

УДК 539.1.074.4

**Оценка надежности работы контроллера оптического модуля НТ1000**

М.Д. Шелепов

Московский физико-технический институт (государственный университет)

Институт Ядерных Исследований РАН

г. Москва

2015

# Содержание

Введение

1. Основная модель

2. Вычисление  $\lambda_{\text{Physical}}$

3. Вычисление  $\lambda$

4. Сравнение с экспериментальными данными

Заключение

Список литературы

## Введение

Оценка надежности контроллера оптического модуля НТ1000 проводилась по методике оценки FIDES.

Основными характеристиками данной методики являются:

- Наличие моделей оценки для электронных и электромагнитных компонент, плат и узлов электроники
- Учет всех технологических и физических факторов, которые влияют на надежность
- Учет механических, тепловых и электрических перенапряжений
- Учет поломок связанных с разработкой, производством и техническим обслуживанием приборов

Методология FIDES основывается на физических принципах отказов оборудования, данных с тестов, информации об отказах при длительном использовании оборудования и существующих моделях работы электроники. Таким образом, данная методология существенно отличается от других, основанных на статистической интерпретации данных о функционировании оборудования.

Оценка надежности изделия производится путем вычисления частоты его отказов  $\lambda$ . Единицей измерения частоты отказов  $\lambda$  принятой в методологии FIDES является FIT.

$$1\text{FIT} = 10^{-9} \text{ ч}^{-1}$$

Цель данной работы - провести расчет надежности контроллера ОМ, сравнить с экспериментальными данными.

## 1. Основная модель

Для оценки надежности по методике FIDES используется основная формула

$$\lambda = \lambda_{\text{Physical}} \cdot \Pi_{\text{PM}} \cdot \Pi_{\text{Process}} \quad (1)$$

Здесь

$\lambda$  - общая частота отказов

$\lambda_{\text{Physical}}$  – частота отказов под влиянием физических факторов

$\Pi_{\text{PM}}$ ,  $\Pi_{\text{Process}}$  – коэффициенты ускоряющие отказы

Для изделия, работающего в различных режимах со значительными отличиями физических факторов, влияющих на частоту отказов используется формула:

$$\lambda_{\text{Physical}} = \sum_i^{\text{Phases}} \left( \frac{\text{Annual\_time}_{\text{phase-i}}}{8760} \cdot \lambda_{\text{phase-i}} \right) \quad (2)$$

Где

$\text{Annual\_time}_{\text{phase-i}}$  – время работы прибора в режиме  $i$  за год в днях,

$\lambda_{\text{phase-i}}$  – частота отказов при работе в режиме  $i$ .

Для изделия состоящего из более мелких комплектующих используется формула

$$\lambda_{\text{product}} = \left( \sum_{\text{Item}} \lambda_{\text{item}} \right) \quad (3)$$

Где  $\lambda_{\text{item}}$  – частота отказов комплектующих

## 2. Вычисление $\lambda_{\text{Physical}}$

$\lambda_{\text{Physical}}$  вычисляется по формуле

$$\lambda_{\text{Physical}} = \left[ \sum_{\text{Physical\_Contributions}} (\lambda_0 \cdot \Pi_{\text{acceleration}}) \right] \cdot \Pi_{\text{induced}} \quad (4)$$

Где

$\lambda_0$  – начальная частота отказов

$\Pi_{\text{acceleration}}$  – факторы физической природы, ускоряющие износ оборудования

$\Pi_{\text{induced}}$  – дополнительный ускоряющий фактор

Ускоряющие факторы  $\Pi_{\text{acceleration}}$  бывают нескольких видов:

- Температурный  $\Pi_{\text{Thermal}}$
- Электрический  $\Pi_{\text{Electrical}}$
- Связанный с резким перепадом температур  $\Pi_{\text{Tcy}}$
- Механический  $\Pi_{\text{Mechanical}}$
- Связанный с влажностью  $\Pi_{\text{RH}}$
- Химический  $\Pi_{\text{Chemical}}$

3.1 Контролер оптического модуля НТ1000 подвержен влиянию температурного ускоряющего фактора и фактора связанного с влажностью.

Для вычисления температурного коэффициента ускорения используется закон Аррениуса:

$$AF = e^{\frac{E_a}{K_B} \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)} \quad (5)$$

Где

AF – температурный коэффициент ускорения,

$T_2$  – температура окружающей среды,

$T_1 = 20^{\circ}\text{C}$ ,

$E_a$  – энергия активации дефекта,

$K_B$  – постоянная Больцмана.

Для вычисления влажностного коэффициента ускорения используется формула

$$AF = \left( \frac{RH_{\text{ambient}}}{RH_0} \right)^P \times e^{11604 \times E_a \times \left[ \frac{1}{273 + T_0} - \frac{1}{(T_{\text{ambient}} + 273)} \right]} \quad (6)$$

Где

AF – влажностный коэффициент ускорения,

$RH_{\text{ambient}}$  - влажность окружающей среды,

$T_{\text{ambient}}$  – температура окружающей среды,

$T_0 = 20^{\circ}\text{C}$ ,

$RH_0 = 70\%$ ,

P – стрессовый коэффициент.

В случае расчета надежности контроллера оптического модуля необходимо дополнительно использовать формулу зависимости влажности воздуха от температуры:

$$RH_{final} = RH_{initial} \times e^{17.2694 \times \left[ \frac{T_{initial}}{238.3 + T_{initial}} - \frac{T_{final}}{238.3 + T_{final}} \right]} \quad (7)$$

$RH_{initial}$ ,  $RH_{final}$  – начальная и конечная влажность,

$T_{initial}$ ,  $T_{final}$  – начальная и конечная температура.

### 3.2 Вычисление $\Pi_{induced}$

Для вычисления  $\Pi_{induced}$  используется формула, содержащая различные дополнительные ускоряющие факторы при перенапряжениях:

$$\Pi_{induce-i} = \left( \Pi_{placement-i} \times \Pi_{application-i} \times \Pi_{ruggedising} \right)^{0,511 \times \ln(C_{sensitivity})} \quad (8)$$

Для вычисления данных ускоряющих факторов используется оценка условий эксплуатации оборудования и его характеристики. Для каждого из факторов в методологии FIDES приведена расчетная таблица.

	Relative sensitivity (mark out of 10)			$C_{sensitivity}$
	EOS	TOS	MOS	
Metal case, ceramic case, ceramic substrate	6	1	5	5.5
Glass-epoxy substrate with moulding	6	1	2	4.1
Glass-epoxy substrate without moulding	6	1	5	4.8

табл.1

В табл.1 указаны значения  $C_{sensitivity}$  для изделий в различных корпусах. В табл.2 значения  $\Pi_{placement}$  для аналоговых и цифровых устройств.

	$\Pi_{placement}$
Digital non-interface function	1.0
Digital interface function	1.3
Analogue low level non-interface function	1.2
Analogue low level interface function	1.5
Analogue power non-interface function	1.3
Analogue power interface function	1.8

табл.2

$\Pi_{application}$ : Table 1

Criterion	Description	Levels	Examples and comments	Weight Pos
User type in the phase considered	Represents the capability to respect procedures, facing operational constraints.	0: Favourable 1: Moderate 2: Unfavourable	The product use and the respect of rules are globally driven by: 0: quality constraints (Industrial) 1: cost of the product (general public) 2: success of the mission and operational context (military)  Quality, cost, mission constraints exist in all application types, but with different priority.	20
User qualification level in the phase considered	Represents the level of control of the user or the worker regarding an operational context	0: Favourable 1: Moderate 2: Unfavourable	0: Highly qualified 1: Qualified 2: Slightly qualified or with little experience  In some phases, the user to be considered is the person who does the maintenance or servicing	10
System mobility	Represents contingencies related to possibilities of the system being moved	0: Non-aggressive 1: Moderate 2: Severe	0: Few contingencies (fixed or stable environment) 1: Moderate contingencies 2: Severe contingencies, large variability (automobile)	4
Product manipulation	Represents the possibility of false manipulations, shocks, drops, etc .	0: Non-aggressive 1: Moderate 2: Severe	0: Not manipulated 1: Manipulation without displacement or disassembly 2: Manipulation with displacement or disassembly  The severe level should be adopted if maintenance on the product is possible in the phase considered	15
Type of electrical network for the system	Represents the level of electrical disturbance expected on power supplies, signals and electrical lines: power on, switching, power supply, connection/disconnection	0: Non-aggressive 1: Moderate 2: Severe	0: Undisturbed network (dedicated regulated power supply) 1: Slightly disturbed network 2: Network subject to disturbances (onboard network)  The network type is a system data but that can be broken down and related to specific products	4
Product exposure to human activity	Represents exposure to contingencies related to human activity: shock, change in final use, etc.	0: Non-aggressive 1: Moderate 2: Severe	0: Uninhabitable zone 1: Possible activity in the product zone 2: Normal activity in the product zone  The product can be exposed to human activity even if it is not handled itself during normal use	8
Product exposure to machine disturbances	Represents contingencies related to operation of machines, engines, actuators: shock, overheating, electrical disturbances, pollutants, etc.	0: Non-aggressive 1: Moderate 2: Severe	0: Null (telephone) 1: Indirect exposure (product in compartment) 2: Strong or direct exposure (product in engine area)	3
Product exposure to the weather	Represents exposure to rain, hail, frost, sandstorm, lightning, dust	0: Non-aggressive 1: Moderate 2: Severe	0: Null (home) 1: Indirect exposure (compartment, station hall) 2: Outdoors (automobile engine)	2

табл.3



В табл. 3 приведены условия эксплуатации оборудования с множителями от 0 до 2 из которых нужно выбрать необходимые. Далее коэффициент  $\Pi_{\text{application}}$  вычисляется по формуле

$$\Pi_{\text{application}} = \frac{1}{66} \cdot \sum_{k=\text{Criteria}} P_{\text{marks}_k} \cdot P_{\text{os}_k} \quad (9)$$

Где  $P_{\text{marks}}$  – множитель из таблицы,  $P_{\text{os}}$  – весовой коэффициент.

Для контроллера оптического модуля:

$$C_{\text{sensitivity}} = 5.5,$$

$$\Pi_{\text{placement}} = 1.3,$$

$$\Pi_{\text{application}} = 1.2,$$

$$\Pi_{\text{Ruggedising}} = 1.7.$$

Поскольку оценка коэффициентов может быть не точна, в расчетах так же использовалось максимальное значение коэффициента  $\max(\Pi_{\text{application}}) = 10$ .

Используя формулу (8) получаем

$$\Pi_{\text{induced}} = 3.1$$

$$\max(\Pi_{\text{induced}}) = 20$$

### 3.3 Вычисление $\lambda_{\text{chip}}$

$\lambda_{\text{chip}}$  вычисляется по формуле

$$\lambda_{\text{chip}} = \lambda_{0\text{TH}} \times \Pi_{\text{Thermique}} + C_{\text{hermeticity}} \times \lambda_{0\text{RH}} \times \Pi_{\text{RH}} \quad (10)$$

Где

$\lambda_{0\text{TH}}$ ,  $\lambda_{0\text{RH}}$  – начальные частоты отказов, связанные с температурой и влажностью, зависящие от типа оборудования.

$C_{\text{hermeticity}}$  – коэффициент герметичности

$\Pi_{\text{Thermique}}$ ,  $\Pi_{\text{RH}}$  – температурный и влажностный коэффициенты ускорения

В контроллере оптического модуля используется микропроцессор S8051F124. Для него:

$$\lambda_{\text{OTH}} = 0.075,$$

$$\lambda_{\text{ORH}} = 0.21,$$

$$C_{\text{hermeticity}} = 0.5$$

Параметры окружающей среды:

$T_{\text{ambient}} = 10^{\circ}\text{C}$  – температура контроллера под водой,

$\text{RH}_{\text{initial}} = 20\%$  - влажность воздуха внутри сферы при ее герметизации,

$T_{\text{initial}} = 25^{\circ}\text{C}$  – температура при герметизации сферы.

Используя формулу (7) получаем

$\text{RH}_{\text{final}} = 51\%$  - влажность воздуха в сфере под водой.

Используя формулы (5), (6) получаем

$$\Pi_{\text{Thermique}} = 0.37, \Pi_{\text{RH}} = 0.07.$$

Далее используя формулу (10) получим  $\lambda_{\text{chip}} = 0.04$

### 3. Вычисление $\lambda$

Для вычисления общей частоты отказов  $\lambda$  используется формула

$$\lambda = \lambda_{\text{chip}} \Pi_{\text{induced}} \Pi_{\text{HMProcess}} \Pi_{\text{Process}} \Pi_{\text{PM}} \quad (11)$$

Оценка коэффициентов  $\Pi_{\text{HMProcess}}$ ,  $\Pi_{\text{Process}}$ ,  $\Pi_{\text{PM}}$  производится аналогично оценке  $\Pi_{\text{induced}}$ . В расчете использовались значения этих коэффициентов

рекомендованные в методике FIDES и максимальные значения для сравнения различий в результате:

$$\Pi_{\text{HMprocess}} = 2.5, \max(\Pi_{\text{HMprocess}}) = 4$$

$$\Pi_{\text{process}} = 4, \max(\Pi_{\text{process}}) = 8$$

$$\Pi_{\text{PM}} = 1.7, \max(\Pi_{\text{PM}}) = 2$$

Используя формулу (11) получаем

$$\lambda = 3.4 \text{ FIT}, \lambda_{\text{max}} = 90 \text{ FIT}$$

#### 4. Сравнение с экспериментальными данными

Частота отказов полученная при оценке по методологии FIDES соответствует отказу 0.001% контроллеров в год. На практике при функционировании телескопа НТ1000 отказывает примерно 1% контроллеров в год. Такое сильное расхождение можно объяснить наличием периода ранних отказов при работе оборудования.

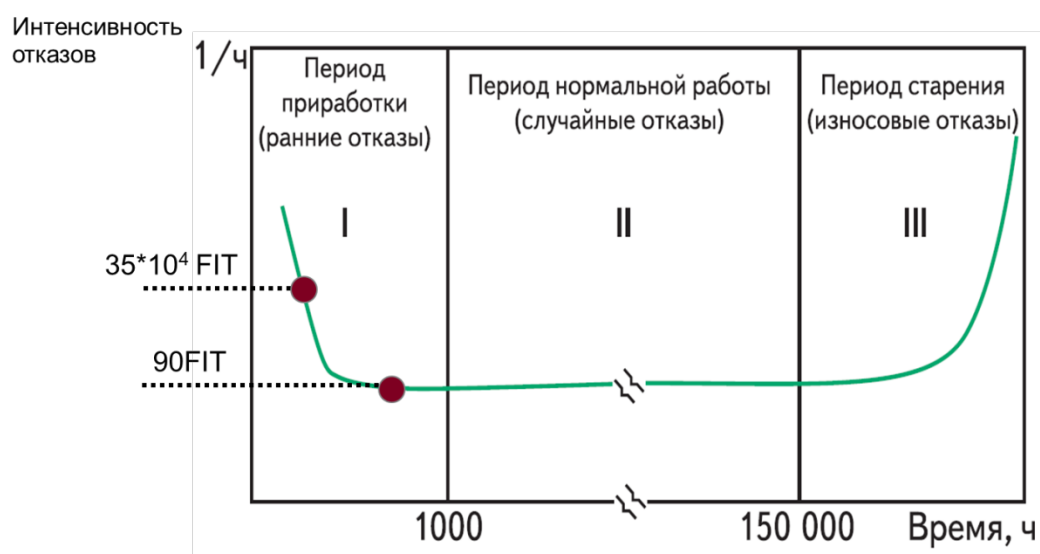


Рис.1

На рис.1 показана типичная зависимость интенсивности отказов от времени работы оборудования. График зависимости состоит из трех областей: области ранних отказов при приработке изделия, стабильной области и области износа. Оценка была проведена для стабильной области, характеризующейся низкой частотой отказов. На практике в телескопе используется новое оборудование, не прошедшее период приработки.

## **Заключение**

- В ходе проделанной работы была получена оценка частоты отказов контроллеров оптических модулей  $\lambda = 90FIT$
- Сильное различие оценочных и экспериментальных данных обусловлено наличием ранних отказов, которые не учитываются в оценочной модели. Для выявления таких отказов проводятся температурные испытания
- Полученная оценка не является окончательной. Для улучшения оценки нужно использовать параметры производства компонент, использовать схему контроллера
- В дальнейшем планируется по данной методике оценить надежность других электронных компонент телескопа НТ1000

## Список литературы

1. FIDES guide 2009 Edition A Reliability Methodology for Electronic Systems, September 2010. – 465 с.
2. Аврорин А. В. и др. Система сбора данных Байкальского нейтринного телескопа НТ1000 // Приборы и Техника Эксперимента. – 2014. – № 3. – С. 28-39.
3. Avrorin A. et al. Status of the BAIKAL-GVD project // Nucl. Instrum. and Methods in Phys. Res. A. – 2012.– Vol. 692. – P. 46-52.