

2.10. Расчет надежности вычислительной системы с синхронизатором

2.10.1. Описание задачи

Рассматривается вычислительная система (рис. 2.10.1), состоящая из двух параллельно работающих, взаимно резервирующих друг друга вычислительных устройств (1,2) и синхронизатора (3).

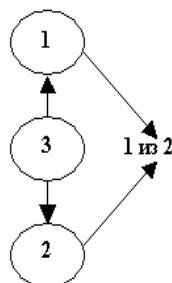


Рис. 2.10.1 Структурная схема вычислительной системы с синхронизатором

Реализуется резервирование основного устройства (в качестве которого может быть как 1, так и 2) другим, резервным. Синхронизатор поддерживает параллельную, одновременную работу вычислительных устройств и необходим для мгновенного включения в работу резервного при отказе основного. При отказе синхронизатора система может работать только на одном, основном (в данный момент времени) вычислительном устройстве. В этом случае система становится нерезервированной. Особенностью модели “надежностного поведения” является необходимость учета последовательности возникновения отказов. При отказе основного устройства, а затем синхронизатора, система продолжает работать на резервном устройстве, так как в момент отказа основного устройства синхронизатор был работоспособен и обеспечил включение резерва. Если же сначала отказывает синхронизатор, а затем основное устройство, то система попадает в состояние отказа. В примере рассматривается модель без восстановления.

2.10.2. Результаты решения на ПК «RELEX»

Модель надежности системы в виде марковского графа состояний и переходов приведена на рис. 2.10.2.

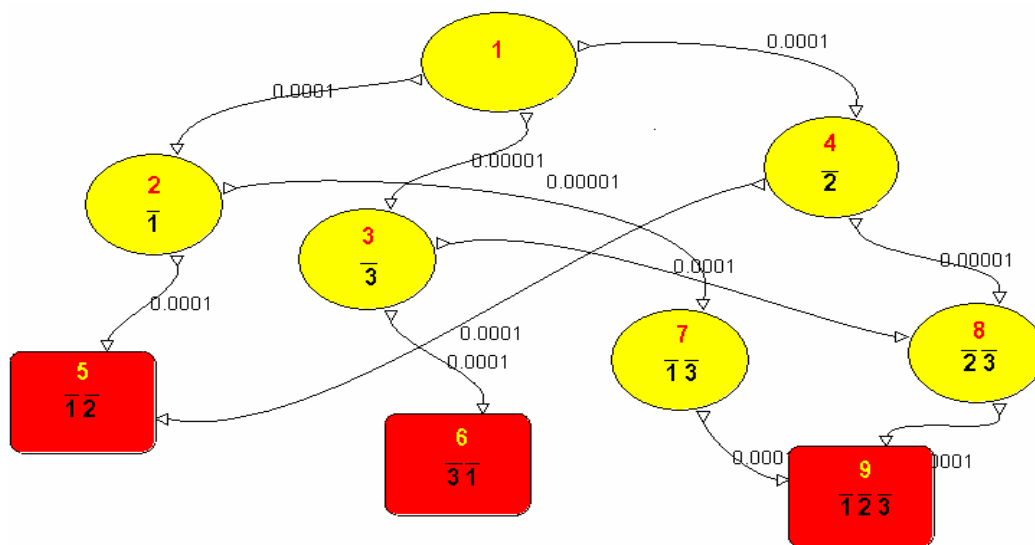


Рис.2.10.2. Марковская модель вычислительной системы с синхронизатором

Вероятности работоспособных состояний, полученные из уравнений Колмогорова-Чепмена, имеют вид:

$$\begin{aligned}
 P_1(t) &= \exp\{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3) \cdot t\}; \\
 P_2(t) &= \exp\{-(\lambda_2 + \lambda_3) \cdot t\} \cdot (1 - \exp\{-\lambda_1 \cdot t\}); \\
 P_3(t) &= \exp\{-(\lambda_1 + \lambda_2) \cdot t\} \cdot (1 - \exp\{-\lambda_3 \cdot t\}); \\
 P_4(t) &= \exp\{-(\lambda_1 + \lambda_3) \cdot t\} \cdot (1 - \exp\{-\lambda_2 \cdot t\}); \\
 P_7(t) &= \lambda_3 \cdot \left(\frac{\exp\{-\lambda_2 \cdot t\} - \exp\{-(\lambda_2 + \lambda_3) \cdot t\}}{\lambda_3} - \frac{\exp\{-\lambda_1 \cdot t\} - \exp\{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3) \cdot t\}}{\lambda_1 + \lambda_3} \right); \\
 P_8(t) &= \exp\{-\lambda_1 \cdot t\} \cdot (1 - \exp\{-\lambda_2 \cdot t\}) \cdot (1 - \exp\{-\lambda_3 \cdot t\}).
 \end{aligned}
 \tag{2.10.1}$$

Вероятность безотказной работы системы на интервале (0,t) равна

$$P_{6/o}(t) = \sum_{i \in \{4,7,8\}} P_i(t) .
 \tag{2.10.2}$$

Расчет на Relex Markov был проведен для $\lambda_1 = \lambda_2 = 0.0001$, $\lambda_3 = 0.00001$, $t = 8760$ ч.

Результаты расчета во времени приведены в таблице на рисунке 2.10.3 (рисунок получен копированием экрана результатов вычислений модуля Relex Markov).

Таблица 2.4.

Time	Reliability
0	1.000000
876.00	0.992635
1752.00	0.973032
2628.00	0.944377
3504.00	0.909228
4380.00	0.869623
5256.00	0.827181
6132.00	0.783175
7008.00	0.738596
7884.00	0.694210
8760.00	0.650595

Рис. 2.10.3. Результаты расчетов вероятности безотказной работы

Средняя наработка до отказа системы (MTTF) = **14761.904762**ч.

2.10.3. Результаты решения на ПК «АСМ»

Класс задач Марковского моделирования в технологии и ПК АСМ в настоящее время не реализован.

Однако выполненные к настоящему времени разработки позволяют решить данную задачу анализ системы с синхронизацией используя новые средства так называемого комбинаторно-последовательного автоматизированного логико-вероятностного моделирования систем.

Сначала получим приближенное решение раной задачи традиционными комбинаторными методами логико-вероятностного моделирования. Затем найдем точное решение, используя АСМ-утилиту расчета логических последовательностей.

Пример 1. Приближенное решение задачи расчета надежности системы с синхронизатором с помощью ПК АСМ

Для решения данного примера разработана СФЦ, представленная на рис.2.10.4.

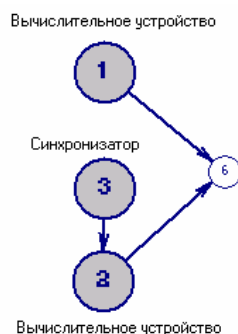


Рис.2.10.4. СФЦ вычислительного устройства с синхронизатором

Решая эту задачу с помощью ПК АСМ с параметрами $\lambda_1 = \lambda_2 = 0.0001$ (1/час), $\lambda_3 = 0.00001$ (1/час), $t = 8760$ ч., получаем.

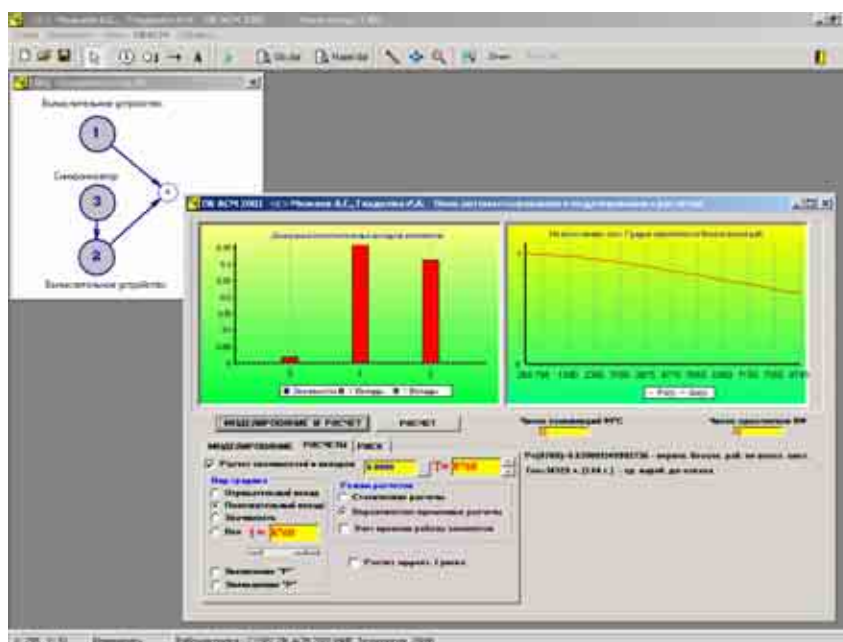


Рис.2.10.4. Результаты приближенного решения задачи с синхронизатором

Результаты расчетов составили

$$\text{Вероятность безотказной работы системы } Pc(8760) = 0.639081349993 \quad (2.10.3)$$

$$\text{Средняя наработка до отказа системы (MTTF)} = 14329 \text{ ч.}$$

Оба результата близки (с занижением) к показателям надежности данной системы, полученным с помощью модуля Relex Markov ($Pc(8760) = 0.650595$ и 14761.904762 ч.).

Пример 2. Точное решение задачи расчета надежности системы с синхронизатором в технологии АСМ.

Для данного простого примера очевидно, что в полученном ранее решении (см. рис. 2.4.10) не учтена одна последовательность отказов элементов, не приводящая к отказу исследуемой системы в целом. Она соответствует событию, когда сначала отказал элемент 1, а только потом, уже после выполнения функции синхронизации и передачи управления вычислительному устройству 2, отказал синхронизатор 3. Это событие представлено на графе переходов (см. рис.2.10.2) состоянием с номером 7 ($\bar{1} \cdot \bar{3}$), которое является работоспособным, в отличие от отказового состояния 6 ($\bar{3} \cdot \bar{1}$) рассматриваемой системы. В технологии АСМ указанное дополнительное состояние может быть учтено следующей СФЦ следующего вида.

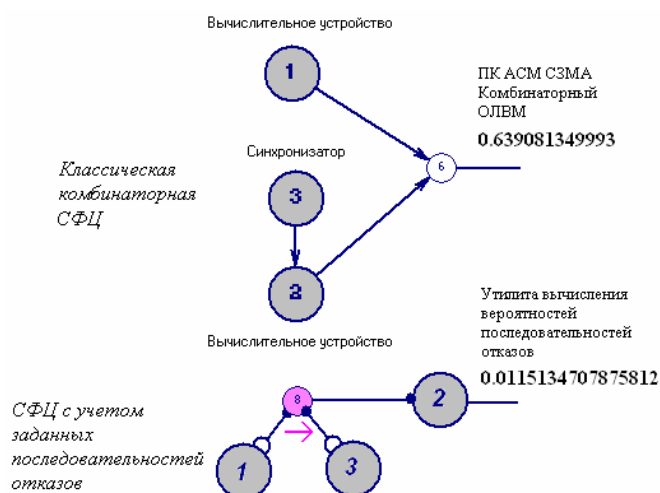


Рис.2.10.5. СФЦ комбинаторно-последовательной системы с синхронизатором

Ранее, на основе классической комбинаторной СФЦ системы с синхронизатором ранее была вычислена приближенная вероятность ее безотказной работы (2.10.3), которая составила

$$0.639081349993.$$

Вычисляя с помощью уже описанной ранее утилиты моделирования и расчета последовательностей отказов (см. §2.8.3) получаем следующую вероятность работоспособного состояния $\bar{x}_1 \cdot \bar{x}_3 \cdot x_2$ (см. марковское состояние 7 на рис.2.10.2)

$$p(\{x''_1 - > x''_3\} \cdot x_2) = 0.0115134707875812$$

Суммируя указанные вероятности получаем точное значение вероятности безотказной работы рассматриваемой системы с синхронизацией

$$Pc(8760) = 0.6505948207805812 \quad (2.10.4)$$

Эта вероятность точно совпадает с результатом решения, которое было получено с помощью модуля Relex Markov (см. рис.2.10.3).

Результаты расчетов надежности системы с синхронизатором средствами технологии АСМ для различных значений наработки приведены в следующей таблице.

Наработка (час)	Вероятность безотказной работы		
	приближенный расчет	последовательность	точный расчет
0	1	-	-
1	0.999999989001	4.99930024147034E-10	0.99999998950093
876	0.992295200305	0.000339483513030663	0.992634683818031
1752	0.971829454290	0.00120204902259067	0.973031503312591
2628	0.941981784205	0.0023952381177961	0.944377022322796
3504	0.905454731121	0.00377283730966169	0.909227568430662
4380	0.864397613522	0.00522546932907408	0.869623082851074
5256	0.820508227068	0.00667294611211197	0.827181173180112
6132	0.775116683135	0.00805806831469244	0.783174751449692
7008	0.729254455790	0.00934161112588398	0.738596066915884
7884	0.683711184964	0.0104982816481769	0.694209466612177
8760	0.639081349993	0.0115134707875812	0.650594820780581

Все расчеты по предложенной методике для других наработок совпали с данными полученными Relex Markov и приведенными в таблице на рис.2.10.3.

2.10.4. Результаты решения на ПК «RISK SPECTRUM»

Учитывая назначение кода «Risk Spectrum», а также то, что реальные системы АЭС обладают значительной сложностью, и основываясь на неофициальной информации специалистов СПБАЭП о планах развития данного кода, можно утверждать, что классы задач, рассмотренные выше в данном разделе и решенные модулем марковского анализа (Relex Markov) в технологии «Risk Spectrum» реализованы не будут ввиду отсутствия практической надобности.

Сводная таблица результатов раздела 2.10. " Расчет надежности вычислительной системы с синхронизатором "				
Пример	Наработка t (час)	Результаты моделирования и расчетов		
		Relex Markov	ПК АСМ	Risk Spectrum
1	2	3	4	5
Рассматривается вычислительная система (рис. 2.10.1), состоящая из двух параллельно работающих, взаимно резервирующих друг друга вычислительных устройств (1,2) и синхронизатора (3). Особенностью модели "надежностного поведения" является необходимость учета последовательности возникновения отказов. $\lambda_1 = \lambda_2 = 0.0001$, $\lambda_3 = 0.00001$, $t = 0-8760$ ч.	876	0.992635	0.992634683818031	не вычисляются
	1752	0.973032	0.973031503312591	
	2628	0.944377	0.944377022322796	
	3504	0.909228	0.909227568430662	
	4380	0.869623	0.869623082851074	
	5256	0.827181	0.827181173180112	
	6132	0.783175	0.783174751449692	
	7008	0.738596	0.738596066915884	
	7884	0.694210	0.694209466612177	
	8760	0.650595	0.650594820780581	

ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ 2.10

Выводы специалистов ИПУ РАН

В разделе рассмотрен еще один случай возникновения необходимости моделирования последовательности отказов. Задача решена только на ПК Relex и ПК АСМ.

Выводы специалистов ОАО "СПИК СЗМА"

Многие практически важные задачи системного анализа могут быть решены только методами и средствами Марковского моделирования. Главным сдерживающим фактором здесь становится проблема формализованной постановки задач, обусловленная высокой трудоемкостью построения графов переходов состояний систем большой размерности. Поэтому наряду с традиционными методами и средствами автоматизации процессов Марковского моделирования все более актуальной становится автоматизация процессов постановки задач Марковского моделирования, и, прежде всего, построения собственно графов переходов состояний. Эти разработки в плановом порядке выполняются в СПИК СЗМА.

Выводы специалистов СПбАЭП

1. Пример 2.10, демонстрирующий применение марковских процессов для учета последовательности возникновения отказов, решен помощью ПК «Relex» и ПК АСМ с дополнительной утилитой моделирования и расчета вероятностей комбинаторно-последовательных событий.

2. В связи с отсутствием практической надобности в решении задач, подобных рассмотренной в данном разделе, при производстве ВАБ АЭС, реализация их в технологии «Risk Spectrum» не планируется.