

УДК 629.07.18**Методика структурно-параметрического синтеза конструктивно-компоновочного облика беспилотного летательного аппарата.**

А.Б. Гусейнов

В статье дан анализ методов структурно-параметрического синтеза облика беспилотного летательного аппарата (БЛА). Представлены блок-схема декомпозиции объекта исследования, решаемые задачи и критерии качества проектных решений. Рассмотрена матрица признаков облика БЛА, технических решений по ним и их проектных параметров. Дана структурно-логическая схема формирования рационального облика ЛА. Сформулирована постановка и даны методы решения задач структурного синтеза и оптимизации проектных параметров.

летательный аппарат; признаки облика; структурный синтез; параметрическая оптимизация; критерии качества.

1. Методический подход к структурно-параметрическому синтезу.

Научный подход к проектированию перспективных БЛА как сложных систем, предполагает применение методов структурно-параметрических исследований. Под структурно-параметрическим синтезом БЛА понимается определение такой структуры аппарата (номенклатуры элементов и способов взаимодействия) и проектных параметров, которая удовлетворяла бы техническому заданию (ТЗ) на проектирование и обеспечивало экстремум выбранного критерия качества. Структура дает качественное описание, а проектные параметры – количественное. Развитие двух методов исследования сложных систем – параметрического и структурного синтеза – происходило по-разному. Методы параметрической оптимизации, позволяющие определить оптимальные значения проектных параметров ЛА при заданной структуре, развивались более прогрессивно и в значительной степени разработаны и освоены на практике. Это объясняется тем, что параметрическое проектирование по типу задач, моделей описания физических процессов (непрерывные

функции), используемых методов, средств постановки и решения оказались в пределах возможностей традиционной математики. Параметрические исследования обычно проводятся на уровне технического проектирования.

В отличие от задач параметрической оптимизации при структурном синтезе возникает ряд принципиальных трудностей математического характера: дискретный характер проектных решений и зависимостей, отсутствие отработанных методов формализации и решения этих задач. Задача структурного синтеза решается на уровне формирования предложений по тактическому и техническому облику аппарата. Она является более значимой и принципиальной, поскольку синтез структуры составляет главное содержание творческой деятельности проектировщика – поиск и принятия решений. Она включает в себя и параметрическую оптимизацию, которая проводится для принятой структуры. Повышение роли структурных исследований при проектировании перспективных БЛА связано: с увеличением возможных структурных комбинаций; возможностью автоматизации процесса структурных исследований на базе современных компьютерных технологий, вычислительной техники и формализованных, неформализованных моделей. Для решения задач структурного синтеза могут быть использованы два подхода – декомпозиционный и композиционный [1, 2].

В декомпозиционной схеме процесс проектирования начинается с обоснования «опорного» варианта структуры БЛА и начальной ее декомпозиции. Формирование этого варианта может быть проведено на базе анализа ТЗ, условий функционирования, ранее разработанных образцов, анализа состояния и перспектив развития элементной базы и оценочных расчетов. Морфологический синтез проводится на базе формализованных проектных моделей и процедур принятия решений. Полученные оптимальные проектные решения по отдельным элементам и подсистемам носят локальный характер. И сущность декомпозиционного проектирования заключается в согласовании и увязке оптимальных решений по i – м подсистемам. Несмотря на достигнутые успехи в области развития общей теории сложных систем и теории иерархических многоуровневых систем координация локальных решений на практике встречает трудности методологического, информационного и организационного характера. Основная трудность при этом заключается в учете интегративного эффекта, который возникает в виде внутриуровневых и межуровневых отношений между подсистемами. Приемлемый результат может быть получен методом последовательных приближений.

Альтернативой декомпозиционной схеме проектирования является композиционная технология. При композиционном подходе морфологический синтез, самоорганизация и

направленное формирование структуры БЛА осуществляется автоматизированными методами на базе современных компьютерных технологий, вычислительной техники и моделей функционирования элементной базы. При этом наряду формализованным моделям особое внимание уделяется неформализованным.

Неформализованные (иконические) модели – это обобщенные образы подсистем, где информация об их облике (признаках, проектных решениях) дается в виде картинных изображений, в виде визуализации тех человеческих знаний и опыта проектирования, которые пока невозможно формализовано описать. Образы (картины), накопленный опыт и человеческие знания могут быть реализованы с помощью технических и программных средств.

Композиционная технология проектирования еще не является полностью разработанной. Целый ряд ее методологических аспектов, принципов и положений нуждается в изучении и практической реализации. Это определяется высокой сложностью процесса проектирования; большой размерностью морфологической матрицы проектных решений; сложностью моделей формального и неформального описания функционирования элементной базы во всем ее многообразии и объекта проектирования в целом; существующими проблемами в обобщении и представлении накопленного опыта создания образцов техники, знаний специалистов в различных областях науки и техники, их алгоритмизации, разработки программного продукта; временными рамками проектирования, материально-техническими средствами и др.

Обе рассмотренные схемы проектирования предусматривают системную декомпозицию объекта, задач и критериев исследований.

2. Декомпозиция объекта, задач, критериев.

БЛА является одним из основных подсистем комплекса оружия (КО), который, в свою очередь, входит в состав более сложной системы оружия (СО). Принцип системного подхода требует комплексное рассмотрение БЛА как единства разнородных, но одновременно совместимых бортовых подсистем.

Все задачи проектирования БЛА, бортовых подсистем аппарата тесно взаимосвязаны между собой. Из-за сложности и большой размерности задачи получения общего решения в замкнутом виде не представляется возможным. Решение находят путем расчленения общей задачи на ряд более простых. Это обусловлено тем, что БЛА и бортовые подсистемы, как сложные системы, имеют иерархическую структуру, что дает основание рассматривать в

качестве простых подзадач проектирование подсистем более низкого уровня: планера, двигательной установки (ДУ), целевой нагрузки (ЦН), бортовой аппаратуры системы управления (БАСУ), бортовых источников питания (БИП) и т.д.

Выбор схемы расчленения основывается на общей теории сложных систем и теории иерархических многоуровневых систем. Важнейшим требованием к методу решения является то, чтобы каждая простая подзадача была замкнутой и одновременно частью общей задачи, т.е. любое частное решение не противоречило интересам общей задачи и исходило из интересов комплекса БЛА и системы в целом. Это требование может быть удовлетворено на основе принципа «иерархии систем – иерархии задач – иерархии критериев» [3].

Одним из основных этапов проектирования систем, комплексов ЛА и их элементов являются исследования по выбору и обоснованию критерия качества (оптимальности) проектных решений. Исходными данными для этих исследований служат результаты целевого, ресурсного проектного анализов.

Критерий качества – это объективный показатель, имеющий обычно количественное выражение, позволяющий определить степень соответствия (пригодность) системы, комплекса, ЛА их функциональному (целевому) назначению, т.е. мера достижения поставленной цели.

Результаты проведения структурно-параметрического синтеза БЛА в значительной степени зависят от выбора системы критериев качества проектных решений К. И при разработке иерархии критериев и увязки их в единую систему показателей необходимо исходить из следующих основных требований к ним: критерии должны быть критичным к целям и задачам, соответствовать масштабу решаемой задачи («иерархия критериев» должна вытекать из «иерархии задач»), возможно полно учитывать факторы, определяющие облик БЛА и ее подсистем, любой частный показатель должен не противоречить общему (глобальному) и исходить из него при замораживании остальных составляющих, критерий должен быть наглядным, по возможности определяемым просто, и др. Схема системной декомпозиции объекта, задач и критериев исследований показана на рис.1.

При системном проектировании БЛА и ее подсистем целесообразно рассматривать задачи пяти уровней:

- обоснования оперативно-технических требований (ОТТ) на проектирование комплекса БЛА, на котором проектируется разведывательно-ударная система оружия (РУСО);
- обоснования тактико-технических требований и задания на проектирование БЛА, на котором проектируется разведывательно-ударный комплекс (РУК);

- обоснования технических предложений, на котором путем структурного синтеза альтернативных вариантов подсистем формируется технический облик БЛА и уточняется техническое задание на эскизное проектирование;

- эскизного проектирования БЛА, на котором данный процесс расчленяется до проектирования основных агрегатов и подсистем, уточняется технический облик, оптимизируются проектные параметры и формируются технические требования к отдельным агрегатам;

- техническое проектирование агрегатов и подсистем ЛА, где процесс их конструирования расчленяется до узлов и блоков, и формируются требования к их деталям и элементам.

Номенклатура показателей, которая может быть использована при решении задач этих уровней, может быть разбита на следующие группы по иерархии: военно-экономические, боевые, информационно-боевые; обобщенные характеристики ЛА. Наиболее широко применяемые формы этих показателей представлены в работах [3, 4, 5].

Проводимые в работе исследования охватывают задачи формирования структурного облика, эскизного проектирования БЛА при заданном ТЗ. Решение задач третьего и четвертого уровней предусматривает разработку и систематизацию технических решений по составу и структуре ЛА.

3. Матрицы альтернативных проектных решений по облику БЛА.

Под обликом БЛА понимается совокупность признаков $\Pi\{P_i\}$, технических решений по ним $\{P_{ij}\}$ и их проектных параметров $\{\pi_S\}$, характеризующих ЛА с точки зрения функциональных (аэродинамических, энергетических, баллистических, массовых, температурных, экономических) характеристик, а также точности, заметности и показателей боевой эффективности.

К признакам $\{P_i\}$, которые определяют качественные особенности облика КР, можно отнести следующие:

По внешней конфигурации – число ступеней и схема их размещения, аэродинамическая схема, геометрические формы элементов планера (фюзеляжа, крыла, оперения), неоднородности и качество выполнения внешней поверхности (выступы, впадины, технологические отклонения по обводам и др.).

По двигательной установке (ДУ) – тип маршевого двигателя, воздухозаборника (ВЗ), сопла (СП) и схемы их размещения, вид топлива.

По конструктивным решениям – тип конструкционного металлического материала, применения в конструкции композиционных материалов (КМ), систем охлаждения, теплозащитных покрытий (ТЗП), теплозащитных экранов (ТЗЭ), специальных селективных покрытий (ССП), светопоглощающих покрытий (СВП), камуфляжной окраски (КФО), силовые схемы и технологические способы изготовления элементов конструкций.

По полезной нагрузке – тип и структура полезной нагрузки (ПН): БАСУ, ЦН; уровень комплексирования информационных каналов БАСУ и др.

По баллистическим характеристикам – параметры траектории и противоракетного маневра, углы наблюдения, форма и параметры профиля скоростей, режим полета, тепловое состояние.

Каждый признак облика малозаметного ЛА определяется множеством конструктивно-компоновочных решений $\{P_{ij}\}$, а техническое решение, в свою очередь, вектором геометрических, конструктивных и баллистических параметров $\{\pi_S\}$.

Следовательно, облик ЛА характеризуется совокупностями признаков $\{P\} = \{P_1, P_2, P_3, \dots, P_i\}$, технических решений по ним $\{P_{ij}\} = \{P_{11}, P_{12}, \dots, P_{1j}; P_{21}, P_{22}, \dots, P_{2j}; \dots, P_{ij}\}$ и их проектных параметров $\{\pi_S\} = \{\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots, \pi_S\}$. Разработка, систематизация и формализованное описание технических решений могут быть проведены на основе анализа состояния и прогнозов развития элементной базы, патентных исследований, опыта проектирования, физических законов, исследований областей применения тех или иных проектных решений. Очевидно, что выбранный критерий качества определяется признаками облика $P\{P_i\}$, конструктивно-компоновочными техническими решениями по ним $\{P_{ij}\}$ и их проектными параметрами $\{\pi_S\}$

$$K = f(\{P_i\}, \{P_{ij}\}, \{\pi_S\}) . \quad (1)$$

4. Структурно-логическая схема формирования

рационального облика БЛА.

Основные подсистемы, агрегаты БЛА и их составляющие тесно взаимосвязаны между собой. И наличие альтернативных вариантов по подсистемам определяет дискретный характер связей между ними и критериальной функцией. Поэтому задача оптимизации состава и структуры ЛА в целом может решаться на базе специального формализованного подхода, основанного на принципах дискретного программирования.

Из рассмотренных в начале методологических подходов структурного синтеза наиболее приемлемым на сегодняшнем уровне развития информационных технологий представляется декомпозиционная технология проектирования. Получение рационального структурного решения по этой технологии проектирования базируется на многоуровневой схеме декомпозиции объекта, задач и критериев исследований. Алгоритм решения представляет собой многоэтапную расчетную процедуру, построенную по блочно-иерархическому принципу. Структурно-логическая схема решения задачи представлена на рис.2. Она включает в себя шесть основных этапов. Исходным является ТЗ на разработку ЛА, которое формируется на уровне внешнего проектирования. Оно включает в себя ЛТХ (дальность, форма траектории, профиль скоростей), требуемые значения показателей эффективности, массогабаритные и эксплуатационные ограничения, условия пуска и т.п.

Этап 1. Формирование исходной информации и «опорного варианта структуры БЛА».

Подготовка этой информации начинается с разработки и анализа перечня функциональных задач (стратегий) $F = f(f_1, f_2, \dots, f_n)$, решаемых БЛА на траектории полета при преодолении j -ых зон системы ПВО цели. На основании этого перечня $\{f_n\} \in F$ исследуются исходные базовые составы бортового комплекса и ЛА в целом, которые способны выполнить все функциональные задачи. Базовый состав ЛА (БАСУ, ДУ и др.) определяется на основе анализа областей их функционирования по высотам и скоростям полета, совместимости в работе, состояния и прогноза развития, предварительных оценок на предмет удовлетворения заданных ограничений на массогабаритные и функциональные характеристики $\{q_1, q_2, \dots, q_\lambda\} \in Q$. На основе этой исходной совокупности подсистем, оценочных расчетов и учета опыта проектирования, интуиции разработчика формируется «опорный» вариант БЛА для дальнейших исследований.

“Опорный” вариант КР характеризуется тем, что фиксируются подсистемы, и при дальнейших структурно-параметрических исследованиях могут варьироваться их альтернативные варианты.

Этап 2. Формирование морфологической матрицы проектных решений по облику КР.

Разработка и систематизация i -х признаков $\Pi\{P_i\}$, j -х технических решений по ним $\{P_{ij}\}$ и их векторов проектных параметров $\{\pi_S\}$, определяющих конструктивно-компоновочный облик БЛА, проводится по всем подсистемам, с учетом решаемых функциональных задач $F = f(f_1, f_2, \dots, f_n)$. В результате формируются “опорные базы” проектных решений по i -му признаку.

Этап 3. Оценка совместимости, системы ограничений и выделение допустимых решений. Учет условно-логических связей и функциональной совместимости различных проектных решений типа

$$[q_p(\{\pi_S\}, \{U\}) \leq q_{p,0}] \cap [q_h(\{\pi_S\}, \{U\})] \leq q_{h,0}; \quad (2)$$

принятых конструктивно-компоновочных ограничений типа

$$[d_\phi \leq d_\phi^*, l_\phi < l_\phi^*, d_a \leq d_a^*] \text{ и др.}, \quad (3)$$

где d_ϕ - диаметр фюзеляжа; l_ϕ - длина фюзеляжа; d_a - диаметр зеркала антенны, а $d_\phi^*, l_\phi^*, d_a^*$ - ограничения по ним и конкретный перечень решаемых подсистемами КР функциональных задач при преодолении системы ПВО $F = f(f_1, f_2, \dots, f_n)$ позволяет сократить размерность разработанной на предыдущем этапе морфологической матрицы и формировать на ее основе допустимые варианты проектных решений $\{P_{ij}\}_{don}$. Проверка на функциональную совместимость и удовлетворения условиям ограничений проводится с помощью таблицы толерантности технических решений и оператора, принимающего два значения 0 или 1.

Этап 4. Генерация допустимых вариантов облика малозаметной КР, где из допустимых проектных решений подсистем формируются альтернативные варианты облика ЛА по i -м признакам, т.е. “допустимый базис” вариантов.

Этап 5. Предварительный анализ допустимых вариантов облика и выбор предпочтительных. На данном этапе из большего количества допустимых технических решений по i -му признаку и вариантов структурного облика ЛА на основе несложных статистических, полуэмпирических, экспериментальных функциональных связей, соотношений, моделей, алгоритмов выбираются наиболее предпочтительные (представляющие наибольший интерес) путем отсева худших по частным критериям. В качестве частных критериев могут быть приняты, стартовая масса, стоимость,

эффективность и др. обобщенные характеристики ЛА. Подкрепляя результаты приближенного анализа соображениями логики, «здравого смысла», опыта, компетентности и интуиции, проектировщик принимает решение о предпочтительных вариантах структурного облика подсистем и КР для дальнейшего точного анализа на следующем этапе, т.е. формируются “предпочтительный базис” вариантов.

Этот этап включает в себя следующие процедуры: формирование системы частных показателей для оценки качества вариантов облика с допустимыми техническими решениями; разработка несложных эмпирических зависимостей и функциональных связей; выбор формализованной процедуры свертки частных показателей; предварительный анализ возможных вариантов структурного облика ЛА; принятия решения о предпочтительности тех или иных проектных решений и вариантов облика ЛА.

Предварительный анализ альтернативных вариантов облика ЛА по нескольким частным критериям может быть проведен путем применения принципа Парето, экспертных оценок, свертки векторного критерия в скалярный на основе формализованной системы предпочтений лица, принимающего решения (ЛПР), и других методов принятия решения. Методы, алгоритмы решения многокритериальных задач изложены в работах [3, 5].

Этап 6. Количественный структурно-параметрический синтез технического облика ЛА состоит в решении трех взаимосвязанных подзадач:

- структурно-параметрический синтез альтернативных вариантов технического облика с предпочтительными техническими решениями по i – м подсистемам;
- синтез предоптимального облика;
- формирование рационального технического облика.

Эти задачи решаются на базе точных математических моделей, алгоритмов и программ расчетов аэродинамических, энергетических, баллистических, температурных характеристик ракеты, стартовой массы, размеров, степени устойчивости и управляемости, показателей боевой эффективности. В качестве комплексного критерия качества приняты минимальные затраты на выполнении задачи ЛА с заданной вероятностью, т.е.

$$K = \min(C_{1n} n_p) \text{ при } W_{\Sigma} = \text{const}.$$

Задача структурно-параметрического синтеза альтернативных вариантов технического облика ракеты с предпочтительными техническими решениями по каждому i – у признаку (подсистеме) состоит в одновременном решении двух взаимосвязанных задач разных уровней:

- определение оптимальных проектных параметров для каждой предпочтительной структуры облика $\{\pi_S^*\}$;

- структурный синтез вариантов облика с оптимальными проектными параметрами и выявление рациональных технических решений по каждой i – й подсистеме $\{P_{ij}^*\}$.

Задача синтеза предоптимального облика ракеты состоит в согласовании и увязке рациональных технических решений по i – м подсистемам $\{P_{ij}^*\}$, полученных в результате структурно-параметрического синтеза предпочтительных вариантов, в учете интегративного эффекта их взаимодействия и уровня комплексирования. Учет этих факторов может быть реализован на базе матмоделей, алгоритмов и программ и комплексного критерия.

Решение всех задач структурно-параметрического синтеза представляет собой итерационный процесс последовательных приближений. Проектировщик в процессе решения уточняет, накапливает и обрабатывает информацию. При этом широко использует взаимодополняющие методы анализа и синтеза, индукции (от общего к частному) и дедукции (от частного к общему), а также формализованные процедуры принятия решений.

5. Постановка и методы решения задачи.

Задачи формирования технического облика ЛА состоит в нахождении в окрестностях “опорного” варианта тактического облика такого сочетания совместимых признаков $\{P_i\}$, технических решений $\{P_{ij}\}$ и их проектных параметров $\{\pi_S\}$ из диапазона их возможного изменения, которое, во-первых, удовлетворяла бы заданному на проектирование ТЗ, ряду принятых ограничений и, во-вторых, чтобы выбранный критерий принял минимальное (максимальное) значение. Для решения этих задач необходимо провести структурно-параметрический синтез матрицы совместимых признаков, допустимых альтернативных технических решений и их проектных параметров. Исходным для решения этих задач является ТЗ на проектирование КР, которое формируется на уровне внешнего проектирования.

Количественный структурно-параметрический синтез вариантов облика ЛА с выявленными на предыдущих этапах допустимыми и предпочтительными техническими решениями включает в себя одновременное решение двух взаимосвязанных задач:

- структурный синтез альтернативных вариантов технического облика с оптимальными проектными параметрами и определение рациональных технических решений $\{P_{ij}^*(\pi_S^*)\}$;

- определение оптимальных проектных параметров технических решений и ЛА в целом $\{\pi_S\}$ для рассматриваемой альтернативной структуры.

Первая из них является задачей дискретной оптимизации, которая решается на уровне обоснования техпредложений по техническому облику по заданному ТЗ на проектирование. Математическая формулировка данной задачи имеет вид:

Пусть на этапе количественного синтеза структуры рассматривается L -ое число предпочтительных вариантов технических решений. Каждый l -й вариант структуры характеризуется вектором проектных параметров, для которых известны допустимые интервалы изменений $\{\pi\}_{don.l}$. Предположим, что выбрана некоторая целевая функция K , минимизация (или максимизация) которой при соблюдении заданных ограничений q_λ на другие показатели в рассматриваемой операции определяют рациональные технические решения по структуре ЛА, т.е.

$$\{P_{ij}^*\} \in Arg[\min\{K_l^*(\{\pi_S^*\}_l, \{U\})\}]; \quad l=1,2,\dots,L, \quad (4)$$

где $\{K_l^*(\{\pi_S^*\}_l, \{U\})\}$ – совокупность дискретных значений комплексной целевой функции (критерия), определяемых как

$$K_l^*(\{\pi_S^*\}_l, \{U\}) = \min K_l(\{\pi_S^*\}_l, \{U\}); \quad (5)$$

при принятых ограничениях

$$q_{\lambda_l}(\pi_{1l}, \pi_{2l}, \dots, \pi_{Sl}, U_1, U_2, \dots, U_m) \leq b_{\lambda_l}; \quad \lambda_{(l)} = 1, 2, \dots, \lambda_{Sl}; \quad (\lambda_{Sl} < S_l);$$

(6) $\{\pi_S^*\}_l \in \{\pi_{gon}\}_l$; $\{\pi^*\}_l = \{\pi_1^*, \pi_2^*, \dots, \pi_S^*\}_l$ – вектор оптимальных проектных параметров для $l=1, \dots, L$ – го варианта структуры; $K_l(\{\pi_S^*\}_l, \{U\})$ – целевая функция на области вектора оптимальных проектных параметров $\{\pi_S^*\}_l$ для l -го альтернативного варианта технического решения и облика ЛА; $\{U\} = \{U_1, U_2, \dots, U_m\}$ – вектор характеристик, параметров среды, внешний по отношению к техническим решениям и ЛА.

При решении второй задачи оптимизируются проектные параметры $\{\pi\}$ для каждого рассматриваемого l -го варианта проектного решения и структуры технического облика, т.е.

она является составной частью структурного синтеза. Задачи параметрической оптимизации для заданной структуры ЛА в значительной степени разработаны и освоены на практике и решаются на уровне эскизного проектирования. Математическая формулировка этих задач может быть представлена в виде

$$\{\pi_S^*\} \in Arg[\min K(\{\pi_S\}, \{U\}) < C_{\text{пц}}] \quad (7)$$

при заданных ограничениях

$$q_\lambda (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_S, U_1, U_2, \dots, U_m) \leq b_\lambda, \lambda = (1, 2, \dots, \lambda_S), \lambda_S < S, \quad (8)$$

где $\{\pi\}_l = \{\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_S\} \in \{\pi_{\text{дон}}\}$ - вектор проектных параметров;

$K(\{\pi_S\}, \{U\})$ - целевая функция (критерий), в качестве которой приняты затраты

на выполнение задачи с заданной эффективностью $W_\Sigma = \text{const}$;

$C_{\text{пц}}^0$ - затраты на выполнение задачи с заданной эффективностью ЛА “опорных” вариантов облика.

При этом в качестве целевой функции $K(\{\pi_S\}, \{U\})$ могут быть приняты и частные составляющие комплексного критерия. Например, минимальная стартовая масса при заданной ее эффективности $K = \min m_0$ при $W_1 = \text{const}$. Для практической реализации количественного структурно-параметрического синтеза технического облика ЛА, который представляет собой совместное решение задач дискретного структурного синтеза (комбинаторной оптимизации) и параметрической оптимизации, необходимо выбрать математические методы решения.

Преимущества, недостатки, области применения и алгоритмы методов параметрической оптимизации даны в работе [6]. Наиболее широко при решении задач оптимизации проектных параметров $\{\pi_S\}$ используется метод случайного поиска.

Для решения задач дискретной (комбинаторной) оптимизации структурных решений может быть использован метод перебора предпочтительных альтернатив и его модификации – метод ветвей и границ (направленного перебора) и другие процедуры. Более подробно методы структурной оптимизации изложены в работах [1, 2].

Блок-схема решения задач количественного синтеза структурных решений и оптимизации проектных параметров ракет представлена на рис.3. С одной стороны, технические решения по облику $\{P_{ij}\}$ могут привести к увеличению массогабаритных

характеристик ЛА, изменению геометрических размеров, аэродинамических характеристик (C_x, C_y^α), рабочих характеристик ДУ ($P_{y\partial}, \mu_{сек}$), баллистических характеристик ($H(x), V(t), \alpha(t), n_y(t)$ и т.д.), тепловых характеристик, требуемого запаса топлива (μ_m), масс отдельных агрегатов (крыла $\mu_{кр}$, оперения $\mu_{он}$, привода управления $\mu_{пр}$, двигательной установки $\mu_{дв}$, фюзеляжа β_ϕ и т.п.) и увеличению стартовой массы m_0 , стоимости ЛА (C_p) и стоимости одного пуска ($C_{1п}$), т.е. одной из составляющих принятого комплексного критерия качества K . С другой стороны, применение перспективных ТР позволяют снизить показатели заметности в различных диапазонах ($\sigma_p, J_p, B_p, (G_n P_n)_p$ и т.п. Это приводит к увеличению вероятности преодоления ЛА системы ПВО ($1 - K_{РЭЗ} P_{ПВО}$), эффективности ЛА в целом W_1 , к снижению требуемого наряда n_p на выполнение задачи с заданной вероятностью $W = const$, уменьшается вторая составляющая принятого критерия. Такое разнородное влияние альтернативных ТР на составляющие критерия обуславливает наличие рациональных структурных решений, оптимума по проектным параметрам. Они и определяют технический облик ЛА.

В заключении можно сделать следующие выводы:

- определено место структурно-параметрических исследований по формированию облика БЛА в общей проблеме системного проектирования ЛА их комплексов;
- предложена структурно-логическая схема формирования рационального конструктивно-компоновочного облика БЛА;
- сформулирована постановка и предложена блок-схема решения задачи количественной структурно-параметрической оптимизации предпочтительных проектных решений.

Библиографический список.

1. Лазарев И.А. Композиционное проектирование сложных агрегатных систем. – М.: Радио и связь, 1986 – 312с.

2. Силин В.Б. Поиск структурных решений комбинаторными методами. – М.: Издательство МАИ, 1992 – 216с.
3. Гусейнов А.Б. Методология проектирования, эффективность и надежность комплексов ЛА. – М.: Издательство МАИ, 1984 – 73с.
4. Саркисян С.А., Минаев Э.С. Экономическая оценка летательных аппаратов. – М.: Машиностроения, 1972 – 179с.
5. Голубев И.С., Парафесь С.Г. Экспертиза проектов ЛА. – М.: Издательство МАИ, 1996 – 98с.
6. Тарасов Е.В., Болык В.М., Устинов С.А., Шипов О.В. Методы оптимизации обликовых характеристик технических объектов на примере ЛА и ДСА. – М.: Издательство МАИ, 1992 – 75с.

Сведения об авторе.

Гусейнов Арсен Буйдалаевич профессор, Московского авиационного института (национального исследовательского университета), д.т.н., тел.: 8(495)454-12-31; 8(916)537-27-40, e-mail: a.b.guseynov@mail.ru