

УДК 519.246

Е.Ф. Генсницкая, В.С. Жмерев

Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ УСТАНОВЛЕНИИ МЕРЫ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Обсуждается возможность применения подхода к установлению меры неопределенности для показателей надежности восстанавливаемого оборудования АЭС в случае малых объемов данных об отказах. В основе подхода лежит идея использования имитационного моделирования при известной модели потока отказов.

Ключевые слова: неопределенность показателей надежности, имитационное моделирование.

Введение

Рекомендация INC-1 (1980) разработанная Рабочей группой по составлению отчета о неопределенностях, а также Рекомендация 1 (С1-1986) Международного Комитета Мер и Весов (МКМВ) предусматривает в тех случаях, когда речь идет о безопасности и здоровье, выражать меру неопределенности через интервал, в пределах которого находится большая часть значений, которые с достаточным основанием можно приписать измеряемой величине [1].

К таким случаям относится задача оценки показателей надежности оборудования АЭС, особенностью которой является малый объем исходных данных. В «Руководстве по выражению неопределенности измерения» эта особенность еще не нашла достаточно полного отражения [2].

В статье предлагается подход к выражению неопределенности, позволяющий непосредственно по результатам измерений (регистрации отказов) получить границы доверительного интервала как меры выражения неопределенности показателей надежности, опираясь на результаты имитационного моделирования потока отказов.

Получение интервала неопределенности с помощью имитационного моделирования

Рассмотрим задачу оценки неопределенности показателей надежности в следующей постановке.

Функционирование оборудования характеризуется случайной величиной T , представляющей значение интервала времени между двумя последовательными отказами. Вид закона распределения $F(t)$ для величины T известен [3]:

$$F(t) = P\{T < t\} = 1 - e^{-\frac{t}{T_0}}, \quad (1)$$

где T_0 – неизвестный параметр закона распределения (показатель надежности), имеющий смысл математического ожидания длительности t интервала

времени между последовательными отказами системы.

Необходимо выразить меру неопределенности измерения параметра T_0 путем определения границ доверительного интервала для заданной доверительной вероятности $P_{\text{дов}}$ по выборке

$$V_t = \{t_1, t_2, \dots, t_m\},$$

где t_i – длительность i -го интервала, полученная при наблюдении системы.

Для решения указанной задачи авторами использована идея имитационного (статистического) моделирования потока отказов.

При некотором произвольном значении параметра T_0 элементы t_i выборки формируются путем «разыгрывания» их значений на основе соотношения

$$t_i = -\ln(1 - r_i)T_0,$$

где r_i – случайная величина, равномерно распределенная в интервале $[0,1]$.

Для сформированной таким образом выборки вычисляется оценка параметра T_0 стандартной статистики

$$T_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i$$

и определяется относительная ошибка оценивания параметра:

$$\delta = \frac{T_s - T_0}{T_s}.$$

Формирование выборок повторяется N раз, что позволяет получить эмпирическое распределение $f(\delta)$, представленное гистограммой относительных частот. Вид гистограммы с переменной шириной интервалов показан на рис. 1.

Переменная ширина интервала выбрана с целью более точного определения границ доверительного интервала. При этом на краях гистограммы ширина интервалов выбирается малой, а центральной части гистограммы соответствуют интервалы большой ширины.

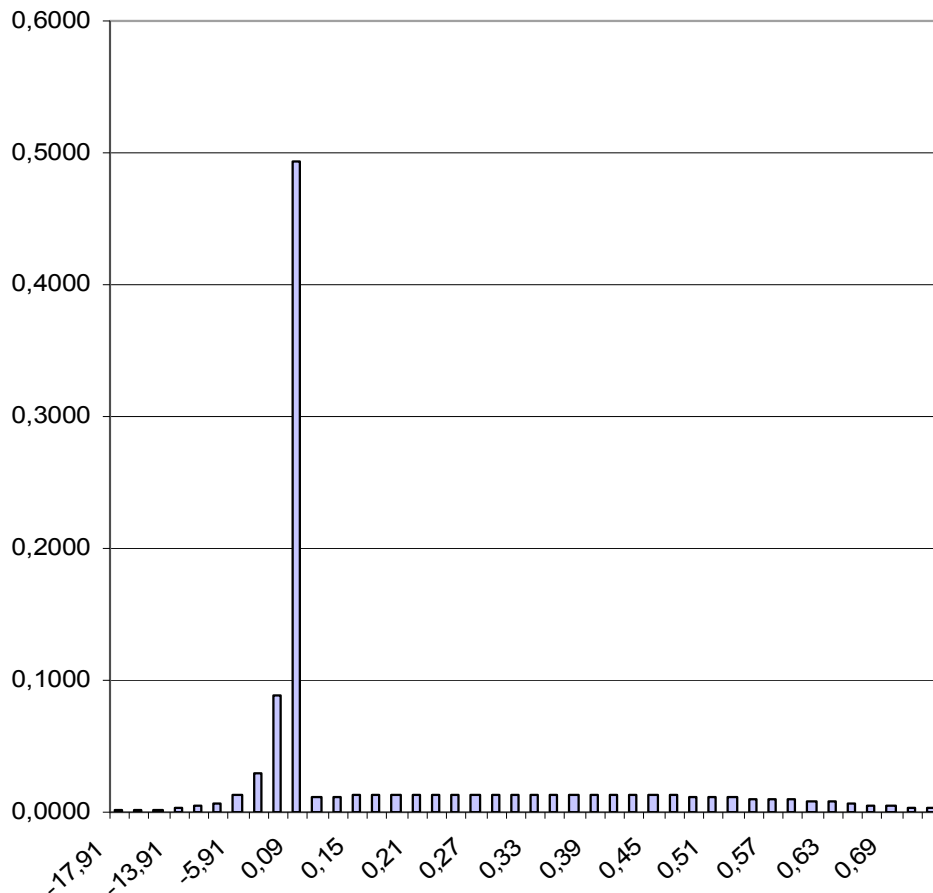


Рис. 1. Эмпирическое распределение для относительной ошибки оценивания параметра T_0 при $m=2$

При получении гистограммы, представленной на рис. 1 для десяти левых интервалов ширина выбрана равной 0,01. Поскольку для этих интервалов в эксперименте (при $N=10^6$) полученные относительные частоты менее 0,01, то на рисунке эти интервалы не показаны.

Для десяти средних интервалов ширина выбрана равной 2,0, а для сорока правых интервалов ширина выбрана равной 0,2.

Полученная таким образом эмпирическая функция распределения $f(\delta)$ обладает важным свойством: вид функции не зависит от параметра T_0 , а полностью определяется объемом выборки m . Это свойство позволяет установить границы интервала неопределенности параметра T_0 для любой выборки V_t следующим образом.

Для полученной эмпирической функции распределения $f(\delta)$ по заданной доверительной вероятности определяются границы G_δ интервала неопределенности относительной погрешности δ .

Для определения квантилей функции $f(\delta)$ используется линейная интерполяция, что при указанном выше способе построения гистограммы, представляющей функцию $f(\delta)$, обеспечивает достаточную точность установления границ G_δ интервала

неопределенности для δ . Границы интервала неопределенности для параметра T_0 выражаются затем следующим образом:

$$G_T = T_s(1 - G_\delta)k, \quad (2)$$

где G_T – граница интервала неопределенности для величины T_0 при заданном значении доверительной вероятности $P_{\text{дов}}$;

G_δ – граница доверительного интервала при заданной доверительной вероятности, получаемая для относительной ошибки оценивания δ ;

k – поправочный коэффициент, обеспечивающий соответствие границ интервала неопределенности для T_0 используемому значению $P_{\text{дов}}$.

Значение коэффициента k подбирается с помощью серии имитационных экспериментов, в которых выполняются следующие действия:

1. Формируется N выборок с известным параметром T_0 ;

2. Для каждой выборки на основании (2) устанавливаются границы интервала неопределенности (в первом эксперименте $k=1$);

3. Для каждого из полученных интервалов устанавливается факт попадания значения T_0 в рассматриваемый интервал неопределенности;

4. По всей совокупности рассматриваемых интервалов определяется оценка доверительной вероятности.

Если оценка доверительной вероятности не совпадает с заданным значением, то эксперимент повторяется при изменяющемся значении k .

Для рассматриваемого случая (объем выборки $m=2$) такой эксперимент позволил установить поправочные коэффициенты для каждой из границ интервала неопределенности параметра T_0 : для левой границы $k=1$, для правой - $k=0,88$.

Сравнение границ интервала неопределенности для рассматриваемого случая, полученных с использованием стандартной методики, приведенной в [3], показывает, что предлагаемый подход дает при одном и том же значении доверительной вероятности уменьшение ширины интервала неопределенности для параметра T_0 на 15%.

Использование предложенного подхода позволяет выявить свойства ошибки измерения.

Например, из рис. 1 следует, что стандартная оценка параметра T_0 в случае малых выборок является смещенной. Кроме того, используя эмпирическую функцию распределения $f(\delta)$ для относительной ошибки оценивания T_0 , можно более гибко устанавливать границы интервала неопределенности, исходя из задачи, в которой предполагается использование результатов измерений.

Анализ результатов, получаемых с помощью имитационного моделирования, позволяет также сделать заключение о том, что стандартная статистика для оценивания показателей надежности в случае малых выборок должна быть заменена более эффективной.

Эта задача рассмотрена авторами в работе [4]. В работе предлагается использовать статистику T_c , которая строится как процедура выбора в качестве оценки параметра T_0 одного из трех значений: t_1 , t_2 или T_s в зависимости от свойств выборки ($m=2$), для выявления которых также используется имитационное моделирование.

Использование при определении границ интервала неопределенности статистики T_c позволяет дополнительно уменьшить ширину интервала неопределенности на 30% для рассматриваемого случая.

Выводы

1. Распределение относительной ошибки оценивания параметра экспоненциального распределения обладает важным свойством – независимость от параметра. Это позволяет существенно упростить и повысить эффективность процедуры установления меры неопределенности при определении показателей надежности.

2. Инструментом эффективного решения задачи установления меры неопределенности показателей надежности являются имитационные модели, осуществляющие программное (компьютерное) моделирование потока отказов оборудования и позволяющие получить, таким образом, необходимые данные для выявления свойств ошибки оценивания.

Список литературы

1. Походун И.А. Экспериментальные методы исследования Погрешности и неопределенности измерений Учеб. пособие / И.А. Походун. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2006. – 112 с.
2. Захаров И.П. Теория неопределенности в измерениях. Учебное пособие / И.П. Захаров, В.Д. Кукуш. – Х.: Консум, 2002. – 256 с.
3. Байхельт Ф. Надёжность и техническое обслуживание. Математический подход: пер. с нем. / Ф. Байхельт, П. Франкен. – М.: Радио и связь, 1988. – 392 с.
4. Жмерев В.С. Об одном подходе к оцениванию показателей надёжности оборудования / В.С. Жмерев, Е.Ф. Генсичка // Вісник НТУУ «КПІ». – Серія Машинобудування. – К.: НТУУ «КПІ». – № 65. – С. 71-75

Поступила в редколлегию 6.03.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. И.П. Захаров, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

ВИКОРИСТАННЯ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ ВСТАНОВЛЕННІ МІРИ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРІВ

О.Ф. Генсичка, В.С. Жмерев

Обговорюється можливість вживання підходу до встановлення міри невизначеності для показників надійності відновлюваного устаткування АЕС у разі малих об'ємів даних про відмови. В основі підходу лежить ідея використання імітаційного моделювання за відомої моделі потоку відмов.

Ключові слова: невизначеність показників надійності, імітаційне моделювання.

USING OF IMITATION DESIGN FOR ESTABLISHMENT OF MEASURE VAGUENESS OF MEASUREMENTS

E.F. Gensitskaya, V.S. Zhmerev

Possibility of application of going near establishment vagueness of measure comes into question for reliability of refurbishable equipment NPP indexes in the case of small volumes of information about refuses. Approach the idea of the use of imitation design is underlaid at the known model refuses of stream.

Keywords: vagueness of reliability indexes, imitation design.