

П. П. ПАРАМОНОВ, Ю. А. ГАТЧИН, Б. В. ВИДИН, И. О. ЖАРИНОВ, О. О. ЖАРИНОВ

МОДЕЛИ КОМПОЗИЦИОННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВИОНИКИ

Рассматриваются методологические основы проектирования сложных технических систем на примере разработки комплексов бортового оборудования, выполненных в соответствии с основными положениями концепции интегрированной модульной авионики.

Ключевые слова: бортовое оборудование, композиционное проектирование, интегрированная модульная авионика.

Введение. Согласно современным представлениям о методах проектирования сложных технических систем с использованием принципов композиционного проектирования, системно-структурного и системно-функционального подходов принципы формирования любой автономной системы бортового радиоэлектронного оборудования (БРЭО) определяются, в первую очередь, требованиями к самому летательному аппарату (ЛА).

Для этого необходимо найти количественные соотношения, определяющие, с одной стороны, требования к ЛА как к сложной технической системе (системе более высокого порядка), а с другой — совокупность возможных альтернативных вариантов построения технического облика его подсистемы — БРЭО (системы более низкого порядка). Затем необходимо установить количественные взаимосвязи между найденными соотношениями.

Задачи композиционного проектирования комплекса БРЭО. Решение задачи проектирования БРЭО пятого поколения с оптимизацией по множеству параметров заключается [1] в использовании в качестве концептуального каркаса проекта структурообразующей модели, которую можно составить из имеющихся классов моделей систем и объединяющих их отношений. Вначале формируется область интерпретации, включающая исчерпывающую совокупность значимых сущностей предметной области. Далее устанавливается, какие функции элементов области интерпретации представляются важными.

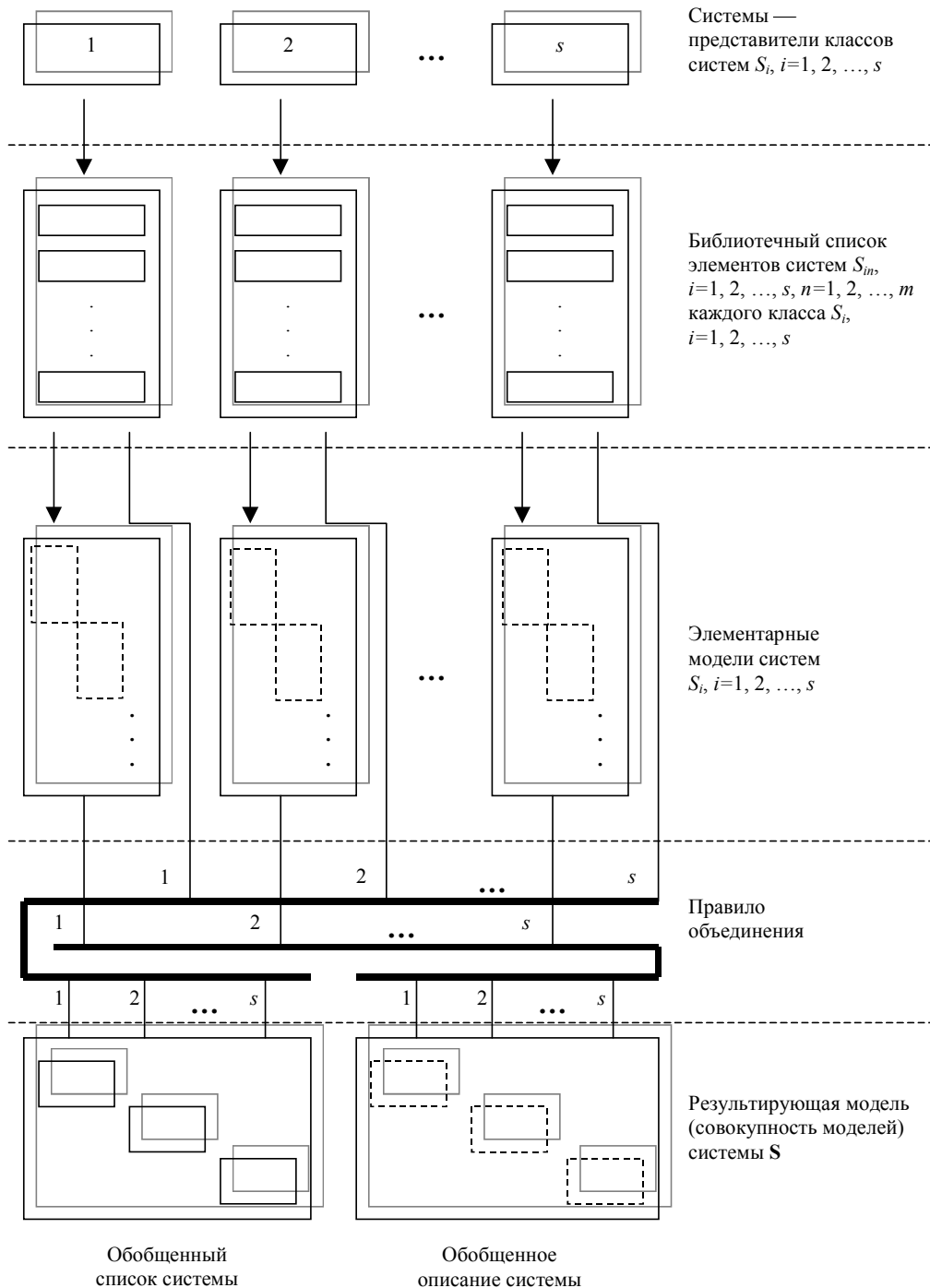
Процедура создания модели комплекса БРЭО существенно упрощается при использовании базиса типовых функций получения, передачи и обработки информации [2, 3]. На основе типовых функций формируются различные схемы функционирования БРЭО. В свою очередь, каждая типовая функция может быть разложена по базису более низкого иерархического уровня. Таким образом формируется иерархическая структура соподчиненных типовых элементов функциональной модели комплекса БРЭО.

Следующий этап создания модели направлен на выявление существенно значимых отношений между элементами области интерпретации и, следовательно, между соответствующими блоками модели. Синтаксическое оформление значимых отношений завершает процедуру построения концептуальной модели комплекса БРЭО.

Создание полной и всеобъемлющей модели для сложной системы нецелесообразно, так как в силу теоремы Тьюринга такая модель будет столь же сложной, сколь и сама система.

Сложная система представима конечным множеством моделей, каждая из которых отражает определенную грань ее сущности. При этом свойства системы рассматриваются как некоторый атрибут объекта проектирования.

Удачной можно считать математическую модель, предложенную Кроном [4], общую для достаточно широкого класса систем. Использование кронковского подхода и конкретизация теоретических идей Месаровича и Яблонского [5] позволяют синтезировать структурную модель комплекса БРЭО, представляющую собой упорядоченный список возможного поэлементного состава комплекса и описание поведения его элементов, что, в свою очередь, приводит к задаче построения оптимальных наборов данных (см. рисунок).



Наиболее распространенными в настоящее время являются методы декомпозиции, снижающие сложность исследуемого объекта и решаемой им задачи. Цель декомпозиции при

этом состоит в представлении сложного объекта в виде элементов ограниченной сложности (групп физически однородных частей), создание которых соответствует возможностям современных методов и средств исследования и проектирования.

Подход на основе принципов композиционного проектирования [5] призван снизить уровень субъективизма при декомпозиции БРЭО перспективных ЛА, т.е. обеспечить, во-первых, адекватность представления объекта проектирования совокупности выделяемых элементов; во-вторых, обратимость процедуры (возможность агрегирования объекта и его характеристик на основе элементов и их характеристик); в-третьих, возможность формализации условий окончания процедуры декомпозиции.

Системный подход к решению задачи проектирования комплекса БРЭО. Корректное проведение процедуры декомпозиции сложного объекта при проектных исследованиях позволяет [6] обосновать использование совокупности математических моделей, необходимых и достаточных для определения значений векторов параметров информационно-измерительной системы БРЭО

$$\left. \begin{aligned} \Psi_d &= \{\Psi_{d1}, \Psi_{d2}, \dots, \Psi_{dn}\}, \Psi_c = \{\Psi_{c1}, \Psi_{c2}, \dots, \Psi_{cn}\}; \\ \Psi_m &= \{\Psi_{m1}, \Psi_{m2}, \dots, \Psi_{mn}\}, \Psi_n = \{\Psi_{n1}, \Psi_{n2}, \dots, \Psi_{nn}\}, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

минимизирующих целевую функцию (функционал) вида

$$\left. \begin{aligned} F &= F(\Psi_d, \Psi_c, \Psi_m, \Psi_n) = F(\Psi); \\ \Psi_d &\subset \Psi; \Psi_c \subset \Psi; \Psi_m \subset \Psi; \Psi_n \subset \Psi \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

при наличии системы ограничений $\Phi = \{\varphi_1(\cdot), \varphi_2(\cdot), \dots, \varphi_\Phi(\cdot)\}$.

Система ограничений Φ связывает: параметры измерительных датчиков $\varphi_1(\Psi_d) \leq 0$; параметры средств преобразования сигналов $\varphi_2(\Psi_c) \leq 0$; параметры бортовой вычислительной машины $\varphi_3(\Psi_m) \leq 0$; параметры средств отображения информации $\varphi_4(\Psi_n) \leq 0$, а также учитывает взаимное влияние элементов векторов параметров $\Psi_d, \Psi_c, \Psi_m, \Psi_n$ в едином комплексе БРЭО:

$$\left. \begin{aligned} \varphi_5(\Psi_d, \Psi_c) &\leq 0; \varphi_6(\Psi_d, \Psi_m) \leq 0; \varphi_7(\Psi_d, \Psi_n) \leq 0; \\ \varphi_8(\Psi_c, \Psi_m) &\leq 0; \varphi_9(\Psi_c, \Psi_n) \leq 0; \\ \varphi_{10}(\Psi_m, \Psi_n) &\leq 0; \varphi_{11}(\Psi_d, \Psi_c, \Psi_m, \Psi_n) \leq 0, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где $\varphi_1(\cdot), \varphi_2(\cdot), \dots, \varphi_{11}(\cdot)$ — функции векторных аргументов.

При составлении системы ограничений (3) необходимо учитывать наличие в комплексе взаимодействующих элементов, каждый из которых выполняет свои функции по определенному алгоритму, а в процессе исполнения алгоритма пребывает в одном из известных состояний.

К специфике задачи оптимизации проектирования БРЭО относится также тот факт, что вариации проектных решений можно рассматривать как структурно-параметрические [7]. Структурность задачи заключается в возможности выбора для реализации комплекса элементов различного типа, решающих одну и ту же функциональную задачу, или в решении ряда функциональных задач средствами одного элемента, причем каждый набор функциональных элементов образует свое множество взаимных связей. В пределах выбранной структуры возможно такое изменение параметров элементов (1), которое меняет показатели качества БРЭО в целом. В математическом аспекте задачи оптимизации изменение структуры сводится к изменению состава и вида системы (3), а также к частичному изменению вида скалярной целевой функции $F(\Psi)$ за счет введения/исключения проектных переменных, описывающих включенные/исключенные функциональные элементы и связи между ними. Параметрические изменения элементов БРЭО приводят к изменению векторов проектных переменных (1).

Задача структурно-параметрического синтеза комплекса БРЭО. Любая структура — это дополнительные ограничения [7], в общем случае сужающие множество допустимых проектных решений:

$$\min_{\Psi \in G'} \{F(\Psi)\} \geq \min_{\Psi \in G} \{F(\Psi)\}, \quad (4)$$

если только $G' \subset G$. Поэтому отказ от полностью централизованной (или, например, федеративной) организации комплекса в пользу интегрированной является преднамеренным сужением множества G и должен быть обоснован дополнительными факторами.

На практике функционал $F(\Psi)$ зависит не только от параметров (1) проектируемой системы, но и от большого количества неопределенных факторов $\eta \in G_\eta$, характеризующих среду, в которой ЛА будет функционировать, т.е. в наиболее общем виде $F(\Psi, \eta)$. Тем не менее объективно такой функционал существует всегда, когда технический уровень промышленного предприятия и знание законов функционирования конструкции позволяют создавать подобные объекты, т.е. когда задача проектирования разрешима на современном этапе.

Пусть в условиях полной централизации $\Psi \in G_\Psi$, при этом имеется некоторый уровень неопределенности $\eta \in G_\eta$ в процессе принятия конструктором проектного решения. Следовательно, гарантированная оценка значения целевой функции задачи проектирования будет определяться как

$$\tilde{F} = \min_{\Psi \in G_\Psi} \left\{ \min_{\eta \in G_\eta} \{F(\Psi, \eta)\} \right\}. \quad (5)$$

Введение в комплекс БРЭО иерархической структуры предполагает распределение функций управления по отдельным элементам. Иными словами, отдельные решения на соответствующем уровне иерархии принимаются по ограниченной информации, без использования всего объема сведений, т.е. $G' \subset G$, но одновременно снижается и уровень неопределенности η таким образом, что $\eta \in G'_\eta \subset G_\eta$, и гарантированная оценка целевой функции

$$\tilde{F} = \min_{\Psi \in G'_\Psi} \left\{ \min_{\eta \in G'_\eta} \{F(\Psi, \eta)\} \right\}. \quad (6)$$

При этом вопрос о том, рационально ли вводить в комплекс данную структуру, решается, в конечном счете, сравнением величин (5) и (6). Переход к иерархической структуре сужает множество проектных решений, но одновременно снижает и уровень неопределенности η , т.е. позволяет получить более качественное результирующее решение.

Выбор структуры системы, обладающей иерархической формой организации, связан с рядом трудностей. Количество возможных архитектурных форм составляет некоторое конечное множество. В процессе проектирования системы одновременно выбираются ее параметры и наилучшая организация, т.е. существует некоторое конечное множество структур $V(S)$, где S — множество проектов системы. Каждому проекту S соответствует свое множество $\Psi \in G_\Psi$ и множество неопределенностей G_η , а этим множествам соответствуют свои гарантированные оценки результата

$$S : F(\Psi, \eta) = \min_{\Psi \in G} \left\{ \min_{\eta \in G_\eta} \{F(\Psi, \eta)\} \right\}, \quad (7)$$

таким образом, задача проектирования БРЭО формулируется как задача отыскания элемента (набора элементов) $S_i \in S$, который обеспечивает выполнение условия

$$F(\Psi) \rightarrow \min_{S_i \in S}. \quad (8)$$

Если решение задачи (8) носит в определенной степени формальный, математический характер, то построение полного множества \mathbf{S} — множества возможных „конструктивных схем“ — носит характер некоторого изобретения и не является формализованным.

Модели комплекса БРЭО. Один из способов структурирования неформальной деятельности состоит в выявлении и формировании присущих ей эвристик [8], т.е. эмпирических правил, полезность которых обусловлена тем, что они во многих (хотя и не во всех) случаях приводят к успешному решению задачи проектирования. Применяемые сегодня методы автоматизированного синтеза опираются на идеи морфологического анализа Цвикке, согласно которым определяются все независимые переменные (списочный состав функциональных элементов) проектируемой системы, перечисляются возможные значения этих переменных, а генерирование альтернатив осуществляется путем „механического“ перебора (например, с использованием аппарата генетических алгоритмов) всех допустимых сочетаний элементов в целях получения системы с заданными свойствами и составом.

Модельное представление в системном анализе [9] определяет такой подход к проведению научного исследования, при котором изучаемый объект — оригинал — находится в некотором соответствии с другим объектом — моделью, причем модель способна в том или ином отношении замещать оригинал на определенных стадиях (этапах) проектирования.

Для построения обобщенной математической модели сложной технической системы \mathbf{S} с использованием методов системного анализа на соответствующем уровне рассмотрения необходимо решить следующие задачи [10].

1. Осуществить декомпозицию целостной системы \mathbf{S} на упорядоченное множество мощностью s взаимосвязанных и взаимодействующих элементарных составляющих — функциональных элементов $S_i \subset \mathbf{S}$ БРЭО, каждый из которых может иметь n различных вариантов $S_{in} \in S_i$ технической реализации (марок):

$$\mathbf{S} = \left\{ S_1 = \{S_{11}, S_{12}, \dots, S_{1n_1}\}, S_2 = \{S_{21}, S_{22}, \dots, S_{2n_2}\}, \dots, S_s = \{S_{s1}, S_{s2}, \dots, S_{sn_s}\} \right\}, \quad (9)$$

где $n = \max \{n_1, n_2, \dots, n_s\}$ при условии $S_{in_i}, S_{in_i+1}, \dots, S_{in} = \emptyset, n_i < n$.

Морфологический блок $\mathbf{E}(\mathbf{S})$ элементов системы \mathbf{S} составляет матрица, в которой столбец соответствует различным типам функциональных элементов S_1, S_2, \dots, S_s системы, а строка — различным вариантам (маркам) элементов одного и того же типа:

$$\mathbf{E}(\mathbf{S}) = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} & \dots & S_{1n_1} \\ S_{21} & S_{22} & \dots & S_{2n_2} \\ \dots & \dots & \ddots & \dots \\ S_{s1} & S_{s2} & \dots & S_{sn_s} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_1 \\ S_2 \\ \dots \\ S_s \end{pmatrix}, \quad (10)$$

где $S_{ij} \in S_i$ — функциональные элементы, входящие в комплекс БРЭО, $i = 1, 2, \dots, s; j = 1, 2, \dots, n_i$.

Выражения (9), (10) определяют списочную модель состава комплекса БРЭО.

2. Определить совокупность N_s анализируемых проектных вариантов построения системы $S_j, j=1, 2, \dots, N_s$, образующих исходное множество \mathbf{S} , перебором $i=1, 2, \dots, s$ по множеству допустимых сочетаний функциональных элементов $S_{j,in}$, составляющих дерево проектных решений.

3. Определить структуру системы \mathbf{S} , отражающую ее внешние свойства. Структура системы представляет собой устойчивую информационную взаимосвязь функциональных элементов (подсистем) $S_i, i = 1, 2, \dots, s$, входящих в состав комплекса БРЭО (электрический контакт, кинематическое соединение, оптическая передача данных и пр.), причем определенные в тактико-техническом задании (ТТЗ) свойства системы \mathbf{S} формируются при установлении

соответствующего варианта связи (прямые, обратные, контрсвязи) в матрице $\mathbf{V}(\mathbf{S})$, которая образует модель структуры комплекса БРЭО для любой пары функциональных систем S_i, S_j , такой что $i \neq j$:

$$\mathbf{V}(\mathbf{S}) = \begin{pmatrix} 0 & V_{12}(S_1, S_2) & \cdots & V_{1s}(S_1, S_s) \\ V_{21}(S_2, S_1) & 0 & \cdots & V_{2s}(S_2, S_s) \\ \cdots & \cdots & \ddots & \cdots \\ V_{s1}(S_s, S_1) & V_{s2}(S_s, S_2) & \cdots & 0 \end{pmatrix}, \quad (11)$$

где $V_{ij}(S_i, S_j)$ — элементы матрицы соединений комплекса БРЭО для пар систем $S_i, S_j \subset \mathbf{S}$, определяемые булевым правилом

$$V_{ij}(S_i, S_j) = \begin{cases} 0, & \mathbf{J}_{\text{ВХ}}(S_i) \neq \mathbf{J}_{\text{ВЫХ}}(S_j); \\ 1, & \mathbf{J}_{\text{ВХ}}(S_i) = \mathbf{J}_{\text{ВЫХ}}(S_j). \end{cases} \quad (12)$$

Элемент $V_{ij}(S_i, S_j) = 1$ при наличии информационной связности систем $S_i, S_j \subset \mathbf{S}$ на уровне входных/выходных параметров-переменных моделей их функционирования $\mathbf{J}(S_i), \mathbf{J}(S_j)$ и, следовательно, существующем между ними канале обмена, $V_{ij}(S_i, S_j) = 0$ — в случае отсутствия канала обмена.

Модель $\mathbf{J}(S_i)$ функционирования системы $S_i \subset \mathbf{S}$ представляет собой реализацию базовой математической модели оператора \mathbf{J} , наилучшим образом преобразующего полное множество $\mathbf{X}_{\text{ВХ}}(S_i) = \{x_1, x_2, \dots, x_x\}$ входных параметров системы в заданное множество $\mathbf{Y}_{\text{ВЫХ}}(S_i) = \{y_1, y_2, \dots, y_y\}$ выходных параметров, таких что $\mathbf{Y}_{\text{ВЫХ}}(S_i) = \mathbf{J}\{\mathbf{X}_{\text{ВХ}}(S_i)\}$ или $\mathbf{X}(S_i) \xrightarrow{\mathbf{J}} \mathbf{Y}(S_i)$.

Морфологический блок алгоритмов $\mathbf{J}(\mathbf{S})$ составляет матрица (модель функционирования комплекса БРЭО), в которой столбец соответствует наборам математических моделей J_1, J_2, \dots, J_s функционирования различных систем $S_1, S_2, \dots, S_s \subset \mathbf{S}$, входящих в комплекс БРЭО, а строка — различным возможным вариантам математических моделей $J_{s1}, J_{s2}, \dots, J_s$ работы систем одного и того же класса:

$$\mathbf{J}(\mathbf{S}) = \begin{pmatrix} J_{11}(S_1) & J_{12}(S_1) & \cdots & J_{1J_1}(S_1) \\ J_{21}(S_2) & J_{22}(S_2) & \cdots & J_{2J_2}(S_2) \\ \cdots & \cdots & \ddots & \cdots \\ J_{s1}(S_s) & J_{s2}(S_s) & \cdots & J_{sJ_s}(S_s) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} J_1(S_1) \\ J_2(S_2) \\ \cdots \\ J_s(S_s) \end{pmatrix}. \quad (13)$$

4. Определить параметры $\xi_i \in \Xi$ системы, отражающие ее внутренние свойства. Параметры системы образуют множества технических, эксплуатационных, экономических и прочих показателей $\Xi(\mathbf{S}) = \{\xi_1(\mathbf{S}), \xi_2(\mathbf{S}), \dots, \xi_\zeta(\mathbf{S})\}$ комплекса БРЭО, выраженных (в частном случае аддитивно) через параметры векторов $\Psi_d \subset \Psi, \Psi_c \subset \Psi, \Psi_m \subset \Psi, \Psi_i \subset \Psi$, входящих в \mathbf{S} подсистем S_1, S_2, \dots, S_s . Векторы Ψ, Ξ определяют модель параметров комплекса БРЭО.

Параметры вектора Ψ подсистем БРЭО образуют [11] ψ -мерное действительное векторное пространство \mathbf{G}_Ψ с базисом $\{\delta\} = \{\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_\psi\}$, заданное множеством из ψ линейно независимых векторов δ_i .

Любой вектор Ψ из этого пространства может быть представлен в виде разложения по заданному базису:

$$\Psi = \sum_{i=1}^{\Psi} \psi_i \delta_i, \quad (14)$$

где $\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_{\Psi}$ — координаты вектора Ψ в базисе $\{\delta\}$.

Линейный оператор преобразования A векторного пространства G_{Ψ} считается заданным, если имеется некоторая функция векторного аргумента $f(\Psi)$, которая каждому вектору Ψ из пространства G_{Ψ} параметров подсистем комплекса БРЭО ставит в соответствие другой вектор Ξ из пространства G_{Ξ} параметров комплекса в целом таким образом, что

$$\Xi = f(\Psi) = A\Psi, \quad (15)$$

и при этом сохраняются следующие линейные операции:

$$A(\Psi_1 + \Psi_2) = A(\Psi_1) + A(\Psi_2), \quad A(\alpha\Psi) = \alpha(A\Psi), \quad (16)$$

где α — произвольная константа.

Таким образом, формализуется основная проблема исследования комплекса БРЭО как объекта проектирования — поиск решения по однозначному переводу множества предъявляемых к конкретной системе требований ТТЗ в базис ее проектных, исследуемых и реализуемых характеристик.

Линейное преобразование (15) определяет отображение $G_{\Psi} \xrightarrow{f} G_{\Xi}$ пространства G_{Ψ} в пространство G_{Ξ} . Оператор A является несобственным оператором, так как в общем случае изменяет размерность исходного множества Ψ .

Базисные векторы $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_{\Psi}$, как и всякие другие, также можно подвергнуть действию линейного оператора A . Полученные новые векторы $A\delta_1, A\delta_2, \dots, A\delta_{\Psi}$ можно снова разложить по тому же базису $\{\delta\}$:

$$A\delta_j = \sum_{i=1}^{\Psi} a_{ij} \delta_i, \quad j = 1, 2, \dots, \Psi.$$

Коэффициенты a_{ij} , $i, j = 1, 2, \dots, \Psi$, определяют $\Psi \times \Psi$ -матрицу $A = [a_{ij}]$ как ядро оператора A в базисе $\{\delta\}$. Столбцы этой матрицы представляют собой координаты векторов $A\delta_i$ в базисе $\{\delta\}$. С учетом разложения (14) и линейных свойств (16) выражение (15) примет вид

$$\Xi = A\Psi = A \sum_{j=1}^{\Psi} \psi_j \delta_j = \sum_{j=1}^{\Psi} \psi_j A\delta_j = \sum_{j=1}^{\Psi} \psi_j \sum_{i=1}^{\Psi} a_{ij} \delta_i = \sum_{i=1}^{\Psi} \left(\sum_{j=1}^{\Psi} a_{ij} \psi_j \right) \delta_i = \sum_{i=1}^{\Psi} \xi_i \delta_i = \Xi.$$

Таким образом, координаты вектора Ξ параметров комплекса БРЭО в базисе $\{\delta\}$ определяются как

$$\xi_i = \sum_{j=1}^{\Psi} a_{ij} \psi_j, \quad i = 1, 2, \dots, \Psi,$$

или в матричной форме (через вектор Ψ параметров подсистем) $\Xi = A\Psi$. Здесь координаты ψ_j вектора Ψ и координаты ξ_i вектора Ξ отнесены к одному и тому же базису $\{\delta\} = \{\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_{\Psi}\}$ пространства G_{Ψ} .

Поскольку векторы Ψ и Ξ относятся к разным пространствам, соответственно G_{Ψ} (для подсистем) и G_{Ξ} (для комплекса БРЭО в целом), то матрица преобразования A в общем

случае является не квадратной $\psi \times \psi$, а прямоугольной $\zeta \times \psi$ -матрицей.

Область допустимых значений элементов вектора параметров Ξ составляет система неравенств, заданных в ТТЗ на комплекс БРЭО в целом или поэлементно (в частных ТТЗ на входящую аппаратуру);

$$\min_{\text{ТТЗ}} \{\xi_i(\mathbf{S})\} \leq \xi_i(\mathbf{S}) \leq \max_{\text{ТТЗ}} \{\xi_i(\mathbf{S})\}, \quad i=1, 2, \dots, \zeta;$$

$$\min_{\text{ТТЗ}} \{\psi_j(S_i)\} \leq \psi_j(S_{in}) \leq \max_{\text{ТТЗ}} \{\psi_j(S_i)\},$$

$$j=1, 2, \dots, \psi, \quad i=1, 2, \dots, s, \quad n=1, 2, \dots, m.$$

Таким образом, решением задачи структурного синтеза комплекса БРЭО фактически является нахождение матрицы $\mathbf{V}(\mathbf{S})$, а решением задачи параметрического синтеза — нахождение значений параметров вектора $\Xi(\mathbf{S})$ для проектируемой системы \mathbf{S} .

Заключение. Комплексу БРЭО как объекту проектирования присущи все характерные признаки сложной технической системы: многомерность, многообразие структуры, многообразие природы элементов, многосвязность элементов, многоканальность, многорежимность, многокритериальность. Процесс проектирования комплекса также является многофакторным.

При использовании традиционных методов и средств проектирования комплекса БРЭО отсутствует строгое обоснование вида его структуры и вектора структурных переменных, поэтому исследования методов и алгоритмов решения этой научной проблемы, основанные на последовательном применении методов системного анализа, являются сегодня востребованными и актуальными.

Совокупность математических моделей комплекса БРЭО составляют: модель состава, модель структуры, модель параметров и модель функционирования.

Методика многоцелевой оптимизации сложных технических систем, к которым относится БРЭО, базируется на методологии системного подхода, согласно которой осуществляется декомпозиция проектируемого объекта функционирования на частные объекты, представляемые в виде функциональных и параметрических требований, а также декомпозиция объекта на структуру, отражающую его внешние свойства, и параметры, характеризующие его внутренние свойства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ефанов В. Н., Жданов О. Э. Процедуры экспертного оценивания эффективности интегрированных комплексов бортового оборудования // *Аэрокосмическое приборостроение России в трудах специалистов корпорации „Аэрокосмическое оборудование“ (1998—2003 гг.)* / Под ред. С. Д. Бодрунова. СПб: Изд-во ОАО „Пирометр“, 2003. Ч. 2. С. 76—89.
2. Джанджгава Г. И., Герасимов Г. И., Роголев А. П. и др. Концепция создания интегрированных комплексов бортового оборудования летательных аппаратов нового поколения // *Авиакосмическое приборостроение*. 2002. № 6. С. 3—8.
3. Бражкин В. М., Герасимов Г. И. Развитие интегрированных комплексов бортового оборудования самолетов нового поколения // *Мехатроника, автоматизация, управление*. 2008. № 2. С. 24—29.
4. Ротина В. Ю., Стрижевский В. С., Видин Б. В. Автоматизация проектирования пилотажно-навигационных комплексов / Под ред. В. П. Говядина. М.: Машиностроение, 1976. 462 с.
5. Гранкин Б. К., Козлов В. В., Лысенко И. В. Принципы декомпозиции сложных объектов в проектных исследованиях // *Мехатроника, автоматизация, управление*. 2008. № 6. С. 2—6.
6. Пармонов П. П. Основы проектирования авионики. Тула: Гриф и К, 2003. 228 с.
7. Моисеев Н. Н. Математические задачи системного анализа. М.: Наука, 1981. 488 с.
8. Перегудов Ф. И., Тарасенко Ф. П. Введение в системный анализ: Учеб. для вузов. М.: Высш. школа, 1989. 367 с.

9. Чебраков Ю. В. Системный подход к прецизионным исследованиям. СПб: Изд-во Санкт-Петербург. ун-та, 1992. 167 с.
10. Шмелев В. Н. Системный подход при научном обосновании требований, включаемых в ТТЗ на разработку новых образцов бортовой радиоэлектронной аппаратуры летательных аппаратов // Мир авионики. 2000. № 3. С. 35—36.
11. Губанов В. С. Обобщенный метод наименьших квадратов. Теория и применение в астронометрии. СПб: Наука, 1997. 318 с.

Сведения об авторах

- Павел Павлович Парамонов** — д-р техн. наук, профессор; ОКБ „Электроавтоматика“, Санкт-Петербург; директор; E-mail: postmaster@elavt.spb.ru
- Юрий Арменакович Гатчин** — д-р техн. наук, профессор; Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра проектирования компьютерных систем; E-mail: gatchin@ifmo.ru
- Борис Викторович Видин** — канд. техн. наук, профессор; ОКБ „Электроавтоматика“, Санкт-Петербург; зам. главного конструктора; E-mail: postmaster@elavt.spb.ru
- Игорь Олегович Жаринов** — канд. техн. наук, доцент; ОКБ „Электроавтоматика“, Санкт-Петербург; нач. отдела; E-mail: igor_rabota@pisem.net
- Олег Олегович Жаринов** — канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, кафедра вычислительных и электронных систем; E-mail: zharinov@hotmail.ru

Рекомендована кафедрой
проектирования компьютерных
систем СПбГУ ИТМО

Поступила в редакцию
18.01.10 г.