

К ОЦЕНКЕ ДОСТОВЕРНОСТИ ПРИ СЕРТИФИКАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЯХ НА НАДЕЖНОСТЬ

Анотація. Представлені методики визначення достовірності (довірчої ймовірності та відносної помилки) на основі результатів випробувань (спостережень у процесі експлуатації) при використанні дифузійних розподілів.

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

Аннотация. Представлены методики определения достоверности (доверительной вероятности и относительной ошибки) на основе результатов испытаний (наблюдений в процессе эксплуатации) при использовании диффузионных распределений.

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

Abstract. Presented methods for determining the reliability (confidence level and relative error) based on the results of tests (observation during operation) by using diffusion distributions.

Keywords: reliability, certification test, confidence level, the relative error.

1. Введение

Сертификация как один из правовых механизмов является важным рычагом управления качеством и надежностью продукции. Сертификация продукции на соответствие требуемым показателям надежности предусматривает использование наиболее эффективных планов определительных и контрольных испытаний на надежность. 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, и они обязательно устанавливаются и указываются.

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 работе [1] показано, что при проведении сертификационных испытаний на надежность рекомендуется использовать диффузионные распределения как наиболее подходящие теоретические функции распределения отказов. 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, так и на основании анализа статистических характеристик физических процессов, приводящих к отказам, а также при совместном использовании статистической информации обоих типов. Следует отметить, что важнейшим фактором, способствующим решению задач надежности при использовании диффузионных распределений, является то, что параметр формы этих распределений представляет собой обобщенную характеристику изучаемых взаимобратимых процессов (процесса разрушения и распределения работки) – 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.

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

На практике имеет место ситуация, когда при эксплуатации оборудования осуществляются наблюдения с фиксированием отказов за определенный период эксплуатации без предварительного планирования испытаний (наблюдений), т.е. определения необходимого числа отказов и продолжительности испытаний (наблюдений), и возникает задача оценки достоверности (доверительной вероятности и относительной ошибки) получаемых оценок показателей надежности. Исходными данными для оценки достоверности являются: ν – коэффициент вариации процесса деградации, приводящего к отказу (коэффициент вариации наработки до отказа); n – число зафиксированных отказов.

Поставленная задача решается следующим образом. На основании анализа физических процессов деградации, приводящих к отказам исследуемого объекта (системы), и используя соответствующие таблицы рекомендуемых оценок коэффициентов вариации [2, 3], устанавливается значение ν . При этом доверительная вероятность оценки параметра ν по рекомендуемым таблицам превышает $q_1 \geq 0,9$, поскольку данные этих таблиц основаны на использовании множества выборок экспериментальных испытаний (наблюдений в процессе эксплуатации) разнообразных объектов за целый ряд десятилетий (1930–1990 годы), выполненных советскими и зарубежными исследователями.

Используя основную формулу, связывающую показатели доверительной вероятности (q), относительной ошибки (δ) и объема испытаний (n),

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

вычисляют значение доверительной вероятности q_2 (без учета доверительной вероятности q_1) из соотношения

$$\Phi(U_{q_2}) = q_2,$$

где $\Phi(*)$ – нормированное нормальное распределение; $U_{q_2} = \frac{\delta}{\nu} \sqrt{\frac{2n}{1 + \sqrt{1 + \delta^2}}}$.

Доверительная вероятность оценки показателей надежности равна $q = q_1 \cdot q_2$.

Пример. В результате наблюдения за эксплуатацией некоторой технической системы зафиксировано $n = 10$ отказов, на основании которых необходимо определить, в частности, среднюю наработку на отказ. На основании анализа процессов деградации (электрические, усталостные, старение) установлен коэффициент вариации процессов деградации и, следовательно, распределения наработки на отказ $\nu = 0,7$. Задаем значение относительной ошибки $\delta = 0,2$.

Вычисляем доверительную вероятность q_2 :

$$U_{q_2} = \frac{\delta}{\nu} \sqrt{\frac{2n}{1 + \sqrt{1 + \delta^2}}} = \frac{0,2}{0,7} \sqrt{\frac{2 \cdot 10}{1 + \sqrt{1 + 0,04}}} = 0,899.$$

Используя таблицы нормированного нормального распределения, по значению $U_{q_2} = z = 0,899$ из табл. А.4 [2] определяем $q_2 = 0,815$.

Таким образом, доверительная вероятность оценки показателей надежности для заданных условий ($n = 10, \delta = 0,2$) будет равна $q = q_1 \cdot q_2 = 0,9 \cdot 0,815 \cong 0,73$.

Рассмотрим решение другой задачи. На основании тех же результатов наблюдения ($n = 10$) необходимо определить относительную ошибку δ оценки показателей надежности для заданного значения доверительной вероятности, например, q (необходимое условие задаваемого значения $q \leq q_1$). Пусть задано значение доверительной вероятности $q = 0,73$.

$$\text{Вычисляем } q_2 = \frac{q}{q_1} = \frac{0,73}{0,9} = 0,81.$$

По значению $q_2 = 0,81$ из таблиц нормированного нормального распределения [2] определяют значение $U_{q_2} = 0,88$.

Далее вычисляют относительную ошибку по формуле [1]:

$$\delta = \frac{\nu U_{q_2}}{2n} \sqrt{4n + \nu^2 U_{q_2}^2} = \frac{0,7 \cdot 0,88}{2 \cdot 10} \sqrt{40 + (0,7 \cdot 0,88)^2} = 0,196 \cong 0,2.$$

3. Определение достоверности оценок показателей надежности при безотказных испытаниях (наблюдений)

Ситуация, когда в процессе испытаний или эксплуатации совокупности изделий за определенное время t_u отсутствуют отказы, представляется достаточно распространенной. Двухпараметрические диффузионные распределения, у которых один параметр – параметр формы, представляющий собой коэффициент вариации наработки (распределения отказов), может быть оценен достаточно точно априори, в таком случае диффузионные распределения превращаются практически в однопараметрическую функцию и имеют только один неизвестный параметр. Если функция распределения наработки до отказа имеет один неизвестный параметр, то, например, дополнительная информация об оценке нижней доверительной границы вероятности отсутствия отказа за определенное время для испытываемой совокупности изделий позволяет оценить этот неизвестный параметр.

Из теории вероятностей и математической статистики [4] известно, что нижняя граница вероятности отсутствия отказа за интервал испытаний (эксплуатации) t_u , если на испытании (эксплуатации) находилось N образцов и отказ не зафиксирован, может быть вычислена по формуле

$$\underline{P}(t_u) = \left(\frac{1-q}{2} \right)^{1/N},$$

где q – доверительная вероятность (задаваемая исследователем); N – число образцов, находящихся под наблюдением (значение $N > 4$).

Приравняв полученное численное значение $\underline{P}(t_u)$ теоретическому выражению вероятности безотказной работы за t_u , в виде диффузионного распределения с одним неизвестным параметром масштаба $\underline{\mu}$, вычисляют его. Далее, используя известные соотношения, вычисляют оценки $\tilde{\mu}$ и $\bar{\mu}$. Оценки параметра формы $\underline{\nu}$, $\tilde{\nu}$, $\bar{\nu}$ определяют из соответствующих таблиц [2].

Зная оценки параметров $(\underline{\mu}, \tilde{\mu}, \bar{\mu}, \underline{\nu}, \tilde{\nu}, \bar{\nu})$, можно вычислить относительную ошибку оценки показателей надежности для заданного значения доверительной вероятности q .

Например, если используют DM -распределение, то для $q = 0,8$; $N = 10$; $\tilde{\nu} = 0,7$ вычисляют относительную ошибку оценки, например, средней наработки до отказа (на отказ) по следующей формуле:

$$\delta = \tilde{\nu} U_q \sqrt{\frac{1}{N} + \frac{\tilde{\nu}^2 U_q^2}{4 N^2}} = 0,7 \cdot 0,842 \sqrt{\frac{1}{10} + \frac{(0,7 \cdot 0,842)^2}{400}} = 0,187.$$

4. Заключение

Показано, что при использовании диффузионных распределений наработки до отказа (на отказ) на основании некоторых статистических данных об отказах и при отсутствии данных об отказах совокупности идентичных образцов представляется возможным определить показатели достоверности получаемых оценок показателей надежности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стрельников П.В. О сертификационных испытаниях на надежность / П.В. Стрельников // Математичні машини і системи. – 2008. – № 2. – С. 147 – 151.
2. Стрельников В.П. Оценка и прогнозирование надежности электронных элементов и систем / В.П. Стрельников, А.В. Федухин. – К.: Логос, 2002. – 486 с.
3. ГОСТ 27.005-97. Надежность в технике. Модели отказов. Основные положения. – Введ. 01.01.99. – 43 с.
4. Судаков Р.С. Испытания систем: выбор объемов и продолжительности / Судаков Р.С. – М.: Машиностроение, 1988. – 445 с.

Стаття надійшла до редакції 07.07.2011