

2.3. Расчет надежности фрагмента ядерной энергетической установки

2.3.1. Описание задачи

На рис.2.3.1 представлена функциональная схема фрагмента ядерной энергетической установки (ЯЭУ), состоящей из следующих основных элементов и подсистем:

- системы поддержания вакуума в секциях главного конденсатора (1);
- 2-х секций главного конденсатора левого и правого каналов (2, 3);
- 2-х конденсатных насосов левого и правого каналов (5, 6);
- переключки между каналами (4);
- 2-х питательных насосов левого и правого каналов (9, 10);
- 2-х блоков питательных клапанов левого и правого каналов (11, 12);
- 4-х парогенераторов левого и правого каналов (13, 14, 15, 16);
- одного турбогенератора (23).

Наличие переключки позволяет обеспечить работу конденсатного насоса одного канала на питательный насос другого канала.

Задача состоит в необходимости нахождения вероятности безотказной работы ЯЭУ при условии, что для обеспечения нормального функционирования турбогенератора достаточным является нахождение в работе любых двух (из четырех) парогенераторов.

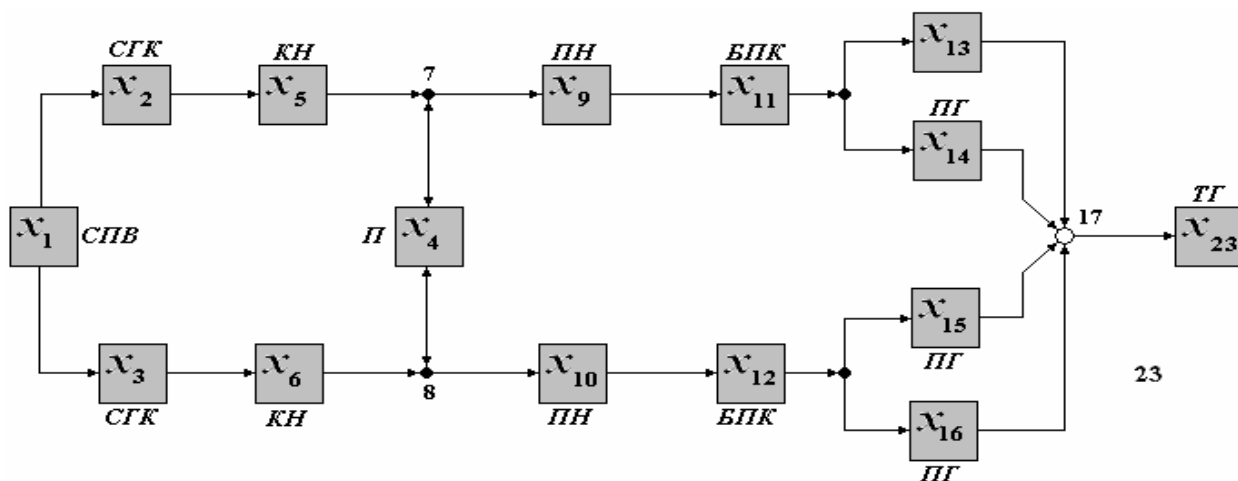


Рис.2.3.1. Функциональная схема ЯЭУ

2.3.2. Результаты решения на ПК «RELEX»

На рис. 2.3.2. приведена блок-схема данной ЯЭУ, построенная средствами графического редактора ПК Relex RBD.

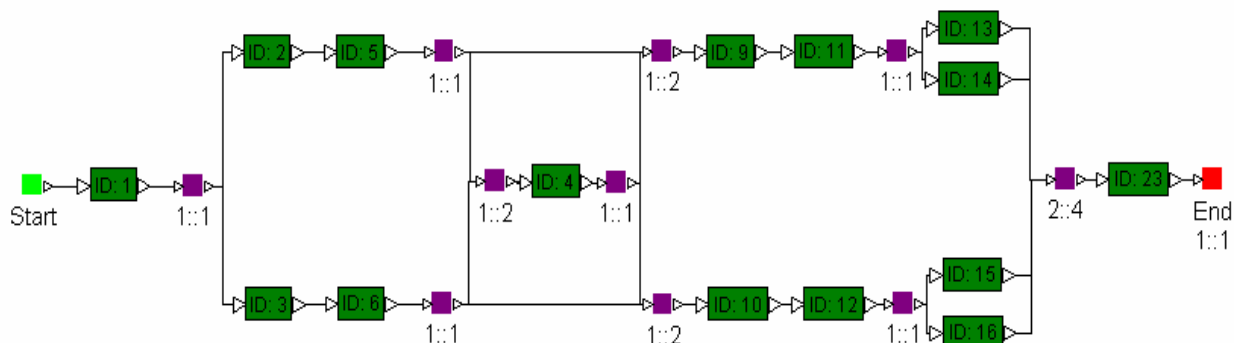


Рис. 2.3.2. Блок-схема для автоматизированного моделирования и расчета надежности ЯЭУ в Relex RBD

Пример 1. Расчет надежности ЯЭУ по заданным вероятностям безотказной работы элементов, независимым от времени.

Результаты расчетов приведены в таблице 2.3.1.

Таблица 2.3.1.

Вероятность безотказной работы	
элементов	системы
$P_i = 0.7 (i = 1 \div 23)$	0.152035
$P_i = 0.999 (i = 1 \div 23)$	0.997985

Пример 2. Расчет восстанавливаемой системы с заданными средними наработками до отказа и восстановления элементов в предположении экспоненциального распределения.

Результаты расчетов приведены в таблице 2.3.2.

Таблица 2.3.2.

Средняя наработка до отказа элементов	Среднее время восстановления элементов	Вероятность безотказной работы системы на интервале (0 ÷ 17520ч)	Коэффициент готовности системы в точке 17520ч	Параметр потока отказов в точке 17520ч	Hazard Rate (величина обратная средней наработке между отказами)	Среднее время между отказами (MTBF)
$T_i = 2628$ ч (0.3 года) ($i=2\div 6, 9\div 16$) $T_i = 8760$ ч (10 лет) ($i = 1, 23$)	$T_{vi} = 500$ ч $(i=1\div 23)$	I. Восстановление начинается после отказов элементов				
		$3e-11$	0.689456	$9.54e-4$	$13.83e-4$	1048.5
		II. Восстановление начинается после отказа системы				
			0.414106	$6.54e-4$	$15.78e-4$	1790

Для случая I: среднее время восстановления системы может быть получено как $MTBF - 1/\text{Hazard Rate} = 325.6$ ч. Для вероятности безотказной работы (это вероятность восстанавливаемой системы до первого отказа) вычисляется нижняя оценка. Средняя наработка между отказами может быть получена как обратная величина к Hazard Rate (на стационарном участке). $T_{\text{между}} = 722.9$ ч.

Пример 3. Список минимальных путей

Список минимальных путей приведен на рис. 2.3.3. Рисунок получен копированием экрана таблицы минимальных путей Relx RBD

Path Sets												
1	ID: 11	ID: 5	ID: 2	ID: 13	ID: 14	ID: 23	ID: 9	ID: 1				
2	ID: 11	ID: 6	ID: 3	ID: 13	ID: 14	ID: 23	ID: 4	ID: 9	ID: 1			
3	ID: 12	ID: 11	ID: 5	ID: 2	ID: 13	ID: 15	ID: 23	ID: 4	ID: 9	ID: 10	ID: 1	
4	ID: 12	ID: 11	ID: 6	ID: 5	ID: 2	ID: 3	ID: 13	ID: 15	ID: 23	ID: 9	ID: 10	ID: 1
5	ID: 12	ID: 11	ID: 6	ID: 3	ID: 13	ID: 15	ID: 23	ID: 4	ID: 9	ID: 10	ID: 1	
6	ID: 12	ID: 11	ID: 5	ID: 2	ID: 14	ID: 15	ID: 23	ID: 4	ID: 9	ID: 10	ID: 1	
7	ID: 12	ID: 11	ID: 6	ID: 5	ID: 2	ID: 3	ID: 14	ID: 15	ID: 23	ID: 9	ID: 10	ID: 1
8	ID: 12	ID: 11	ID: 6	ID: 3	ID: 14	ID: 15	ID: 23	ID: 4	ID: 9	ID: 10	ID: 1	
9	ID: 12	ID: 11	ID: 5	ID: 2	ID: 13	ID: 16	ID: 23	ID: 4	ID: 9	ID: 10	ID: 1	
10	ID: 12	ID: 11	ID: 6	ID: 5	ID: 2	ID: 3	ID: 13	ID: 16	ID: 23	ID: 9	ID: 10	ID: 1
11	ID: 12	ID: 11	ID: 6	ID: 3	ID: 13	ID: 16	ID: 23	ID: 4	ID: 9	ID: 10	ID: 1	
12	ID: 12	ID: 11	ID: 5	ID: 2	ID: 14	ID: 16	ID: 23	ID: 4	ID: 9	ID: 10	ID: 1	
13	ID: 12	ID: 11	ID: 6	ID: 5	ID: 2	ID: 3	ID: 14	ID: 16	ID: 23	ID: 9	ID: 10	ID: 1
14	ID: 12	ID: 11	ID: 6	ID: 3	ID: 14	ID: 16	ID: 23	ID: 4	ID: 9	ID: 10	ID: 1	
15	ID: 12	ID: 5	ID: 2	ID: 15	ID: 16	ID: 23	ID: 4	ID: 10	ID: 1			
16	ID: 12	ID: 6	ID: 3	ID: 15	ID: 16	ID: 23	ID: 10	ID: 1				

Рис. 2.3.3. Список минимальных путей функционирования ЯЭУ

Пример 4. Список минимальных сечений отказов

Список минимальных путей приведен на рис. 2.3.4. Рисунок получен копированием экрана таблицы минимальных сечений Relx RBD

Cut Sets			
1	ID: 12	ID: 11	
2	ID: 6	ID: 5	
3	ID: 6	ID: 2	
4	ID: 12	ID: 13	
5	ID: 12	ID: 14	
6	ID: 12	ID: 9	
7	ID: 5	ID: 3	
8	ID: 2	ID: 3	
9	ID: 14	ID: 10	
10	ID: 13	ID: 10	
11	ID: 11	ID: 15	
12	ID: 15	ID: 9	
13	ID: 11	ID: 16	
14	ID: 16	ID: 9	
15	ID: 11	ID: 10	
16	ID: 9	ID: 10	
17	ID: 23	ID: 10	
18	ID: 1		
19	ID: 12	ID: 5	ID: 4
20	ID: 12	ID: 2	ID: 4
21	ID: 14	ID: 15	ID: 16
22	ID: 13	ID: 15	ID: 16
23	ID: 13	ID: 14	ID: 15
24	ID: 6	ID: 14	ID: 4
25	ID: 6	ID: 13	ID: 4
26	ID: 13	ID: 14	ID: 16
27	ID: 11	ID: 6	ID: 4
28	ID: 6	ID: 4	ID: 9
29	ID: 3	ID: 14	ID: 4
30	ID: 3	ID: 13	ID: 4
31	ID: 11	ID: 3	ID: 4
32	ID: 3	ID: 4	ID: 9
33	ID: 5	ID: 15	ID: 4
34	ID: 2	ID: 15	ID: 4
35	ID: 5	ID: 16	ID: 4
36	ID: 2	ID: 16	ID: 4
37	ID: 5	ID: 4	ID: 10
38	ID: 2	ID: 4	ID: 10

Рис. 2.3.4. Список минимальных сечений отказов ЯЭУ

2.3.3. Результаты решения на ПК «АСМ»

СФЦ ЯЭУ, необходимая для применения технологии АСМ, изображена на рис.2.3.5.

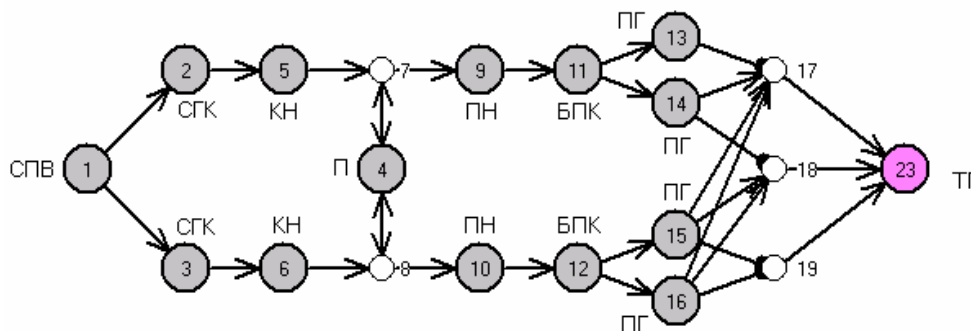


Рис.2.3.5. СФЦ для автоматизированного моделирования и расчета надежности ЯЭУ

Как видим, эта СФЦ подобна исходной функциональной схеме ЯЭУ, приведенной на рис.2.3.1, поэтому ее построение не вызывает затруднений.

Пример 1. Расчет надежности ЯЭУ по заданным вероятностям безотказной работы элементов, независящим от времени

Выполненные с помощью ПК АСМ СЗМА моделирование и расчет вероятности безотказной работы ЯЭУ, при заданных $p_i = 0.7$, дали следующие результаты:

1. Количество КПУФ - 16;
2. Количество одночленов точного многочлена ВФ – 26;
3. Вероятность безотказной работы системы - **0.152035396543**.

Вычисленное значение вероятности безотказной работы практически совпало с результатом, полученным с помощью модуля Relex RBD.

С помощью ПК Risk Spectrum в прямой постановке решение данного примера не рассмотрено. Однако, в табл.2.3.4 приведено решение обратной задачи, согласно которой значение вероятности отказа ЯЭУ, при всех $q_i = 1 - p_i = 1 - 0.7 = 0.3$, составило **0.087**. Это означает, что в пересчете вероятность безотказной работы ЯЭУ (согласно ПК Risk Spectrum) характеризуется величиной

$$1 - 0.087 = \mathbf{0.913}$$

Это **в шесть раз** больше, чем значение вероятности безотказной работы ЯЭУ, вычисленное ПК АСМ и модулем Relex RBD (**0.152035396543**).

Второе решение данного примера, приведенное в табл.2.3.4, определяет вероятность **0.002015** отказа ЯЭУ, вычисленную с помощью ПК Risk Spectrum при значениях вероятностей отказов всех элементов $q_i = 1 - p_i = 1 - 0.999 = 0.001$. Аналогичные расчеты, выполненные на всех ПК, реализующих технологию АСМ, дали практически такой же результат - **0.0020149558**. Это еще раз подтверждает, что ПК Risk Spectrum корректно вычисляет вероятности отказа систем при $q_i \leq 0.001$, что указано в технической документации на этот комплекс.

Пример 2. Расчет восстанавливаемой ЯЭУ с заданными средними наработками до отказа и средним временем восстановления элементов в предположении экспоненциального распределения

Для решения используется та же СФЦ ЯЭУ, приведенная на рис.2.3.5. В этом примере ЯЭУ рассматривается как восстанавливаемая система со следующими параметрами элементов:

- средняя наработка до отказа элементов $i = 2 - 6, 9 - 16$ составляет $T_{Oi} = 0.3$ г;
- средняя наработка до отказа элементов $i = 1, 23$ составляет $T_{Oi} = 10$ лет;
- среднее время восстановления всех элементов $T_{Bi} = 500$ час;
- наработка системы $t = 17520$ час (2 года).

На рисунке 2.3.6 изображена экранная форма окна результатов решения этой задачи, с помощью ПК АСМ СЗМА

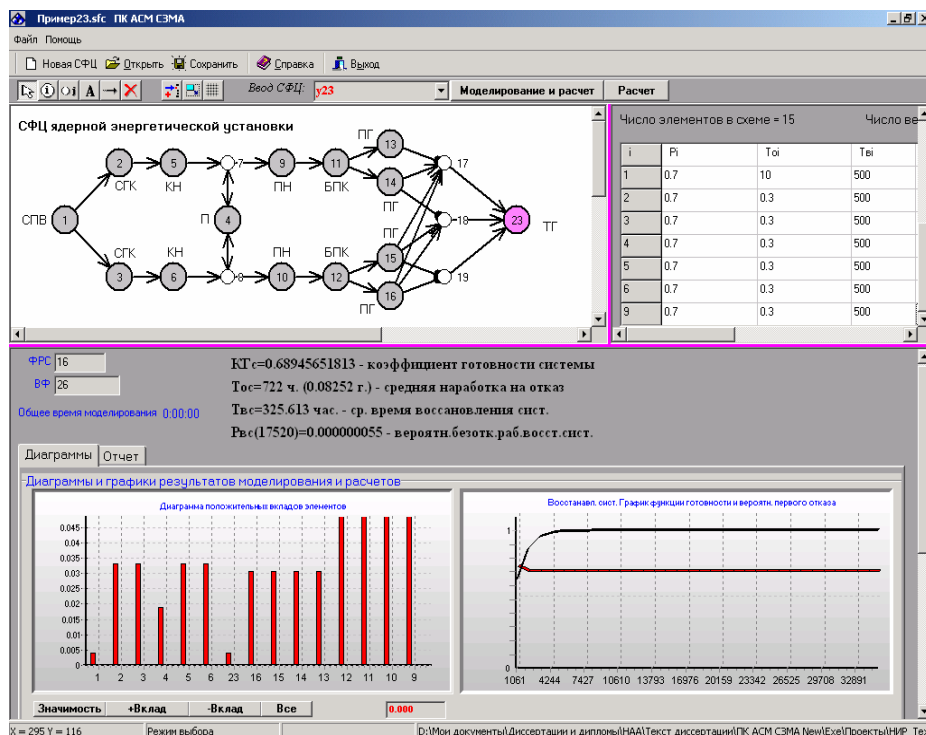


Рис. 2.3.6. Результаты расчетов надежности восстанавливаемой ЯЭУ

В таблице 2.3.3 приведены основные числовые характеристики надежности рассматриваемой АЭУ.

Таблица 2.3.3.

Средняя наработка до отказа элементов	Среднее время восстановления элементов	ВБР системы на интервале (0 ÷ 17520ч)	Коэффициент готовности системы	Среднее время восстановления системы	Частота отказов системы (1/год)	Средняя наработка на отказ (час)
$T_i = 2628$ ч (0.3г.) ($i=2\div 6, 9\div 16$) $T_i=10$ лет ($i=1, 3$)	$T_{Bi}=500$ ч ($i=1\div 18$)	0.000000055	0.6894565181	325.612857	8.354587	722

Полученное в ПК АСМ СЗМА расчетное значение коэффициента готовности **0.689456518134** практически совпало со значением этого показателя, полученного с по-

мощью модуля Relex RBD для случая, когда восстановление начинается после отказов элементов (см. табл.2.3.2).

Средняя наработка на отказ ЯЭУ, вычисляется в ПК АСМ СЗМА приближенными методами, и составляют: $T_{OC} = 722$ час, а среднее время восстановления ЯЭУ $T_{BC} = 325.61$ час. В расчетах Relex RBD приведено значение среднего времени между отказами $MTBF=1048.5$ час. Нетрудно видеть, что эта величина, практически, является суммой вычисленных ПК АСМ СЗМА показателей $T_{OC} + T_{BC} = 722 + 325.61 = 1047.61$ час. Поэтому, указанные временные характеристики надежности, вычисляемые ПК АСМ и Relex RBD, также можно считать вполне согласованными.

Оценка вероятности безотказной работы восстанавливаемой ЯЭУ, вычисляемая в ПК АСМ СЗМА, составила

$$P_{BC}(17520) \approx \exp\{-1/(T_{OC} + T_{BC})\} \approx 0.000000055 = 5.46e - 8,$$

что существенно отличается от аналогичного показателя, вычисляемого Relex RBD, и равного $P_{BC}(17520) = 3e - 11$, (см. табл.2.3.2). Это расхождение обусловлено тем, что в ПК АСМ при расчетах данной характеристики учитывается значение T_{BC} , которое в данном примере равно 500 час и сопоставимо с $T_{OC} = 722$ час. Вероятно, в модуле Relex RBD расчеты данной характеристики выполняются без учета времени восстановления всей системы. Тогда получаем:

$$P_{BC}(17520) \approx \exp\{-1/(T_{OC})\} = 2.89e - 11 \approx 3e - 11$$

что совпадает с результатом расчета модуле Relex RBD. Поэтому вычисления показателя $P_{BC}(t)$ в ПК АСМ и Relex RBD также можно считать вполне согласованными.

Непосредственный расчет показателей "Параметр потока отказов" и "Hazard Rate" в ПК АСМ в настоящее время не предусмотрен, хотя их реализация не представляет большой сложности.

В настоящее время в ПК АСМ не реализованы методы расчета показателей надежности систем, восстановление которых начинается после отказа всей системы.

Результаты решения данного примера с помощью ПК Risk Spectrum приведены в табл.2.3.5. Вычислен только показатель «коэффициент неготовности системы», который составил **0.322**. Следовательно, в пересчете коэффициент готовности ЯЭУ, в данном случае, оценивается величиной $1 - 0.322 = 0.678$, что достаточно близко к значению **0.6894565181**, полученному модулем Relex RBD и ПК АСМ СЗМА для случая неограниченного восстановления сразу после отказов элементов.

Пример 3. Список минимальных путей

Список КПУФ ЯЭУ автоматически формируется в ПК АСМ на основе СФЦ, изображенной на рис.2.3.5 и прямого логического критерия $Y_{ЯЭУ} = Y_C = y_{23}$. Он включает следующие 16 конъюнкций:

$$Y_C = \left| \begin{array}{l} x_1 x_2 x_5 x_{23} x_{14} x_{13} x_{11} x_9 \\ x_1 x_3 x_4 x_6 x_{23} x_{14} x_{13} x_{11} x_9 \\ x_1 x_2 x_3 x_5 x_6 x_{23} x_{15} x_{13} x_{12} x_{11} x_{10} x_9 \\ x_1 x_3 x_4 x_6 x_{23} x_{15} x_{13} x_{12} x_{11} x_{10} x_9 \\ x_1 x_2 x_4 x_5 x_{23} x_{15} x_{13} x_{12} x_{11} x_{10} x_9 \\ x_1 x_2 x_3 x_5 x_6 x_{23} x_{16} x_{13} x_{12} x_{11} x_{10} x_9 \\ x_1 x_3 x_4 x_6 x_{23} x_{16} x_{13} x_{12} x_{11} x_{10} x_9 \\ x_1 x_2 x_4 x_5 x_{23} x_{16} x_{13} x_{12} x_{11} x_{10} x_9 \end{array} \right| \vee \left| \begin{array}{l} x_1 x_2 x_3 x_5 x_6 x_{23} x_{15} x_{14} x_{12} x_{11} x_{10} x_9 \\ x_1 x_3 x_4 x_6 x_{23} x_{15} x_{14} x_{12} x_{11} x_{10} x_9 \\ x_1 x_2 x_4 x_5 x_{23} x_{15} x_{14} x_{12} x_{11} x_{10} x_9 \\ x_1 x_2 x_3 x_5 x_6 x_{23} x_{16} x_{14} x_{12} x_{11} x_{10} x_9 \\ x_1 x_3 x_4 x_6 x_{23} x_{16} x_{14} x_{12} x_{11} x_{10} x_9 \\ x_1 x_2 x_4 x_5 x_{23} x_{16} x_{14} x_{12} x_{11} x_{10} x_9 \\ x_1 x_3 x_6 x_{23} x_{16} x_{15} x_{12} x_{10} \\ x_1 x_2 x_4 x_5 x_{23} x_{16} x_{15} x_{12} x_{10} \end{array} \right|$$

Этот результат точно совпадает со списком минимальных путей, полученных с помощью модуля Relex RBD (см. рис.2.3.3).

Решение этого примера с помощью ПК Risk Spectrum не приведено.

Пример 4. Список минимальных сечений отказов

Список МСО ЯЭУ автоматически формируется в ПК АСМ на основе СФЦ, изображенной на рис.2.3.5 и обратного логического критерия $\bar{Y}_{ЯЭУ} = \bar{Y}_C = \overline{y^{23}} = y^{23}$. Он включает следующие 38 конъюнкций:

$$Y_C = \left| \begin{array}{l} x^2 x^4 x^{16} \\ x^4 x^5 x^{16} \\ x^{16} x^9 \\ x^{16} x^{11} \\ x^{16} x^{14} x^{13} \\ x^1 \\ x^2 x^3 \\ x^2 x^6 \\ x^3 x^5 \\ x^5 x^6 \\ x^3 x^4 x^{13} \\ x^3 x^4 x^9 \\ x^3 x^4 x^{11} \\ x^3 x^4 x^{14} \\ x^4 x^6 x^{13} \\ x^4 x^6 x^9 \\ x^4 x^6 x^{11} \\ x^4 x^6 x^{14} \\ x^{13} x^{10} \end{array} \right. \vee \left| \begin{array}{l} x^2 x^4 x^{10} \\ x^4 x^5 x^{10} \\ x^{10} x^9 \\ x^{11} x^{10} \\ x^{14} x^{10} \\ x^{13} x^{12} \\ x^2 x^4 x^{12} \\ x^4 x^5 x^{12} \\ x^{12} x^9 \\ x^{12} x^{11} \\ x^{14} x^{12} \\ x^2 x^4 x^{15} \\ x^4 x^5 x^{15} \\ x^{15} x^9 \\ x^{15} x^{11} \\ x^{15} x^{14} x^{13} \\ x^{16} x^{15} x^{13} \\ x^{16} x^{15} x^{14} \\ x^{23} \end{array} \right.$$

Этот результат точно совпадает со списками минимальных сечений, полученных с помощью модуля Relex RBD (см. рис.2.3.4) и ПК Risk Spectrum (см. табл.2.3.6).

2.3.4. Результаты решения на ПК «RISK SPECTRUM»

Пример 1. Расчет надежности ЯЭУ по заданным вероятностям безотказной работы элементов, независящим от времени

Дерево отказов ЯЭУ представлено на рис. 2.3.7. Результаты расчетов представлены в таблице 2.3.4.

Таблица 2.3.4.

Вероятность отказа	
элементов	системы
$Q_i = 0.3 (i = 1 \div 23)$	0.087
$Q_i = 0.001 (i = 1 \div 23)$	0.002015

Второй результат (при $Q_i = 0.001$) полностью совпал с результатами, полученными с помощью ПК АСМ при тех же значениях вероятности отказов элементов ЯЭУ.

Пример 2. Расчет надежности восстанавливаемой ЯЭУ с заданными средними наработками до отказа и средним временем восстановления элементов в предположении экспоненциального распределения

В данном примере ЯЭУ рассматривается как восстанавливаемая система с параметрами элементов:

- средняя наработка до отказа элементов $i = 2 - 6, 9 - 16$ составляет $T_{O_i} = 0.3$ г;
- средняя наработка до отказа элементов $i = 1, 2, 3$ составляет $T_{O_i} = 10$ лет;
- среднее время восстановления всех элементов $T_{B_i} = 500$ час;
- наработка системы $t = 17520$ час (2 года).

Результаты расчетов представлены в таблице 2.3.5.

Таблица 2.3.5.

Средняя наработка до отказа элементов	Среднее время восстановления элементов	Коэффициент неготовности системы
$T_i = 2628$ часов ($i=2 \div 6, 9 \div 16$) $T_i = 87600$ часов ($i=1, 2, 3$)	$T_{B_i} = 500$ ч ($i=1 \div 18$)	0.322

Поскольку значения собственных характеристик надежности элементов ЯЭУ приняты достаточно низкими, то результаты расчетов с помощью ПК Risk Spectrum не совпали с результатами расчетов по другим кодам.

Пример 3. Список минимальных путей

В технологии Risk Spectrum построение списка минимальных путей не используется.

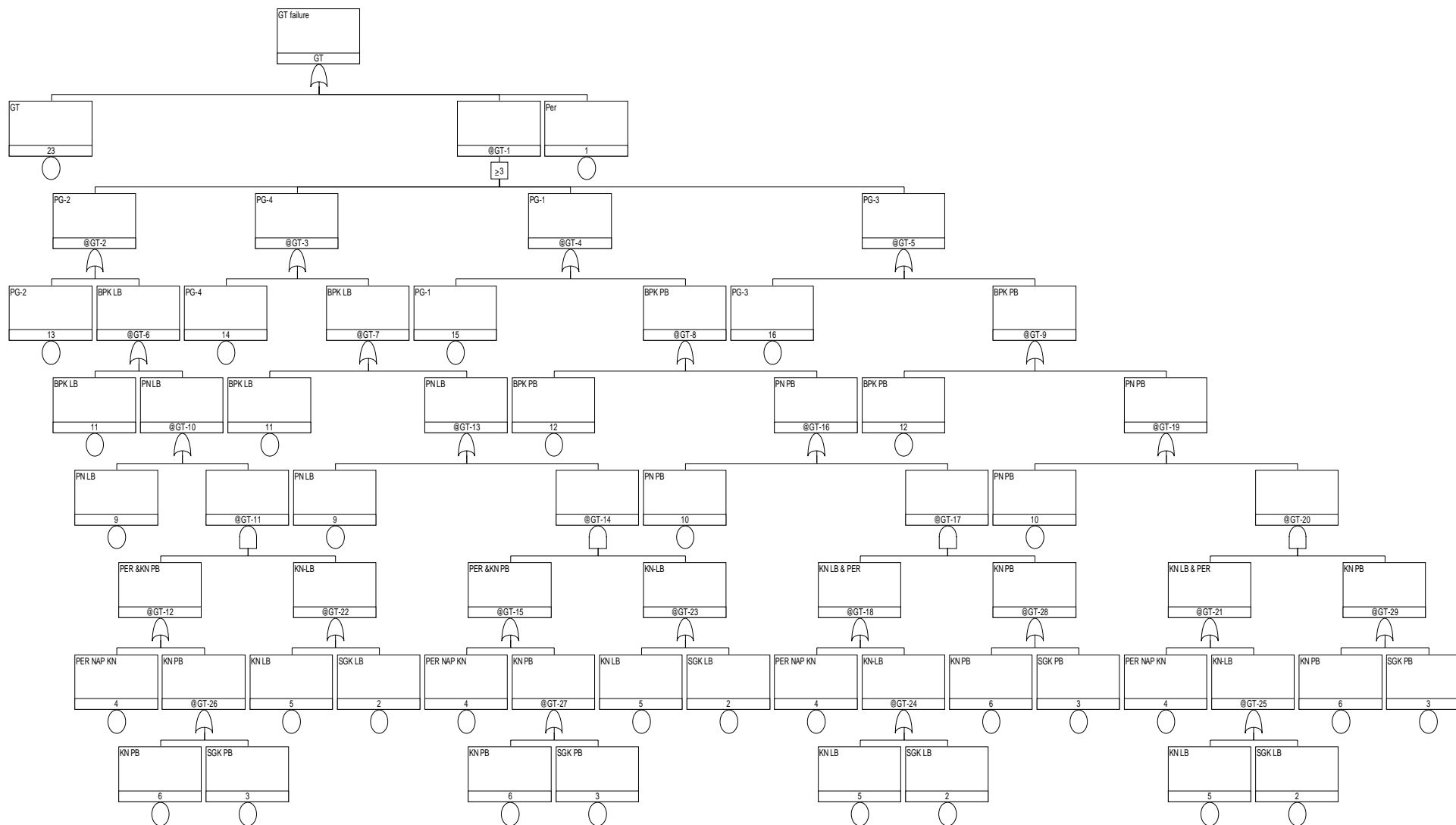


Рис. 2.3.7. Дерево отказов ЯЭУ

Пример 4. Список минимальных сечений отказов

Список минимальных сечений отказов ЯЭУ, полученный с помощью кода Risk Spectrum приведен в таблице 2.3.6.

Таблица 2.3.6.

№№ сечений	Абсолютный вклад в величину отказа системы	Вклад в величину отказа системы, %	Номера элементов, входящих в сечение		
1	3,00E-01	32,86	1		
2	3,00E-01	32,86	23		
3	9,00E-02	9,86	12	14	
4	9,00E-02	9,86	16	9	
5	9,00E-02	9,86	10	11	
6	9,00E-02	9,86	3	5	
7	9,00E-02	9,86	10	13	
8	9,00E-02	9,86	11	16	
9	9,00E-02	9,86	12	13	
10	9,00E-02	9,86	11	15	
11	9,00E-02	9,86	2	6	
12	9,00E-02	9,86	5	6	
13	9,00E-02	9,86	11	12	
14	9,00E-02	9,86	12	9	
15	9,00E-02	9,86	2	3	
16	9,00E-02	9,86	15	9	
17	9,00E-02	9,86	10	14	
18	9,00E-02	9,86	10	9	
19	2,70E-02	2,96	3	4	9
20	2,70E-02	2,96	12	4	5
21	2,70E-02	2,96	16	2	4
22	2,70E-02	2,96	10	4	5
23	2,70E-02	2,96	12	2	4
24	2,70E-02	2,96	14	4	6
25	2,70E-02	2,96	13	14	15
26	2,70E-02	2,96	10	2	4
27	2,70E-02	2,96	14	3	4
28	2,70E-02	2,96	13	4	6
29	2,70E-02	2,96	15	4	5
30	2,70E-02	2,96	13	15	16
31	2,70E-02	2,96	13	3	4
32	2,70E-02	2,96	11	4	6
33	2,70E-02	2,96	15	2	4
34	2,70E-02	2,96	11	3	4
35	2,70E-02	2,96	4	6	9
36	2,70E-02	2,96	16	4	5
37	2,70E-02	2,96	14	15	16
38	2,70E-02	2,96	13	14	16

Как следует из таблицы 2.3.6 список МСО в точности совпадает со списками МСО, полученными с помощью других ПК.

Сводная таблица результатов раздела 2.3. " Расчет надежности фрагмента ядерной энергетической установки "					
Примеры	Параметры и характеристики задач	Результаты моделирования и расчетов			
		Relex	ПК АСМ	Risk Spectrum	
1	2	3	4	5	
Пример 1. Расчет надежности ЯЭУ по заданным вероятностям безотказной работы элементов, независимым от времени ($p_i = 0.7$, $p_i = 0.999$)	$p_i = 0.7$	0.152035	0.1520353965	0.087	
	$p_i = 0.999$	0.997985	0.9979850442	0.997985	
Пример 2. Расчет восстанавливаемой системы ЯЭУ с заданными средними наработками до отказа и восстановления элементов в предположении экспоненциального распределения. $T_{oi}=0.3$ г., $i = 2-6, 9-16$ $T_{oi}=10$ лет, $i = 1, 23$ $T_{vi} = 500$ час., $t = 17520$ час,	восстановление начинается после отказа элемента	Вер. безот. раб. ЯЭУ	3e-11	3.0E-11	не вычисляется
		Коэффициент готовн.	0.689456	0.6894565181	0.678 <i>0.984 / 0.602 ??</i>
		Парам. потока отказов	9.54e-4	не вычисляется	не вычисляются
		Hazard Rate	13.83e-4	13.85E-4	
		Среднее время между отказами (MTBF)	1048.5	1047.61	
		Среднее время восст. системы (час).	325.6	325.612857	
	восстановление начинается после отказа системы	Средняя наработка на отказ системы (час)	722.9	722	не вычисляются
		Вер.безот. раб. ЯЭУ		не вычисляются	
		Коэффициент готовности	0.414106		
		Парам. потока отказов	6.54e-4		
Hazard Rate	15.78e-4	не вычисляются	не вычисляются		
Среднее время между отказами (MTBF) (час)	1790				
Пример 3. Автоматическое определение списка минимальных путей ЯЭУ	Количество КПУФ	<i>Логические модели совпали</i>		не определяется	
		16	16		
Пример 4. Автоматическое определение списка минимальных сечений отказов ЯЭУ	Количество МСО	<i>Логические модели совпали</i>		38	
		38	38		

ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ 2.3

Выводы специалистов ИПУ РАН

В данном разделе, так же как и в разделе 2.1, проверялась точность решения классической логико-вероятностной модели системы (но более простой, по сравнению с системой раздела 2.1) и возможность оценки показателей, непосредственно не вычисляемых в логико-вероятностных моделях. Дополнительно, проверялась возможность учета в моделях одной из возможных стратегий восстановления – восстановление после отказа системы.

Все три комплекса справились с примерами оценки коэффициента готовности (и получения логических моделей) в классической логико-вероятностной постановке. На ПК Risk Spectrum получены приближенные оценки, точность которых зависит от надежности элементов системы. Приближенные асимптотические оценки других показателей получены только на ПК Relex и ПК АСМ (хотя необходимые формулы для ПК Risk Spectrum приведены в теоретическом разделе). Учет в моделях стратегий восстановления после отказа (а также после останова) системы реализован только в ПК Relex.

Выводы специалистов ОАО "СПИК СЗМА"

1. Решения этой задачи еще раз подтвердили простоту, удобство и эффективность описание структуры системы графическими средствами СФЦ (см. рис.2.3.5, технология АСМ) и графическими средствами блок-схем (см. рис.2.3.2, технология Relex RBD) в сравнении с графическими средствами деревьев отказов (см. рис.2.3.7). Различия здесь не только во внешнем виде рисунков. Главное заключается в принципиально разных подходах к постановке задач. При построении СФЦ или блок-схемы ЯЭУ разработчик применяет прямой подход к формализованной постановке задачи, т.е. использует знания о том, как исследуемая система правильно, безотказно, безаварийно работает, т.е. при каких логических условиях она реализует свое главное функциональное назначение. Поэтому такие схемы, часто, строить проще, они, как правило, подобны исходным функциональным схемам системы (см. рис.2.3.1), что позволяет разработчику делать меньше ошибок при постановке задачи. При построении дерева отказов разработчик должен применять обратный подход, т.е. использовать знания о том, как система не работает, отказывает, как возникает аварийная ситуация. Фактически, он должен мысленно инверсировать условия работоспособности системы и графически представить в виде дерева все (и не пропустить ни одного!) сечения отказов. Часто это сделать трудно, что наглядно показано в данном примере (см. рис.2.3.7). Аналогичная ситуация имела место в разделе 2.1 настоящей НИР (см. рис.2.1.10).

В дополнение к сказанному отметим, что важной положительной стороной аппарата СФЦ технологии АСМ является возможность его применения как при прямом, так и при обратном подходах к построению структурных моделей надежности, безопасности и риска сложных систем. Т.е. СФЦ позволяют корректно представлять как блок-схемы так и деревья отказов и событий.

2. Как и в предыдущем примере, все результаты вычислений показателей надежности, полученные с помощью ПК АСМ (8 показателей), полностью совпали с соответствующими результатами, полученными с помощью ПК Relex RBD. В настоящее время в ПК АСМ не вычисляются показатели надежности систем, восстановление элементов в которых начинается после отказа системы в целом (см. Примеры 1, 2). В Компании планируются соответствующие доработки ПК АСМ СЗМА.

3. Из трех показателей, вычисленных с помощью ПК Risk Spectrum, с результатами АСМ и Relex совпали два. В Примере 1 значительное отклонение на "завышение" имеет вероятность безотказной работы ЯЭУ, вычисленная с помощью ПК Risk Spectrum (0.913), в сравнении с результатами расчета этого показателя в ПК Relex RBD и ПК АСМ (0.15035). По мнению специалистов СПИК СЗМА данное расхождение является следствием приближенных методов расчетов вероятностных показателей, реализованных в ПК Risk Spectrum, которые нельзя использовать при собственных параметрах надежности элементов больше 0.001.
4. Логическая модель работоспособности ЯЭУ полученная с помощью ПК АСМ совпала с логической моделью работоспособности полученной ПК Relex RBD (см. Пример 3).
5. Логические модели отказов совпали у всех трех программных комплексов (см. Пример 4).

Выводы специалистов СПБАЭП

1. Все три программных комплекса могут решать задачи данного типа. При условии высокой собственной надежности элементов системы результаты решения с помощью ПК Risk Spectrum близки к точным значениям, вычисляемым с помощью двух других кодов.
2. Блок-схемы надежности, используемые в коде Relex, и СФЦ, используемые в кодах АСМ, значительно менее громоздки, чем деревья отказов, используемые в коде Risk Spectrum.
3. Только код Relex позволяет рассчитывать показатели надежности систем, восстановление которых начинается после отказа системы в целом.