

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОПРАВочНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДЛЯ ИНТЕНСИВНОСТЕЙ ОТКАЗОВ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ С УЧЕТОМ ПАРАМЕТРОВ ИМПУЛЬСНЫХ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

В.С. Харченко¹, З.Г. Мухаметов²

(¹Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”,
²Харьковский университет Воздушных Сил)

В статье предлагается методика определения поправочных коэффициентов для интенсивностей отказов элементов систем на основе установления функциональных зависимостей между традиционными надежностными моделями и моделями, построенными с учётом параметров экстремальных воздействий импульсного типа.

поправочный коэффициент, интенсивность отказов, надёжностные модели, экстремальные воздействия импульсного типа

Постановка проблемы. Современные сложные технические системы [1, 5, 6] имеют ряд особенностей проектирования и создания, обусловленных экстремальными условиями (экстремальными воздействиями (ЭВ)) эксплуатации. Эти ЭВ, при всем их многообразии, можно разделить на два основных класса: ЭВ импульсного (ИЭВ) и непрерывного (НЭВ) действия [7].

Следует отметить, что НЭВ достаточно полно учитываются традиционными моделями оценки надёжности [1]. Эти модели, основанные на коэффициентном методе [1], достаточно просты, а получаемые показатели вполне адекватны и точны. Необходимым условием является наличие поправочных коэффициентов соответствующих НЭВ. В рамках этих моделей также возможен учет и ИЭВ, если известен поправочный коэффициент $k_{ИЭВ}$.

С другой стороны, существует ряд аналитических (АМ) [2], марковских (ММ) [3] и имитационных (ИМ) [4] моделей, отличных от традиционных моделей. Они позволяют учитывать множество параметров (вероятность возникновения, кратность отказов, законы распределения временных параметров, интенсивность воздействий и т.д.) как ИЭВ, так и НЭВ. Основным недостатком этих моделей является то, что их разработка и экспериментальное подтверждение для сложных систем представляют значительные трудности.

Анализ литературы. Имеется достаточно обширный перечень литературы, посвященный методам расчета надежности и, в частности, коэффициентному методу. В [1] приводятся основополагающие положения теории надежности и традиционных моделей оценки надежности. В [2 – 4] описаны основные положения по разработке моделей (АМ, ММ, ИМ), позволяющие учитывать максимально возможный набор параметров ЭВ. Основные положения теории живучести, математические модели оценки живучести технических комплексов критического использования приведены в [5, 6]. Физические модели, теоретические методы оценки параметров различных экстремальных воздействий и основные методы защиты от них описаны в [7].

Цель статьи. Разработать методику определения поправочных коэффициентов в зависимости от параметров системы и ЭВ, используя различные модели надежности.

Модель оценки. На рис.1 представлены, в виде диаграммы, планируемые уровни показателя надежности системы и необходимый уровень надежности в случае ЭВ.

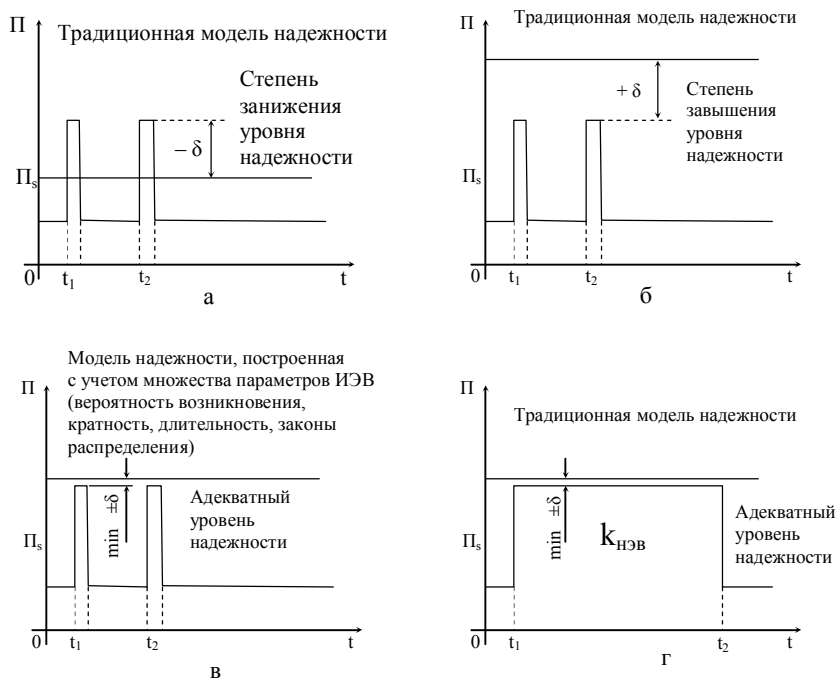


Рис. 1. Уровни показателей надежности системы и (а) – (в) ИЭВ, (г) NЭВ

Как видно из рис. 1, г, для НЭВ можно найти адекватный показатель на всем временном пространстве НЭВ – $[t_1, t_2]$. Для этого достаточно повысить общую надежность системы до соответствующего уровня согласно поправочного коэффициента $k_{\text{НЭВ}}$. Этот коэффициент определяется как произведение коэффициентов различных НЭВ $k_{\text{НЭВ}} = k_{\text{НЭВ}1} \cdot k_{\text{НЭВ}2} \cdot k_{\text{НЭВ}3} \cdot \dots \cdot k_{\text{НЭВ}n}$, если их несколько.

В случае с ИЭВ, используя традиционные модели оценки надежности и метод поправочных коэффициентов, очень сложно найти адекватный показатель. Он получается либо заниженным, либо завышенным (рис. 1, а, б). Поэтому, чтобы получить показатель, адекватно оценивающий надежность системы в условиях ИЭВ (рис. 1, в), приходится строить модели [2 – 4], учитывающие максимум возможных параметров ИЭВ.

Интуитивно ясно, что для традиционных моделей оценки надежности существует поправочный коэффициент $k_{\text{ИЭВ}}$, который учитывает ИЭВ. Введением такого коэффициента можно свести к минимуму (рис. 1, в, г) степень занижения (рис. 1, а) или завышения (рис. 1, б) оценки надежности системы.

Таким образом, поправочный коэффициент ЭВ $k_{\text{ЭВ}}$, с учетом отмеченных особенностей, можно выразить следующим соотношением: $k_{\text{ЭВ}} = k_{\text{ИЭВ}} \cdot k_{\text{НЭВ}}$.

Представим традиционные модели надежности функционалом $f_T(k_{\text{ЭВ}}, \lambda_n, t)$, а модели, построенные с учетом параметров ИЭВ, – $f_{\text{ЭВ}}(P_{\text{ЭВ}}, r, l, \lambda_{\text{ЭВ}}, \lambda_n, t, \dots, x_n)$. Тогда, если обеспечить идентичность входных данных, как по параметрам системы, так и по параметрам ЭВ, то можно получить уравнение: $f_T = f_{\text{ЭВ}}$.

Решением этого уравнения будет искомым коэффициент $k_{\text{ЭВ}}$. Он представляет собой функцию от всех известных параметров как f_T так и $f_{\text{ЭВ}}$: $k_{\text{ЭВ}} = \varphi(\lambda_n, P_{\text{ЭВ}}, r, l, \lambda_{\text{ЭВ}}, \lambda_n, t, \dots, x_n)$. Получение решения в виде функции φ , наталкивается на ряд трудностей. Задачу предлагается решать, используя численный метод с последовательным подбором значения переменной, которую необходимо определить.

Методика решения. Допустим, нам известны все параметры как системы, так и ЭВ. Воспользуемся методом полуинтервалов (либо любым другим методом, например, методом среднеквадратичных отклонений).

Алгоритм определения $k_{\text{ЭВ}}$ выглядит следующим образом:

1) выбрать тип номограммы $k_{\text{ИЭВ}}(x_n)$, где x_n – один из параметров $f_{\text{ЭВ}}$; при этом будем считать, что НЭВ отсутствуют, т.е. $k_{\text{ЭВ}} = k_{\text{ИЭВ}}$; выбрать интервал $[x_1, x_2]$, на котором строится номограмма; задать Δ – дискретность интервала и σ – степень приближения $k_{\text{ЭВ}}$ своему истинному значению; задать $x_n = x_1$; задать интервал $k'_{\text{ЭВ}} \in]0; 1[$;

- 2) найти правую часть уравнения $f_T(k_{ЭВ}, \lambda_H, t) = f_{ЭВ}(P_{ЭВ}, r, l, \lambda_{ЭВ}, \lambda_H, t, \dots, x_H)$, т.е. получить уравнение вида $f_T(k_{ЭВ}, \lambda_H, t) = A$, где $A - \text{const}$;
- 3) взять среднее значение интервала $k'_{ЭВ}$, т.е. $k_{ЭВ} = k'_{ЭВ}/2$;
- 4) найти значение $f_T(k_{ЭВ}, \lambda_H, t) = A'$;
- 5) если $A' > A$, то в качестве интервала $k'_{ЭВ}$ берем его левый полуинтервал, а правый отбрасываем, если $A' < A$ – наоборот;
- 6) п.п. 3 – 5 повторить, пока не будет получено удовлетворительное значение σ ;
- 7) зафиксировать значение $k_{ЭВ}$, для выбранного x_H ;
- 8) если $x_H \neq x_2$, то взять $x_H = x_H + \Delta$ и перейти к п. 2;
- 9) соединить найденные точки, аппроксимировать, провести кривую и получить очередную номограмму;
- 10) сменить параметры системы или ИЭВ и найти следующую кривую номограммы (п.п. 2 – 9).

Результаты исследования. Численное решение задачи получения $k_{ЭВ}$ позволяет построить номограммы различного типа. На рис. 2 приведены номограммы, построенные для $k_{ЭВ}(P_{ЭВ})$ и $k_{ЭВ}(r)$.

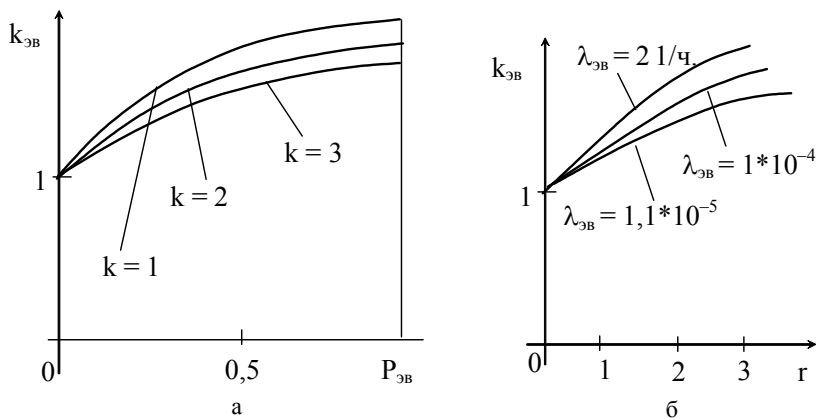


Рис. 2. Номограммы зависимости (а) – $k_{ЭВ}(P_{ЭВ})$ и (б) – $k_{ЭВ}(r)$

В качестве исходных данных взяты следующие значения параметров системы и ЭВ:

– системы: адаптивное мажоритарное резервирование; число каналов 3; число ярусов $k = 1 \div 3$; интенсивность отказов элементов $\lambda_3 = 3 \cdot 10^{-7}$ 1/ч;

– ЭВ: кратность r от 1 до 3; вероятность возникновения ЭВ $P_{ЭВ} = 0,2 \div 0,8$; $\lambda_{ЭВ} = 2; 1,1 \cdot 10^{-4}; 1,1 \cdot 10^{-5}$ 1/ч.

Выводы. Предложенная методика получения $k_{эв}$ и построения номограмм, позволяет воспользоваться преимуществами как традиционных моделей оценки надежности, так и моделей (АМ, ММ, ИМ), которые учитывают максимально возможный набор параметров ЭВ и системы.

Следует отметить, что использование разработанной методики может существенно сократить сроки и материальные затраты проектирования и внедрения новых технических систем критического использования, которые планируется эксплуатировать в условия экстремальных воздействий импульсного характера.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Теорія надійності та живучості елементів і систем літальних комплексів. МОУ / В.С. Харченко та інші. – 1997. – 403 с.*
2. *Мухаметов З.Г. Комбинаторно-вероятностные модели оценки живучести мажоритарных систем с МСД // Обработка информации и обеспечение надежности СУ. – Х.: НАНУ, ПАНИ, ХВУ. – 1997. – С. 86 – 89.*
3. *Гиневский М.И., Мухаметов З.Г., Василенко И.С. Марковская модель надежности и живучести резервированных систем с многоступенчатой деградацией // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ. – 2003. – Вып. 3. – С. 92 – 97.*
4. *Харченко В.С., Мухаметов З.Г., Токарев В.И. Имитационная модель для исследования живучести и выбора параметров многоярусных резервированных структур // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ. – 2003. – Вып. 5. – С. 160 – 165.*
5. *Введение в теорию живучести вычислительных систем / А.Г. Додонов, М.Г. Кузнецов, Е.С. Горбачик. – К.: Наук. думка, 1990. – 184 с.*
6. *Харченко В.С., Лысенко И.В., Мельников А.В. Оценка и обеспечение живучести информационно-вычислительных и управляющих систем технических комплексов критического использования // Зарубежная радиоэлектроника. – 1996. – № 1. – С. 55 – 62.*
7. *Мырова Л.О., Чепиженко А.З. Обеспечение стойкости аппаратуры связи к ионизирующим и электромагнитным излучениям. – М.: Радио и связь, 1988. – 295 с.*

Поступила 23.03.2005

Рецензент: доктор технических наук профессор В.М. Илюшко,
Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ».