

Работа выполнена на кафедре "Радиотехнические устройства и системы" Московского института электронного машиностроения.

Научный руководитель - доктор технических наук,
профессор Д.Н.Кофанов

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор Б.В.Васильев

кандидат технических наук
Г.В.Воробьев

Ведущее предприятие указано в решении Совета

Защита состоится "30" июля 1987 г. в 16 часов на заседании специализированного Совета К 063.68.04 Московского института электронного машиностроения по адресу: 109028, г. Москва, Б.Буровский пер. д. 3/12.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МИЭМ.

Заверенные и скрепленные печатью отзывы на автореферат в двух экземплярах просим направлять по вышеуказанному адресу.

Автореферат разослан "23" мая 1987 г.

Ученый секретарь
специализированного Совета,
к.т.н., доцент

Н.Н.Грачев

Подписано к печати 26.05.87 г.
Зак. 22 Объем 1 п.л. Тир. 100

МИЭМ. Москва, М. Пионерская ул., 12

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Одним из наиболее важных свойств радиоэлектронной аппаратуры является ее безотказность, количественным показателем которой является вероятность безотказной работы в течение заданного времени при заданных условиях эксплуатации. В связи с постоянным функциональным и конструктивным усложнением аппаратуры и ростом предъявляемых к ней требований при одновременном сокращении сроков ее проектирования, достижение необходимого уровня показателей безотказности является сложной научно-технической проблемой, которая не всегда решается удовлетворительно. Для аналоговых радиоэлектронных устройств (АРЭУ) решение данной проблемы усложняется тем, что их выходные характеристики случайным образом изменяются с изменением параметров элементов в результате старения материалов, воздействия температуры, влажности и других возмущающих факторов. Причем, отработка АРЭУ в микросборочном исполнении при проектировании, как это часто делается, на макетах с дискретными элементами не имеет успеха, т.к. пленочные элементы имеют другие значения температурных и других факторных коэффициентов. Поэтому для данного класса АРЭУ выходом в решении указанной проблемы повышения безотказности при одновременном снижении сроков разработки устройств и уменьшении материальных затрат является совершенствование процесса проектирования путем его автоматизации с целью широкого использования математического моделирования на ЭВМ.

В Московском институте электронного машиностроения под научным руководством Я.Т.Н., профессора Д.Н.Кофанова впервые создана специализированная "Автоматизированная система обеспечения надежности и качества аппаратуры" (АСОНICA), которая позволяет решать широкий круг проектных задач путем моделирования на ЭВМ различных физических процессов, протекающих в схемах и конструкциях РЭА.

Поэтому в данной диссертационной работе поставлена актуальная задача совершенствования методов исследования безотказности АРЭУ в микросборочном исполнении, программной реализации этих методов в виде проблемной подсистемы САПР и создание на этой основе инженерных методик для автоматизации проектирования.

Цель работы. Целью настоящей диссертации является снижение сроков и трудоемкости этапов эскизного и технического

проектирования и повышение безотказности проектируемых аналоговых радиоследственных устройств в микросборочном исполнении за счет внедрения новых автоматизированных методов проектных исследований.

Основными задачами работы являются:

- разработка метода расчета показателей безотказности АРЭУ по постепенным отказам с учетом нелинейных, немонотонных и коррелированных между собой зависимостей параметров элементов и выходных характеристик АРЭУ от внешних воздействий;
- анализ моделей и выбор метода расчета показателей безотказности АРЭУ по внезапным отказам;
- разработка "Подсистемы анализа и обеспечения надежности и качества" в составе системы АСОНИКА;
- разработка методического обеспечения этапов эскизного и технического проектирования АРЭУ с заданным уровнем показателей безотказности;
- экспериментальная проверка и внедрение результатов работы.

Научная новизна диссертационной работы определяется результатами выполненных теоретических и экспериментальных исследований.

Разработан метод вероятностного анализа безотказности АРЭУ по постепенным отказам, основанный на математическом описании зависимостей отклонений параметров и характеристик кусочно-линейными квазидетерминированными функциями. В отличие от существующих методов, он позволяет вычислять показатели безотказности, отражающие результат комплексного воздействия различных случайных факторов, заданных диапазонами их изменения, с учетом нелинейных и немонотонных коррелированных между собой процессов изменений параметров элементов в индивидуальных диапазонах изменения возмущающих факторов на них. Метод позволяет также получить оценки степени влияния возмущающих факторов, электрорадиоэлементов и их параметров на общий уровень показателей безотказности. Эти оценки необходимы для обеспечения безотказности АРЭУ при автоматизированном проектировании.

Разработана "Подсистема анализа и обеспечения надежности и качества" в составе системы АСОНИКА, которая программируется реализу-

ет метод вероятностного анализа безотказности АРЭУ при функционировании в среде ОС ЕС ЭМ.

Разработана методика обеспечения показателей безотказности АРЭУ при автоматизированном проектировании, основанная на широком использовании возможностей системы АСОНИКА при решении проектных задач, и инженерная методика исследования безотказности АРЭУ с помощью "Подсистемы анализа и обеспечения надежности и качества".

В работе защищается:

- метод вероятностного исследования показателей безотказности АРЭУ при комплексном воздействии совокупности технологических и эксплуатационных факторов, заданных диапазонами их изменения. Отличительная особенность метода заключается в повышенной точности расчетов за счет перехода от линейных зависимостей параметров и характеристик от возмущающих факторов к кусочно-линейным квазидетерминированным функциям;
- метод оценки влияния каждого возмущающего фактора, каждого элемента и его параметра на общий уровень показателей безотказности АРЭУ;
- Подсистема анализа и обеспечения надежности и качества, в которой программно реализован разработанный метод исследования показателей безотказности АРЭУ;
- инженерная методика исследования безотказности в процессе автоматизированного проектирования АРЭУ с помощью разработанной подсистемы в составе системы АСОНИКА.

Практическая ценность работы состоит в разработке и внедрении в инженерную практику методики исследования безотказности, которая позволяет:

- получать данные, необходимые для целенаправленного ведения процесса проектирования и обеспечения заданного уровня показателей безотказности АРЭУ;
- проводить на ранних этапах проектирования детальный анализ разрабатываемых АРЭУ и на этой основе повышать их качество;
- получать экономический эффект за счет снижения затрат на макетирование и изготовление опытных образцов, сокращения объема испытаний и числа доработок АРЭУ, сокращения сроков разработки и на стадии эксплуатации, за счет повышения безотказности и долговечности устройств.

Реализация результатов работы.

Результаты работы внедрены в шести НИР, выполненных по комплексным научно-техническим программам, и нашли практическое применение на ряде промышленных предприятий при проектировании аналоговых радиоэлектронных устройств различного назначения. Общий экономический эффект от внедрения результатов работы составил 118 тыс. рублей.

Разработанные методы и программы используются в учебном процессе для студентов специальности 0705 в Московском институте электронного машиностроения и в Запорожском ордена "Знак Почета" машиностроительном институте им. В.Я.Чубаря.

Апробация работы. Работа в целом и ее отдельные результаты докладывались и обсуждались на семи городских и пяти всесоюзных конференциях, семинарах и симпозиумах, а также на научно-техническом семинаре кафедры "Радиотехнические устройства и системы" МИЭМ с 1979 по 1987 г.

Цубликации. По материалам диссертации опубликовано одиннадцать печатных работ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения, изложенных на 92 страницах машинописного текста и иллюстрированных рисунками и таблицами на 28 страницах, списка литературы, включающего 98 наименований и четырех приложений на 61 странице.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе проведен анализ аналоговых радиоэлектронных устройств в микросборочном исполнении и процесса их проектирования; выбраны показатели, удобные для исследования безотказности на этапах эскизного и технического проектирования; рассмотрены существующие методы расчета показателей безотказности аппаратуры; сформулирована цель и поставлены задачи диссертационной работы.

Аналоговые радиоэлектронные устройства находят широкое применение в бортовой аппаратуре специального назначения, например в системах автоматического регулирования, управления, информационно-

- измерительных и других системах и в значительной степени определяют безотказность их функционирования, при этом :

– выполнение АРЭУ ответственных функций в составе бортовой аппаратуры специального назначения связано с повышенными требованиями к их безотказности;

– функционирование АРЭУ в составе бортовых радиотехнических систем определяется в совокупности по множеству выходных характеристик;

– воздействия на АРЭУ физически разнородных случайных факторов, имеющих жесткие диапазоны изменения, носят комплексный характер;

– существенная неоднородность физических полей (в первую очередь электрических, тепловых, механических) в объеме конструкции АРЭУ;

– сильная статистическая зависимость между погрешностями параметров тонкопленочных элементов, расположенных на одной подложке, как при одинаковых, так и при различных значениях возмущающих факторов;

– существенно нелинейные зависимости параметров элементов в широких диапазонах изменения возмущающих факторов.

Перечисленные выше особенности создают принципиальные трудности обеспечения безотказности АРЭУ при существующей технологии проектирования, основанной на экспериментальных исследованиях макетов и опытных образцов. Многие вопросы, связанные с решением этой задачи, рассмотрены в работах Б.В. Васильева, В.П. Гусева, Г.В. Лружинина, К.А. Инууды, А.Я. Маслова, А.В. Михайлова, В.И. Пампуро, В.Б. Пестрякова, А.В. Фомина и других авторов. Однако, при исследовании безотказности АРЭУ по постепенным отказам на этапе проектирования возникает необходимость снятия ряда ограничений, в различной степени присущих современным методам. Наиболее существенными среди них являются:

– ограничения по точности, обусловленные упрощенным математическим описанием отклонений функциональных характеристик аппаратуры как случайных величин, а не как случайных функций, не учитывающих мультиплексивный характер погрешностей от воздействия разнородных случайных факторов, заданных диапазонами их изменений, а также нелинейный и немонотонный характер зависимостей характеристик от возмущающих факторов;

– неприменимость методов для расчета показателей безот-

казности АРЭУ по информации об элементной базе, указывающей на: нелинейный и немонотонный характер зависимостей параметров радиоэлементов от возмущающих факторов; коррелированность таких зависимостей у различных параметров одного элемента и у параметров тонкопленочных элементов, выполненных по групповой технологии; существенные различия друг от друга значений температуры, ускорений вибрации и других факторов на различных элементах.

— низкая информативность методов о факторах, влияющих на уровень показателей безотказности АРЭУ, не позволяющая обосновать и разработать мероприятия, направленные на обеспечение требуемого уровня безотказности до изготовления опытной партии и испытаний опытных образцов.

На основе анализа различных показателей, применяемых при исследовании безотказности радиоэлектронной аппаратуры, показано, что наиболее универсальными показателями, позволяющими решать задачи обеспечения безотказности АРЭУ по постепенным отказам на этапах эскизного и технического проектирования, являются допуски на выходные характеристики, рассчитанные для $P = 0.9973$ (3 б-границы). Составляющие этих допусков, характеризующие степень влияния возмущающих факторов, радиоэлементов и их параметров, имеют простой физический смысл и удобны при проектировании аппаратуры.

Во второй главе разработан метод расчета показателей безотказности аналоговых радиоэлектронных устройств в микросборочном исполнении.

В соответствии с принятыми в настоящее время методиками расчета показателей безотказности аппаратуры, расчет вероятности безотказной работы АРЭУ проводится на основе соотношения:

$$P(t) = P_n(t) \cdot P_a(t) \quad (I)$$

где $P_n(t)$ — вероятность безотказной работы по постепенным отказам;

$P_a(t)$ — вероятность безотказной работы по внезапным отказам.

Для расчета вероятности безотказной работы по внезапным отказам используется вероятностно-физическая модель, предложенная В.П. Стрельниковым, которая основана на системном подходе к физике отказов и представляет собой диффузионный закон распределения времени наработки на отказ (ДЗР):

$$W(t_n) = \frac{V(t_n) \cdot \sqrt{m(t_n)}}{\sqrt{2\pi} \cdot t_n^{3/2}} \cdot e^{-\frac{(V(t_n) \cdot (m(t_n) - t_n))^2}{2 \cdot m(t_n) \cdot t_n}} \quad (2)$$

где t_n - время наработки на отказ;

$m(t_n)$ - математическое ожидание наработки;

$V(t_n)$ - коэффициент вариации наработки.

Необходимость использования такой модели, а не широко распространенного экспоненциального распределения связана с тем, что деградационные процессы, приводящие к отказам элементов АРЭУ (коррозия, электромиграция и др.) аналогичны отказовым механизмам, положенных в основу ДЗР. При использовании диффузионного закона распределения, вероятность безотказной работы определяется как:

$$P_b(t) = \Phi\left(\frac{(m(t_n) - t) \cdot V(t_n)}{\sqrt{m(t_n) \cdot t}}\right) - e^{-2V(t_n)^2} \cdot \Phi\left(-\frac{(m(t_n) + t) \cdot V(t_n)}{\sqrt{m(t_n) \cdot t}}\right) \quad (3)$$

Параметры ДЗР устройства вычисляются на основе соотношений :

$$m(t_n) = 1 / \sqrt{\sum_{i=1}^N (1/m(t_{ni}))^2} \quad (4)$$
$$V(t_n) = 1 / \left(m(t_n) \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^N (V(t_{ni})/m(t_{ni}))^2} \right)$$

где $m(t_{ni})$ и $V(t_{ni})$ - параметры ДЗР i -го элемента.

В свою очередь, параметры ДЗР элементов для реальных режимов работы получают из выражений :

$$m(t_{ni}) = K_i \cdot m(t_{ni_0}) \quad , (5)$$
$$\sigma V(t_{ni}) = V(t_{ni_0}).$$

где K_i - поправочный коэффициент.

Следует подчеркнуть, что необходимые для определения K_i коэффициенты электрической, тепловой и механической нагрузки для каждого элемента АРЭУ рассчитываются в рамках системы АСОНИКА с помощью соответствующих проблемных подсистем. Коэффициенты нагрузки по другим факторам (давление, ионизирующее ядерное излучение и т.д.) могут быть легко получены, т.к. уровни воздействия этих факторов одинаковы для всех элементов АРЭУ.

Естественной оценкой степени влияния элементов на общий уровень безотказности АРЭУ является вероятность безотказной работы i -го элемента - $P_b(t)_i$, которая вычисляется с помощью выражения (3). Влияние возмущающих факторов на $P_b(t)_i$ оценивается с помощью коэф-

фициентов нагрузки.

Расчет вероятности безотказной работы по постепенным отказам основан на использовании кусочно-линейных квазидетерминированных функций (КЛКФ). В работе показано, что именно КЛКФ являются наиболее приемлемым способом математического описания зависимостей выходных характеристик АРЭУ от возмущающих факторов, которые представляют собой нестационарные случайные функции, реализации которых носят нелинейный и немонотонный характер. Кусочно-линейная квазидетерминированная функция для одного воздействия имеет вид:

$$\Delta_{y_j}^t = \Delta_{y_j}^{k-1} + \frac{\Delta_{y_j}^t - \Delta_{y_j}^{k-1}}{z_e^k - z_e^{k-1}} \cdot (z_e^t - z_e^{k-1}) \quad \text{для } z_e^{k-1} \leq z_e^t \leq z_e^k \quad (6)$$

где $\Delta_{y_j} = y_j - y_{j_0}$ - абсолютное отклонение выходной характеристики;

y_{j_0} - номинальное значение выходной характеристики;

z_e^t - t -тое значение возмущающего фактора z_e .

Рис. I. поясняет смысл параметров кусочно-линейной квазидетерминированной функции на примере одной реализации случайного процесса. Математическим описанием функции (6) является совместный закон распределения абсолютных отклонений выходной характеристики, соответствующих концам интервалов линеаризации.

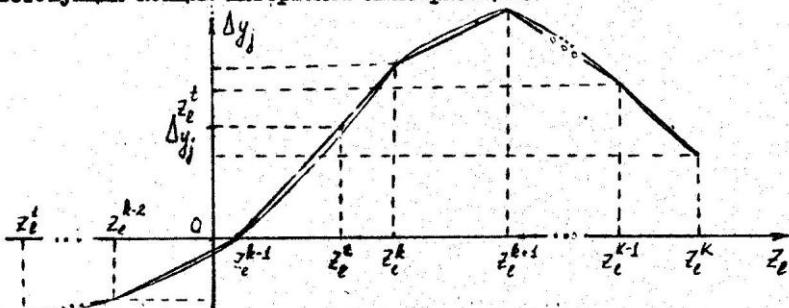


Рис. I. Аппроксимация зависимости выходной характеристики АРЭУ от возмущающего фактора.

При использовании КЛКФ расчет вероятности безотказной работы по постепенным отказам сводится к вычислению N -кратного интеграла:

$$P_n(t) = \int_{y_{j_0}}^{y_{j_0}^N} \int_{y_{j_1}}^{y_{j_1}^N} \dots \int_{y_{j_N}}^{y_{j_N}^N} W(\Delta_{y_1}, \Delta_{y_2}, \dots, \Delta_{y_N}) d\Delta_{y_1} \dots d\Delta_{y_N} \quad (7)$$

где $y_{j_0}^N, y_{j_1}^N, \dots, y_{j_N}^N$ - заданные допуски на выходную характеристику.

$\Delta_{y_j}^N$ - абсолютное отклонение выходной характеристики y_j при N -том со-

чтаний значений возмущающих факторов;

\mathcal{Y} - число выходных характеристик;

S - число сочетаний значений возмущающих факторов.

Поскольку кратность интеграла (7), равная $N = \mathcal{Y} \cdot S$, для аналоговых радиоэлектронных устройства, как правило, больше 5, то его вычисление проводится методом статистических испытаний. Реализации значений отклонений выходных характеристик определяются по первым двум моментам случайного вектора $\{\Delta_{q_1}^{2^k}, \Delta_{q_2}^{2^k}, \dots, \Delta_{q_S}^{2^k}\}$ с использованием канонического разложения его матрицы ковариации.

Необходимые моменты абсолютных отклонений выходных характеристик рассчитываются с помощью соотношений:

$$m(\Delta_{q_i}^{2^k}) = \sum_{i=1}^I A_{q_i} m(\Delta_{q_i}^{2^k})$$

$$\mu(\Delta_{q_j}^{2^k}, \Delta_{q_i}^{2^k}) = \sum_{m=1}^I \sum_{n=1}^I A_{q_m} A_{q_n} \mu(\Delta_{q_m}^{2^k}, \Delta_{q_n}^{2^k}) \quad (8)$$

где $m(\Delta_{q_i}^{2^k}), m(\Delta_{q_i}^{2^k})$ - математические ожидания;

$\mu(\Delta_{q_j}^{2^k}, \Delta_{q_i}^{2^k}), \mu(\Delta_{q_m}^{2^k}, \Delta_{q_n}^{2^k})$ - вторые смешанные моменты;

Δ_{q_i} - абсолютное отклонение параметра модели q_i ;

I - количество параметров;

$A_{q_i}^{2^k}$ - абсолютные функции чувствительности выходной характеристики y_i по параметру модели q_i .

Заметим, что функции чувствительности рассчитываются в рамках системы АСОНИКА с помощью подсистемы анализа и обеспечения электрических характеристик. Вычисление моментов параметров моделей элементов проводится методом статистических испытаний по известным аналитическим выражениям, одни из которых связывают параметры моделей с первичными параметрами элементов и могут быть представлены в виде:

$$q_i = q_i(p_1, p_2, \dots, p_k, \xi) \quad (9)$$

где p_1, p_2, \dots, p_k - параметры элемента;

ξ - независимая переменная;

R - число параметров элемента.

Другие выражения описывают зависимость параметров элементов от возмущающих факторов и представляют собой квазидетерминированные

ные функции вида:

$$P_e = f_{kA}(a_1, a_2, \dots, a_M, z_e) \quad (10)$$

где a_1, a_2, \dots, a_M – случайные параметры;

z_e – ℓ -ый возмущающий фактор;

M – число параметров.

Необходимые для вычисления абсолютных отклонений параметров моделей элементов реализации значений параметров квазидетерминированной функции (10) определяются по первым двум моментам координат случайного вектора $\{a_1, a_2, \dots, a_M\}$ также с использованием канонического разложения его ковариационной матрицы.

Значения возмущающих факторов на элементах для тепловых и механических воздействий вычисляются с помощью соответствующих проблемных подсистем системы АСОНИКА, а для других факторов принимаются одинаковыми для всех элементов АРЭУ.

Оценки степени влияния основных факторов на уровень безотказности АРЭУ получены для суммарных допусков на выходные характеристики, которые определяются из условия:

$$\begin{aligned} \delta_{y_j}^b &= \max_{\bar{z}_1, \dots, \bar{z}_L} (m(\Delta_{y_j}^{\bar{z}_1}) + 3\sigma(\Delta_{y_j}^{\bar{z}_1})) \\ \delta_{y_j}^n &= \min_{\bar{z}_1, \dots, \bar{z}_L} (m(\Delta_{y_j}^{\bar{z}_1}) - 3\sigma(\Delta_{y_j}^{\bar{z}_1})) \end{aligned} \quad (II)$$

где Δ_{y_j} – отклонение выходной характеристики y_j при δ -том сочетании значений возмущающих факторов. Одновременно, значения δ , при которых вычислены значения δ_b и δ_n , определяют наиболее неблагоприятное сочетание значений возмущающих факторов $\bar{z}_1, \bar{z}_2, \dots, \bar{z}_L$ и $\bar{z}_1^*, \bar{z}_2^*, \dots, \bar{z}_L^*$. Допуски на выходные характеристики складываются из двух составляющих: математического ожидания изменения характеристики и величины, пропорциональной ее среднему квадратическому отклонению. По величинам этих составляющих можно судить о том, что является причиной отказа: уход характеристики в среднем или ее рассеивание относительно среднего значения, или и то и другое. Необходимые для исследования безотказности оценки рассчитываются на основе следующих соотношений:

- оценки степени влияния возмущающих факторов:
- по уходу в среднем :

$$S_m = \sum_{i=1}^L A_{q_i} \cdot m(\Delta_{q_i}^{\bar{z}_e^*}) \quad (II)$$

- по рассеянию :

$$S_{\infty} = \sum_{m=1}^{N_r} \sum_{n=1}^r A_{q_m}^{y_j} A_{q_n}^{y_i} M(\Delta_{q_m}^{z_e^*}, \Delta_{q_n}^{z_e^*}) \quad (13)$$

- оценки степени влияния элементов:

- по уходу в среднем:

$$S_m = \sum_{i=1}^{N_r} A_{q_i}^{y_j} m(\Delta_{q_i}^{z_e^*}) \quad (14)$$

- по рассеянию:

$$S_{\infty} = \sum_{m=1}^{N_r} \sum_{n=1}^r A_{q_m}^{y_j} A_{q_n}^{y_i} M(\Delta_{q_m}^{z_e^*}, \Delta_{q_n}^{z_e^*}) \quad (15)$$

- оценки степени влияния параметров:

- по уходу в среднем:

$$S_m = A_{q_i}^{y_j} m(\Delta_{q_i}^{z_e^*}) \quad (16)$$

- по рассеянию:

$$S_{\infty} = (A_{q_i}^{y_j})^2 \cdot \mathcal{D}(\Delta_{q_i}^{z_e^*}) \quad (17)$$

однако, для статистически зависимых параметров при расчете следует учитывать не только собственные, но и смешанные моменты. В этом случае последнее соотношение принимает вид :

$$S_{\infty} = (A_{q_i}^{y_j})^2 \cdot \mathcal{D}(\Delta_{q_i}^{z_e^*}) + \sum_{\ell=1, \ell \neq i}^{N_r} A_{q_i}^{y_j} A_{q_\ell}^{y_i} M(\Delta_{q_i}^{z_e^*}, \Delta_{q_\ell}^{z_e^*}) \quad (18)$$

здесь использованы следующие обозначения:

z_e^* - значение возмущающего фактора, для которого рассчитываются оценки;

$\sigma(y_j)$ - среднее квадратическое отклонение;

$\mathcal{D}(\Delta_{q_i})$ - дисперсия;

N_r - количество корреляционно связанных параметров.

В третьей главе рассмотрены вопросы программной реализации метода расчета показателей безотказности АРСУ и создания подсистемы анализа и обеспечения надежности и качества спор-

темы АСОНИКА.

На основе анализа требований, предъявляемых к проблемной подсистеме и в соответствии с правилами структурного программирования синтезирована блочная структура, разработан алгоритм функционирования и определен состав подсистемы, который приведен на рис.2.

Большое внимание уделено вопросам рационального использования оперативной памяти, поскольку объем только одной полной матрицы ковариации параметров модели АРЭУ не только превышает ресурсы, выделяемые проблемной подсистеме системы АСОНИКА, но и ресурсы современных ЭВМ. Разработанная структура входных и выходных данных в сочетании с рациональным использованием временных наборов данных и применением оверлейной структуры позволили при статическом распределении памяти под переменные и массивы обеспечить нормальное функционирование подсистемы в среде ОС ВС ЭВМ.

Основные характеристики подсистемы приведены ниже:

- режим работы подсистемы - пакетный;
- объем оперативной памяти $\leq 250 \text{ Кб}$;
- количество временных наборов данных $\leq L \times (N+1)$, где N - количество иерархических уровней расчетной модели АРЭУ ($N \leq 4$);
 L - количество возмущающих факторов, одновременно учитываемых в расчетах ($L \leq 7$);
 - суммарное число значений возмущающих факторов - 99;
 - язык программирования - ФОРТРАН-ИУ;
 - количество программных модулей - 53;
 - количество операторов языка программирования ≈ 4000 ;
 - количество возможных типов резервирования аппаратуры - 4;
 - размерность решаемой задачи определяется из условия:

$$I \cdot J + K(I(K \cdot I + 3) + J(K \cdot J + 3))/2 \leq 25000 \quad (19),$$

где K - максимальное количество значений возмущающего фактора;

I - максимальное количество корреляционно-связанных параметров;

J - количество выходных характеристик.

Подсистема может функционировать как в составе системы АСОНИКА, так и в автономном режиме. В последнем случае, для удобства эксплуатации разработан проблемно-ориентированный входной язык подсистемы, что в сочетании с наглядностью представления результатов расчета дает возможность эксплуатировать подсистему пользователем.

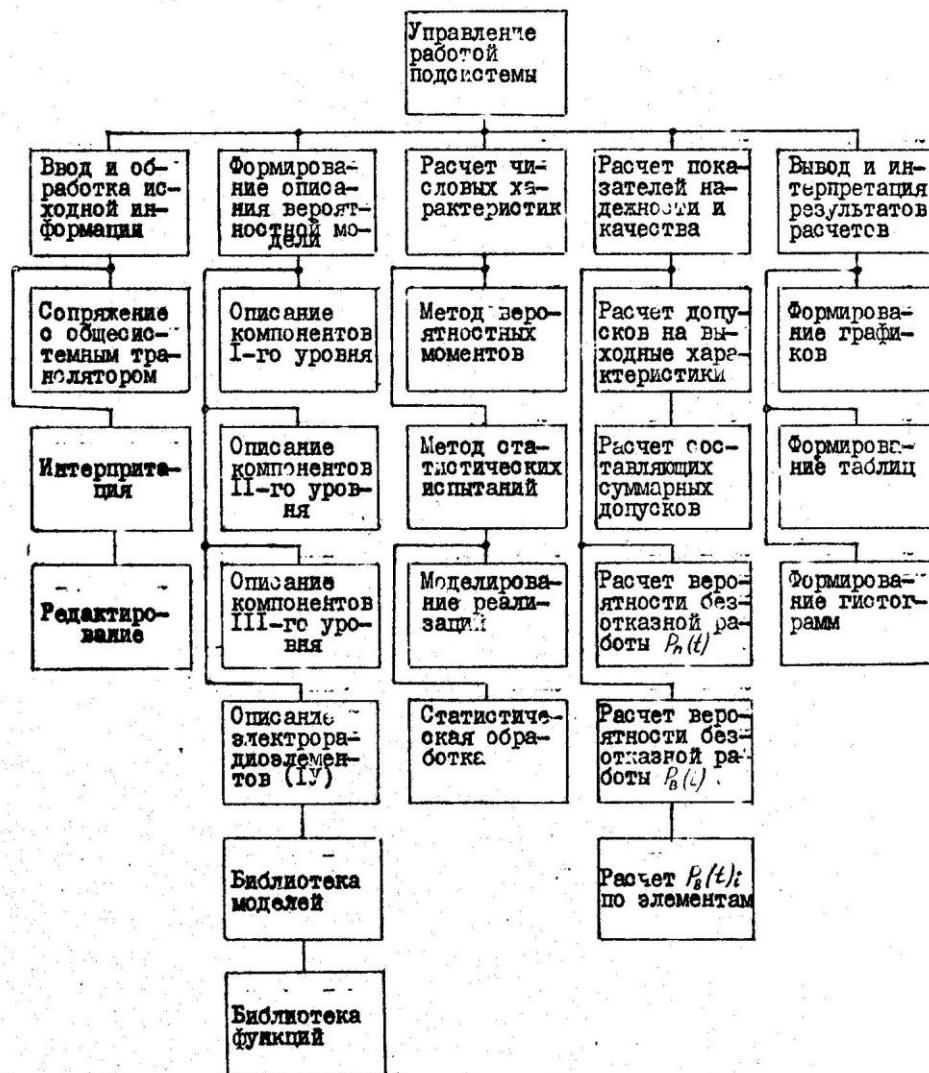


Рис. 2. Состав Подсистемы анализа и обеспечения надежности и качества.

вателям, не имеющим специальных знаний в области программирования и работы на ЭВМ.

В четвертой главе предложена методика исследований безотказности АРЭУ на этапах эскизного и технического проектирования, рассмотрены вопросы получения исходной статистической информации об элементной базе, приведен пример использования методики, описаны результаты экспериментальных исследований и внедрения результатов работы.

Инженерная методика исследования безотказности АРЭУ является составной частью общей методики обеспечения безотказности при автоматизированном проектировании с помощью системы АСОНИКА. Методика исследования безотказности АРЭУ позволяет установить соответствие исследуемого устройства требованиям технического задания по безотказности, а также пройти анализ, по результатам которого могут быть выработаны эффективные мероприятия, заключающиеся в коррекции схемы, конструкции, элементной базы, технологического процесса и направленные на повышение безотказности АРЭУ.

Методика основана на использовании подсистемы анализа и обеспечения надежности и качества системы АСОНИКА и регламентирует ее применение при решении задач исследования безотказности АРЭУ. Необходимая для проведения расчетов информация об электрических, тепловых и механических характеристиках схем и конструкций АРЭУ рассчитывается с помощью соответствующих проблемных подсистем системы АСОНИКА.

Кроме того, рассмотрены источники и способы представления исходной статистической информации об элементной базе АРЭУ. Показано, что статистические характеристики различных партий однотипных элементов могут значительно отличаться, что вызывает необходимость получения оперативной информации о конкретных партиях элементов с помощью систем информационного обеспечения САПР, подобных созданной в Ленинградском электротехническом институте. В качестве примера приведены результаты исследований процессов старения и температурных изменений сопротивлений тонкопленочных резисторов.

Возможности разработанной методики иллюстрируются расчетами конкретных устройств. Показано, что ее использование позволяет до изготовления опытной партии и испытаний опытных образцов выявить основные факторы, определяющие уровень безотказности АРЭУ и разработать мероприятия, направленные на обеспечение требуемого уровня

показателей безотказности.

Результаты расчетов сопоставлены со статистическим материалом, полученным экспериментально на базе тестовых микросборок и опытных образцов для процессов температурных изменений выходных характеристик. Распределение отклонений выходных характеристик АРЭУ при заданной температуре может быть аппроксимировано нормальным распределением. Как показали проверки с помощью критерия χ^2 Широна, экспериментальные и гипотетическое (нормальное) распределение согласуются при уровне значимости - 5%, при этом расчетные значения моментов отклонений выходных характеристик отличаются от экспериментальных не более, чем на $\pm 10\%$. Полученные результаты подтверждают правильность основных положений и выводов диссертационной работы.

В заключении сделаны выводы, относящиеся к диссертационной работе в целом.

В приложении приведены тексты программных модулей подсистемы и акты внедрения результатов работы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Разработан вероятностный метод расчета показателей безотказности АРЭУ, отличающийся от существующих тем, что он позволяет:

- проводить расчеты вероятности безотказной работы по постепенным отказам для реально существующих излинейных и немонотонных зависимостей параметров элементов от возмущающих факторов в заданных диапазонах изменения индивидуально для каждого элемента на основе использования кусочно-линейных квазидетерминированных функций;

- рассчитывать оценки степени влияния выходных характеристик АРЭУ, возмущающих факторов, электрорадиоэлементов и их параметров на общий уровень показателей безотказности АРЭУ, что дает возможность управлять этим уровнем.

2. Создана подсистема анализа и обеспечения надежности и качества, расширяющая функциональные возможности системы АСОНИКА, в которой программно реализован метод расчета показателей безотказности, а именно:

- разработаны структура и алгоритм функционирования подсис-

темы, определен состав, разработана структура входных и выходных данных и создана программная реализация, позволяющая решать практические задачи в объеме оперативной памяти ЭВМ, выделяемом проблемной подсистеме системы АСОНИКА;

- разработан проблемно-ориентированный входной язык подсистемы, который в сочетании с наглядностью представления результатов расчетов позволяет эксплуатировать подсистему пользователям, не имеющим специальных знаний в области программирования и работы на ЭВМ.

3. Предложена методика обеспечения безотказности АРЭУ при автоматизированном проектировании с помощью системы АСОНИКА. В рамках этой методики разработана инженерная методика исследования безотказности АРЭУ, которая позволяет выявить основные факторы, определяющие уровень безотказности АРЭУ и на этой основе своевременно принять меры, направленные на повышение безотказности с целью обеспечения требований технического задания.

4. Результаты практического применения разработанной методики и проведенные экспериментальные исследования элементной базы и самих устройств подтвердили правильность основных положений и выводов диссертации.

5. Основные результаты работы внедрены на ряде промышленных предприятий при проектировании аналоговых радиоэлектронных устройств и в учебный процесс высших учебных заведений.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

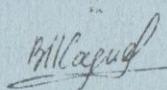
1. Кофанов Ю.Н., Жаднов В.В., Салезнев С.Б. Математическое моделирование и вычислительный эксперимент в задачах обеспечения надежности РЭА.//ХII Всесоюз. науч. сесс., посвящ. Дню Радио. Тез. докл. Ч. I. - М.: Радио и связь, 1987, с. 59-60.

2. Жаднов В.В. Обеспечение точностных характеристик микросборок на этапе конструкторского проектирования.//В кн.: Прогрессивные методы конструирования и гибкое автоматизированное производство микроэлектронной аппаратуры. Материалы семинара. - М.: МДНП, 1986, с. 59-61.

3. Жаднов В.В. Подсистема анализа и обеспечения качества и надежности РЭА системы АСОНИКА.//Всесоюз. науч.-техн. симпозиум. Надежность и качество в приборостроении и радиоэлектронике. Тез. докл. Ч. I. - М.: Радио и связь, 1986, с. 57-58.

4. Каднов В.В. Подсистема для исследования параметрической надежности РЭА в системе автоматизированного проектирования.//В кн.: Эффективность и надежность сложных технических систем. Материалы семинара. - М.: МДИП, 1985, с. 53-56.
5. Кофанов Ю.Н., Каднов В.В. Исследование стабильности амплитудно-частотной характеристики избирательного усилителя с помощью "Автоматизированной подсистемы прогнозирования надежности и качества". Описание лабораторной работы. - М.: РИО МИЭМ, 1985, 12 с.
6. Кофанов Ю.Н., Шрамков И.Г., Каднов В.В. и др. Программный комплекс обеспечения стабильности выходных характеристик микросборок.//Всесоюз. науч.-техн. конф. Теория и практика конструирования и обеспечения надежности и качества электронной аппаратуры и приборов. Тез. докл. - М.: Радио и связь, 1984, с. 64.
7. В.В. Каднов, В.В. Подшивалов. Подсистема расчета вероятностных показателей качества для САПР "АСОНИКА".//В сб.: Конференция молодых ученых и специалистов по теории систем и вопросам САПР. Тез. докл. - М., 1983, с. 10-II (ДСП).
8. Каднов В.В., Куликов В.Н., Шрамков И.Г. Автоматизация расчетов стабильности микросборок.//Межвуз. сб. Ленингр. ин-т авиац. приборостр. 1983, № 163, с. 99-103.
9. Кофанов Ю.Н., Розанов Ю.К., Каднов В.В. и др. Оценка стабильности функциональных характеристик преобразовательных устройств. - Электронная промышленность. Сер. Преобразовательная техника. 1982, вып. 6 (143), с. 1-4.
10. Каднов В.В., Куликов В.Н. Программа расчета показателей точности и стабильности выходных характеристик узлов РЭА для системы автоматизированного проектирования.//В сб.: Прогнозирование и диагностика в повышении эффективности производства и эксплуатации РЭА. Под общ. ред. В.В. Пестрякова и Ю.Н. Кофанова. - М., 1982, с. 69. (ДСП).
- II. Каднов В.В., Куликов В.Н., Родионова Т.В. Использование параметрических функций чувствительности в методике исследования точности и стабильности РЭА.//В кн.: Чувствительность электронных и электромеханических устройств и систем. Тез. докл. Всесоюз. школы-семинара. - М.: Радио и связь, 1979, с. 49.

СОСКЕТАЛЬ



В.В. Каднов