

Обзор программных комплексов по расчету надежности сложных технических систем

Андрей СТРОГОНОВ,
 д. т. н.
 andreis@hotmail.ru
Валерий ЖАДНОВ,
 к. т. н.
 jadnov@mitme.ru
Сергей ПОЛЕССКИЙ
 serg@asonika-k.ru

На рынке программных комплексов (ПК) представлен ряд зарубежных и отечественных ПК, позволяющих проводить автоматизированный расчет надежности сложных технических систем, в том числе радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) и электрорадиоизделий (ЭРИ).

Наиболее распространенными среди зарубежных ПК являются: RELEX (Relax software Corporation, США); A.L.D.Group (Израиль); Risk Spectrum (Relcon AB, Швеция); ISOGRAPH (Великобритания).

Среди отечественных ПК, которые применяются на ряде предприятий: ПК АСОНИКА-К (МИЭМ-ASKsoft); ПК АСМ (ПК для автоматизированного структурно-логического моделирования и расчета надежности и безопасности систем, ОАО «СПИК СЗМА»); ПК «Универсал» (для расчетов надежности и функциональной безопасности технических устройств и систем, ФГУП «ВНИИ УП МПС РФ»); ИМК КОК (инструментально-моделирующий комплекс для оценки качества функционирования информационных систем, ФГУП «3 ЦНИИ МО РФ») и др. Для расчета надежности РЭА и ЭРИ также широко используют автоматизированную справочно-информационную систему (АСРН) (ФГУП «22 ЦНИИИ МО РФ»), автоматизированную систему расчета надежности ЭРИ и РЭА (АСРН-2000, ОАО «РНИИ «ЭЛЕКТРОНСТАНДАРТ»»), АСРН-1 (для ЭРИ и РЭА народнохозяйственного назначения, ОАО «РНИИ «ЭЛЕКТРОНСТАНДАРТ»»).

Рассмотрим наиболее популярные зарубежные и отечественные ПК с точки зрения их использования для расчета надежности РЭА.

ПК Relax и Risk Spectrum

ПК Relax и Risk Spectrum позволяют проводить логико-вероятностный анализ надежности и безопасности технических систем, например, расчет надежности современных автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП), 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

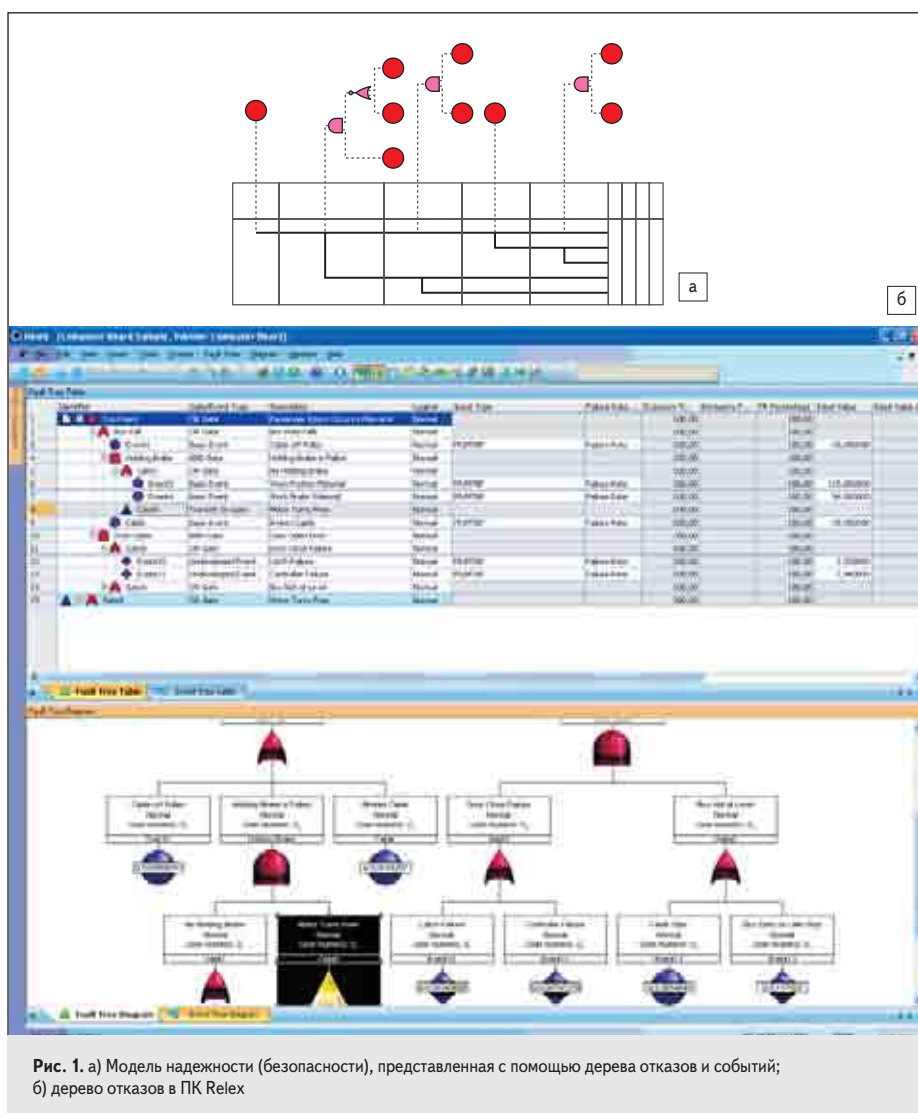


Рис. 1. а) Модель надежности (безопасности), представленная с помощью дерева отказов и событий; б) дерево отказов в ПК Relax

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 Relax и Risk Spectrum могут быть использованы для расчета надежно-

сти не только управляющих или технологических систем, но и изделий приборостроения, вычислительной техники, на транспорте, в оборонной технике.

В основе моделирования и расчета показателей надежности и безопасности техничес-

ких систем, широко применяемых в Европе и США, лежат логико-вероятностные методы, использующие в качестве средства построения графических моделей безопасности (надежности) деревья событий (ДС) и деревья отказов (ДО) рис. 1 и 2.

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 невыполнению заданной функции (отказу) системы вследствие возникновения различных комбинаций отказов оборудования и ошибок персонала (рис. 1а). В состав ДО 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) (таблица).

В модуле ДО ПК Relex используются логико-динамические операторы (вершины), учитывающие зависимость событий, временные соотношения, приоритеты (рис. 1б). Он позволяет осуществлять расчет следующих показателей: вероятность отказа; неготовность; параметр потока отказов; среднее число от-

Таблица. Примерный список вершин и событий в ПК Relex

Вершина	Название	Описание
	AND	Логическое И
	OR	Логическое ИЛИ
	NAND	Логическое И-НЕ
	NOR	Логическое ИЛИ-НЕ
	NOT	Логическое НЕ

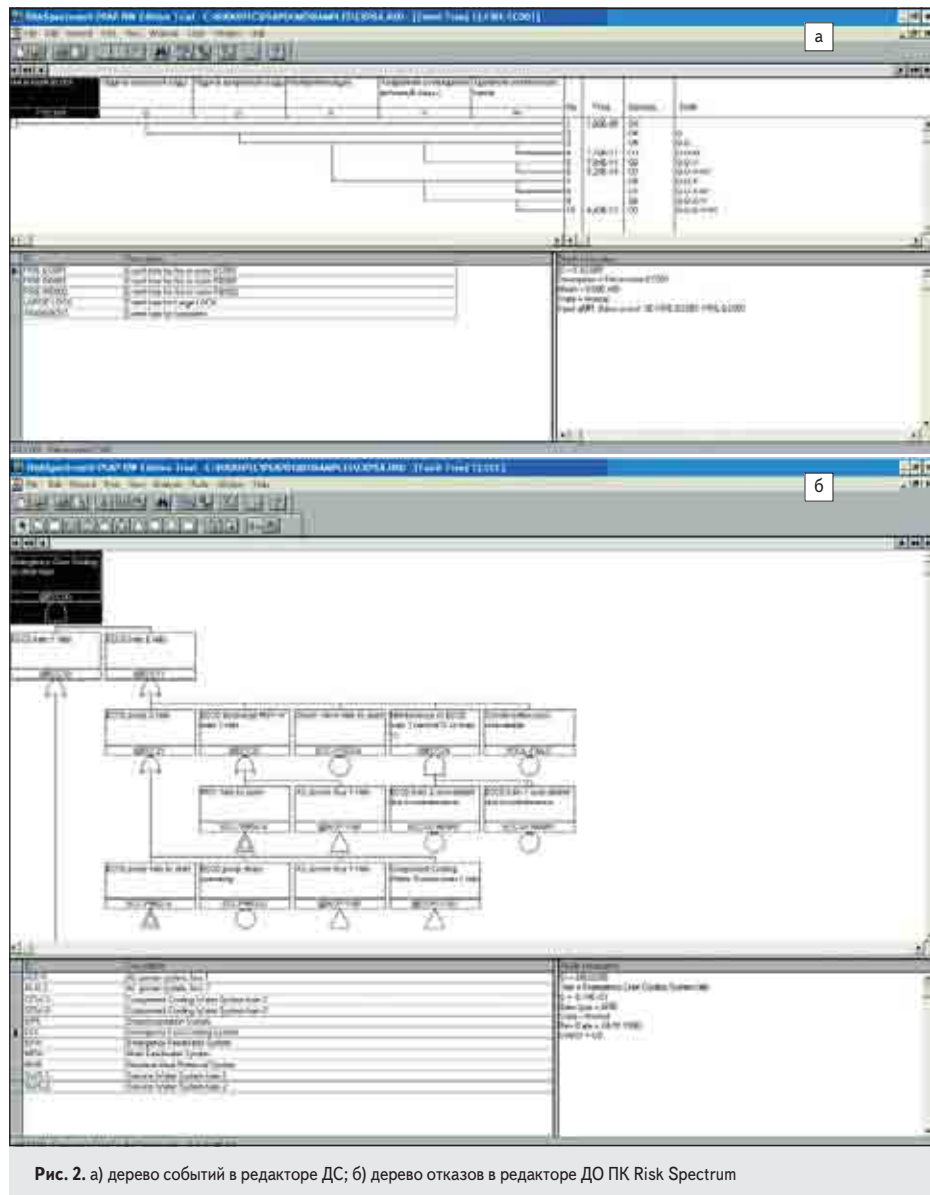


Рис. 2. а) дерево событий в редакторе ДС; б) дерево отказов в редакторе ДО ПК Risk Spectrum

казов. 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 ДС представляется в виде таблицы, содержащей строку заголовков, поле, в котором помещен разомкнутый бинарный граф (дерево событий), несколько столбцов с характеристиками конечных состояний моделируемого объекта, реализующихся в процессе осуществления аварийных последовательностей (рис. 2а). 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 тех-

нических 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 ДС 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 личного состава (персонала) в процессе развития аварии.

С ПК Relex (Relex Software Continental Europe GmbH, www.relex.com) работают многие известные зарубежные фирмы, такие как 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 (Reliability Prediction), ремонтпригодности (Maintainability Prediction); анализа видов, последствий и критичности отказов (FMEA/FMECA); марковского анализа (Markov Analysis), статистического анализа (Weibull Analysis), оценки стоимости срока службы оборудования (Life Cycle Cost); а также блок-схемы надежности (Reliability Block Diagram); деревья отказов/событий (Fault Tree/Event Tree); система оповещения об отказах, анализе и корректирующих действиях, FRACAS-система (Failure Reporting Analysis and Corrective Action System); система оценки человеческого фактора и анализа рисков (Human Factors, Risk Analysis).

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/деревья 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, зависимость, 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 и др.

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 и др. 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, Рэля, биномиальное и др. 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 (Hazen), Бенарда (Benard) и их модификации, биномиальное оценивание, метод средних величин, метод максимального правдоподобия и его модификация и др.

С помощью модуля экономических расчетов (LCC) 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 осно-

вой 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.

Следует отметить, что актуальной является проблема разработки отечественных ПК для автоматизированного моделирования и расчета статических и динамических показателей надежности и безопасности сложных технических систем, что обусловлено потребностями развивающейся промышленности при создании новых высокотехнологических процессов и оборудования, особенно для опасных производственных объектов различного назначения; объективными трудностями использования для этих целей ПК зарубежной разработки — высокой стоимостью, технологической зависимостью, проблемами подготовки кадров.

ПК A.L.D. Group

Фирма A.L.D. Group (Израиль-США, [ht tp://w ww.aldservice.c om/](http://www.aldservice.com/)) объединяет две компании, специализирующиеся в области логистики (logistics information system) и оценки надежности: SoHaR и FavoWeb ([ht tp://w ww.favoweb.c om/](http://www.favoweb.com/)).

Программный продукт FavoWeb — это работающая в Интернете динамическая FRACAS-система (Failure Reporting Analysis and Corrective Action System — Система оповещения об отказах, анализе и корректирующих действиях). Многие зарубежные компании, например компания Lockheed Martin, широко используют систему FRACAS.

Программный продукт FavoWeb основан на современных возможностях интернет-технологий и реализует полный замкнутый цикл методологии FRACAS, который применим к любому продукту, услуге, процессу. Может быть использован в любой фазе жизненного цикла: разработке, макетировании, производстве, эксплуатации, техническом обслуживании, контроле, испытании; в любой отрасли: авиации, обороне, связи, электронике, фармацевтике, автомобилестроении, бытовой технике.

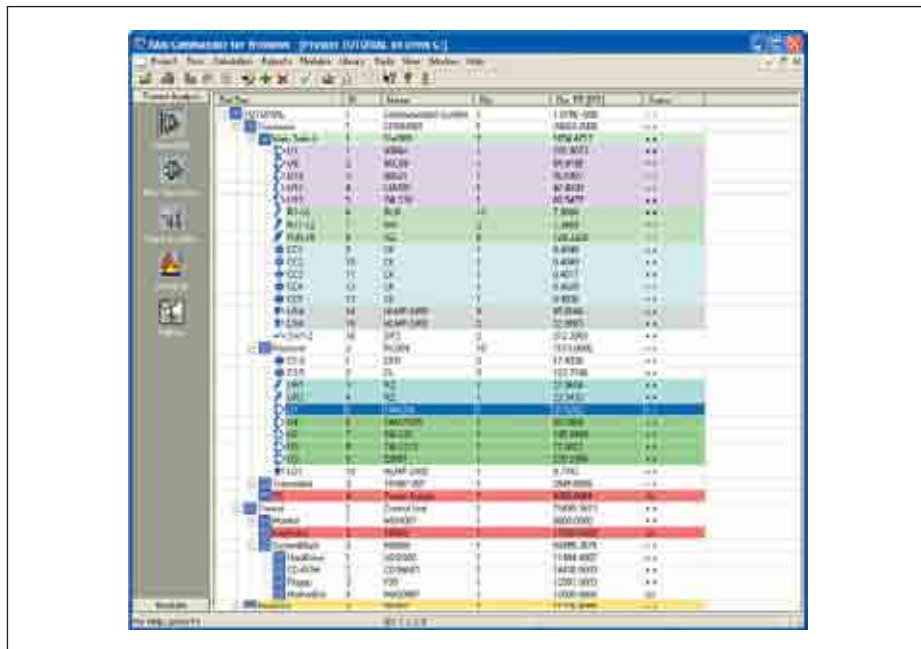


Рис. 3. Окно системы анализа надежности RAM Commander

Система FRACAS позволяет создавать базы данных, переводя разнородные данные в структурированную информацию о качестве. Имеет мощный механизм корректирующих действий: поддержка работы групп анализа отказов/дефектов/материалов, анализ глубинных причин отказов, устранение проблем. Содержит модуль Workflow для автоматизации извещения об отказах и серийных номерах.

Программа предлагает широкий набор функций, возможностей оценки и улучшения надежности оборудования благодаря тесной интеграции с системой анализа RAM Commander (рис. 3). Кроме того, FavoWeb включает специальные возможности по внесению и учету изменений, логистике и отслеживанию серийных номеров изделий (CALS-технологии).

Под термином CALS-технологии (Continuous Acquisition and Lifecycle Support) понимается совокупность принципов и технологий информационной поддержки жизненного цикла изделия на всех его стадиях. Русскоязычный аналог CALS — информационная поддержка жизненного цикла изделий (ИПИ). В последнее время за рубежом наряду с CALS используется также термин Product Lifecycle Management (PLM). Важным аспектом CALS-технологий является информационная поддержка непосредственно самого процесса расчета оценки надежности технической системы. RAM Commander позволяет вычислять среднюю наработку на отказ/критический отказ (MTBF/MTBCF), среднее время на ремонт (MTTR), среднее время между устранениями отказов (MTBMA) и др.

Базовая конфигурация FavoWeb позволяет создавать отчеты (распределение дефектов/отказов и перечень отказов/дефектов по

заданным пользователем параметрам); проводить корректирующие действия; строить дерево продукта; работать с различными библиотеками/справочниками; имеет модуль администратора.

На рис. 3 приведено окно системы анализа надежности RAM Commander, которая охватывает весь спектр инженерных задач, связанных с надежностью электронных, электромеханических, механических и других систем. Она позволяет прогнозировать надежность, готовность и ремонтпригодность различного рода оборудования, пропорциональное распределение между надежностью и ремонтпригодностью; управлять данными по надежности, готовности и ремонтпригодности; проводить анализ надежности проектируемого оборудования методом Монте-Карло; оптимизировать складской учет запасных частей.

На рис. 3 показан пример расчета надежности РЭА. Объект состоит из приемопередающего компонента (Communic), компонента управления (Control) и монтажного шкафа (Pedestal). Коммутирующая часть приемопередающего компонента — радиоэлектронные и механические компоненты: ИС, резисторы, конденсаторы, фотоприемники, переключатель. Элементы проектируемой системы, имеющие наивысшую интенсивность отказов, помечены красным цветом, например блок питания (PS), имеющий эксплуатационную интенсивность отказов 8350 ФИТ и интенсивность отказов в режиме ожидания 700 ФИТ. Второй по величине вклад вносит монтажный шкаф (Pedestal), состоящий из антенны, механического мотора и опоры (выделены желтым цветом).

На рис. 4 показано редактирование надежных характеристик КМОП ИС типа 74НС04 в различных режимах эксплуатации проектируемой РЭА: в операционном (рабочем) режиме, в режиме хранения (ожидания). Предполагается, что ИС будет использоваться в РЭА предназначенной для наземных стационарных условий эксплуатации (условное обозначение режима — GF, температура эксплуатации — 49,3 °С, градиент температуры — Delta Temp 4,3 °С). При заданном режиме эксплуатации, для ИС типа 74НС04, прогнозируемая интенсивность отказов по справочнику предсказания надежности Telecordia Issue 1 составит $FR_p \approx 32$ ФИТ ($1 \text{ ФИТ} = 10^{-4} \% / 1000 \text{ ч} = 10^{-9} \text{ 1/ч}$). Используя справочник Telcordia, можно также редактировать конструктивно-технологические характеристики ИС. Например, из справочника извлекаем информацию, что ИС типа 74НС04 представляет популярное семейство логических быстродействующих КМОП схем (отечественный аналог — серия КР1564). Число вентилях — 6, корпус — герметичный. Интенсивность отказов ИС 74НС04 может быть предсказана и с использованием других зарубежных регламентирующих документов (справочников): MIL-HDBK-217f,

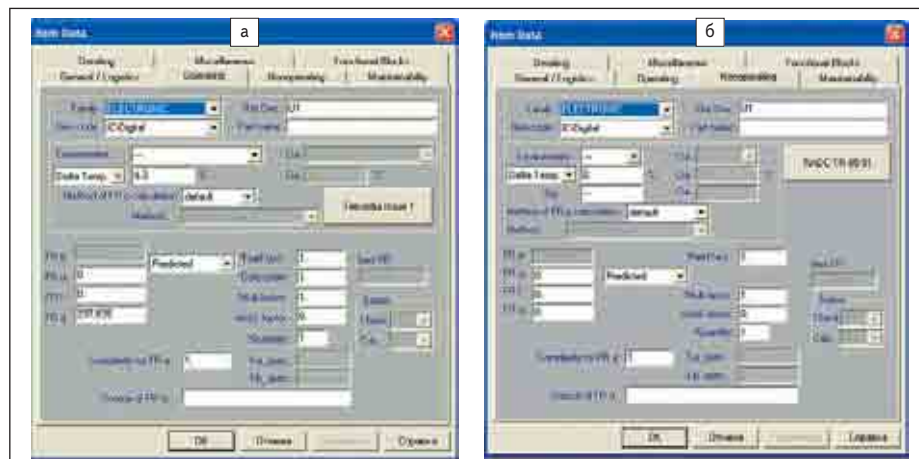


Рис. 4. Редактирование надежных характеристик КМОП ИС типа 74НС04 в различных режимах эксплуатации проектируемой РЭА: а) в операционном (рабочем) режиме с использованием справочника Telcordia; б) в режиме хранения (ожидания) с использованием справочника RADC-TR-85-91

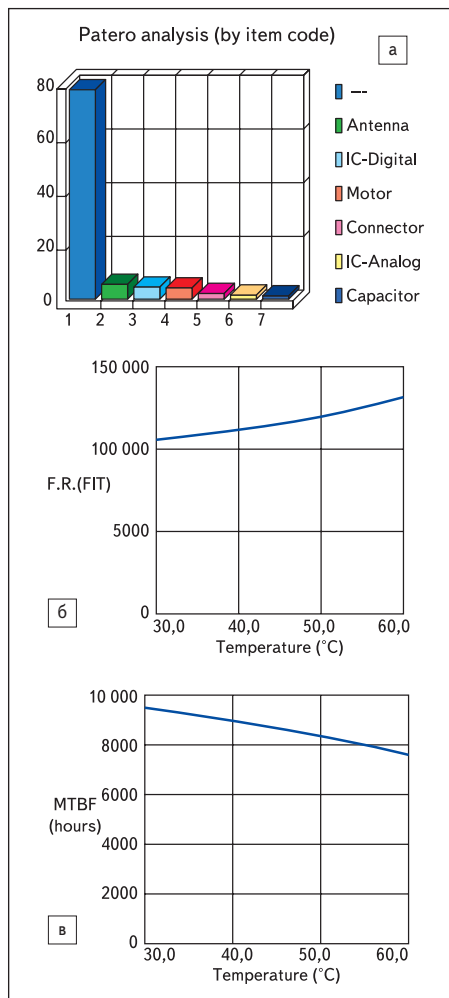


Рис. 5. Диаграмма Парето: а) доля интенсивности отказов составных частей проектируемой РЭА в общей интенсивности отказов; б) зависимость интенсивности отказов проектируемой РЭА от температуры; в) среднее время наработки на отказ

TR332 — Bellcore Issue 6, RDF 95 — French Telecom, UTE C 80810 (CNET 2000), HRD — British Telecom, GJB299 — Chinese Standard, IRPH93 — Italtel, ALCATEL, RADC 85-91, NPRD-95, NSWC-98. На рис. 5а показана диаграмма Парето, позволяющая определить долю интенсивности отказов составных частей проектируемой РЭА в общей интенсивности отказов. Также показаны зависимость интенсивности отказов РЭА от температуры (рис. 5б) и среднее время наработки на отказ (рис. 5в).

Возможности RBD-модуля расчета структурной надежности RAM Commander во многом схожи с RBD-модулем ПК Relx. Однако возможности последнего значительно шире, так как он позволяет учитывать следующие факторы: вид резервирования (постоянное, замещение, скользкое); вероятность и время успешного подключения резерва; нагруженность резерва; механизм проявления отказа; различные стратегии восстановления; наличие ЗИП, профилактического обслуживания и технических осмотров.

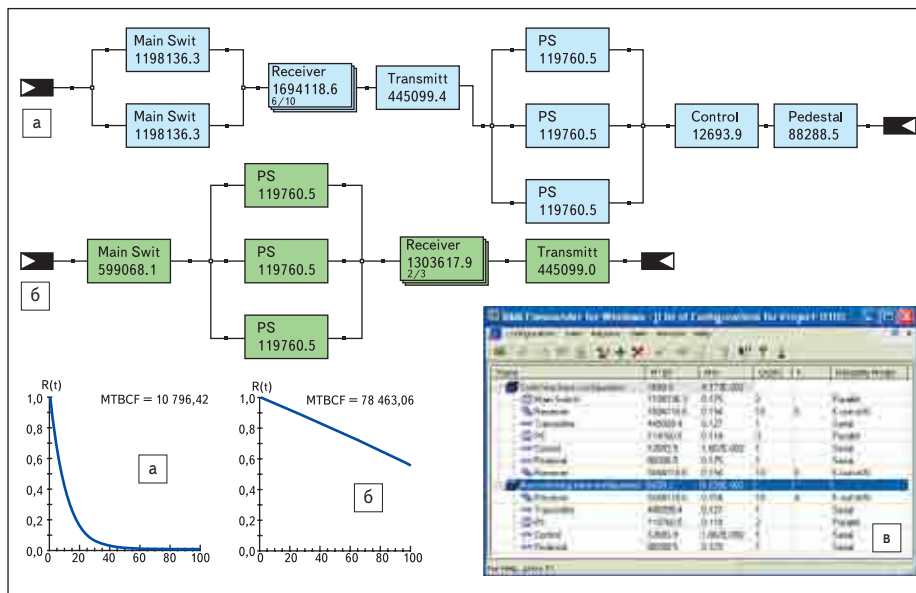


Рис. 6. Различные варианты схем расчета надежности проектируемой РЭА (в прямоугольниках отмечено среднее время наработки на отказ), полученные с использованием RBD-модуля: а) изменение основной конфигурации и вероятность безотказной работы, предполагаемое время эксплуатации 100 тыс. ч; б) без изменения и вероятность безотказной работы; в) сводная таблица по схемам расчета надежности (с изменением конфигурации и без)

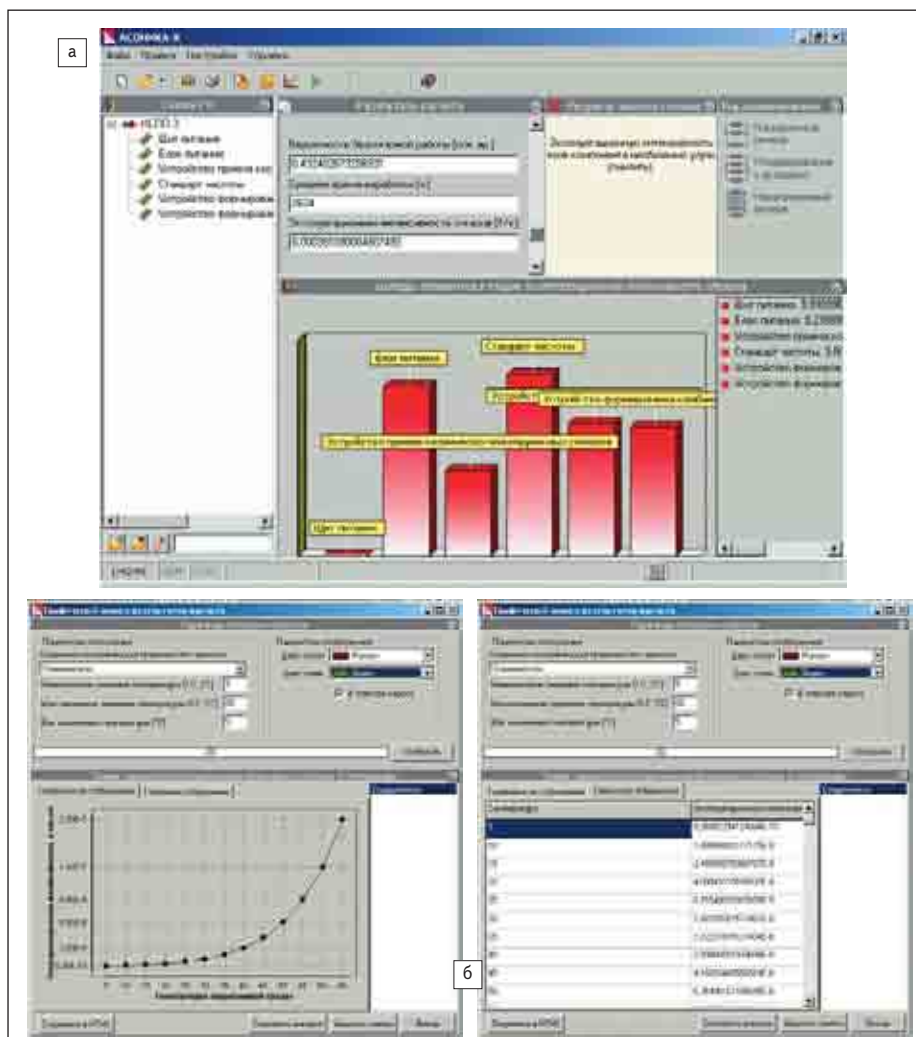


Рис. 7. ПК АСОНИКА-К. Система расчета надежности СЧ: а) пример расчета надежности РЭА; б) пример графического анализа зависимости интенсивности отказов от температуры окружающей среды

RBD-модуль ПК Relex решает оптимальные задачи надежности: определение числа резервных элементов, максимизирующего показатели надежности/производительности или минимизирующего стоимость системы; определение оптимальных периодов профилактического обслуживания или технических осмотров. Результатом его работы является вычисление следующих показателей: вероятности безотказной работы; средней наработки до отказа; интенсивности отказов системы; коэффициента готовности (стационарный/нестационарный); параметра потока отказов; среднего числа отказов; средней наработки на отказ.

Используя RBD-модуль RAM Commander, можно построить различные варианты (функционально-надежные схемы) с последовательным, параллельным и последовательно-параллельным (K out of N) соединением компонентов проектируемой системы, а также провести анализ надежности варианта блок-схемы с использованием статистического анализа по методу Монте-Карло. Модуль позволяет задавать индивидуально для каждого блока: распределение интенсивностей отказов — экспоненциальное, нормальное, логнормальное, Вейбулла, Эрланга и др.; среднее время наработки между отказами (MTBF, ч); нагруженность рабочего цикла в %; указывать степень ремонтпригодности (полностью или частично) и задавать вероятностные распределения и их параметры для ремонтируемых блоков (например, для экспоненциального распределения указывается время нахождения блока в ремонте). На рис. 6 показаны оценки вероятности безотказной работы для двух функционально-надежных схем, построенные в предположении, что отказы компонентов проектируемого объекта в течение 100 тыс. ч эксплуатации подчиняются экспоненциальному распределению, при этом все отказавшие компоненты полностью ремонтпригодны.

ПК АСОНИКА-К

На отечественном рынке представлена успешно развивающаяся подсистема АСОНИКА-К (по мнению разработчиков АСОНИКА-К перерастет в программный комплекс, поэтому в дальнейшем будем называть ее ПК АСОНИКА-К) — программное средство решения задач анализа и обеспечения надежности в рамках автоматизированного проектирования РЭА (рис. 7). По своим возможностям подсистема АСОНИКА-К не уступает RBD-модулям зарубежных ПК A.L.D. Group (RAM Commander), Relex, Isograph и др. Ее использование является более предпочтительным, так как АСОНИКА-К позволяет вести расчет надежности РЭА, производимой в России, на основе данных, приведенных в отечественных справочниках «Надежность электрорадиоизделий», «Надежность электрорадиоизделий зарубежных аналогов». Отвечает

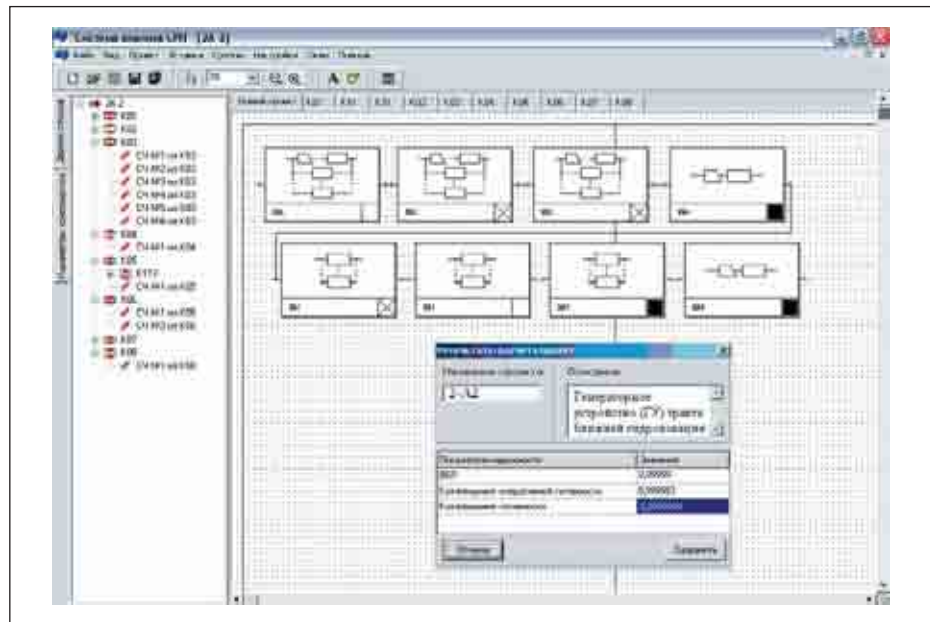


Рис. 8. ПК АСОНИКА-К. Система расчета надежности сложных изделий: пример расчета надежности РЭА с резервированием ее составных частей

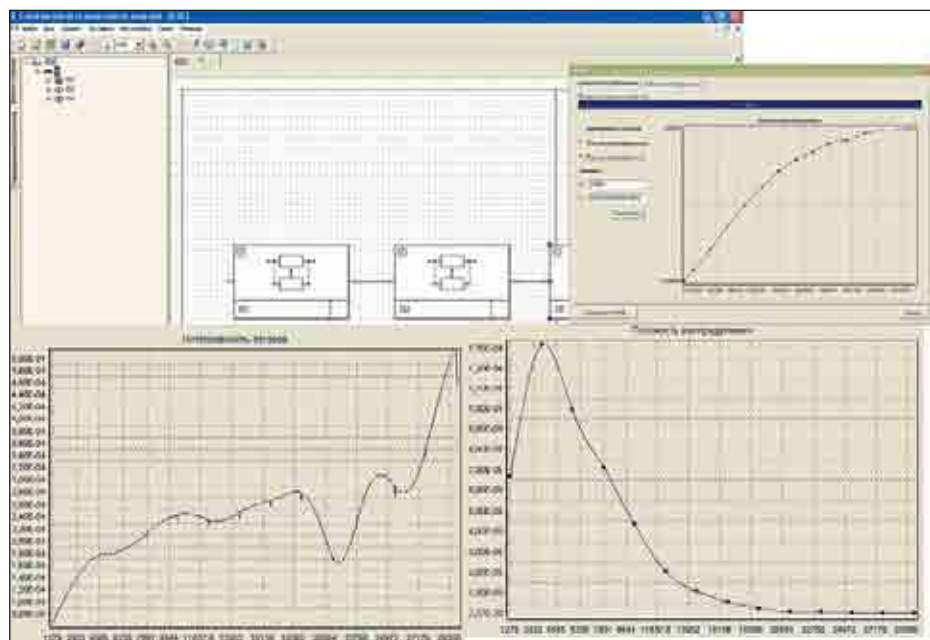


Рис. 9. Функция, плотность распределения времени наработки на отказ и интенсивность отказов проектируемой РЭА

требованиям комплекса военных стандартов «Мороз-6» для РЭА ответственного применения и стандарту США MIL-HDBK-217 и стандарту КНР GJB/z 299B.

Использование ПК АСОНИКА-К позволяет реализовать современные методы проектирования РЭА, основанные на CALS-технологиях. АСОНИКА-К представляет собой программное средство, созданное в технологии «клиент-сервер». База данных (БД) 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. Ниже приведен состав программного комплекса АСОНИКА-К:

- система расчета характеристик надежности составных частей (СЧ) (рис. 7–8);
- система расчета показателей надежности изделий (рис. 9);
- система анализа результатов (рис. 10);
- система архивации проектов;
- справочная система;
- система сопровождения базы данных;
- система администрирования пользователей;

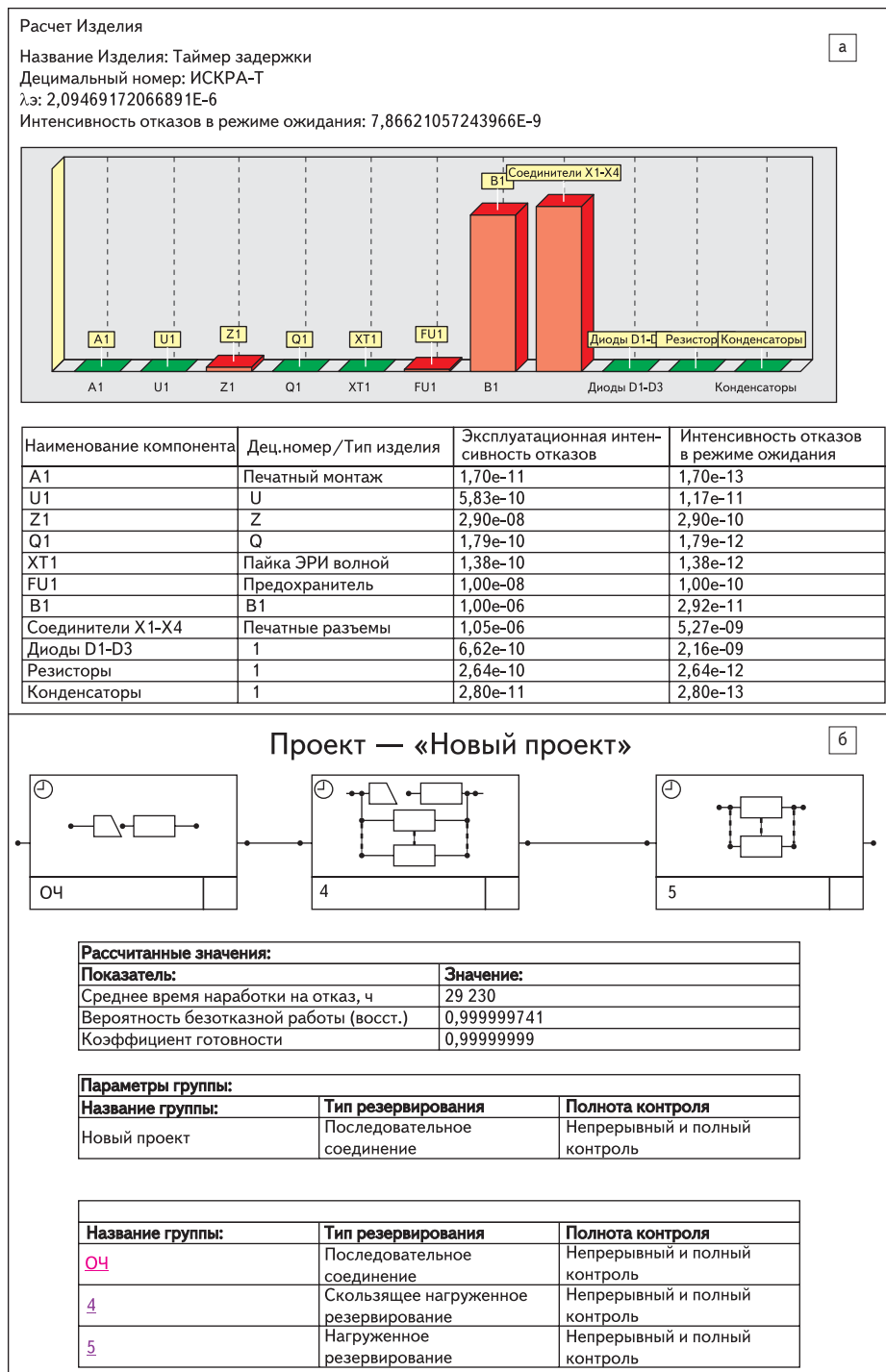


Рис. 10. Фрагменты файлов отчетов ПК АСОНИКА-К: а) расчет надежности СЧ; б) расчет надежности сложных изделий

- 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. 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, P-CAD 2001, АСОНИКА-М и др [8]. 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 (CPH, аналог RBD-модуля RAM Commander, Relex RBD, Isograph RBD): анализ результатов расчетов надежности РЭА, CPH которых представляет собой произвольное соединение составных частей (древовидное, иерархическое и т. д.) и анализ результатов расчета составных частей, с последовательным соединением.

На рис. 7а дан пример расчета надежности РЭА с использованием ПК АСОНИКА-К. Показаны составные части РЭА (щит питания, блок питания и т. д.), а также результат расчета надежных характеристик объекта: вероятность безотказной работы, эксплуатационная интенсивность отказов, среднее время наработки до отказа и вклад элементов в общую интенсивность отказов. Кроме того, на рис. 7б приведен пример графического анализа зависимости интенсивности отказов от температуры окружающей среды.

Использование ПК АСОНИКА-К позволяет повышать надежность РЭА путем резервирования ее составных частей (рис. 8). На рис. 8 показаны группы K01-K08, выделенные из объекта, 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 λ. На рис. 9 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). На рис. 10 приведены фрагменты файлов отчета ПК АСОНИКА-К, а именно: расчет надежности составных частей (рис. 10а), расчет надежности сложного изделия (рис. 10б), которые формируются в формате html.

Перспективой развития ПК является разработка еще двух модулей: системы учета влияния на характеристики надежности внешних факторов (рис. 11) и информационно-справочной системы по характеристикам надежности современной элементной компонентной базы (ЭКБ) (рис. 12).

Резюме

ПК Relex, Risk Spectrum и ACM реализуют класс моделей оценки показателей надежности технических систем — логико-вероятностного моделирования. Его можно назвать

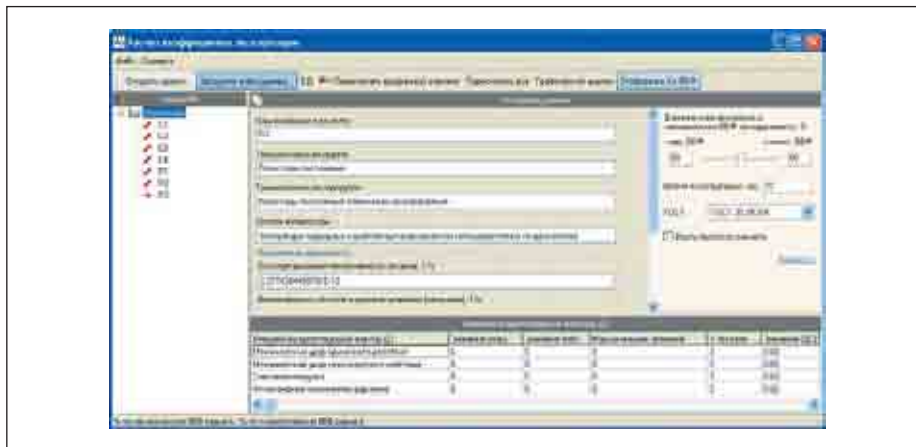


Рис. 11. ПК АСОНИКА-К. Система анализа и учета влияния на надежность внешних факторов

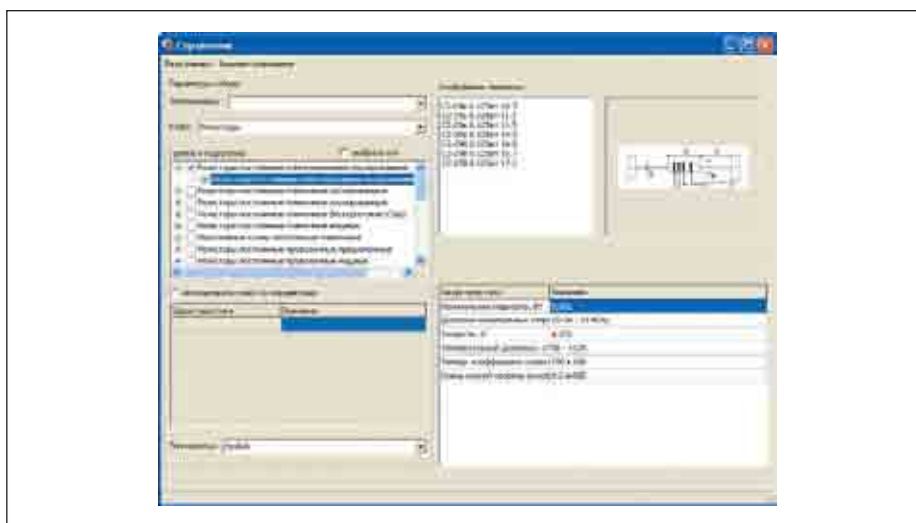


Рис. 12. ПК АСОНИКА-К. Информационно-справочная система по характеристикам надежности современной ЭКБ

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), Relx, Isograph возможно использовать для автоматизированного расчета надежности отечественной РЭА только лишь на базе импортных ЭРИ (или их отечественных аналогов), 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.

ПК АСОНИКА-К не уступает 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 справочники «Надежность электрорадиоиз-

делий» и отвечать требованиям комплекса военных стандартов «Мороз-6» для РЭА ответственного применения. Реализация современной концепции CALS-технологий обеспечивает непрерывную информационную поддержку, связанную с эксплуатационными отказами отечественных ЭРИ. ■

Литература

1. <http://www.axoft.ru>
2. ChipNews. Новости EDA Expert. 2002. № 10.
3. Сайт компании ЭлекТрейд-М. www.eltm.ru
4. <http://www.favoweb.com/>
5. <http://www.riskspectrum.com>
6. <http://www.isograph.com>
7. EDA Expert_6_52_55.pdf. Жаднов В., Жаднов И., Замараев С. и др. Новые возможности программного комплекса АСОНИКА-К
8. ПК АСМ. Методы оценки надежности, безопасности и риска. <http://www.szma.ru>
9. Управление качеством при проектировании теплонагруженных радиоэлектронных средств: Учебное пособие / Жаднов В. В., Сарафонов А. В. М.: «Солон-пресс», 2004.