

## ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА МНОГОВЕРСИОННЫХ СИСТЕМ С ВРЕМЕННОЙ ИЗБЫТОЧНОСТЬЮ С УЧЕТОМ ВЕСОВ ТИПОВ ДЕФЕКТОВ

д.т.н., проф. В.С. Харченко, О.В. Шурыгин

Приведены исследования диапазона весовых коэффициентов и детерминированных показателей дублированных структур информационных систем с версионно - временной избыточностью методом экспертных оценок.

Простейшим типом многоверсионных информационных систем (МИС), обладающих избыточностью, являются системы с дублированной структурой [1]. Выбор какой - либо избыточной структуры требует оценки показателей достоверности и надежности систем рассматриваемого класса. Однако, на практике очень сложно получить исходные данные по дефектам программных средств, позволяющие оценить их влияние на надежность системы в целом.

Использование детерминированных показателей [2] и метода экспертных оценок позволяет оценить возможность возникновения тех или иных событий в системах и оценить их влияние в зависимости от веса. Этим гарантируется высокий уровень достоверности в оценке надежности.

Таким образом, целью статьи является анализ методом экспертных оценок МИС с дублированной структурой при одиночных дефектах как аппаратных (АС), так и программных средств (ПС).

**Варианты структур МИС.** Известно, что процедуры экспертных оценок состоят из нескольких этапов [3]. Для экспертного оценивания сформирована группа экспертов, обеспечивающая приемлемую достоверность на базе профессиональных знаний, интуиции и опыта об объекте оценки. Экспертам предоставлялись дублированные структуры с комбинированной избыточностью [2], рассмотренные в табл. 1.

Таблица 1

Основные варианты структур дублированных МИС

$V_{ij}$	Варианты структур								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$V_{11}$	А	А	А	А	А	А	Б	А	А
$V_{12}$	А	Б	А	Б	В	В	Б	Б	В
$V_{21}$	А	А	Б	Б	А	Б	А	В	Б

V <sub>22</sub>	А	Б	Б	А	Б	В	В	А	Г
-----------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Для наиболее общего 9 варианта  $V=\{A,Б; В,Г\}$  модель аппаратных средств системы включает:

- совместные аппаратные средства версий **А и Б, В и Г**, образующих ядро системы; к ядру относятся средства, участвующие в реализации двух версий, отказ которых ведет к отказу канала;
- индивидуальные АС версий - оболочки системы (например, средства хранения различных программ выполнения одноименных функций); отказ этих средств делает невозможным реализацию только одной из версий;
- средства сравнения, обеспечивающие сравнение результатов выполнения функций в каналах на первом и втором интервалах.

Модель возможных дефектов версий программных средств системы характеризуется тем, что абсолютные дефекты обуславливаются неполнотой, некорректностью технического задания и другими причинами, общими для всех программных версий. Относительные дефекты характерны только для одной версии и обусловлены индивидуальными ошибками, внесенными при ее проектировании и не обнаруженными при тестировании. Групповые дефекты являются общими для двух и трех версий [2].

*Экспертный метод оценки.* Экспертам предлагалось методом непосредственного оценивания расставить весовые коэффициенты (веса событий) с учётом возможного числа событий в рассматриваемом варианте (табл. 2 - 4), соблюдая уравнения нормировки и условие сравнения.

Уравнения нормировки для одноверсионных (1), двухверсионных (2), трехверсионных (3) и четырехверсионных (4) структур имеют вид:

$$\alpha_{отк} + \alpha_{сб} + \alpha_{дп} = 1; \quad (1)$$

$$\alpha_{отк} + \alpha_{сб} + \alpha_{отн} + \alpha_{абс} = 1; \quad (2)$$

$$\alpha_{отк} + \alpha_{сб} + \alpha_{отн} + \alpha_{гр} + \alpha_{абс} = 1; \quad (3)$$

$$\alpha_{отк} + \alpha_{сб} + \alpha_{отн} + \alpha_{с.гр} + \alpha_{гр} + \alpha_{абс} = 1, \quad (4)$$

где весовые коэффициенты обозначены следующим образом:  $\alpha_{отк}$  - отказа АС;  $\alpha_{сб}$  - сбоя АС;  $\alpha_{дп}$  - дефектов ПС;  $\alpha_{отн}$  - относительных дефектов ПС;  $\alpha_{гр}$  - групповых дефектов ПС для трёх версий;  $\alpha_{с.гр}$  - частично групповых дефектов ПС для четырёх версий;  $\alpha_{абс}$  - абсолютных дефектов ПС.

При выставлении весовых коэффициентов эксперты учитывали следующее условие: групповые и частично групповые дефекты программных средств четырехверсионных структур (вариант 9) оцениваются как единое целое и приравняются к групповым дефектам трехверсионных структур

(варианты 5-8), так как весовая часть частично групповых дефектов значительно меньше весовых частей относительных, абсолютных и групповых дефектов.

Таблица 2

Весовые коэффициенты одноверсионных структур

Код эксперта	АС $\alpha_{отк}$	АС $\alpha_{сб}$	ПС $\alpha_{дп}$
01	0,45	0,35	0,2
02	0,1	0,3	0,6
03	0,05	0,8	0,15
04	0,3	0,5	0,2
05	0,3	0,4	0,3
06	0,2	0,4	0,4

Таблица 3

Весовые коэффициенты двухверсионных структур

Код эксперта	АС $\alpha_{отк}$	АС $\alpha_{сб}$	ПС $\alpha_{отн}$	ПС $\alpha_{абс}$
01	0,4	0,3	0,2	0,1
02	-	-	-	-
03	0,06	0,84	0,06	0,04
04	0,2	0,5	0,1	0,2
05	0,25	0,4	0,25	0,1
06	0,2	0,3	0,3	0,2

Таблица 4

Весовые коэффициенты трех- и четырехверсионных структур

Код эксперта	АС $\alpha_{отк}$	АС $\alpha_{сб}$	ПС $\alpha_{отн}$	ПС $\alpha_{г р}$	ПС $\alpha_{абс}$
01	0,4	0,3	0,15	0,1	0,05
02	-	-	-	-	-
03	0,07	0,85	0,05	0,02	0,01
04	0,2	0,32	0,12	0,16	0,2
05	0,2	0,4	0,28	0,04	0,08
06	0,1	0,3	0,3	0,2	0,1

В качестве меры согласованности экспертной группы использован коэффициент компетентности  $K$ , который рассчитывается по формуле

$$K = \left| \vec{V}_{\Sigma_{cp}} \right| / \left| \vec{V}_{\gamma_{cp}} \right|, \quad (5)$$

где  $\left| \vec{V}_{\Sigma_{cp}} \right|$  - средняя величина вектора расхождения;  $\left| \vec{V}_{\gamma_{cp}} \right|$  - величина вектора средних значений весов  $\gamma$  - версионных систем, данных экспертами.

Величины вектора расхождения, вектора средних значений и средняя величина вектора расхождения рассчитываются соответственно как:

$$\left| \vec{V}_{\gamma_{\Sigma}} \right| = \sqrt{(\alpha_{1отк} - \alpha_{cp.отк})^2 + \dots + (\alpha_{1абс} - \alpha_{cp.абс})^2}; \quad (6)$$

$$\left| \vec{V}_{\gamma_{cp}} \right| = \frac{\sum_{n=1}^N \left| \vec{V}_{\gamma_n} \right|}{N}; \quad (7)$$

$$\left| \vec{V}_{\Sigma_{cp}} \right| = \frac{\sum_{n=1}^N \left| \vec{V}_{\gamma_{\Sigma}} \right|}{N}, \quad (8)$$

где  $\left| \vec{V}_{\gamma_n} \right|$  - величина вектора оценки, задаваемого весовыми коэффициентами  $\gamma$  - версионных систем, данная экспертом  $n$ ;  $N$  - количество экспертов.

Если согласованность экспертной группы низкая, то  $K > 0,5$ . В этом случае для уточнения результата оценки крайние показатели весов событий (максимальное и минимальное значения) в расчет не берутся [4].

Результаты расчётов приводятся в табл. 5.

Таблица 5

Диапазоны возможных событий дефектов АС и ПС

$\gamma$	$K$	Диапазон АС $\alpha_{отк}$	Диапазон АС $\alpha_{сб}$	Диапазон ПС $\alpha_{отн}$	Диапазон ПС $\alpha_{Гр}$	Диапазон ПС $\alpha_{абс}$
1	0,38	0,05-0,45	0,3-0,8	-	-	0,15-0,6
2	0,27	0,06-0,4	0,3-0,84	0,06-0,3	-	0,04-0,2
3,4	0,48	0,1-0,2	0,32-0,4	0,12-0,28	0,04-0,16	0,05-0,1

Расчет детерминированных показателей, проведенный в [2], показывает, что наилучшей является структура  $\{A,B; B,A\}$  при трехверсионном выполнении функций. При двухверсионном выполнении функций предпочтительной является структура  $\{A,B; B,A\}$ . Используя множественные модели АС и ПС четырех выбранных структур, проведены расчеты детерминированных показателей в начале и конце диапазонов событий.

Детерминированные показатели полноты контроля, глубины диагностирования и уровня дефектоустойчивости ( $l_i, q_i, d_i$ ,  $i$  – номер варианта) рассчитываются по нижеприведенным формулам:

$$l_1 = \frac{2\alpha_{\text{отк}} + 2\alpha_{\text{сб}}}{2\alpha_{\text{отк}} + 2\alpha_{\text{сб}} + \alpha_{\text{дп}}}; \quad (9)$$

$$q_1 = \frac{2\alpha_{\text{сб}}}{2\alpha_{\text{отк}} + 2\alpha_{\text{сб}} + \alpha_{\text{дп}}}; \quad (10)$$

$$d_1 = \frac{2\alpha_{\text{сб}}}{2\alpha_{\text{отк}} + 2\alpha_{\text{сб}} + \alpha_{\text{дп}}}; \quad (11)$$

$$l_4 = \frac{4\alpha_{\text{отк}} + 4\alpha_{\text{сб}} + 2\alpha_{\text{отн.}}}{4\alpha_{\text{отк}} + 4\alpha_{\text{сб}} + 2\alpha_{\text{отн.}} + \alpha_{\text{абс.}}}; \quad (12)$$

$$q_4 = \frac{2\alpha_{\text{отк.}} + 2\alpha_{\text{сб.}}}{4\alpha_{\text{отк}} + 4\alpha_{\text{сб}} + 2\alpha_{\text{отн.}} + \alpha_{\text{абс.}}}; \quad (13)$$

$$d_4 = \frac{4\alpha_{\text{отк.}} + 4\alpha_{\text{сб}}}{4\alpha_{\text{отк}} + 4\alpha_{\text{сб}} + 2\alpha_{\text{отн.}} + \alpha_{\text{абс.}}}; \quad (14)$$

$$l_8 = \frac{4\alpha_{\text{отк}} + 4\alpha_{\text{сб}} + 2\alpha_{\text{отн.}} + 2\alpha_{\text{гр.}}}{4\alpha_{\text{отк}} + 4\alpha_{\text{сб}} + 2\alpha_{\text{отн.}} + 3\alpha_{\text{гр.}} + \alpha_{\text{абс.}}}; \quad (15)$$

$$q_8 = \frac{2\alpha_{\text{отк.}} + 4\alpha_{\text{сб.}} + \alpha_{\text{отн.}}}{4\alpha_{\text{отк}} + 4\alpha_{\text{сб}} + 2\alpha_{\text{отн.}} + 3\alpha_{\text{гр.}} + \alpha_{\text{абс.}}}; \quad (16)$$

$$d_8 = \frac{4\alpha_{\text{отк.}} + 4\alpha_{\text{сб}} + \alpha_{\text{отн.}} + \alpha_{\text{гр.}}}{4\alpha_{\text{отк}} + 4\alpha_{\text{сб}} + 2\alpha_{\text{отн.}} + 3\alpha_{\text{гр.}} + \alpha_{\text{абс.}}}; \quad (17)$$

$$l_9 = \frac{4\alpha_{\text{отк}} + 4\alpha_{\text{сб}} + 2\alpha_{\text{отн.}} + 6\alpha_{\text{гр.}}}{4\alpha_{\text{отк}} + 4\alpha_{\text{сб}} + 2\alpha_{\text{отн.}} + 9\alpha_{\text{гр.}} + \alpha_{\text{абс.}}}; \quad (18)$$

$$q_9 = \frac{2\alpha_{\text{отк.}} + 4\alpha_{\text{сб.}}}{4\alpha_{\text{отк}} + 4\alpha_{\text{сб}} + 2\alpha_{\text{отн.}} + 9\alpha_{\text{гр.}} + \alpha_{\text{абс.}}}; \quad (19)$$

$$d_9 = \frac{4\alpha_{\text{отк.}} + 4\alpha_{\text{сб}} + 2\alpha_{\text{отн.}}}{4\alpha_{\text{отк.}} + 4\alpha_{\text{сб}} + 2\alpha_{\text{отн.}} + 9\alpha_{\text{гр.}} + \alpha_{\text{абс.}}} . \quad (20)$$

**Анализ результатов.** Результаты проведенных расчётов детерминированных показателей в диапазонах возможных событий дефектов АС и ПС представлены в табл. 6.

Таблица 6

Диапазоны детерминированных показателей

$\gamma$	Вариант	Диапазон $\ell$	Диапазон $q$	Диапазон $d$
1	1	0,8 - 0,82	0,51 - 0,7	0,51 - 0,7
2	4	0,96 - 0,97	0,43 - 0,45	0,86 - 0,9
3	8	0,92 - 0,95	0,64 - 0,76	0,8 - 0,88
4	9	0,87 - 0,92	0,44 - 0,63	0,65 - 0,82

По результатам анализа проведенных исследований диапазона весовых коэффициентов и детерминированных показателей можно сделать следующие выводы.

1. С увеличением количества версий (трёх- и четырёхверсионные структуры) весовые коэффициенты типов дефектов программных средств уменьшаются. Большее значение имеют относительные дефекты программных версий.

2. Увеличение количества версий существенно не влияет на величины весовых коэффициентов аппаратной компоненты.

3. Наибольшее влияние на работоспособность рассматриваемых многоверсионных информационных систем оказывают сбои аппаратных средств.

4. Рассчитанные диапазоны детерминированных показателей имеют небольшой разброс минимальных и максимальных значений, что указывает на относительно высокую достоверность весов событий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Харченко В.С., Ильина О.А. Выбор архитектур дефектоустойчивых вычислительных систем с последовательно - параллельным выполнением задач // Электронное моделирование. – 1998. – №2. – С. 77 - 90.
2. Харченко В.С. Шурыгин О.В. Детерминированная оценка показателей отказоустойчивости дублированных структур с временной и версионной избыточностью // Электронное моделирование. – 2000. – Т.22, №3. – С. 41 - 52.

3. Демидов Б.А. Системный анализ вооружения и военной техники // Сб. научн. тр. ХВУ. – Харьков : ХВУ. – 1994, кн.2. – С.202 - 225.
4. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. –М.: Высшая школа. – 1999. – 478 с.

*Поступила в редколлегию 15.01.2001*

---