

*Специализированная инжиниринговая компания
«СЕВЗАПМОНТАЖАВТОМАТИКА»
Санкт-Петербург 2009*

Можаев Александр Сергеевич

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ, ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ И
НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ОБЩЕГО ЛОГИКО-
ВЕРОЯТНОСТНОГО МЕТОДА И ПРОГРАММНОГО
КОМПЛЕКСА «АРБИТР» МОДЕЛИРОВАНИЯ
НАДЕЖНОСТИ, ЖИВУЧЕСТИ, БЕЗОПАСНОСТИ И РИСКА
СИСТЕМ**

*Выступление на 17-ом научном семинаре НТЦ ПБ
«Анализ опасностей и оценка техногенного риска
в исследованиях российских ученых»
23 ноября 2009 г. Москва.*

Методы и программные средства моделирования жизнеспособны, если позволяют пользователю вырабатывать, принимать и реализовывать эффективные управленческие решения в науке, проектировании и эксплуатации систем.

1. ЛОГИКО-ВЕРОЯТНОСТНЫЕ МЕТОДЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

Логико-вероятностные методы (ЛВМ) предназначены для моделирования и расчета показателей различных свойств надежности (безотказности), живучести и безопасности функционирования **структурно сложных систем** различных видов, классов и назначения.

Исторически первой известной публикацией по ЛВМ является статья профессора Казанского Университета **ПОРЕЦКОГО Платона Сергеевича**: "Решение общей задачи теории вероятностей при помощи математической логики" (Труды Казанской секции физмат. наук, сер.1 **1887**, т.5 с.112) [2].

Логико-вероятностный метод **деревьев отказов** впервые был разработан американским ученым **Х.Уинстоном** в **1961-1962** г. для анализа надежности систем управления запуском ракеты "Минитмен» [3, с.53]. До настоящего времени методы, технологии и программные средства, основанные на деревьях отказов и деревьях событий, находят широкое применение во многих странах мира.

2. КЛАССИЧЕСКИЕ ЛВМ

Словосочетание «**логико-вероятностный метод**» используется, в основном, только в РФ. Впервые оно введено в статье "**Логико-вероятностный метод расчета надежности судовых электроэнергетических установок**", авторы: **Кондрашов В.А., Макаров С.В., Осипов В.А., Филатов А.В.** Сборник трудов Института математики СО АН СССР: "Вычислительные системы", вып.13. **1964 г** [[4, с.356](#)].

Создателем и руководителем **отечественной школы ЛВМ** является выдающийся ученый современности, академик РАЕН:

РЯБИНИН Игорь Алексеевич. [[4-6](#)]

В настоящее время широкое применение во всем мире нашли следующие основные **виды ЛВМ**:

- **ЛВМ на основе деревьев отказов** (монотонные). Реализуют обратный подход к постановке задач;
- **ЛВМ на основе деревьев событий**, используются для моделирования процессов развития аварий (немонотонные). Реализуют смешанный подход;
- **ЛВМ на основе блок-схем** без циклов и с циклами (монотонные). Реализуют прямой подход к постановке задач.

Все виды классических ЛВМ являются **монотонными** по построению.

3. АВТОМАТИЗАЦИЯ ЛВМ

В России с середины 80-х годов и до настоящего времени прошли аттестацию и применяются в атомной промышленности для выполнения работ по вероятностному анализу безопасности АЭС следующие программные комплексы [[14-19](#)]

1. " **RISK SPECTRUM**", Швеция; ([показать](#))
2. « **РИСК**" (RISK), РФ; ([показать](#))
3. " **CRISS 4.0**", РФ. ([показать](#))

Широко известны два американских комплекса:

4. " **SAPHIRE**", США. ([показать](#))
5. " **RELEX**", США. ([показать](#))

Первые четыре комплекса реализуют только технологию **деревьев отказов/событий** и выполняют **приближенные** вычисления вероятностных показателей. В комплексе **RELEX** реализованы несколько методов математического моделирования (ЛВМ деревьев отказов, ЛВМ блок-схем, Марковские методы моделирования и др.) и выполняются **точные вычисления** вероятностных характеристик системы [[32](#), НИР «Технология 2004»].

4. ОБЩИЙ ЛОГИКО-ВЕРОЯТНОСТНЫЙ МЕТОД (ОЛВМ)

ОБЩИЙ ЛОГИКО-ВЕРОЯТНОСТНЫЙ МЕТОД (ОЛВМ) создан в середине 80-х годов в Военно-Морской академии [7-9] и является дальнейшим развитием классических монотонных логико-вероятностных методов в следующих направлениях:

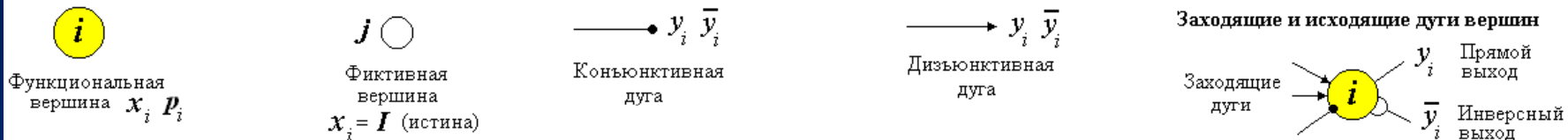
1. Разработки (1982 г.) нового логически универсального графического аппарата представления структур исследуемых свойств систем – **схемы функциональной целостности (СФЦ)** [7-9].

2. Реализации всех возможностей основного аппарата моделирования – **алгебры логики** в функционально полном базисе операций «И», «ИЛИ» и «НЕ» (общий класс всех видов монотонных и немонотонных моделей). Это потребовало разработки новых методов и средств реализации всех этапов моделирования и расчетов:

- **универсального графоаналитического метода (УГМ)** построения монотонных и немонотонных логических функций [10, 11];
- **комбинированного метода** построения многочленов расчетных вероятностны функций (ВФ) [8, 9, 11];
- теории и технологии **автоматизированного структурно-логического моделирования (АСМ)** [12, 13]

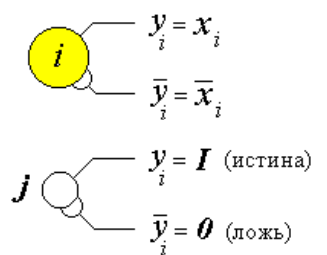
Аппарат схем функциональной целостности ОЛВМ

Основные изобразительные средства СФЦ

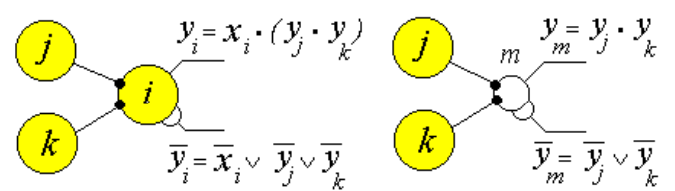


Простейшие фрагменты СФЦ

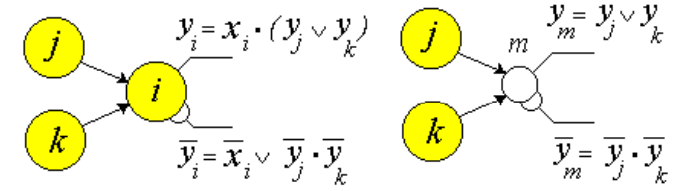
Головные вершины



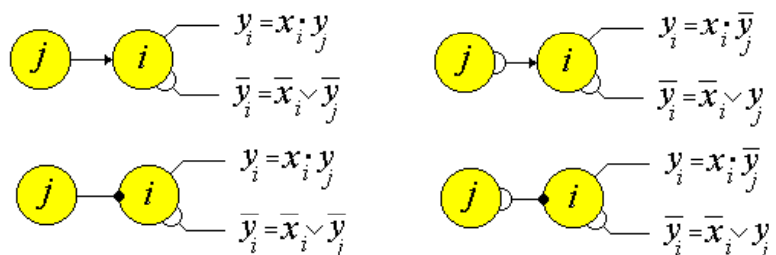
Конъюнктивные параллельные соединения



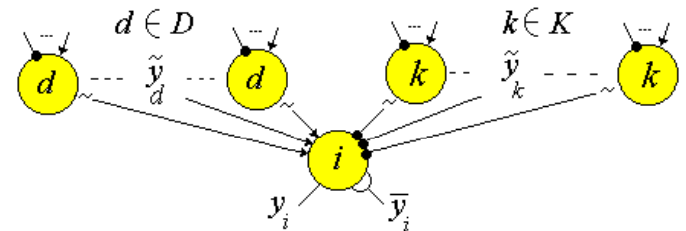
Дизъюнктивные параллельные соединения



Последовательные соединения



Обобщенный фрагмент СФЦ



Для случая, когда i — функциональная вершина
 $y_i = x_i \cdot (\bigvee_{d \in D} \tilde{y}_d) \cdot (\bigwedge_{k \in K} \tilde{y}_k)$ $\bar{y}_i = \bar{x}_i \vee (\bigwedge_{d \in D} \tilde{y}_d) \vee (\bigvee_{k \in K} \tilde{y}_k)$
 Для случая, когда i — фиктивная вершина
 $y_i = (\bigvee_{d \in D} \tilde{y}_d) \cdot (\bigwedge_{k \in K} \tilde{y}_k)$ $\bar{y}_i = (\bigwedge_{d \in D} \tilde{y}_d) \vee (\bigvee_{k \in K} \tilde{y}_k)$

5. АВТОМАТИЗАЦИЯ ОЛВМ

В целях обеспечения возможности широкого **практического применения ОЛВМ** одновременно с разработкой теоретических положений выполнялась (с **1983** г.) его **комплексная автоматизация**. Сейчас наиболее широкое применение нашли два комплекса, основанные на ОЛВМ и технологии АСМ:

1. АРБИТР (ПК АСМ СЗМА), базовая версия 1.0; [20-23]

Комплекс АРБИТР разработан в ОАО «СПИК СЗМА» (Санкт Петербург, <http://www.szma.com>) и является первым промышленным образцом программного средства, реализующим ОЛВМ, графический аппарат СФЦ и технологию АСМ. АРБИТР **аттестован 21 февраля 2007 г.** на срок **10 лет** Советом по аттестации программных средств НТЦ ЯРБ Ростехнадзора РФ, аттестационный паспорт № 222, разрешен к применению на всех объектах Ростехнадзора РФ. [21]

2. ПК АСМ 2001.[24, 25].

Комплекс ПК АСМ 2001 является исследовательским базовым образцом, используется в ряде учебных, научных и промышленных организаций РФ.

Интерфейс пользователя программного комплекса АРБИТР (ПК АСМ СЗМА)

Пример_9_3.sfc - ПК АРБИТР версия 1.1

Файл Утилиты Помощь

Новая СФЦ Открыть Сохранить Справка Выход

Ввод ЛКФ: y123

Моделирование и расчет Расчет

Внимание! Этот пример решается быстро! (<= 1 сек)

Параметры моделирования

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

Размер ФРС и ВФ 5000

Вероятностно-время

- Учет времени работ
- Учет времени восст

Наработка системы 87

Критерий

i	Toi
1	33.6
2	33.6
5	20.6
6	20.6
7	20.6
8	20.6
9	222
11	107.25
13	75
15	75
17	107.25
19	107.25
21	75
23	75
25	107.25

Число элементов в схеме =

Декомпозированная СФЦ условий реализации функции АСУТП F-15
противоаварийной защиты от повышения уровня в резервуарах II категории взрывоопасности

Результат | Диаграммы | Отчет

ФРС 8/8

ВФ 15

$P_s(8760.00) = 0.899973466889$ - вероятность безотказной работы/отказа

$T_{ос} = 43495$ час (4.965 год) - средняя наработка до отказа

Общее время моделирования 0:00:00

Интерфейс пользователя ПК АСМ 2001

Вероятностный анализ безопасности участка железной дороги

3 $P_3=0.9$ безотказность индикатора излома рельса

1 $P_1=0.1$ излом рельса

2 $P_2=0.1$ возникновение предмета на рельсах

4 $P_4=0.999$ машинист увидел опасность и включил тормозную систему

5 $P_5=0.999$ безотказность тормозной системы

6 Авария

7 Безопасность

8 Авария

9 Безопасность

10 излом

11 предмет

12 светофор

13 Авария

14 Безопасность

15 машинист

16 тормоза

17 предмет

18 предмет

19 предмет

20 предмет

30 светофор

40 машинист

50 тормоза

60 предмет

ПК АСМ 2001 <> Можаяев А.С., Гладкова И.А. Окно автоматизированного моделирования и расчетов

Диаграмма положительных вкладов элементов

Число конъюнкций ФРС: 3

Число одиночных ВФ: 3

$P_c=0.990638181$ - вер. реализ. критерия

Режимы моделирования

Аналитический ОЛВМ

Статистический ОЛВМ

Детерминированный ОЛВМ

Сетевой ОЛВМ

Статистический ОЛВМ

Размер блока: 100

Число блоков: 10000

Пуск СР

Пораженные элементы: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20

Расчеты P_c по методике Risk Spectrum: 0.844324665846838

X: 454 Y: 2 Рабочая папка : D:\Мои документы\А_РГАНИЗАЦИИ\ИТЦ Промбезопасность

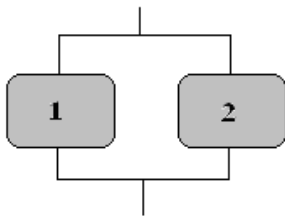
6. Технология автоматизированного структурно-логического моделирования (АСМ)

- 1. Формализованная постановка задачи** автоматизированного структурно-логического моделирования и расчета показателей надежности, стойкости, живучести, устойчивости, технического риска или эффективности системы:
 - выбор подхода к моделированию: прямой, обратный или смешанный;
 - разработка схемы функциональной целостности исследуемых свойств;
 - определение вероятностных и других параметров элементов;
 - задание логических критериев условий реализации исследуемых свойств.
- 2. Применение программного комплекса АСМ (АРБИТР, ПК АСМ 2001 и др.):**
 - ввод подготовленных исходных данных (СФЦ, параметров элементов, логических критериев),
 - автоматическое построение логических и вероятностных моделей, расчет показателей и вывод полученных результатов на экран и в отчет.
- 3. Использование полученных результатов** автоматизированного структурно-логического моделирования для выработки и обоснования исследовательских, проектных, эксплуатационных и др. управленческих решений по обеспечению надежности, живучести и безопасности исследуемых системных объектов и процессов.

Формализованная постановка задачи

Функциональная схема системы

Элемент 1
надежность:
 $p1 = 0.85$
стойкость:
 $p3 = 0.7$

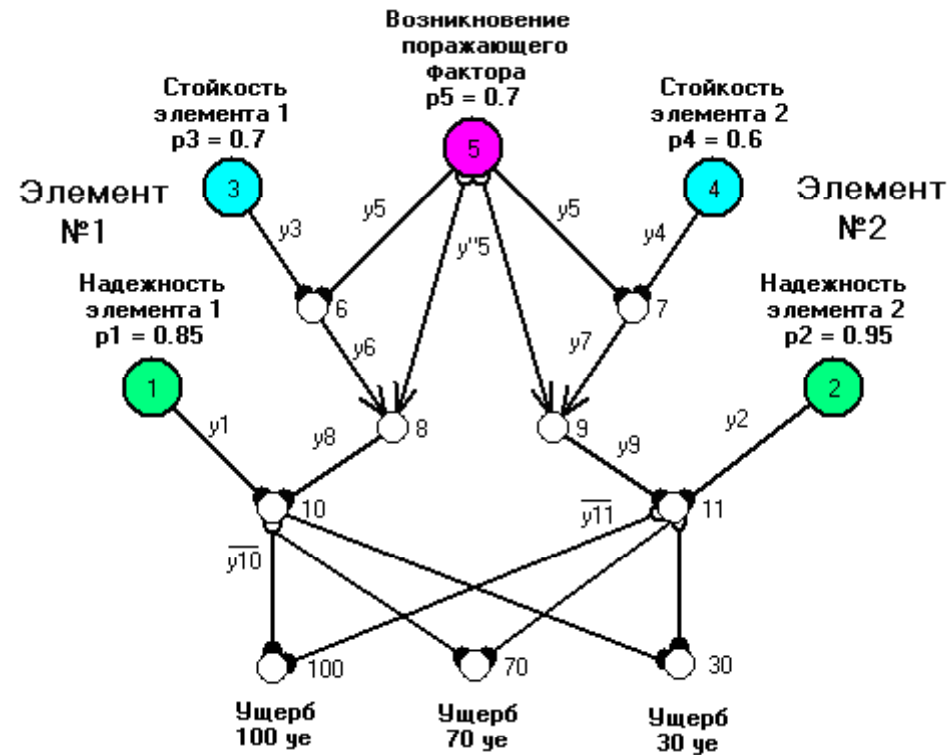


Элемент 2
надежность:
 $p2 = 0.95$
стойкость:
 $p4 = 0.6$

Выделение элементарных событий

- 1** - безотказность эл. № 1, $p1 = 0.85$
- 2** - безотказность эл. № 2, $p1 = 0.95$
- 3** - стойкость эл. № 1, $p3 = 0.7$
- 4** - стойкость эл. № 2, $p4 = 0.6$
- 5** - возникновение ПФ, $p5 = 0.7$

Надежность: $y1 \vee y2$; $P_H = 0.9925$;
 Стойкость: $y3 \vee y4$; $P_C = 0.88$;
 Живучесть: $y8 \vee y9$; $P_{ЖС} = 0.916$;
 Устойчивость: $y10 \vee y11$; $P_U = 0.875845$;



Технический риск:

$y100$ (ущерб 100 уе); $y70$ (ущерб 70 уе); $y30$ (ущерб 30 уе);
 $P_{Trp}(100 \text{ уе}) = 0.124155$; $P_{Trp}(70 \text{ уе}) = 0.204345$; $P_{Trp}(30 \text{ уе}) = 0.191845$.

Ожидаемый ущерб:

$R = p(y100) \cdot 100 \text{ уе} + p(y70) \cdot 70 \text{ уе} + p(y30) \cdot 30 \text{ уе} = 32,475 \text{ уе}$.

Реальная эффективность:

$W = p(y10 \cdot y11) \cdot 100 \% + p(y10 \cdot \overline{y11}) \cdot 70 \% + p(\overline{y10} \cdot y11) \cdot 30 \% = 67.525 \%$.

Применение комплекса АРБИТР

стойкость.sfc - ПК АСМ СЗМА АРБИТР базовая версия 1.0

Файл Утилиты Помощь

Новая СФЦ Открыть Сохранить Справка Выход

Ввод ЛКФ: $y_{10}y_{11}+y_{10}y_{11}+y_{10}y_{11}$ Моделирование и расчет Расчет

Стойкость элемента 1 $p_3 = 0.7$

Возможное ПФ $p_5 = 0.7$

Стойкость элемента 2 $p_4 = 0.6$

Элемент № 1

Надежность элемента 1 $p_1 = 0.85$

Элемент № 2

Надежность элемента 2 $p_2 = 0.95$

Ущерб 100 уе

Ущерб 70 уе

Ущерб 30 уе

Параметры моделирования и расчетов

- Признак полных вычислений
- Вывод явной ФРС Вывод имен
- Вывод явной ВФ
- Расчет полной ФРС

Размер ФРС и ВФ: 5000

Статический расчет

Число элементов в схеме = 5 Число вершин в схеме = 11

i	Pi
1	0.85
2	0.95
3	0.7
4	0.6
5	0.7

Результат Диаграммы Отчет

ФРС 7

ВФ 5

Общее время моделирования: 0:00:00

$P = 0.875845$ - вероятность реализации критерия

$W = 65.525$ - реальная эффективность

Реальная эффективность: $W = p(y_{10} \cdot y_{11}) \cdot 100\% + p(y_{10} \cdot \overline{y_{11}}) \cdot 70\% + p(\overline{y_{10}} \cdot y_{11}) \cdot 30\%$

Увеличение W

Уменьшение W

X = 542 Y = 22 Режим выбора D:\ПРЕЗЕНТАЦИЯ НТЦ_ПБ 23 октября 2007\ПК АСМ СЗМА\Проекты\Презентация НТЦ_ПБ 23_10_07\НСЖУТрОуЭ\ст...

7. ВЕРИФИКАЦИЯ ОЛВМ, ТЕХНОЛОГИИ И ПК АСМ

В 2004-2005 г. по нашей инициативе тремя организациями: ВГУП "СПБАЭП", ИПУ РАН и ОАО "СПИК СЗМА" была выполнена научно-исследовательская работа «**Технология 2004**» (282 стр.) [32] по сравнительному анализу точности решения задач комплексами «**Risk Spectrum**» (Швеция), «**RELEX**» (США), ПК АСМ СЗМА /АРБИТР / и ПК АСМ 2001, (РФ). **Все решения АРБИТР и ПК АСМ 2001 оказались правильными.** Поэтому все три организации пришли к единому заключению:

"Считаем целесообразным, объединить усилия организаций-исполнителей данной работы и приступить к разработке на базе ОЛВМ, технологии и ПК АСМ СЗМА отечественных специализированных программных комплексов автоматизированного структурно-логического статического и динамического моделирования, расчета показателей и оптимизации надежности, безопасности и риска функционирования сложных систем для различных отраслей промышленности".

8. АТТЕСТАЦИЯ КОМПЛЕКСА «АРБИТР»

В период **2005-2007** годов программный комплекс **АРБИТР** проходил процедуру **официальной аттестации в Совете по аттестации программных средств НТЦ ЯРБ РОСТЕХНАДЗОРа РФ**. В Отчете о верификации, (**1031 стр.**), **пяти экспертам** были представлены решения **10 расчетно-аналитических тестов (184 задачи)** и **5 выданных нам контрольных примеров (20 задач)**. У всех экспертов не было ни одного замечания по **правильности** решения комплексом **АРБИТР** всех **204 тестовых и контрольных задач**.

По результатам экспертизы, на программное средство АРБИТР (ПК АСМ СЗМА), базовая версия 1.0, **21 февраля 2007 г. выдан Аттестационный паспорт № 222**. Комплекс аттестован на срок 10 лет и разрешен к применению на предприятиях РОСТЕХНАДЗОРа РФ.

Таким образом, комплекс АРБИТР является первым из четырех программных средств, аттестованных Ростехнадзором РФ, который реализует **новую отечественную информационную технологию автоматизированного структурно-логического моделирования систем**.

Функциональные возможности комплекса АРБИТР

К процедуре аттестации были заявлены

46 функциональных возможностей комплекса АРБИТР

В сравнении с ранее аттестованными комплексами: Risk Spectrum (Швеция), RISK, CRISS 4.0 (РФ), АРБИТР реализует следующие новые функциональные возможности:

1. Позволяет применять все ранее используемые технологии структурного анализа на основе деревьев отказов, деревьев событий, блок-схем и графов связности с циклами;
2. Впервые позволяет строить принципиально новый класс немонотонных моделей надежности, стойкости, живучести, безопасности, технического риска, ожидаемого ущерба и эффективности функционирования сложных систем;
3. Выполнять точные расчеты показателей, на основе автоматически формируемых правильных многочленов вероятностных функций;
4. Вычислять показатели значимости и вкладов элементов, которые позволяют пользователю вырабатывать и обосновывать оптимальные по эффективности и затратам решения на мероприятия по обеспечению требуемых уровней надежности и безопасности исследуемых системных объектов.

9.1. ОРГАНИЗАЦИИ ПРИМЕНЯЮЩИЕ АРБИТР

1. ОАО "СПИК СЗМА", Специализированная инжиниринговая компания "Севзапмонтажавтоматика"

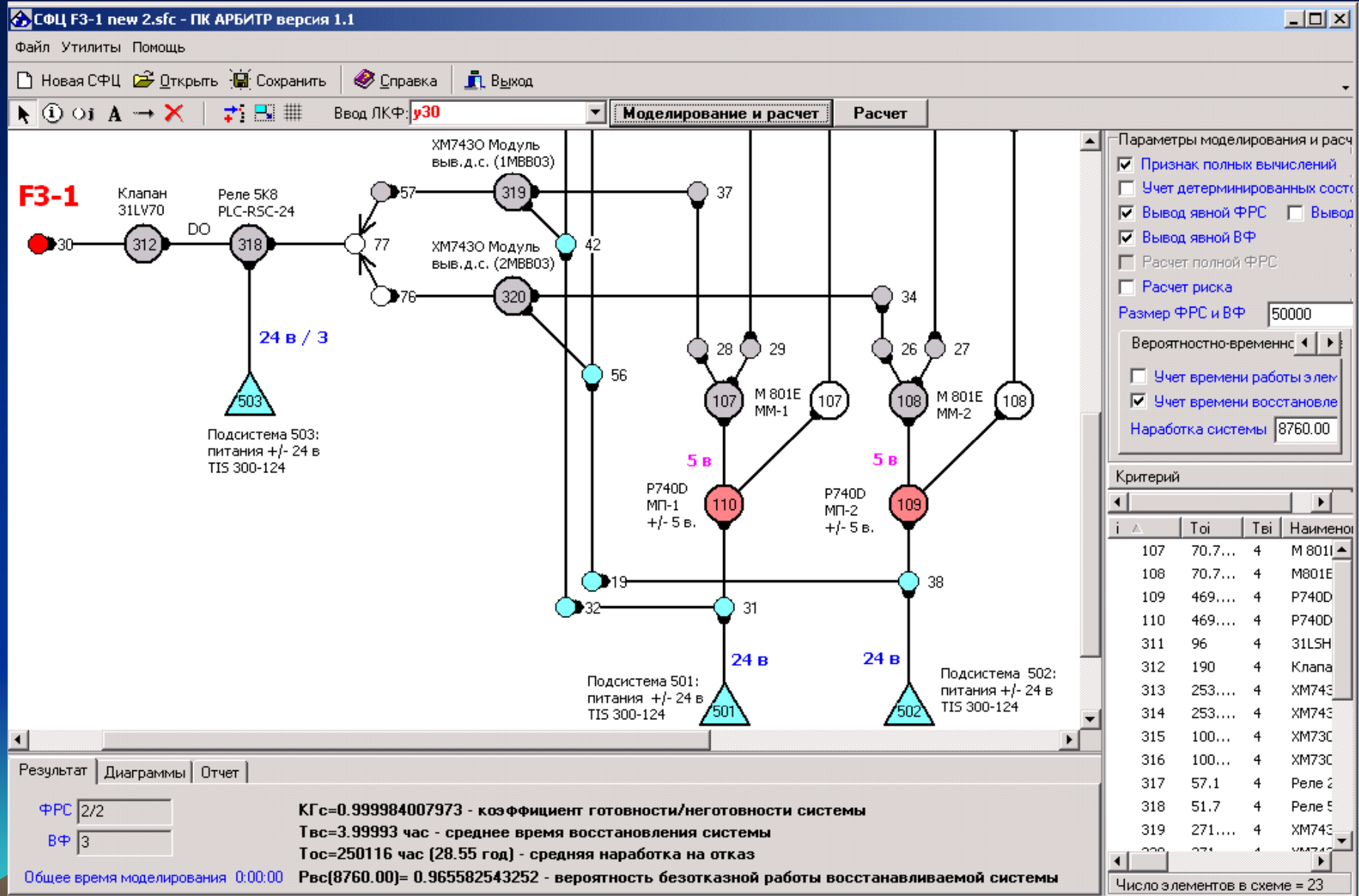
Санкт-Петербург, разработчик ПК АРБИТР

(<http://www.szma.com/pkasm.shtml>)

([проектные расчеты надежности](#))

С помощью ПК АРБИТР выполнены **проектные расчеты надежности АСУТП опасных производственных объектов**: ООО "Киришинефтеоргсинтез", 10 проектов; ООО НПО "МИР", 1 проект; ООО "Мозырский НПЗ", Республика Беларусь, 4 проекта; ОАО "Казаньнефтеоргсинтез", Республика Татарстан, 2 проекта; ООО "Нарьянмарнефтегаз", 2 проекта; ОАО "ТКГ-4", 1 проект.

Проектный расчет надежности АСУТП (СПИК СЗМА)

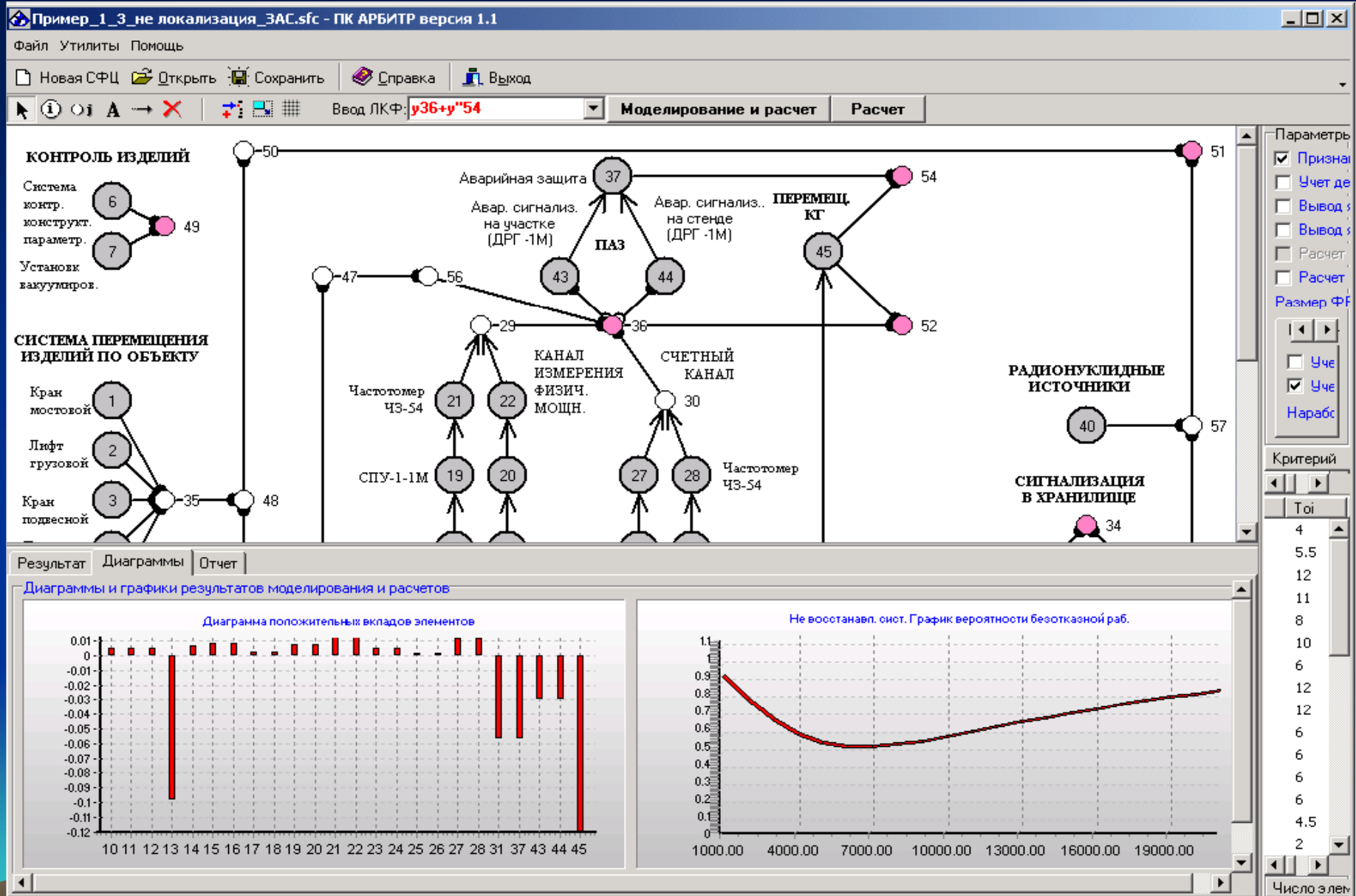


9.2. ОРГАНИЗАЦИИ ПРИМЕНЯЮЩИЕ АРБИТР

2. Межотраслевой экспертно-сертификационный,
научно-технический и контрольный центр
ядерной и радиационной безопасности
(РЭСцентр),
Санкт-Петербург.
(<http://rec-center.interpoisk.com/>).

С использованием комплекса АРБИТР выполнено 13 проектов по расчету показателей **надежности**, **остаточного ресурса** и **рисков** объектов использования атомной энергии ФГУП "ПО Северное машиностроительное предприятие", г. Северодвинск.

Модель запроектной аварии СФИ (РЭСцентр)



9.3. ОРГАНИЗАЦИИ ПРИМЕНЯЮЩИЕ АРБИТР

3. ЗАО " Компания СЗМА "

Санкт-Петербург

(<http://www.szma.org>)

Выполнен расчет **надежности** Автоматизированной информационно-измерительной системы коммерческого учета электрической энергии (АИС КУЭ) ФГУП "Петербургский метрополитен".

Расчет надежности АИС КУЭ (Компания «СЗМА»)

Работающая система с GPS.sfc - ПК АРБИТР версия 1.1

Файл Утилиты Помощь

Новая СФЦ Открыть Сохранить Справка Выход

Ввод ЛКФ: **y24** Моделирование и расчет Расчет

Линия метрополитена №3

Линия метрополитена №4

Параметры моделирования:

- Признак полных вычисл
- Учет детерминированн
- Вывод явной ФРС
- Вывод явной ВФ
- Расчет полной ФРС
- Расчет риска

Размер ФРС и ВФ 5000

Вероятностно-вг

- Учет времени рабо
- Учет времени восс

Наработка системы 7

Критерий

y24

i	Toi	Наименс
1	0	
2	0	
3	0	
4	15	Конве
5	15	Конве
6	20	ВОЛС
7	0	
8	20	Ethern
9	5	Switch
10	11.41	RTU-3

Число элементов в схеме

Результат Диаграммы Отчет

ФРС 256/256

ВФ 256

Общее время моделирования 0:00:00

КГс=0.999895109082 - коэффициент готовности/неготовности системы

Твс=1.00004 час - среднее время восстановления системы

Тос=9533 час (1.088 год) - средняя наработка на отказ

Рвс(730.00)= 0.926283202603 - вероятность безотказной работы восстанавливаемой системы

X = 307 Y = 694

D:\Проект ASLS 20_01_09\Exe\Проекты\СФЦ ОРГАНИЗАЦИЙ имеющих АРБИТР\Компания СЗМА\Рабс

9.4. ОРГАНИЗАЦИИ ПРИМЕНЯЮЩИЕ АРБИТР

4. ОАО "Гипровостокнефть "

Г. Самара

(<http://www.gipvn.ru/about/index.php>)

С использованием комплекса АРБИТР выполняются работы по расчету **надежности** систем объектов нефтехимической промышленности Сибири и Дальнего Востока.

9.5. ОРГАНИЗАЦИИ ПРИМЕНЯЮЩИЕ АРБИТР

5. "Российский государственный технологический университет им. К.Э. Циолковского"

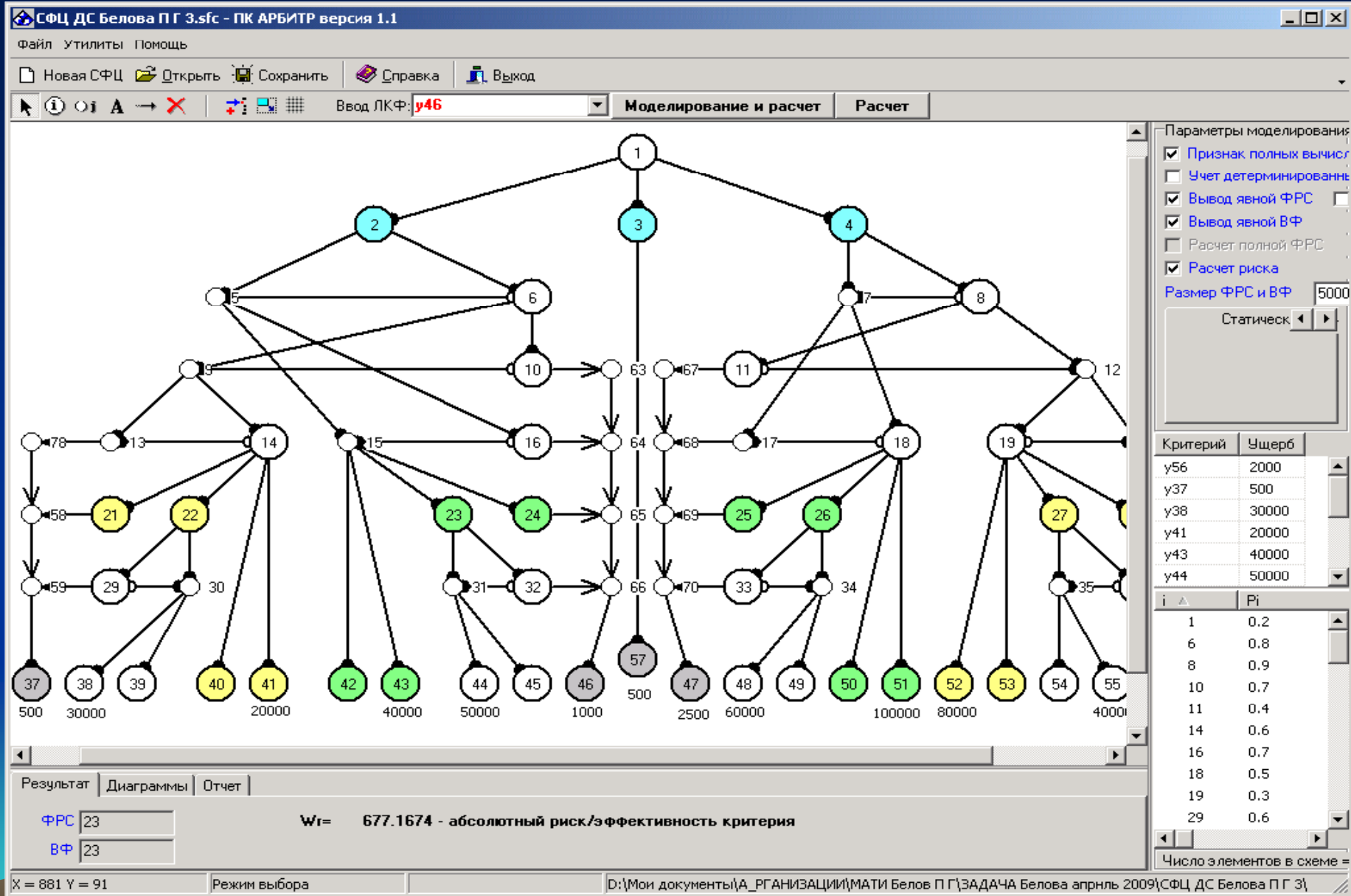
(МАТИ)

Москва

(<http://www.mati.ru/official/off.htm>).

Программный комплекс АРБИТР используется в учебном процессе университета и научных исследованиях.

Модель ущерба сценария ЧС с разливом АХОВ (МАТИ)



9.6. ОРГАНИЗАЦИИ ПРИМЕНЯЮЩИЕ АРБИТР

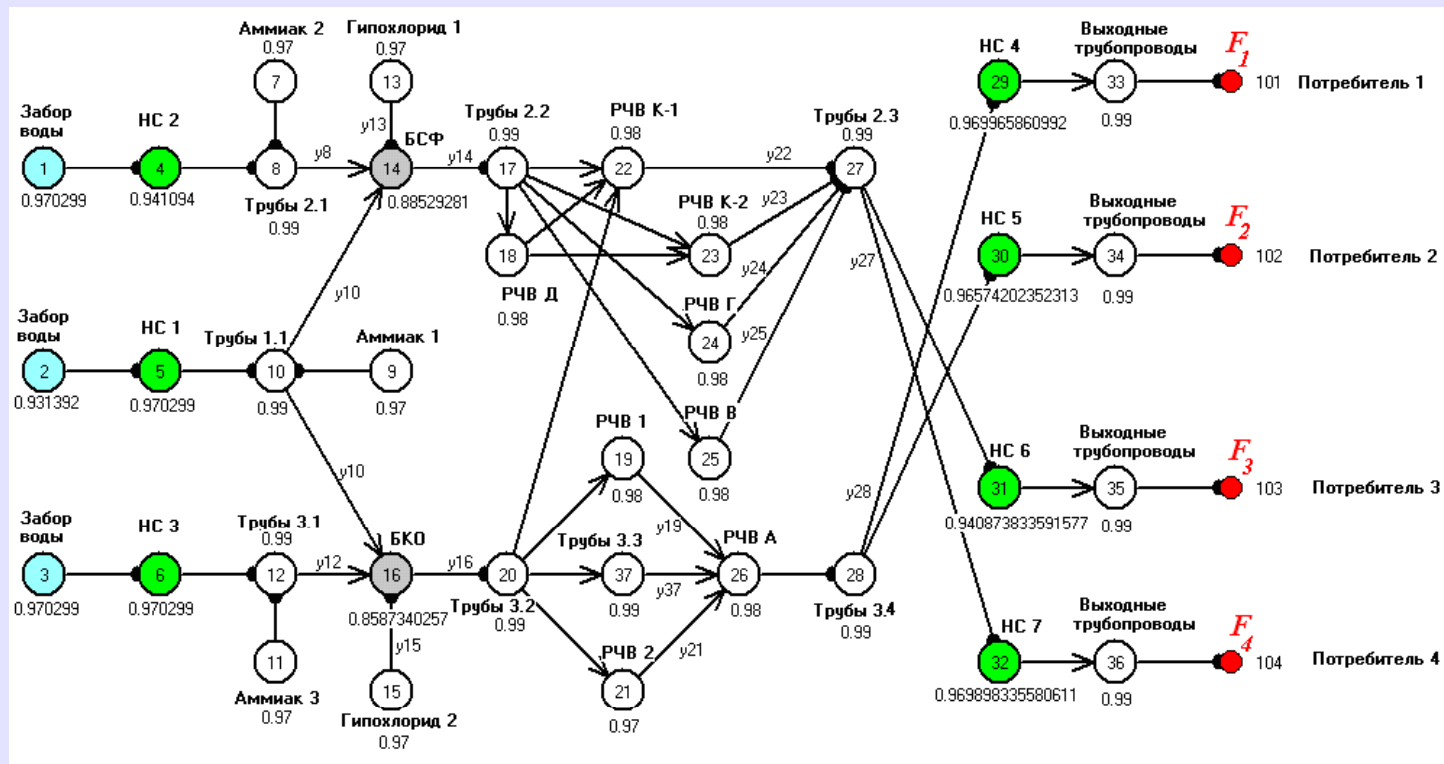
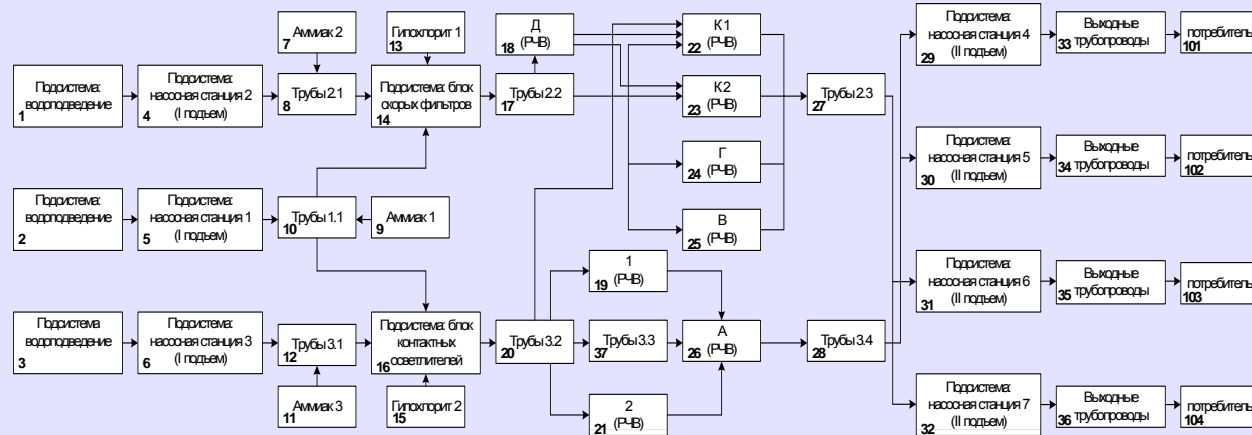
6. ЗАО "ТЕЛРОС"

Санкт-Петербург

(<http://www.telros.ru/>)

Комплекс АРБИТР используется для **аудита безопасности** объектов жизнеобеспечения, при проведении оперативных расчетов в составе **Автоматизированной системы управления безопасным водоснабжением и водоотведением ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга»**. Это позволяет повысить обоснованность принимаемых решений оперативно-диспетчерским персоналом.

Функциональная сх. и СФЦ главной водопроводной станции



Расчет ожидаемого ущерба аварии ГВС

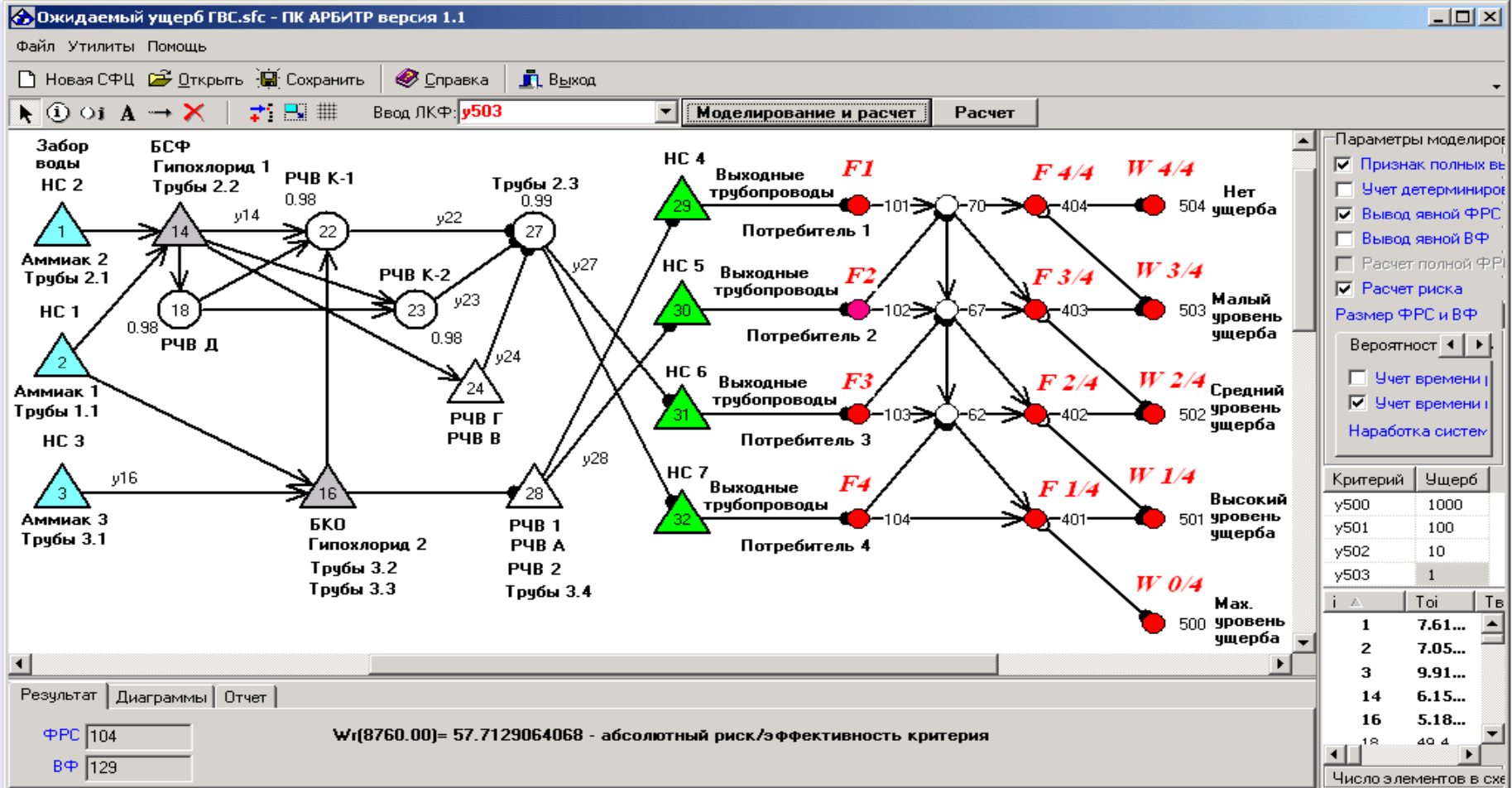
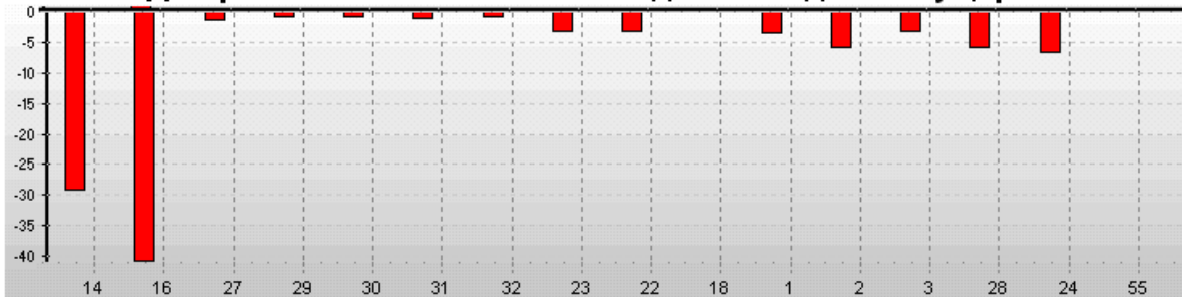


Диаграмма положительных вкладов в ожидаемый ущерб



9.7. ОРГАНИЗАЦИИ ПРИМЕНЯЮЩИЕ АРБИТР

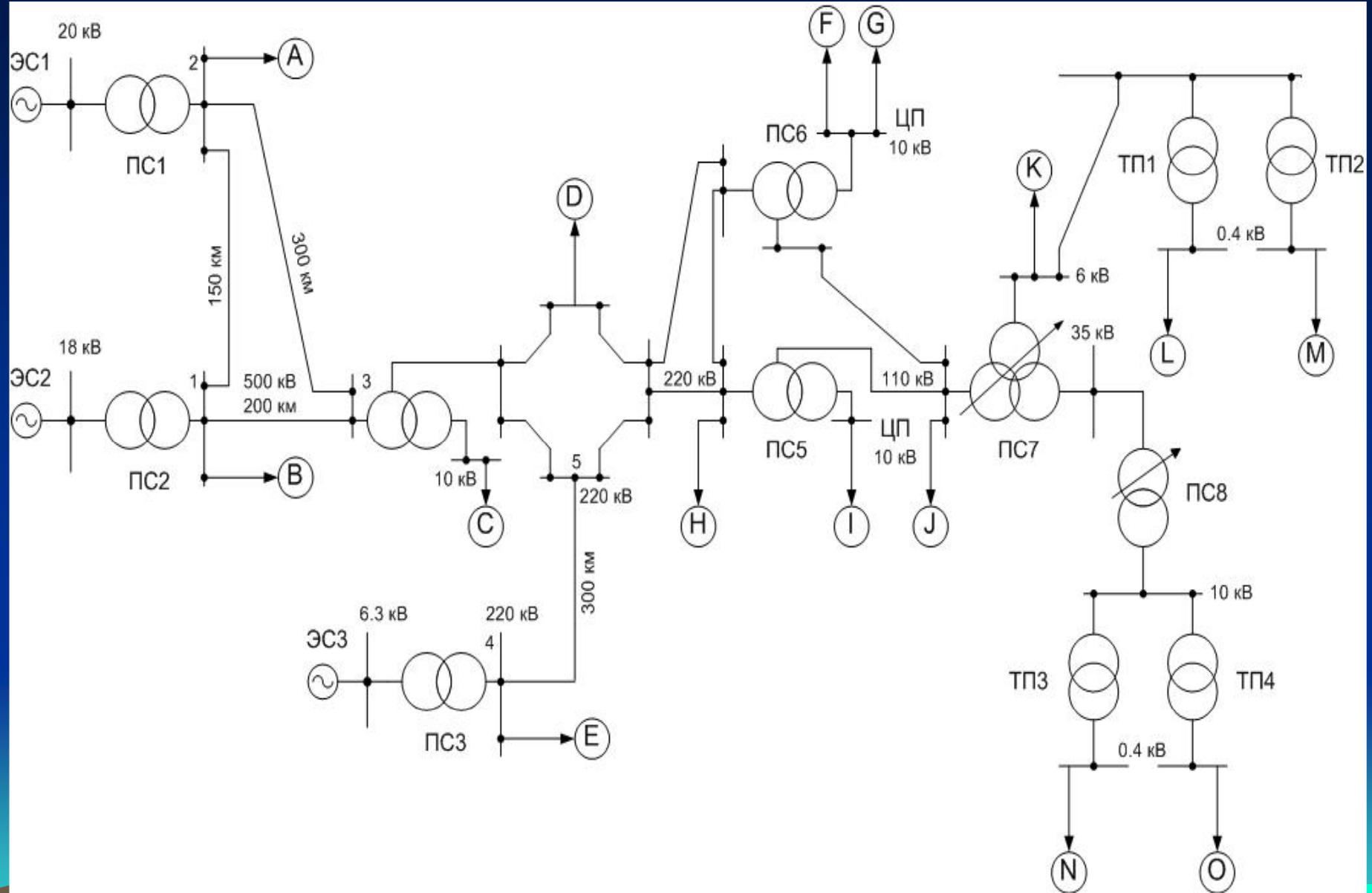
7. Всероссийский дважды ордена Трудового Красного Знамени технологический научно- исследовательский институт (ОАО "ВТИ")

Москва

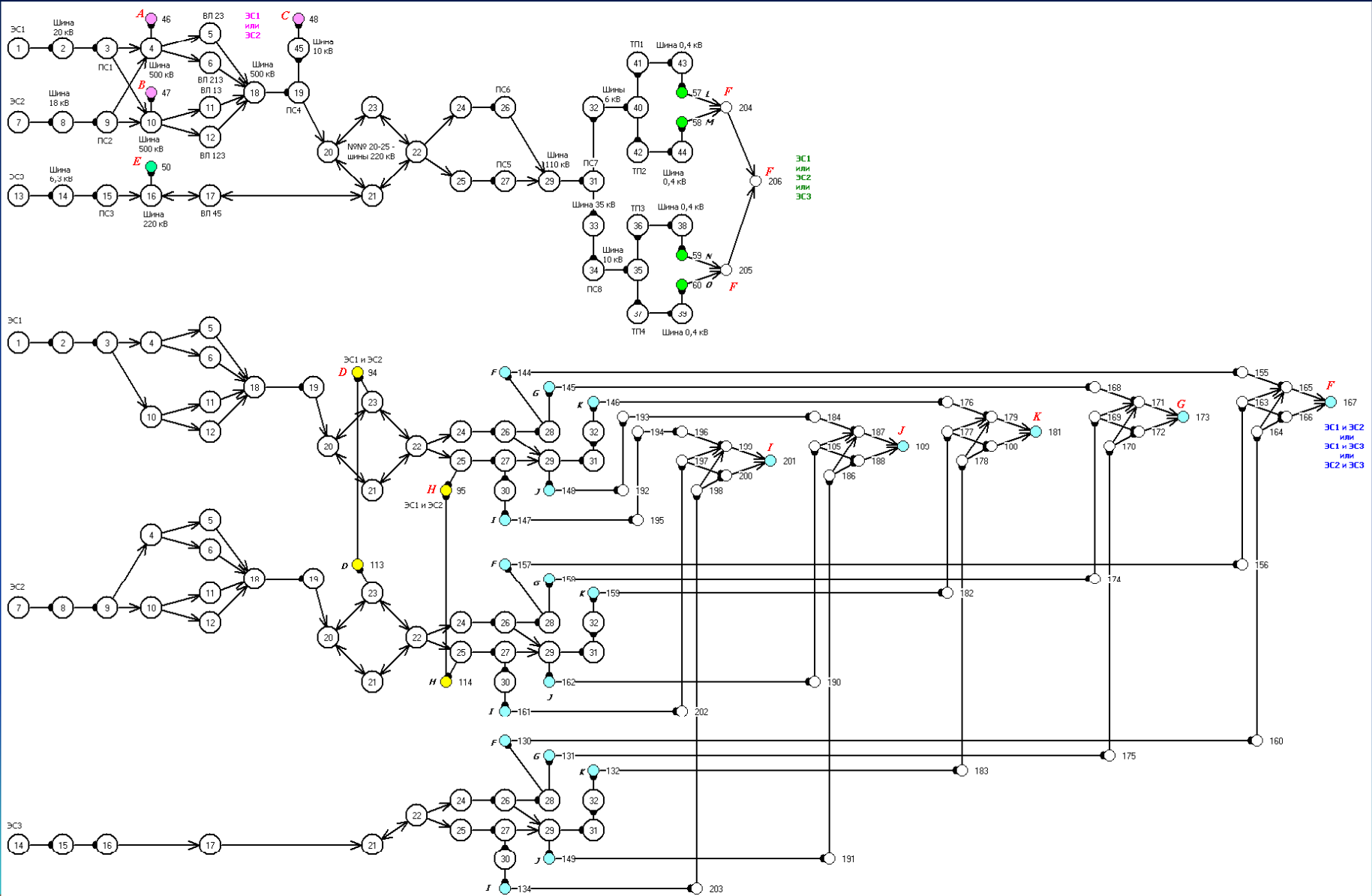
(<http://www.vti.ru/contact/>)

Комплекс АРБИТР используется при выполнении научно-исследовательских, опытно-конструкторских и заказных работ по профилю деятельности организации.

Функциональная схема электрической сети (ВТИ)



Общая СФЦ электрической сети (ВТИ)



Расчет ожидаемого ущерба от отказов электрической сети (ВТИ)

Электрические сети 10 Можжев.сfc - ПК АРБИТР версия 1.1

Файл Утилиты Помощь

Новая СФЦ Открыть Сохранить Справка Выход

Ввод ЛКФ: y"47y"50y"46 Моделирование и расчет Расчет

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 150000

Вероятностно-временной расчет

- Учет времени работы элементов
- Учет времени восстановления

Наработка системы 8760.00

Критерий	Ущерб
y"50y46y47	438000
y"46y50y47	876000
y"47y50y46	876000
y"47y"50y46	1314000
y"47y50y46	1314000

Результат Диаграммы Отчет

ФРС 176

ВФ 296

Общее время моделирования 0:00:01

$Wr(8760.00) = 5663.39502404$ - абсолютный риск/эффективность критерия

i	Toi	Tvi	Наименование
1	0.8	200	ЭС1
2	100	2	Шина 20 кВ
3	8.3	2600	ПС1

Число элементов в схеме = 45 Число

X = 387 Y = 383 Режим выбора D:\Мои документы\А_РГАНИЗАЦИИ\НТЦ Промбезопасность Гражданкин А.И.\ДОКЛАД М

9.8. ОРГАНИЗАЦИИ ПРИМЕНЯЮЩИЕ АРБИТР

**8. Научно-исследовательский институт
Многопроцессорных вычислительных систем
Имени академика А.В. Каляева Южного
федерального университета
г. Таганрог
(<http://www.mvs.tsure.ru/>).**

Комплекс АРБИТР используется при выполнении научно-исследовательских, опытно–конструкторских и заказных работ.

9.9. ОРГАНИЗАЦИИ ПРИМЕНЯЮЩИЕ АРБИТР

9. ГОУ ВПО "Саратовский государственный технический университет"

(<http://sstu.ru/>)

Комплекс АРБИТР используется в учебном процессе и научных исследованиях университета.

9.10. ОРГАНИЗАЦИИ ПРИМЕНЯЮЩИЕ АРБИТР

10. ООО "Научно-технический центр "Технологии и безопасности"

(НТЦ ТБ)

Санкт-Петербург

(<http://www.ntc-tb.ru/>).

В период 2007-2009 г. разработаны расчетно-пояснительные записки к планам локализации и ликвидации аварийных ситуаций (**РПЗ ПЛАС**) на действующие объекты ООО "ПО "Киришинефтеоргсинтез" (**35 объектов**). В настоящее время разрабатываются РПЗ к ПЛАС на завод глубокой переработки нефти (**24 объекта**).

Результаты применения ПК АРБИТР в НТЦ ТБ

С помощью АРБИТР в разработанных РПЗ были определены:

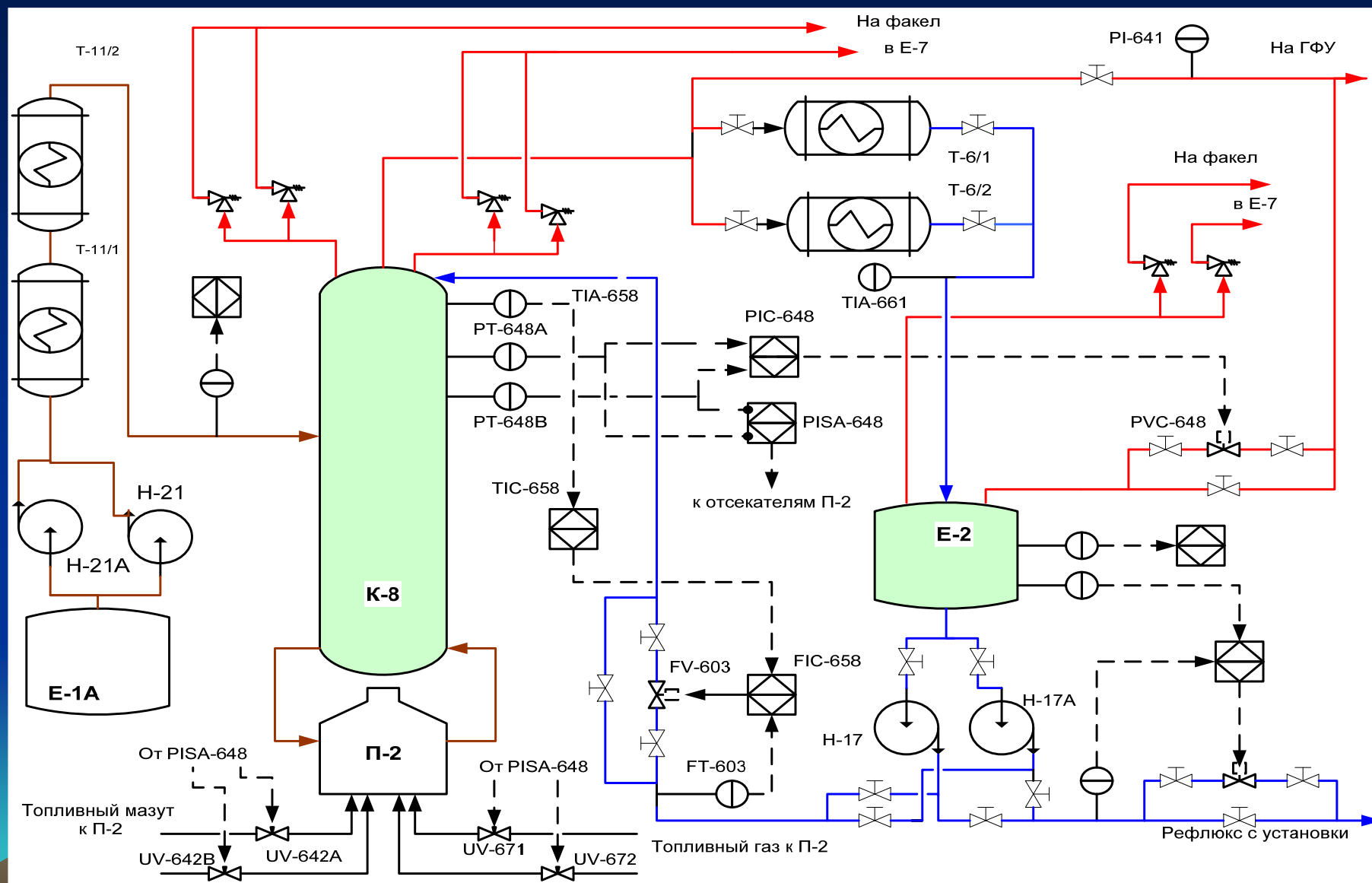
- *стадии развития аварийных ситуаций и вероятности переходов аварийных ситуаций с одной стадии на другую;*
- *значимости и вклады элементов в безопасность объектов, на основе которых разрабатывались и обосновывались наиболее эффективные меры по снижению риска;*

В 2009 году при разработке деклараций пожарной безопасности проектируемых объектов нового нефтеперерабатывающего завода с использованием АРБИТР выполнены расчеты по определению количественных значений

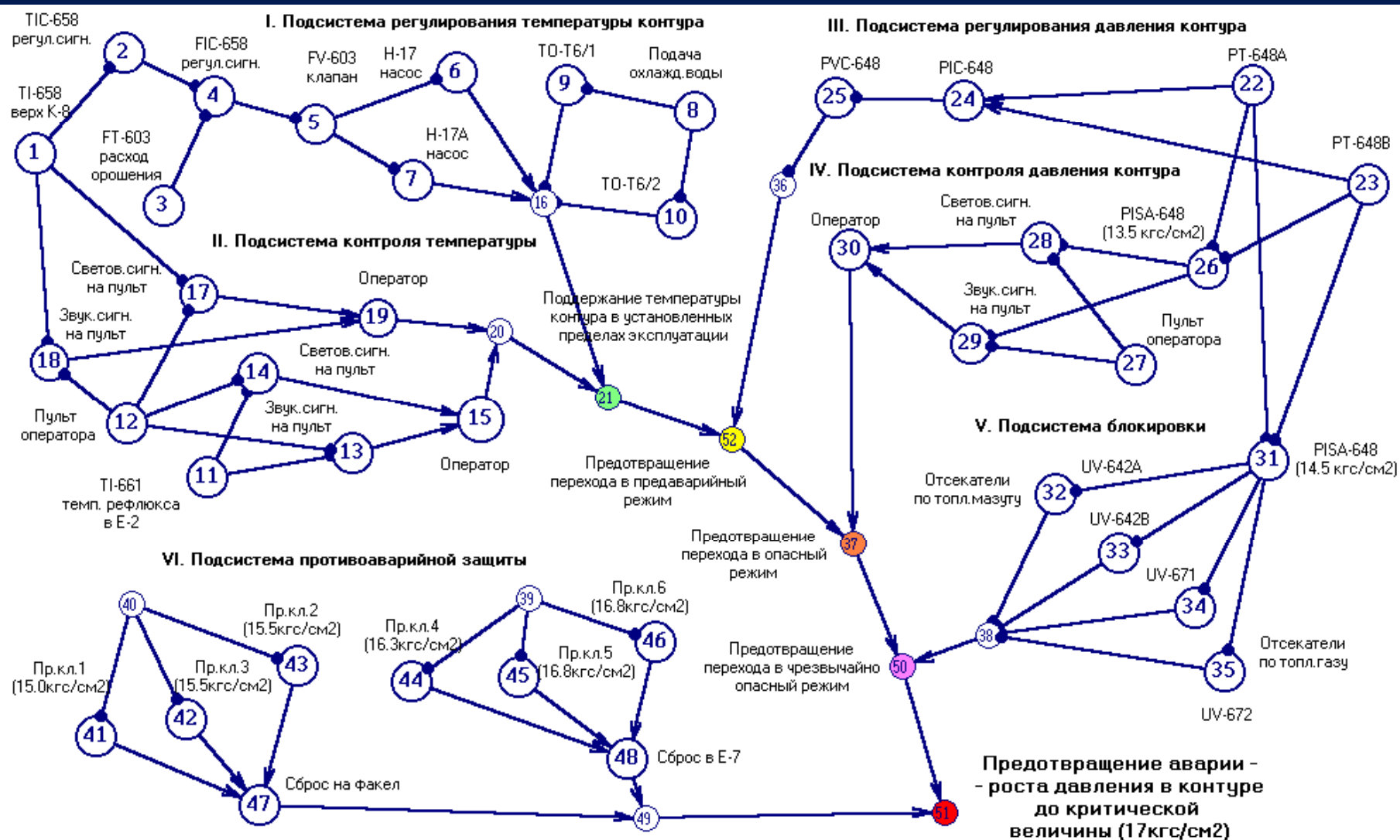
индивидуального и социального рисков в целях:

- *оценки **целесообразности** включения в состав установок систем, обеспечивающих требуемые уровни пожарной безопасности;*
- *выполнения итерационных **расчетов количественных значений **пожарного риска**** различных по составу и структуре систем безопасности;*
- *определения **требуемого уровня надежности** систем безопасности.*

Технологическая схема блока стабилизации бензина установки ЭЛОУ-АТ-6 КИНЕФ (НТЦ ТБ)



СФЦ анализа уровней возможных аварий по давлению и температуре колонны К-8 ЭЛОУ-АТ-6 (НТЦ ТБ)



10. ОБЩИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПК АРБИТР В ОРГАНИЗАЦИЯХ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Опыт практического применения ОЛВМ, теории, технологии и ПК АРБИТР разными организациями показал:

- **Корректность** теоретической разработки ОЛВМ и **правильность** реализации в АРБИТР всех 46 аттестованных функций;
- Наличие определенных **проблем в подготовке специалистов** к правильному и эффективному применению АРБИТР;
- Наличие у ряда организаций **потребности в изменении состава функций** базовой версии комплекса АРБИТР и **его адаптации** к специальным классам задач системного анализа;
- Объективной потребности в **дальнейшем развитии ОЛВМ, технологии АСМ и ПК АРБИТР**, как в традиционных областях применения ЛВМ и ОЛВМ, так и в ряде принципиально новых и ранее не освоенных направлениях моделирования систем.

За два года, прошедших после аттестации АРБИТР, получены **ряд новых результатов развития ОЛВМ, теории, технологии и ПК АСМ.**

11. НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ОЛВМ И ПК АСМ

- *Дальнейшее развитие Аналитического ОЛВМ;*
- *Разработка Детерминированного ОЛВМ;*
- *Разработка Статистического ОЛВМ;*
- *Разработка Марковского ОЛВМ;*
- *Разработка Сетевого ОЛВМ;*
- *Адаптация ОЛВМ и ПК АСМ к видам деятельности различных организаций.*

11.1. РАЗВИТИЕ АНАЛИТИЧЕСКОГО ОЛВМ

1. Совершенствование **интерфейса** пользователя ПК АРБИТР, внедрение **базы данных**;
2. Разработка в ОЛВМ и внедрение ПК АСМ методов **декомпозиции** для автоматизированного моделирования и расчета показателей структурно сложных систем **большой размерности**; ([22], Тест 2):
3. Дальнейшее развитие в ОЛВМ **аппарата групп несовместных событий (ГНС)** учета различных зависимостей между элементами исследуемых систем; (([22], Тест 4.1-2),
4. Дальнейшее развитие в ОЛВМ внедрение в комплекс АРБИТР **методов автоматизированного качественно-сложного анализа** систем, позволяющих, на основе СФЦ и ЛКФ, моделировать и рассчитывать показатели **технического риска** и **ожидаемого ущерба** [27];
5. Разработка в ОЛВМ и внедрение в комплекс АРБИТР **методов технико-экономической структурной и параметрической оптимизации** сложных систем [28];
6. Разработка в ОЛВМ **методов автоматического диагностирования** причин возникновения функциональных отказов системы, аварийных ситуаций и аварий.

11.2. СТАТИСТИЧЕСКИЙ ОЛВМ

1. Разработка в ОЛВМ и внедрение в ПК АСМ **итерационного логико-статистического метода (ИЛСМ)** [29]. Этот метод не требует построения ни логической ни вероятностной модели, что позволяет решать задачи анализа систем очень большой размерности (не могут решаться программными средствами Аналитического ОЛВМ);
2. Дальнейшее развитие Статистического ОЛВМ направлениях получения оценок вероятностно-временных показателей, решения задач анализа неопределенностей и учета различных зависимостей, которые не имеют аналитических решений.

11.3. ДЕТЕРМИНИРОВАННЫЙ ОЛВМ

Существующие детерминированные аспекты ЛВМ:

1. **Структурные схемы** свойств систем (функциональные схемы и СФЦ);
2. **Логические функции** реализации различных критериев функционирования систем.

Разрабатываемые методы Детерминированного ОЛВМ анализа систем:

1. **Структурный учет** достоверных последствий любых начальных и текущих состояний системы (отказов элементов, поражающих воздействий, аварийных ситуаций и аварий);
2. **Вероятностная оценка** последствий детерминированных изменений текущих состояний системы;
3. **Оценка физических последствий** детерминированных изменений текущих состояний системы.

11.4. МАРКОВСКИЙ ОЛВМ

1. Разработка метода определения на основе СФЦ и ЛКФ **Марковских состояний системы**;
2. Разработка метода определения **допустимых переходов** между состояниями цепи Маркова и расчет **переходных вероятностей**;
3. Разработка **процедуры расчета цепи Маркова**;
4. Алгоритмизация и программная реализация метода автоматического построения Цепи Маркова и расчета **условного закона живучести (УЗЖ)** системы к заданной последовательности поражающих воздействий.

Планируется разработка, алгоритмизация и внедрение в ПК АСМ методов автоматического построения, на основе СФЦ и ЛКФ, графов переходов Марковских случайных процессов с непрерывным временем, записи и решения соответствующих систем дифференциальных и алгебраических уравнений.

11.5. СЕТЕВОЙ ОЛВМ

1. Автоматизированное построение (на основе СФЦ и ЛКФ) сетевых планов работы системы и расчет их **временных показателей**. (детерминированное сетевое моделирование) [[30](#)];
2. Автоматизированное моделирование, на основе СФЦ и ЛКФ, и расчет вероятностей **случайных последовательностей событий** отказов (поражений) элементов процессе функционирования системы [[31](#)];
3. **Альтернативное сетевое моделирование**, на основе СФЦ и ЛКФ, и расчет показателей эффективности различных вариантов сетевых планов работ [[30](#)]

**Наиболее перспективным направлением
дальнейшего развития технологии АСМ является
целенаправленная адаптация ОЛВМ и комплекса
АРБИТР**

**к специальным видам деятельности различных
организаций промышленности, что может быть
сделано только на основе наших совместных
разработок с заинтересованными организациями.**

Доклад закончен, спасибо за внимание.

Можаев Александр Сергеевич

<http://www.szma.com>

ЛИТЕРАТУРА

1. Рябинин И.А., Черкесов Г.Н. Логико-вероятностные методы исследования надежности структурно-сложных систем. М.: Радио и связь, 1981, -286 с.
2. Э. Дж.Хенли, Х. Кумамото. Надежность технических систем и оценка риска. М. Машиностроение, 1984. -528 с.
3. Рябинин И.А. Основы теории и расчета надежности судовых электроэнергетических систем. Ленинград: "Судостроение", 1967, -364 с.
4. Рябинин И.А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. СПб.: Издательство Санкт-Петербургского университета, 2007 г., -278 с.
5. А.И.Гражданкин, М.В.Лисанов, А.С.Печеркин. Использование вероятностных оценок при анализе безопасности опасных производственных объектов. // Журнал "Безопасность труда в промышленности", №5, 2001, - с. 33-36.
6. Рябинин И.А., Можяев А.С., Свирин С.К., Поленин В.И. Технология автоматизированного моделирования структурно-сложных систем. // Журнал "Морская радиоэлектроника": " №1 (23), 2008, с.60-63, №2 (24), 2008, с.52-55, " №1 (27), 2009, с.54-58. СПб.: Печатный дом "Белл".
7. Можяев А.С. Логико-вероятностный подход к оценке надежности автоматизированных систем управления. Представлена ВМА им. Гречко А.А. Депонирована п/я А-1420 № Д04750, 1982. 24 с.
8. Можяев А.С. Общий логико-вероятностный метод анализа надежности структурно сложных систем. Уч. пос. Л.:ВМА, 1988. - 68 с.

ЛИТЕРАТУРА

9. **Можаев 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). 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).**
10. **Можаев 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. **Можаев А.С., Гладкова И.А. Библиотека программных модулей автоматического построения монотонных и немонотонных логических функций работоспособности систем и многочленов вероятностных функций (ЛОГ&ВФ). Свидетельство об официальной регистрации № 2003611100. М.: РОСПАТЕНТ РФ, 12 мая 2003.**
12. **Можаев 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.**

ЛИТЕРАТУРА

13. Можяев А.С. Технология и программный комплекс автоматизированного моделирования и оценки надежности, безопасности и риска опасных производственных объектов. // Пятый тематический семинар: "Об опыте декларирования промышленной безопасности и страхования ответственности. Развитие методов оценки риска аварий на опасных производственных объектах". М.: Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. НТЦ "Промышленная безопасность", 2004, с.50-58.
14. Risk Spectrum PSA Professional 1.20 / Teory Manual. RELCON AB, 1998. -57p. (Швеция, сайт: <http://www.riskspectrum.com>). Вероятностный анализ риска и надежности методом деревьев отказов и деревьев событий. Аттестован в 2003 г. аттестационный паспорт № 160.
15. Код "РИСК" Вероятностный анализ риска и надежности методом деревьев отказов и деревьев событий. М.: ОЦРК Минатома России. Аттестован в 2004 г., аттестационный паспорт № 172.
16. 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. Проведение вероятностного анализа безопасности первого уровня ядерных установок (ЯУ) и иных объектов использования атомной энергии, построение логических моделей систем безопасности и объекта в целом - деревьев отказов и деревьев событий; проведение расчетов с получением показателей

ЛИТЕРАТУРА

17. Аракчеева Е.О., Бахметьев А.М., Былов И.А. ВЕРИФИКАЦИЯ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА CRISS 4.0 ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТНОГО АНАЛИЗА БЕЗОПАСНОСТИ. ФГУП ОКБМ им. Африкантова, 2006.
<http://www.nntu.sci-nnov.ru/RUS/NEWS/stconf/konf.doc>
18. Systems Analysis Programs for Hands-on Integrated Reliability Evaluations (SAPHIRE) Version 7.0 (saphire.inel.gov). Reference Manual. (США)
19. Викторова В.С., Кунтшер Х., Петрухин Б.П., Степанянц А.С. Relex - программа анализа надежности, безопасности, рисков. // "Надежность", №4(7), 2003, с. 42-64. Компания Relex Software Corporation (США).
<http://www.relex.com/products/index.asp>.
20. АРБИТР. Программный комплекс автоматизированного структурно-логического моделирования и расчета надежности и безопасности систем (ПК АСМ СЗМА), базовая версия 1.0. // Разработчик и правообладатель: ОАО "СПИК "СЗМА", Санкт-Петербург. Автор Можяев А.С. Аттестационный паспорт № 222 от 21 февраля 2007 г. Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) РФ.
21. Аттестационный паспорт программного средства "АРБИТР", "Программный комплекс автоматизированного структурно-логического моделирования и расчета надежности и безопасности систем" (ПК АСМ СЗМА, базовая версия 1.0). М.: Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору (РОСТЕХНАДЗОР) РФ, Совет по аттестации программных средств НТЦ ЯРБ. Регистрационный № 222 от 21 февраля 2007 г. – 6 с.

ЛИТЕРАТУРА

22. 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. СПб.: ОАО "СПИК СЗМА", 2007. – 1031 с. с приложениями.
23. Программное средство "АРБИТР" (ПК АСМ СЗМА). // Журнал "Вопросы атомной науки и техники". Серия "Физика ядерных реакторов". Выпуск 2. М: Российский научный центр "Курчатовский институт", 2008, с. 105-116.
24. 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.
25. Можаяев А.С., Гладкова И.А. "Программный комплекс автоматизированного структурно-логического моделирования сложных систем ПК АСМ 2001". Свидетельство об официальной регистрации № 2003611099. М.: РОСПАТЕНТ РФ, 2003, - 1 с.
26. Ибадулаев В.А., Карюкин В.В., Космачев В.П., Лезин Ю.С., Степанов И.В., Павлов П.М., Филатов В.С., Кузнецов Л.А., Ермоленко А.Д., Маркелова В.А., Можаяев А.С. Практическая реализация методологии оценки безопасности при эксплуатации оборудования нефтехимических производств. // Журнал: Бергколегия, №1, 2005. –с.44-47.
27. РД 03-418-01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов. // Нормативные документы межотраслевого применения

ЛИТЕРАТУРА

28. Скворцов М.С. Решение задачи оптимизации надежности с помощью метода логико-вероятностных вкладов. // Журнал "Надежность" №2(30), 2009, с. 15-29.
29. Можаяев А.С., Алексеев А.О. Автоматизированное структурно-логическое моделирование и вероятностный анализ сложных систем. В сб. 1: "Теория и информационная технология моделирования безопасности сложных систем". Вып.2. Под редакцией И.А.Рябина. Препринт 104. СПб.: ИПМАШ РАН, 1994, с.17-42.
30. Можаяев А.С. Автоматизированное структурно-логическое моделирование систем. Учебник. СПб: ВМА им Кузнецова Н.Г, 2006. - 577 с
31. Можаяев А.С. Учет временной последовательности отказов элементов в логико-вероятностных моделях надежности. Межвузовский сборник: Надежность систем энергетики. Новочеркасск: НПИ, 1990, с. 94-103.
32. ФГУП СПбАЭП, ОАО "СПИК СЗМА", (Санкт-Петербург), ИПУ РАН им. В.А.Трапезникова (г. Москва). НИР "Сравнительный анализ технологий деревьев отказов и автоматизированного структурно-логического моделирования, используемых для выполнения работ по вероятностному анализу безопасности АЭС и АСУТП на стадии проектирования" (шифр "Технология 2004"), 2005, 282 с.

Стандарты и РУ, поддерживаемые АРБИТР

1. **ГОСТ 24.701-86**. Надежность автоматизированных систем управления. Основные положения. М.: ИПК Издательство стандартов, 1986, 17 с.
2. **ГОСТ 27.301-95**. Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения. М.: ИПК Издательство стандартов, 1996, 15 с.
3. **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.
4. **ГОСТ Р 51901-2002 (МЭК 60300-3-9:1995)**. Управление надежностью. Анализ риска технологических систем. М.: ИПК Издательство стандартов, 2002, 22 с.
5. **ГОСТ Р 51901.14-2005 (МЭК 61078:1991)**. Менеджмент риска. Метод структурной схемы надежности. М.: Стандартиформ, 2005, 18 с.
6. **ГОСТ Р 51901.13-2005 (МЭК 61025:1990)**. Менеджмент риска. Анализ дерева неисправностей. М.: Стандартиформ, 2005, 11 с.
7. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации (Приказ Минэнерго № 229 от 19.06.2003 г., **РД 34.20.501-95**, приказ Ростехнадзора РФ от 01.08.2006 г. № 738).