

*Аннотация опубликована в разделе "АННОТАЦИИ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ, АТТЕСТОВАННЫХ РОСТЕХНАДЗОРОМ РФ" научно-технического сборника "Вопросы атомной науки и техники. Серия "Физика ядерных реакторов", Выпуск 2 / 2008 г. М.: РНЦ "Курчатовский институт", 2008, - с.105-116.*

УДК 621.039.58

## **АННОТАЦИЯ ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА "АРБИТР" (ПК АСМ СЗМА)**

Можаев А.С.

В аннотации приводится краткое описание программного средства АРБИТР: "Программный комплекс автоматизированного структурно-логического моделирования и расчета надежности и безопасности систем" (ПК АСМ СЗМА, базовая версия 1.0), разработанного в ОАО "Специализированная инжиниринговая компания "Севзапмонтажавтоматика" (ОАО "СПИК СЗМА").

Software "ARBITER" Complex for Automated Structural Logic Simulation and Assessment of the System Reliability and Safety measures (SC ASLS SZMA) base version 1.0, is described. SC ASLS SZMA is developed by JSC SPIK SZMA.

### **1. НАЗВАНИЕ ПРОГРАММЫ**

АРБИТР, "Программный комплекс автоматизированного структурно-логического моделирования и расчета надежности и безопасности систем (ПК АСМ СЗМА), базовая версия 1.0" [1, 2, 3].

### **2. ЭВМ**

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

### **3. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ**

Программный комплекс АРБИТР (ПК АСМ СЗМА) [1, 2, 3] предназначен для автоматизированного математического моделирования и расчета вероятностных характеристик надежности (ГОСТ 27.002-89) и безопасности (технического риска [4], вероятности возникновения или не возникновения аварийных ситуаций и аварий вследствие отказов элементов) структурно-сложных систем опасных производственных объектов (ОПО) и объектов использования атомной энергии (ОИАЭ), включая АЭС с реакторами любых типов, радиационные источники, пункты хранения ядерных материалов и радиоактивных веществ, хранилища радиоактивных отходов [5, 6].

На этапе постановки задач пользователь АРБИТР выполняет следующие действия:

- разрабатывает структурную схему функциональной целостности (СФЦ) исследуемого свойства надежности или безопасности системы, представляющую блок-схему работоспособности, дерево отказов или дерево событий (допускается неограниченное использование циклических связей, двухуровневая декомпозиция и размножение вершин на одном уровне декомпозиции);
- определяет исходные значения параметров надежности элементов системы (вероятность безотказной работы или отказа, средняя наработка до отказа, среднее время восстановления, время работы элементов, время работы системы), устанавливает признаки принадлежности элементов к группам несовместных событий, группам отказов по общей причине, кратности вершин и ряд других.
- задает логический критерий функционирования (ЛКФ), который совместно с СФЦ определяет общие условия реализации системой исследуемого свойства надежности или безопасности (безотказности, отказа, частичной работоспособности,

возникновения или невозникновения аварийных ситуаций и аварий различного уровня последствий и др.);

- вводит подготовленные исходные данные (СФЦ, ЛКФ, параметры элементов) в комплекс АРБИТР, устанавливает режим его работы (статический расчет, вероятностно-временной расчет или приближенный расчет) и включает сеанс автоматического моделирования и расчетов.

После этого комплекс АРБИТР автоматически строит логическую функцию (кратчайшие пути успешного функционирования, минимальные сечения отказов или их немонотонные комбинации), точный расчетный многочлен вероятностной функции исследуемого свойства надежности или безопасности (технического риска) системы и вычисляет значения соответствующих системных показателей.

#### 4. МЕТОД РЕШЕНИЯ

Теоретической основой комплекса АРБИТР является общий логико-вероятностный метод (ОЛВМ) анализа структурно-сложных системных объектов и процессов различных видов, классов и назначения [7, 8, 9]. Новые возможности ОЛВМ, реализованные в комплексе АРБИТР, определяются следующими положениями:

- Принципиально новым является разработанный в ОЛВМ и реализованный в комплексе АРБИТР, графический аппарат схем функциональной целостности [7, 9] для структурного описания исследуемых свойств надежности (безотказности) и безопасности (технического риска). Аппарат СФЦ по построению реализует функционально полный набор логических операций "И", "ИЛИ" и "НЕ" алгебры логики. Это позволяет с помощью СФЦ логически корректно представлять практически все виды типовых структурных схем систем (блок-схем, графов связности, деревьев отказов и деревьев событий), а также строить принципиально новый класс немонотонных структурных моделей надежности, живучести и безопасности сложных системных объектов различного назначения. Логическая универсальность ОЛВМ и аппарата СФЦ впервые предоставляют пользователю комплекса АРБИТР возможность строить как структурные модели безотказности (безаварийности) исследуемого объекта, так и структурные модели отказа (аварии) системы. Причем в обеих формах структурного описания системы обеспечивается одинаковая точность автоматического построения как минимальных сечений отказов (МСО), так и кратчайших путей успешного функционирования системы (КПУФ).
- В классических логико-вероятностных методах (использующих только блок-схемы, графы связности и деревья отказов) на структурном и аналитическом уровнях моделирования применяется функционально неполный базис операций "И" и "ИЛИ". Это позволяет строить только монотонные модели надежности и безопасности систем. В ОЛВМ, на всех уровнях моделирования и расчетов, впервые используется функционально полный базис логических операций "И", "ИЛИ", "НЕ" [7, 8, 9]. На этой основе в комплексе АРБИТР реализованы все возможности основного аппарата моделирования алгебры логики, что позволяет автоматически строить как все прежние виды монотонных моделей, так и принципиально новый класс немонотонных моделей надежности, живучести, безопасности и риска функционирования структурно-сложных системных объектов различного назначения.
- В четырех ранее аттестованных программных средствах аналогичного назначения (две версии "Risk Spectrum" (Швеция), "РИСК", "CRISS 4.0" (РФ)) реализована только технология "деревьев отказов" (ДО). Применение в комплексе АРБИТР принципиально нового графического аппарата СФЦ для структурного описания свойств надежности, живучести, безопасности и технического риска систем впервые

позволило представлять как все прежние, типовые монотонные структурные модели (блок-схемы, графы связности, деревья отказов, деревья событий), так и новый класс немонотонных структурных моделей надежности и безопасности систем. Поэтому комплекс АРБИТР в полном объеме реализует новую технологию "автоматизированного структурно-логического моделирования" (АСМ) сложных системных объектов и процессов.

- Все комплексы, реализующие технологию ДО позволяют пользователю применять только один обратный подход, для постановки задач анализа надежности и безопасности систем. Этот подход требует от разработчика точного представления и графического описания условий отказа, неработоспособности, возникновения аварийной ситуации или аварии в исследуемой системе. Если система сложная, например, с множественными циклическими связями элементов, то безошибочное построение соответствующего дерева отказов часто превращается в трудно разрешимую проблему [10]. Используемый в комплексе АРБИТР графический аппарат СФЦ и технология АСМ предоставляют пользователю, на выбор, три вида подходов к постановке задачи автоматизированного анализа системы:
  1. Традиционный обратный подход, в результате которого пользователь разрабатывает СФЦ дерева отказов исследуемого свойства системы;
  2. Прямой подход, в результате которого пользователь разрабатывает СФЦ блок-схемы работоспособности (безотказности, не возникновения аварии), причем, с возможностью неограниченного представления циклических (мостиковых) связей, существующих в системе;
  3. Комбинированный (смешанный) подход, впервые позволяющий строить немонотонные СФЦ надежности, живучести, безопасности и риска функционирования структурно сложных системных объектов.

Независимо от того, какой подход используется при разработке СФЦ, с помощью ОЛВМ [7, 8, 9], реализованного в комплексе АРБИТР, далее могут автоматически определяться и кратчайшие пути успешного функционирования, и минимальные сечения отказов, а так же различные их немонотонные комбинации [2]. Научные исследования и практика показали, что прямой и комбинированный подходы позволяют пользователю разрабатывать более сложные и высокоразмерные структурные схемы систем, чем традиционный обратный подход, использующий только аппарат деревьев отказов [2, 10].

- Все ранее аттестованные программные средства аналогичного назначения (две версии "Risk Spectrum" (Швеция), "РИСК", "CRISS 4.0" (РФ)) позволяют вычислять только приближенные вероятностные показатели надежности и безопасности исследуемых систем. Корректность данных вычислений обеспечивается только при условии задания вероятностей отказов элементов не более 0.01. Комплекс АРБИТР изначально разрабатывался как инструмент точного моделирования и расчетов вероятностных показателей (в рамках принятых допущений и ограничений). Основой точных вычислений является, впервые разработанная в ОЛВМ и реализованная в комплексе АРБИТР, комбинированная процедура автоматического построения правильного многочлена расчетной вероятностной функции [11]. Поэтому корректные (правильные в рамках заявленных ограничений и допущений) расчеты вероятностных характеристик систем в АРБИТР впервые выполняются во всем диапазоне возможных значений вероятностных параметров элементов (от 0.0 до 1.0 включительно) [2].

В комплексе АРБИТР реализован дополнительный (вспомогательный) режим приближенного моделирования и расчетов вероятностных показателей. Приближенные расчеты выполняются по двум методикам: для независимых отказов элементов (аналог

методики, используемой в комплексах "Risk Spectrum" и "Saphire-7"), и с учетом трех типов отказов элементов – "отказ на требование", "отказ в режиме работы" и "скрытый отказ в режиме ожидания" (методы, разработаны специалистами ФГУП ОКБМ им И.И.Африкантова и впервые реализованы в комплексе "CRISS 4.0").

Разработанный на основе общего логико-вероятностного метода, программный комплекс АРБИТР реализует следующие основные функциональные возможности:

- обеспечивает ввод структурных моделей свойств надежности и безопасности исследуемых системных объектов, представленных в виде одноуровневых и двухуровневых (декомпозированных) *схем функциональной целостности* (до 40000 вершин);
- обеспечивает ввод значений исходных *параметров элементов* (вероятности событий, средние наработки до отказа, среднее время восстановления, признаки групп несовместных событий, признаки кратности, собственное время работы и др.), задание *режимов* статического, вероятностно-временного и приближенного моделирования и расчетов показателей надежности и безопасности исследуемых систем;
- позволяет с помощью *логических критериев функционирования* задавать различные монотонные и немонотонные условия реализации или нереализации системой исследуемых свойств ее надежности, живучести или безопасности  $Y_s = f(\{y_i, \bar{y}_i\}, i = 1, 2, \dots, N)$ ,  
где  $N$  - общее число вершин СФЦ;

- автоматически строит *логические функции работоспособности систем* (ФРС)

$$\left. \begin{array}{l} \text{СФЦ: } G(X, Y) \\ \text{ЛКФ: } Y_F^* \end{array} \right\} \Rightarrow \text{ФРС: } Y_F = Y_F(\{x_i, \bar{x}_i\}, i = 1, 2, \dots, H),$$

где  $H$  - число элементов системы, которые в зависимости от вида СФЦ и ЛКФ представляют КПУФ, МСО и различные их немонотонные комбинации (размеры ФРС ограничиваются техническими характеристиками компьютера);

- автоматически строит точные *многочлены расчетных вероятностных функций* (ВФ)

$$Y_F(\{x_i, \bar{x}_i\}, i = 1, 2, \dots, H) \Rightarrow P_F(t) = P_F(\{p_i, q_i\}, i = 1, 2, \dots, H; t),$$

которые используются для машинных вычислений вероятностных показателей надежности и безопасности исследуемых систем (размеры ограничиваются техническими характеристиками компьютера);

- автоматически рассчитывает следующие *показатели структурной надежности и безопасности* систем [2]:
  - статическую вероятность оцениваемого системного события - безотказности, отказа, частичного отказа, безопасности, риска возникновения аварийной ситуации или аварии;
  - вероятность безотказной работы невосстанавливаемой системы;
  - среднюю наработку до отказа невосстанавливаемой системы;
  - коэффициент готовности восстанавливаемой системы;
  - среднюю наработку на отказ восстанавливаемой системы;
  - среднее время восстановления системы;

- вероятность безотказной работы (или отказа) восстанавливаемой системы;
  - вероятность готовности смешанной системы, состоящей из восстанавливаемых и невосстанавливаемых элементов;
  - положительный вклад каждого отдельного элемента системы;
  - значимость каждого отдельного элемента системы;
  - отрицательный вклад каждого отдельного элемента системы;
  - приближенные вероятностные показатели надежности и безопасности системы без отсечки и с отсечкой малозначимых путей и сечений;
  - вероятности реализации отдельных путей функционирования и минимальных сечений отказов системы;
  - значимости и суммарные значимости сечений отказов по Fussell-Vesely;
  - значимости, коэффициенты уменьшения и увеличения риска элементов по Fussell-Vesely;
  - приближенные вероятностные характеристики системы с учетом трех типов отказов элементов: отказ на требование, отказ в режиме работы и скрытый отказ в режиме ожидания (аналог методики, разработанной специалистами ОКБМ им. И.И.Африкантова);
  - вероятностные показатели с учетом отказов групп элементов по общей причине (модели альфа-фактора, бета-фактора и множественных греческих букв);
  - вероятностные показатели с учетом различных видов зависимостей элементов, представляемых группами несовместных событий;
  - системные показатели надежности и безопасности при двухуровневой декомпозиции структурной схемы системы и использовании дизъюнктивных и конъюнктивных кратностей сложных элементов (подсистем);
  - системные показатели с учетом неограниченного числа циклических (мостиковых) связей между элементами и подсистемами;
  - системные показатели с учетом различных комбинаторных отношений ( $K$  из  $N$ ) между группами элементов и подсистем;
- выводит **результаты моделирования и расчетов** на экран монитора и сохраняет их в файле результатов для использования при выработке и обосновании решений в области обеспечения надежности и безопасности исследуемых систем.

## 5. ОГРАНИЧЕНИЯ СЛОЖНОСТИ

1. Вероятностно-временные показатели надежности и/или безопасности систем (средние наработки) рассчитываются только для прямых монотонных логико-вероятностных моделей исследуемой системы.
2. Исследуются системы, для которых приемлемой является гипотеза о независимости в совокупности отказов (поражений) всех элементов и неограниченности их восстановлений.
3. В автоматически формируемых математических моделях и при выполнении расчетов могут учитываться только те стохастические зависимости и множественные состояния элементов, которые представляются с помощью аппарата групп несовместных событий ОЛВМ.

4. Для вероятностно-временных расчетов используется только экспоненциальный закон распределения времени безотказной работы и восстановления элементов.
5. Число уровней односвязной структурной декомпозиции схем функциональной целостности исследуемых системных объектов  $\leq 2$ .
6. Задание групп размноженных функциональных вершин, групп несовместных событий (ГНС) и отказов по общей причине (ООП) допускается только в пределах основной и/или отдельных декомпозированных СФЦ подсистем.
7. Максимальное количество элементов мажоритарных (К из N) подсистем, представляемых СФЦ  $\leq 8$ .
8. Максимальное количество элементов в группе ООП  $\leq 8$ .
9. Комплекс нельзя использовать для проведения анализа неопределенности и автоматизированного анализа чувствительности.
10. Комплекс не применяется для выполнения полномасштабного ВАБ ЯЭУ.

**11. Допустимые значения параметров:**

11.1	Вершины СФЦ	– функциональные, фиктивные, эквивалентированные
11.2	Дуги СФЦ	– конъюнктивные прямые, конъюнктивные инверсные, дизъюнктивные прямые, дизъюнктивные инверсные
11.3	Число уровней декомпозиции	– 2
11.4	Число вершин основной СФЦ	– до 400
11.5	Число вершин подсистем СФЦ	– до 100
11.6	Значения вероятностей элементарных событий	– от 0.0 до 1.0 включительно
11.7	Количество элементов в одной группе ООП при прямом отображении ООП на графе	– до 4
11.8	Количество элементов в одной группе ООП при автоматизированном учете ООП	– до 8
11.9	Количество элементов в одной группе ООП при использовании встроенной утилиты	– до 8
11.10	Число комбинаторных связей при прямом отображении условий мажоритарности на графе	– до 8
11.11	Число комбинаторных связей при использовании утилиты агрегирования	– до 30
11.12	Число комбинаторных связей при использовании утилиты формирования комбинаций	– до 20

## 6. ТИПИЧНОЕ ВРЕМЯ СЧЕТА

Время решения задач комплексом АРБИТР зависит от числа элементов, сложности структуры исследуемой системы и определяется, в основном, размерностью автоматически формируемых логической и расчетной вероятностной моделей. В

комплексе предусмотрены специальные средства (кратные вершины, односвязная структурная декомпозиция исходной СФЦ, режим приближенных расчетов и отсечка малозначимых конъюнкций), позволяющие во много раз сократить время моделирования систем большой размерности и высокой структурной сложности. Так, например, при решении тестовой задачи №9 Отчета о верификации [2] без декомпозиции, для построения логической модели размерностью 4992 конъюнкции и многочлена вероятностной функции размерностью 52160 одночленов потребовалось 16 минут (ПЭВМ Pentium-4, 2.0 ГГц). После декомпозиции СФЦ этой системы, задача была решена на той же ЭВМ за 1 секунду, а максимальные размеры логической и вероятностной моделей составили 8 конъюнкций и 15 одночленов соответственно. При этом была полностью сохранена точность расчета вероятности безотказной работы системы, значимостей и вкладов элементов, а средняя наработка до отказа была вычислена с приближением в сторону уменьшения, что допустимо в инженерных расчетах. В другом тестовом примере №10.5 был выполнен анализ системы, состоящей из 225 элементов с множественными циклическими связями. Сформированная АРБИТР прямая декомпозируемая модель безотказности оценивается  $3.49E+19$  конъюнкций (КПУФ), а обратная модель отказа системы оценивается 8621131 минимальными сечениями отказов. В обоих случаях вычислены точные значения вероятностных характеристик. Время решения этих высокоразмерных задач составило 1.0 сек.

## 7. ОСОБЕННОСТИ ПРОГРАММЫ

Модульный принцип построения АРБИТР обеспечивает возможность его эффективного усовершенствования, модернизации и адаптации к различным предметным областям. Это означает, что на основе данной аттестованной базовой версии можно разрабатывать различные специализированные версии АРБИТР, в которых учитываются особенности предметных областей промышленного применения исследуемых систем, типы системных объектов и классы задач автоматизированного моделирования, расчета показателей, оптимизации параметров и обеспечения разных видов деятельности пользователей по выработке и обоснованию различных управленческих решений в области обеспечения надежности, живучести, безопасности и риска ОИАЭ и других ОПО.

## 8. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ И СОПУТСТВУЮЩИЕ ПРОГРАММЫ

Рабочим прототипом АРБИТР является программный комплекс ПК АСМ 2001 [12]. Разработанный на его основе программный модуль автоматического построения логических и вероятностных функций [11], является непосредственной составной частью программного средства АРБИТР.

В комплекс АРБИТР встроены три вспомогательные расчетные утилиты:

- расчета вероятностных параметров базовых событий для трех типовых моделей отказов групп элементов по общей причине (модели бета-фактора, множественных греческих букв и альфа-фактора);
- расчета вероятностных характеристик односвязных однородных (все элементы одинаковые) комбинаторных подсистем  $K$  из  $N \leq 30$  методом агрегирования;
- моделирования и расчета вероятностных характеристик односвязных неоднородных (элементы имеют разные значения параметров надежности) комбинаторных подсистем  $K$  из  $N \leq 20$  методом формирования комбинаций.

Эти утилиты могут использоваться автономно, а также обеспечивают более удобную работу пользователя при подготовке исходных данных специальных задач автоматизированного моделирования.

## 9. СОСТОЯНИЕ ПРОГРАММЫ

В настоящее время эксплуатация программного комплекса АРБИТР осуществляется рядом организаций, в том числе:

- ОАО "СПИК СЗМА", Санкт-Петербург, разработчик комплекса АРБИТР, выполнены проектные расчеты надежности АСУТП опасных производственных объектов: ООО "Киришинефтеоргсинтез", 6 проектов; ООО НПО "МИР", 1 проект; ООО "Мозырский НПЗ", Республика Беларусь, 4 проекта; ОАО "Казаньоргсинтез", Республика Татарстан, 2 проекта и ряд других.
- "Межотраслевой экспертно-сертификационный, научно-технический и контрольный центр ядерной и радиационной безопасности" (РЭСцентр), Санкт-Петербург, выполнено 13 проектов по расчету показателей надежности, остаточного ресурса и рисков объектов использования атомной энергии ФГУП "ПО Севмаш", г. Северодвинск [4, 5].
- ЗАО "Компания СЗМА", Санкт-Петербург, выполнен расчет надежности Автоматизированной информационно-измерительной системы коммерческого учета электрической энергии (АИС КУЭ) ФГУП "Петербургский метрополитен".
- ОАО "Гипростокнефть", г. Самара, выполняет работы по расчету надежности систем объектов нефтехимической промышленности Сибири и Дальнего Востока.
- Российский государственный технологический университет им. К.Э. Циолковского (МАТИ), Москва. АРБИТР используется в учебном процессе университета.
- ЗАО "ТЕЛПРОС", Санкт-Петербург. Комплекс используется для аудита безопасности объектов жизнеобеспечения.

Стандарты и Руководящие документы, поддерживаемые комплексом 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. РД 34.20.501-95. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. // Приказ Минэнерго № 229 от 19.06.2003 г., приказ Ростехнадзора РФ от 01.08.2006 г. № 738).

В 2004-2005 годах программа применялась в комплексной НИР [10] трех организаций: СПБАЭП (ПК "Risk Spectrum", Швеция), ИПУ РАН (ПК "Relex", США) и ОАО "СПИК СЗМА" ("ПК АСМ СЗМА") и успешно прошла сравнительный анализ трех указанных технологий и программных комплексов. В общих выводах этой НИР было сделано общее заключение всех трех организаций – исполнителей: *"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".*

В Отчете о верификации комплекса АРБИТР, разработанном заявителем ОАО "СПИК СЗМА" [2], были представлены экспертам 10 расчетно-аналитических Тестов, состоящих из 42 примеров, включающих 184 различные задачи. В ходе аттестации было выдано задание на решение еще пяти Контрольных примеров "Моделирования и анализа систем безопасности и ядерной установки при выполнении вероятностного анализа безопасности", ранее решенных с помощью аттестованного комплекса "CRISS 4.0". При выполнении этого задания, с помощью комплекса АРБИТР были решены 20 задач, получены и представлены экспертам три вида решений Контрольных примеров:

- приближенные решения всех пяти Контрольных примеров по методике "CRISS 4.0" (совпали с заданием около 2000 сопоставляемых показателей);
- приближенные решения Контрольных примеров по методике "Saphire-7" (для независимых отказов элементов, совпали более 2000 сопоставляемых показателей);
- впервые, с помощью АРБИТР, были выполнены точные расчеты вероятностей вершинных событий деревьев отказов для трех выданных Контрольных примеров (модели с независимыми отказами элементов).

В ходе аттестации у всех экспертов не было ни одного замечания по правильности решений, с помощью АРБИТР, всех 204 задач расчетно-аналитических Тестов и Контрольных примеров.

Сравнение результатов приближенных и точных решений АРБИТР выданных Контрольных примеров, позволило выявить одну важную новую закономерность. При использовании традиционных приближенных методов моделирования и расчетов с отсечкой (вспомогательный режим АРБИТР), оказалось, что чем меньше количество исключаемых из полной логической модели малозначимых конъюнкций (МСО), тем точность приближенных вычислений вероятности вершинного события дерева отказов не увеличивается, а уменьшается. Это объясняется накоплением погрешности, при использовании традиционных методов приближенных расчетов на основе МСО (комплексы Risk Spectrum, Saphire-7 и др.), которая сокращается при удалении малозначимых МСО.

## **10. ССЫЛКИ**

1. АРБИТР, Программный комплекс автоматизированного структурно-логического моделирования и расчета надежности и безопасности АСУТП на стадии проектирования (ПК АСМ СЗМА), базовая версия 1.0. Автор: Можаяев А.С. Правообладатель: ОАО "СПИК СЗМА". Свидетельство № 2003611101 от 12 мая 2003 г. об официальной регистрации программ, Роспатент РФ, Москва, 2003. Аттестационный паспорт №222 от 21 февраля 2007 г. Совета по аттестации ПС Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) РФ.
2. 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). Заключительная редакция. СПб.: ОАО "СПИК СЗМА", 2006. - 1031 с.

3. Можаяев 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". Тезисы докладов. М.: Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. НТЦ "Промышленная безопасность", с.50-58.
4. РД 03-418-01. Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов. // Нормативные документы межотраслевого применения по вопросам промышленной безопасности и охраны недр. Выпуск 10. М.: ГУП "НТЦ ПБ" Госгортехнадзора России, 2001. – 60 с.
5. Можаяев А.С., Камынов Ш.В., Рылов М.И., Нозик А.А. Методика применения программного комплекса АСМ СЗМА для расчета показателей безотказности и безаварийности стенда физических измерений. // Журнал "Вопросы анализа риска". № 1 (9) М.: ООО "АНКИЛ", 2007, с. 63-72.
6. Рылов М.И., Камынов Ш.В., Анисимов Н.А., Можаяев А.С., Никитин В.С. Оптимизация риска при утилизации АПЛ. // Управление риском №3, 2003, с.25-32.
7. Можаяев А.С. Общий логико-вероятностный метод анализа надежности сложных систем. Уч. пос. Л.: ВМА, 1988. -68с.
8. Mozhaev A.S. Theory and practice of automated structural-logical simulation of system. International Conference on Informatics and Control (ICI&C'97). Vol. 3. St.Petersburg: SPIIRAS, 1997, p.1109-1118.
9. Можаяев 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, с. 153-197, Часть III, с. 243-293. М: МГФ "Знание", 2007.
10. 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.
11. Можаяев А.С., Гладкова И.А. Библиотека программных модулей автоматического построения монотонных и немонотонных логических функций работоспособности систем и многочленов вероятностных функций (ЛОГ & ВФ). Свидетельство № 2003611100 об официальной регистрации программ. М.: Роспатент РФ, 12 мая 2003.
12. Можаяев А.С., Гладкова И.А. Программный комплекс автоматизированного структурно-логического моделирования сложных систем (ПК АСМ 2001). Свидетельство № 2003611099 об официальной регистрации программ. М.: Роспатент РФ, 12 мая 2003.

## 11. ТРЕБОВАНИЯ К ЭВМ

Для полноценного применения программного комплекса требуются следующие системные ресурсы ПК:

- компьютер класса IBM-PC с процессором Pentium II и выше;
- привод CD-ROM;

- не менее 32 Мбайт памяти (для обеспечения быстродействия Комплекса и большей размерности СФЦ желательно иметь ОЗУ 128 Мбайт и больше);
- не менее 5 Мбайт свободного пространства на жестком диске;
- VGA графическая видеосистема и выше, желательно super VGA с числом цветов не менее 256, рекомендуемое разрешение экрана 1024×768.

## **12. ЯЗЫКИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ**

Borland Object Pascal, среда разработки Borland Delphi Professional, Version 7.0 (Build 4.453).

## **13. ОПЕРАЦИОННАЯ СИСТЕМА**

Windows 95, Windows 98, Windows Me, Windows NT, Windows 2000, Windows XP, Windows 2003.

## **14. ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ**

Программное средство АРБИТР (ПК АСМ СЗМА), базовая версия 1.0 имеет: Свидетельство № 2003611101 от 12 мая 2003 г. об официальной регистрации программ в Роспатент РФ и Аттестационный паспорт №222 от 21 февраля 2007 г. Совета по аттестации программных средств НТЦ ЯРБ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) РФ.

## **15. АВТОРЫ ПРОГРАММЫ**

А.С. Можаяев, ОАО "СПИК СЗМА", Санкт-Петербург, переулок Каховского, 10.

## **16. ИМЕЮЩИЕСЯ МАТЕРИАЛЫ**

Диск с инсталляционной программой, руководство пользователя, Отчет о верификации с Тестовыми и Контрольными примерами [2].

## **17. РУБРИКИ И КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА**

Надежность, безопасность, технический риск, общий логико-вероятностный метод, технология автоматизированного структурно-логического моделирования.

## **18. ПРИМЕР**

### **ВЕРоятностный анализ надежности и безопасности стенда физических измерений**

Пример разработан в Межотраслевом, экспертно-сертификационном научно-техническом и контрольном центре ядерной и радиационной безопасности (РЭСцентр) [5], имеющем разрешение на использование комплекса АРБИТР. Полное описание решений задач данного примера приведено в Отчете о верификации [2].

СФЦ надежности и безопасности стенда физических измерений (СФИ) изображена на рис.1. Функциональными вершинами на схеме (большие кружки) обозначены события безотказной работы элементов СФИ. Приведены наименования соответствующих элементов и значения средней наработки до отказа в годах. В СФЦ представлены 13 подсистем (наименования выделены), отказы элементов которых могут привести к функциональному отказу СФИ в целом, его проектной аварии, локализации аварийных ситуаций или возникновению запроектной аварии (неуправляемой самоподдерживающейся цепной реакции деления).

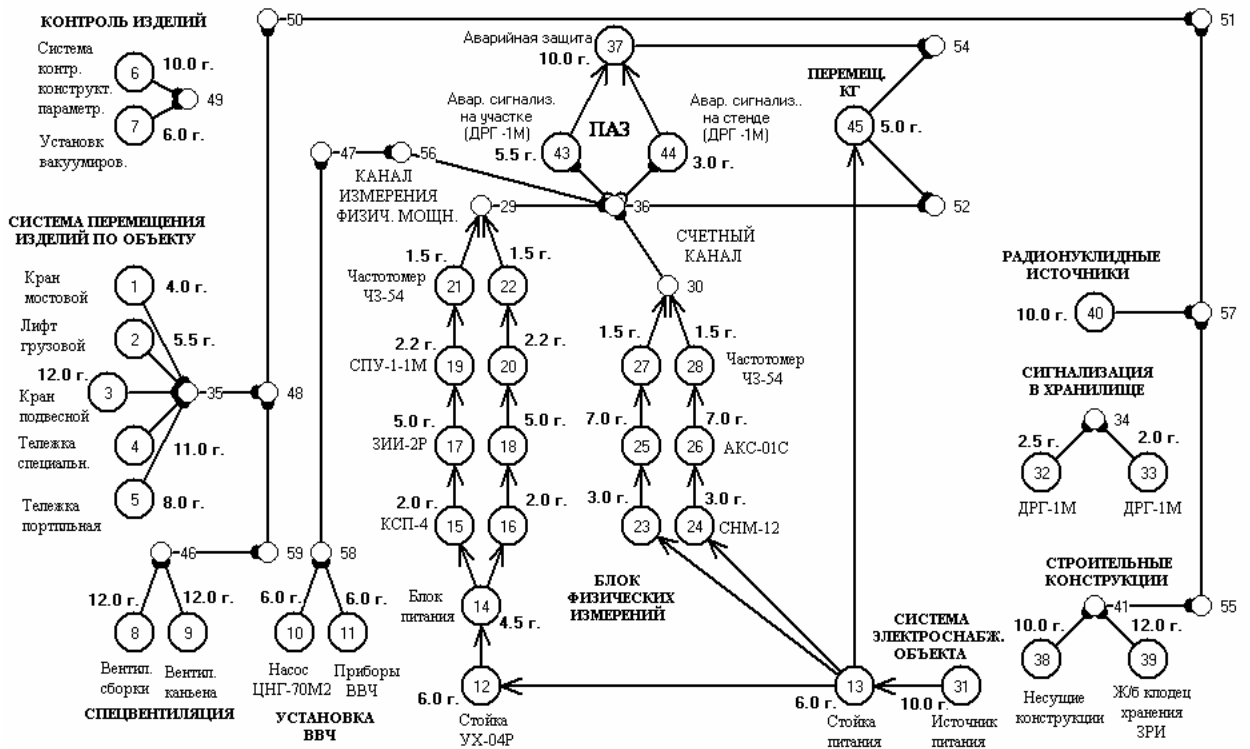


Рис.1. СФЦ работоспособности станда физических измерений

При построении данной СФЦ применялся смешанный подход. Все подсистемы СФИ представлены фрагментами СФЦ условий их работоспособности (безаварийности). Поэтому СФЦ в целом подобна исходной функциональной схеме СФИ, и ее построение не вызывает больших затруднений.

На схеме представлено одно немонотонное условие (см. рис.1, инверсные выходы фиктивной вершины 36) возникновения отказа каналов блока физических измерений или установки воды высокой частоты. Это условие требует выполнения функций подсистемой аварийной защиты для локализации возможной запроектной аварии СФИ.

В таблице 1 приведены основные результаты моделирования и вероятностного анализа надежности и безопасности СФИ, полученные с помощью комплекса АРБИТР.

Таблица 1. Результаты вероятностного анализа СФИ

№	Исследуемое свойство СФИ и логический критерий его реализации	Логическая функция (число КПУФ или МСО)	Вероятн. функция (число одночленов)	Вероятность события
1	2	3	4	5
1	<b>Безотказность</b> $Y_{49} \cdot Y_{34} \cdot Y_{51} \cdot Y_{52}$	<b>4</b> (КПУФ)	<b>9</b>	$P_{СФИ}(1000ч) = 0.6346585752$
2	<b>Отказ</b> $\overline{Y_{49}} \vee \overline{Y_{34}} \vee \overline{Y_{51}} \vee \overline{Y_{52}}$	<b>46</b> (МСО)	<b>190</b>	$Q_{СФИ}(1000 ч) = 0.3653414248$
3	<b>Возникновение проектной аварии</b> $\overline{Y_{51}} \vee Y_{54}$	<b>68</b> (немонотонн.)	<b>356</b>	$P_{ПА}(100ч) = 0.0220151844$
4	<b>Невозникновение проектной аварии</b> $Y_{51} \cdot Y_{54}$	<b>9</b> (немонотонн.)	<b>23</b>	$Q_{ПА}(100ч) = 0.9779848156$

5	Локализация запроектной аварийной ситуации $\overline{y_{36}} \cdot \overline{y_{54}}$	58 (немонотонн.)	346	$P_{\text{Лок. ЗАС}}(100ч) = 0.0087402877$
6	Возникновение запроектной аварии исходного СФИ $\overline{y_{36}} \cdot \overline{y_{54}}$	89 (немонотонн.)	521	$P_{34}(100ч) = 0.0030695642$
7	Возникновение запроектной аварии модернизированного СФИ $\overline{y_{36}} \cdot \overline{y_{54}}$	89 (немонотонн.)	2079	$P_{34}(100ч) = 0.0000350589$

Моделирование и расчет надежности СФИ выполнен для наработки  $t = 1000$  часов (продолжительность типового цикла работы СФИ). Анализ безопасности выполнен для наработки  $t = 100$  часов (средняя продолжительности цикла физических измерений).

Возможности АРБИТР позволяют строить прямые модели (безотказность, безаварийность) и обратные модели (отказ, авария) исследуемой системы, на основе одной СФЦ исследуемой системы (см. табл.1 задачи № 1, 2 и № 3, 4).

Задачи моделирования и расчета вероятности локализации и возникновения запроектной аварии (см. табл.1 задачи № 5 и № 6) характеризуют наиболее опасные отказы элементов (технический риск [4]) СФИ. Кроме вероятностной оценки надежности и безопасности системы, комплекс АРБИТР вычисляет значимости и вклады каждого элемента в соответствующие системные характеристики. Так например, при моделировании запроектной аварии (см. табл.1, задача №6) с помощью АРБИТР было определено, что наибольший положительный вклад в уменьшение вероятности возникновения запроектной аварии внесут мероприятия, направленные на увеличение надежности элементов 13 и 31 подсистемы электроснабжения (например, их поэлементное резервирование). Моделирование такого, модернизированного варианта СФИ показало (см. табл.1, задача №7), что при резервировании элементов 13 и 31, вероятность возникновения запроектной аварии уменьшается на два порядка. Это показывает, что комплекс АРБИТР можно использовать для выработки и обоснования эффективных управленческих решений, направленных на повышение надежности и безопасности сложных системных объектов.

В настоящее время (после аттестации) в ОАО "СПИК СЗМА" развернуты работы по дальнейшему развитию ОЛВМ, технологии АСМ и программного комплекса АРБИТР. Первое направление этих работ связано с совершенствованием существующих (аттестованных) функциональностей комплекса АРБИТР – автоматизацией методов декомпозиции, расширением числа учитываемых законов распределения времени безотказной работы элементов, адаптацией интерфейса пользователя к различным предметным областям практического применения и ряд других. Вторым направлением работ является внедрение в АРБИТР новых методов моделирования и расчетов – детерминированного ОЛВМ анализа живучести систем, статистического ОЛВМ (итерационного логико-статистического метода), сетевого ОЛВМ (учет детерминированных и случайных последовательностей событий), Марковского ОЛВМ (автоматическое построение и решение задач Марковского моделирования), качественно-сложного ОЛВМ (моделирование и расчет показателей эффективности функционирования и ожидаемого ущерба от возможных аварий).