

Пример 4. Анализ надежности и безопасности стенда физических измерений

Рассматривается пример практического применения технологии АСМ для моделирования и расчета показателей безотказности, отказа, возникновения и невозникновения *проектной аварии*, локализации запроектной аварийной ситуации и возникновения *запроектной аварии* [22] Стенда **физических измерений** (СФИ). Анализ этого ОИАЭ был выполнен в Межотраслевом, экспертно-сертификационном научно-техническом и контрольном центре ядерной и радиационной безопасности (РЭСцентр), с помощью комплекса АРБИТР, по заказу ФГУП "ПО "СЕВМАШ". В полном объеме результаты этого анализа опубликованы в статье [21].

Подготовленная специалистами РЭСцентр СФЦ надежности и безопасности [23] стенда физических измерений изображена на рис.1.

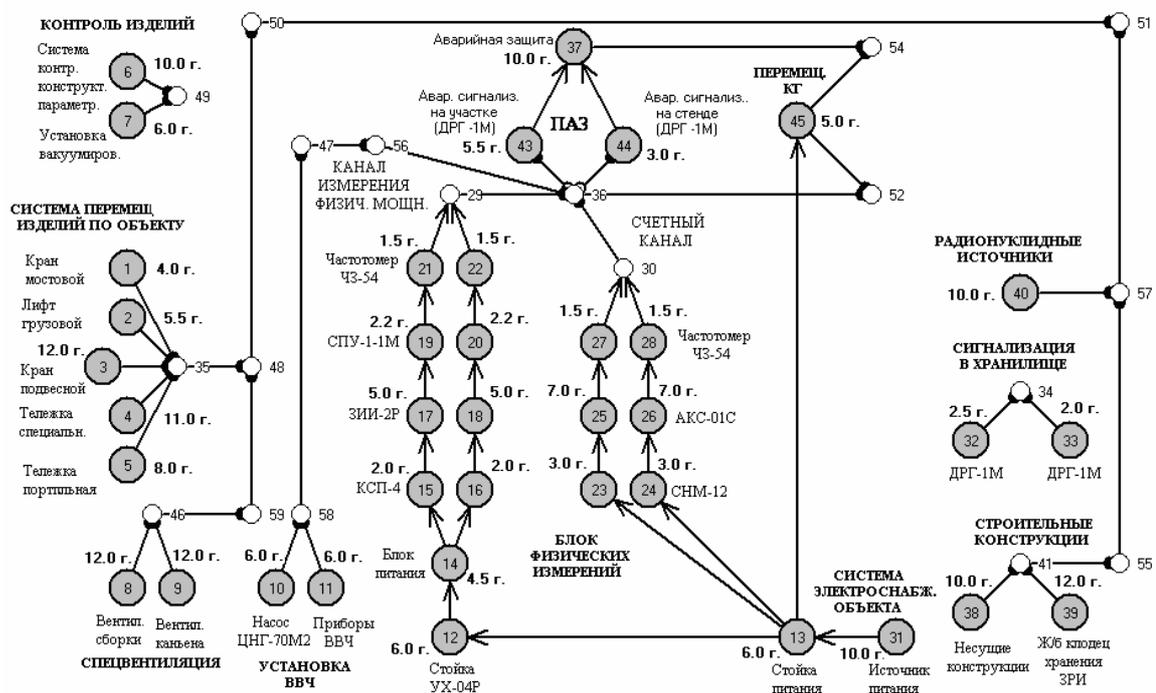


Рис.1. СФЦ работоспособности и безопасности стенда физических измерений

Функциональными вершинами на схеме обозначены события безотказной работы элементов СФИ. Приведены наименования соответствующих подсистем и элементов и значения их средних наработок до отказа в годах. В СФЦ представлены 13 подсистем (их наименования на рис.1 выделены), отказы элементов которых могут привести к функциональному отказу по надежности СФИ в целом, возникновению проектной аварии, локализации аварийных ситуаций и возникновению запроектной аварии (неуправляемой самоподдерживающейся цепной реакции деления).

Все подсистемы СФИ представлены фрагментами СФЦ условий их работоспособности (безаварийности). Поэтому СФЦ, изображенная на рис.1, в целом подобна исходной функциональной схеме СФИ, и ее построение не вызывает больших затруднений.

На схеме представлено одно немонотонное условие (см. рис.1, инверсные выходы фиктивной вершины 36) возникновения отказов каналов блока физических измерений или установки воды высокой частоты. В этом случае для локализации

запроектной аварии требуется безотказная работа подсистемы аварийной защиты (ПАЗ), а отказ этой подсистемы может привести к возникновению запроектной аварии (нелокализованной самоподдерживающейся цепной реакции деления).

В табл.1 приведены основные результаты автоматизированного моделирования и вероятностного анализа надежности и безопасности СФИ, полученные с помощью комплекса АРБИТР.

Таблица 1. Результаты вероятностного анализа СФИ

№	Исследуемое свойство СФИ и логический критерий его реализации	Число КПУФ или МСО логической функции	Число одночленов вероятностной функции	Вероятность события
1	Безотказность $Y_{49} \cdot Y_{34} \cdot Y_{51} \cdot Y_{52}$	4 (КПУФ)	9	$P_{СФИ}(1000ч) = 0.6346585752$
2	Отказ $\bar{Y}_{49} \vee \bar{Y}_{34} \vee \bar{Y}_{51} \vee \bar{Y}_{52}$	46 (МСО)	190	$Q_{СФИ}(1000 ч) = 0.3653414248$
3	Возникновение проектной аварии $\bar{Y}_{51} \vee Y_{54}$	68 (немонотонн.)	356	$P_{ПА}(100ч) = 0.0220151844$
4	Невозникновение проектной аварии $Y_{51} \cdot Y_{54}$	9 (немонотонн.)	23	$Q_{ПА}(100ч) = 0.9779848156$
5	Локализация запроектной аварийной ситуации $\bar{Y}_{36} \cdot Y_{54}$	58 (немонотонн.)	346	$P_{Лок. ЗАС}(100ч) = 0.0087402877$
6	Возникновение запроектной аварии исходного СФИ $\bar{Y}_{36} \cdot \bar{Y}_{54}$	89 (немонотонн.)	521	$P_{ЗА}(100ч) = 0.0030695642$
7	Возникновение запроектной аварии модернизированного СФИ $\bar{Y}_{36} \cdot Y_{54}$	89 (немонотонн.)	2079	$P_{ЗА}(100ч) = 0.0000350589$

Моделирование и расчет надежности СФИ выполнены для наработки $t = 1000$ часов (продолжительность типового цикла работы СФИ). Анализ безопасности выполнен для наработки $t = 100$ часов (средняя продолжительности цикла физических измерений).

Результаты, приведенные в табл.1, показывают, что ПК АРБИТР позволяет строить прямые (безотказность, безаварийность) и обратные (отказ, авария) модели исследуемой системы (см. табл.1, задачи № 1, 2 и № 3, 4).

Задача №5 анализа локализации запроектной аварийной ситуации показала в каких ситуациях (их оказалось 58) и на сколько ПАЗ обеспечивает безопасность СФИ.

Задача №6 позволила выделить 89 возможных ситуаций возникновения запроектной аварии СФИ с наиболее тяжелыми последствиями (неуправляемой цепной ядерной реакции деления). При этом на основе вычисленных ПК АРБИТР положительных вкладов были определены элементы, увеличение безотказности которых позволяет в наибольшей степени уменьшить вероятность возникновения запроектной аварии.



Рис.2. Диаграмма положительных вкладов элементов в безопасность СФИ

Как видно из рис.2 ими оказались элементы 13 и 31 системы электроснабжения (см. рис.1). На этой основе было предложено модернизировать СФИ путем резервирования указанных элементов. Контрольный расчет показал (см. табл.1, задача №7) что это позволяет на два порядка уменьшить вероятность возникновения запроектной аварии СФИ.

Корректность решения комплексом АРБИТР задач данного примера подтверждена в отчете о верификации комплекса АРБИТР [2] сопоставлением полученных машинных результатов с ручными аналитическими решениями и контролем непротиворечивости прямого и обратного моделирования свойств надежности и безопасности СФИ.

Список литературы

1. АРБИТР, "Программный комплекс автоматизированного структурно-логического моделирования и расчета надежности и безопасности систем (ПК АСМ СЗМА), базовая версия 1.0". Автор Можяев А.С. Правообладатель ОАО "СПИК СЗМА". // Свидетельство об официальной регистрации № 2003611101. М.: РОСПАТЕНТ РФ, 2003. // Аттестационный паспорт №222 от 21 февраля 2007 г., выдан Советом по аттестации программных средств НТЦ ЯРБ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) РФ.
2. Можяев А.С., Киселев А.В., Струков А.В., Скворцов М.С. Отчет о верификации программного средства "Программный комплекс автоматизированного структурно-логического моделирования и расчета надежности и безопасности систем" (АРБИТР, ПК АСМ СЗМА, базовая версия 1.0). Заключительная редакция с приложениями. СПб.: ОАО "СПИК СЗМА", 2007. – 1031 с.
3. Можяев А.С. Общий логико-вероятностный метод анализа надежности сложных систем. Уч. пос. Л.: ВМА, 1988. - 68с.

4. Можаяев А.С. Общий логико-вероятностный метод автоматизированного структурно-логического моделирования надежности, безопасности и риска сложных систем. Многотомное издание "Безопасность России". Анализ риска и проблем безопасности. В четырех частях. Часть I. Основы анализа и регулирования безопасности. М.: МГФ "Знание", 2006, 640 с. (с. 153-197).
5. Черкесов Г. Н., Можаяев А.С. Логико-вероятностные методы расчета надежности структурно-сложных систем. // В кн. Надежность и качество изделий. М.: Знание, 1991, с. 34-65.
6. Можаяев А.С. Общий логико-вероятностный метод и технология моделирования безопасности сложных систем. Многотомное издание "Безопасность России". Анализ риска и проблем безопасности. В четырех частях. Часть III. Прикладные вопросы анализа рисков критически важных объектов, 2007, 816 с. (с. 243-293).
7. Можаяев А.С. Автоматизированное структурно-логическое моделирование систем. Учебник. СПб: ВМА им Кузнецова Н.Г, 2006. - 590 с.
8. Можаяев А.С., Гладкова И.А. Программный комплекс автоматизированного структурно-логического моделирования сложных систем 2001 (ПК АСМ 2001). // Свидетельство об официальной регистрации № 2003611099. М.: РОСПАТЕНТ РФ, 2003.
9. Можаяев А.С. Программный комплекс автоматизированного структурно-логического моделирования сложных систем (ПК АСМ 2001). // Труды Международной Научной Школы 'Моделирование и анализ безопасности, риска и качества в сложных системах' (МА БРК – 2001). СПб.: Издательство ООО 'НПО 'Омега', 2001, с.56-61.
10. Можаяев А.С., Гладкова И.А. Библиотека программных модулей автоматического построения монотонных и немонотонных логических функций работоспособности систем и многочленов вероятностных функций (ЛОГ&ВФ). // Свидетельство об официальной регистрации № 2003611100. М.: РОСПАТЕНТ РФ, 2003.
11. Можаяев А.С. Универсальный графоаналитический метод, алгоритм и программный модуль построения монотонных и немонотонных логических функций работоспособности систем. // Труды Международной научной школы: "Моделирование и анализ безопасности, риска в сложных системах" (МА БР – 2003). СПб.: СПбГУАП, 2003, с.101-110.
12. Risk Spectrum PSA Professional 1.20 / Theory Manual. RELCON AB, 1998. - 57p.
13. Викторова В.С., Кунтшер Х., Петрухин Б.П., Степанянц А.С. Relex - программа анализа надежности, безопасности, рисков. // "Надежность" №4(7), 2003, с. 42-64.
14. Бахметьев А.М., Былов И.А., Милакова Ю.В. Отчет о научно-исследовательской работе "Верификация и обоснование программы CRISS 4.0 для моделирования и анализа систем безопасности ядерной установки при выполнении вероятностного анализа безопасности". Часть 1 (Заключительная редакция). Нижний Новгород: ФГУП ОКБМ им. И.И.Африкантова, 2005. - 88 с.
15. Рябинин И.А., Черкесов Г.Н. Логико-вероятностные методы исследования надежности структурно-сложных систем. М.: Радио и связь, 1981.
16. Рябинин И.А. Три кита ВМФ: надежность, живучесть, безопасность. Новочеркасск: ООО НПО "Темп", 2006, - 116 с.
17. Рябинин И.А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. СПб.: Издательство Санкт-Петербургского университета, 2007 г., 278 с.
18. ФГУП СПбАЭП, ОАО "СПИК СЗМА", (Санкт-Петербург), ИПУ РАН им. В.А.Трапезникова (г.Москва). НИР "Сравнительный анализ технологий деревьев отказов и автоматизированного структурно-логического моделирования, используемых для выполнения работ по вероятностному анализу безопасности АЭС и АСУТП на стадии проектирования" (шифр "Технология 2004"), 2005. - 282 с.
19. ГОСТ 27.301-95. Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения. М.: ИПК Издательство стандартов, 1996, 15 с.
20. РД 03-418-01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов. // Нормативные документы межотраслевого применения по вопросам промышленной безопасности и охраны недр. Серия 3. Выпуск 10. М.: Госгортехнадзор России, НТЦ "Промышленная безопасность", 2001, 60 с.
21. Ш.В.Камынов, М.И.Рылов, А.С.Можаяев, А.А.Нозик. Методика применения программного комплекса АСМ СЗМА для расчета показателей безотказности и

- безаварийности стенда физических измерений. // Журнал "Управление риском", №1. М.: Издательство "АНКИЛ", 2007, с. 63-72.
22. НП-038-02. Общие положения обеспечения безопасности радиационных источников. // Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. М.: Госатомнадзор России, 2002, - 37 с.
23. НП-024-200. Требования к обоснованию возможности продления назначенного срока эксплуатации объектов использования атомной энергии. // Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. М.: Госатомнадзор России, 2000, - 15 с.