

Пример 2. Безотказность системы электроснабжения

На рис.1 изображена исходная функциональная схема (граф связности с циклами) системы электроснабжения (СЭС) известной задачи №35 И.А.Рябинина [16], в которой имеются множественные кольцевые (мостиковые) связи обеспечения работоспособности элементов 4-8.

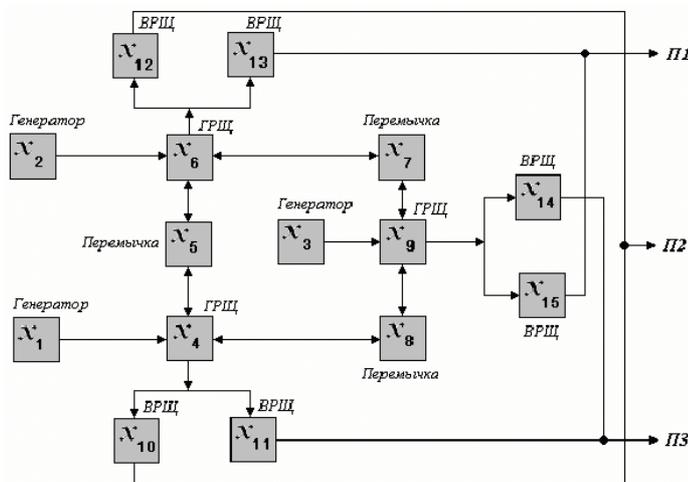


Рис.1. Исходная функциональная схема системы электроснабжения

Система невозстанавливаемая. Требуется рассчитать вероятность безотказного обеспечения питанием течение одного года всех трех потребителей П1, П2 и П3, и среднюю наработку до отказа СЭС в целом. Средняя наработка до отказа всех элементов СЭС считается одинаковой и равной $T_{01} = 2$ года.

В полном объеме решение данного примера приведено в Тесте-2 Отчета о верификации АРБИТР [15]. Здесь рассматриваются два варианта решения данной задачи комплексом АРБИТР, сначала на основе прямого, а затем на основе обратного подходов.

1. Решение на основе прямого подхода

При использовании прямого подхода пользователь АРБИТР, на основе анализа исходной функциональной схемы работоспособности СЭС (см. рис.1), разрабатывает СФЦ ее безотказности. Вариант такой СФЦ безотказности СЭС изображен на рис.2.

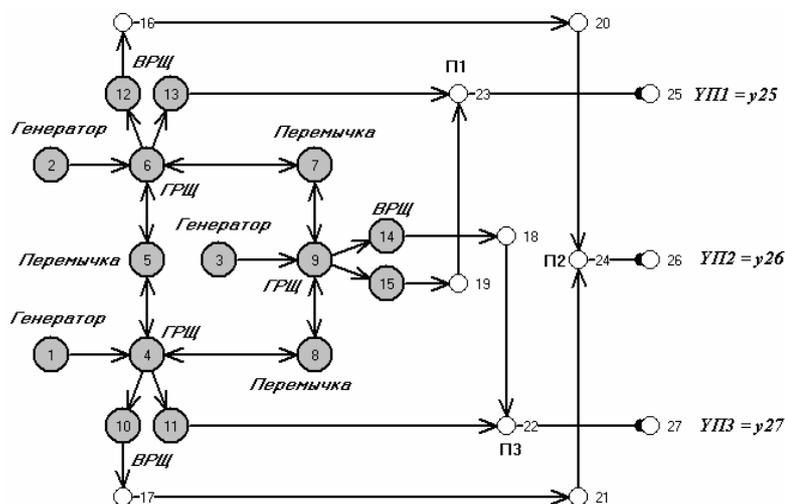


Рис.2. СФЦ безотказности СЭС

Не трудно видеть, что, в данном случае, разработка СФЦ безотказности не представляет большой сложности, так как она подобна исходной функциональной схеме работоспособности СЭС, изображенной на рис.1.

После ввода в АРБИТР СФЦ безотказности СЭС и параметров надежности элементов, задаются два логических критерия:

$$Y_{СЭС} = y_{25} \cdot y_{26} \cdot y_{27} \text{ - ЛКФ безотказности СЭС;}$$

$$\bar{Y}_{СЭС} = \bar{y}_{25} \vee \bar{y}_{26} \vee \bar{y}_{27} = y''_{25} \vee y''_{26} \vee y''_{27} \text{ - ЛКФ отказа СЭС.}$$

В табл.1 приведены результаты прямого подхода к моделированию и расчету надежности СЭС.

Таблица 1. Результаты прямого подхода к анализу надежности СЭС

№	Исследуемое свойство СЭС и логический критерий его реализации	Размер математических моделей логической вероятностной	Точная вероятность (АРБИТР)	Приближенная вероятность (по методике Risk Spectrum, Sapphire-7)
1	Безотказность по СФЦ на рис.2 $y_{25} \cdot y_{26} \cdot y_{27}$	КПУФ - 92 ВФ - 170	0.201540416714	0.748067705566
2	Отказ по СФЦ на рис.2 $y''_{25} \vee y''_{26} \vee y''_{27}$	МСО - 31 ВФ - 207	0.798459583286	0.943033494066
3	Средняя наработка до отказа СЭС	5963 час. (0.6808 год)		

В последнем столбце табл.1 приведены результаты приближенных вычислений вероятностей безотказной работы и отказа СЭС, полученные по расчетным методикам, которые используются в комплексах Risk Spectrum и Sapphire-7. Эти результаты существенно расходятся с точными расчетами АРБИТР.

1. Решение на основе обратного подхода

Обратный подход является основным и единственным во всех программных комплексах, реализующих технологию деревьев отказов. Для использования обратного подхода к решению рассматриваемого примера с помощью комплекса АРБИТР, пользователю необходимо, на основе анализа исходной функциональной схемы работоспособности СЭС (см. рис.1), мысленно определить все различные комбинации отказов элементов, приводящие к отказу заданного режима работы СЭС. Выделенные таким образом условия отказа СЭС графически представляются в виде СФЦ дерева отказов. Вариант такой СФЦ отказа СЭС изображен на рис.3 [15].

И СФЦ на рис.2 серым цветом отмечены основные функциональные вершины, представляющие безотказность элементов СЭС. С помощью инверсных выходных дуг их вершин в СФЦ учитываются вероятности отказов соответствующих элементов. Белым цветом помечены размноженные вершины, позволившие перебрать и графически представить все сечения отказов СЭС. Как видно из результатов, приведенных в табл.1 рассматриваемой СЭС соответствует 31 минимальное сечение отказов.

После ввода в АРБИТР СФЦ дерева отказов СЭС и параметров надежности элементов, задаются два логических критерия:

$Y_{СЭС} = y_{136}$ - ЛКФ отказа СЭС;

$\bar{Y}_{СЭС} = \overline{y_{136}} = y''_{136}$ - ЛКФ безотказности СЭС.

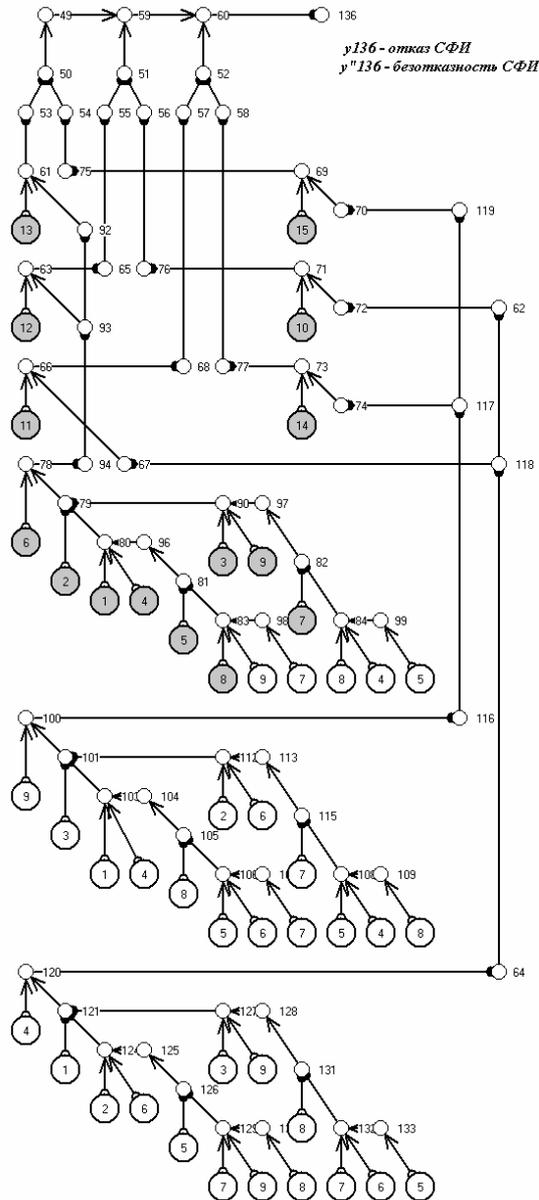


Рис.3. СФЦ дерева отказов СЭС

В табл.2 приведены результаты обратного подхода к моделированию и расчету надежности СЭС с помощью комплекса АРБИТР.

Таблица 2. Результаты обратного подхода к анализу надежности СЭС

№	Исследуемое свойство СЭС и логический критерий его реализации	Размер математических моделей логической вероятностной	Точная вероятность (АРБИТР)	Приближенная вероятность (по методике Risk Spectrum, Sapphire-7)
1	Безотказность по СФЦ на рис.2 y''_{136}	КПУФ - 92 ВФ - 147	0.201540416714	0.748067705566
2	Отказ по СФЦ на рис.2	МСО - 31 ВФ - 202	0.798459583286	0.943033494066

	у136		
3	Средняя наработка до отказа СЭС	5963 час. (0.6808 год)	

Сравнение результатов, приведенных в табл.1 и табл.2 показывают, что при использовании прямого и обратного подходов результаты построения логических моделей (КПУФ, МСО) расчеты показателей надежности СЭС совпали полностью. Это подтверждает, что в технологии АСМ при использовании комплекса АРБИТР пользователь может по своему усмотрению выбирать прямой или обратный подход, т.е. строить СФЦ работоспособности или отказа исследуемой системы. При правильном построении выбранной структурной модели результаты анализа системы будут одинаковыми. Однако в рассматриваемом примере (как и во многих других случаях) выбор обратного подхода менее эффективен, так как построение СФЦ дерева отказов (см. рис.2) оказалось значительно более трудным, чем построение СФЦ работоспособности (см. рис.1).

Литература

1. Обеспечение безопасности и надежности ТЭК России. Механизмы обеспечения безопасности от угрозы техногенного характера. Выдержки из доклада руководителя Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору К.Б.Пуликовского на пленарном заседании V Всероссийского энергетического форума "ТЭК России в XXI веке" (3 апреля 2007 г.) // Журнал "Энергонадзор-информ", №2 (32), 2007 г., с. 2-5.
2. 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.
3. РД 34.20.501-95. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. // Приказ Минэнерго № 229 от 19.06.20003 г., приказ Ростехнадзора РФ от 01.08.2006 г. № 738).
4. Ершов Г.А., Козлов Ю.И., Солодовников А.С., Можаяев А.С. Оценка безопасности атомных энергетических объектов на стадии проектирования. // Журнал "Тяжелое машиностроение" № 8/2004, М.: ООО "Дом печати "Столичный бизнес", 2004. с. 33-39.
5. Risk Spectrum PSA Professional 1.20 / Teory Manual. RELCON AB, 1998. -57p. Дополнительно сайт: <http://www.riskspectrum.com>
6. Программный комплекс "РИСК" (RISK). Сайт: www.insc.ru/PSA/risk.html .
7. 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.
8. Можаяев А.С. Общий логико-вероятностный метод анализа надежности сложных систем. Уч. пос. Л.: ВМА, 1988. -68с.
9. Можаяев А.С. Теория и практика автоматизированного структурно-логического моделирования систем. // Доклады международной конференции по информатике

и управлению. (ICI & C') Том 3. СПб.: СПИИРАН, 1997, с.1109-1118. Mozhaev A.S. Theory and practice of automated structural-logical simulation of system. International Conference on Informatics and Control (ICI&C'97). Vol. 3. St. Petersburg: SPIIRAS, 1997, p.1109-1118.

10. 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.
11. Можаяев А.С., Алексеев А.О., Громов В.Н. Автоматизированное логико-вероятностное моделирование технических систем. Руководство пользователя ПК АСМ версии 5.0. СПб.: ВИТУ, 1999, 63 с.
12. 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. Свидетельство об официальной регистрации № 2003611099. М.: РОСПАТЕНТ РФ, 2003.
13. 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 № 2003611100 об официальной регистрации программ. М.: Роспатент РФ, 2003.
14. АРБИТР, "Программный комплекс автоматизированного структурно-логического моделирования и расчета надежности и безопасности систем (ПК АСМ СЗМА), базовая версия 1.0". Автор: Можаяев 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.
15. Можаяев 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" (ПК АСМ СЗМА, базовая версия 1.0, «АРБИТР»). Заключительная редакция с приложениями. СПб.: ОАО "СПИК СЗМА", 2007. – 10031 с.
16. Рябинин И.А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. СПб.: Издательство Санкт-Петербургского университета, 2007 г., 278 с.
17. 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).
18. 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).