

О СЕРТИФИКАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЯХ НА НАДЕЖНОСТЬ

Abstract: It is shown, that at carrying out certified fail-safe tests it is recommended to use diffusion distributions, as the most suitable theoretical functions of distribution of refusals. Techniques of definition of volumes of tests are presented, to reliability (confidential probability and a ratio error) on the basis of use diffusion distributions.

Key words: reliability, certified tests, confidential probability, a ratio error.

Анотація: Показано, що при проведенні сертифікаційних випробувань на надійність рекомендуються використовувати дифузійні розподіли як найбільш підходящі теоретичні функції розподілу відмов. Представлено методики визначення обсягів випробувань, вірогідності (довірчої ймовірності й відносної помилки) на основі використання дифузійних розподілів.

Ключові слова: надійність, сертифікаційні випробування, довірна ймовірність, відносна помилка.

Аннотация: Показано, что при проведении сертификационных испытаний на надежность рекомендуются использовать диффузионные распределения как наиболее подходящие теоретические функции распределения отказов. Представлены методики определения объемов испытаний, достоверности (доверительной вероятности и относительной ошибки) на основе использования диффузионных распределений.

Ключевые слова: надежность, сертификационные испытания, доверительная вероятность, относительная ошибка.

1. Введение

Научно-технический прогресс, обеспечивая создание совершенной техники, выдвигает как одну из главных современных проблем развития науки и техники проблему обеспечения ее высокого качества и надежности. Надежность – важнейший технико-экономический показатель качества продукции и эксплуатирующейся техники, во многом определяющий размер потерь в экономике от эксплуатации техники, технический уровень и конкурентоспособность продукции любой страны. Одной из важных целей, решаемых в результате обеспечения высокой надежности оборудования опасных производств (АЭС, крупное химическое производство, газо- и нефтепроводы и др.), представляется недопущение катастроф с человеческими жертвами и тяжелыми экологическими последствиями.

Сертификация как один из правовых механизмов является важным рычагом управления качеством и надежностью продукции. Основной целью сертификации является недопущение реализации продукции, которая несет опасность для жизни, здоровья и имущества населения, окружающей среды и не отвечает обязательным требованиям нормативных документов. Одним из основных принципов сертификации является проведение независимой оценки характеристик продукции, технологических процессов и систем качества третьей стороной, которая не входит в организационную структуру изготовителя и потребителя. В Украине уже много лет эффективно работает государственная система сертификации УКРСЕПРО, которая регулирует соответствие обязательным требованиям по безопасности продукции. Представляется, что, наряду с обязательной сертификацией, необходимо внедрять добровольную сертификацию продукции на соответствие требуемым показателям надежности, которая будет способствовать повышению качества, надежности и безопасности продукции.

2. Требования к сертификационным испытаниям на надежность

Сертификация продукции на соответствие требуемым показателям надежности предусматривает решение следующих задач:

- выявление наиболее эффективных моделей надежности;
- разработка научно-методологических основ, совершенствование современных методов расчета и прогнозирования надежности;
- выявление наиболее эффективных планов определительных и контрольных испытаний на надежность.

В настоящей работе рассматриваются вопросы сертификационных испытаний на надежность с целью оценки средних показателей надежности объектов.

Одним из важных требований к методикам экспериментальной оценки показателей надежности при сертификационных испытаниях является определение достоверности получаемых результатов (доверительной вероятности q и относительной ошибки δ). В случае сертификационных испытаний на надежность показатели достоверности должны быть достаточно высокими. Рекомендуемые значения доверительной вероятности q из ряда 0,90; 0,95; 0,98; 0,99.

Предельную относительную ошибку δ , учитывая специфику объектов, рекомендуется принимать из ряда 0,1; 0,2; 0,3; 0,4.

Необходимо отметить, что существующие (гостированные) методики оценки показателей надежности по статистическим данным об отказах объектов требуют значительной статистики отказов, которой, как правило, не бывает. Исследователям необходимо производить оценки и прогнозировать показатели надежности объектов в условиях ограниченной статистики отказов. В этих условиях ориентация на статистические методы оценки показателей надежности объектов, к которым предъявляются высокие требования по надежности и безопасности, неприемлема.

В последние годы все большее распространение получают вероятностно-физические модели надежности [1, 2] (диффузионные распределения), вытекающие из анализа физических процессов деградации, приводящих к отказу. Диффузионные распределения как вероятностно-физические модели надежности имеют большое преимущество перед строго вероятностными моделями в том, что их параметры могут быть оценены как на основе статистики отказов (в этом случае они рассматриваются как строго вероятностные модели), так и на основании анализа статистических характеристик физического процесса, приводящего к отказу, а также при совместном использовании статистической информации обоих типов. Как известно, решение основных задач надежности (как при априорных, так и апостериорных методах) в конечном итоге сводится к оценке параметров распределения искомой величины (наработки до отказа, на отказ, ресурс и т.д.). Следует отметить, что важнейшим фактором, способствующим решению разнообразных задач надежности при использовании диффузионных распределений, является то, что параметр формы этих распределений представляет собой обобщенную характеристику изучаемых взаимобратимых процессов (процесса разрушения и распределения наработки) – коэффициент вариации. А коэффициент вариации как обобщенная характеристика с достаточной для инженерной практики точностью может быть оценен априори на основании многочисленных

(многодесятилетних) исследований как процессов разрушений (прочности, усталости, изнашивания и др.), так и статистических данных об отказах при испытаниях и эксплуатации изделий-аналогов.

К настоящему времени проведены достаточно широкие исследования по сравнительному анализу существующих моделей надежности [1, 2, 3]. На основании выравнивания значительного количества данных отказов самых различных объектов показано, что диффузионные распределения (DM и DN) являются более гибкими функциями, лучше выравнивающими опытные данные по сравнению с известными двухпараметрическими моделями (Вейбулла, логарифмически нормальным, гамма-распределением, альфа-распределением и др.). Кроме того, диффузионные распределения представляются довольно простыми функциями, имеющими простые выражения для разнообразных оценок своих параметров, а также для всех основных показателей надежности. В частности, диффузионные распределения гораздо проще и удобнее при использовании по сравнению с двухпараметрическими моделями. Установлено [1, 2], что использование двухпараметрических вероятностно-физических моделей отказов (диффузионных распределений) при исследовании надежности технических объектов приводит к следующим результатам: к повышению точности оценок показателей надежности технических систем при расчете на основе более адекватных двухпараметрических моделей отказов; при экспериментальной оценке (или в результате наблюдений в процессе эксплуатации) приводит к существенному сокращению объема испытаний или объема наблюдений (уменьшению количества испытываемых образцов на 30-50% для заданной достоверности и точности), а также к повышению точности оценок показателей надежности.

Ниже представлены методики определения объема испытаний, доверительной вероятности, относительной ошибки на основе использования наиболее адекватных вероятностно-физических моделей отказов.

3. Определение объема испытаний для оценки среднего выборочного значения наработки до отказа (на отказ) или параметра масштаба диффузионного распределения

Установим связь объема испытаний (n – числа наработок до отказа (на отказ) образцов) с доверительным интервалом (доверительной вероятностью q и соответствующим значением относительной ошибки δ) для статистики типа «выборочное среднее» (или параметра масштаба диффузионных распределений μ) при допущении о том, что параметр формы ν (коэффициент вариации) известен.

Рассмотрим процедуру решения поставленной задачи, когда принимается гипотеза о том, что в качестве теоретической модели распределения наработки до отказа (между отказами) является DM -распределение

$$F(t) = DM(t; \mu, \nu) = \Phi\left(\frac{t - \mu}{\nu \sqrt{\mu t}}\right),$$

где $DM(t; \mu, \nu)$ – принятое обозначение функции DM -распределения, $\Phi(\cdot)$ – функция нормированного нормального распределения, μ – параметр масштаба распределения, ν – параметр формы распределения, совпадающий с коэффициентом вариации.

На основании свойств диффузионных распределений [1, 2] выборочное среднее $S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i$ DM -распределенных случайных величин описывается DM -распределением вида

$$F(S) = DM\left(t; S, \frac{\nu}{\sqrt{n}}\right) = \Phi\left(\frac{t - S}{\nu\sqrt{tS/n}}\right). \quad (1)$$

Статистика типа S является достаточной для оценки целого ряда показателей надежности (средней наработки до отказа, средней наработки на отказ, среднего ресурса, среднего времени восстановления и др.), а также параметра масштаба μ диффузионных распределений.

Квантили уровня q случайной величины S определяются для DM -распределения в следующем виде (где \tilde{S} – выборочное среднее значение):

$$S_q = \tilde{S} \left(1 + \frac{\nu^2 U_q^2}{2n} + \frac{\nu U_q}{2n} \sqrt{4n + \nu^2 U_q^2} \right). \quad (2)$$

Доверительный интервал (Δ) значений статистики S , соответствующий принятым значениям q и n , определяется следующим образом:

$$\Delta = S_B - S_H = S_q - S_{1-q},$$

где S_B, S_H – верхняя и нижняя граничные оценки статистики.

Используя соотношение (2), получаем

$$\Delta = \frac{\tilde{S} \nu U_q}{n} \sqrt{4n + \nu^2 U_q^2}.$$

Переходя к относительной ошибке, получаем

$$\delta = \frac{\Delta}{\tilde{S}} = \frac{\nu U_q}{2n} \sqrt{4n + \nu^2 U_q^2}.$$

Из последнего выражения определяется необходимый объем наблюдений при заданных требованиях по достоверности (q) и точности (δ):

$$n = \left(\frac{\nu U_q}{\delta} \right)^2 \frac{(1 + \sqrt{1 + \delta^2})}{2}. \quad (3)$$

Формула (3) является основной, устанавливающей объем наблюдений для задаваемых требований по достоверности и точности оценок показателей надежности, если в качестве теоретической модели отказов принимают диффузионные распределения.

4. Определение показателей достоверности по результатам испытаний (наблюдений в процессе эксплуатации)

На практике имеет место ситуация, когда при эксплуатации оборудования осуществляются наблюдения с фиксированием отказов за определенный период эксплуатации и возникает задача оценки доверительной вероятности и относительной ошибки получаемых оценок показателей надежности. В этом случае относительная ошибка оценки рассматриваемого показателя надежности, например, средней наработки на отказ вычисляется по следующей формуле:

$$\delta = \max \left\{ \left(\frac{\tilde{T}_{cp} - T_{cp}}{\tilde{T}_{cp}} \right); \left(\frac{\bar{T}_{cp} - \tilde{T}_{cp}}{\tilde{T}_{cp}} \right) \right\}.$$

Используя соотношение (3), можно вычислить значение доверительной вероятности q , если известны значения n, ν, δ . В начале вычисляют значение U_q по формуле

$$U_q = \frac{\delta}{\nu} \sqrt{\frac{2n}{1 + \sqrt{1 + \delta^2}}},$$

а затем из таблиц нормированного нормального распределения определяют значение q .

Можно также вычислить значение q непосредственно по следующей формуле:

$$q = \frac{\sqrt{n}}{2\nu\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{S_q} \frac{(t+S)}{t\sqrt{St}} \exp\left[-\frac{n(t-S)^2}{2\nu^2 St}\right] dt = \Phi\left(\frac{S_q - S}{\nu\sqrt{S S_q/n}}\right) = \Phi\left(\frac{\delta\sqrt{n}}{\nu\sqrt{1+\delta^2}}\right).$$

5. Определение объема испытаний для оценки коэффициента вариации наработки до отказа (на отказ) или параметра формы диффузионных распределений

Параметр формы диффузионных распределений представляет собой коэффициент вариации первичной статистики. Физическая интерпретация параметра формы позволяет, используя априорную и апостериорную информацию об аналогах, построить закон распределения этой статистики и оценить его значение ввиду достаточной устойчивости данной обобщенной характеристики.

Используя универсальный характер диффузионных распределений, в частности, тот факт, что DM -распределение случайной величины сохраняет вид до константы при описании распределения обратной величины, можно полагать, что статистика типа ν (коэффициент вариации $\tilde{\nu} = \frac{\tilde{\sigma}}{\tilde{S}}$, здесь $\tilde{\sigma}$ и \tilde{S} – выборочные среднеквадратическое отклонение и среднее значение) также описывается распределением вида $DM(\nu; \tilde{\nu}, V_\nu)$. В последнем выражении обозначено V_ν – коэффициент вариации коэффициентов вариации.

Используя известные соотношения [4], можно выразить значение V_ν через коэффициент вариации первичной статистики V в следующем виде:

$$V_v = \sqrt{\frac{1+2v^2}{2n}}.$$

Таким образом, можно записать выражение для закона распределения коэффициента вариации (параметра формы) в следующем виде:

$$F(v) = DM\left(v; \tilde{v}, \sqrt{\frac{1+2\tilde{v}^2}{2n}}\right) = \Phi\left(\frac{v - \tilde{v}}{\sqrt{\frac{v\tilde{v}(1+2\tilde{v}^2)}{2n}}}\right). \quad (4)$$

Из последнего выражения определяются граничные оценки параметра v :

$$v_u = \tilde{v} \left\{ 1 + \frac{(1+2\tilde{v}^2)U_q^2}{4n} - \frac{U_q}{4n} \sqrt{(1+2\tilde{v}^2)[8n+(1+2\tilde{v}^2)U_q^2]} \right\},$$

$$v_s = \tilde{v} \left\{ 1 + \frac{(1+2\tilde{v}^2)U_q^2}{4n} + \frac{U_q}{4n} \sqrt{(1+2\tilde{v}^2)[8n+(1+2\tilde{v}^2)U_q^2]} \right\}.$$

Следовательно, относительная ошибка в этом случае имеет выражение

$$\delta = \frac{U_q}{4n} \sqrt{(1+2\tilde{v}^2)[8n+(1+2\tilde{v}^2)U_q^2]}. \quad (6)$$

Таким образом, необходимый объем испытаний (наблюдений) при заданных требованиях по достоверности (q) и точности (δ) для оценки коэффициента вариации (параметра формы диффузионных распределений) определяется по формуле

$$n = \frac{(1+2v^2)U_q^2}{4\delta^2} \left(1 + \sqrt{1+\delta^2}\right). \quad (7)$$

Сопоставляя формулы (3) и (7), можно увидеть, что при одних и тех же заданных требованиях (q, δ) объем испытаний для оценки коэффициента вариации (при ожидаемом, например, $v = 1$) в 1,5 раза больше, чем необходимый объем испытаний для оценки среднего выборочного.

Аналогично вышеприведенному, используя соотношение (7), можно вычислить значение доверительной вероятности q , если известны значения n, v, δ . В начале вычисляют значение U_q по формуле

$$U_q = \frac{2\delta}{v} \sqrt{\frac{n}{(1+\sqrt{1+\delta^2})(1+2v^2)}},$$

а затем из таблиц нормированного нормального распределения определяют значение q .

6. Заключение

Показано, что наиболее подходящей теоретической функцией распределения отказов представляются диффузионные распределения, которые рекомендуется использовать при

проведении сертификационных испытаний на надежность. Представлены методики оценки объемов испытаний, определения достоверности (доверительной вероятности и относительной ошибки) на основе использования диффузионных распределений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Погребинский С.Б., Стрельников В.П. Проектирование и надежность многопроцессорных ЭВМ. – М.: Радио и связь, 1988. – 168 с.
2. Стрельников В.П., Федухин А.В. Оценка и прогнозирование надежности электронных элементов и систем. – К.: Логос, 2002. – 486 с.
3. ГОСТ 27.005-97. Надежность в технике. Модели отказов. Основные положения. – Введ. 01.01.99. – 43 с.
4. Хальд А. Математическая статистика с техническими приложениями / Пер. с англ.; Под ред. Ю.В. Линника. – М.: ИЛ, 1956. – 664 с.

Стаття надійшла до редакції 22.01.2008