

# 06, июнь 2016

УДК 621.382

## **Обзор программных комплексов расчета надежности технических систем**

*Шаламов А.В., магистрант  
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
кафедра «Проектирование и технология производства  
электронной аппаратуры»*

*Научный руководитель: Соловьев В.А., доцент  
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
кафедра «Проектирование и технология производства  
электронной аппаратуры»  
[info@iu4.bmstu.ru](mailto:info@iu4.bmstu.ru)*

### **Введение**

В настоящее время на рынке систем расчета надежности существует много решений как зарубежного, так и российского производства. К наиболее популярным зарубежным системам расчета надежности можно отнести следующие: Relex, Risk Spectrum, A.L.D., ISOgraph. Из российских систем можно выделить системы: Арбитр, АСМ, АСОНИКА-К. Некоторые из приведенных систем помимо инструментов расчета параметров надежности позволяют решать широкий спектр связанных инженерных задач. Далее рассмотрим подробнее приведенные программные комплексы (ПК) с точки зрения применения их для расчета надежности ЭРА.

### **ПК Relex и Risk Spectrum ПК**

Relex и Risk Spectrum позволяют проводить логико-вероятностный анализ надежности и безопасности технических систем, например, расчет надежности современных автоматизированных систем управления технологическими, оптимизацию техногенного риска и определение оптимальных параметров системы технического обслуживания потенциально опасных объектов. Основное применение ПК Risk Spectrum получил в вероятностном анализе безопасности объектов атомной энергетики на стадии проектирования. Комплекс Spectrum используется более чем на 50% атомных станций мира, включен в перечень программных средств, аттестованных Советом по аттестации

программных средств Госатомнадзора России в 2003 г. ПК Relex и Risk Spectrum могут быть использованы для расчета надежности не только управляющих или технологических систем, но и изделий приборостроения на транспорте, в оборонной технике. В основе моделирования и расчета показателей надежности и безопасности технических систем, широко применяемых в Европе и США, лежат логико-вероятностные методы, использующие в качестве средства построения графических моделей надежности деревья событий и деревья отказов (рисунок 1).

Использование аппарата математической логики позволяет формализовать условия работоспособности сложных технических систем и расчет их надежности. Если можно утверждать, что система работоспособна в случае работоспособности ее элементов А и В, то можно сделать вывод о том, что работоспособность системы (событие С) и работоспособность элементов А и В (событие А и событие В) связаны между собой логическим уравнением работоспособности:  $C = A \wedge B$ . Здесь обозначение  $\wedge$  используется для отображения логической операции И. Логическое уравнение работоспособности для данного случая может быть представлено схемой последовательного соединения элементов А и В. В общем случае под деревом событий понимается графическая модель, описывающая логику развития различных вариантов аварийного процесса, вызываемого рассматриваемым исходным событием. Под деревом отказов понимается графическая модель, отображающая логику событий, приводящих к отказу системы вследствие возникновения различных комбинаций отказов оборудования и ошибок персонала.

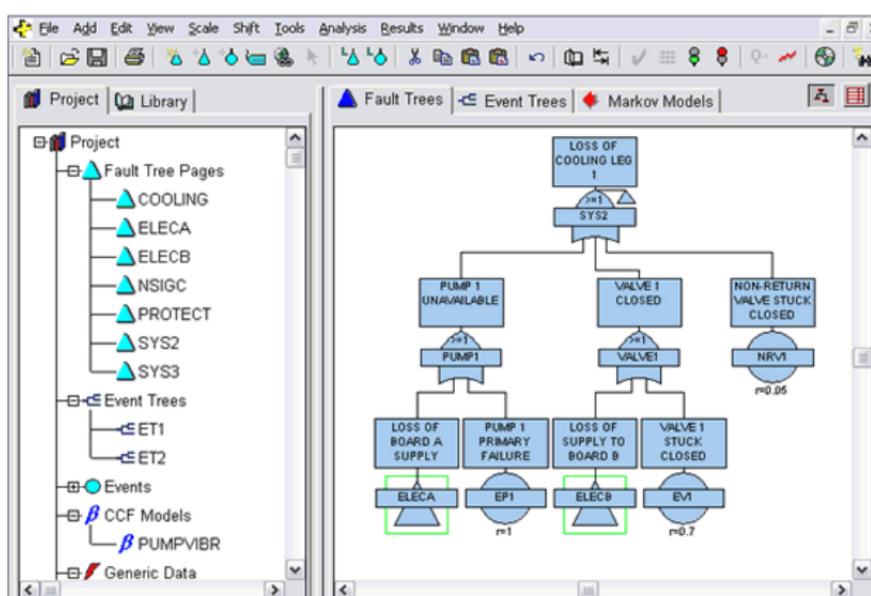


Рис. 1. Дерево отказов в ПК Relex

В состав дерева отказов входят графические элементы, служащие для отображения элементарных случайных событий (базисных событий) и логических операторов. Каждому логическому оператору булевой алгебры соответствует определенный графический элемент, что позволяет производить декомпозицию сложных событий на более простые (базисные или элементарные). В модуле дерева отказов ПК Relex используются логико-динамические операторы, учитывающие зависимость событий, временные соотношения, приоритеты. Он позволяет осуществлять расчет следующих показателей: вероятность отказа, неготовность, параметр потока отказов, среднее число отказов. Значения показателей вычисляются как для вершинного события, так и для каждого промежуточного.

Для каждого выделенного события можно просматривать и анализировать наборы соответствующих минимальных сечений. В ПК Risk Spectrum дерево событий представляется в виде таблицы, содержащей строку заголовков, поле, в котором помещен разомкнутый бинарный граф, несколько столбцов с характеристиками конечных состояний моделируемого объекта, реализующихся в процессе осуществления аварийных последовательностей (рисунок 2). В заголовке 1-го столбца таблицы указывается обозначение исходных событий. В последующих заголовках столбцов слева направо размещаются названия и условные обозначения промежуточных событий, соответствующих успешному или неуспешному выполнению функций безопасности, работоспособным или отказовым состояниям систем безопасности или отдельных компонентов (оборудования и технических средств), правильным или ошибочным действиям персонала. В столбцах, характеризующих конечные состояния (КС), указываются их номера, условные обозначения, типы (например, КС с повреждением активной зоны), вероятности реализации, логические формулы, соответствующие данным аварийным последовательностям (АП). С помощью АП на дереве событий отображаются варианты развития аварийного процесса. При этом под АП понимается последовательность событий, приводящих к некоторому конечному состоянию объекта, включающая исходное событие аварии, успешные или неуспешные срабатывания систем безопасности и действия персонала в процессе развития аварии.

С ПК Relex работают многие известные зарубежные компании: LG, Boeng, Motorola, Dell, Cessna, Siemens, Raytheon, HP, Honda, Samsung, CiscoSystems, Nokia, EADS, 3M, NASA, Intel, GM, Kodak, AT&T, Philips, Pirelli, Quallcomm, Seagete, Emerson. В состав ПК Relex reliability studio 2007 входят различные аналитические модули для решения широкого спектра задач: прогнозирования безотказности, ремонтпригодности,

анализа видов, последствий и критичности отказов, марковского анализа, статистического анализа, оценки стоимости срока службы оборудования, а также блок-схемы надежности, дерева отказов/событий, система оповещения об отказах, анализе и корректирующих действиях, FRACAS-система (Failure Reporting Analysis and Corrective Action System), система оценки человеческого фактора и анализа рисков.

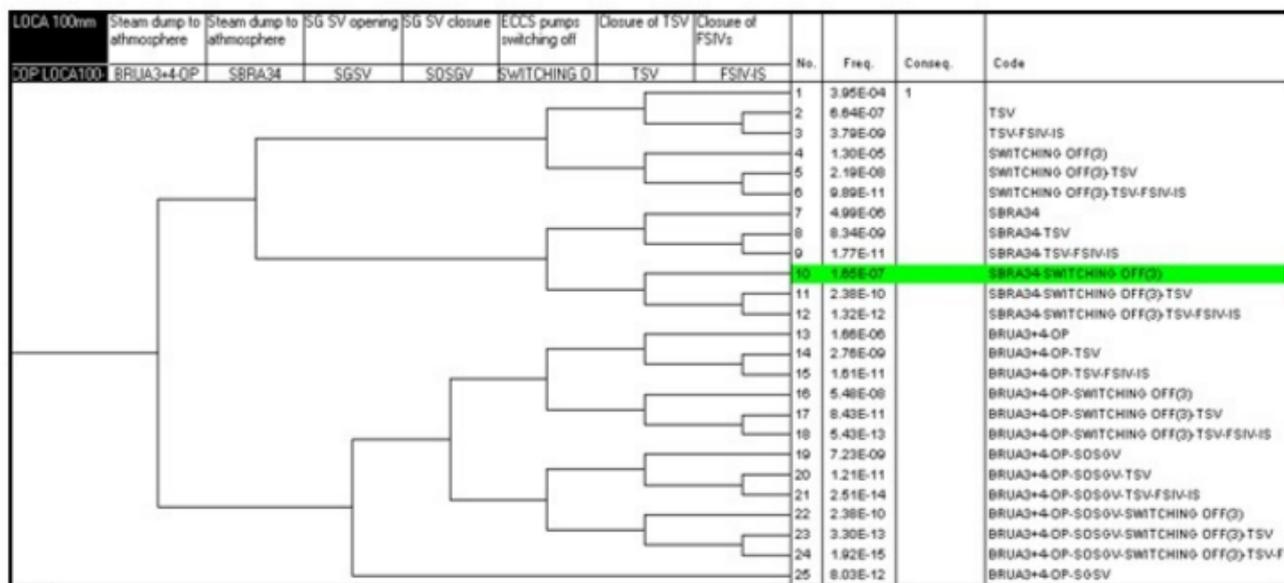


Рис. 2. Бинарное дерево событий в ПК Spectrum

Модуль прогнозирования безотказности содержит модели для расчета показателей надежности элементов. В него включена обширная база данных, содержащая классификационные признаки элементов и характеристики надежности. Расчеты проводятся в соответствии со стандартами: MIL-HDBK-217, Telcordia (Bellcore), TR-332, Prism, NSWC-98/LE1, CNET93, HRD5, GJB299. Модуль анализа ремонтпригодности реализует положения стандарта по исследованию ремонтпригодности систем — MIL-HDBK-472. Решаются задачи прогнозирования профилактики технического обслуживания. Модуль анализа видов, последствий и критичности отказов отвечает стандартам MIL-STD-1629, SAE ARP 5580 и др. Производится ранжирование опасных отказов и их оценка по приоритетам рисков.

Модуль блок-схемы надежности (RBD, Reliability Block Diagram) используется для анализа сложных резервированных систем. Содержит как аналитические методы, так и методы моделирования Монте-Карло. Модуль дерева отказов/дерева событий позволяет реализовывать процедуры для дедуктивного и индуктивного анализа развития отказов,

событий в системе. Применяется для анализа надежности и безопасности. Содержит широкий набор логико-функциональных вершин. Модуль марковского моделирования ПК Relex позволяет использовать процессы, которые применяются в моделировании и анализе надежности систем. Разрабатываемые с помощью этого аппарата модели являются динамическими и отражают необходимые временные условия и другие особенности, зависимости, которые конкретизируют траекторию переходов системы в пространстве возможных состояний, образованных отказами, восстановлением элементов. В модуле ПК Relex Markov реализованы марковские процессы с дискретным множеством состояний и непрерывным временем, учитывающие следующие особенности функционирования и резервирования систем: несовместные виды отказов элементов, последовательность возникновения отказов, изменение интенсивностей отказов элементов в зависимости от уже происшедших событий (в частности, степень нагруженности резерва), количество бригад по восстановлению (ограниченное/неограниченное), очередность восстановления, ограничения на ЗИП, различную эффективность функционирования в различных состояниях системы и доходы (потери) за переходы в состояния. Вычисляемые показатели: вероятность каждого из состояний, вероятность безотказной работы (отказа) на заданном интервале времени. Модуль статистического анализа «Weibull» предназначен для обработки результатов испытаний, эксплуатации.

Для описания катастрофических отказов на ваннообразной кривой интенсивности отказов широко используют нормальное, логнормальное распределения, распределение Вейбулла. Например, распределение Вейбулла, являющееся распределением минимальных величин, наиболее часто используется при прогнозировании вероятности безотказной работы и среднего времени наработки на отказ при заданном времени эксплуатации проектируемой сложной технической системы. Логнормальное и вейбулловское распределения одинаково хорошо описывают отказы, характерные для периода старения. Модуль статистического анализа «Weibull» использует различные виды распределений, включая нормальное, Вейбулла, логнормальное, равномерное, экспоненциальное, Гумбеля, Рэлея, биномиальное и другие.

Представление и анализ данных для выбранных классов параметрических распределений проводится с использованием метода «вероятностной бумаги». На ней анализируемое распределение представляется прямой линией, что обеспечивает наглядность и позволяет естественным образом применять все методы регрессионного анализа, в частности, проверку адекватности модели и значимости коэффициентов регрессии (фишеровский анализ). Для оценок параметров распределений предлагается

большой набор методов, например методы Хазена, Бенарда и их модификации, биномиальное оценивание, метод средних величин, метод максимального правдоподобия и его модификация. С помощью модуля экономических расчетов осуществляется оценка стоимости срока службы на всех этапах создания, эксплуатации, утилизации системы.

### **ПК АСМ**

Наиболее известным из отечественных ПК является программный комплекс автоматизированного структурно-логического моделирования (ПК АСМ). Теоретической основой является общий логико-вероятностный метод системного анализа, реализующий все возможности основного аппарата моделирования алгебры логики в базе операций «И», «ИЛИ», «НЕ». Форма представления исходной структуры системы — схема функциональной целостности, позволяющая отображать практически все известные виды структурных моделей систем. Комплекс автоматически формирует расчетные аналитические модели надежности и безопасности систем и вычисляет вероятность безотказной работы, среднюю наработку до отказа, коэффициент готовности, среднюю наработку на отказ, среднее время восстановления, вероятность отказа восстанавливаемой системы, вероятность готовности смешанной системы, а также значимость и вклад элементов в различные показатели надежности системы в целом.

ПК АСМ позволяет также автоматически определять кратчайшие пути успешного функционирования, минимальные сечения отказов и их комбинации. В качестве основного достоинства российских систем перед зарубежными стоит выделить более низкую стоимость внедрения и поддержки, отсутствие технологической зависимости и удобство подготовки персонала.

### **ПК АСОНИКА-К**

Также на российском рынке представлена система АСОНИКА-К — программное средство решения задач анализа и обеспечения надежности в рамках автоматизированного проектирования РЭА. По своим возможностям подсистема АСОНИКА-К не уступает зарубежным ПК A.L.D. Group, Relex, Isograph и др. Преимуществом является возможность использовать при расчете готовую элементную базу производимую в этой стране, а также российские стандарты. Отвечает требованиям комплекса военных стандартов «Мороз-6» для РЭА ответственного применения и стандарту США MIL-HDBK-217 и стандарту КНР GJB/z 299B. АСОНИКА-К представляет собой программное средство, созданное в технологии «клиент-сервер». База данных серверной части ПК содержит

непрерывно пополняемую информацию о надежности как отечественных, так и зарубежных изделий электронной техники, построенную на уникальных принципах, которые существенно облегчают задачу ее администрирования, в том числе: редактирование данных о надежности ЭРИ, редактирование математических моделей ЭРИ, добавление новых классов ЭРИ.

В состав программного комплекса АСОНИКА-К входят следующие подсистемы: система расчета характеристик надежности составных частей, система расчета показателей надежности изделий, система анализа результатов, система архивации проектов, справочная система, система сопровождения базы данных, система администрирования пользователей, система анализа и учета влияния на надежность внешних факторов, информационно-справочная система по характеристикам надежности компонентов современной сложно-вычислительной техники (СВТ) и ЭРИ. БД клиентской части ПК содержит информацию о проектируемой РЭА.

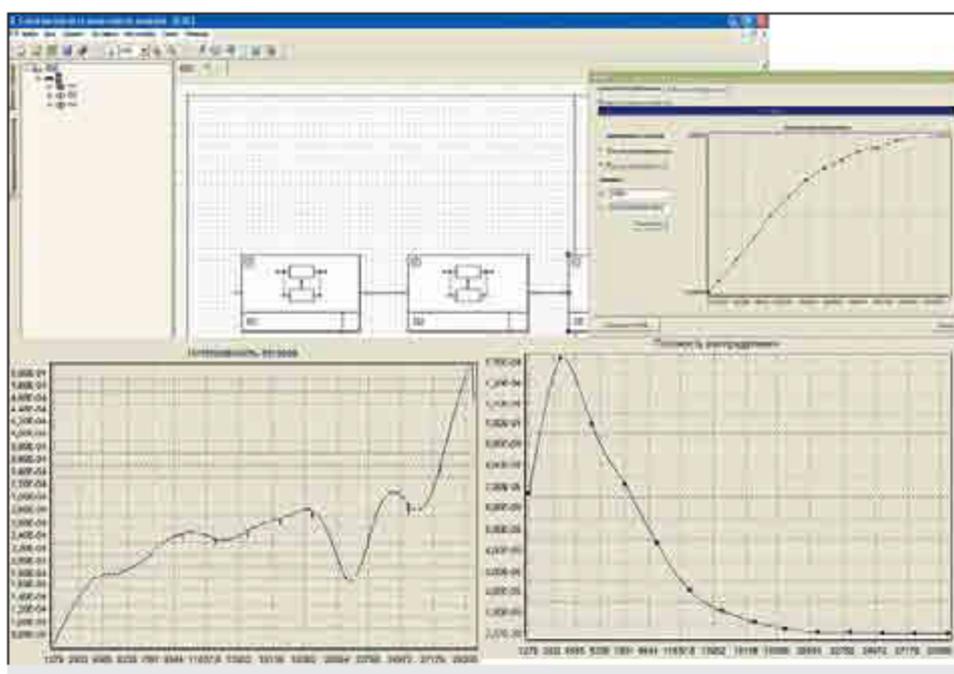


Рис. 3. Анализ резервирования в ПК АСОНИКА-К

Такая организация клиентской части позволяет проводить расчеты РЭА параллельно с нескольких рабочих станций. Клиентская часть программы имеет графический постпроцессор и интерфейсы с системами моделирования физических процессов и конструкторского проектирования, в том числе АСОНИКА-Т, Р-CAD 2001, АСОНИКА-М и др. Математическое ядро ПК содержит в качестве модели надежности

экспоненциальное и DN распределения и может быть адаптировано к любой другой модели надежности. Оно позволяет рассчитывать РЭА, содержащие до четырех иерархических уровней разукрупнения и имеющие различные типы резервирования. Результаты расчетов могут быть представлены как в текстовом, так и в графическом виде. ПК АСОНИКА-К позволяет проводить следующие виды анализа расчета надежности: анализ результатов расчетов надежности РЭА, СРН которых представляет собой произвольное соединение составных частей (древовидное, иерархическое) и анализ результатов расчета составных частей, с последовательным соединением.

Использование ПК АСОНИКА-К позволяет повышать надежность РЭА путем резервирования ее составных частей. На рисунке 3 показаны значения вероятности безотказной работы, коэффициент готовности и коэффициент оперативной готовности всего объекта в целом. Отказы составных частей являются внезапными и представляют собой независимые события, время до отказа является случайной величиной, распределенной по экспоненциальному закону с постоянной интенсивностью отказов  $\lambda$ . Также показаны функция и плотность распределения времени наработки на отказ, а также зависимость интенсивности отказов проектируемой РЭА с использованием графического анализа. ПК позволяет проводить расчет надежности с использованием различных видов резервирования составных частей: скользящее горячее резервирование, горячее резервирование и без резервирования, а также обеспечивает способы контроля их работоспособности (непрерывный/периодический).

В дальнейшем в ПК планируется добавить еще два модуля: система учета влияния на характеристики надежности внешних факторов и информационно-справочная система по характеристикам надежности элементной базы.

### **Заключение**

ПК Relex, Risk Spectrum и АСМ реализуют класс моделей оценки показателей надежности технических систем — логико-вероятностного моделирования. Его можно назвать классом статистических моделей, так как они позволяют вычислять показатели надежности, безопасности и эффективности систем в произвольный момент времени, в зависимости от возможных наборов работоспособных и неработоспособных состояний элементов системы. Отдельные модули ПК A.L.D. Group (RAM Commander), Relex, Isograph возможно использовать для автоматизированного расчета надежности отечественной РЭА только лишь на базе импортных ЭРИ, оценка надежности которых ведется по различным зарубежным справочникам.

Использование зарубежных ПК требует от пользователей высокой подготовки в области математической статистики и ее приложения к задачам теории надежности. Российские ПК не уступают по возможностям зарубежным ПК и может быть рекомендован для проведения расчетов надежности отечественной РЭА на базе как импортных, так и отечественных ЭРИ. Главное преимущество — возможность вести расчеты надежности, используя отечественные базы компонентов и стандарты.

#### Список литературы

- [1]. Строганов А. В., Жаднов В. К., Полесский С. М. Обзор программных комплексов по расчету надежности сложных технических систем / под ред. Д. Д. Краснова. М.: ВШЭ, 2007. 185 с.
- [2]. Тихомиров М. В., Шалумов А. С. Оценка надежности и качества РЭС / под ред. М. В. Хохлова. М.: Солон-пресс, 2010. 344 с.
- [3]. Шалумов А. С. Преимущества АС обеспечения надежности и качества аппаратуры АСОНИКА. М.: МИЭМ, 2008. 303 с.
- [4]. Затылкин А. В., Таньков Г. В., Кочегаров И. И. Алгоритмическое и программное обеспечение расчета параметров надежности РЭС/ под ред. С. П. Малюкwa. М.: ПГУ, 2013. 274 с.