-94):

Таблица 2
$$P_{DN}(t) = \Phi\left(\frac{\mu-t}{\sqrt{\mu t}}\right) - e^{2/v^2} \Phi\left(-\frac{\mu+t}{\sqrt{\mu t}}\right), \tag{18}$$

Интенсивности отказов компонентов блока детектирования

Элементы	Формулы расчета $\lambda_{эл.}$	Значение $\lambda_{эл.}$ 1/час	
Умножитель			
Резисторы	$\lambda_R = \lambda_{0R} \cdot n_R \cdot K_P \cdot K_{Э} \cdot K_R \cdot K_M \tag{4}$	$\lambda_R = 0,029 \cdot 10^{-6}$	
Конденсаторы	$\lambda_C = \lambda_{0C} \cdot n_C \cdot K_P \cdot K_{Э} \cdot K_C \tag{5}$	$\lambda_C = 0,13 \cdot 10^{-6}$	
Диоды	$\lambda_{DV} = \lambda_{0DV} \cdot n_{DV} \cdot K_P \cdot K_{Э} \tag{6}$	$\lambda_{DV} = 0,101 \cdot 10^{-6}$	
Транзисторы	$\lambda_{VT} = \lambda_{0VT} \cdot n_{VT} \cdot K_P \cdot K_{Э} \cdot K_{Ф} \tag{7}$	$\lambda_{VT} = 0,230 \cdot 10^{-6}$	
Микросхемы	$\lambda_D = \lambda_{0D} \cdot N \cdot n_D \cdot K_{СЛ} \cdot K_{Э} \cdot K_V \tag{8}$	$\lambda_D = 0,005 \cdot 10^{-6}$	
Трансформаторы	$\lambda_{TP} = \lambda_{0TP} \cdot n_{TP} \cdot K_P \cdot K_{Э} \tag{9}$	$\lambda_{TP} = 0,174 \cdot 10^{-6}$	
Печатные платы	$\lambda_{ПП} = \lambda_{0ПП} \cdot n_{ПП} \cdot K_{П} \cdot K_{Э} \tag{10}$	$\lambda_{ПП} = 0,003 \cdot 10^{-6}$	
$\lambda_{УМ} = \lambda_R + \lambda_C + \lambda_{DV} + \lambda_{VT} + \lambda_D + \lambda_{TP} + \lambda_{ПП}$		$\lambda_{УМ} = 0,672 \cdot 10^{-6}$	
Сцинтилляционная сборка			
ФЭУ	$\lambda_{ФЭУ} = \lambda_{ФЭУ1} \cdot K_{Э} \tag{11}$	$\lambda_{ФЭУ} = 2,1 \cdot 10^{-6}$	
Сцинтилляционный детектор		$\lambda_{СД} = 1 \cdot 10^{-6}$	
$\lambda_{СЦ} = \lambda_{ФЭУ} + \lambda_{СД}$		$\lambda_{СЦ} = 3,1 \cdot 10^{-6}$	
Элементы	Формулы расчета $\lambda_{эл.}$	Значение $\lambda_{эл.}$ 1/час	
Коммутационные изделия	$\lambda_{SA} = K_{Э} \cdot K_P \cdot \sum_{i=1}^n N_{SAi} \cdot \lambda_{SAi} \cdot K_{ККи} \tag{12}$	$\lambda_{SA} = 0,18 \cdot 10^{-6}$	
Соединительные провода	$\lambda_{ПР} = \lambda_{0ПР} \cdot L \cdot K_{Э} \cdot K_T \tag{13}$	$\lambda_{ПР} = 0,032 \cdot 10^{-6}$	
Неразъемные соединения	$\lambda_E = \lambda_{0E} \cdot n_E \cdot K_{Э} \tag{14}$	$\lambda_E = 0,096 \cdot 10^{-6}$	
Блок детектирования		$\lambda_{БД} = \lambda_{УМ} + \lambda_{СЦ} + \lambda_{SA} + \lambda_{ПР} + \lambda_E$	$\lambda_{БД} = 4,08 \cdot 10^{-6}$

где μ - параметр масштаба распределения наработки до отказа;

$\Phi(x)$ - функция нормального распределения, значения которой определяется по таблице Л.6 ДСТУ 2862-94.

Исходными данными для расчета надежности объекта являются средняя наработка до отказа (ресурс) составной части T_i , наработка, при которой оценивалось значение интенсивности отказов ($t_n = 1000$ час) и коэффициент вариации наработки до отказа v , который в соответствии с п. Е.2 ДСТУ 2862-94 принимается равным единице, т.е. $v = 1$.

Для схемы ССН-1 $\mu = T_{Э}$, где $T_{Э}$ - средняя наработка до отказа блока, определяется по формуле (табл. К.1 ДСТУ 2862-94):

$$\mu = \left(\sum_{i=1}^N n_i \cdot T_{Эi}^{-2} \right)^{-1/2}, \tag{19}$$

где n_i - количество изделий i -го типа; N - число типов ЭРИ; $T_{Эi}$ - средняя наработка до отказа изделия i -го типа, которую определим по номограмме (рис. Е.1 ДСТУ 2862-94).

Подставив полученные значения в формулу (19) получим: $\mu = 20850$ ч.

Вероятность безотказной работы $P_{DN}(1000)$ блока детектирования равна:

$$P_{DN}(1000) = \Phi\left(\frac{20850-1000}{\sqrt{20850 \cdot 1000}}\right) - e^{-2} \Phi\left(-\frac{20850+1000}{\sqrt{20850 \cdot 1000}}\right) = 0,999$$

Средняя наработка до отказа T_{cp}^{DN} блока детектирования равна μ ,

$$T_{cp}^{DN} = 20850 \text{ ч.}$$

Расчет на основе вероятностно-физических моделей отказов позволяет получить более точное значение параметров надежности.

Выводы

На основе проведенного сравнительного анализа показателей надежности блока детектирования уста-

новлено, что средняя наработка до отказа блока детектирования, рассчитанная по экспоненциальному закону распределения, T_{cp}^E , равна 245098 ч., а по модели DN-распределения - T_{cp}^{DN} - 20850 ч, что удовлетворяет требованиям ТЗ надежности на Детектор скрытых пустот «Рось 4М» (срок службы не менее 10 лет (17000 ч.)).

Т.о. проведенный расчет подтверждает результаты многих исследований [12-14]: однопараметрический экспоненциальный закон распределения не требует больших временных и ресурсных затрат при расчете параметров надежности. Однако погрешность расчета достаточно высокая, особенно для систем с малым числом компонентов (до 1000), т.к. при этом существенно завышается безотказность (средняя наработка до отказа) исследуемой системы.

Литература

1. Дубровкина, М.В. Перспективы применения детектора скрытых пустот на основе эффекта обратного рассеяния гамма-излучения при контроле транспортных средств // Дубровкина М.В. Калюжный А.В. // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті MINTT-2010: Збірка наукових праць Міжнародної науково-практичної конференції – Херсон: Видавництво Херсонського державного морського інституту, 2010. – С. 27-31.
2. ДГН 6.6.1.-6.5.001-98 Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97): затверджено наказом МОЗ України від 14.07.1997 р. № 208; введено в дію постановою Головного державного санітарного лікаря України від 01.12.1997 р. № 62
3. Дослідження та оптимізація приладів оглядового контролю, в яких використовується метод зворотного гамма-випромінювання шифр И-08/11. Звіт про науково-дослідну роботу (проміжний). Етап I. Вибір напряму досліджень та теоретичні дослідження . № держреєстрації 0111U000022 Інв. № 87. 2011. – с.
4. Стрельников, В.П. Новая технология исследования надежности машин и аппаратуры. / В.П. Стрельников // Математичні машини і системи. – 2007. - № 3,4. – С.227-238.
5. ДСТУ 2862-94. Надійність техніки. Методи розрахунку показників надійності. Загальні вимоги. - Введ.: 01.01.96. - К.: Держстандарт України, 1995. – 39 с.
6. Стрельников, В.П. Прогнозирование надежности электронных систем при отсутствии отказов с использованием дополнительной априорной информации / В.П. Стрельников // Математичні машини і системи, - 2003 - №3. – С.226-231.
7. Детектор скрытых пустот “Рось 4М” согласно ТУ У 33.1-02096300-008:2008, НИПКИ «Искра» г. Луганск, Украина.
8. Стрельников, В.П. Расчет надежности интегральных микросхем / В.П. Стрельников, Н.В. Сеспедес-Гарсия. // Математичні машини і системи, - 1997 - №2. – С.94-100.)
9. Надежность изделий электронной техники, электротехники и квантовой электроники. Единый справочник, том 3, изд. 7, М.: Электронстандарт, 1989. Справочник. Том 1, 2, 3.
10. Надежность изделий электронной техники для устройства народнохозяйственного назначения. [отв. ред. Попеначенко В.И.]. Справочник. ВНИИ “Электронстандарт” – 1987. - 144 с.
11. Отчет. Оценка соответствия требованиям по надежности Детектора скрытых пустот «Рось 4М». ННЦ «Институт метрологии». 2005, - 22 с.
12. Стрельников, В.П. О методических погрешностях прогнозирования ресурса высоконадежных изделий электронной техники. / В.П. Стрельников, К.А. Антипенко // Математичні машини і системи. – 2004. - №3,4. – С. 226-231.
13. Стрельников П.В. Экспериментальная оценка надежности изделий в условиях малого числа отказов / В.П. Стрельников // Математичні машини і системи. - 2011. - № 1 – С.141-146.
14. Романов, В. Количественная оценка надежности интегральных микросхем с учетом математической модели отказов. / В. Романов. // ЭкиС. – 2005. - №4 – С.4-7.