

ФОРМАЛИЗОВАННЫЙ МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ВЫБОРУ СОСТАВА И СТРУКТУРЫ КОМПЛЕКСНЫХ СИСТЕМ ПОСАДКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

В. А. Завьялов, А. М. Максимов, С. Г. Петухов, В. А. Сеницын

*АО «Всероссийский научно-исследовательский институт радиоаппаратуры»
Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д. Ф. Устинова*

Методология построения комплексных систем посадки (КСП) предполагает разработку основных этапов выбора отдельных элементов, на базе которых создаются системы, а затем выбор и формирование структур, в которых реализуются методы, способы и устройства, обеспечивающие решение проблем повышения безопасности полетов и эффективности применения авиации ВКС и ВМФ [1]. При разработке структуры КСП возникает целый спектр проблем, от решения которых зависят не только их технические характеристики, но и объем финансовых и временных затрат на разработку. Ошибочный выбор состава аппаратуры КСП ведет к существенным потерям ресурсов, как на этапе разработки, так и к снижению эффективности на этапе эксплуатации [2].

Основные этапы методологии разработки КСП представлены на рисунке 1. Разработка начинается с формализации технических требований к КСП (I этап), который предполагает определение основных (необходимых) и дополнительных (вспомогательных) требований к системе, а также выявление основных и вспомогательных элементов необходимых для построения системы в целом. На II этапе формируется тактико-техническое задание на разрабатываемую КСП, формулируются ограничения на ее параметры. На основании анализа требований ТТЗ, дополнительных требований к системе и экспертных оценок формализуются критерии оптимизации системы. На III этапе целесообразно рассмотреть методы обеспечения основных требований к создаваемым КСП, так как именно они определяют структуру построения систем и все необходимые связи между различными элементами внутри этих структур.

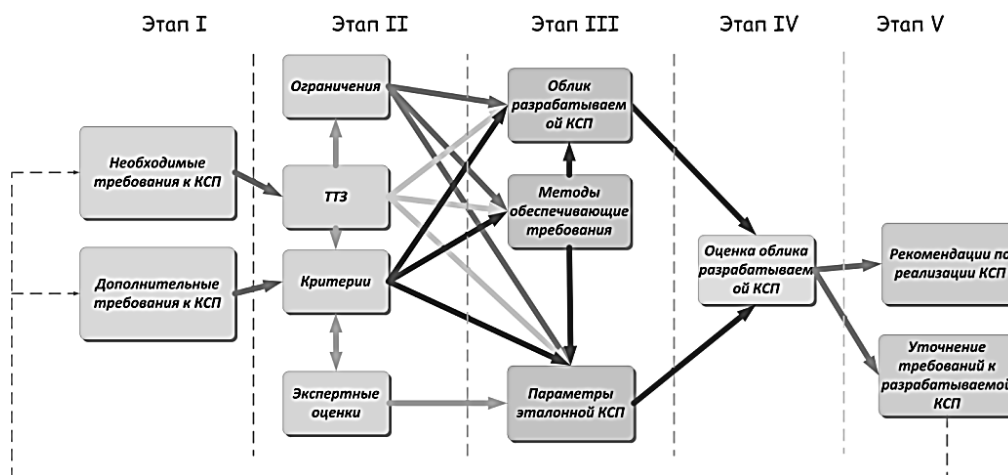


Рис. 1. Основные этапы методологии разработки КСП

Ввиду того, что разработка осуществляется на базе использования существующей бортовой и наземной аппаратуры, на этом же этапе должны быть выделены базовые элементы КСП, относящиеся к штатным средствам навигационного обеспечения посадки летательных аппа-

ратов (ЛА), которые будут использованы. На этом же этапе на основе анализа требований к КСП должен быть проведен анализ требований к необходимым функциональным дополнениям, призванным обеспечить требуемое качество навигации и управления ЛА и проводится синтез структуры КСП, на основе которого определяются перспективные элементы для интеграции и комплексирования функциональных, аппаратных и программных средств. Здесь же производится синтез алгоритмов совместной обработки и использования навигационной и служебной информации, поступающей от подсистем, входящих в КСП. Эти алгоритмы должны быть синтезированы так, чтобы обеспечить мультипликативный эффект в повышении точности, целостности, непрерывности и эксплуатационной готовности навигационных определений и, следовательно, управления движением ЛА, что позволит повысить безопасность полетов и эффективность применения авиации ВКС и ВМФ. На этом же этапе с использованием экспертных оценок определяются параметры эталонной комплексной системы посадки (ЭКСП), т. е. системы с наилучшими из возможных тактико-техническими характеристиками (ТТХ). Понятие ЭКСП подразумевает такой аппаратно-программный комплекс при создании которого минимизируется количество интегрируемой в структуру КСП аппаратуры (дополнительно к уже установленной на борту ЛА и аэродромах), а сама интеграция нового оборудования происходит с минимизацией затрат материально-технических ресурсов и времени. При этом ЭКСП должна соответствовать всем ограничениям, накладываемым ТТЗ (тактико-техническим заданием), и обладать наилучшими из потенциально достижимых значениями важнейших параметров ($F_1 - F_{12}$). Характеристики ЭКСП формируются по результатам экспертных оценок. Понятие ЭКСП используется в качестве эталона, с которым сравниваются характеристики реально существующих или разрабатываемых изделий. На IV этапе осуществляется оценка облика полученной системы путем сравнения ее ТТХ с ТТХ эталонной КСП, а также оценка предложенных научно-технических решений путем анализа обобщенного показателя повышения безопасности полета ЛА или эффективности применения авиации. На V этапе, исходя из результатов предыдущего этапа, осуществляются следующие действия. Если полученный результат соответствует ожидаемому, то формируются рекомендации по реализации предлагаемых методов в КСП. В противном случае необходимо уточнить требования и повторить этапы I – IV заново.

Сущность предлагаемого подхода заключается в формализации технических требований к системе путем введения ограничений и парциальных критериев качества. Обобщением результатов анализа характеристик системы является интегральный показатель качества, представляющий собой свертку вектора парциальных показателей с вектором весовых коэффициентов.

На рис. 2 представлена обобщенная схема алгоритма разработки КСП, реализующего предлагаемый подход. Рассмотрим более подробно действия, выполняемые при реализации предлагаемого подхода. Множество функциональных и эксплуатационных параметров подсистем, включаемых в КСП, используемых в многофакторном анализе, содержит большое количество показателей, сгруппированных по видовым группам. Выборки этих параметров условно разобьем на две группы. Группа I содержит обязательные требования, обычно включаемые в ТТЗ на систему. При решении задач оптимизации их можно перевести в разряд ограничений, однако, в случае удовлетворения требований ТТЗ по этим параметрам, при проектировании системы целесообразно стремиться к улучшению значений некоторых из них, в случае, если это не сопровождается дополнительными издержками.

В группу I необходимо включить такие параметры системы, как:

- точность;
- вероятность удерживания;
- целостность;
- непрерывность обслуживания;
- эксплуатационная готовность;
- темп обновления информации;
- зона действия;

- требования надежности;
- работа в разрешенном частотном диапазоне;
- требования радиоэлектронной защиты;
- требования живучести и стойкости к внешним воздействиям;
- требования транспортабельности;
- требования безопасности;
- требования обеспечения режима секретности;
- требования защиты от иностранных технических разведок;
- требования унификации, стандартизации и каталогизации;
- требования к сырью, материалам и комплектующим изделиям;
- требования эргономики, обитаемости и технической эстетики;
- требования к эксплуатации и хранению;
- требования технологичности;
- конструктивные требования;
- требования к видам обеспечения: нормативно-техническому, метрологическому, диагностическому, математическому, программному, информационно-лингвистическому;
- требования к учебно-тренировочным средствам.

Обозначим входящие в группу I требования к системе в порядке перечисления как $G_1 - G_{22}$.

В группу II включены технико-экономические требования (стоимость, трудоемкость разработки и изготовления, время разработки), а также дополнительные требования, благодаря которым появляется возможность расширения функций системы и придания ей новых функций. Такие параметры, например, описывают возможности интеграции новых подсистем в состав бортового и аэродромного оборудования, взаимодействия с разработчиком составных частей, способность изделий к расширению функциональных возможностей и т.п. Из множества альтернатив S (подсистем КСП), далее будем анализировать только подмножество $S1$ ($S2 \subset S1$) альтернатив, для которых безусловно выполняются требования группы I ($G_1 - G_{23}$). При этом, поскольку диссертационная работа посвящена улучшению показателей радиотехнических систем посадки путем совершенствования методов и алгоритмов обработки информации, в дальнейшем будем оптимизировать описываемые параметрами ($G_1 - G_6$) первые пять из перечисленных характеристик системы, имеющие непосредственное отношение к процессу информационного обеспечения посадки ЛА. Обозначим их как $F_1 - F_6$, где $F_j = G_j, j = 1, 6$.

Дополним множество требований $F_1 - F_6$ требованиями второй группы, такими как:

- интегрируемость существующей на момент разработки (входящей в состав БРЭО или развернутой на аэродромах) аппаратуры в структуру системы;
- интегрируемость дополнительно вводимой аппаратуры в структуру системы;
- модернизационный потенциал;
- стоимость;
- время на внедрение;
- вклад рассматриваемой подсистемы в повышение показателей КСП в целом.

Обозначим их в порядке следования как $F7 - F13$. Некоторые из этих параметров не всегда имеют количественное выражение или четкое математическое описание. В этом случае их значения могут быть получены методом экспертных оценок. В зависимости от конкретных целей, стоящих перед разработчиком, возможно применение и других критериев.

Для упрощения представления результатов при проведении оптимизации состава и структуры системы ограничимся указанными выше двенадцатью параметрами. Поставим в соответствие каждому из этих параметров F_i парциальный критерий качества J_i (таблица 1).



Рис. 2. Обобщенная схема алгоритма разработки КСП

Рассмотрим описание парциальных критериев качества, оптимизация которых позволяет наилучшим образом решить задачу выбора состава и структуры КСП. Использование таблицы 1 позволяет путем анализа лексического описания частного требования к параметру системы F_i сопоставить ему тип парциального критерия качества J_i и, исходя из числового значения этого параметра (γ_i), определить количественное значение данного критерия. При этом, количественные значения J_i могут быть получены как в ступенчатой форме, зависящей от ограничения ε_i , накладываемого на соответствующий параметр, так и в непрерывной, учитывающей значение соответствующего параметра эталонной системы c_i . Ступенчатые кри-

терии целесообразно применять на первом этапе синтеза системы, проверяя выполнение ограничений, наложенных на параметры G_i , а непрерывные критерии предназначены для использования на втором этапе разработки и служат мерой оптимизации каждого из параметров F_i .

Таблица 1
Парциальные критерии качества

№	Лексическое описание	Примеры	Дополнительные условия	Математическое описание ограничений	Условия улучшения качества	Реальные условия улучшения качества	Парциальный критерий качества J_i	
							Гладкий	Ступенчатый
1	«Удовлетворяет/не удовлетворяет требованиям ТТЗ»	Конструктивные требования	Принимает значения 0 или 1	–	–	–	–	$\begin{cases} 0, \text{удовл.} \\ 1, \text{не удовл.} \end{cases}$
2	«Не более»	Ошибка определения координат, стоимость, трудоемкость	Параметр принимает только положительные значения	$0 < \gamma_i \leq \varepsilon_i$	$\gamma_i \rightarrow 0$	$\gamma_i \rightarrow c_i$ ($0 < c_i \leq \varepsilon_i$)	$\frac{\varepsilon_i - \gamma_i}{\varepsilon_i - c_i}$	$\begin{cases} 0, \gamma_i > c_i \\ \beta_i, \gamma_i \leq c_i \end{cases}$
3	«Не менее»	Чувствительность приемника	Параметр принимает только положительные значения	$\gamma_i \geq \varepsilon_i$	$\gamma_i \rightarrow +\infty$	$\gamma_i \rightarrow c_i$ ($c_i \geq \varepsilon_i$)	$\frac{\gamma_i - \varepsilon_i}{c_i - \varepsilon_i}$	$\begin{cases} 0, \gamma_i < c_i \\ \beta_i, \gamma_i \geq c_i \end{cases}$
4	«В диапазоне от...до...»	Температурный диапазон эксплуатации	Принимает как положительные так и отрицательные значения	$\begin{cases} \gamma_i \leq \varepsilon_i \\ \gamma_{i+1} \geq \varepsilon_{i+1} \end{cases}$	$\begin{cases} \gamma_i \rightarrow -\infty \\ \gamma_{i+1} \rightarrow +\infty \end{cases}$	$\begin{cases} \gamma_i \rightarrow c_i \\ (c_i \geq \varepsilon_i) \\ \gamma_{i+1} \rightarrow c_{i+1} \\ (c_{i+1} \geq \varepsilon_{i+1}) \end{cases}$	$\begin{cases} \frac{\gamma_i - \varepsilon_i}{c_i - \varepsilon_i} \\ \frac{\gamma_{i+1} - \varepsilon_{i+1}}{c_{i+1} - \varepsilon_{i+1}} \end{cases}$	$\begin{cases} 0, \gamma_i > c_i, \gamma_{i+1} < c_{i+1} \\ \beta_i, \gamma_i > c_i, \gamma_{i+1} \geq c_{i+1} \\ 0, \gamma_{i+1} \leq c_{i+1}, \gamma_i < c_i \\ \beta_{i+1}, \gamma_{i+1} > c_{i+1}, \gamma_i \geq c_i \end{cases}$

Целью оптимизации в рассматриваемой задаче является выбор таких состава, структуры и алгоритмов функционирования КСП, которые позволяют безусловно выполнить все требования ТТЗ и оптимизируют важнейшие ТТХ системы. Введем обобщенный показатель I_s степени близости параметров конкретной КСП к параметрам ЭКСП, представляющий собой свертку парциальных критериев качества J_i и вектора соответствующих весовых коэффициентов, характеризующие экспертную числовую оценку значимости каждого из параметров системы F_i :

$$I_{S1} = \sum_{i=1}^N \lambda_i \gamma_i, \quad (1)$$

где элементами вектора λ являются экспертно-назначенные веса для рассматриваемых критериев F_j , которые выбираются из условия:

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i = 1, \quad \lambda_i \geq 0 \quad (2)$$

Для рассматриваемого набора параметров системы. В общем случае распределение весов критериев, задаваемое вектором J , может быть произвольным в рамках указанного ограничения. При необходимости сужения поля поиска некоторым из критериев может быть присвоен нулевой вес, что исключит из анализа альтернатив соответствующие параметры.

Таким образом, стратегия выбора лучшей альтернативы при анализе количественных характеристик параметров системы F_i выглядит следующим образом:

$$I_0 = \max_{S_1} \{I_{S_1}\}. \quad (3)$$

Использование выражения (3) позволяет упорядочить альтернативы множества S_1 по степени их доминирования. В качестве обобщенных критериев близости характеристик разрабатываемых КСП к эталонной могут служить коэффициенты эффективности $K_1^{\text{эфф}}$ (доминирование по возрастанию) и $K_2^{\text{эфф}}$ (доминирование по убыванию):

$$K_1^{\text{эфф}} = \frac{I_{S_1}}{I_{\text{КСП}}}, \quad K_2^{\text{эфф}} = \frac{I_{\text{КСП}} - I_{S_1}}{I_{\text{КСП}}}, \quad (4)$$

а в качестве меры оценки отличия любой из рассматриваемых систем от наилучшей из них могут быть приняты величины:

$$K_3^{\text{эфф}} = \frac{I_{S_1}}{I_0}, \quad K_4^{\text{эфф}} = \frac{I_0 - I_{S_1}}{I_0}. \quad (5)$$

Предложенные в настоящей статье технологии используются при синтезе и анализе перспективных комплексных систем посадки.

Библиографический список

1. Радионавигационный план Российской Федерации. Основные направления развития радионавигационных систем и средств (редакция 2008 г.) [Электронный ресурс]. URL: <http://stat.doc.ru/documents>.
2. Сосновский А. А., Хаймович И. А. Радиотехнические средства ясной навигации и посадки летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1975.

УДК 351.814

НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ АППАРАТУРЫ АЗН ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНТРОЛЯ ВОЗДУШНОЙ ОБСТАНОВКИ

А. Ю. Княжский, Е. Е. Кривоносов, Ф. П. Крылов,
И. Д. Потоцкий, Е. С. Щербаков, В. Т. Яковлев

АО «Всероссийский научно-исследовательский институт радиоаппаратуры»

Рассматриваются перспективы и возможные направления развития системы АЗН-В в России от краткой истории появления до текущего состояния и перспектив. Предлагается