

УДК 004.054

В.В. Скляр

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

## ПРОЦЕДУРЫ АНАЛИЗА МНОГОВЕРСИОННЫХ СИСТЕМ

В данной статье решается задача разработки процедур анализа многоверсионных систем (МВС) в части адаптации существующих моделей надежности и функциональной безопасности с учетом особенностей МВС. Для этого предложены процедуры анализа МВС. Эти процедуры базируются на следующих моделях: матрица анализа многоверсионных систем; теоретико-множественная модель многоверсионных систем и метрики многоверсионности продуктов; комбинаторные схемы для анализа надежности систем с произвольным числом версий.

**Ключевые слова:** многоверсионная система, метрика многоверсионности, функциональная безопасность.

### 1. Проблема анализа многоверсионных систем

Многоверсионные системы (МВС) нашли свое применение в современных системах управления АЭС, железнодорожных, аэрокосмических и других комплексах [1 – 3].

Важным этапом оценивания МВС является анализ их надежности и функциональной безопасности [4, 5].

Значительное количество и разнотипность моделей надежности и функциональной безопасности (НиФБ) ИУС приводит к необходимости их выбора и параметризации с учетом особенностей МВС.

В данной статье решается задача разработки процедур анализа МВС в части адаптации существующих моделей НиФБ с учетом особенностей МВС.

Для этого предложены процедуры анализа МВС. Эти процедуры базируются на следующих моделях:

– матрица анализа многоверсионных систем (см. раздел 2 настоящей статьи);

– теоретико-множественная модель многоверсионных систем и метрики многоверсионности продуктов (см. раздел 3 настоящей статьи);

– комбинаторные схемы для анализа надежности систем с произвольным числом версий (см. раздел 4 настоящей статьи).

Результаты применения полученных моделей и процедур являются входными параметрами марковских моделей НиФБ. Эти модели и процедуры могут применяться как автономно, так и комплексно. В свою очередь, такие модели являются основой процедур и методов анализа НиФБ МВС.

### 2. Матрица анализа многоверсионных систем

Классификация типов версионной избыточности (ВИ) приведена в работах [1, 3]. Там же сделан вывод о том, что существующие типы ВИ могут быть отнесены к следующим двум основным типам:

1) ВИ продуктов включает программную и аппаратную ВИ;

2) ВИ процессов включает проектную, функциональную, сигнальную ВИ, а также ВИ жизненного цикла.

В настоящей работе предложен подход к анализу и расчету надежности и ФБ для многоверсионных систем с произвольным числом версий и типов версионной избыточности.

Данный подход заключается в том, что ВИ продуктов и ВИ процессов учитывается в моделях НиФБ по-разному.

Для этого для соответствующих типов ВИ вводится два типа метрик многоверсионности (ММВ) (см. табл. 1) [4]:

– для учета ВИ продуктов применяются метрики (коэффициенты) абсолютных, групповых и относительных отказов (метрики многоверсионности продуктов);

– для учета ВИ процессов применяются метрики корреляции процессов ЖЦ (метрики многоверсионности процессов).

Таким образом, первоначально определяются ММВ процессов, с их помощью уточняются значения коэффициентов отказов, и на основании значений коэффициентов отказов рассчитываются вероятности нахождения системы в различных состояниях, а затем и показатели НиФБ.

В анализируемых моделях НиФБ рассмотрены лишь два вида ВИ продуктов. Эти два вида ВИ уже учитывают ВИ процессов через метрики многоверсионности ММВ продуктов, которые корректируются с учетом ММВ процессов [4].

Для учета значений метрик многоверсионности в настоящей работе предложена матрица анализа многоверсионных систем (см. табл. 2).

Матрица анализа МВС включает следующие столбцы:

– тип и способ реализации ВИ – включает те типы ВИ, которые применяются в анализируемой МВС;

Метрики многоверсионности и особенности определения их значений

Тип ВИ	Тип метрики многоверсионности	Особенности определения значений метрик многоверсионности
ВИ продуктов	Метрики многоверсионности продуктов (коэффициенты абсолютных, групповых и относительных отказов)	Применяются в моделях НиФБ для корректировки вероятностей нахождения в состояниях. Уточняются на основании значений метрик корреляции процессов ЖЦ
ВИ процессов	Метрики многоверсионности процессов (метрики корреляции процессов ЖЦ)	Применяются для корректировки коэффициентов абсолютных, групповых и относительных отказов. Определяются в первую очередь, и на их основе уточняются коэффициенты отказов

Таблица 2

Матрица анализа многоверсионных систем

Тип ВИ	Детализация реализации ВИ	Тип ММВ	Метод определения значения ММВ	Значение метрики ММВ	Увеличение стоимости для реализации ВИ
ВИ <sub>1</sub>	ВИ <sub>1,1</sub>	ММВ <sub>1,1</sub>	Method <sub>1,1</sub>	VMMB <sub>1,1</sub>	Δс <sub>1</sub>
	...	...	...	...	
	ВИ <sub>N,1</sub>	ММВ <sub>k1,1</sub>	Method <sub>L,1,1</sub>	VMMB <sub>k1,1</sub>	...
...	...	...	...	...	...
ВИ <sub>j</sub>	ВИ <sub>1,j</sub>	ММВ <sub>1,j</sub>	Method <sub>1,j</sub>	VMMB <sub>1,j</sub>	Δс <sub>j</sub>
	...	...	...	...	
	ВИ <sub>N,j</sub>	ММВ <sub>kj,j</sub>	Method <sub>L,j,j</sub>	VMMB <sub>kj,j</sub>	...
...	...	...	...	...	...
ВИ <sub>M</sub>	ВИ <sub>1,M</sub>	ММВ <sub>1,M</sub>	Method <sub>1,M</sub>	VMMB <sub>1,1</sub>	Δс <sub>M</sub>
	...	...	...	...	
	ВИ <sub>N,M</sub>	ММВ <sub>kM,M</sub>	Method <sub>L,M,j</sub>	VMMB <sub>kM,M</sub>	...

– детализация реализации ВИ – для каждого из имеющихся в МВС типов ВИ дается подробное описание его реализации для каждой из n версий МВС;

– тип ММВ – каждому из имеющихся в МВС типов ВИ ставится в соответствие ММВ; в общем случае количество метрик k<sub>j</sub>, применяемых для оценки j-го типа ВИ, может быть больше единицы и не совпадать с числом версий;

– метод определения значения ММВ – для каждой из ММВ выбирается метод (процедура), по которой определяется данная метрика;

– значение метрики ММВ – численное значение ММВ, определенное в соответствие с выбранным методом;

– увеличение стоимости для реализации ВИ – значение, на которое увеличивается стоимость Δс<sub>j</sub> реализации системы при применении j-го типа ВИ; после заполнения матрицы определяется суммарное увеличение стоимости для МВС ΔС = ΣΔс<sub>j</sub>; при анализе МВС последний столбец матрицы может быть не заполнен.

Матрица анализа МВС инструментом для решения задач анализа и синтеза (выбора) для систем с ВИ.

### 3. Теоретико-множественная модель многоверсионных систем и метрики многоверсионности продуктов

В работах [3, 4] разработана теоретико-множественная модель мультидиверсной системы (с двумя версиями), а также предложены ММВ для такой системы. Проведем обобщение полученных

результатов для N,M-систем с произвольным числом версий. В данном подразделе рассматриваются только модели, учитывающие ММВ продуктов, т.е. ВИ аппаратных средств (АС) и ВИ программного обеспечения (ПО).

Для этого классифицируем отказы (дефекты) МВС в соответствие со следующими классами (фасетами) (см. рис. 1):

– по степени общности (влияние на работоспособность системы) отказы бывают абсолютные D<sub>123</sub> (влияют на работоспособность всех версий, а следовательно и МВС в целом), групповые D<sub>12</sub>, D<sub>23</sub>, D<sub>13</sub> (влияют на работоспособность нескольких, но не всех версий) и относительные D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub> (влияют на работоспособность одной версии);

– по различимости отказы бывают различимые D<sup>r</sup> (результаты работы версий при проявлении отказов различаются между собой) и неразличимые D<sup>nr</sup> (результаты работы версий при проявлении отказов не различаются между собой); данный классификационный признак не применим для относительных отказов;

– по источнику отказы бывают вызваны дефектами проектирования ПО D<sub>sw</sub> и дефектами проектирования АС D<sub>hw</sub> (следует отметить, что отказы, вызванные физическим старением АС рассматриваются в классической теории надежности, и для парирования таких отказов не требуются МВС);

– по опасности отказы бывают безопасными D<sub>s</sub> (переводят систему в безопасное состояние) и опасными D<sub>us</sub> (переводят систему в опасное состояние); данный классификационный признак применим лишь

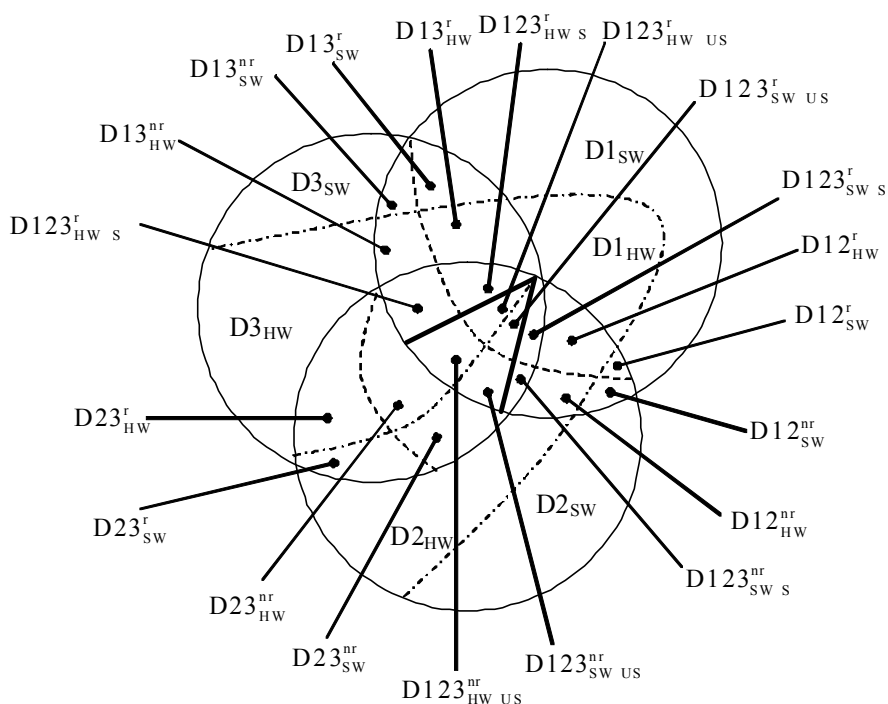


Рис. 1. Теоретико-множественная модель отказов многоверсионных систем

для абсолютных отказов, поскольку в других случаях отказа системы в целом не наступает, следовательно, система находится в безопасном состоянии.

Комбинации рассмотренных 9 классов отказов дают 14 различных типов отказов (8 типов абсолютных отказов, 4 типа групповых отказов и 2 типа относительных отказов), а также 26 неделимых множеств отказов:

- 1)  $D123_{SW\ S}^r$  – различимые безопасные абсолютные отказы ПО;
- 2)  $D123_{SW\ S}^{nr}$  – неразличимые безопасные абсолютные отказы ПО;
- 3)  $D123_{HW\ S}^r$  – различимые безопасные абсолютные отказы АС;
- 4)  $D123_{HW\ S}^{nr}$  – неразличимые безопасные абсолютные отказы АС;
- 5)  $D123_{SW\ US}^r$  – различимые опасные абсолютные отказы ПО;
- 6)  $D123_{SW\ US}^{nr}$  – неразличимые опасные абсолютные отказы ПО;
- 7)  $D123_{HW\ US}^r$  – различимые опасные абсолютные отказы АС;
- 8)  $D123_{HW\ US}^{nr}$  – неразличимые опасные абсолютные отказы АС;
- 9)  $D12_{SW}^r, D23_{SW}^r, D13_{SW}^r$  – различимые групповые отказы ПО;
- 10)  $D12_{SW}^{nr}, D23_{SW}^{nr}, D13_{SW}^{nr}$  – неразличимые групповые отказы ПО;
- 11)  $D12_{HW}^r, D23_{HW}^r, D13_{HW}^r$  – различимые групповые отказы АС;

12)  $D12_{HW}^{nr}, D23_{HW}^{nr}, D13_{HW}^{nr}$  – неразличимые групповые отказы АС;

13)  $D1_{SW}, D2_{SW}, D3_{SW}$  – относительные отказы ПО;

14)  $D1_{HW}, D2_{HW}, D3_{HW}$  – относительные отказы АС.

Кроме того, на основании комбинаций указанных выше элементарных множеств отказов могут быть получены такие составные множества отказов:

15) множество отказов  $MBC$   
 $D=DV1 \cup DV2 \cup DV3$ ;

16) множества отказов версий  
 $DV1=D1 \cup D12 \cup D13 \cup D123$ ,  $DV2=D2 \cup D12 \cup D23 \cup D123$ ,  
 $DV3=D3 \cup D13 \cup D23 \cup D123$ ;

17) множества относительных отказов  
 $D1=D1_{SW} \cup D1_{HW}$ ,  $D2=D2_{SW} \cup D2_{HW}$ ,  
 $D3=D3_{SW} \cup D3_{HW}$ ;

18) множества групповых отказов  $D12 =$   
 $=D12_{SW}^r \cup D12_{HW}^r \cup D12_{SW}^{nr} \cup D12_{HW}^{nr}$ ,  
 $D23=D23_{SW}^r \cup D23_{HW}^r \cup D23_{SW}^{nr} \cup D23_{HW}^{nr}$ ,  
 $D13=D13_{SW}^r \cup D13_{HW}^r \cup D13_{SW}^{nr} \cup D13_{HW}^{nr}$ ;

19) множество безопасных абсолютных отказов  
 $D123_S=D123_{SW\ S}^r \cup D123_{HW\ S}^r \cup D123_{SW\ S}^{nr} \cup D123_{HW\ S}^{nr}$ ;

20) множество опасных (абсолютных) отказов  
 $D_{US}=D123_{US}^r=D123_{SW\ US}^r \cup D123_{HW\ US}^r \cup D123_{SW\ US}^{nr} \cup$   
 $\cup D123_{HW\ US}^{nr}$ ;

21) множество абсолютных отказов  
 $D123=D123_S \cup D123_{US}$ ;

22) множество безопасных отказов системы  
 $D_S=D/D123_{US}$ ;

23) множество различных абсолютных отказов  $D123^f = D123_{SW}^f \cup D123_{HW}^f$  ;

24) множества различных групповых отказов  $D12^f = D12_{SW}^f \cup D12_{HW}^f$  ,

$D23^f = D23_{SW}^f \cup D23_{HW}^f$  ,  $D13^f = D13_{SW}^f \cup D13_{HW}^f$  ;

25) множество различных отказов системы  $D^f = D123^f \cup D12^f \cup D23^f \cup D13^f$  ;

26) множество неразличимых абсолютных отказов  $D123^{nr} = D123_{SW}^{nr} \cup D123_{HW}^{nr}$  ;

27) множества неразличимых групповых отказов  $D12^{nr} = D12_{SW}^{nr} \cup D12_{HW}^{nr}$  ,  $D23^{nr} = D23_{SW}^{nr} \cup D23_{HW}^{nr}$  ,  $D13^{nr} = D13_{SW}^{nr} \cup D13_{HW}^{nr}$  ;

28) множество неразличимых отказов системы  $D^{nr} = D123^{nr} \cup D12^{nr} \cup D23^{nr} \cup D13^{nr}$  ;

29) множество абсолютных отказов из-за дефектов проектирования ПО  $D123_{SW} = D123_{SW}^f \cup D123_{SW}^{nr}$  ;

30) множества групповых отказов из-за дефектов проектирования ПО  $D12_{SW} = D12_{SW}^f \cup D12_{SW}^{nr}$  ,  $D23_{SW} = D23_{SW}^f \cup D23_{SW}^{nr}$  ,  $D13_{SW} = D13_{SW}^f \cup D13_{SW}^{nr}$  ;

31) множество отказов системы из-за дефектов проектирования ПО  $D_{SW} = D123_{SW} \cup D12_{SW} \cup D23_{SW} \cup D13_{SW} \cup D1_{SW} \cup D2_{SW} \cup D3_{SW}$  ;

32) множество абсолютных отказов из-за дефектов проектирования АС  $D123_{HW} = D123_{HW}^f \cup D123_{HW}^{nr}$  ;

33) множества групповых отказов из-за дефектов проектирования АС  $D12_{HW} = D12_{HW}^f \cup D12_{HW}^{nr}$  ,  $D23_{HW} = D23_{HW}^f \cup D23_{HW}^{nr}$  ,  $D13_{HW} = D13_{HW}^f \cup D13_{HW}^{nr}$  ;

34) множество отказов системы из-за дефектов проектирования АС  $D_{HW} = D123_{HW} \cup D12_{HW} \cup D23_{HW} \cup D13_{HW} \cup D1_{HW} \cup D2_{HW} \cup D3_{HW}$  ;

35) множество различных отказов из-за дефектов проектирования ПО  $D_{SW}^f = D123_{SW}^f \cup D12_{SW}^f \cup D23_{SW}^f \cup D13_{SW}^f$  ;

36) множество неразличимых отказов из-за дефектов проектирования ПО  $D_{SW}^{nr} = D123_{SW}^{nr} \cup D12_{SW}^{nr} \cup D23_{SW}^{nr} \cup D13_{SW}^{nr}$  ;

37) множество различных отказов из-за дефектов проектирования АС  $D_{HW}^f = D123_{HW}^f \cup D12_{HW}^f \cup D23_{HW}^f \cup D13_{HW}^f$  ;

38) множество неразличимых отказов из-за дефектов проектирования АС  $D_{HW}^{nr} = D123_{HW}^{nr} \cup D12_{HW}^{nr} \cup D23_{HW}^{nr} \cup D13_{HW}^{nr}$  .

Рассмотренные на рис. 1 классы и типы отказов являются универсальными для МВС, поскольку при увеличении количества версий добавляются лишь новые множества групповых отказов из-за новых комбинаций отказов версий, но при этом не появляются новые классы отказов. Например, для теоретико-множественной модели четырехверсионной системы (а также для большего числа версий) приходится стал-

киваться со сложностью геометрической интерпретации (рис. 2). В то же время, увеличение количества версий не вносит принципиально новых множеств отказов, а следовательно, и новых типов ММВ. Таким образом, модель на рис. 1 можно считать универсальной теоретико-множественной моделью отказов МВС.

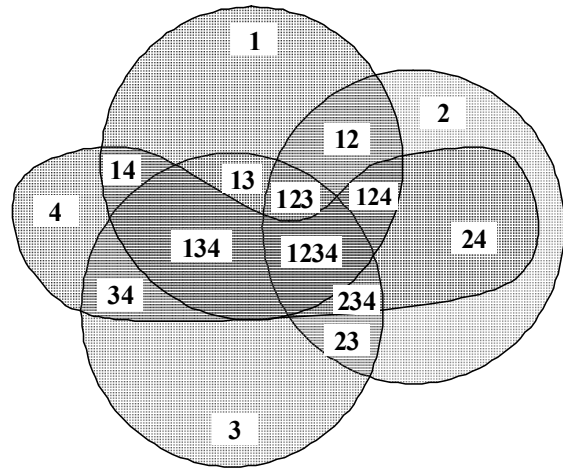


Рис. 2. Теоретико-множественная модель отказов четырехверсионной системы

Рассмотренные 38 групп множеств могут являться основой для получения метрик многоверсионности, которые рассчитываются по формуле:

$$K_{i,j} = |D_i| / |D_j|,$$

где  $|D_i|$ ,  $|D_j|$  – мощности соответственно i-го и j-го множеств.

Например, ММВ вида

$$K1_{abs} = \frac{|D123|}{|DV1|}; K2_{abs} = \frac{|D123|}{|DV2|}; K3_{abs} = \frac{|D123|}{|DV3|}$$

представляет собой коэффициенты абсолютных дефектов версий.

#### 4. Комбинаторные схемы для анализа надежности систем с произвольным числом версий

При числе версий более двух структурные схемы надежности и безопасности принимают достаточно сложный вид из-за значительной размерности логических связей между абсолютными, групповыми и относительными дефектами и соответствующими отказами.

Таким образом, для определения показателей НиФБ МВС с произвольным числом версий необходимо разработать специализированный подход к анализу комбинаторных зависимостей. В частности, необходимо проследить связи между групповыми отказами и относительными отказами (т.е., ответить на вопрос: к отказу каких версий приводит групповой отказ?). На практике эвристическое получение ответа может быть затруднено.

Для решения обозначенной задачи в настоящем пункте предложены комбинаторные схемы взаимосвязи абсолютных, групповых и относительных отказов МВС, которые строятся следующим образом.

1. Разбиение комбинаторной схемы на ярусы.

Для этого последовательно выделяются классы отказов. Первый ярус состоит из одного элемента, соответствующего абсолютному отказу версий системы. Последний ярус включает N параллельных элементов соответствующих N относительным отказам N версий системы. Групповые элементы составляют (N-2) ярусов, в каждый из которых входят отказы  $C_N^{(N-1)}, C_N^{(N-2)}, \dots, C_N^2$ . Такие ярусы формируются в комбинаторной схеме слева направо в порядке убывания количества отказавших версий. Например, в трехверсионной системе будет один ярус, соответствующий групповым отказам, в который войдет три элемента, соответствующих отказам двух версий из трех (см. рис. 3). В четырехверсионной системе по тому же принципу будет сформировано два яруса, соответствующих групповым отказам: первый ярус для отказов трех версий из четырех, второй ярус для отказов двух версий из четырех (см. рис. 4).

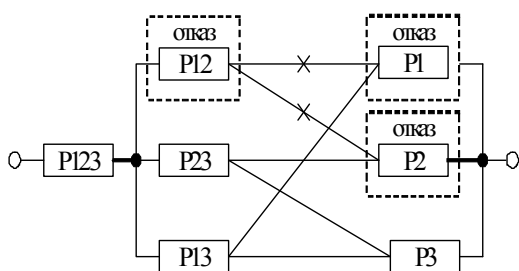


Рис. 3. Комбинаторная схема взаимосвязи абсолютных, групповых и относительных отказов трехверсионной системы

2. Установление связей между элементами ярусов.

Единственный элемент первого яруса всегда связан с элементами второго яруса. Дальнейшие связи устанавливаются между всеми элементами ярусов (N-m+1) и (N-m), для которых совпадает хотя бы один порядковый номер отказавшей версии, т.е.

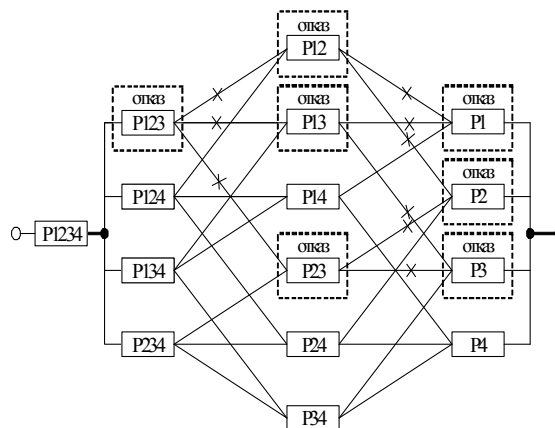
$$\forall \text{Link}[(N-m+1) - (N-m)]: \exists n_i, \\ i = 1, \dots, (N-m) \in \{1, \dots, (N-m+1)\}.$$

Например, на рис. 3 элемент P12, соответствующий групповому отказу первой и второй версии, связан с элементом P1 (отказ первой версии) и с элементом P2 (отказ второй версии) и не связан с элементом P3 (отказ третьей версии), поскольку  $1 \in \{1,2\}, 2 \in \{1,2\}, 3 \notin \{1,2\}$ .

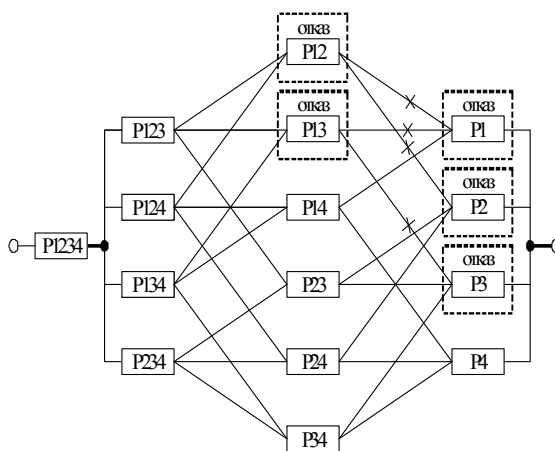
3. Анализ влияния отказов элементов ярусов на работоспособность МВС.

Целевыми элементами комбинаторных схем, определяющими работоспособность системы, явля-

ются элементы последнего яруса, характеризующие работоспособное состояние версий системы.



а – влияние яруса групповых отказов "3 версии из 4-х"



б – влияние яруса групповых отказов "2 версии из 4-х"

Рис. 4. Комбинаторные схемы взаимосвязи абсолютных, групповых и относительных отказов четырехверсионной системы

Отказы всех элементов предыдущих ярусов анализируются с точки зрения их влияния на элементы яруса относительных отказов версий. При этом абсолютный отказ является отказом системы, поскольку он ведет к отказу всех версий. Что касается групповых отказов, то для них должна быть прослежена цепочка событий вплоть до последнего яруса.

Связи между элементами комбинаторной схемы являются абстракциями, позволяющими учесть взаимное влияние отказов элементов. Анализ начинается с крайнего левого яруса и выполняется независимо для каждого из ярусов групповых отказов. При анализе влияния учитываются следующие два правила: 1) отказ элемента приводит к отказу всех исходящих связей; 2) отказ хотя бы одной входящей связи приводит к отказу элемента. При анализе влияния учитывается также логика работы системы. Например, при одном групповом отказе трехверсионная система "1 из 3" будет работоспособна, а трехверсионная система "2 из 3" откажет (рис. 3).

4. Получение комбинаторных формул для вероятности безотказной работы МВС.

Вывод формул базируется на анализе влияния отказов и состоит в переборе всех состояний, при которых необходимое число версий будет работоспособно. Например, трехверсионная система "2 из 3" работоспособна в случае отсутствия абсолютных и групповых отказов трех версий, в случае не более одного группового отказа двух версий, а также в случае наличия хотя бы двух работоспособных версий:

$$P_{2/3}^{MBC} = P_{123} \cdot P_{12}^3 \cdot (3P_1^2 - 2P_1^3),$$

где  $P_{123}$  – вероятность абсолютных отказов;

$P_{12}$  – вероятность групповых отказов, при этом  $P_{12} = P_{23} = P_{13}$ ;

$P_1$  – вероятность относительных отказов, при этом  $P_1 = P_2 = P_3$ .

Четырехверсионная система "2 из 4" работоспособна в случае отсутствия абсолютных отказов и групповых отказов трех версий, а также в случае наличия хотя бы двух работоспособных версий:

$$P_{2/4}^{MBC} = P_{1234} \cdot P_{123}^4 \cdot (15P_1^5 - 14P_1^6) \cdot (4P_1^3 + 6P_1^2 - 6P_1^4),$$

где  $P_{1234}$  – вероятность абсолютных отказов;

$P_{123}$  – вероятность групповых отказов трех версий, при этом  $P_{123} = P_{124} = P_{134} = P_{234}$ ;

$P_{12}$  – вероятность групповых отказов двух версий, при этом  $P_{12} = P_{13} = P_{14} = P_{23} = P_{24} = P_{34}$ ;

$P_1$  – вероятность относительных отказов, при этом  $P_1 = P_2 = P_3 = P_4$ .

## Заключение

В статье предложен ряд процедур анализа МВС. Эти процедуры требуют определения ММВ процессов и продуктов [4].

Матрица анализа МВС позволяет решить задачи анализа и синтеза для систем с ВИ.

Для получения обобщенной теоретико-множественной модели для N,M-систем с произвольным числом версий была выполнена классификация отказов (дефектов) многоверсионных систем. Рассмотренные классы и типы отказов являются уни-

версальными для многоверсионных систем, поскольку при увеличении количества версий добавляются лишь новые множества групповых отказов из-за новых комбинаций отказов версий, но при этом не появляются новые классы отказов. Это также позволяет получить обобщенное выражение для метрик многоверсионности продуктов.

Для определения показателей НиФБ с произвольным числом версий был разработан подход к анализу комбинаторных зависимостей. Для решения задачи предложены комбинаторные схемы взаимосвязи абсолютных, групповых и относительных отказов МВС. Кроме того, специфика показателей надежности и функциональной безопасности многоверсионных систем может быть учтена посредством применения модифицированных марковских моделей, как это показано в [5]. Разработанные модели и процедура анализа поддерживают метод выбора моделей надежности и функциональной безопасности МВС.

## Список литературы

1. Wood R.T. Diversity Strategies for Nuclear Power Plant Instrumentation and Control Systems: NUREG/CR-7007 ORNL/TM-2009/302 [Text] / R.T. Wood, R. Belles, M.S. Cetiner, D.E. Holcomb, K. Korsah. – U.S. Nuclear Regulatory Commission, Oak Ridge Nat. Lab., 2010. – 251 p.
2. Системы управления и защиты ядерных реакторов / Под ред. М.А. Ястребенецкого. – К: Основа-Принт, 2011. – 768 с.
3. Многоверсионные системы, технологии, проекты / [В.С. Харченко, В.Я. Жихарев, В.М. Илюшко, Н.В. Нечипорук]; под ред. В.С. Харченко. – Х.: Нац. аерокосмічний ун-т «ХАИ», 2003. – 486 с.
4. Скляр В.В. Анализ метрик многоверсионности программного обеспечения / В.В. Скляр // Электронное моделирование. – 2004. – Т.26, №4. – С. 95-104.
5. Харченко В.С. Модели надежности информационно-управляющих систем с сетевым многоярусным мостиком мажоритированием / В.С. Харченко, В.В. Скляр, А.Д. Герасименко // Радиоелектронні і комп'ютерні системи. – 2007. – № 6(25). – С. 196-201.

Поступила в редколлегию 14.02.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.А. Краснобаев, Полтавский национальный технический университет им. Ю. Кондратюка, Полтава.

## ПРОЦЕДУРИ АНАЛІЗУ БАГАТОВЕРСІЙНИХ СИСТЕМ

В.В. Скляр

У статті вирішується задача розробки процедур аналізу багатоверсійних систем (БВС) у частині адаптації існуючих моделей надійності й функціональної безпеки з урахуванням особливостей БВС. Для цього запропоновані процедури аналізу БВС. Ці процедури базуються на наступних моделях: матриця аналізу БВС; теоретико-множинна модель БВС і метрики багатоверсійності продуктів; комбінаторні схеми для аналізу надійності систем з довільним числом версій.

**Ключові слова:** багатоверсійна система, метрика багатоверсійності, функціональна безпека.

## PROCEDURES OF MULTIVERSION SYSTEMS ANALYSIS

V.V. Sklyar

A task of procedures development of multiversion systems (MVS) analysis is resolved in the paper in a part of adoption of the existing reliability and functional safety models taking into account MVSs features. The appropriated procedures are proposed. These procedure are based on using of the following models: MVS analysis matrix, a theoretical-set MVS model, products multiversion metrics, combinational diagrams for reliability analysis of MVSs with any number of versions.

**Keywords:** multiversion systems, multiversion metrics, functional safety.