

УДК 004.415.2

Л.И. Сулейманова, А.И. Ляхов

МЕТОДЫ УСКОРЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ НА НАДЕЖНОСТЬ ПРИБОРОВ, УСТРОЙСТВ И МОДУЛЕЙ АСУ ВМФ

Сулейманова Лилия Ирфановна, кандидат технических наук, окончила энергетический факультет Ульяновского государственного технического университета. Ведущий инженер-конструктор ФНПЦ ОАО «НПО «Марс». Область интересов – вопросы надежности приборов и устройств. E-mail: suleimanova.lili@mail.ru

Ляхов Александр Иванович, окончил радиотехнический факультет Ульяновского политехнического института. Главный специалист ФНПЦ ОАО «НПО «Марс». Имеет статьи и изобретения по вопросам контроля и диагностирования аппаратных средств и информационно-управляющих систем. E-mail: mars@mv.ru

Аннотация

В статье обобщаются методы ускорения контрольных испытаний на безотказность за счет использования форсирующих факторов, ускоряющих деградацию изделия, а также уменьшения подтвержденного показателя надежности путем его пересчета аппроксимацией оценочного показателя (ОП) наработки между отказами по величине интенсивности появления неисправностей в период испытаний.

Abstract

The article summarizes methods of fail-safety test speeding-up using speedup factors intensifying device degradation as well as decrease of fail-safety factor to be verified using approximation recalculation of test factor for operating time between failures according to value of fault rate within test time.

1 Постановка задачи

Сложность и важность задач, решаемых с помощью современных изделий (приборов, модулей, устройств), заставляют предъявлять к их надежности весьма высокие требования.

Для определения соответствия изделий предъявляемым требованиям необходимо проведение продолжительных испытаний, что для современных изделий становится проблемой, т.к. требуется длительное время и существенные экономические затраты.

Перечисленные затруднения являются не только естественной причиной поиска ускоренных методов испытаний, но и прямым требованием к проектировщику [1].

Ускорение испытаний может быть достигнуто за счет форсирования (ужесточения) режимов функционирования повышением температуры, токовых ударов включения/отключения питания изделия, а также за счет пересчета времени испытания на основе экстраполяции по наработке [1]. Экстраполяция реализуется установлением соответствия между оцениваемым показателем (наработкой) и, так называемым, первичным фактором (ПФ) (термин авторов), за которым может вероятностно последовать отказ изделия при испытаниях. Между ускоренными испытаниями и испытаниями в нормальных условиях должно быть найдено соответствие через коэффициенты ускорения испытаний [1].

Точность определения коэффициентов ускорения, соответственно и показателей безотказности, по результатам ускоренных испытаний зависит от объема имеющейся информации о надежности изделия в эксплуатации и при испытаниях.

Основное требование, предъявляемое к ускоренным испытаниям, – идентичность процессов деградации (износа) по отношению к испытаниям в нормальных условиях, т.е. идентичность законов распределения отказов в условиях испытаний.

Оценочные показатели по наработке экстраполируются по интенсивности появления неисправности в период испытаний (первичный фактор для возникновения отказа) на основе модели отказов. По этой модели определяется пересчетный коэффициент для расчета времени испытаний. Отсутствие за установленное время контрольных испытаний первичного фактора, способствующего возможности появления отказа, исключает наступление главного события (самого отказа), но позволяет оценивать надежность испытываемого изделия. В модели такого типа коэффициент пересчета (КП) определяется зависимостью

$ОП \equiv f$ (времени появления или отсутствия ПФ)

в виде

$$ОП = КП \times ПФ.$$

В общем виде ускоряющими факторами испытаний, раскрываемыми в данной работе, являются:

- форсирующие деградационные процессы (температура, токовые удары включения/отключения питания изделия);
- пересчет времени испытаний – экстраполяция по модели отказа изделия, в котором предусматривается оперативный ремонт.

Время испытаний в соответствии с [1] и в зависимости от коэффициента ускорения определяется по формуле:

$$t_{исп} = \frac{|\ln \beta| \cdot T_{\beta}}{K_y}, \quad (1)$$

где T_{β} – браковочный уровень показателя безотказности. Принимается, как правило, равным значению, заданному в техническом задании (ТЗ), – T_0 ;

β – риск поставщика и заказчика;

K_y – коэффициент ускорения испытаний по всем ускоряющим факторам, который определяется по формуле:

$$K_y = K_T \cdot K_u \cdot K_p \cdot N, \quad (2)$$

где K_T – коэффициент ускорения по температуре;

K_u – коэффициент ускорения по частоте включения/отключения питания;

K_p – коэффициент ускорения испытания изделий с резервированием, уменьшающий подтверждаемое значение уровня безотказности;

N – число одновременно испытываемых образцов изделий.

Определение составляющей ускорения процесса деградации по частоте включения/отключения питания (K_u) производится на основе данных ГОСТ РВ 20.57.304 и подробно в данной работе не рассматривается.

2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА УСКОРЕНИЯ ЗА СЧЕТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ (K_T)

Расчет составляющей коэффициента ускорения испытаний при воздействии повышенной температуры (K_T) производится по анализу зависимости от температуры показателей безотказности, приведенных в справочных данных (в виде изменения интенсивности отказов) на электрорадиоизделия (ЭРИ), интегральные микросхемы (ИМС), полупроводниковые элементы (ППЭ) [2-12]. Графики зависимости наработки этих элементов от температуры представлены на рисунке 1.

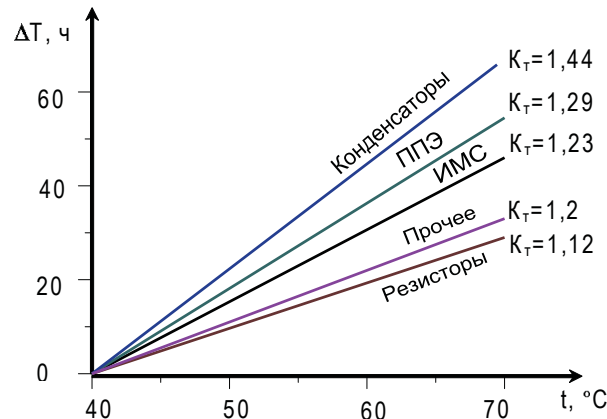


Рис. 1. Зависимость наработки ЭРИ и коэффициентов ускорения деградации от температуры

Для перехода к интегрирующему коэффициенту ускорения (он зависит от реального соотношения интенсивностей ЭРИ в изделиях) был проведен анализ соотношений численности этих элементов в изделиях предприятия. Весовые коэффициенты интенсивностей ЭРИ, применяемых в изделиях предприятия, распределяются в соответствии с рисунком 2.

Для перехода к усредненному коэффициенту ускорения (усредняющее соотношение элементов ЭРИ по изделию) в пересчете на каждые 10°C использовалась следующая формула:

$$K_T = \sqrt[3]{\frac{[\sum \lambda_C + \sum \lambda_R + \sum \lambda_{ППЭ} + \sum \lambda_{ИМС} + \sum \lambda_{прочее}]_{t=70^{\circ}\text{C}}}{[\sum \lambda_C + \sum \lambda_R + \sum \lambda_{ППЭ} + \sum \lambda_{ИМС} + \sum \lambda_{прочее}]_{t=40^{\circ}\text{C}}}} \quad (3)$$

В соответствии с (3) интенсивность отказа для изделий предприятия с увеличением температуры на каждые 10°C увеличивается в 1,23 раза.

Вышеприведенный анализ позволяет вывести формулу для определения коэффициента ускорения K_T в зависимости от температуры (в диапазоне от $+40^{\circ}\text{C}$ до $+90^{\circ}\text{C}$) для указанного типа изделий:

$$K_T = 1,23^{\frac{t-20}{10}}, \quad (4)$$

где t – воздействующая температура (при условии, что для нормальных климатических условий температура равна $+20^{\circ}\text{C}$).

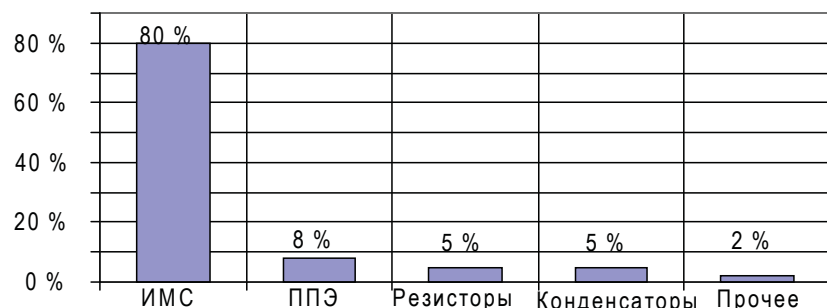


Рис. 2. График распределения весовых коэффициентов ЭРИ для изделий предприятия и их составных частей (приборов)

3 МЕТОДИКА ПЕРЕСЧЕТА ВРЕМЕНИ ИСПЫТАНИЙ ПРИ НАЛИЧИИ В ИЗДЕЛИИ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ

Возможность ускорения испытаний резервируемых изделий по [1] реализуется на основе пересчета (уменьшения) подтверждаемого показателя наработки на отказ. Наиболее очевидным для перерасчета является изделие с общим резервированием в соответствии с рисунком 3.

Другие методы резервирования рассмотрены в [13.]

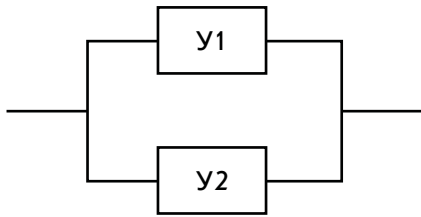


Рис. 3. Надежная схема изделия, имеющего полный резерв

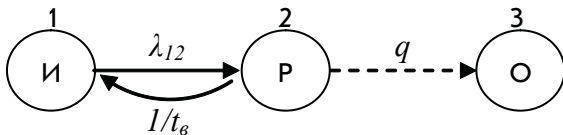
Перерасчет подтверждаемого значения показателя безотказности, заданного в ТЗ, реализуется за счет оперативного восстановления, т.е. ремонта за ограниченное время t_6 , что резко увеличивает показатель безотказности изделия.

В методике в качестве показателя ремонтнопригодности, влияющего на подтверждаемый показатель безотказности, берется сумма «чистого» среднего времени восстановления (СВВ), а также дополнительных организационных затрат ($t_{доставки}$ – время доставки исправного сменного модуля из ЗИП изделия). С учетом этого, в качестве среднего времени восстановления должно приниматься суммарное значение:

$$t_6 = СВВ + t_{доставки} \quad (5)$$

В приведенном ниже примере оценки коэффициента ускорения принимаются значения по ТЗ:

- СВВ, равное 0,33-0,5 часа;
- $t_{доставки}$, равное значению от 0,5 до 1,5 часа (в наихудшем для производителя изделия случае).



И – изделие исправно (вероятностное пребывание изделия в вершине 1);

Р – одно из взаиморезервируемых устройств отказало, и на нем проводится ремонт за время восстановления (t_6), возвращающее изделие в состояние «И» (вероятностное пребывание изделия в вершине 2);

О – отказ изделия (с вероятностью q перехода изделия в вершину 3 из состояния «Р»)

Рис. 4. Графическая модель безотказности изделия

Графической моделью безотказности изделия с полным резервом является граф переходов состояний в соответствии с рисунком 4.

В соответствии с графической моделью изделия, имеющего полный резерв, следует, что переход в состояние «Р» произойдет при появлении одной из неисправностей в составе узлов (первичный фактор). Соответственно, интенсивность перехода (λ_{12}) из вершины 1 в вершину 2:

$$\lambda_{12} = \sum \lambda_i \quad (6)$$

где λ_i – интенсивности отказов i -ых устройств всех взаиморезервируемых узлов изделия.

В состоянии «Р» должен выполняться оперативный ремонт, т.е. замена отказавшего узла на исправный из ЗИП за время t_6 , которое должно учитывать и организационные потери (время доставки сменного узла из ЗИП). При этом вероятность возможного отказа второго устройства (за время t_6) оценивается как

$$q = 1 - e^{-t_6 \cdot \lambda_{12} \cdot 0,5} \quad (7)$$

где t_6 – общее время восстановления;

$\lambda_{12} \cdot 0,5$ – интенсивность отказа устройства без резерва, в условиях отсутствия резерва интенсивность отказов уменьшается в два раза.

Наступление возможного отказа изделия произойдет в среднестатистическом вероятностном значении через « n » циклов перехода из состояния «И» в состояние «Р» и наоборот. При этом « n » можно определить из равенства:

$$\sum_{i=1}^n q_i = 1 \text{ или } n \cdot q = 1, \quad (8)$$

т.е.

$$\left(1 - e^{-t_6 \cdot \lambda_{12} \cdot 0,5} \right) \cdot n = 1. \quad (9)$$

Учитывая, что $t_6 \ll \frac{1}{\lambda_{12}}$, выражение (9) можно представить в виде:

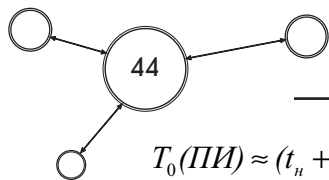
$$0,5 \cdot t_6 \cdot \lambda_{12} \cdot n \leq 1. \quad (10)$$

Соответственно число циклов ремонта « n », при котором произойдет отказ:

$$n \leq \frac{t_n}{0,5 t_6} = \frac{2 t_n}{t_6}, \quad (11)$$

где t_n – периодичность появления неисправностей (обратное λ_{12}), переводящих модель из вершины 1 (все исправно) в вершину 2 (есть неисправность, и испытываемое изделие осталось без резерва).

Исходя из этого представления о наступлении события, приводящего к отказу изделия, определяется величина времени, эквивалентная достигнутому на испытаниях значению наработки на отказ ($n=1$), в виде:



$$T_0(ПИ) \approx (t_n + t_g) \frac{t_n}{0,5t_g} \quad (12)$$

Учитывая, что t_g в наихудшем случае (с потерями) равно 1,5-2 часа, что значительно меньше t_n , наработку на отказ можно принять равной:

$$T_0(ПИ) \approx (t_n + t_g) \frac{t_n}{0,5t_g} = \frac{2t_n^2}{t_g} \quad (13)$$

В случае задания показателя наработки в ТЗ $T_0(TЗ)$, пересчитываемого в $t_{усн}$ по формуле (1), должно выполняться неравенство:

$$T_0(ПИ) \geq t_{усн} \quad (14)$$

Учитывая выражение (13), получим

$$t_{усн} \leq \frac{2t_n^2}{t_g} \quad (15)$$

Соответственно, по наблюдаемой (в процессе испытаний на надежность) максимально допустимой периодичности возникновения неисправностей получаем:

$$t_{n \max} \geq \sqrt{t_{усн} \cdot t_g} \cdot 0,5 \quad (16)$$

Далее данное значение, при испытаниях резервируемых устройств с оперативным ремонтом, рассматривается как минимизирующий критерий соответствия изделия требованиям ТЗ по безотказности. Это означает, что если при определении плана испытания значение r_{np} (предельное число событий, эквивалентных понятию «отказ изделия», для рассматриваемого случая $r_{np} = I$) наступило, изделие сходит с испытаний. Соответственно, при появлении неисправности ранее величины, вычисленной по формуле (16), должен делаться вывод о несоответствии изделия требованиям ТЗ. С другой стороны, одновременно $t_{n \max}$ эквивалентно, с учетом фактора ускорения, установленному времени испытаний $t_{усн}$, что позволяет закончить испытания по достижении этого времени и при отсутствии неисправностей.

Из критерия (16) коэффициент ускорения испытаний при общем резервировании равен

$$K_p = \frac{t_{усн}}{t_{n \max}} \approx \frac{t_{усн}}{\sqrt{t_{усн} \cdot t_g} \cdot 0,5} \quad (17)$$

Например, для изделия с $T_0(TЗ)=10000$ (по [2] время испытания 23000 часов) время восстановления с учетом организационных потерь $t_g=1,5$ ч, риск заказчика $\beta \leq 0,1$, $t_{n \max} \geq 131$ ч, т.е. значение $K_p=175$.

Для изделия без резерва или с частичным резервом $K_p=1$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В соответствии с данным подходом на предприятии разработана унифицированная методика испытаний на безотказность для модулей, устройств, приборов, рассчитанных на работу в условиях групп аппаратуры 1.1, 1.2.1, 1.2.2, 1.2.3, 1.4.1, 2.1.1, 2.1.3.

2. Учитывая значимость t_g для обеспечения проведения испытаний на безотказность изделия, до их проведения должны быть проведены испытания на его ремонтпригодность. Этот вид испытаний должен подтвердить значение времени восстановления (t_g), заданное в ТЗ, или определить его величину в испытаниях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- РД 50-424-83. Методические указания. Надежность в технике. Ускоренные испытания. Основные положения. - М., 1984 г.
- ТУ16-02 ИДЖК.432312.011ТУ. Диоды кремниевые выпрямительные на токи 10 и 25 А. Технические условия.
- ТУ16-729.192-81. Диоды на токи от 100 до 400А. Диоды лавинные на токи 200 и 320А. Технические условия.
- аАО.339.557ТУ. Транзисторы. Технические условия (2Т818 2 и 2Т819 2).
- ГЕО.364.126ТУ. Соединители типов 2РМ, 2РМТ, 2РМД, 2РМДТ. Технические условия.
- РЮМК.430420.010ТУ. Соединители (вилки, розетки) типа СНП 333. Технические условия.
- АЕЯР.432140.328ТУ. Транзисторы. Технические условия (2Т3108).
- БКО.347.243ТУ. Микросхемы интегральные серии 537, Н537. Технические условия.
- ОЖО.460.107ТУ. Конденсаторы керамические К10-17. Технические условия.
- ОЖО.460.174ТУ. Конденсаторы керамические К10-47. Технические условия.
- ЯЛЯР.434110.002ТУ. Резисторы постоянные непроволочные Р1-16, Р1-16П. Технические условия.
- ОЖО.467.419ТУ. Наборы резисторов НР I-20. Технические условия.
- Ляхов А.И. Об одном подходе к проведению контрольных испытаний АСУ на безотказность // Автоматизация процессов управления. - 2005. - № 1(5). - С. 62-66.