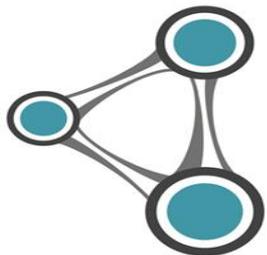


IX Всероссийская научно-техническая конференция
«Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем»
Москва, 2020



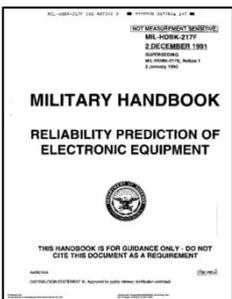
НИИМЭ
НИИ МОЛЕКУЛЯРНОЙ
ЭЛЕКТРОНИКИ

АО «Научно-исследовательский
институт молекулярной
электроники»

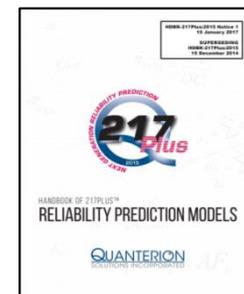
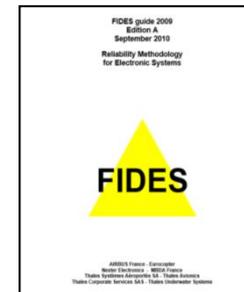
*Недостатки расчета надежности интегральных схем по
отечественным методикам*

А.В. Соловьев, А.В. Селецкий

ВВЕДЕНИЕ



Обозначение стандарта	Страна	Год выпуска
РД 11 0755-90	Российская Федерация	1991
Надежность ЭРИ Надежность ЭРИ ИП	Российская Федерация	2006
MIL HDBK 217F N2	США	1995
IEC TR 62380	Международная электротехническая комиссия (МЭК)	2004
FIDES guide 2009 Edition A	Европейский консорциум производителей продукции аэрокосмического и военного назначения	2010
RIAC-HDBK-217Plus	США	2015



ТРЕБОВАНИЯ К НАДЕЖНОСТИ

$$\lambda = -\frac{\ln(\gamma/100)}{T_\gamma} \text{ где:}$$

λ - интенсивность отказов

T_γ – гамма-процентная наработка до отказа,

γ – вероятность, выраженная в процентах.

Уровень надежности современных ИС достаточно высок и оценивается интенсивностью отказов на уровне λ (Failure Rate) = $10^{-7} \dots 10^{-9}$ 1/ч.

В зарубежной литературе интенсивность отказов измеряется в единицах, именуемых FIT (Failure In Time), 1 FIT = 10^{-9} 1/ч.

Отчет по надежности фирмы «XILINX»

Summary of the Failure Rates

Process Technology	Device Hours at $T_j = 125^\circ\text{C}$	FIT ⁽¹⁾
0.065 μm	1,950,379	13
0.09 μm	8,934,645	3
0.13 μm	2,192,422	5
0.15 μm (FPGA)	3,111,774	17
0.15 μm (EPROM)	2,117,438	12
0.18 / 0.15 μm	2,544,396	10
0.18 μm	3,813,663	14
0.22 / 0.18 μm	2,034,840	13
0.22 μm	1,926,728	6
0.25 μm	3,046,159	4
0.35 μm / 0.25 μm	2,210,904	5
0.35 μm	4,518,098	15
0.35 μm (EPROM)	1,032,068	24
0.5 μm	2,113,046	12
0.6 μm	813,592	14
0.6 μm (EPROM)	1,039,921	24

Notes: 1. FIT is calculated based on an 0.7eV for EPROM, 60% C.L. and T_j of 55°C

Методика справочника «Надежность ЭРИ»

Математические модели для расчета эксплуатационной интенсивности отказов

Группа изделий	Вид математической модели
Для полупроводниковых интегральных микросхем (логические, арифметические, микропроцессоры и микропроцессорные комплекты, программируемые логические матрицы, регистры сдвига, базовые матричные кристаллы и др.)	$\lambda_{\text{Э}} = \lambda_{\text{б.}} \cdot K_{\text{с.т.}} \cdot K_{\text{корп.}} \cdot K_{\text{в}} \cdot K_{\text{Э}} \cdot K_{\text{пр.}}$ <p style="text-align: center;">или</p> $\lambda_{\text{Э}} = \lambda_{\text{б.с.г.}} \cdot K_{\text{с.т.}} \cdot K_{\text{корп.}} \cdot K_{\text{в}} \cdot K_{\text{Э}} \cdot K_{\text{пр.}}$
Оперативные запоминающие устройства (ОЗУ)	
Постоянные запоминающие устройства (ПЗУ, ППЗУ РПЗУ)	
Микросхемы интегральные полупроводниковые аналоговые	
Микросхемы интегральные гибридные	

Методика справочника «Надежность ЭРИ ИП»

Математические модели, приведенные в справочнике «Надежность ЭРИ ИП», аналогичны методам стандарта MIL-HDBR-217F.

Для цифровых и аналоговых интегральных схем формула расчета интенсивности отказов следующая:

$$\lambda_{\text{Э}} = (\lambda_{\text{КР.}} \cdot K_t + \lambda_{\text{КОРП.}} \cdot K_{\text{Э}}) \cdot K_{\text{пр.}}$$

где: $\lambda_{\text{КР.}}$ – интенсивность отказа кристалла, зависящая от сложности ИС;

$\lambda_{\text{КОРП.}}$ – интенсивность отказа корпуса;

$K_{\text{корп.}}$, $K_{\text{Э}}$, $K_{\text{пр.}}$, K_t – коэффициенты.

$$K_t = 0,1 \cdot \exp \left[\frac{E_a}{k} \cdot \left(\frac{1}{(T_j + 273)} - \frac{1}{298} \right) \right],$$

где: E_a – энергия активации; k – постоянная Больцмана; T_j – температура кристалла ИС при эксплуатации.

МЕТОДИКА РД 11 0755-90

Интенсивность отказов $\lambda_{ИС}$ (1/ч) при температуре окружающей среды $T_{OC}=+25^{\circ}C$ микросхем рассчитывают по следующим формулам:

$$\lambda_{ИС} = K_{II} \cdot (\lambda_1 + \lambda_2),$$

интенсивность отказов, 1/ч, I группы базовых элементов (конструктивных);

$$\lambda_1 = \lambda_K + \alpha_{KP} \cdot \lambda_{KP} + n \cdot \alpha_{TKC} \cdot \lambda_{TKC},$$

интенсивность отказов, 1/ч, II группы базовых элементов (элементов кристалла и межэлементных соединений);

$$\lambda_2 = \beta \cdot \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^r \lambda_{эlij} \cdot \alpha_i + \sum_{i=1}^l \lambda_m \cdot s_{mi} \cdot \gamma_i(\alpha_i) + \lambda_{np},$$

МЕТОДИКА РД 11 0755-90

Справочные данные для расчета надежности разрабатываемых ИС и результаты расчета при температуре эксплуатации

	Базовое значения, λ_0 , 1/ч	Значения λ , 1/ч при $T_{\text{экспл.}}=65^\circ\text{C}$
Корпус	$2,3 \times 10^{-8}$	$1,8 \times 10^{-8}$
Соединение Кристалл-Основание	$1,0 \times 10^{-9}$	$9,5 \times 10^{-9}$
Сварное соединение КП-траверса	$1,5 \times 10^{-10} \times n$	$3,1 \times 10^{-8}$
Металлизация и элементы кристалла	$1,4 \times 10^{-15}$ (МОП-транзисторы)	$4,88 \times 10^{-8}$
Итоговое значение $\lambda_{\text{ИС}}$, 1/ч	—	$1,1 \times 10^{-7}$

Примечание:

Значения λ при $T_{\text{экспл.}}=65^\circ\text{C}$ получены с учетом коэффициентов $K_{\text{п}}$, α , β и др.

КОРРЕКТИРОВКА РАСЧЕТНОГО МЕТОДА РД 11 0755-90

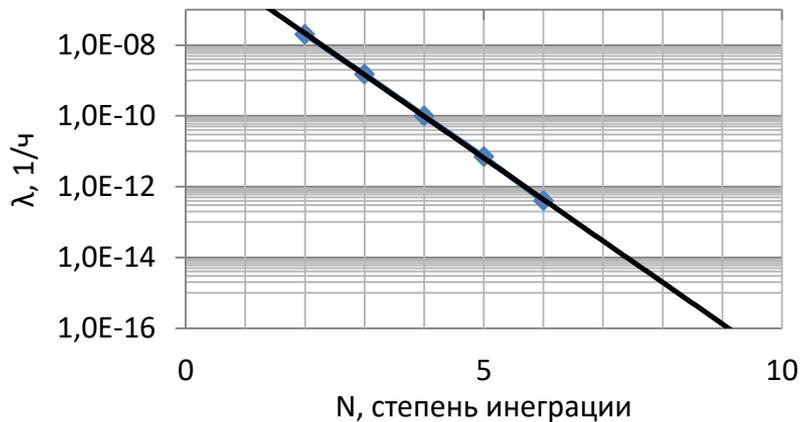
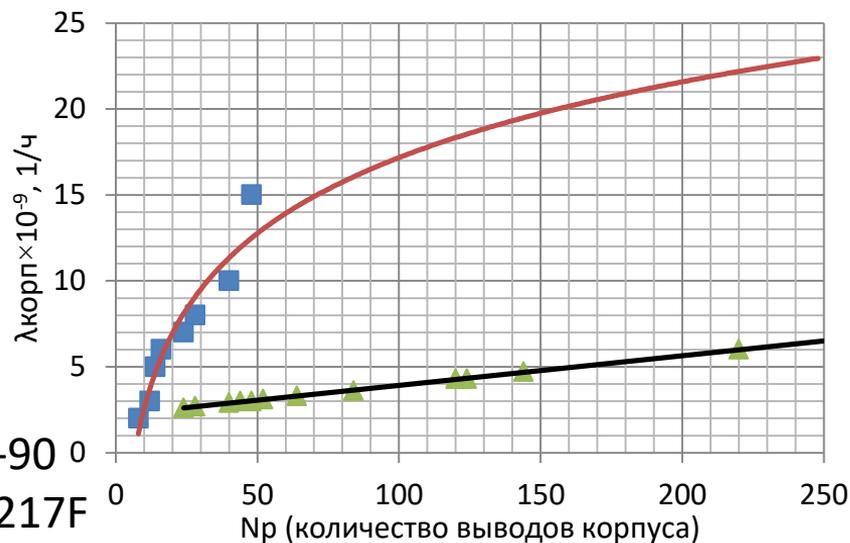


Рис.1 Зависимость интенсивности отказов МОП-транзисторов от степени интеграции

Рис. 2 Зависимость интенсивности отказов корпуса от количества выводов

- – значения базовой $\lambda_{0 \text{ корп.}}$ по РД 11 0755-90
- ▲ – значения базовой $\lambda_{0 \text{ корп.}}$ по MIL-HDBK-217F



Использование данных MIL-HDBK-217F

В стандарте MIL-HDBK-217F имеются данные для базовой интенсивности отказов корпусов ИС до 240 выводов, также имеется формула для дальнейшей аппроксимации данных:

$$\lambda_{\text{корп.}} = 2,2 + 0,0172 \cdot N_p \quad \text{где: } N_p \text{ – количество выводов корпуса.}$$

Для сварного соединения выводов кристалла с корпусом в стандарте MIL-HDBK-217F имеется базовая интенсивность отказов:

$$\lambda_{\text{сварное_соединение}} = 1,5 \cdot 10^{-10} \text{ 1/ч}$$

Использование данных FIDES guide 2009 Edition A

Значение базовой интенсивности отказов для CQFP-корпуса

Для определения точного значения лямбда в зависимости от количества выводов рассчитывается по формуле

$$\lambda_{0_stress} = e^{-A} \cdot N_p^B \quad \text{где: A и B – постоянные коэффициенты модели}$$

Тип корпуса	N _p Количество выводов	λ ₀ RH Влажность		λ ₀ Case отказы корпуса	λ ₀ Solder joints соединения (выводы) корпуса	λ ₀ Mechanical механическое воздействие
CQFP. Cerquad	64 - 132	0	A	12.41	10.80	14.02
			B	1.46	1.46	1.46
	>132 - 256		A	9.19	12.41	
			B	1.46	1.46	

Использование данных FIDES guide 2009 Edition A

Два способа использования значений стандарта FIDES для расчета интенсивности отказов по РД 11 0755-90

1. Использование базовых значений для корпуса и сварных соединений в расчете конструктивной составляющей $\lambda_{ис}$.
2. Расчет конструктивной составляющей интенсивности отказов только с использованием данных стандарта FIDES при этом формула расчета следующая:

$$\lambda_1 = \lambda_{0PH} + \lambda_{0Case} + \lambda_{0Solder\ joints} + \lambda_{0mechanical}$$

В первом случае конструктивная составляющая $\lambda_1 = 9,8 \times 10^{-9}$ 1/ч,
во втором случае – $3,2 \times 10^{-10}$ 1/ч

РЕЗУЛЬТАТЫ

Итоговые значения интенсивности отказов ИС, рассчитанные по справочникам «Надежность ЭРИ», «Надежность ЭРИ ИП» и РД 11 0755-90 с учетом зарубежных данных

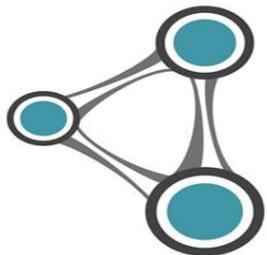
	Надежность ЭРИ	Надежность ЭРИ ИП	Данные РД 0755-90	Данные MIL- HDBK- 217F	Данные FIDES Guide 2009*	Данные FIDES Guide 2009**
	Значения λ при $T_{\text{экспл.}} = 65 \text{ } ^\circ\text{C}$					
$\lambda_1, 1/\text{ч}$	—	—	$5,9 \times 10^{-8}$	$1,8 \times 10^{-8}$	$9,8 \times 10^{-9}$	$3,2 \times 10^{-10}$
$\lambda_2, 1/\text{ч}$	—	—	$4,9 \times 10^{-8}$	$4,9 \times 10^{-8}$	$4,9 \times 10^{-8}$	$4,9 \times 10^{-8}$
$\lambda_{\text{ИС}}, 1/\text{ч}$	$5,3 \times 10^{-7}$	$2,0 \times 10^{-7}$	$1,1 \times 10^{-7}$	$6,7 \times 10^{-8}$	$5,9 \times 10^{-8}$	$4,9 \times 10^{-8}$
Примечания: * использование способа 1 ** использование способа 2						

Заключение

- **Метод, используемый в РД 11 0755-90, оперирует большим количеством параметров в сравнении с другими отечественными справочниками, что позволяет более точно оценить интенсивность отказов ИС расчетно-экспериментальным методом. Однако многие данные требуют обновления и корректировки. Одним из способов повышения точности оценки надежности может быть использование базовых значений из зарубежных стандартов надежности.**
- **Использование при расчете параметров надежности стандарта MIL-HDBK-217F дает более лучшие значения интенсивности отказов при эксплуатации и приближает оцениваемые параметры к реальным данным. Использование стандарта FIDES guide 2009 Edition A также улучшает прогноз надежности, однако, может потребовать корректировки исходных формул методики РД 11 0755-90.**

Литература

1. Красников Г. Я. Конструктивно-технологические особенности субмикронных МОП транзисторов. Издание 2-е, исправленное – Москва: Техносфера, 2011. – 800 с.
2. Device Reliability Report First Half 2019 UG116 (v10.11) September 18, 2019 <https://www.xilinx.com/>
3. Надежность ЭРИ. справочник //М.: МО РФ. – 2006.
4. Надежность ЭРИ ИП. справочник //М.: МО РФ. – 2006.
5. Жаднов В. В. Сравнительный анализ методов оценки надежности полупроводниковых интегральных микросхем //Новые информационные технологии в автоматизированных системах. – 2013. – №. 16.
6. MIL-HDBK-217F: Reliability prediction of electronic equipment. (Notice 2) / Department of defense – 28 February 1995. – 150 с.
7. Микросхемы интегральные. Методы ускоренных испытаний на безотказность и долговечность РД 11 0755-90 / Микросхемы интегральные: Отраслевой руководящий документ. – М., 1990. – 91 с.
8. FIDES guide 2009 Edition A Reliability Methodology for Electronic Systems, September 2010. – 465 с.



НИИМЭ
НИИ МОЛЕКУЛЯРНОЙ
ЭЛЕКТРОНИКИ

АО «Научно-исследовательский
институт молекулярной
электроники»

Спасибо за внимание!