

Можжаев 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.

Свидетельство об официальной регистрации № 2003611101. М.: РОСПАТЕНТ РФ, 2003.

Можжаев Александр Сергеевич

Россия, Санкт-Петербург, Военно-Морская Академия

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СТРУКТУРНО-ЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ (ПК АСМ 2001)

Реферат. Обобщен опыт разработки и использования предыдущих версий ПК АСМ. Рассмотрена структура и характеристики новой, базовой версии ПК АСМ 2001, которая позволяет автоматически строить аналитические, статистические, марковские и сетевые математические модели расчета показателей надежности, живучести, безопасности, эффективности и риска функционирования сложных технических и организационных систем большой размерности. Для ознакомления и опытной эксплуатации желающим предоставляется учебно-исследовательский образец ПК АСМ 2001 и учебно-методическое пособие.

Теория автоматизированного структурно-логического моделирования [5] основывается на методах, которые позволяют автоматизировать процессы построения расчетных математических моделей различных свойств устойчивости (безотказности, готовности, стойкости, живучести, безопасности), эффективности и риска функционирования сложных систем произвольной структуры и организации функционирования. Актуальность этого научного направления обусловлена тем, что во многих прикладных областях модельный анализ систем не применяется только из-за непреодолимой вручную громоздкости процессов построения математических моделей реальных объектов и процессов. Комплексно решить проблему автоматизации построения нескольких видов математических моделей систем (аналитических, статистических, марковских и сетевых) позволили известные логико-вероятностные методы (ЛВМ) системного анализа [1-8]

Технология автоматизированного моделирования [5,10] представляет собой такую форму практического системного анализа, при которой сначала разрабатывается структурная схема исследуемой системы, задаются режимы (критерии) ее работы и параметры элементов. Затем на компьютере, полностью автоматически, точно и оперативно строятся необходимые математические модели заданных режимов работы исследуемой системы, возможно очень большой размерности и сложности. Далее, на основе полученных моделей выполняются машинные расчеты системных характеристик и могут решаться различные задачи анализа, оптимизации и синтеза системы для принятия научно обоснованных решений на этапах ее исследования, проектирования, эксплуатации и управления. Наибольший эффект от применения технологии автоматизированного моделирования наступает, когда из-за большой сложности и высокой размерности исследуемой системы построить ее математическую модель старыми, ручными методами становится невозможно. Необходимыми условиями реализации данной технологии являются – создание соответствующей теории и разработка программного комплекса автоматизированного структурно-логического моделирования сложных систем произвольной структуры.

В основе ПК АСМ лежит Общий логико-вероятностный метод (ОЛВМ) системного анализа [2-11]. Известно, что в классических ЛВМ [1] графические средства постановки задач (деревья событий и графы связности) представляют только две логические операции "И" и "ИЛИ". Этот базис операций не является функционально полным и позволяет строить только ограниченный подкласс так называемых монотонных моделей систем. Средством графической постановки задач в ОЛВМ являются специальные схемы функциональной целостности (СФЦ) [2-13], которые по построению могут представлять функционально полный набор логических операций "И", "ИЛИ" и "НЕ". На этой основе уже в [2] впервые была дос-

тигнута полная реализация в ОЛВМ всех возможностей основного аппарата моделирования – алгебры логики. Поэтому с помощью ПК АСМ можно автоматически строить как все известные виды монотонных моделей систем произвольной структуры, так и принципиально новый класс – немонотонных моделей систем, в которых можно корректно учесть влияние вредных (поражающих, аварийных и др.) событий на процессы функционирования. Последнее особенно важно для построения сложных моделей безопасности, опасности и риска функционирования различных системных объектов и процессов.

В настоящее время накоплен большой научный и практический опыт разработки и использования нескольких образцов ПК АСМ [3-5,11,12]. Наибольшее распространение получил **ПК АСМ версии 5.0** [5,11], разработанный в 1995 г. для операционной системы DOS. На основе этого ПК выполнено большое количество научных исследований, успешно защищено более 40 диссертаций, поставлен 100-часовой учебный курс в ВМА – "Автоматизированное моделирование систем". Данный комплекс продолжают применять в различных областях системного анализа, в том числе и для вероятностного анализа безопасности и риска технических, организационных и банковских систем [8,13].

В настоящее время осуществляется разработка новой версии программного комплекса автоматизированного структурно-логического моделирования **ПК АСМ 2001**. Общая структура этого комплекса приведена на рис.1.

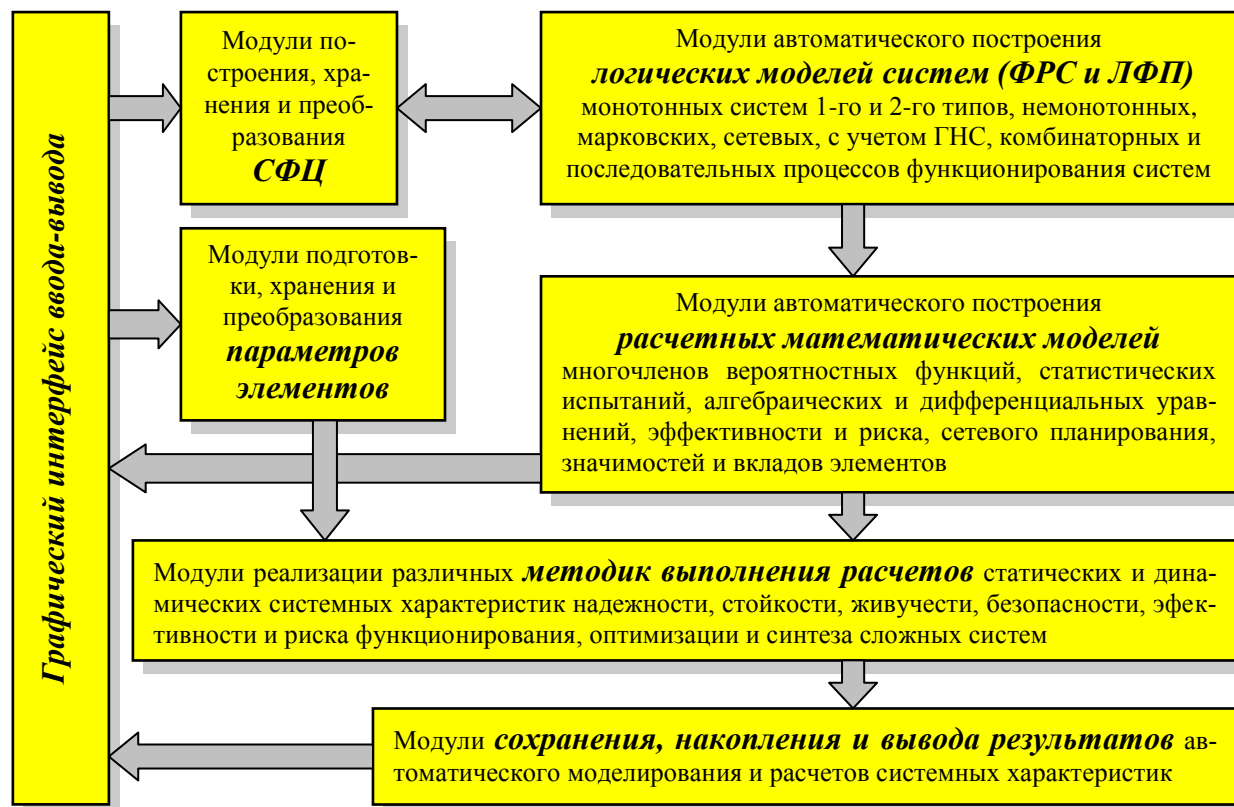


Рис.1. Состав программных модулей и общая структура ПК АСМ 2001

Основные характеристики ПК АСМ 2001

1. Комплекс разрабатывается по модульному принципу в среде программирования **Delphi 5**.
2. **Сохраняются** все положительные свойства предыдущих версий, учтены и исправлены их недостатки и внедрены полученные в последние годы новые результаты развития теории и технологии автоматизированного структурно-логического моделирования систем.

3. Данная версия ПК АСМ непосредственно **предназначена** для обеспечения учебного процесса по курсу "Автоматизированное моделирование систем", выполнения научных работ и подготовки диссертаций в различных областях системных исследований.

4. По замыслу и форме исполнения ПК АСМ 2001 является **базовой системой** и охватывает четыре класса задач автоматизированного моделирования – аналитических, статистических, марковских и сетевых. На основе этой базовой системы могут разрабатываться самые разнообразные специализированные системы автоматизированного моделирования, от вероятностного анализа безопасности атомных станций [7], до риска в банках и бизнесе [13].

5. **Графический интерфейс ввода-вывода** обеспечивает графическое отображение исходных данных и результатов автоматизированного структурно-логического моделирования. На рис.2 приведен вид окна подготовки структурной схемы исследуемой системы, а на рис.3 – вид окна задания режимов и вывода результатов автоматического моделирования.

6. **Модули построения, хранения и преобразования СФЦ** обеспечивают наглядный графический ввод новых и использование ранее разработанных структурных моделей исследуемых систем. На рис.2 приведен вариант внешнего вида окна подготовки СФЦ учебной задачи анализа безопасности участка железной дороги [9,10]. После разработки графа СФЦ автоматически формируется и сохраняется в памяти компьютера рабочий файл соответствующей системы логических уравнений (на рис.2 кнопка **Gb.dat** панели инструментов).

7. **Модули подготовки, хранения и преобразования параметров элементов** позволяют пользователю вводить новые и использовать ранее подготовленные исходные вероятностные и другие параметры элементов (на рис.2 кнопка **Harel.dat** панели инструментов). В качестве основных параметров элементов моделируемых систем в ПК АСМ 2001 используются: статические вероятности свершения элементарных событий; интенсивности отказов элементов, средние времена восстановления элементов, признаки двух видов групп несовместных событий, признаки размножения функциональных вершин СФЦ, коды четырех законов распределения времени безотказной работы элементов, собственные времена работы элементов, характеристики эффективности или риска различных режимов работы системы.

8. **Модули автоматического построения логических моделей** позволяют формировать несколько видов логических функций работоспособности систем (ФРС) и логических функций переходов (ЛФП): монотонных (в базисе операций "И", "ИЛИ"), для систем первого и второго типов [1], и любых немонотонных логических функций (в базисе операций "И", "ИЛИ", "НЕ"); ФРС с учетом любого начального состояния системы, групп несовместных событий, многофункциональных элементов, элементов с числом состояний больше двух [4], комбинаторных, последовательных и сетевых процессов [3]. Логическое моделирование в ПК АСМ 2001 реализует все комбинаторные возможности классической алгебры логики и учитывает зависимости, представляемые с помощью логики групп несовместных событий и логики последовательностей событий в сложных системных объектах и процессах [3,4,9].

9. **Модули автоматического построения расчетных математических моделей** выполняют формирование: многочленов вероятностных функций (для независимых и нескольких видов зависимых событий) [2-4,9]; имитационных моделей для проведения статистических расчетов [7]; марковских цепей и соответствующих матриц переходных вероятностей для расчета условных законов живучести (возможно построение соответствующих дифференциальных и алгебраических уравнений) [6,10]; логических последовательностей для расчета различных вариантов сетевых планов работ элементов моделируемых систем [3,10].

Размерности логических и расчетных математических моделей в ПК АСМ 2001 ограничены только объемами оперативной памяти компьютера и в настоящее время достигают нескольких десятков тысяч слагаемых. После реализации в ПК АСМ методов структурной декомпозиции [2] ограничения по размерности формируемых моделей практически будут сняты.

10. **Модули реализации методик выполнения расчетов** предназначены для количественной оценки различных свойств систем (безотказности, готовности, стойкости, живучести, безопасности, эффективности, риска функционирования) на основе полученных на предыдущих

этапах расчетных математических моделей. Одновременно с расчетом общесистемных показателей определяются соответствующие характеристики роли отдельных элементов (значимостей и вкладов) [1,6,10]. Это обеспечивает возможность автоматизации процессов решения многих специальных задач оптимизации, распределения ресурсов, целевого планирования и управления системами. Автоматическое построение моделей позволяет организовать решение указанных задач в реальном масштабе времени функционирования систем. В ПК АСМ 2001 включение различных методик моделирования и расчетов осуществляется с помощью управляющих элементов Основного окна, изображенного на рис.3.

11. Модули сохранения, накопления и вывода результатов позволяют формировать в памяти компьютера библиотеки исходных структур исследуемых систем, параметров их элементов, а также всех результатов автоматического моделирования и расчетов системных характеристик. Часть наиболее важной информации оперативно выводится на индикаторные панели Основного окна (см. рис.3) в процессе автоматического моделирования и расчетов.

Участникам Международной Научной Школы МА БРК 2001 для опытной эксплуатации предоставляется Учебно-исследовательский образец ПК АСМ 2001 и учебное пособие по Теоретическим основам общего логико-вероятностного метода автоматизированного структурно-логического моделирования систем. С помощью этого комплекса можно решить практически все опубликованные в литературных источниках задачи аналитического логико-вероятностного моделирования систем, а также любые задачи данного класса, разработанные пользователем.

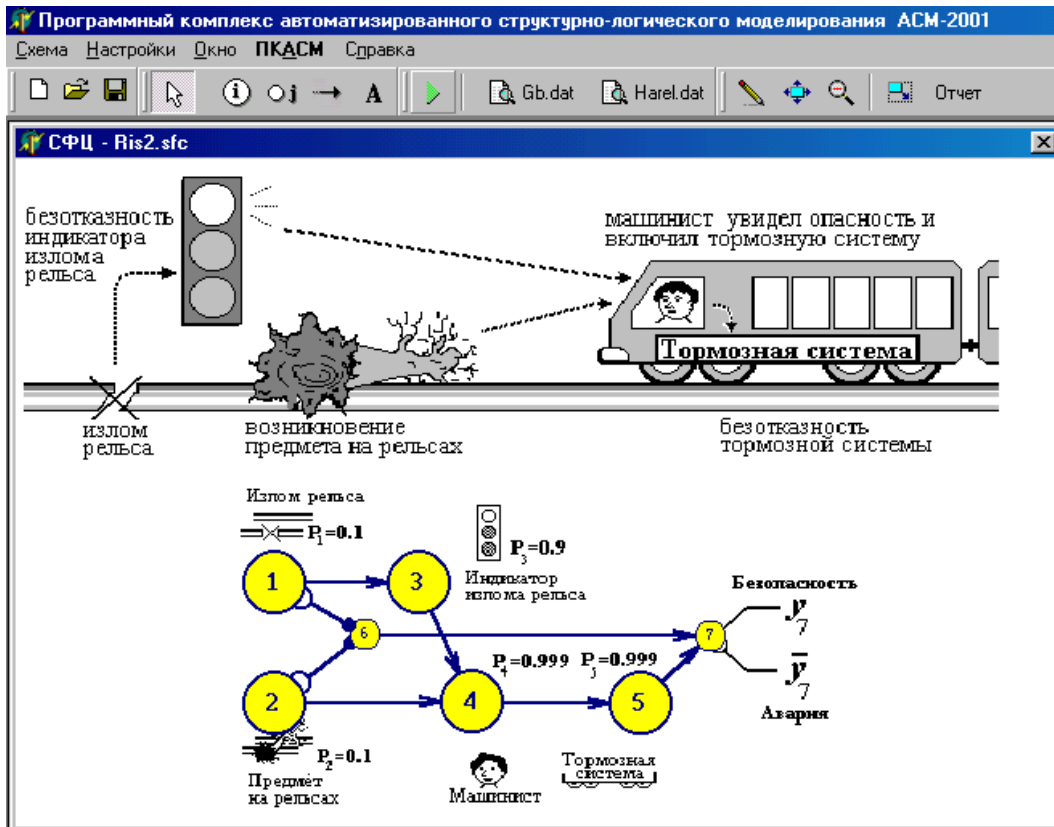
ЛИТЕРАТУРА

1. **Рябинин И.А.** Надежность и безопасность структурно-сложных систем. СПб.: Политехника, 2000. – 248 с.
2. **Можаев А.С.** Общий логико-вероятностный метод анализа надежности структурно-сложных систем. Уч. пос. Л.:ВМА, 1988. – 68с.
3. **Можаев А.С.** Учет временной последовательности отказов элементов в логико-вероятностных моделях надежности. Межвузовский сборник: Надежность систем энергетики. Новочеркасск: НПИ, 1990, с. 94-103.
4. **Черкесов Г.Н., Можаев А.С.** Логико-вероятностные методы расчета надежности структурно-сложных систем. В кн. Надежность и качество изделий. М.: Знание, 1991. –с.3-65.
5. **Mozhaev A.S.** Theory and practice of automated structural-logical simulation of system. International Conference on Informatics and Control (ICI&C'97). Том 3. St.Petersburg: SPIIRAS, 1997. - p.1109-1118.
6. **Можаев А.С.** Современное состояние и некоторые направления развития логико-вероятностных методов анализа систем. В сб.: Теория и информационная технология моделирования безопасности сложных систем. Под редакцией И.А. Рябининой. Препринт 101. СПб.: ИПМАШ РАН, 1994. - с.23-53.
7. **Можаев А.С., Алексеев А.О.** Автоматизированное структурно-логическое моделирование и вероятностный анализ сложных систем. Там же, Препринт 104. - с.17-42.
8. **Можаев А.С.** Автоматизированное структурно-логическое моделирование в решении задач вероятностного анализа безопасности. Там же, Препринт 110. - с.16-38.
9. **Можаев А.С.** Формализмы для автоматизации логико-вероятностного моделирования. Труды семинара "Компьютерные системы интеллектуальной поддержки моделирования" СПб.: СПИИРАН, Ленэкспо, 1999. -12 с.
10. **Можаев А.С.** Технология автоматизации процессов построения логико-вероятностных моделей систем. Труды международной научной конференции "Интеллектуальные системы и информационные технологии в управлении". ИСИТУ2000 IS@ITS. Псков: 2000. – с. 257-262.
11. **Можаев А.С., Алексеев А.О., Громов В.Н.** Автоматизированное логико-вероятностное моделирование технических систем. Руководство пользователя ПК АСМ, версия 5.0. СПб.: ВИТУ, 1999. – 64 с.

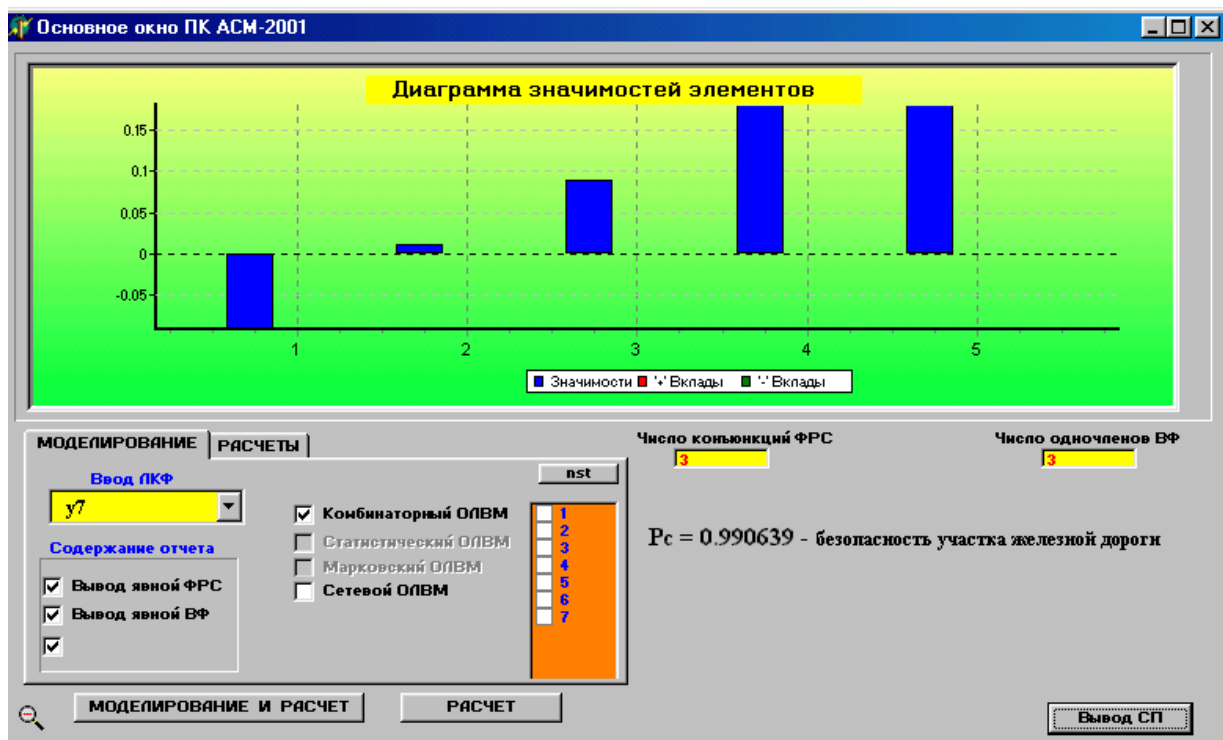
12. **Конев В.П., Можяев А.С.** Программный комплекс автоматизированного проектирования радиоэлектронной защиты систем ВМФ. Учебно-методическое пособие. СПб.: ВВМУРЭ им.А.С.Попова, ВМА, 1996. – 49 с.
13. **Соложенцев Е.Д., Карасев В.В., Соложенцев В.Е.** Логико-вероятностные модели риска в банках, бизнесе и качестве. СПб.: Наука, 1999. – 120 с.

СЛАЙДЫ и РИСУНКИ

ОКНО ГРАФИЧЕСКОГО РЕДАКТОРА ПОДГОТОВКИ СФЦ СИСТЕМ



ОКНО ВЫВОДА РЕЗУЛЬТАТОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ И ВЕРОЯТНОСТНЫХ РАСЧЕТОВ



Инструкция по установке и использованию учебно-исследовательского образца программного комплекса автоматизированного структурно-логического моделирования ПК АСМ 2001

1. Перепишите с установочной дискеты архивный файл **acm_2001.exe** на винчестер (в любое место) и запустите его на саморазархивацию. После этого на диске появится папка **АСМ_2001** программного комплекса автоматизированного структурно-логического моделирования.
2. Откройте папку АСМ_2001, а в ней найдите файл **Sfcedit1.exe**. Перетащите ярлык этого файла на рабочий стол и переименуйте его, например, в **Асм 2001**. С помощью этого ярлыка будет осуществляться запуск ПК АСМ.
3. После запуска **Асм 2001** на экране высвечивается основное окно редактора схем функциональной целостности (СФЦ)

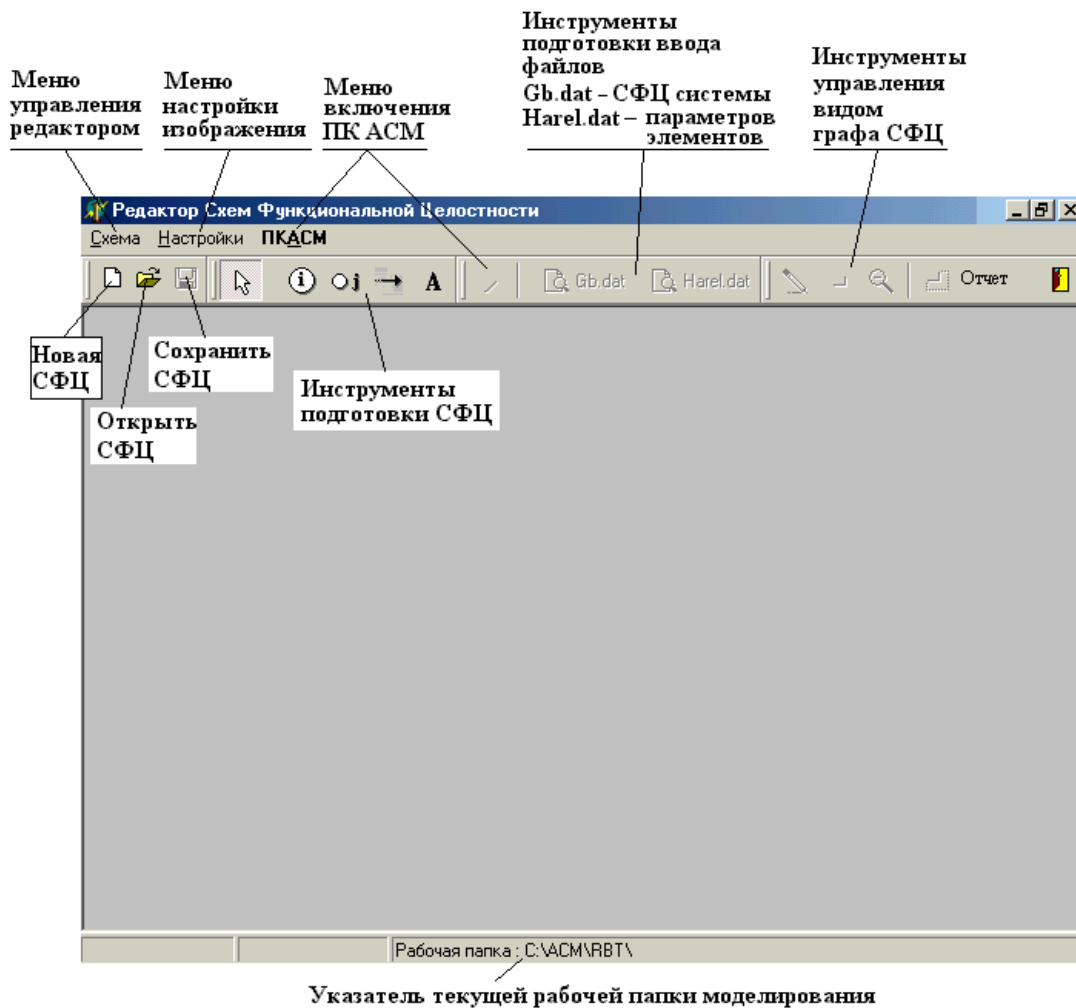


Рис1. Основное окно редактора СФЦ

4. С помощью меню и инструментов редактора осуществляется подготовка **графа** СФЦ исследуемой системы и двух файлов исходных данных **Gb.dat** – СФЦ системы и **Harel.dat** – параметров элементов.
5. На рис.2 приведен учебный пример подготовки СФЦ для анализа надежности системы электроснабжения, описанного в пособии [3].

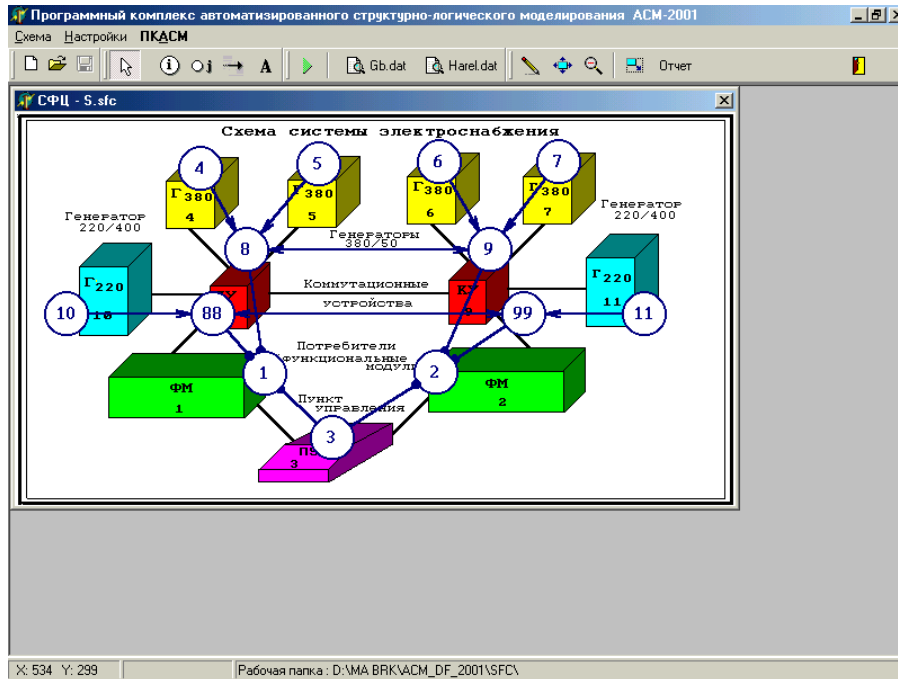


Рис.2. Пример подготовки СФЦ учебного примера

- После разработки графа СФЦ с помощью кнопки **Gb.dat** панели инструментов осуществляется просмотр кодовой таблицы СФЦ и запись соответствующего файла в рабочую папку.
- Далее, с помощью кнопки **Harel.dat** панели инструментов, на экран вызывается, заполняется, а затем записывается в виде соответствующего файла, таблица параметров элементов исследуемой системы. Вид такой таблицы для рассматриваемого примера приведен на рис.3

Схема системы электроснабжения

Генераторы

Файл Harel.dat

Номер версии	Вероятность события	Аттенсивности отказов	Ср. время восстановления	Признак несовместимости	Код закона	Время работы	Описание события и выходной функции элемента
1	0.842625323	5	-1	0	1	-1	Безотказность потребителя ФМ-1
3	0.686113421	11	-1	0	1	-1	Безотказность пульта управления 3
4	0.424788287	25	-1	0	1	-1	Безотказность генератора Г380 в № 4
5	0.424788287	25	-1	0	1	-1	Безотказность генератора Г380 в № 5
6	0.424788287	25	-1	0	1	-1	Безотказность генератора Г380 в № 6
7	0.424788287	25	-1	0	1	-1	Безотказность генератора Г380 в № 7
8	0.902361804	3	-1	0	1	-1	Безотказность распредел. щита № 8
9	0.902361804	3	-1	0	1	-1	Безотказность распредел. щита № 9
10	0.59827867	15	-1	0	1	-1	Безотказность генератора Г220 в № 10
11	0.59827867	15	-1	0	1	-1	Безотказность генератора Г220 в № 11
2	0.842625323	5	-1	0	1	-1	Безотказность потребителя ФМ-2

Х: 409 Y: 5 Рабочая папка : D:\МА BRK\АСМ_DF_2001\SFCL

Рис.3. Окно ввода значений параметров элементов

8. После подготовки исходных данных с помощью меню или кнопки включается основной режим моделирования ПЕ АСМ. Вид рабочей панели режима моделирования приведен на рис.4.

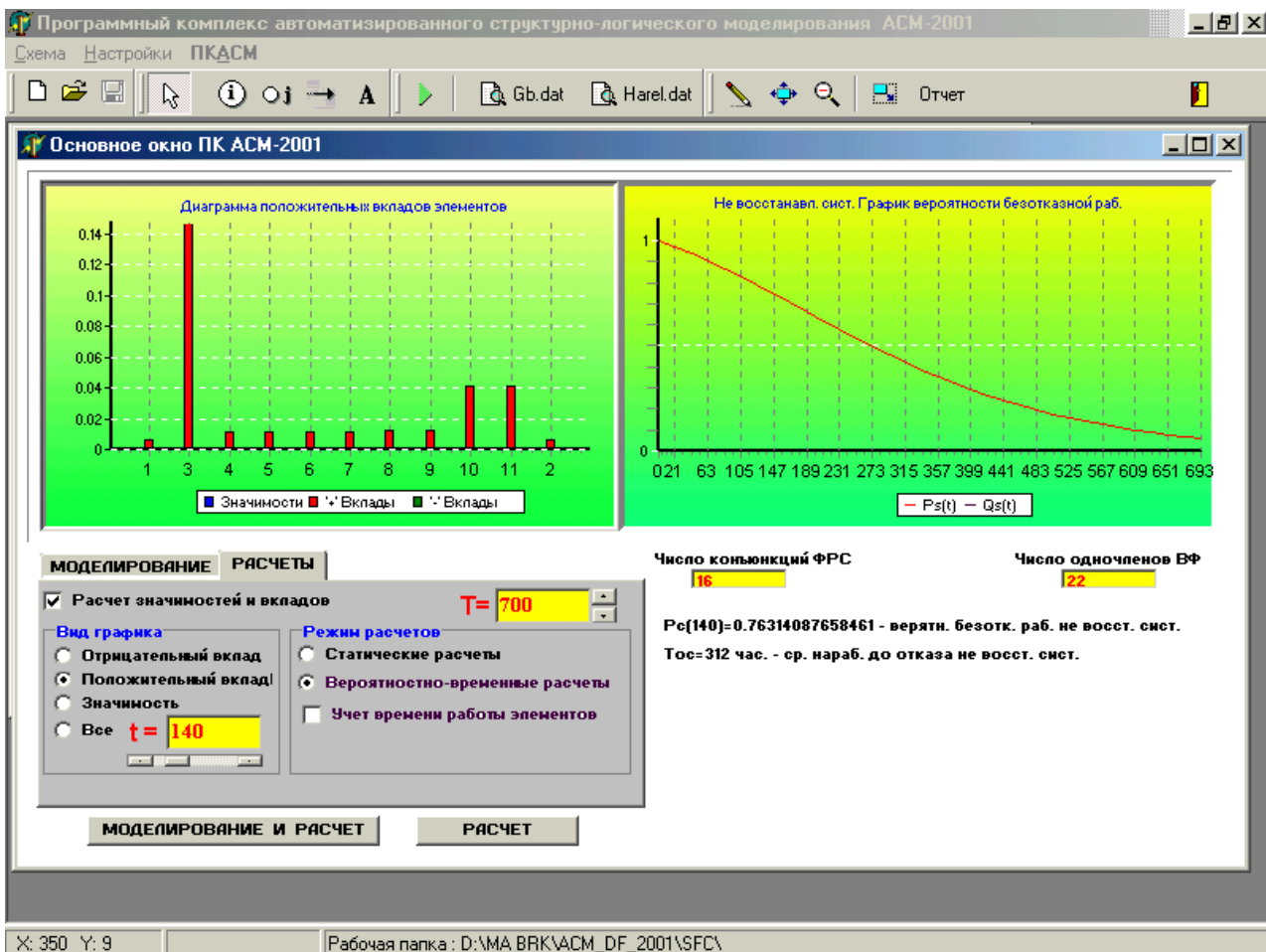


Рис.4. Панель автоматического логико-вероятностного моделирования и расчетов

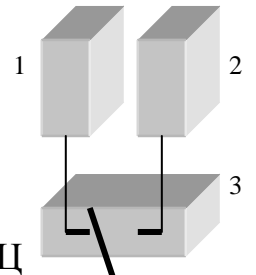
Литература

1. Можаяв А.С., Громов В.Н. Теоретические основы общего логико-вероятностного метода автоматизированного моделирования систем. СПб.: ВИТУ, 2000. –144 с.
2. Можаяв А.С., Алексеев А.О., Громов В.Н. Автоматизированное логико-вероятностное моделирование технических систем. СПб.: ВИТУ, 1999. –64 с.

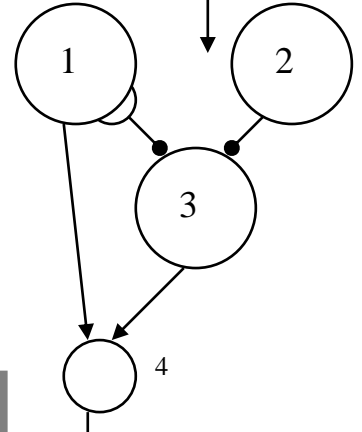
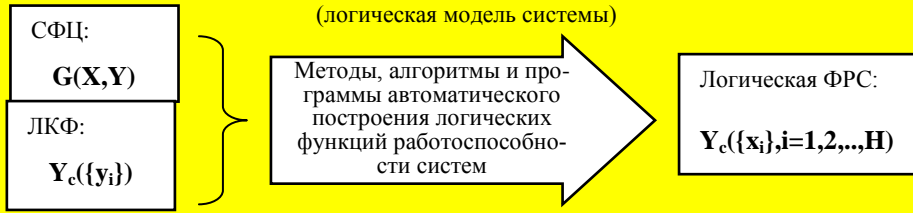
ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СТРУКТУРНО-ЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ

ЭТАП I. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИССЛЕДУЕМОЙ СИСТЕМЫ (первичная структурно-логическая модель системы)

1. Построение структурной модели системы в виде графа $G(X,Y)$ схемы функциональной целостности (СФЦ)
2. Определение вероятностных (и других) параметров элементов ($P_i, t, \lambda_i, t_{\text{вр}}, ГНС, \dots$)
3. Задание условий работоспособности системы с помощью одного или нескольких логических критериев функционирования (ЛКФ): $Y_c = Y_c(\{y_i\}, i=1,2,\dots,H)$



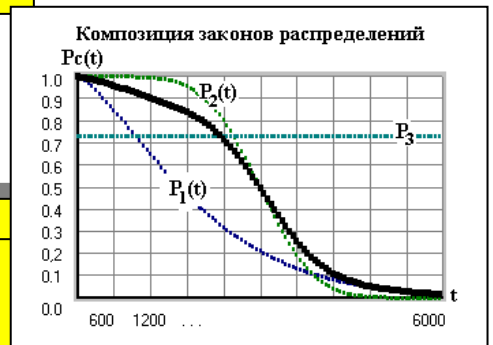
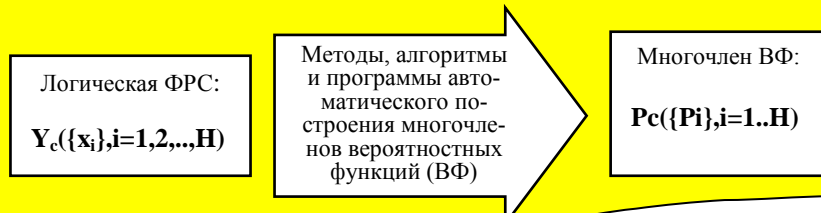
ЭТАП II. ПОСТРОЕНИЕ ЛОГИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ РАБОТСПОСОБНОСТИ СИСТЕМЫ (логическая модель системы)



ФРС: $Y_c = Y_4$
 $Y_c = x_1 \vee x'_1 x_2 x_3$

ВФ:
 $P_c = P_1 + Q_1 \cdot P_2 \cdot P_3$

ЭТАП III. ПОСТРОЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ (многочлен вероятностной функции)

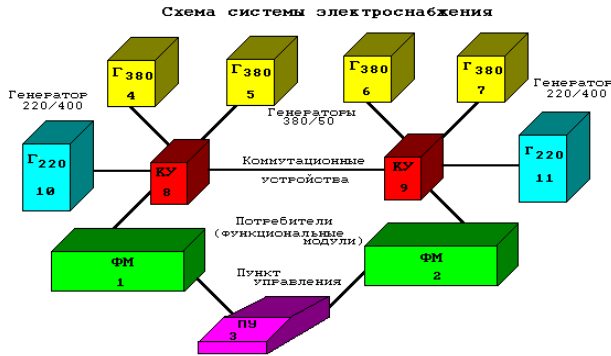


ЭТАП IV. ПРИМЕНЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ (расчеты системных характеристик)

$P_c(\{P_i\}, i=1..H)$ – общесистемная вероятностная характеристика
 $\xi_i = P_c\{P_i=1\} - P_c\{P_i=0\}$ – значимости элементов системы
 $\beta_i = P_c\{P_i=1\} - P_c$ – положительные вклады элементов системы



ПРИМЕР АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ



ЛКФ: $Y_c = y_1 \vee y_2$

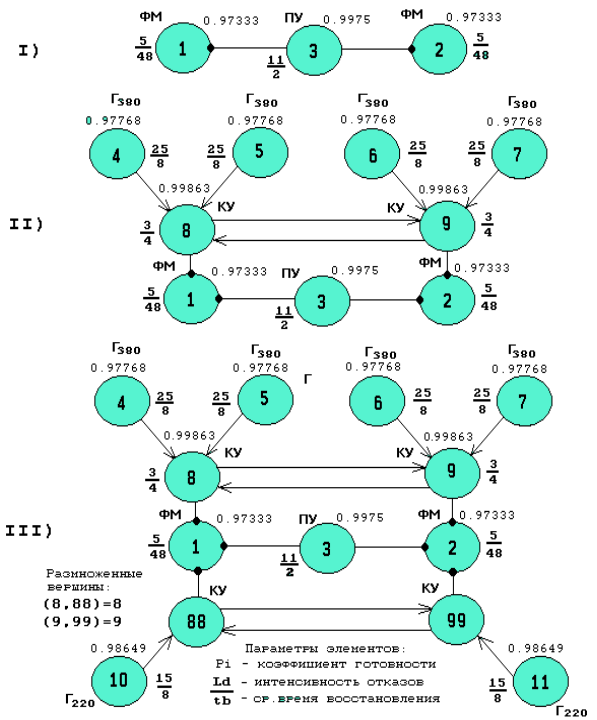
Логическая ФРС (**K1=16**):

$$Y_c = y_1 \vee y_4 = 2.3.5.8.9.10 \vee 2.3.4.8.9.10 \vee 2.3.7.8.9.10 \vee 2.3.6.8.9.10 \vee 2.3.5.8.9.11 \vee 2.3.4.8.9.11 \vee 2.3.7.9.11 \vee 2.3.6.9.11 \vee 1.3.7.8.9.11 \vee 1.3.6.8.9.11 \vee 1.3.5.8.9.11 \vee 1.3.4.8.9.11 \vee 1.3.7.8.9.10 \vee 1.3.6.8.9.10 \vee 1.3.5.8.10 \vee 1.3.4.8.10$$

Многочлен вероятностной функции (**K2=28**):

$$P_c = P1.Q2.P3.Q4.Q5.P6.Q7.P8.P9.P10.Q11 + P1.Q2.P3.P4.Q5.Q6.Q7.P8.P9.Q10.P11 + P2.P3.Q4.Q5.P7.P8.P9.P10.Q11 + P2.P3.P5.Q6.Q7.P8.P9.Q10.P11 + Q1.P2.P3.P5.P8.P9.P10 + P1.Q2.P3.P7.P8.P9.P11 + P1.P3.P4.Q5.P8.P10 + P2.P3.P6.Q7.P9.P11 + P2.P3.P7.P9.P11 + P1.P3.P5.P8.P10 + Q1.P2.P3.P4.Q5.P8.P9.P10 + P1.Q2.P3.P6.Q7.P8.P9.P11 + P2.P3.Q4.Q5.P6.Q7.P8.P9.P10.Q11 + P2.P3.P4.Q5.Q6.Q7.P8.P9.Q10.P11 + P1.Q2.P3.P5.Q6.Q7.P8.P9.Q10.P11 + P1.Q2.P3.Q4.Q5.P7.P8.P9.P10.Q11 - P1.Q2.P3.P5.P6.Q7.P8.P9.P10.P11 - P1.P2.P3.P5.P7.P8.P9.P10.P11 - Q1.P2.P3.P4.Q5.P7.P8.P9.P10.P11 - P1.P2.P3.P5.P6.Q7.P8.P9.P10.P11 - Q1.P2.P3.P4.Q5.P6.Q7.P8.P9.P10.P11 - P1.P2.P3.P4.Q5.P6.Q7.P8.P9.P10.P11 - P1.P2.P3.P4.Q5.P6.Q7.P8.P9.P10.P11 - P1.P2.P3.P4.Q5.P6.Q7.P8.P9.P10.P11 - P1.Q2.P3.P4.Q5.P7.P8.P9.P10.P11 - P1.Q2.P3.P5.P7.P8.P9.P10.P11 - Q1.P2.P3.P5.P6.Q7.P8.P9.P10.P11 - Q1.P2.P3.P5.P7.P8.P9.P10.P11$$

Этапы построения схемы функциональной целостности системы



Результаты расчетов безотказности **невосстанавливаемой** СЭ:

Рс(5000)=0.130915 - вероятность безотказной работы
ТОс=5168 час – средняя наработка до первого отказа невосстанавливаемой СЭ

Результаты расчетов безотказности **восстанавливаемой** СЭ:

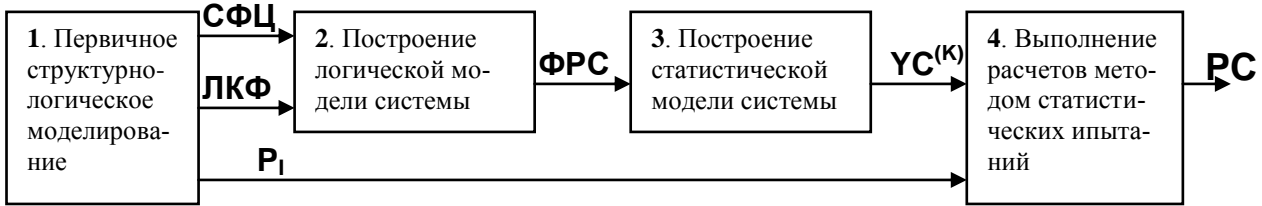
КГс=0.999738 - коэффициент готовности
ТОс=7884 час - средняя наработка между отказами
Твс=2.1 час - среднее время восстановления
Qс(5000)=0.469186 – вероятность первого отказа восстанавливаемой СЭ

Результаты расчетов безотказности **смешанной** системы СЭ:

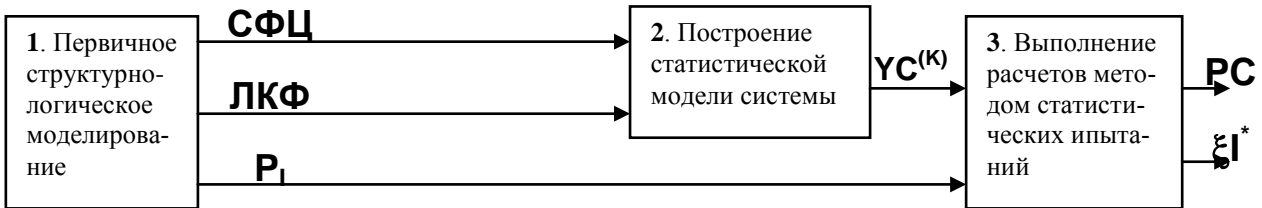
РКГс(5000) = 0.4457558 - коэффициент готовности смешанной СЭ
Qсс(5000) = 0.7048718 – вероятность первого отказа смешанной СЭ

ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

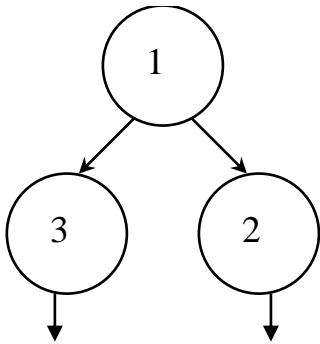
I. Этапы классического логико-статистического моделирования (ЛСМ Рябинина И.А.)



II. Этапы итерационного логико-статистического моделирования (ИЛСМ Алексева А.О.)



СФЦ системы:



Логический критерий и ФРС

$$Y_C = Y_2 \vee Y_3 = X_1 \cdot X_2 \vee X_1 \cdot X_3$$

Система логических уравнений:

$$\begin{cases} Y_1 = X_1 \\ Y_2 = X_2 \cdot Y_1 \\ Y_3 = X_3 \cdot Y_1 \end{cases}$$

k	x ₁	x ₂	x ₃	Y _C ^(k)	P _C [*]
1	0	0	0	0	n = 8 Y _C ^(k) = 3
2	0	0	1	0	
3	0	1	0	0	
4	0	1	1	0	
5	1	0	0	0	
6	1	0	1	1	
7	1	1	0	1	
8	1	1	1	1	

$$P_C^* = 3/8 = 0.375$$

Результаты ИЛСМ-анализа надежности системы электроснабжения

Результаты оценки безотказности **невосстанавливаемой** СЭ:

Для 10000 ст.испытаний **P_C^{*}(5000) = 0.12950** – вероятность безотказной работы
Аналитические расчеты: P_C(5000) = 0.130915

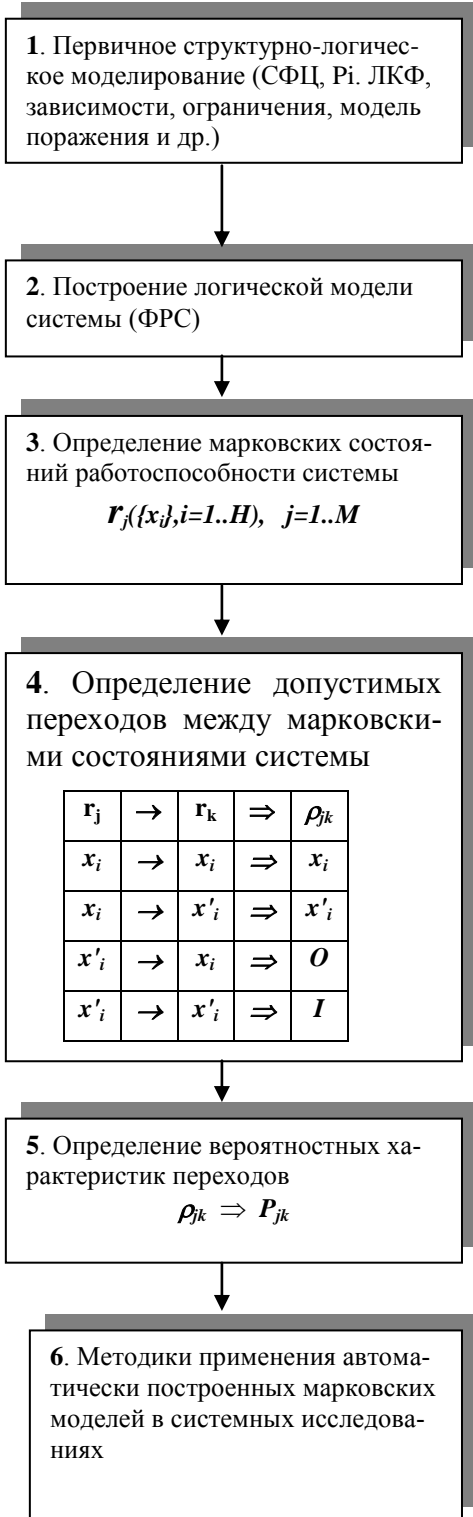
Результаты оценки безотказности **восстанавливаемой** СЭ:

Для 100000 ст.испытаний **КГс^{*} = 0.99981** – коэффициент готовности системы
Аналитические расчеты: КГс = 0.999738

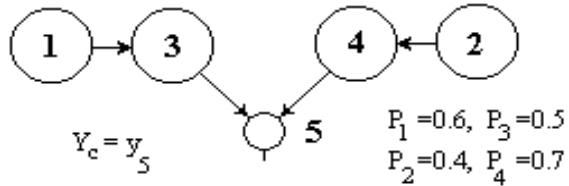
Результаты оценки безотказности **смешанной** системы СЭ:

Для 100000 ст.испытаний **РКГс^{*}(5000) = 0.44595** – вероятность готовности СЭ
Аналитические расчеты: РКГс(5000) = 0.4457558

ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СТРУКТУРНО-ЛОГИЧЕСКОГО ПОСТРОЕНИЯ МАРКОВСКИХ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМ



1. Этап первичного моделирования



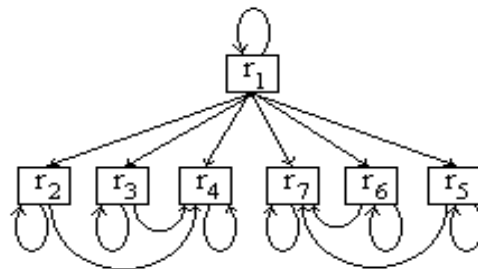
2. Этап построения логической модели

$$Y_c = y_5 = x_1 \cdot x_3 \vee x_2 x_4$$

3. Этап определения марковских состояний

$$\text{СДНФ } Y_c = y_5 = \left| \begin{array}{l} x_1 \cdot x_3 \cdot x_2 \cdot x_4 \\ x_1 \cdot x_3 \cdot x_2 \cdot \bar{x}_4 \\ x_1 \cdot x_3 \cdot \bar{x}_2 \cdot x_4 \\ x_1 \cdot x_3 \cdot \bar{x}_2 \cdot \bar{x}_4 \\ x_1 \cdot \bar{x}_3 \cdot x_2 \cdot x_4 \\ \bar{x}_1 \cdot x_3 \cdot x_2 \cdot x_4 \\ \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_3 \cdot x_2 \cdot x_4 \end{array} \right| = \left| \begin{array}{l} r_1 \\ r_2 \\ r_3 \\ r_4 \\ r_5 \\ r_6 \\ r_7 \end{array} \right|$$

4. Этап определения допустимых переходов



5. Этап определения вероятностей переходов

k \ j	r1	r2	r3	r4	r5	r6	r7
r1	0.084	0.036	0.126	0.054	0.084	0.056	0.056
r2		0.12		0.18			
r3			0.21	0.09			
r4				0.3			
r5					0.168		0.112
r6						0.14	0.14
r7							0.28

Результаты марковского моделирования надежности системы электроснабжения

$S = 231$ - число марковских состояний работоспособности невозстанавливаемой СЭ

$ISW = 3245$ - число допустимых переходов из основного начального состояния системы

$P_c(5000) = 0.13091$ – результат расчета вероятности безотказной работы СЭ на основе автоматически построенной цепи Маркова (Полученный ранее аналитический расчет составил $P_c(5000) = 0.130915$, а статистический - 0.12950).