

2.11. Анализ различных сценариев аварий на установке первичной переработки нефти

2.11.1. Описание задачи

В Методических указаниях Госгортехнадзора РФ РД 03-418-01 на стр. 31 дан пример общей постановки задач этого класса и приведено дерево событий развития аварии на установке первичной переработки нефти. Этот пример доработан А.С. Можаяевым, в частности, каждому разветвлению процесса возможных вариантов развития аварийной ситуации (выброс нефти) сопоставлены обозначения соответствующих бинарных событий, указаны их номера и собственные вероятности, вычисленные на основе данных из РД 03-418-01. Кроме этого, восемь возможных вариантов конечных состояний аварии системы сгруппированы в три подмножества, каждому из которых сопоставлена характеристика соответствующего уровня ущерба, выраженного в условных единицах. Доработанное дерево событий представлено на рис.2.11.1.

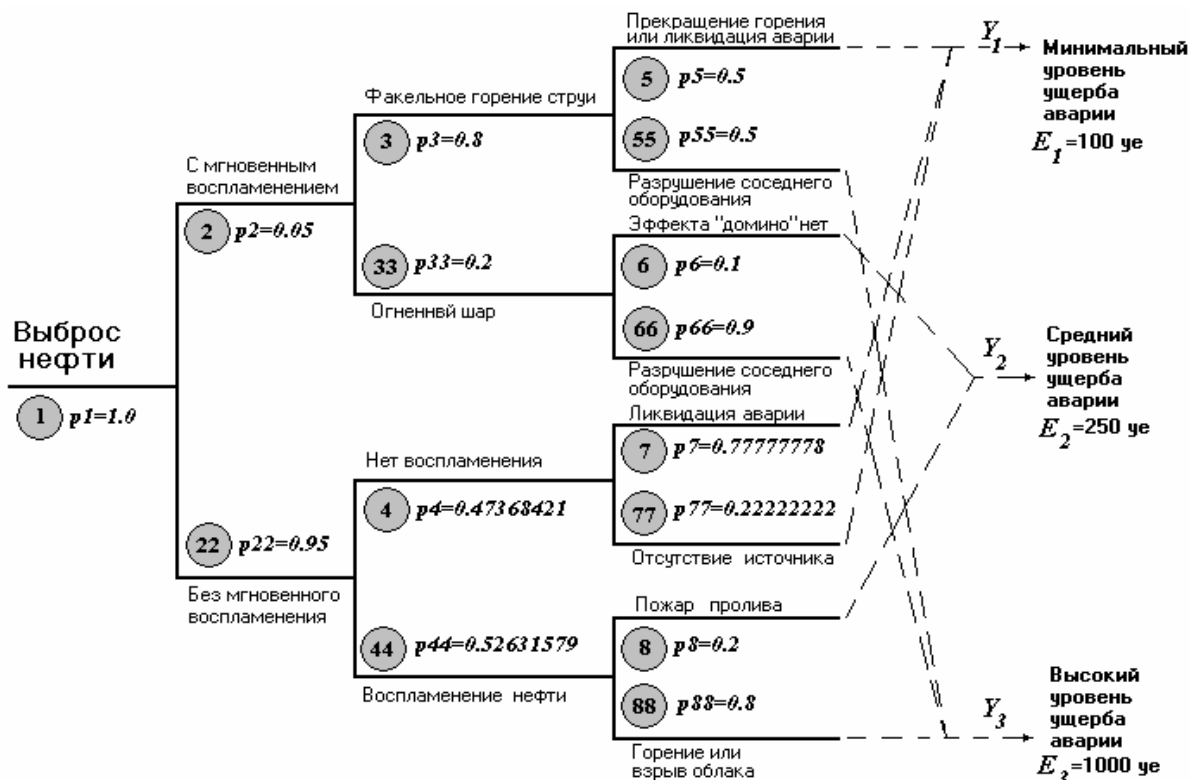


Рис.2.11.1. Дерево событий аварии на установке первичной переработке нефти

Дадим некоторые пояснения к указанному дереву событий. Иницирующее событие (ИС) аварии происходит с вероятностью, равной 1. Тяжесть последствий аварии определяется возможными путями ее развития. Таких путей можно выделить 8:

1. Выброс нефти – исключение ее мгновенного воспламенения – исключение последующего (через какое-то время) возгорания – ликвидация аварии (очевидно, сбор пролившейся нефти). Ущерб от аварии минимален.

2. Выброс нефти – исключение ее мгновенного воспламенения – исключение последующего (через какое-то время) возгорания – наличие какого-то количества нефти на территории установки. При этом предполагается, что, в связи с отсутствием источника возгорания (открытый огонь, сварка и т.п.), пожар возникнуть не может. Очевидно, что

через некоторое время нефть уйдет в почву. Ущерб от аварии также можно считать минимальным.

3. Выброс нефти – исключение ее мгновенного воспламенения – возникновение последующего (через какое-то время) возгорания – горение разлитой нефти (пожар пролива), сопровождающееся сравнительно слабым негативным воздействием на окружающую среду (средний уровень ущерба).

4. Выброс нефти – исключение ее мгновенного воспламенения – возникновение последующего (через какое-то время) возгорания – горение или взрыв возникшего при разливе нефти облака взрывоопасных компонентов, сопровождающееся сравнительно более сильным негативным воздействием на окружающую среду (высокий уровень ущерба).

5. Выброс нефти – мгновенное ее воспламенение – факельное горение пролитой нефти – прекращение горения (вследствие выгорания всего количества нефти) или ликвидация аварии, сопровождающееся минимальным негативным воздействием на окружающую среду.

6. Выброс нефти – мгновенное ее воспламенение – факельное горение пролитой нефти – разрушение соседнего оборудования вследствие невозможности (по каким-то причинам) ликвидации аварии, сопровождающееся высоким уровнем ущерба.

7. Выброс нефти – мгновенное ее воспламенение – возникновение не факела, а огненного шара из горящей нефти – выгорание пролитой нефти без воздействия на соседнее оборудование. Средний уровень ущерба.

8. Выброс нефти – мгновенное ее воспламенение – возникновение не факела, а огненного шара из горящей нефти – выгорание пролитой нефти с воздействием на соседнее оборудование (эффект «домино»). Высокий уровень ущерба.

Необходимо рассчитать вероятность перехода установки в каждое состояние и величину риска (произведения вероятности перехода в конкретное конечное состояние установки на величину ущерба, характерного для данного состояния) для каждого состояния.

2.11.3. Результаты решения на ПК «АСМ»

Приведенные в п. 2.11.1 данные позволяют представить исходное дерево событий аварии на установке первичной переработки нефти с помощью схемы функциональной целостности, необходимой для применения ПК АСМ. Эта СФЦ приведена на рис.2.11.3.

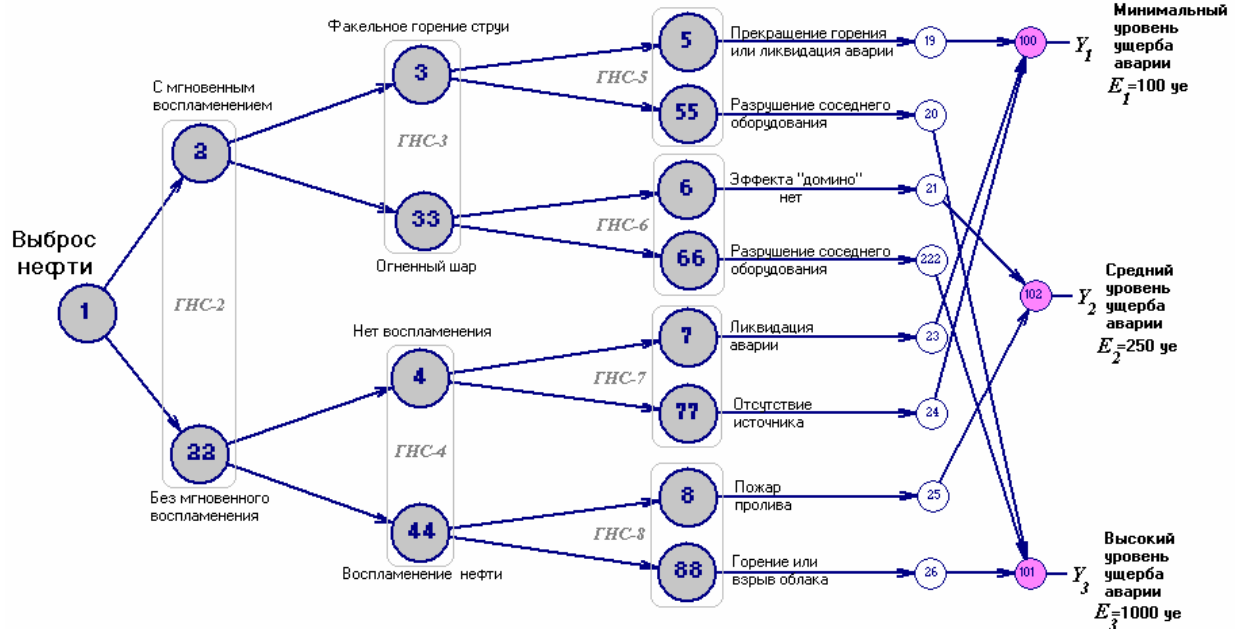


Рис.2.11.3. СФЦ дерева событий аварии на установке первичной переработки нефти

В данной СФЦ для представления процесса развития аварии, соответствующего исходному дереву событий, использован аппарат групп несовместных событий (ГНС). Каждое разветвление исследуемого процесса представлено в графе СФЦ полной группой из двух несовместных прямых исходов соответствующего элементарного (бинарного) события. В рассматриваемом примере дерево событий, изображенное на рис.2.11.3, содержит семь разветвлений. Каждому из разветвлений сопоставлена группа из двух несовместных событий. На рис. 2.11.3 они обозначены функциональными вершинами с номерами: {2, 22}, {3, 33}, {4, 44}, {5, 55}, {6, 66}, {7, 77}, {8, 88}. ГНС позволяют строить СФЦ исследуемого сценария развития аварии (см. рис.2.11.1) в форме, которая является прямым подобием исходного графа дерева событий. Это существенно облегчает постановку задач данного класса в технологии АСМ.

Пример 1. Анализ различных сценариев аварий на установке первичной переработки нефти

Для вероятностного анализа различных вариантов заданного деревом событий сценария развития аварии на установке первичной переработки нефти выполняются следующие действия.

1. Подготовленная СФЦ дерева событий и параметры элементов вводятся в ПК АСМ.
2. По каждому из выходов сценария развития аварии (на рис.2.11.1 и рис.2.11.2 их восемь) с помощью ПК АСМ решается задача автоматизированного моделирования и расчета вероятности данного варианта развития аварии.

В таблице 2.11.1 приведены вероятности вариантов развития аварии рассматриваемого примера анализа аварии на установке первичной переработки нефти.

Таблица 2.11.1.

№ варианта	ЛКФ	Вероятность варианта развития аварии
1	Y_{19}	0.02
2	Y_{20}	0.02
Э 3	Y_{21}	0.001
4	Y_{222}	0.009
5	Y_{23}	0.35
6	Y_{24}	0.09999999999999999
7	Y_{25}	0.1
8	Y_{26}	0.4

Эти результаты практически совпали с решениями данной задачи, полученными с помощью модуля Relex Деревьев событий (Relex Event Tree) (см. рис.2.11.2) и с помощью ПК Risk Spectrum (см. рис.2.11.7).

Пример 2. Автоматизированное моделирование и расчет ожидаемого ущерба от аварии на установке первичной переработки нефти

В Методических указаниях РД 03-418-01 Госгортехнадзора РФ под ожидаемым ущербом понимается математическое ожидание величины ущерба от возможной аварии. К сожалению, результатов моделирования и оценки ожидаемого ущерба для примера аварии на установке первичной переработки нефти Методических указаниях не приводится.

Поэтому, для моделирования и оценки математического ожидания величины ущерба от аварии, выходы конечных событий на рис.2.11.1 и рис.2.11.2 сгруппированы в три подмножества Y_1, Y_2, Y_3 , каждому из которых сопоставлена характеристика соответствующего уровня ущерба E_1, E_2, E_3 , выраженного в условных единицах.

Автоматизированное математическое моделирование и расчет математического ожидания величины ущерба в ПК АСМ выполняется на основе составного логического критерия, который для данной задачи имеет следующий вид

$$WR_c = E1 * p\{y100\} + E2 * p\{y102\} + E3 * p\{y101\} \quad (2.11.1)$$

На рис.2.11.4 приведены общие результаты автоматизированного моделирования и расчета ожидаемого ущерба возможной аварии на установке первичной переработки нефти, полученные с помощью ПК АСМ 2001.

Математическая модель и результаты расчета математического ожидания величины ущерба от возможной аварии составили:

$$WR_c = E1 * \left(\begin{array}{l} p_1 p_2 p_3 p_5 + \\ + p_1 p_4 p_{22} p_{77} + \\ + p_1 p_4 p_7 p_{22} \end{array} \right) + E2 * \left(\begin{array}{l} p_1 p_2 p_6 p_{33} + \\ + p_1 p_8 p_{22} p_{44} \end{array} \right) + E3 * \left(\begin{array}{l} p_1 p_2 p_{33} p_{66} + \\ + p_1 p_2 p_3 p_{55} + \\ + p_1 p_{22} p_{44} p_{88} \end{array} \right) = \quad (2.11.2)$$

$$= 100 * 0.47 + 250 * 0.101 + 1000 * 0.429 = 501.29 \text{ уе}$$

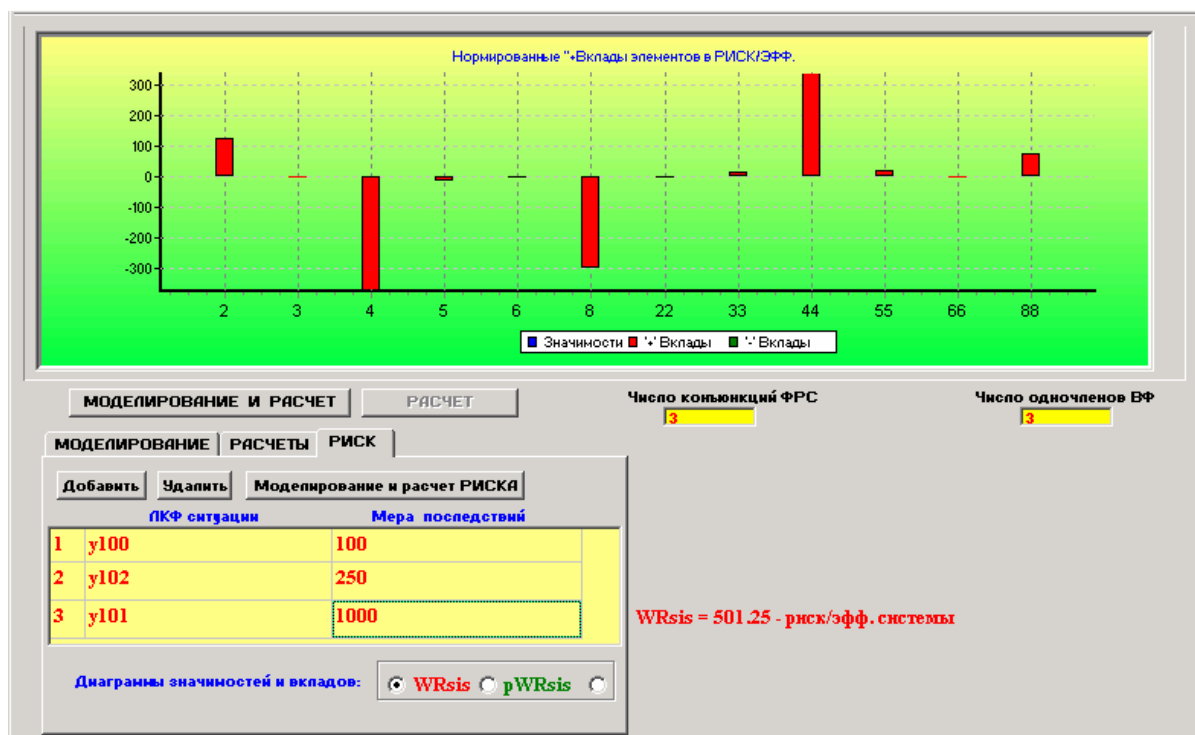


Рис.2.11.4. Моделирование и оценка ожидаемого ущерба на ПК АСМ 2001

Приведенные в (2.11.2) результаты моделирования и расчета на ПК АСМ распределения вероятностей по группам ущерба составили:

1. Высокий уровень ущерба: $p\{y101\} = 0.429$;
2. Минимальный уровень ущерба: $p\{y100\} = 0.47$;
3. Средний уровень ущерба: $p\{y101\} = 0.101$.

Эти результаты совпали с решениями, выполненными с помощью модуля Relex Event Tree (см. рис.1.26).

Вычисленные вклады элементов в показатель риска рассматриваемой системы (см. диаграмму на рис.2.11.4) имеют следующие значения:

$$\begin{aligned}
 \beta_2^{+(W_c)} &= +123.75ye; & \beta_{22}^{+(W_c)} &= -6.51ye; \\
 \beta_3^{+(W_c)} &= -3.75ye; & \beta_{33}^{+(W_c)} &= +15.0ye; \\
 \beta_4^{+(W_c)} &= -357.0ye; & \beta_{44}^{+(W_c)} &= +337.5ye; \\
 \beta_5^{+(W_c)} &= -18.0ye; & \beta_{55}^{+(W_c)} &= +18.0ye; \\
 \beta_6^{+(W_c)} &= -6.75ye; & \beta_{66}^{+(W_c)} &= +0.75ye; \\
 \beta_7^{+(W_c)} &= 0.0ye; & \beta_{77}^{+(W_c)} &= 0.0ye; \\
 \beta_8^{+(W_c)} &= -300.0ye; & \beta_{88}^{+(W_c)} &= +75.0ye.
 \end{aligned}
 \tag{2.11.3}$$

Следует отметить, что использование ГНС позволяет сразу вычислять как положительные, так и отрицательные вклады отдельных элементарных событий 2, 3, 4, ..., 8, определяющих различные варианты процесса развития аварии. В (2.11.3) вклады элементов 2, 3, 4, ..., 8 являются положительными и характеризуют влияние на значение риска аварии W_c мероприятий по увеличению до 1.0 вероятностей исходов "верхних" ответвлений процесса развития аварии (см. рис.2.11.1 и рис.2.11.2). Вклады противоположных исходов 22, 33, 44, ..., 88 соответствующих ГНС, приведенные в (2.11.3), точно равны отрицатель-

ным вкладом тех же элементов 2, 3, 4, ..., 8 рассматриваемого процесса развития аварии. Они определяют влияние на значение риска W_c мероприятий по уменьшению вероятностей отдельных событий до 0.0. На основе результатов (2.11.3) можно заключить, что наибольшее влияние на изменение риска аварии имеет событие с номером 4, связанное с мероприятиями по недопущению воспламенения нефти после ее выброса. Если это воспламенение предотвратить, то в совокупности с другими возможными вариантами развития аварии, ее риск (по показателю нанесенного ущерба) уменьшится на максимальную величину, составляющую 357 у.е. Если вероятность противоположного исхода (воспламенения) по каким либо причинам возрастет, то математическое ожидание ущерба может увеличиться на 337.5 у.е.

Из анализа полученных результатов следует, что существенно сократить риск (до 300.0 у.е.) могут мероприятия, связанные с недопущением исхода 88 горения или взрыва облака после воспламенения нефти. Все остальные отдельные события аварии на установке первичной переработки нефти оказывают, в среднем, существенно меньшее влияние на значение ожидаемого ущерба от данного вида аварии на установке первичной переработки нефти.

2.11.4. Результаты решения на ПК «RISK SPECTRUM»

На рисунках 2.11.5 – 2.11.7 представлены результаты моделирования и расчетов для различных сценариев аварии на установке первичной переработки нефти (УППН), выполненные с помощью кода «Risk Spectrum». Выполнено 3 варианта расчетов, отличающихся способами учета вероятности успешного (т.е. в менее опасном направлении) развития аварии на том или ином этапе.

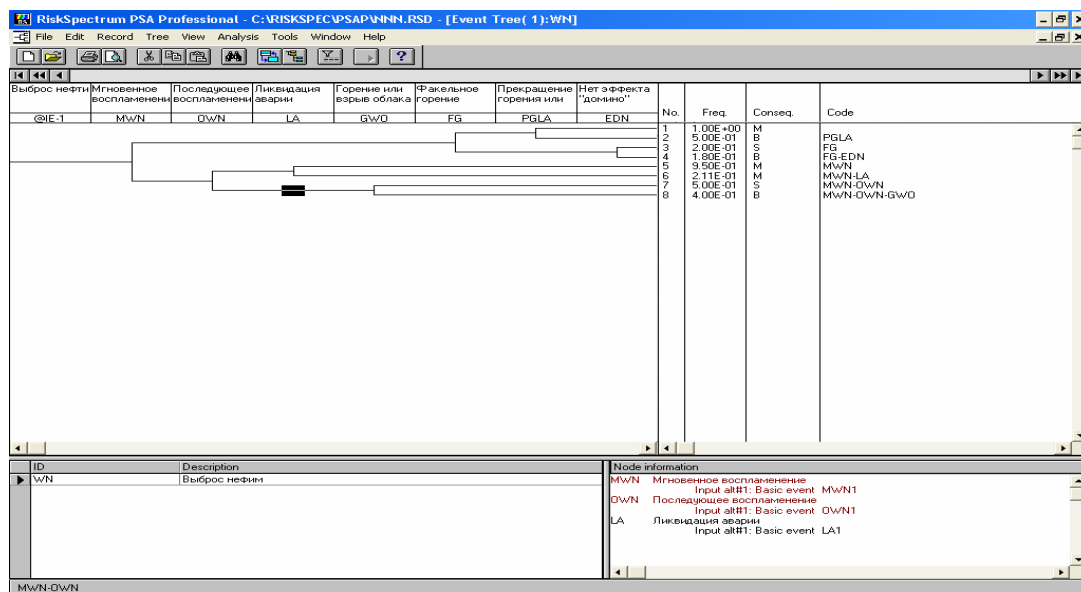


Рис. 2.11.5. Дерево событий для аварии на УППН при обработке успеха по правилу «Ignore ET success» («Пропуск успеха ДС»)

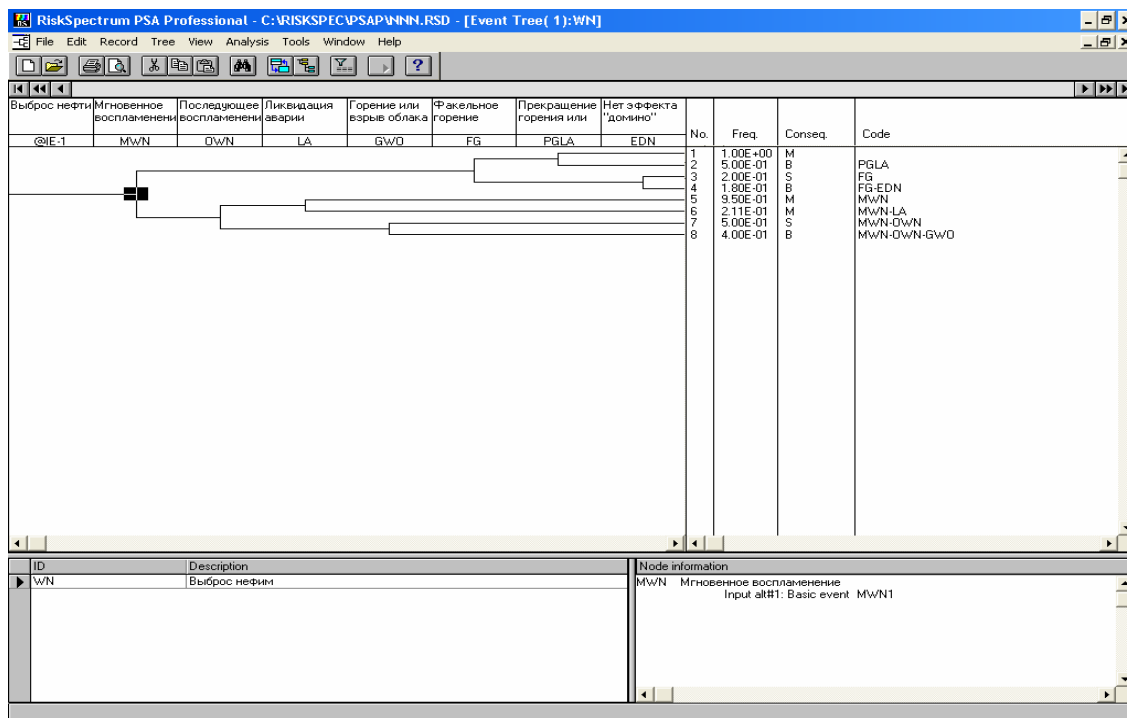


Рис. 2.11.6. Дерево событий для аварии на УППН при обработке успеха по правилу «Logical ET success» («Логический успех ДС»)

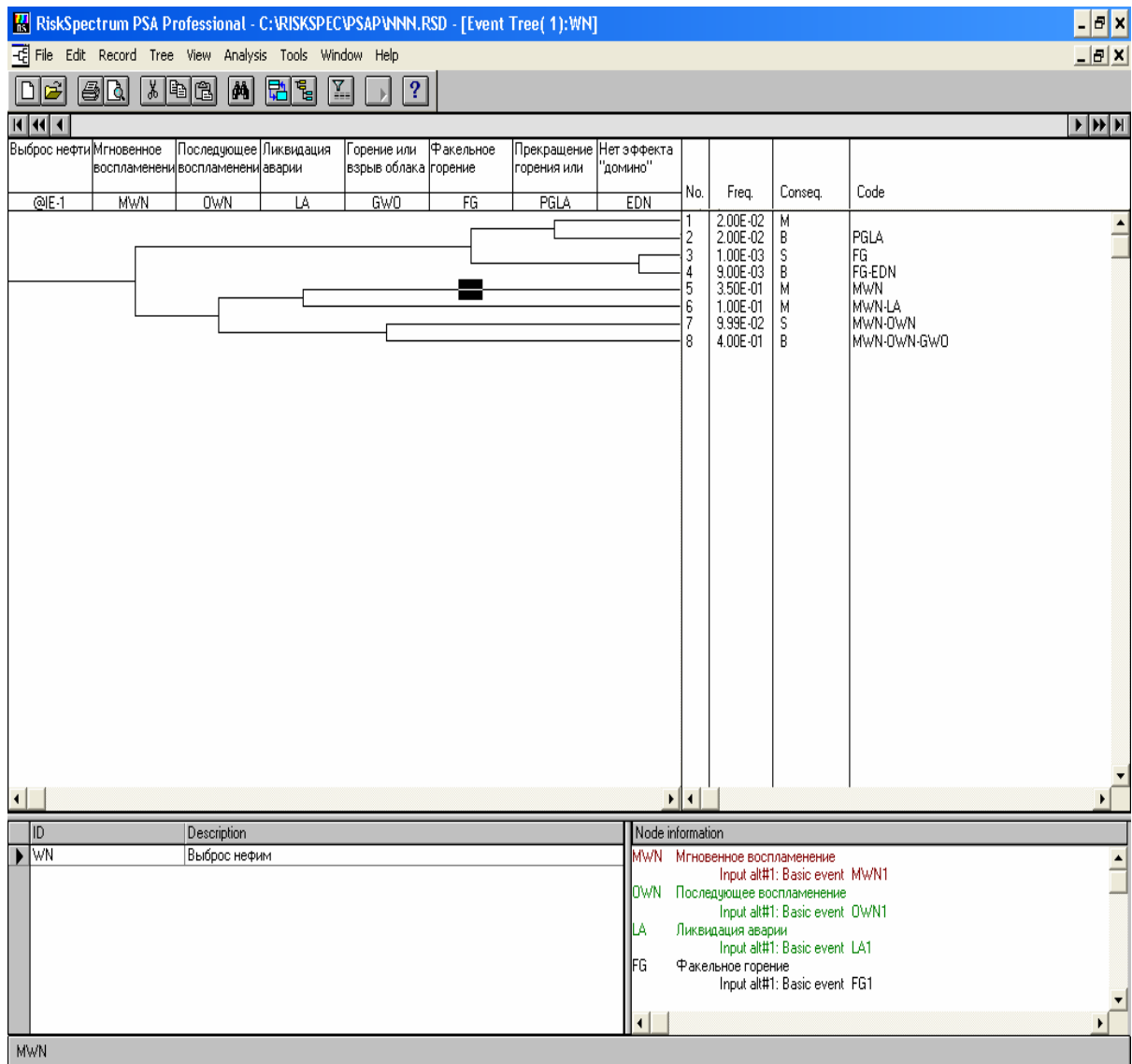


Рис. 2.11.7. Дерево событий для аварии на УППН при обработке успеха по правилу «Log. and simple quant.» («Логическая и простая квантификация»)

Как следует из этих рисунков, результаты расчета вероятностей реализации конечных состояний установки полностью совпали (с учетом точности округления) с результатами, полученными с помощью двух других кодов, только при третьем варианте расчетов.

На рисунках 2.11.8 -2.11.10 представлены результаты расчета последствий для групп состояний с одинаковым уровнем ущерба. Как следует из этих рисунков, полученные результаты не совпадают не только с результатами, полученными с помощью других кодов, но и с результатами, представленными на рис. 2.11.7 (имеется в виду то, что при суммировании вероятностей реализации состояний с одинаковым уровнем ущерба, см. рис.2.11.7, мы получаем полное совпадение результатов с результатами, полученными с помощью других кодов).

RiskSpectrum PSA Professional - C:\RISKSPEC\PSAP\WNN.RSD - [Consequence Results(2):B]

ID	Description	Calc.type	Mean	5th perc.	Median	95th perc.
B		Q	7.54E-01	7.54E-01	7.54E-01	7.54E-01
M		Q	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
S		Q	6.00E-01	6.00E-01	6.00E-01	6.00E-01

Top event probability Q = 7.539E-01

No.	Prob.	%	Event 1	Event 2	Event 3	Event 4	Event 5	Event 6
1	5.000E-01	66.32	PGLA1	W/N				
2	3.999E-01	53.03	GW01	MW/N1	OW/N1	W/N		
3	1.800E-01	23.88	EDN1	FG1	W/N			

MCS System Mod.MCS BE Gr. Bas.ev. CDF CCF Gr. PDF Param. Time-dep. Attrib. Stat. Comp. Chart

Рис. 2.11.8. Результаты расчетов вероятности реализации состояний с одинаковым уровнем ущерба при обработке успеха по правилу «Ignore ET success» («Пропуск успеха ДС»)

RiskSpectrum PSA Professional - C:\RISKSPEC\PSAP\WNN.RSD - [Consequence Results(2):M]

ID	Description	Calc.type	Mean	5th perc.	Median	95th perc.
B		Q	7.54E-01	7.54E-01	7.54E-01	7.54E-01
M		Q	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
S		Q	6.00E-01	6.00E-01	6.00E-01	6.00E-01

Top event probability Q = 1.000E+00

No.	Prob.	%	Event 1	Event 2	Event 3	Event 4	Event 5	Event 6
1	1.000E+00	100.00	W/N					

MCS System Mod.MCS BE Gr. Bas.ev. CDF CCF Gr. PDF Param. Time-dep. Attrib. Stat. Comp. Chart

Рис. 2.11.9. Результаты расчетов вероятности реализации состояний с одинаковым уровнем ущерба при обработке успеха по правилу «Logical ET success» («Логический успех ДС»)

RiskSpectrum PSA Professional - C:\RISKSPEC\PSAP\WNN.RSD - [Consequence Results(2):S]

ID	Description	Calc.type	Mean	5th perc.	Median	95th perc.
B		Q	7.54E-01	7.54E-01	7.54E-01	7.54E-01
M		Q	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
S		Q	6.00E-01	6.00E-01	6.00E-01	6.00E-01

Top event probability Q = 5.998E-01

No.	Prob.	%	Event 1	Event 2	Event 3	Event 4	Event 5	Event 6
1	4.997E-01	83.32	MwN1	DwN1	WN			
2	2.000E-01	33.35	FG1	WN				

MCS System Mod.MCS BE Gr. Bas.ev. CDF CCF Gr. PDF Param. Time-dep. Attrib. Stat. Comp. Chart

Рис. 2.11.10. Результаты расчетов вероятности реализации состояний с одинаковым уровнем ущерба при обработке успеха по правилу «Log. and simple quant.» («Логическая и простая квантификация»)

На рис.2.11.11 и 2.11.12 представлены ДС и результаты расчетов реализации конечных состояний УППН при задании малых вероятностей неуспеха ($q_i=0.001$).

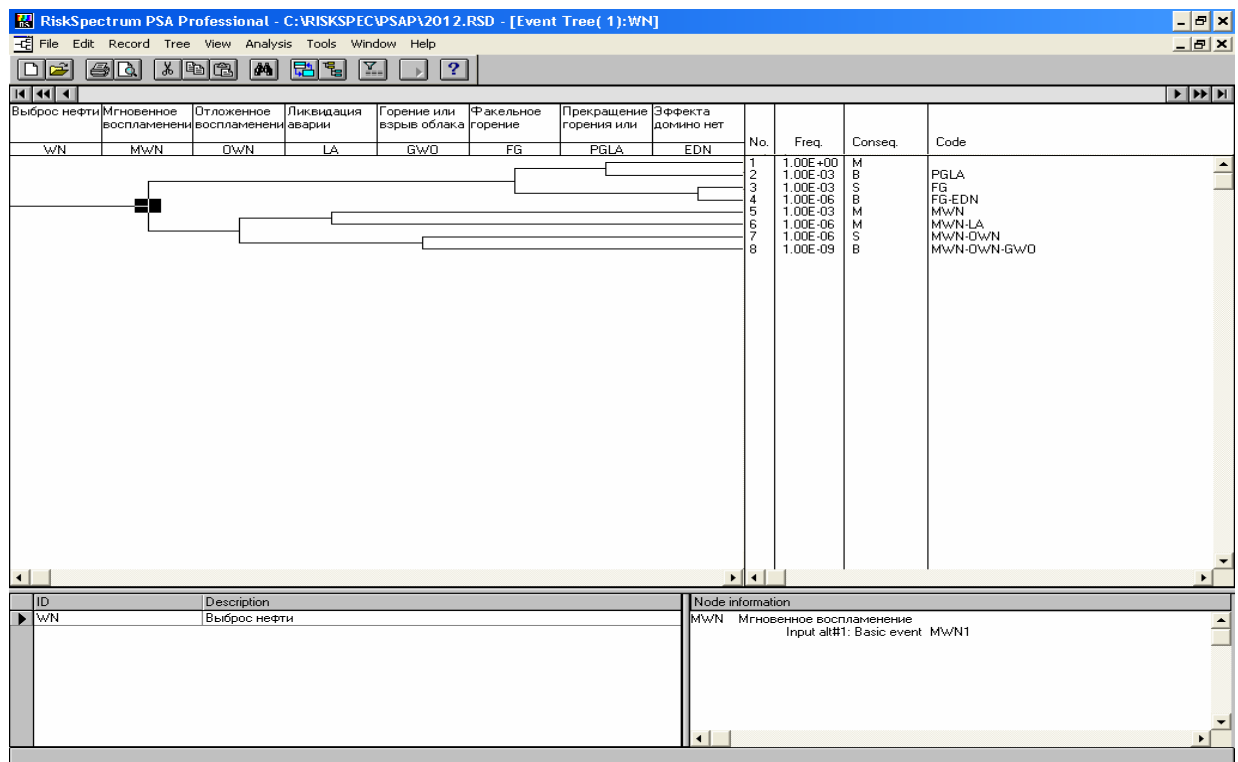


Рис. 2.11.11. Дерево событий для аварии на УППН при обработке успеха по правилу «Logical ET success» («Логический успех ДС») и малых вероятностях отказов

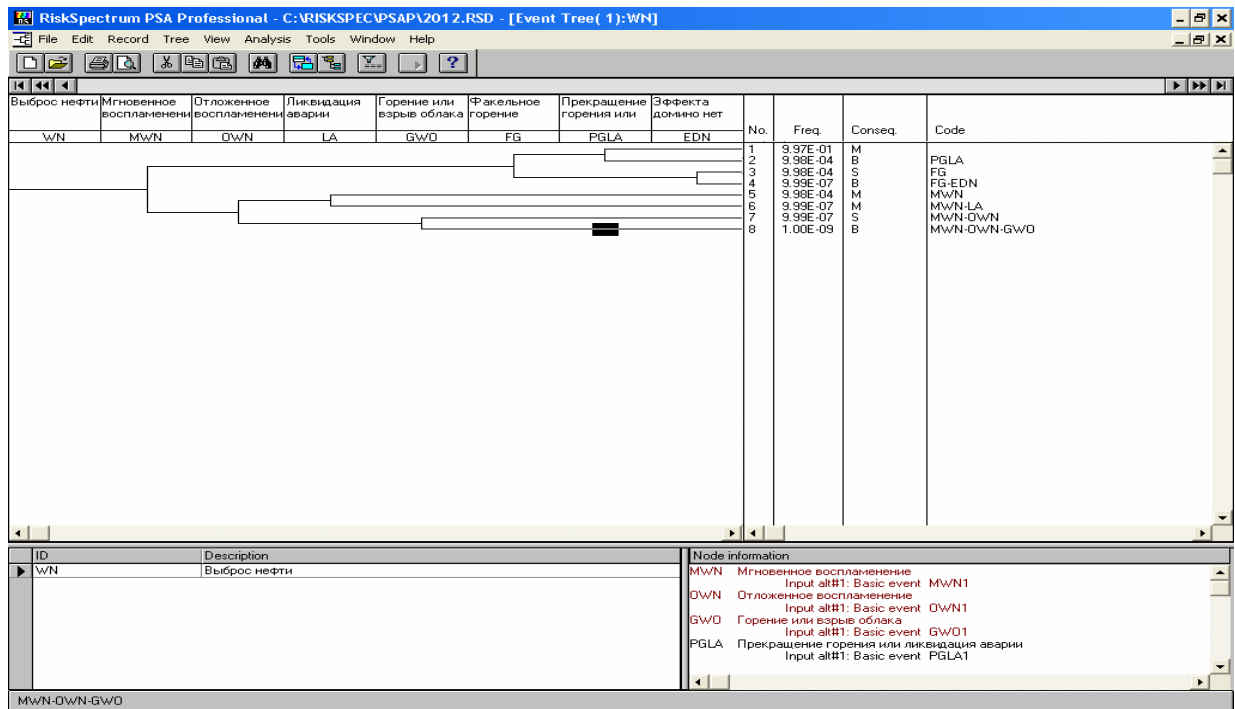


Рис. 2.11.12. Дерево событий для аварии на УППН при обработке успеха по правилу «Log. and simple quant.» («Логическая и простая квантификация») и малых вероятностях отказов

На рисунках 2.11.13 и 2.11.14 представлены результаты расчетов вероятности реализации состояний с одинаковым уровнем ущерба при обработке успеха по различным правилам.

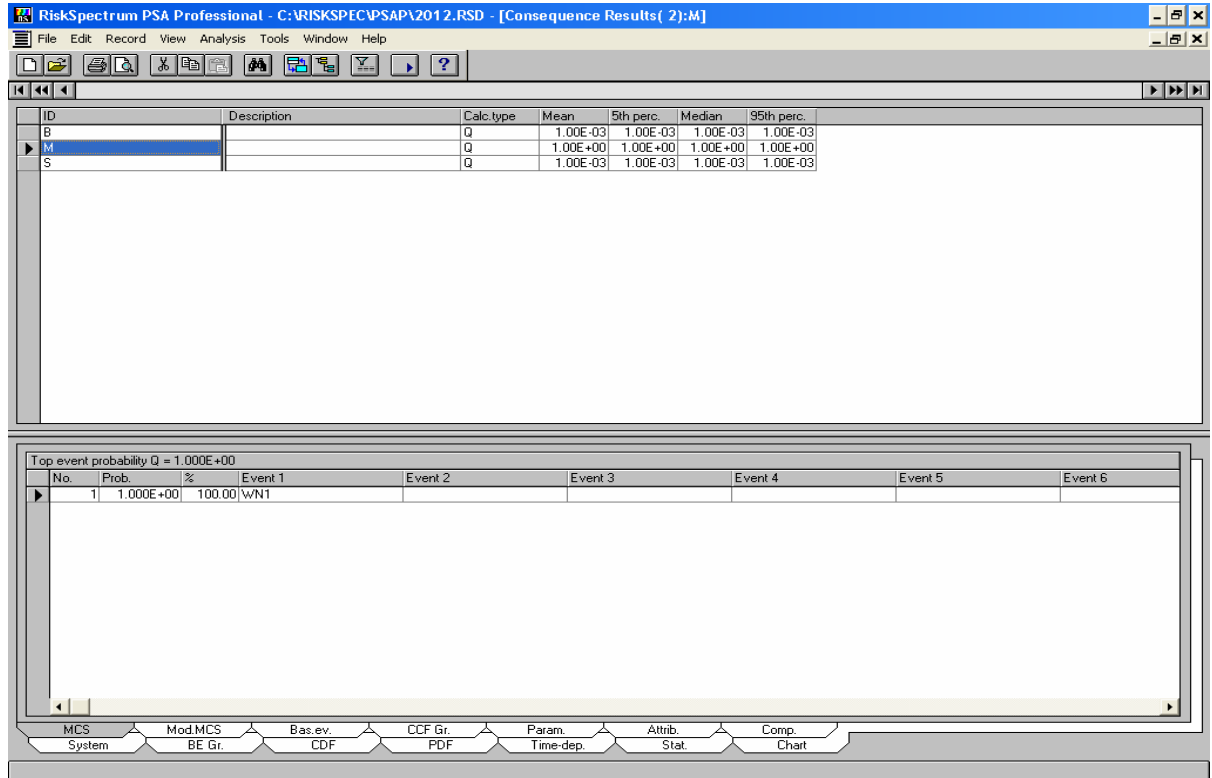


Рис. 2.11.13. Результаты расчетов вероятности реализации состояний с одинаковым уровнем ущерба при обработке успеха по правилу «Logical ET success» («Логический успех ДС») и малых вероятностях отказа

The screenshot shows the RiskSpectrum PSA Professional software interface. The main window displays a table with the following data:

ID - Char. #:	Description	Calc. type	Mean	5th perc.	Median	95th perc.	Text Result	Gate Out	BE Out	Exch Out
B		Q	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	No	No	No	No
M		Q	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00	No	No	No	No
S		Q	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-03	No	No	No	No
*										

Below the main table, there is a 'Setup Type' table:

Setup Type	Setup ID	Run	Result
MCS Analysis Specification	DEFAULT	Yes	Yes
Uncertainty Analysis Specification	DEFAULT	Yes	Yes
Importance Analysis Specification	DEFAULT	Yes	Yes
Time-dep. Analysis Specification	DEFAULT	No	No

The bottom of the window shows a navigation bar with tabs: Analysis, Consequence, Event Tree, BC Set, and Memos.

Рис. 2.11.14. Результаты расчетов вероятности реализации состояний с одинаковым уровнем ущерба при обработке успеха по правилу «Log. and simple quant.» («Логическая и простая квантификация») и малых вероятностях отказов

Как следует из рис. 2.11.11 -2.11.14 в тех случаях, когда вероятности неуспеха малы, результаты расчета вероятностей реализации состояний с одинаковым уровнем ущерба (результаты расчета последствий – в терминологии «Risk Spectrum») становятся близки к результатам, полученным с помощью других кодов и к результатам, полученным путем суммирования вероятностей реализации соответствующих конечных состояний, рассчитываемых кодом «Risk Spectrum». Соответствующие данные представлены в табл.2.11.2.

2.11.2.

Величина ущерба	Расчет по правилу «Logical ET success»	Расчеты по правилу «Log. and simple quant.»	Расчет с помощью кода «Risk Spectrum»	Результаты суммирования вероятностей КС
	Расчет с помощью кода «Risk Spectrum»	Результаты суммирования вероятностей КС		
Малая (М)	1.00E+0	$1.0 + 1.0E-3 + 1.0E-6 \approx 1.0$	1.00E+0	$0.997 + 9.98E-4 + 9.97E-7 \approx 0.997$
Средняя (S)	1.00E-3	$1.00E-3 + 1.00E-6 \approx 1.00E-3$	1.00E-3	$9.98E-4 + 9.97E-9 \approx 9.98E-4$
Большая (B)	1.00E-3	$1.00E-3 + 1.00E-6 + 1.00E-9 \approx 1.00E-3$	1.00E-3	$9.98E-4 + 9.99E-7 + 1.E-9 \approx 9.98E-4$

Сводная таблица результатов раздела 2.11. "Анализ различных сценариев аварий на установке первичной переработки нефти"					
Характеристики сценариев аварии		Результаты моделирования и расчетов			
		Relex Event Tree	ПК АСМ	Risk Spectrum	
1		2	3	4	
Варианты развития аварии	1	прекращение горения	0.02	0.02	0.02
	2	разрушение	0.02	0.02	0.02
	3	эффект домино	0.001	0.001	0.001
	4	разрушение	0.009	0.009	0.009
	5	ликвидация аварии	0.349998	0.35	0.35
	6	прекращение горения	0.099998	0.0999999999999999	0.1
	7	пожар пролива	0.100001	0.1	0.0999
	8	горение или взрыв	0.400003	0.4	0.4
Уровни последствий аварии	высокий (1000 уе.)		0.429003	0.429	0.001
	средний (250 уе.)		0.101001	0.101	0.001
	минимальный (100 уе.)		0.469996	0.47	0.1
Ожидаемый ущерб от аварии		не вычисляется	501.25 уе.	Не вычисляется	
Показатели вкладов элементов в ожидаемый ущерб от аварии		не вычисляется	$\beta_2^{+(W_c)} = +123.75 \text{ уе};$ $\beta_{22}^{+(W_c)} = -6.51 \text{ уе};$ $\beta_3^{+(W_c)} = -3.75 \text{ уе};$ $\beta_{33}^{+(W_c)} = +15.0 \text{ уе};$ $\beta_4^{+(W_c)} = -357.0 \text{ уе};$ $\beta_{44}^{+(W_c)} = +337.5 \text{ уе};$ $\beta_5^{+(W_c)} = -18.0 \text{ уе};$ $\beta_{55}^{+(W_c)} = +18.0 \text{ уе};$ $\beta_6^{+(W_c)} = -6.75 \text{ уе};$ $\beta_{66}^{+(W_c)} = +0.75 \text{ уе};$ $\beta_7^{+(W_c)} = 0.0 \text{ уе};$ $\beta_{77}^{+(W_c)} = 0.0 \text{ уе};$ $\beta_8^{+(W_c)} = -300.0 \text{ уе};$ $\beta_{88}^{+(W_c)} = +75.0 \text{ уе}.$	не вычисляется	

ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ 2.11

Выводы специалистов ИПУ РАН

Данный раздел опять посвящен составлению и решению классической логико-вероятностной модели. Все три комплекса успешно справились с этими задачами. Непонятные цифры в суммарных вероятностях уровней ущерба у ПК Risk Spectrum, по-видимому, не являются недостатками технологии на задачах данного класса. Это какая-то ошибка.

Выводы специалистов ОАО "СПИК СЗМА"

1. Настоящий пример подтверждает, что средствами СФЦ, технологии и ПК АСМ успешно решается третий типовой класс задач, использующий в качестве исходных структурных схем аппарат "деревьев событий".
2. Из сводной таблицы результатов данного раздела 2.11 видно:
 - Результаты расчетов вероятностей развития аварии, вычисленные методами и средствами технологии АСМ, полностью совпали с результатами, полученными модулем Relex Event Tree и ПК Risk Spectrum;
 - Результаты расчетов вероятностей различных уровней последствий аварии, вычисленные методами и средствами технологии АСМ, полностью совпали с результатами, полученными модулем Relex Event Tree и не совпали с результатами, полученными ПК Risk Spectrum;
 - Автоматизированное моделирование и расчет ожидаемого ущерба от аварии, значимостей и вкладов элементов по этому показателю выполнен с помощью ПК АСМ. Решения этой задачи другими технологиями и программными средствами не приведены;
3. Важное место в анализе риска опасных производственных объектов занимает количественная оценка роли отдельных и групп элементов (значимостей и вкладов) на значение ожидаемого ущерба. На их основе можно осуществлять обоснованную выработку и принятие решений по обеспечению безопасности и уменьшению риска функционирования разрабатываемых и эксплуатируемых опасных производственных объектов. В настоящее время эти методы автоматизированного моделирования и расчетов показателей риска используются для подготовки пояснительных записок к декларациям безопасности и планам локализации и ликвидации аварийных ситуаций на ряде опасных производственных объектов.
4. Результаты решения этого важного класса задач, полученные специалистами ОАО "СПИК СЗМА", позволяют начать разработку специализированных программных систем комплексного автоматизированного моделирования и оценки ожидаемого ущерба от возможных аварий на опасных производственных объектах. Главной особенностью таких комплексов является эффективное объединение методов и средств автоматизированного моделирования и расчета вероятностных характеристик сценариев развития аварий с методами и средствами автоматизированного моделирования и расчета возможных последствий аварий на опасных производственных объектах [26].

Выводы специалистов СПБАЭП

1. Все три программных комплекса могут решать задачи данного класса. Однако следует отметить, что результаты, получаемые с помощью ПК Risk Spectrum, совпадают с решениями по другим кодам, только при обработке успеха по правилу «Log. and simple quant.» («Логическая и простая квантификация»).

2. Результаты расчета последствий для групп состояний с одинаковым уровнем ущерба с помощью кода Risk Spectrum не совпадают не только с результатами, полученными с помощью других кодов, но и с результатами, получаемыми путем суммирования вероятностей реализации состояний с одинаковым уровнем ущерба. Причина этого несоответствия до конца не выяснена.

3. В тех случаях, когда вероятности неуспеха малы, результаты расчета вероятностей реализации состояний с одинаковым уровнем ущерба (результаты расчета последствий – в терминологии «Risk Spectrum») становятся близки к результатам, полученным с помощью других кодов и к результатам, полученным путем суммирования вероятностей реализации соответствующих конечных состояний, рассчитываемых кодом «Risk Spectrum».

4. Только программный комплекс АСМ позволяет рассчитывать величину риска, как показатель безопасности, равный произведению вероятности аварии на величину ущерба от этой аварии. Два других кода не позволяют получать таких решений.