

СПИК СЗМА



Специализированная инженеринговая
компания

Севзапмонтажавтоматика

г. Санкт-Петербург



СПИК СЗМА

ISO 9001:2008

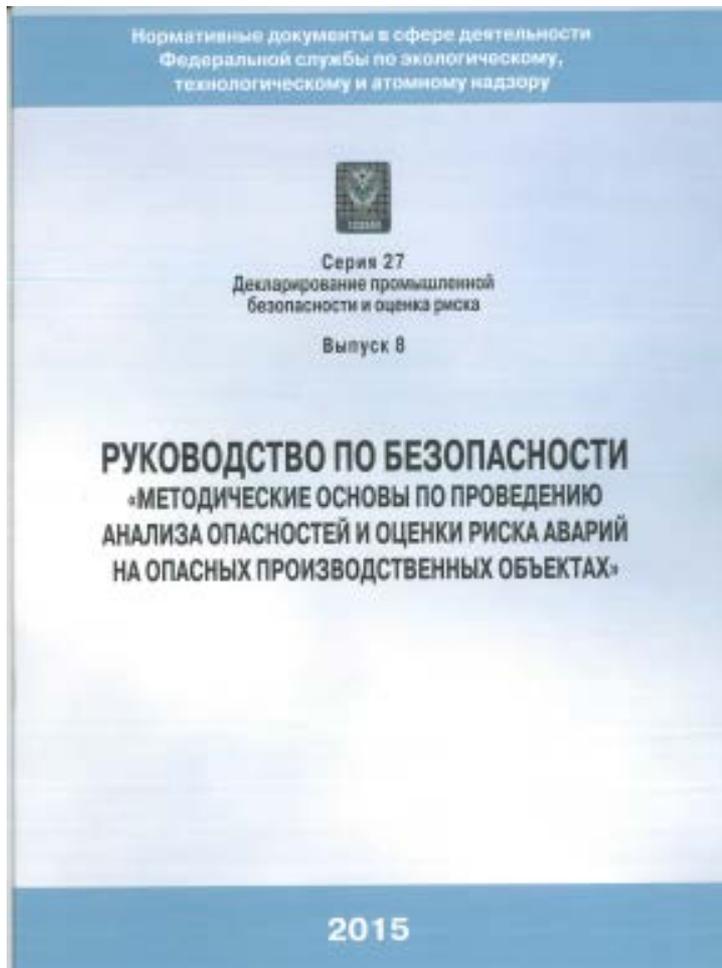
МОЖАЕВА И.А., НОЗИК А.А., СТРУКОВ А.В.
АО «СПИК СЗМА», С-Петербург,
E-mail: info@szma.com

**Программная реализация методов
количественного анализа риска аварий
опасных производственных объектов на основе
логико-детерминированного подхода**

ТБ ФОРУМ -2016

Технологии безопасности

Россия, Москва, 9-11 февраля 2016 г.



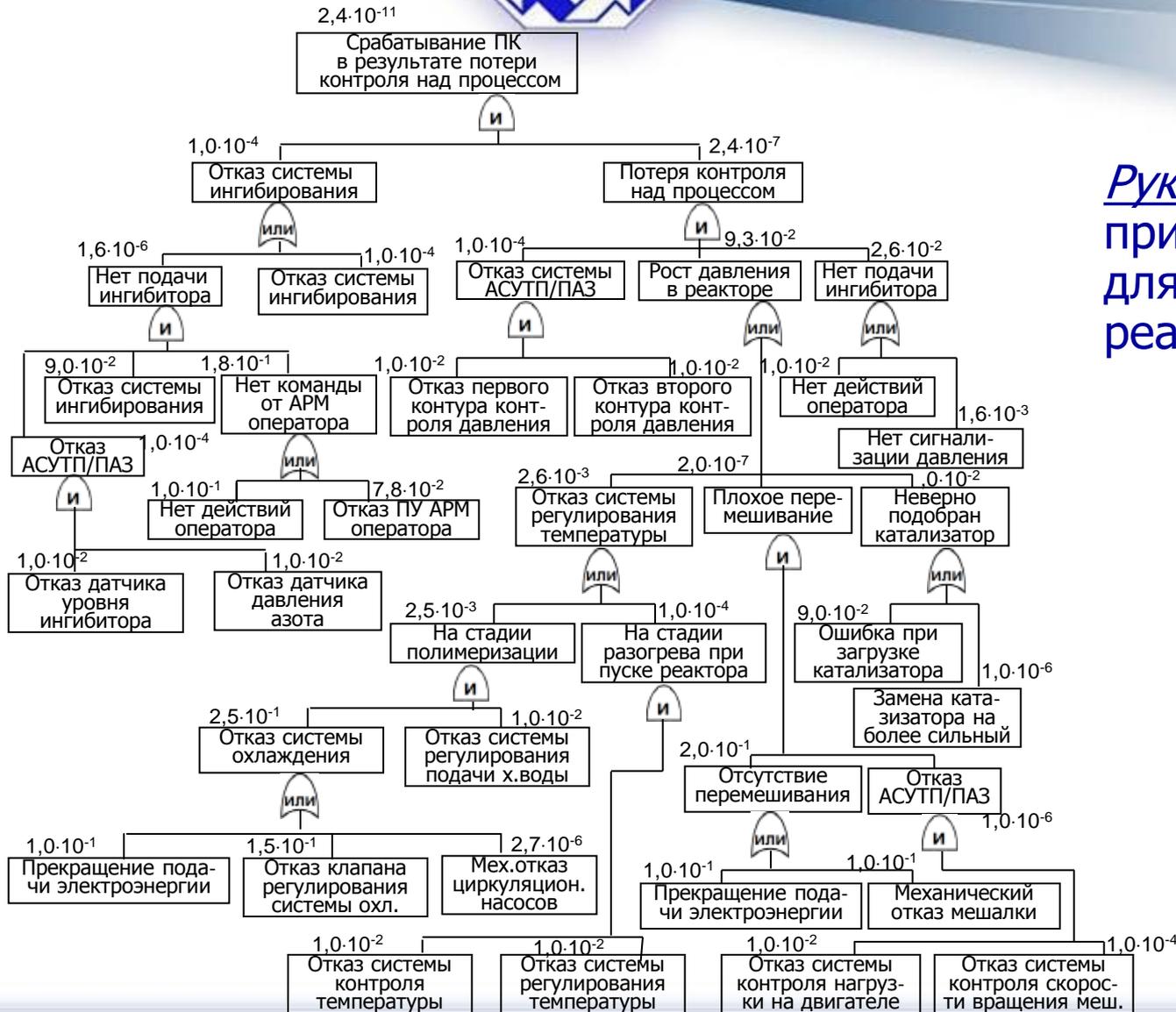
46. При анализе опасностей, связанных с отказами технических устройств, систем обнаружения утечек, автоматизированных систем управления технологическим процессом (АСУТП), систем противоаварийной защиты (ПАЗ) рекомендуется анализировать технический риск, показатели которого определяются соответствующими методами **теории надежности**.

Методы расчета надежности технических систем рекомендуется сочетать с методами **моделирования аварий** и количественной оценки риска аварий.

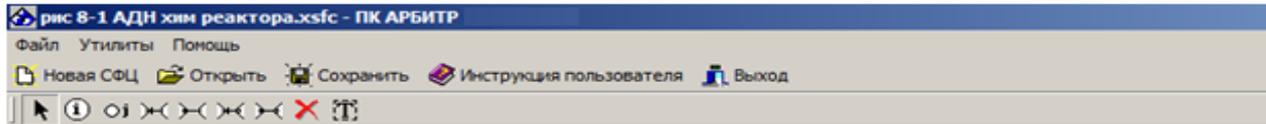


Рекомендации по выбору методов анализа риска

| Метод | Вид деятельности | | | | |
|---|---|---------------------|--|-------------------|-------------------------|
| | Размещение ОПО (предпроектные работы) | Проектиро- вание | Ввод/ вывод из эксплуа- тации | Эксплуа- тация | Рекон- струк- ция |
| Проверочный лист | + | + | + | + | + |
| Анализ "Что будет, если...?" | 0 | + | ++ | ++ | + |
| Предварительный анализ опасностей (идентификации опасностей) | ++ | + | 0 | 0 | + |
| Анализ опасности и работоспособности | + | ++ | + | + | ++ |
| Анализ видов и последствий отказов | + | ++ | + | + | ++ |
| Анализ деревьев отказов и событий | 0 | ++ | + | + | ++ |
| Количественный анализ риска | ++ | ++ | + | + | + |
| Анализ барьеров безопасности | + | ++ | + | + | + |



Руководство....!
 пример дерева отказов
 для химических реакторов



ПК АРБИТР:
СФЦ для
моделирования
отказов химических
реакторов

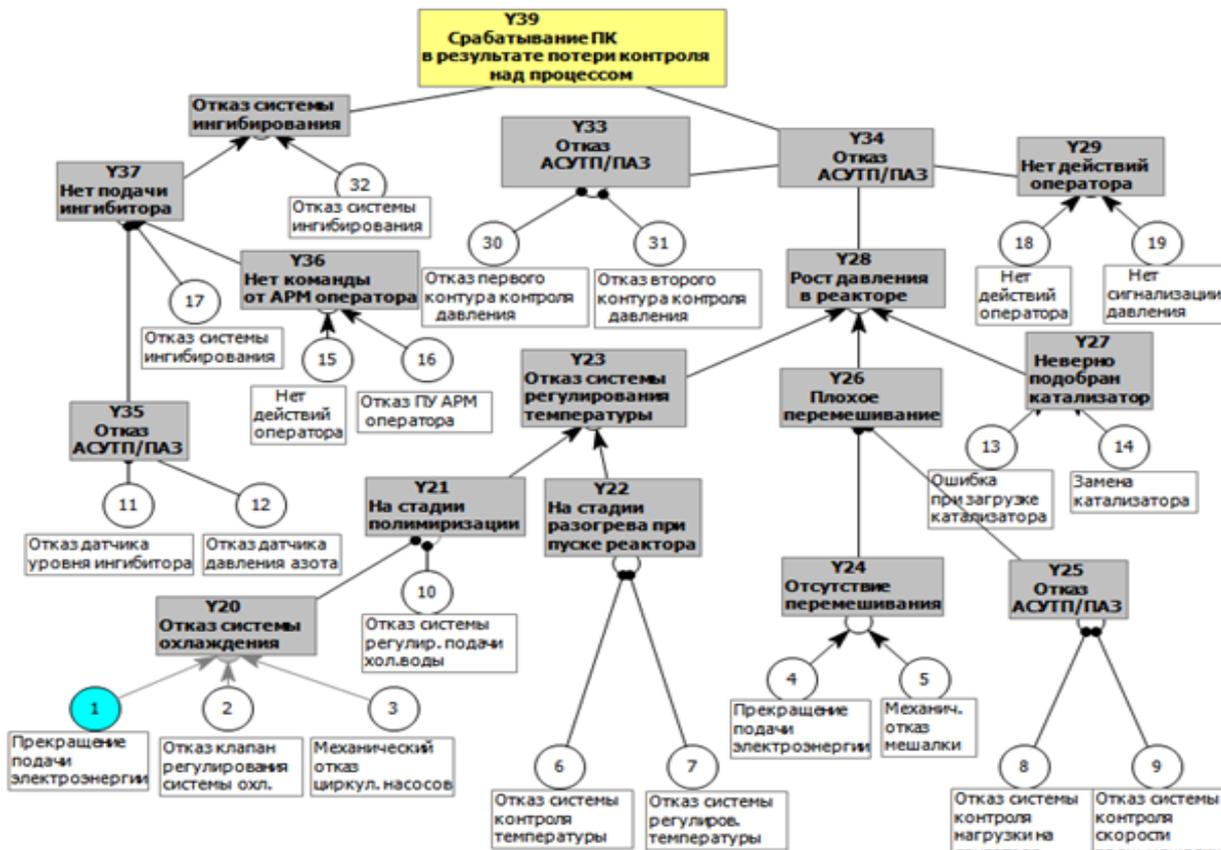




рис 8-1 АДН хим реактора.xsfc - ПК АРБИТР

Файл Утилиты Помощь

Новая СФЦ Открыть Сохранить Инструкция пользователя Выход

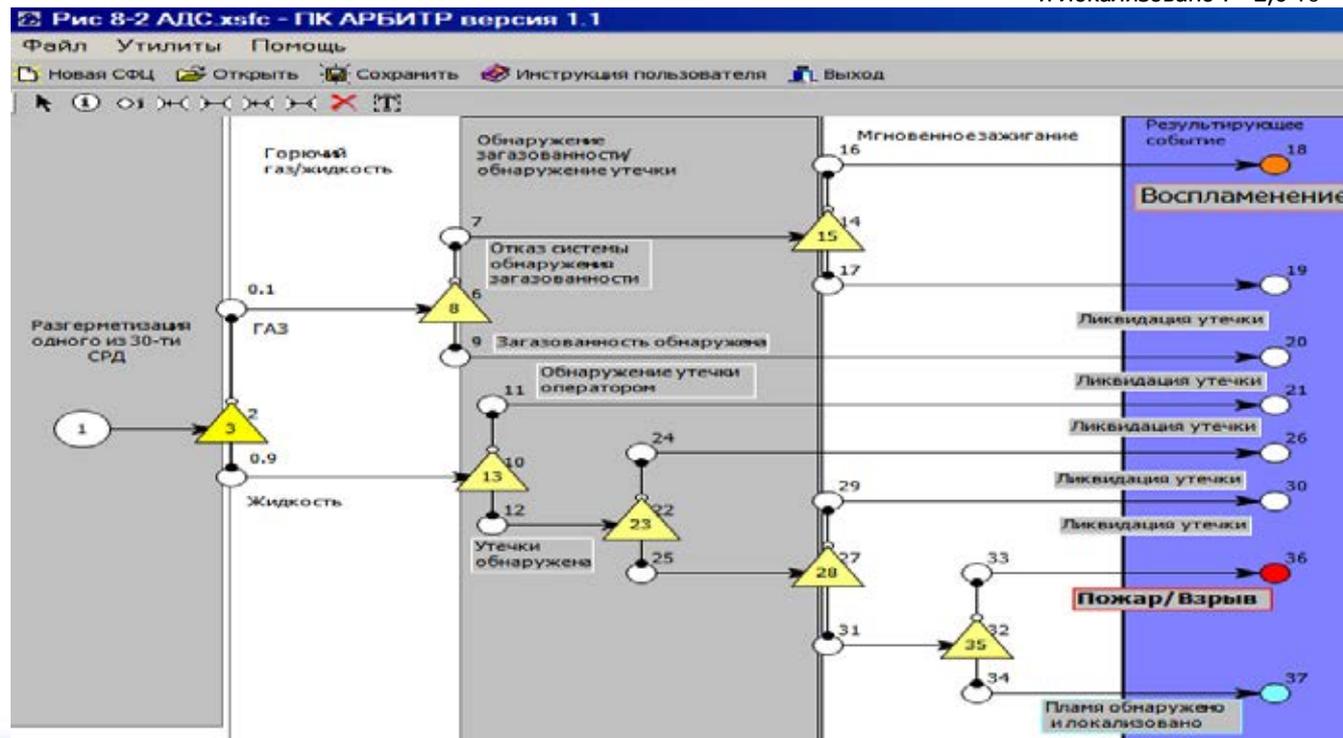
Вероятностная функция содержит 150 одночленов

Статические расчеты : $P = 2.41973586814497E-11$ - вероятность реализации критерия

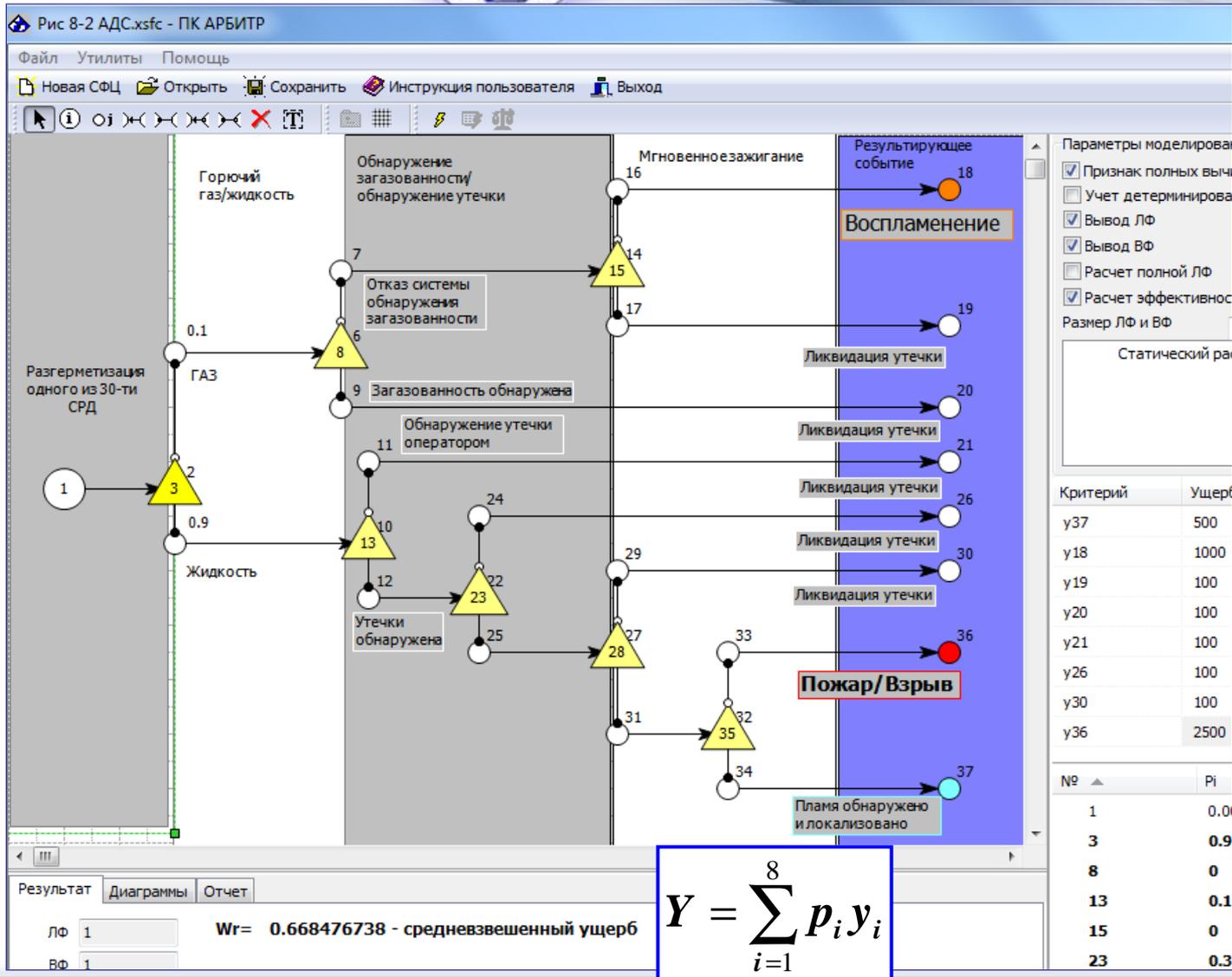
| Номер эл-та | Р элемента | Значимость элемента | Отрицательный вклад | Положительный вклад | Наименование |
|-------------|------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------------|
| 32 | 0.0001 | 2.38E-07 | -2.38E-11 | 2.38E-07 | Отказ системы ингибирования |
| 30 | 0.01 | 2.42E-09 | -2.42E-11 | 2.40E-09 | Отказ 1 контура контроля давления |
| 31 | 0.01 | 2.42E-09 | -2.42E-11 | 2.40E-09 | Отказ 2 контура контроля давления |
| 19 | 0.016 | 9.27E-10 | -1.48E-11 | 9.12E-10 | Нет сигнализации давления |
| 18 | 0.01 | 9.21E-10 | -9.21E-12 | 9.12E-10 | Нет действий оператора |
| 13 | 0.09 | 2.62E-10 | -2.36E-11 | 2.38E-10 | Ошибка при загр. катализатора |
| 14 | 1.00E-06 | 2.38E-10 | -2.38E-16 | 2.38E-10 | Замена катализатора |

Руководство....:
 пример дерева
 событий для случая
 разгерметизации
 сосудов,
 работающих под
 давлением

| Разгерметизация одного из 30-ти СРД | Горючий газ/жидкость | Обнаружение загазованности/ обнаружение утечки | Мгновенное загорание | Результирующее событие | |
|---|-------------------------|---|-----------------------|--|---|
| 6.67·10 ⁻³ | 0.1 Газ | 0.012 | 0.1 | Воспламенение P=1,0·10 ⁻⁷ | |
| | | Отказ системы обнаружения загазованности | Да | Ликвидация утечки P=7,0·10 ⁻⁶ | |
| | | 0.988 | Нет | Ликвидация утечки P=6,58·10 ⁻⁴ | |
| | 0.9 Жидкость | Загазованность обнаружена | 0.9 | Ликвидация утечки P=5,40·10 ⁻³ | |
| | | Обнаружение утечки оператором | 0.7 | Ликвидация утечки P=4,20·10 ⁻⁴ | |
| | | | Негорючая жидкость | 0.99 | Ликвидация утечки P=1,78·10 ⁻⁴ |
| | | 0.1 Утечка обнаружена | 0.3 | Да | Пожар/взрыв P=1,0·10 ⁻⁸ |
| | | | | 0,01 | Пламя обнаружено и локализовано P=2,0·10 ⁻⁶ |
| | | | Горючая жидкость | 0.01 | |
| | | | | | 0,99 |



ПК АРБИТР:
 экранный
 интерфейс с
 решением примера



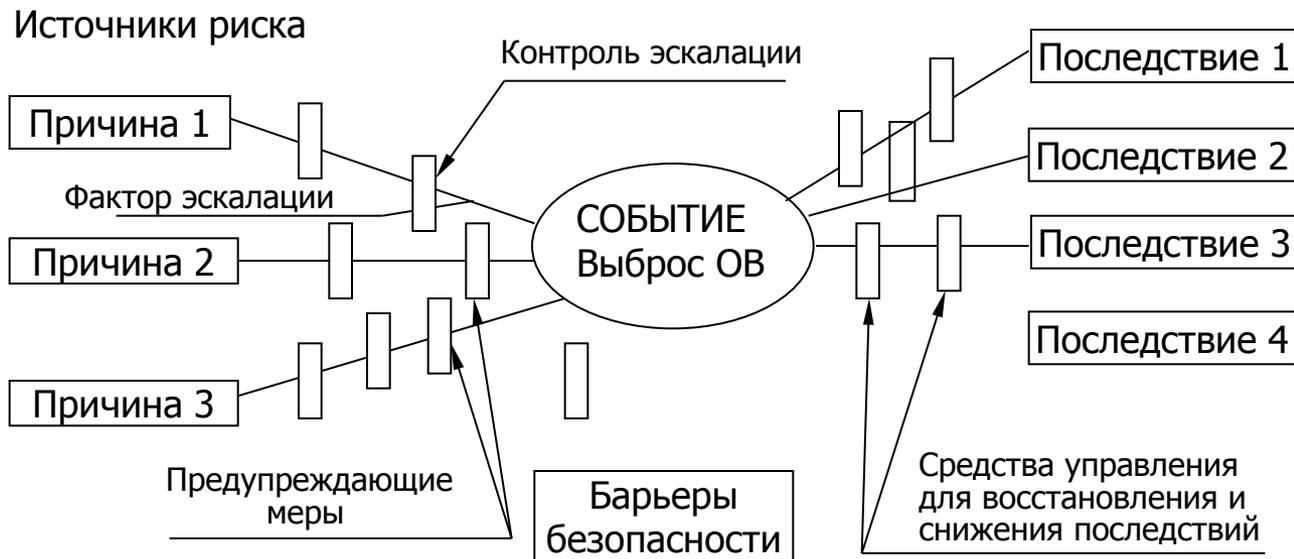


Анализ барьеров безопасности



АНАЛИЗ ПРИЧИН
HAZOP, "дерево отказов"
определение SIL

АНАЛИЗ ПОСЛЕДСТВИЙ
"дерево событий" КОР





Пример совместного применения методов анализа деревьев отказов и деревьев событий в программной среде ПК АРБИТР

Уровни разработки расчетной схемы метода АББ

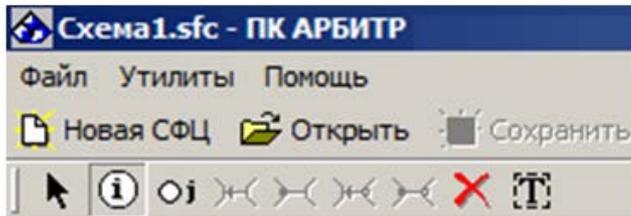
СПИК СЗМА

ISO 900



1. "Анализ причин" - разработка левой части расчетной схемы метода АББ – технической составляющей безопасности

1.1



Причина 1

1

1.2



Причина 1

1

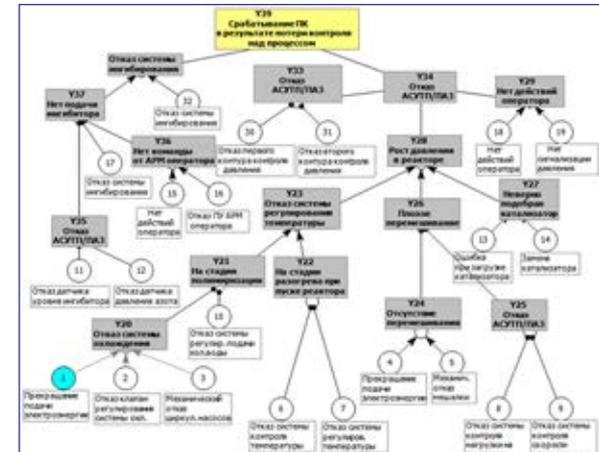
Причина 2

2

Причина 3

3

Событие-инцидент



$P\{Y22=1\} = 0.4073$ - вероятность возникновения события инцидента (аварийной ситуации)

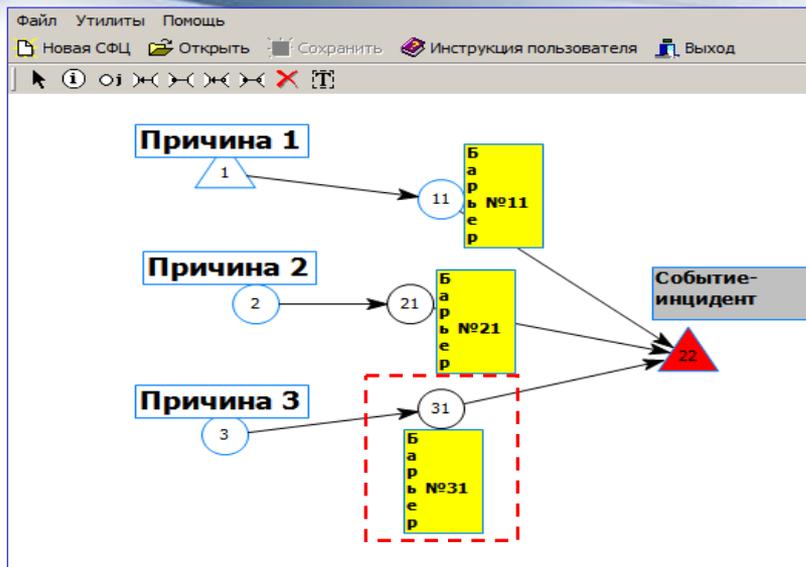
2. Анализ влияния барьеров



СПИК СЗМА

ISO 9001:2008

На начальном уровне анализа вводятся только те барьеры, которые применяются непосредственно при возникновении аварийной ситуации. При этом действия обслуживающего персонала считаются правильными. Влияние барьеров безопасности определяется показателями доверия, эффективности и времени реагирования.



2.1 Анализ значимости элементов схемы (барьеров)

значимости элементов ξ_i в порядке убывания имеют значения:

$\xi_{31}=0.76$;
 $\xi_{11}=0.74$;
 $\xi_{21}=0.62$.

2.2 Анализ влияния барьеров на частоту реализации события-инцидента

Барьер №31 снижает вероятность реализации причины №3 на 30%.

Барьер №21 снижает вероятность реализации причины №2 на 30%.

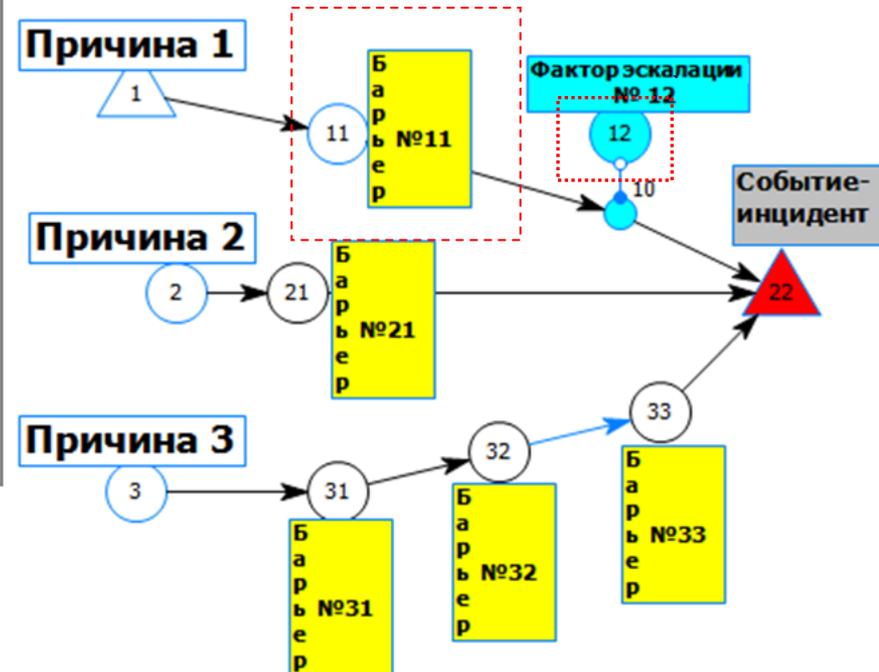
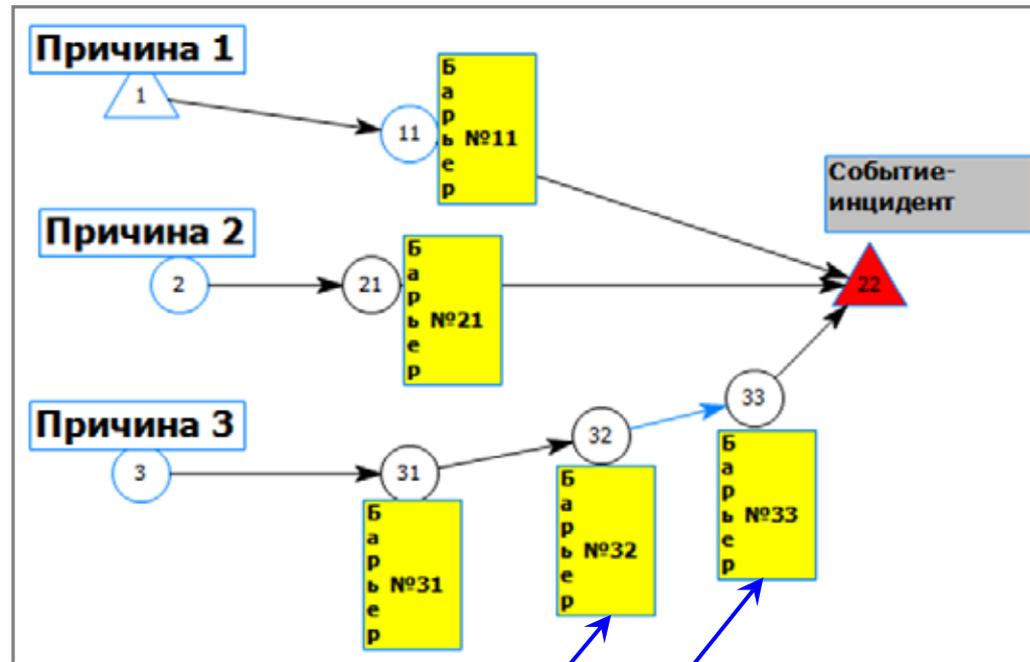
VS

$P\{Y_{22}=1 \mid N^{\circ}31\} = 0.357$
 (снижение на 12.3%)

$P\{Y_{22}=1 \mid N^{\circ}21\} = 0.398$
 (снижение на 2.3%)

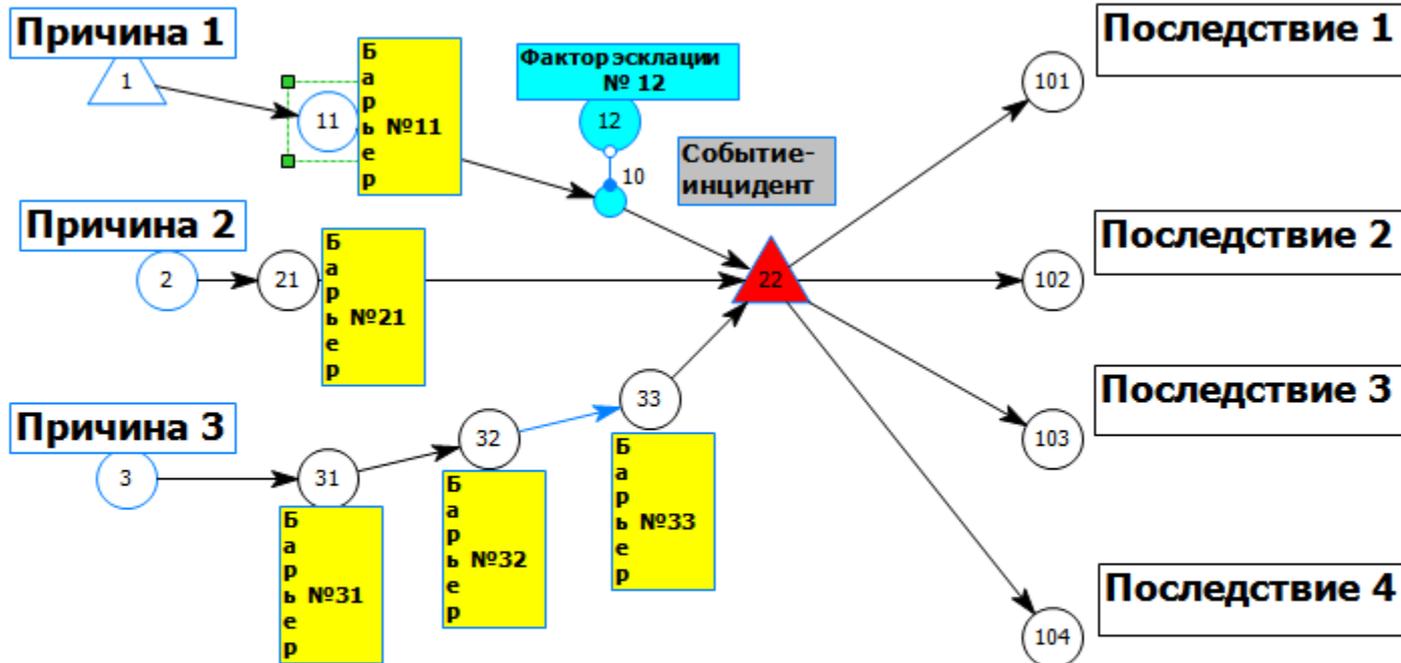


2.3 Анализ влияния дополнительных барьеров и факторов эскалации на частоту реализации события-инцидента





3. "Анализ последствий" - разработка правой части расчетной схемы метода АББ – организационной составляющей безопасности



Параметры моделирования и расчетов

- Признак полных вычислений
- Учет детерминированных состояний
- Вывод ЛФ
- Вывод ВФ
- Расчет полной ЛФ
- Расчет эффективности/риска

Размер ЛФ и ВФ: 5000

Статический расчет

| Критерий | Ущерб |
|----------|-------|
| y104 | 100 |
| y101 | 400 |
| y102 | 300 |
| y103 | 200 |

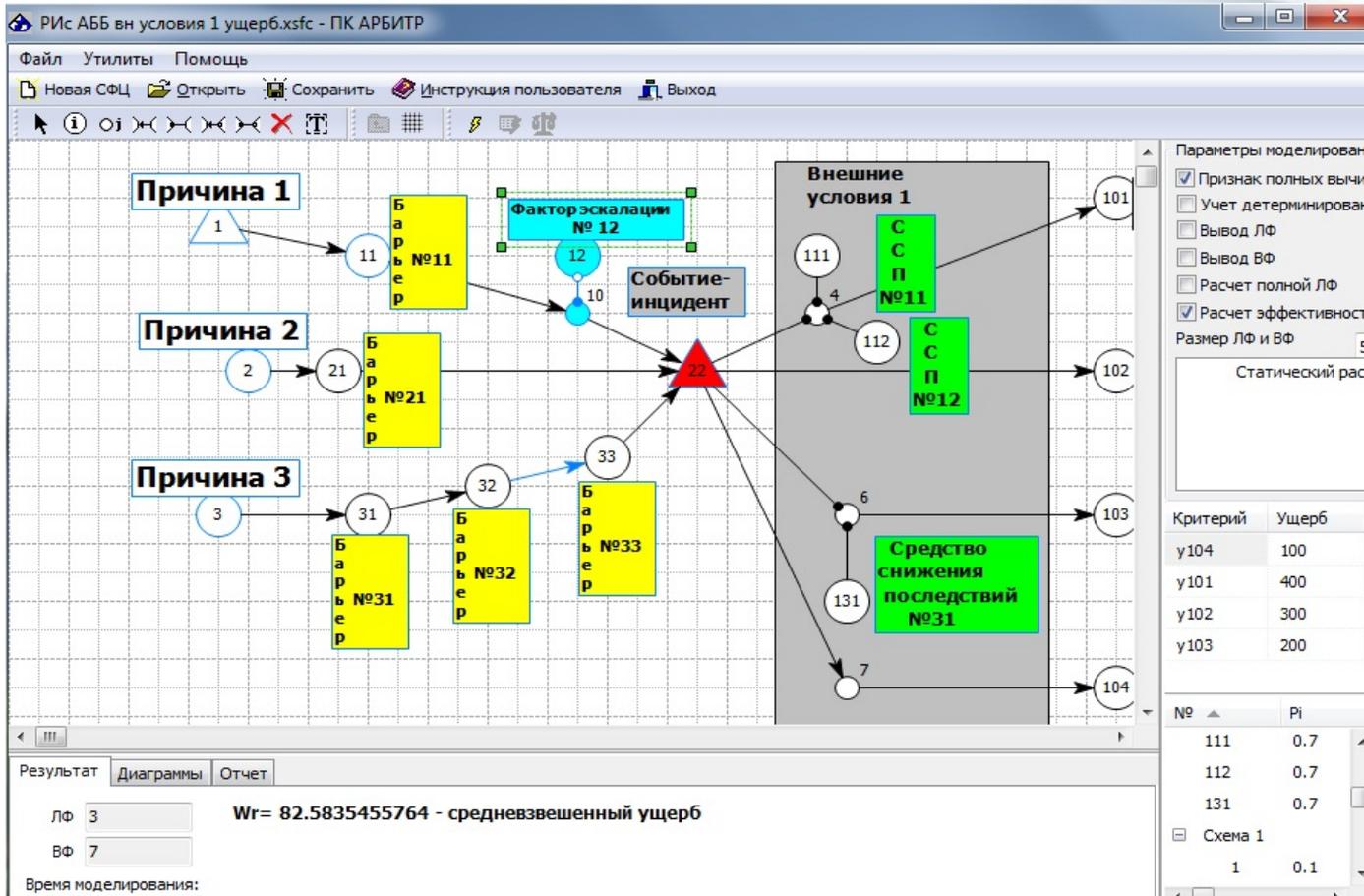
Результат: Диаграммы Отчет

ЛФ: 3 W_r = 140.504813582 - средневзвешенный ущерб
 ВФ: 7



3.1. Анализ влияния средств снижения последствий (ССП)

3.1.1 Внешние условия 1

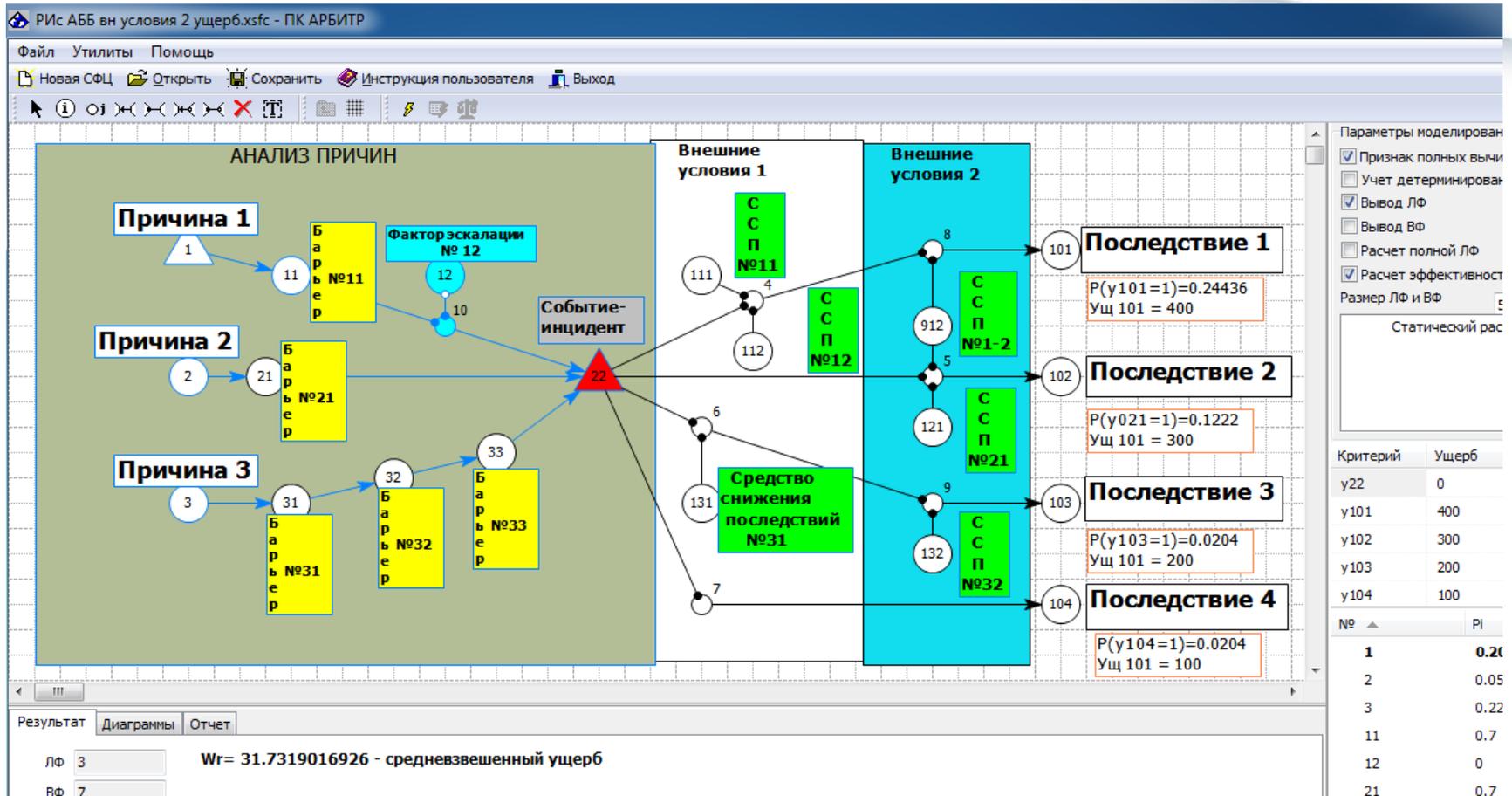


ССП №11, 12 и 31, примененные при внешних условиях 1, позволяют снизить вероятность реализаций соответствующих последствий на 30%. Средневзвешенный ущерб снизился на 31.1%.



3.1.2. Внешние условия 2

Расчет ущерба с применением барьеров и ССП

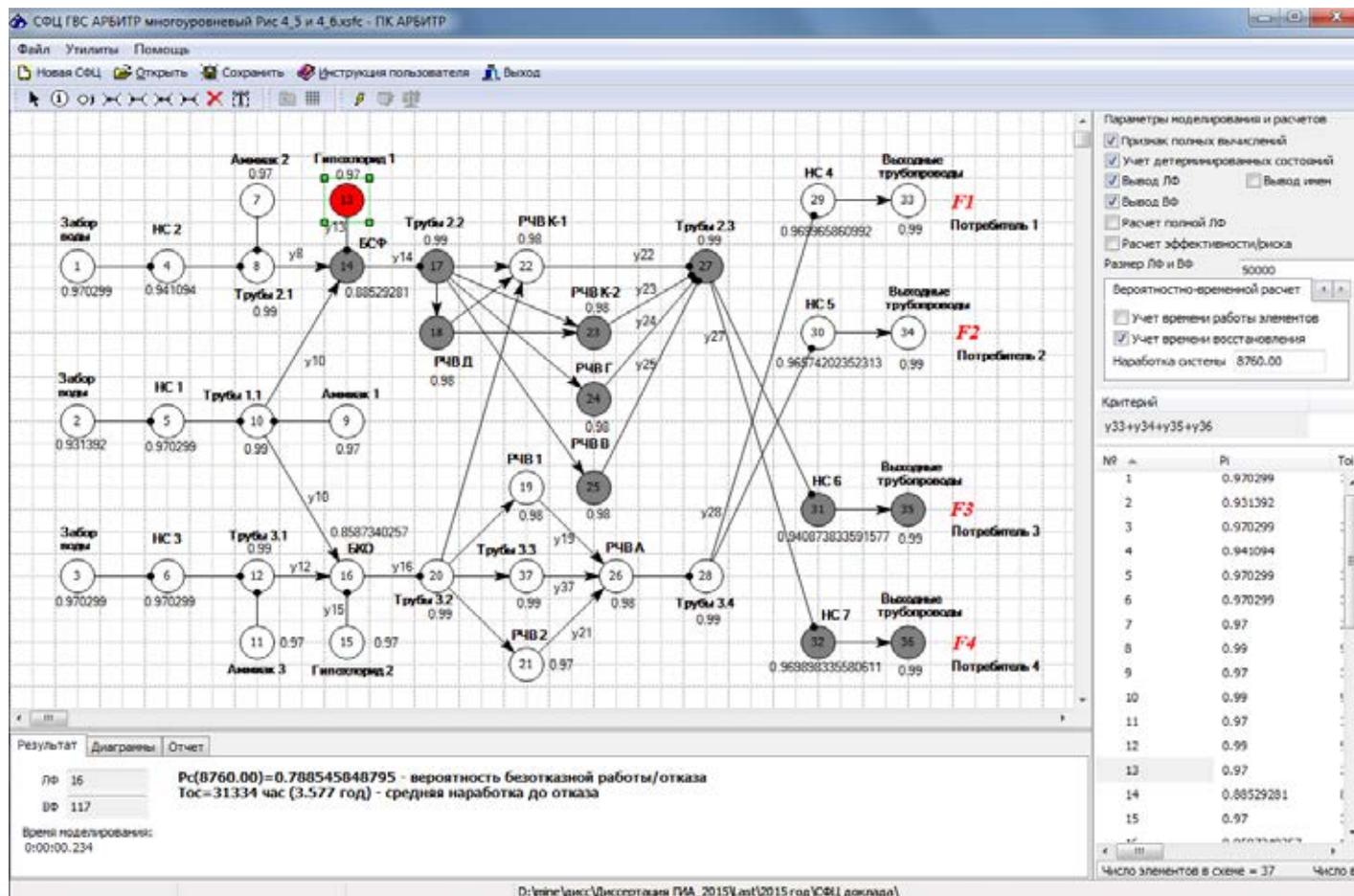


Применение ССП №912 (30%) при внешних условиях 2 снизит средневзвешенный ущерб до 100.2 у.е., т.е. на 22.8%.

Применение всех ССП при внешних условиях 2 снизит средневзвешенный ущерб до 55.2 у.е., т.е. снижение на 57.2%.



Пример применения логико-детерминированного подхода для мониторинга последствий изменений состояний Главной водопроводной станции Водоканала Санкт-Петербурга





Выводы:

Для автоматизированного моделирования и анализа риска аварий ОПО необходимо применение программных средств, позволяющих реализовать такие методы количественной оценки риска аварий как метод анализа барьеров безопасности.

К таким программным средствам относится программный комплекс **АРБИТР**, аттестованный органами Ростехнадзора.

4. О программном комплексе АРБИТР

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ЭКОЛОГИЧЕСКОМУ,
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ И АТОМНОМУ НАДЗОРУ

№ 592
РЕГИСТРАЦИОННЫЙ НОМЕР
ПС В ПОЗИ ПРИ РИЦ КИ
21.11.2005
дата регистрации

№ 222
РЕГИСТРАЦИОННЫЙ НОМЕР
ПАСПОРТА АТТЕСТАЦИИ ПС
21.02.2007
дата выдачи

НАЗВАНИЕ ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА: Программный комплекс АРБИТР
(ПК АСМ СЗМА), базовая версия 1.0

ЭВМ: ПЭВМ, компьютер класса IBM-PC с процессором Pentium II и выше

ОПЕРАЦИОННАЯ СИСТЕМА: Windows 95, Windows 98, Windows Me, Windows NT,
Windows 2000, Windows XP, Windows 2003

ЯЗЫК ПРОГРАММИРОВАНИЯ: Borland Object Pascal, среда разработки Borland
Delphi Professional, Version 7.0 (Build 4.453)

АВТОР: А.С. Можавв

РАЗРАБОТЧИК: Открытое акционерное общество "Специализированная
инжиниринговая компания "Севзапмонтажавтоматика"
(ОАО "СПИК СЗМА"), Санкт-Петербург

ЗАЯВИТЕЛЬ: Открытое акционерное общество "Специализированная
инжиниринговая компания "Севзапмонтажавтоматика"
(ОАО "СПИК СЗМА"), Санкт-Петербург

РЕШЕНИЕ СОВЕТА ПО АТТЕСТАЦИИ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ

Аттестовать программный комплекс АРБИТР (ПК АСМ СЗМА),
базовая версия 1.0 на срок 10 лет

ПРИЛОЖЕНИЕ на 4 стр.

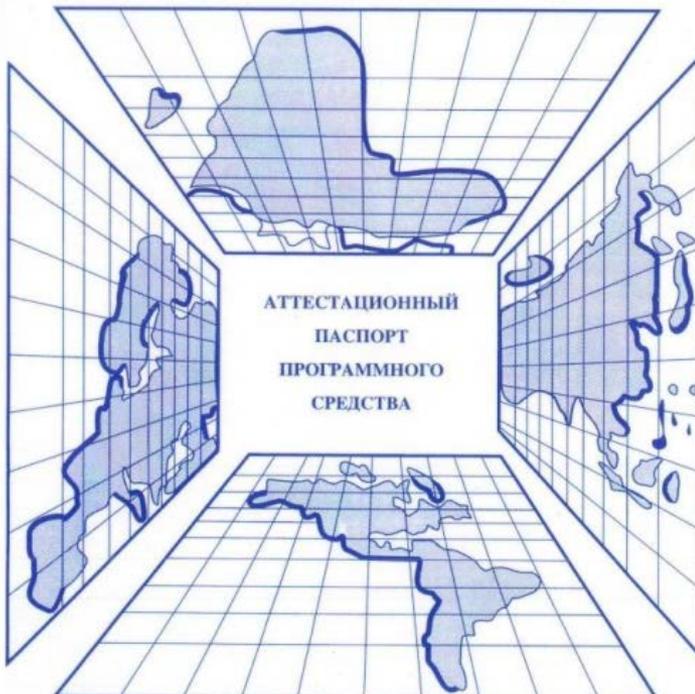


ПРЕДСЕДАТЕЛЬ СОВЕТА
ПО АТТЕСТАЦИИ ПС

И.Р. Уголева
И.Р. Уголева



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР
ПО ЯДЕРНОЙ И РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ





Результаты:

Только в АО "СПИК СЗМА" с помощью ПК АРБИТР выполнено более 40 проектных расчетов надежности по заказам сторонних организаций, в том числе проектные расчеты надежности

- систем электроснабжения 17 олимпийских объектов;
- АСУ объектов

ООО «Газтранзит»,
Волжской ГЭС,
Кураховской ТЭЦ,
предприятий электрических сетей,
нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих
предприятий России и Сербии.

ПК АРБИТР эксплуатируется:

- в 10 научно-исследовательских институтах и центрах;
- в 12 Высших учебных заведениях Российской Федерации;
- в 12 проектных организациях и на предприятиях промышленности.



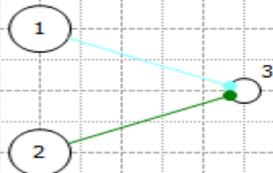
СПИК СЗМА

ISO 9001:2008

Доклад окончен, спасибо за внимание

Можаева Ирина Александровна

info@szma.com



Последовательная система:
Система исправна, когда исправны
все элементы:
 $P_{ис} = P_1 * P_2 = 0.9 * 0.8 = 0.71$

Логическая функция: $X_1 \cdot X_2$
Вероятностная функция: $P_1 * P_2$

Параметры моделирования и расчетов

- Признак полных вычислений
- Учет детерминированных состояний
- Вывод явной ФРС Вывод имен
- Вывод явной ВФ
- Расчет полной ФРС
- Расчет риска

Размер ФРС и ВФ

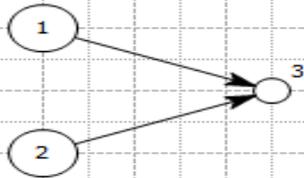
Статический расчет

Критерий

y3

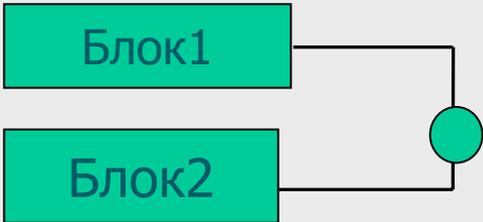
| № | $P_i \Delta$ | T_{oi} | T_{vi} |
|---|--------------|----------|----------|
| 2 | 0.8 | 0 | -1 |
| 1 | 0.9 | 0 | -1 |





Параллельная система исправна, когда исправен хотя бы один элемент:
 Объединение событий:
 $P_{пар} = P1 + P2 - P1P2$

Логическая функция:
 $Y3 = X1 \vee X2 = X1 \vee X1 \cdot X2$
 Вероятностная функция:
 $Pc = P1 + Q1P2$
 $Q1 = 1 - P1$



Выход

- Вывод явной ФРС
 - Вывод явной ВФ
 - Расчет полной ФРС
 - Расчет риска
- Размер ФРС и ВФ

Статический р

Критерий
 y3

| № | Pi |
|---|-----|
| 2 | 0.8 |
| 1 | 0.9 |

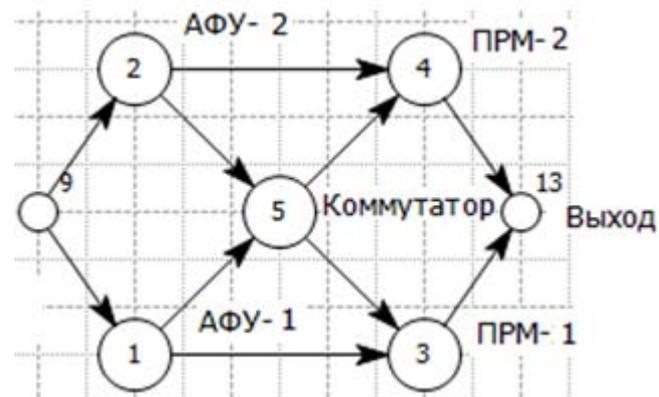
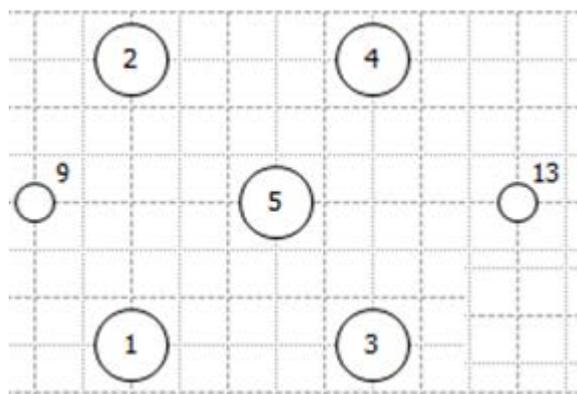
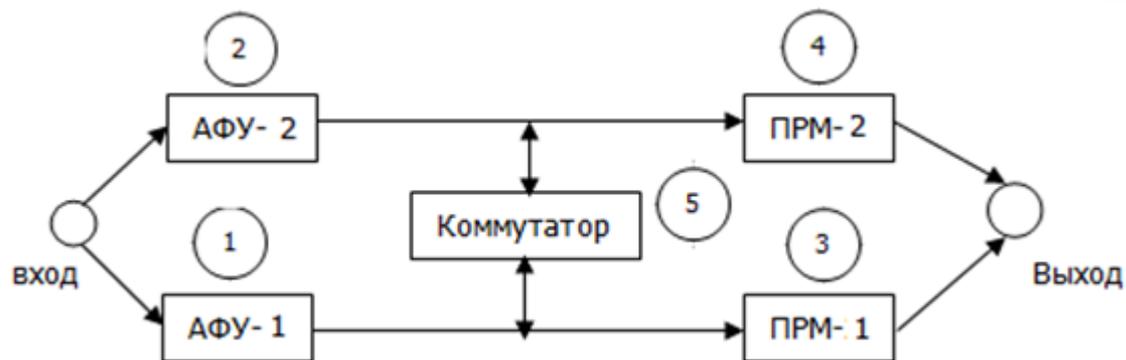
Краткая инструкция пользователю ПК АРБИТР

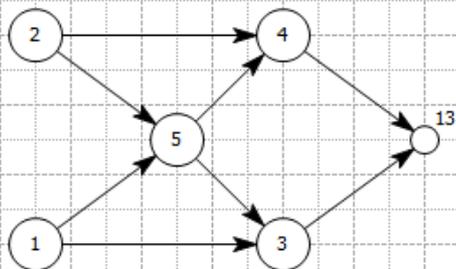
| СОДЕРЖАНИЕ | |
|---|----|
| Введение | 3 |
| <u>Часть 1. Основы работы с ПК АРБИТР</u> | 3 |
| 1.1 (2.4) Запуск программного комплекса | |
| 1.2 (2.5) Изменение размеров окон | 4 |
| 1.3 (2.7) Панель инструментов | 5 |
| 1.4 (4.1.3) Изменение параметров функциональных и фиктивных вершин | 7 |
| <u>Часть 2. Моделирование простых структур</u> | 10 |
| 2.1 (4.2) Работа с ребрами | |
| 2.2 <u>Моделирование последовательной системы</u> | 12 |
| 2.3 <u>Моделирование параллельной системы</u> | 16 |
| <u>Часть 3 Моделирование систем с раздельным и общим резервированием</u> | 17 |
| 3.1 Составление СФЦ исходного состояния системы | |
| 3.2 Составление СФЦ общего резервирования системы | 19 |
| 3.3 Составление СФЦ раздельного резервирования системы | 20 |
| <u>Часть 4. Ввод параметров элементов и режимы моделирования надежности</u> | 22 |
| <u>Часть 5 Моделирование надежности мостиковой схемы</u> | 25 |
| 5.1 Составление СФЦ мостиковой схемы | |

01:2008

СПИК СЗМА

ISO 9001:2008



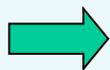


Кратчайшие пути успешного функционирования:
 1. X1X2 2. X1X3 3. X1X5X4 4. X2X5X3

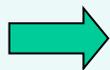
| Номер эл-та | P эл-та | Значимость эл-та | Отрицательн. вклад | Положительн. вклад | Наименование |
|-------------|---------|------------------|--------------------|--------------------|--------------|
| 1 | 0.9 | 0.1062 | -0.09558 | 0.01062 | АФУ-1 |
| 2 | 0.9 | 0.1062 | -0.09558 | 0.01062 | АФУ-2 |
| 3 | 0.9 | 0.1062 | -0.09558 | 0.01062 | ПРМ-1 |
| 4 | 0.9 | 0.1062 | -0.09558 | 0.01062 | ПРМ-2 |
| 5 | 0.9 | 0.0162 | -0.01458 | 0.00162 | Коммутатор |

P = 0.97848

P1=1



P1=0.9891



Вклад 1 = 0.9891 - 0.97848 = 0.01062

Параметры мод

- Признак пол
- Учет детер
- Вывод явно
- Вывод явно
- Расчет полн
- Расчет риск
- Размер ФРС и В

Статич

Критерий

y13

| № | △ | Pi |
|---|---|-----|
| 1 | | 0.9 |
| 2 | | 0.9 |
| 3 | | 0.9 |
| 4 | | 0.9 |
| 5 | | 0.9 |

1 0.9

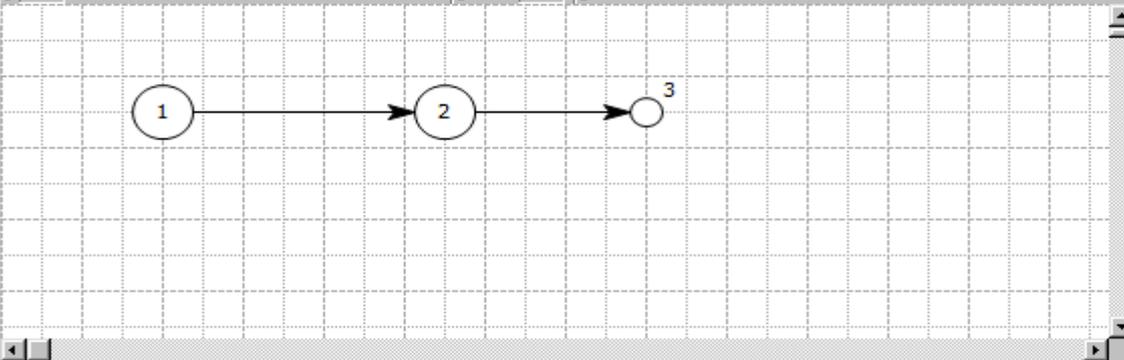
2 0.9

3 0.9

4 0.9

5 0.9

001:2008



Результат | Диаграммы | Отчет

Результаты моделирования всей системы

Параметры СФЦ:

Число вершин - 3
Число элементов - 2

Логический критерий функционирования

$Y_c = y_3$

Логическая ФРС содержит 1 конъюнкций

Вероятностная функция содержит 1 одночленов

Полностью восстанавливаемая система :

$K_{Гс} = 0.966643824572718$ - коэффициент готовности/неготовности системы

$T_{ос} = 5840$ час (0.667 год) - средняя наработка на отказ

$T_{вс} = 201.522$ час - среднее время восстановления системы

Параметры моделирования и расчетов

- Признак полных вычислений
- Учет детерминированных состояний
- Вывод явной ФРС
- Вывод явной ВФ
- Расчет полной ФРС
- Расчет риска

Размер ФРС и ВФ

Вероятностно-временной расчет

- Учет времени работы элементов
- Учет времени восстановления

Наработка системы

Критерий

y_3

| № | P_i | T_{oi} | T_{vi} |
|---|---------------|----------|----------|
| 1 | 0.98871331... | 1 | 100 |
| 2 | 0.97767857... | 2 | 400 |

$$K_{Гi} = \frac{T_{oi}}{T_{oi} + T_{Bi}}$$



| | | | |
|------------------------|---|----------------------------|---|
| ГОСТ Р 51901.1-2002 | Управление надежностью. Анализ риска технологических систем | IEC 60300-3-9 (1995-12) | Dependability management – Part 3: Application guide – Section 9: Risk analysis of technological systems |
| ГОСТ Р 51901.2-2005 | Менеджмент риска . Системы менеджмента надежности | IEC 60300-1 (2003-06) | Dependability management – Part 1: Dependability management systems |
| ГОСТ Р 51901.3-2007 | Менеджмент риска . Руководство по менеджменту надежности | IEC 60300-2 (2004-03) | Dependability management – Part 2: Guidelines for dependability management |
| ГОСТ Р 51901.4-2007 | Менеджмент риска. Руководство по применению при проектировании | IEC 62198 (2001-04) | Project risk management – Application guidelines |
| ГОСТ Р 51901.5-2007 | Менеджмент риска . Руководство по применению методов анализа надежности | IEC 60300-3-1 (2003-01) | Dependability management – Part 3-1: Application guide – Analysis techniques for dependability – Guide on methodology |

СПИК СЗМА



рис 8-1 АДН хим реактора.xsf - ПК АРБИТР

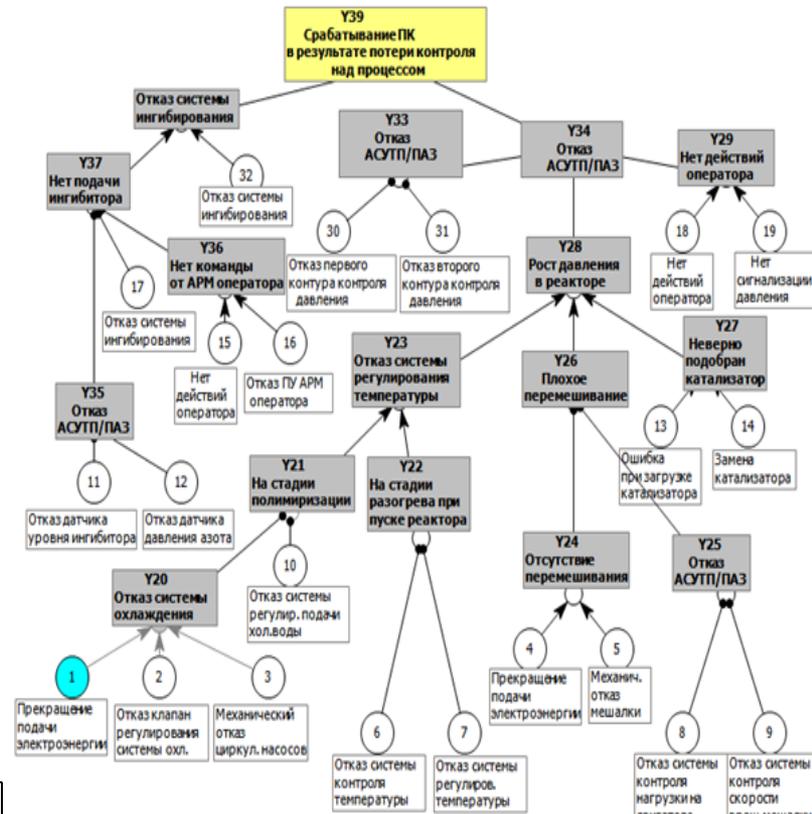
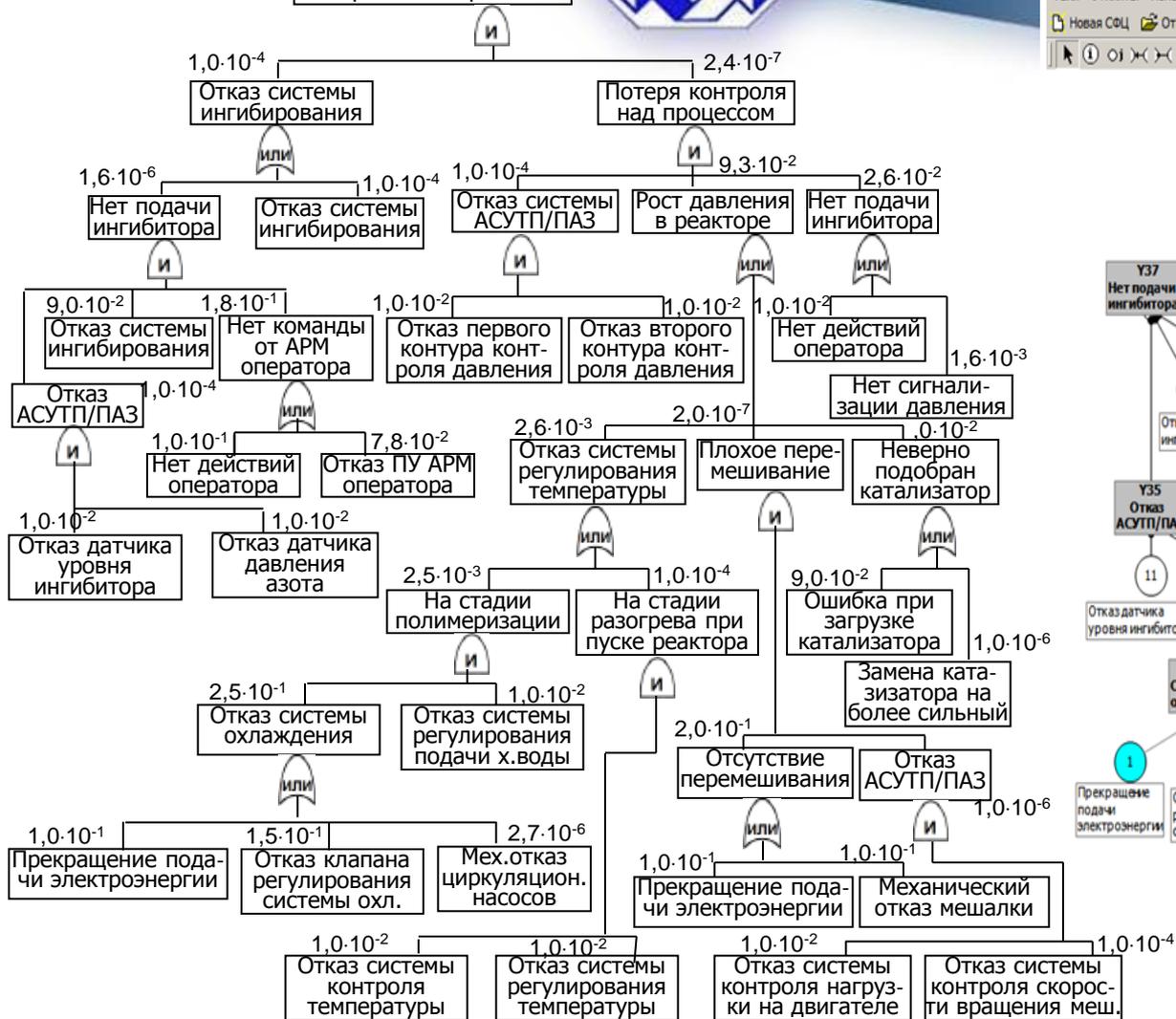
Файл Утилиты Помощь

Новая СФЦ Открыть Сохранить Инструкция пользователя Выход



$2,4 \cdot 10^{-11}$

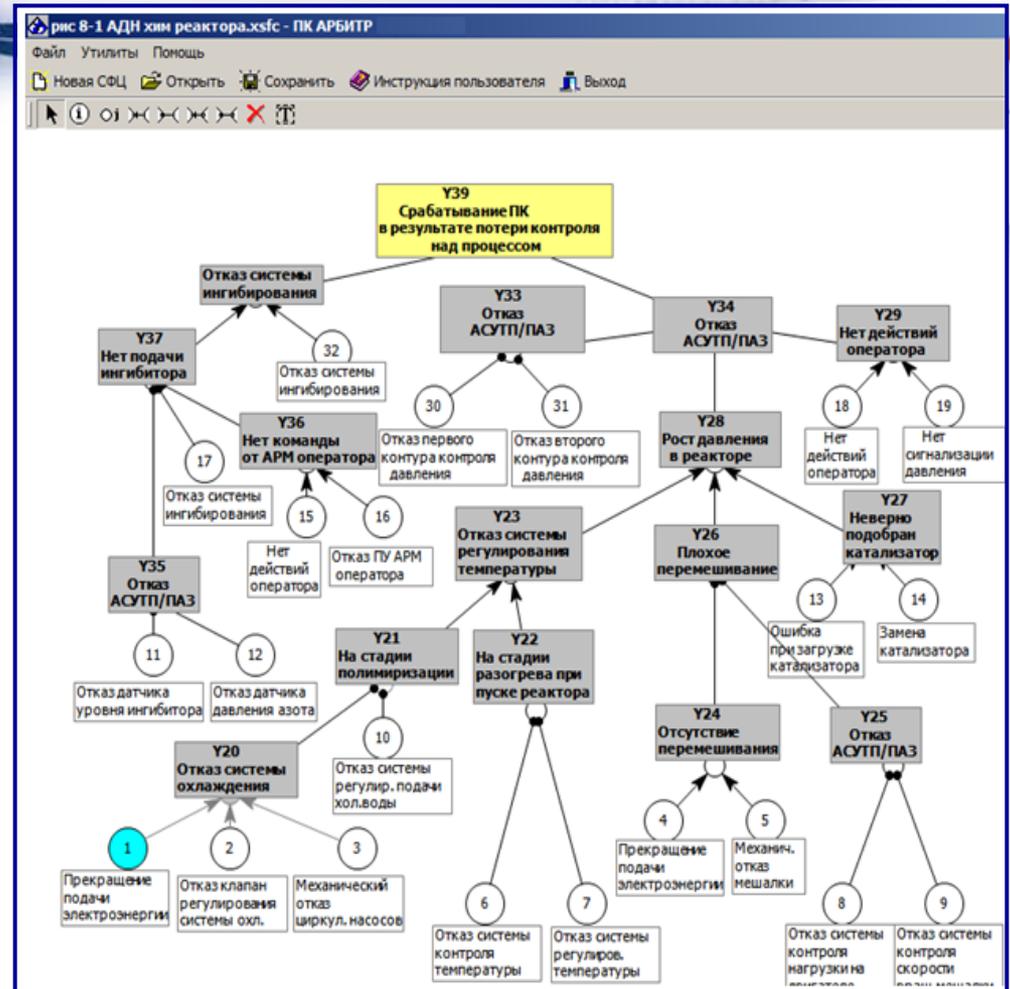
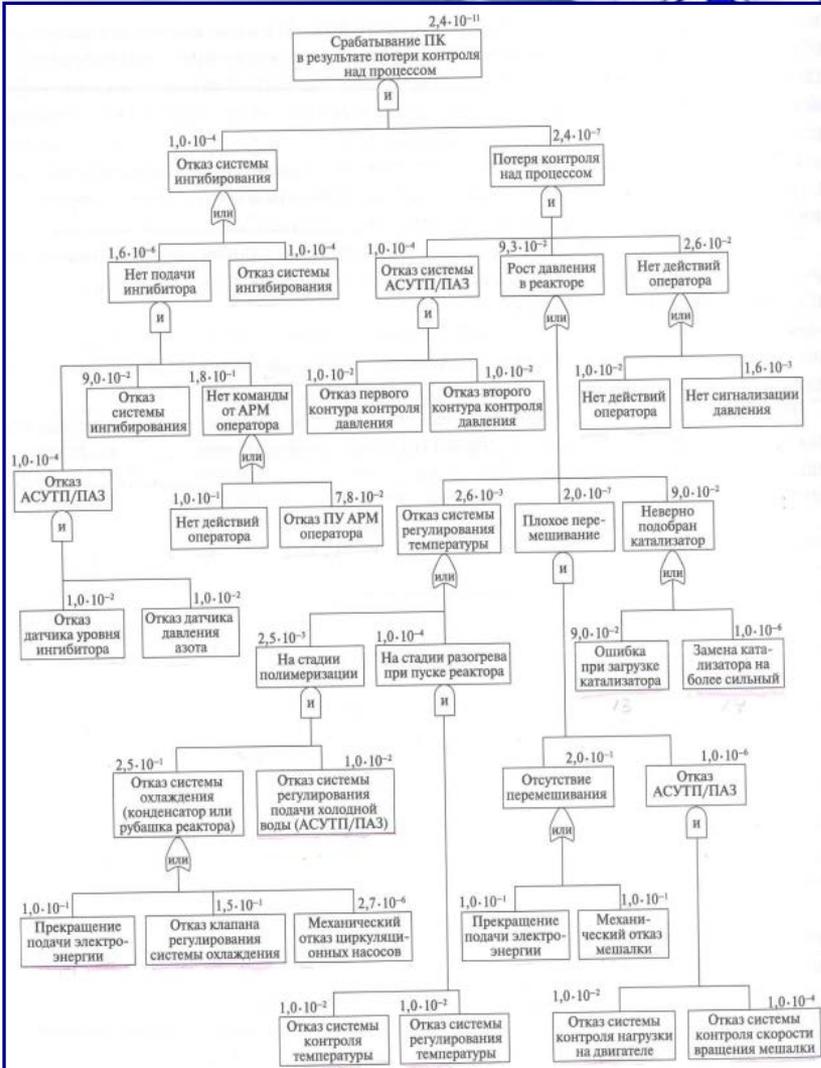
Срабатывание ПК в результате потери контроля над процессом



Руководство: пример дерева отказов для химических реакторов

ПК АРБИТР: СФЦ для моделирования отказов химических реакторов

СПИК СЗМА



пример дерева отказов для химических реакторов

СФЦ для моделирования отказов химических реакторов

СПИК СЗМА

ISO 9001:2008

