

програмному забезпеченні стаціонарного встаткування. Незважаючи на те, що стандарт є корпоративним, стандарт Tetrapol підтримується більшою кількістю великих виробників устаткування.

За кількістю існуючих проектів мереж зв'язку стандарт TETRA не поступається Tetrapol, однак більшість проектів перебуває в початковій стадії: досвідченої експлуатації пілотних мереж або розгортання систем зв'язку. Поки практично всі мережі зв'язку зосереджені в Європі. Мабуть, стандарт TETRA підтриманий найбільшою кількістю провідних виробників, причому не тільки європейських. Свої системи на базі стандарту TETRA випустили такі провідні компанії, як Motorola (система Dimetra), Nokia (Nokia TETRA), OTE Marconi (ELETTRA).

Стандарт APCO 25 тільки починає свій перехід у стадію розгортання мереж зв'язку. Поки реально випускається встаткування системи ASTRO компанії Motorola. Існують проекти декількох мереж у США, укладений перший контракт на поставку встаткування в Європу (система зв'язку британської митниці).

При виборі стандарту радіозв'язку обов'язково необхідно враховувати інформацію про те, чи є стандарт відкритим, чи корпоративним (закритим).

Корпоративний стандарт Tetrapol є власністю його розроблювача – компанії Matra. Придбання встаткування можливо тільки в обмеженого кола виробників.

VII Висновки

Відкриті стандарти, до яких відносяться TETRA і APCO 25, забезпечують створення конкурентного середовища, залучення великої кількості виробників базового встаткування, абонентських радіостанцій, тестової апаратури для випуску сумісних радіозасобів, що сприяє зниженню їхньої вартості. Доступ до специфікацій стандартів надається будь-яким організаціям і фірмам, що вступили у відповідну асоціацію. Користувачі, що вибирають відкритий стандарт радіозв'язку, не попадають у залежність від єдиного виробника й можуть міняти постачальників устаткування. Відкриті стандарти користуються підтримкою з боку державних і правоохоронних структур, великих компаній багатьох країн світу, а також підтримані провідними світовими виробниками елементної й вузлової бази.

Все це дозволяє говорити про те, що відкриті стандарти з більшою ймовірністю в перспективі завоюють ринок систем транкінгового радіозв'язку.

Література: 1. Л. М. Невдяев. Мобильная связь 3-го поколения. Под ред. Ю. М. Горностаева, М.: МЦНТИ, ИЛ, 2000. - 208 с. 2. В. П. Николаев. Новые технологии GSM для сотрудников служб безопасности. //Специальная техника. 2000, № 4, с.16 – 20. 3. А. Н. Дремов. Решительный шаг к интеграции. TETRA на пути к поколению 3G // Технологии и средства связи. 2001, № 2, с. 46 – 52. 4. ГОСТ Р50922-96. Защита информации. Основные термины и определения. 5. А. М. Овчинников, С. В. Воробьев, С. И. Сергеев. Открытые стандарты цифровой транкинговой радиосвязи. М.: МЦНТИ, ИЛ, 2000. - 166 с. 6. А. Фильчаков. TETRA – профессиональное радио и не только // КомпьютерПресс, 2000, № 5.

УДК 531/534(075.8)

МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ МОДУЛЕЙ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ

Борис Уваров, Юрий Зиньковский

Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт"

Анотация: Розглянуто проблеми, що виникають при проектуванні радіоелектронної апаратури захисту інформації. Для її проектування потрібні методи, що забезпечать максимальні показники якості. Запропоновано створити такі методи за допомогою теорії подібності у вигляді системи критеріальних рівнянь.

Summary: The problems arising at designing of the radioelectronic equipment of protection of information are considered. For her designing the methods able to ensure the maximal parameters of quality are necessary. It is offered such methods to create with the help of the theory of similarity as system of criterials equations.

Ключевые слова: Радиоэлектронная аппаратура защиты информации, методы проектирования, теория подобия, оптимизация.

I Введение

Современная цивилизация характеризуется широким применением устройств РЭА – практически нет ни одной области деятельности человека, где бы не использовались разнообразные радиоэлектронные средства (РЭС). Конструктивное исполнение аппаратуры защиты информации (как стационарной, так и устанавливаемой на подвижных носителях) – такое же, как и любой другой РЭА, но в качестве ее особенностей необходимо выделить предъявляемые к ней требования минимальных габаритов, минимального энергопотребления, максимальной надежности и безотказности в условиях эксплуатации.

Разработка методов проектирования оптимальных (наилучших по своим характеристикам) устройств РЭА – актуальная и важная проблема, которую необходимо решать, начиная с создания математических моделей на структурном уровне и до получения проектной конструкторской документации будущего РЭС.

Наилучшая конструкция РЭС может быть создана, если уже на этапе проектирования аппарата будет поставлена цель получить его показатели оптимальными и которые соответствующим образом отображены в целевой функции (ЦФ) – системе уравнений, содержащих основные характеристики устройства и их взаимосвязь. Получение такой модели должно быть обеспечено методами проектирования, хотя чаще всего это также бывает проблемой, которую необходимо решать впервые.

Получение наивысшего (оптимального) значения ЦФ требует выражения этого показателя в числовом измерении, соответствующих методов оптимизации его параметров, использования систем автоматизированного проектирования (САПР) и современной инструментальной базы – компьютеров, в том числе персональных (ПК).

II Системный подход к процессу проектирования РЭС

Главная задача процесса проектирования РЭС – получить проектное решение (комплект документации с описанием функциональных свойств – технических характеристик, рабочей конструкторской и технологической документации, эксплуатационных инструкций и т. п.), которое обеспечит наивысшие показатели качества устройства. В сжатом виде конечное проектное решение должно быть отображено в ЦФ устройства. Получение ЦФ в виде уравнения (или системы уравнений) чаще всего бывает проблемой, которую необходимо решать впервые.

Методы, используемые при проектировании, должны быть совершенными – прежде всего, давать возможность получать оптимальные проектные решения, а кроме того, обеспечить минимальные затраты энергии (технических средств проектирования, человека-проектировщика), материальных средств и времени. Не последнее требование к методам проектирования – возможность использовать современные интегрированные средства программирования, математические и графические пакеты (например – *C++Builder, MATLAB, AutoCad*, другие), САПР.

Этим требованиям отвечают структурно-оптимизационные методы: стремятся прежде всего создать такую ЦФ, которая могла бы обеспечить оптимальную структуру объекта, объединяла бы в себе основные параметры устройства, и не требовала бы изменения ее самой на последующих этапах проектирования; оптимума ее достигают параметрической оптимизацией – изменением параметров таким образом, чтобы достичь максимального значения показателя качества. Главная проблема этих методов заключается в создании ЦФ, адекватной будущему техническому устройству: она должна содержать в себе все связи между отдельными параметрами конструкции и определять их влияние на главный показатель качества этого устройства.

Универсальными критериями качества должны быть безразмерные показатели, сформированные таким образом, чтобы их можно было применять в определенной отрасли техники для оценки технических устройств, функционирование которых базируется на одинаковых физических процессах. В такой области техники, как РЭА, эти критерии должны быть общими, характеризовать качество радиоэлектронных устройств, какую бы они не выполняли функцию – приемника, генератора, передатчика, измерительного прибора.

Достижение оптимума ЦФ при структурно-оптимизационном методе обеспечивают условной оптимизацией параметров (оптимизацией с ограничениями), для чего необходимо создавать специальные (т. н. объектно-ориентированные) САПР, в состав которых входят программы оптимизации. Эти последние должны быть достаточно эффективными, потому что условная оптимизация ЦФ многих переменных – а их число может достигать десятков и сотен – это достаточно серьезная вычислительная проблема. К ЭВМ предъявляются требования, прежде всего, большого быстродействия: оптимизация проводится последовательными итерациями, на каждой из которых производится большой объем вычислений.

III Создание ЦФ РЭС методами теории подобия

Методами теории подобия и размерностей возможно создать структурную модель РЭС и его ЦФ в виде функции – нулевой модели, в которой объединены все определяющие параметры в комплексном показателе, а потом оптимизировать ее параметры.

Теория подобия дает возможность определить взаимосвязи между параметрами рассматриваемого процесса в виде критериальных уравнений, заменяющих полную систему дифференциальных уравнений, описывающих этот процесс. Для этого необходимо выбрать обобщенные координаты (физические величины, параметры), характеризующие все особенности рассматриваемого явления, и из них сформировать критериальные уравнения [1].

В любом техническом устройстве осуществляется перенос или изменение вещества, энергии, информации: для РЭА – генерирование, излучение, прием или преобразование радиосигналов; в устройствах вычислительной техники – аналогичные процессы для информационных потоков; в механических системах – передача силовых потоков и механической энергии движения. Такие процессы и описывают системами критериальных уравнений, в которые входят основные параметры пространства, где производится передача энергии, или изменяются параметры передаваемого вещества.

В теории подобия для формирования критериев подобия и критериального уравнения, характеризующего процесс, необходимо выделить все физические величины, влияющие на характеристики процесса, с их размерностями, и выбрать систему единиц измерения для этих физических величин. В соответствии с π -теоремой теории, количество π_k безразмерных критериев подобия K_i :

$$\pi_k = \pi_{pn} - \pi_{ov} ,$$

где π_{pn} – число размерных параметров; π_{ov} – число основных единиц измерения системы физических величин.

Конструкцию РЭС также необходимо описать критериальными уравнениями, сформированными методами теории подобия, с использованием обобщенных переменных, которые и формируют единичные критерии подобия.

Но при этом понятия обобщенных переменных для создания ЦФ конструкции РЭА необходимо расширить: к физическим величинам, характеризующим энергетические процессы, происходящие в РЭА, следует добавить конструктивные параметры – геометрические (размеры), инерционные (массы, моменты инерции), напряжения в элементах конструкции [1].

Из единичных безразмерных критериев K_i , характеризующих один из основных энергетических процессов – электромагнитный, тепловой, механический – необходимо сформировать частичные критерии \bar{K}_i , определив соответствующие функции влияния ϕ_{ik} .

Комплексный критерий \bar{K} , т. е. ЦФ РЭС, следует сформировать как аддитивный показатель из частичных \bar{K}_i – это и будет нулевая модель устройства, не требующая изменений принципиальных решений и конструктивной структуры объекта на последующих этапах проектирования.

Целевая функция РЭС в виде критерия \bar{K} содержит в себе все конструктивные параметры будущего устройства, оптимизация этих параметров даст возможность получить его конструкцию с наивысшими показателями качества.

Обобщенный комплексный критерий \bar{K} , учитывающий влияние всех параметров на показатели проектируемого РЭС, дает возможность определить, какие параметры и каким образом влияют на его качество, т. е. позволяет спроектировать устройство с наивысшими показателями качества, начиная с создания структурной модели нулевого уровня.

IV Формирование единичных, частичных и комплексного критериев

Единичные безразмерные критерии подобия, формируемые из физических величин, обычно представляют в виде степенных комплексов:

$$K_i = a^\alpha b^\beta c^\gamma d^\delta \dots ,$$

где $a, b, c, d \dots$ – размерные параметры, $\alpha, \beta, \gamma, \delta \dots$ – коэффициенты влияния соответствующего размерного параметра на критерий K_i .

Единичные критерии K_i , относящиеся к какой-либо одной стороне общего процесса (это могут быть процессы теплообмена объекта и окружающей среды, поведение устройства при вибрационных воздействиях и т. п.) необходимо объединить в частичные критерии \bar{K}_i , например, аддитивные:

$$\bar{K}_i = \sum_k^n \phi_{ik} K_i .$$

Совокупность таких аддитивных показателей, в соответствии с принципом взаимности Онзагера [2], образуют систему n линейных уравнений, которая и будет целевой функцией устройства:

$$\bar{K} = \sum_i^n \bar{K}_i = \sum_i^n \sum_k^m \phi_{ik} K_i . \quad (1)$$

Для РЭС комплексный критерий \bar{K} – это система уравнений [1]:

$$\left. \begin{aligned} \bar{K}_1 &= \phi_{1V} K_Q + \phi_{1T} K_{Tec}; \\ \bar{K}_2 &= \phi_{2B3} K_{B3} + \phi_{2M} K_{M\Sigma} + \phi_{2P} K_{P\Sigma}; \\ \bar{K}_3 &= \phi_{3T} K_T + \phi_{3P} K_{Pt}, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где \bar{K}_1 – частичный критерий, определяемый макропоказателями конструкции; \bar{K}_2 – частичный критерий, определяемый механическими процессами, \bar{K}_3 – тепловыми.

Частичный критерий макропоказателей конструкции \bar{K}_1 – влияние единичных критериев совершенства конструкции K_Q и технологичности K_{Tec} . Критерий \bar{K}_1 отображает общие конструктивные особенности, влияние технологии изготовления деталей и сборочных единиц на показатели качества РЭС.

Единичный критерий K_Q соотносит мощность, необходимую аппарату для реализации его функционального назначения, с его объемом V и массой M . Любой радиоэлектронный прибор для собственного функционирования требует электрической энергии от первичного источника – батареи или электрической сети (если он не питается от внутреннего, входящего в состав самого РЭС), поэтому мощность N , требуемая от источника – один из главных параметров устройства. Часть этой мощности может быть использована для создания потока энергии \bar{N} на выходе из аппарата (для усилителя, передатчика, излучателя и т. п.); для обеспечения функционирования радиоэлектронной структуры используется мощность $N_\phi = N - \bar{N}$, она же будет теряться аппаратом, как тепловые потери в окружающую среду.

Соотношение N_ϕ с объемом и массой аппарата будет показывать совершенство конструктивных решений, обеспечивающих функционирование последнего. Важными показателями для РЭА являются параметрические критерии заполнения объема корпуса k_3 и использования массы k_m ; $k_3 = \bar{V}/V$ – характеристика рациональности компоновки (\bar{V} – объем, занятый электрорадиоэлементами – ЭРЭ и функциональными узлами – ФУ); $k_m = \bar{M}/M$ – характеристика массы радиоэлектронной структуры в аппарате (\bar{M} – масса ЭРЭ и ФУ).

Поскольку критерии качества должны быть безразмерными, критерий совершенства конструкции РЭС имеет вид [1]:

$$K_Q = \frac{(N - \bar{N})(T_p)^3 k_m (k_3)^{2/3}}{M(V)^{2/3}},$$

где T_p – технический ресурс (или время безотказной работы) всего аппарата.

Показатели степени для T_p и V обеспечивают безразмерность самого K_Q , а у k_3 и k_m они такие же, как и у параметров, с которыми эти критерии связаны (т. е. V и M). Выражение для K_Q – макропоказатель конструктивной структуры РЭС и технических решений, обеспечивших ее реализацию: чем меньше объем и масса корпуса, в котором осуществляется функционирование радиоэлектронной структуры аппарата, тем совершеннее конструкция; видно также, какое значительное влияние на качество аппарата имеет показатель надежности T_p .

Критерий совершенства конструкции K_Q необходимо нормировать, если он должен войти в аддитивный комплексный критерий \bar{K} .

Технологическое совершенство конструкции может быть оценено основными показателями технологичности: критерием уровня технологичности $K_{рт}$ – по трудоемкости изготовления, и $K_{св}$ – себестоимости; они безразмерны, их можно объединить в один: $K_{Tec} = K_{рт} \times K_{св}$.

Таким образом, частичный критерий макропоказателей всей конструкции:

$$\bar{K}_1 = \phi_{1V} K_Q + \phi_{1T} K_{Tec} .$$

Приоритеты ϕ_{1V} и ϕ_{1T} определяет проектировщик для каждого конкретного РЭС.

Механические процессы: нагружение внешними механическими воздействиями и появление внутренних напряжений в материале деталей как следствие внешних влияний, колебательные процессы всего РЭА и элементов конструкции, усталость материалов деталей и возможность их разрушения под действием циклических нагрузок – все это учитывается единичными критериями эффективности виброзащиты K_{B3} , несущей способности конструкционных материалов K_M , надежности конструкции под действием механических нагрузок $K_{P\sigma}$, формирующими частичный критерий \bar{K}_2 .

Совершенство системы защиты РЭС от вибрационных и ударных влияний оценены критериями динамического усиления $K_{дин}$ при силовом возбуждении передачи, $K_{кин}$ – при кинематическом, согласно с [3], функциями:

$$K_{дин} = \frac{s_b}{s_{ст}} = \frac{1}{\sqrt{[1 - \varpi^2]^2 + 4\gamma^2\varpi^2}}; \quad K_{кин} = \frac{s_b}{s_o} = \frac{\sqrt{1 + 4\gamma^2\varpi^2}}{\sqrt{[1 - \varpi^2]^2 + 4\gamma^2\varpi^2}},$$

где амплитуды перемещений: s_b – вынужденных аппарата, $s_{ст}$ – статических от действия внешней периодической силы, s_o – основания, к которому крепится аппарат; $\varpi = \omega/\omega_o$ – параметрический критерий расстройки (отношение частот – внешнего периодического фактора ω и собственной ω_o объекта); γ – коэффициент механических потерь в виброизоляторах.

В дорезонансной зоне эффективность виброзащиты можно оценить значениями $K_{эф} = 1/K_{дин}$ и $K_{эф} = 1/K_{кин}$ ($K_{дин} > 1$ и $K_{кин} > 1$), а в зарезонансной – $K_{эф} = 1 - K_{дин}$ или $K_{эф} = 1 - K_{кин}$ ($K_{дин} < 1$ и $K_{кин} < 1$). Общее обозначение критериев эффективности виброзащиты – K_{B3} .

Использование несущих способности конструкционных материалов определяет критерий K_M : в элементах конструкции возникают действующие напряжения σ , τ , σ_k (нормальные, касательные, контактные); допустимые их значения σ_p , τ_p , σ_{kp} определяются свойствами материалов и режимом нагружения детали.

Параметрические безразмерные критерии:

$$K_{M1}^{st} = \frac{\sigma^{st}}{\sigma_p^{st}}; \quad K_{M2}^{st} = \frac{\tau^{st}}{\tau_p^{st}}; \quad K_{M3}^{st} = \frac{\sigma_k^{st}}{\sigma_{kp}^{st}},$$

в первом приближении определяют, насколько использована возможность материала нести нагрузку. Все эти критерии можно объединить в один:

$$K_{M\Sigma} = \left(\frac{\sigma}{\sigma_p}\right)^\alpha \cdot \left(\frac{\tau}{\tau_p}\right)^\beta \cdot \left(\frac{\sigma_k}{\sigma_{kp}}\right)^\gamma,$$

где α , β , γ – коэффициенты влияния соответствующих напряжений на общую прочность конструкции – последние могут быть найдены расчетами или методами регрессионного анализа; максимальное значение $K_{M\Sigma} = 1$ для РЭС наивысшего качества ($K_{M\Sigma}$ не может быть больше единицы – это означало бы превышение допустимого уровня напряжений и возможность разрушения конструктивного элемента при эксплуатации).

Вероятность безотказной работы $P_i(\tau)$ элемента конструкции при воздействии N_c циклов нагружения, в результате которых возникают действующие напряжения σ_e , согласно с моделью DM-распределения (диффузионного монотонного) наработки на отказ [4], определяется относительным сроком службы x :

$$x = \frac{N_c}{N_b} \left[\frac{\sigma_e}{\sigma_{-1}} \right]^m,$$

где N_b – базовое число циклов, σ_e и σ_{-1} – действующее напряжение и предел выносливости материала соответственно; m – показатель степени кривой усталости.

Вероятность безотказной работы:

$$P(x) = 0,5 \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{1-x}{\nu \sqrt{2x}} \right) \right], \quad (3)$$

где ν – коэффициент вариации исходных параметров нагружения.

Вероятность безотказной работы всей конструкции из n элементов – произведение вероятностей $P_i(\tau)$, и будет единичным критерием $K_{P\sigma}$:

$$K_{P\sigma} = P(\tau) = \prod_{i=1}^n P_i(\tau). \quad (4)$$

Частичный критерий для механических процессов:

$$\bar{K}_2 = \phi_{2B3} K_{B3} + \phi_{2M} K_{M\Sigma} + \phi_{2P} K_{P\sigma}. \quad (5)$$

Температуры ЭРЭ и ФУ в рабочем режиме часто могут быть определяющими для радиоэлектронного аппарата, поэтому в выражение ЦФ входит частичный критерий, учитывающий влияние теплового режима на функциональные показатели РЭС, и в нем две составляющие: единичный критерий K_T , характеризующий тепловой режим отношением температуры допустимой T_{ip} и действующей T_i для ФУ, ЭРЭ, элементов конструкции: $K_{iT} = T_{ip}/T_i$, и единичный критерий надежности конструкции K_{Pt} , учитывающий вероятность безотказной работы $P_i(\tau)$ ФУ, ЭРЭ в зависимости от их теплового режима.

Критерий K_T – отношение абсолютных температур окружающей среды T_0 и температур ЭРЭ и ФУ $T_{эл}$, ($T_{эл}$ не должны превышать допустимых) [5]:

$$K_T = \frac{T_0}{T_{эл}} = 1 - \frac{N_k}{T_0 F_k} \left(\frac{F_k}{k_{эл} F_{эл}} \cdot \frac{N_{эл}}{N_k} + \frac{1}{k_{вн}} + \frac{1}{k_{ст}} + \frac{1}{k_k} \right),$$

где $N_{эл}$ – мощность, выделяемая электронной структурой РЭС; $N_k = N_{эл} + N_{охл}$ – полная мощность, отводимая с поверхности корпуса и учитывающая дополнительную мощность системы охлаждения; $F_{эл}$, F_k – поверхности тепловыделяющих элементов и корпуса, соответственно; $k_{эл}$, $k_{вн}$, k_k – критерии теплоотдачи от поверхностей ЭРЭ к внутреннему объему, от последнего к корпусу, от корпуса к внешней среде, соответственно; $k_{ст}$ – коэффициент теплопередачи через стенки корпуса.

Вероятность безотказной работы $P_i(\tau)$ каждого ЭРЭ в зависимости от теплового режима согласно модели DN -распределения (диффузионного немоного) наработки на отказ [4]:

$$P_i(x) = 0,5 \left\{ \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{1-x}{v\sqrt{2x}} \right) \right] + e^{\frac{2}{v^2}} \left[1 + \operatorname{erf} \left(-\frac{1+x}{v\sqrt{2x}} \right) \right] \right\},$$

где $x = \tau/T_p$ – как и для механических процессов, относительный срок службы; v – коэффициент вариации влияющих факторов, приводящих к выходу из строя ЭРЭ или ФУ.

Вероятность безотказной работы всех ЭРЭ и ФУ (так же, как и для механических процессов):

$$K_{Pt} = P(\tau) = \prod_{i=1}^n P_i(\tau). \quad (6)$$

Частичный критерий для тепловых процессов:

$$\bar{K}_3 = \phi_{3T} K_T + \phi_{3P} K_{Pt}. \quad (7)$$

V Основные объекты оптимизации в составе РЭС

Основными структурно-конструктивными модулями первого уровня (СКМ1) любого РЭС являются т. н. ячейки и микросборки (МСБ) – функционально законченные РЭС, ЭРЭ и ФУ которых размещены на пластмассовой, металлической или керамической печатной плате (ПП). У некоторых РЭС в СКМ1 сосредоточены все электромагнитные или электрические процессы, осуществление которых определяет функциональное назначение устройства; на долю других элементов конструкции, принимающих участие в поддержании упомянутых процессов, остается только обеспечение электрических связей между модулями; СКМ1 может иметь специальный каркас, системы теплоотвода и экранирования.

В конструктивной иерархии РЭА СКМ1 входят в состав конструкций второго уровня – блочных каркасов (СКМ2), а последние – в состав конструкций наивысшего, третьего уровня (СКМ3): шкафа, стойки, контейнера, пульта. Обычно защиту от внешних механических и климатических дестабилизирующих воздействий обеспечивают конструкции второго и третьего уровня, оборудуемые для этого системами вибро- удароизоляции и поддержки необходимого температурного режима.

В общем объеме всей разнообразной РЭА СКМ1 составляют не менее 67–85% структурных элементов, поэтому можно считать, что именно они и должны рассматриваться как основные объекты, показателей конструктивного и функционального совершенства которых необходимо достичь в первую очередь, для них и должны прежде всего создаваться методы проектирования оптимальных конструкций.

VI Методы оптимизации СКМ1

Оптимизация РЭС в процессе проектирования – это обеспечение оптимальности комплексного критерия \bar{K} (1) и частичных \bar{K}_i , входящих в систему уравнений (2). Все эти критерии сформированы таким образом, что наивысшее качество оптимизируемых объектов достигается при максимальном значении критериев, поэтому при проектировании необходимо стремиться достигнуть максимума каждого из них. Оптимизационные модули САПР, проектирующей оптимальный РЭС, и должны обеспечить максимум

критерия \bar{K} изменением конструктивных параметров СКМ1 – размеров, массовых характеристик, компоновки элементов на ПП или подложке МСб.

Анализ показывает, что компоновка СКМ1 – расположение ЭРЭ и ФУ на ПП или подложке МСб – определяет показатели надежности РЭС как при механических воздействиях (критерий \bar{K}_2) [1], так и при тепловых (критерий \bar{K}_3) [5].

При механических воздействиях наихудшие условия работы для СКМ1 – в резонансной зоне, когда частоты внешних воздействий ω и собственных колебаний ПП ω_0 близки друг к другу. В этом случае динамические прогибы платы, а следовательно и механические напряжения в выводах ЭРЭ, микросхем (МС), в паяных соединениях максимальны. При проектировании стараются вывести плату из резонансной зоны, и это можно сделать, изменяя координаты установленных на ней ЭРЭ, МС, ФУ.

Частота собственных колебаний платы размерами $a \times b$ с установленными на ней ЭРЭ, МС, ФУ [3]:

$$\omega_0 = \frac{\varphi(\beta)}{a^2} \sqrt{\frac{D}{m}},$$

где m – т. н. приведенная масса платы; D – цилиндрическая жесткость платы; $\varphi(\beta)$ – частотная функция, определяемая способом закрепления сторон платы; $\beta = a/b$.

Выражение для приведенной массы платы [3]:

$$m = m_n + m_s + \sum_{i,k} \frac{m_i w_i^2(\xi) w_k^2(\vartheta)}{ab \int_a^b w_i^2(\xi) d\xi \int_a^b w_k^2(\vartheta) d\vartheta},$$

где m_n – масса самой пластины ПП; m_s – суммарная масса ЭРЭ на плате; m_i – массы отдельных ЭРЭ и их координатные функции $w_i(x)$, $w_k(y)$.

Изменением в процессе оптимизации координат x и y каждой массы m_i и добиваются максимальной стойкости конструктивных элементов СКМ1, т. е. максимального значения критерия \bar{K}_2 .

Тепловой режим СКМ1 – температуры ЭРЭ, МС, ФУ – также определяется их размещением на ПП или подложке МСб, т. е. теми же координатами x и y . Например, температурное поле МСб с размерами $a \times b \times h$ с установленными на ней источниками тепла Q_i (ЭРЭ, МС, ФУ), у которой охлаждаются ее плоскости и торцы, описывается уравнением [5]:

$$T_{n,m}(x, y) = 8 \sum_{i=1}^k \frac{Bi}{\alpha} \frac{ab}{h^2} \frac{Q_i}{\Delta x_i \Delta y_i} \sum_{n=2}^{\infty} \sum_{m=2}^{\infty} K_n^2 K_m^2 \frac{I_n(x_i) I_m(y_i)}{\mu_n^2 \frac{b}{a} + \mu_m^2 \frac{a}{b} + Bi} \cos\left(\frac{\mu_n}{a} x\right) \cos\left(\frac{\mu_m}{b} y\right).$$

Это уравнение получено решением исходного дифференциального уравнения Фурье методом конечных интегральных преобразований, поэтому в него входят корни характеристических уравнений μ_n , μ_m , ядра интегральных преобразований K_n , K_m , функции изменения температуры вдоль соответствующих координат

$I_n(x)$, $I_m(y)$; Bi – критерий Био, определяемый коэффициентом теплоотдачи α с плоскостями МСб. Существенным в этом уравнении является зависимость температур ЭРЭ от координат x и y : изменяя последние, можно оптимизировать температурное поле всей МСб.

Таким образом, для достижения оптимальных значений показателей надежности требуются различные компоновки ЭРЭ: одна при действии механических нагрузок (критерий $K_{P\sigma}$), другая – при действии температуры (критерий K_{Pt}). Если же оба показателя надежности для устройства являются определяющими, эти два критерия целесообразно объединить в один $K_{P\Sigma} = K_{P\sigma} K_{Pt}$, и оптимизацию – изменение координат ЭРЭ и ФУ на плате или подложке – проводить до получения максимального значения $K_{P\Sigma}$.

Особенно важна такая оптимизация для проектируемых аппаратных средств систем защиты информации – они все, как правило, должны иметь минимальные массогабаритные характеристики и обладать максимальной надежностью на протяжении длительного периода эксплуатации.

Для параметрической оптимизации конструкции СКМ1 – достижения максимального значения комплексного критерия \bar{K} и его составляющих \bar{K}_2 , \bar{K}_3 , или критерия $K_{P\Sigma}$, обеспечивающего максимальные показатели надежности, необходимо создавать т. н. объектно-ориентированные программные комплексы в интегрированных средах, например, в *C++Builder*.

VII Выводы

1. Отмечено, что аппаратура систем защиты информации отличается от большинства РЭС повышенными требованиями к показателям качества: массогабаритным, энергопотребления, надежности, долговечности. Первые два показателя должны быть минимальными, а два другие – максимальными.

2. Высказано положение о том, что для достижения наивысших показателей качества должны быть разработаны методы проектирования, позволяющие сформировать оптимальную структуру будущего устройства в виде целевой функции – системы уравнений, описывающих основные функциональные свойства РЭС и их взаимосвязи.

3. Предложено систему уравнений целевой функции получать с помощью методов теории подобия в виде безразмерных критериальных уравнений. Система содержит как единичные, так и частичные критерии, описывающие основные процессы, протекающие в РЭС – электрические, механические, тепловые. Целевая функция может быть выражена числовым показателем – комплексным критерием, оптимизация которого обеспечивает наивысшие показатели качества проектируемого объекта.

4. Показано, что основными объектами оптимизации в составе РЭА должны быть СКМ1 (структурно-конструктивные модули первого уровня) – ячейки и микросборки, доля которых в составе большинства РЭС составляет 67–85% структурных элементов.

5. Показано, что максимальной надежности СКМ1 и при механических, и при тепловых воздействиях можно достигнуть рациональной компоновкой на его основании ЭРЭ, МС, ФУ.

6. Отмечено, что параметрическая оптимизация ЦФ представляет собой задачу большой размерности (число варьируемых параметров может достигать сотен и тысяч), а для этого необходимы эффективные методы условной оптимизации и вычислительная техника (ЭВМ, ПЭВМ) большой мощности (быстродействия).

Литература: 1. Уваров Б. М., Зиньковский Ю. Ф. Проектування та оптимізація механостійких конструкцій радіоелектронних засобів з імовірнісними характеристиками. – К.: "Корнійчук", 2011. – 248 с. 2. Денбиг К. Термодинамика стационарных необратимых процессов: Пер. с англ. М.: ИЛ, 1954. – 120 с. 3. Токарев М. Ф., Талицкий Е. Н., Фролов В. А. Механические воздействия и защита радиоэлектронной аппаратуры: Учеб. пособие для вузов/Под ред. В. А. Фролова. – М.: Радио и связь, 1984. – 224 с. 4. ДСТУ 2862-94. Надійність техніки. Методи розрахунку показників надійності. Загальні вимоги. 5. Уваров Б. М., Зиньковский Ю. Ф. Оптимізація теплових режимів та надійності конструкцій радіоелектронних засобів з імовірнісними характеристиками. – К.: "Корнійчук", 2011. – 204 с.