

С.Г. Брайткрайц, доктор технических наук, старший научный сотрудник
В.А. Евдокимов, кандидат технических наук
С.И. Безденежных
С.С. Жданов

Проблемные вопросы проектирования бортовых систем управления беспилотных летательных аппаратов большой дальности

В статье рассмотрены технологические, методические и организационные вопросы проектирования бортовых систем управления беспилотных летательных аппаратов большой дальности. Предложены пути разрешения проблемных вопросов, включающие предложения по применению адаптивной технологии проектирования бортовых систем управления, алгоритмические подходы по распределению требований к компонентам бортовых систем управления, предложения по изменению нормативной базы в области проектирования бортовых систем управления. Предлагаемые решения могут быть использованы при разработке бортовых систем управления беспилотных летательных аппаратов средней и большой дальности различного назначения.

Системообразующим ядром беспилотных летательных аппаратов большой дальности (БЛА БД), определяющим эффективность их применения, является бортовая система управления (БСУ), под которой понимается сложная техническая система, обеспечивающая в автоматическом режиме навигацию, управление и стабилизацию движения по заданному маршруту БЛА в соответствии с пространственно-временным графиком полета, выведение его в заданный район (зону) применения целевой нагрузки и ее использование по назначению [1].

Разработчики бортовых систем управления перспективных БЛА БД в процессе проектирования сталкиваются с целым рядом проблем, начиная от формирования требований, предъявляемых как к бортовой системе управления в целом, так и к ее отдельным компонентам, и заканчивая вопросами реализуемости тактико-технических требований технического задания на разработку бортовой системы управления БЛА БД.

Тактические требования к бортовой системе управления БЛА БД (ее подсистемам) задаются в виде требований по точности полета по маршруту, точности выхода в зоны коррекции, точности выхода в районы (зоны применения целевой нагрузки), точности определения местоположения (координат) наблюдаемых (обнаруживаемых) объектов, вероятности выполнения целевой функции и др., то есть в виде конкретных формализованных характеристик. Таким образом, объективно существует основа для построения математически строго формализованного аппарата для формирования требований ко всем компонентам и подсистемам БСУ перспективных БЛА БД, а также выявления технических и технологических решений, получаемых в НИОКР, которые потенциально могут удовлетворить этим требованиям. Однако следуя существующей СРПП ВТ (система разработки и постановки продукции на производство), разработчику крайне сложно найти сбалансированное рациональное решение, поскольку в настоящее время вопросы разработки компонентов бортовой системы управления и элементов системы информационного обеспечения (СИО) БЛА БД рассматриваются в рамках отдельных опытно-конструкторских работ (ОКР), выполняемых различными исполнителями. Как правило, вопросы распределения требований, предъяв-

ляемых к различным компонентам, решаются итерационно, по существу эмпирически, путем наращивания возможностей базовой инерциальной системы управления (БИСУ) за счет введения в состав бортовой системы управления разного рода корректирующих устройств. Координация между разработчиками базовой БИСУ и разработчиками корректирующих систем и устройств, а также разработчиками элементов СИО до последнего времени слабая, а методические вопросы распределения финансовых ресурсов, необходимых для разработки и создания новых компонентов бортовых систем управления, за редким исключением не рассматриваются вовсе.

Кроме того, новые тенденции в бортовых радиоэлектронных технологиях, направленные на создание максимально интегрированных систем и комплексов с отказом от применения функционально полных систем, требуют обновления и нормативной базы. Существующая нормативная база, регламентирующая разработку бортовых систем и комплексов, в значительной степени устарела и не отвечает требованиям создания интегрированных систем и комплексов с минимизацией рисков невыполнения тактико-технических требований.

В статье на основе научно-технического задела по формированию рационального типажа различных видов вооружения, созданного в 46 ЦНИИ МО РФ в рамках подготовки проектов ГПВ и ГОЗ, предложен ряд решений по распределению требований к компонентам БСУ БЛА БД, применению адаптивной технологии проектирования, разработаны предложения по модернизации существующей нормативной базы.

Выполнение автономного полета БЛА БД от момента старта при выполнении взлета и до посадки и пробега непосредственно обеспечивает бортовая система управления. Обобщенная структурно-функциональная схема бортовой системы управления, выполненная по существующей традиционной технологии проектирования, приведена на рисунке 1.

Бортовые системы управления характеризуются следующими основными чертами [2]:

объединением в единую систему (комплекс) подсистем, основанных на различных физических принципах, создаваемых различными отраслями промышленности;

многочисленными взаимными связями между подсистемами, от функционирования которых зависит работоспособность всего комплекса;

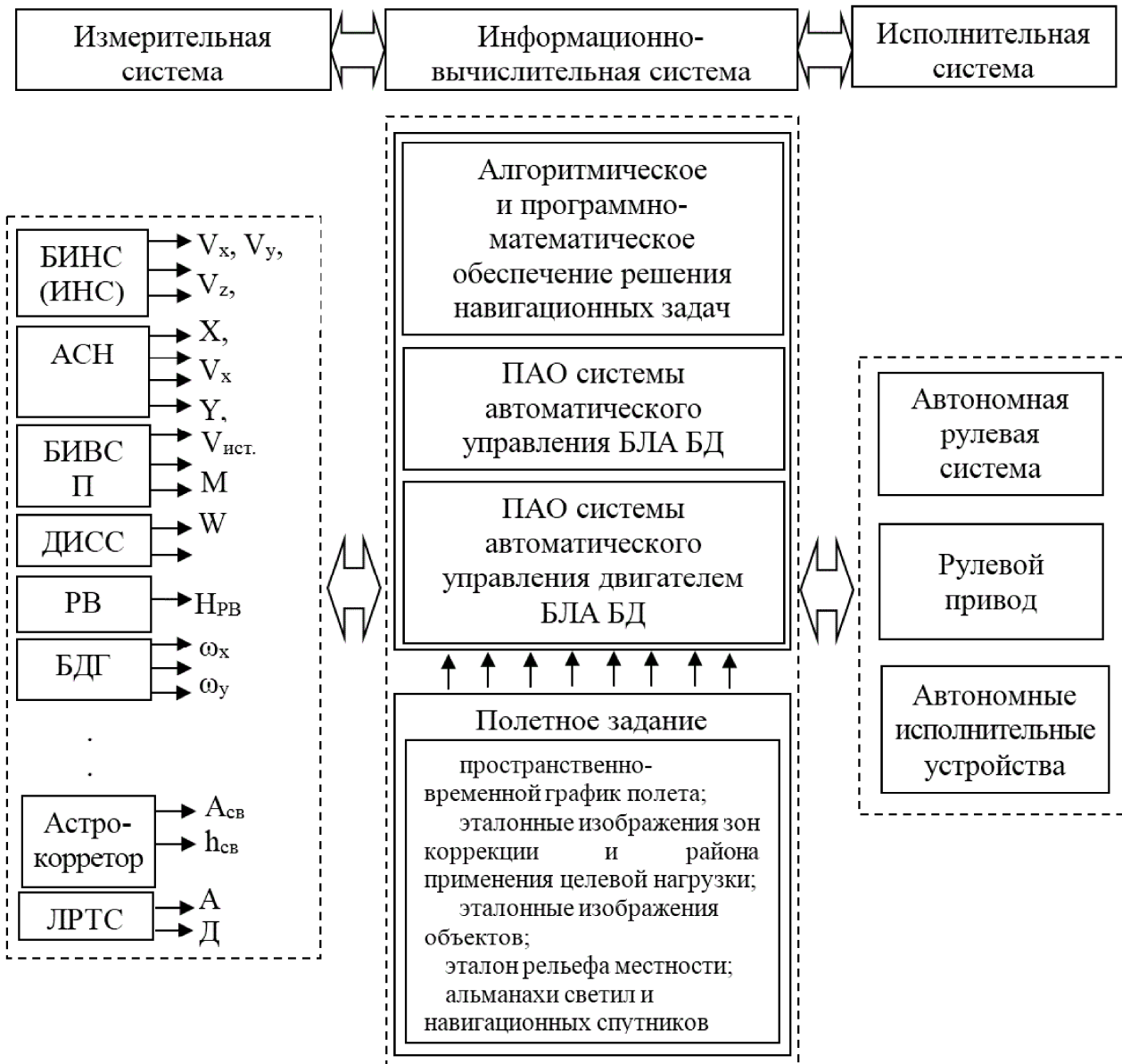
разнообразием и интенсивностью потоков информации, замыкающихся через бортовую цифровую вычислительную машину (БЦВМ) или бортовую цифровую вычислительную систему (БЦВС);

существующей на современном уровне сложностью математического обеспечения комплекса.

В своем развитии БСУ летательных аппаратов прошли последовательно стадии централизованных, федеративных и интегрированных систем. Приведенная на рисунке 1 структура относится к классу федеративных. Несмотря на определенные преимущества федеративной системы по сравнению с централизованной, достижимые за счет более рационального распределения потоков информации и возросшей производительности БЦВМ, реализация оптимальной обработки информации и оптимизации управления в реальном масштабе времени затруднена сложностью математических моделей подсистем.

Это предопределило переход от систем с федеративной структурой к интегрированным системам и комплексам, обеспечивающим глубокую комплексную автоматизацию и оптимизацию на основе распределенной интегрированной структуры и соответствующих баз данных, а также реконфигурацию системы при отказах или повреждениях.

В настоящее время ведущие мировые производители авионики завершили переход к производству бортовых систем и комплексов с открытой архитектурой на базе интегрированной модульной авионики (ИМА) [3]. Такие комплексы (рисунок 2) [4] создаются на основе единой вычислительной платформы, а функции систем и подсистем выполняют унифицированные модули с соответствующими программными приложениями, разделяющими общие вычислительные ресурсы.



БИНС – бесплатформенная инерциальная навигационная система

АСН – аппаратура спутниковой навигации

БИВСП – бортовой измеритель высотно-скоростных параметров

ДИСС – доплеровский измеритель скорости и угла сноса

РВ – радиовысотомер

БДГ – блок демфирующих гироскопов

ЛРТС – приемная аппаратура локальных радиотехнических систем

ПАО – программно-алгоритмическое обеспечение

Рисунок 1 – Структурно-функциональная схема БСУ БЛА БД

В РФ аналогичные работы проводятся в рамках концепции интегрированного комплекса бортового оборудования [2, 5], разработанной в конце прошлого столетия в ВВИА имени Н.Е. Жуковского, а в настоящее время успешно развиваются и реализованы в концепции интегрированной модульной авионики в интересах создания бортовых комплексов гражданской авиации, головным разработчиком и координатором которой является ФГУП «ГосНИИАС».

В РФ аналогичные работы проводятся в рамках концепции интегрированного комплекса бортового оборудования [2, 5], разработанной в конце прошлого столетия в ВВИА имени Н.Е. Жуковского, а в настоящее время успешно развиваются и реализованы в концепции инте-

грированной модульной авионики в интересах создания бортовых комплексов гражданской авиации, главным разработчиком и координатором которой является ФГУП «ГосНИИАС».

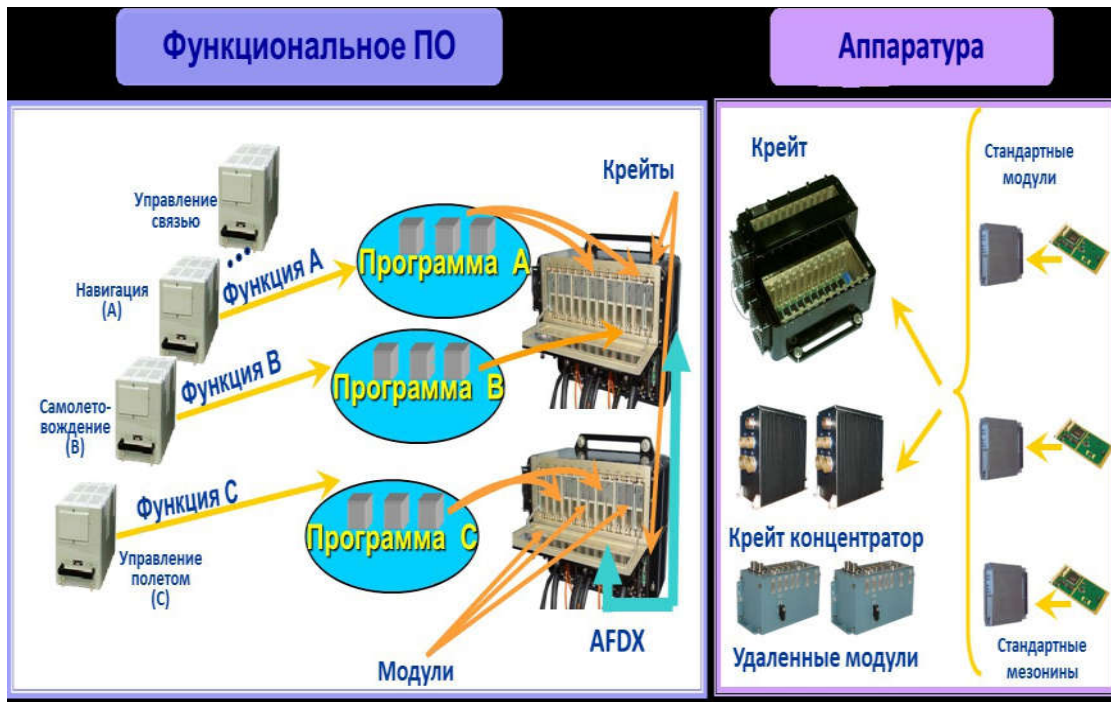


Рисунок 2 – Концепция интегрированной модульной авионики

Несмотря на ожидаемый выигрыш в затратах на разработку бортового оборудования, сокращение сроков разработки, сокращение массогабаритных параметров авионики и более высокую степень надежности, открытым остается целый ряд вопросов как методического, так и организационно-нормативного характера, необходимость решения которых очевидна для специалистов, занимающихся разработкой и созданием бортовых систем и комплексов перспективных БЛА.

С.Г. Брайткрайцем и В.А. Евдокимовым был предложен методический подход к проектированию БСУ БЛА БД, который заключается в следующем:

1) имеется множество вариантов A_m^i , K_r^i , S_k^i (A_m^i – параметры автономных систем в составе БСУ, S_k^i – параметры корректирующих систем в составе БСУ, K_r^i – параметры соответствующей системы информационного обеспечения (СИО)) построения системы управления БЛА БД, каждый из которых оценивается совокупностью показателей и имеется моделирующий комплекс, позволяющий для набора типовых задач применения комплекса БЛА БД (удаленности до заданного объекта, траектории маршрута полета средства БЛА, информационного обеспечения каждого участка траектории, помеховой обстановки и выбранного варианта программно-алгоритмического обеспечения бортового вычислителя) оценить эффективность, характеризующую точностью вывода БЛА в заданную зону;

2) для каждого из сформированных вариантов построения бортовой системы управления выполняется моделирование применения комплекса БЛА БД, результатом которого является оценка точности наведения;

3) полученные сочетания элементов системы управления разбиваются на группы в соответствии с обеспечиваемым уровнем точности;

4) производится упорядочение сформированных вариантов (сочетаний элементов) системы по критерию стоимости для каждого уровня точности.

Такой поход можно считать идеализированным, на практике он может привести к существенным трудностям, которые обусловлены следующими факторами:

сложностью структуры множества вариантов A_m^i , K_r^i , S_k^i построения системы управления БЛА БД и размерностью требований к ним;

отсутствием единых методик либо моделирующих комплексов, позволяющих для совокупности типовых задач применения комплекса БЛА БД оценить эффективность БСУ.

Сложившееся положение вещей нельзя признать удовлетворительным, поскольку, как показывает опыт, оно приводит к двум крайним ситуациям.

В первом случае, головной исполнитель, основываясь на понятном стремлении сохранить сложившуюся ранее кооперацию соисполнителей – разработчиков компонентов БСУ, будет использовать уже имеющиеся (готовые) научно-технические и технологические решения. Естественно, что при таком подходе трудно ожидать появления новых решений, отвечающих требованиям создания перспективных БСУ.

Во втором случае, при формировании ТТЗ на ОКР по разработке БСУ Заказчиком или уполномоченной НИО Заказчика (в соответствии с ГОСТ РВ 15.203-2003) требования, предъявляемые к компонентам БСУ и к системе в целом, могут оказаться недостаточно обоснованными или неактуальными в смысле создания системы управления конкретного образца БЛА БД. Сказанное характерно и для тактико-технических заданий на разработку других видов ВВСТ, учитывая существенное сокращение численности штата научно-исследовательских учреждений, органов военного управления, заказывающих управлений и военных представительств и, как следствие, снижение уровня обоснованности заявляемых в ТТЗ требований.

В обоих случаях сроки выполнения ОКР неоправданно затягиваются, требования технического задания выполняются не полностью, а в ряде случаев заказчиком принимается решение о приостановке ОКР. По имеющимся данным [6] реальная продолжительность ОКР сегодня составляет почти 7 лет. При этом выполнение около половины ОКР не укладывается в сроки, указанные в первоначальном контракте. Почти 10% ОКР за последние десять лет были отменены на этапе проведения государственных испытаний в связи с потерей ими своей актуальности.

Разработка перспективных бортовых систем и комплексов связана с поиском рационального баланса между автономными (инерциальными) системами и различными корректирующими системами (средствами). При этом поиск такого рационального решения включает не только и не столько научно-технические и технологические решения, но и решение целого ряда нормативно-правовых вопросов, а также связана с решением вопросов стоимостных оценок разрабатываемых систем в частности и с оценкой военно-экономической эффективности БСУ в целом.

Существующая нормативная база ориентирована на каскадную модель разработки технических средств [4, 6] с жестко зафиксированной последовательностью этапов и не отвечает требованиям создания интегрированных систем и комплексов для БЛА БД. Необходимо учитывать и то, что конкретный исполнитель ОКР определяется по результатам конкурса, а создание интегрированной распределенной системы управления предполагает участие широкой кооперации разработчиков. В последнее время появился целый ряд публикаций отечественных и зарубежных разработчиков, посвященных проблеме единой, «сквозной» технологии проектирования [4...6]. Так, за рубежом проектирование комплекса БРЭО гражданского судна осуществляется в соответствии с руководствами ARP-4754A и P-4754. Процесс разработки состоит из следующих процедур:

- разработка и распределение требований;
- разработка программного обеспечения и аппаратуры;
- интеграция и испытания.

Из приведенных процедур ключевой является процедура формирования и распределения требований, предъявляемых к комплексу БРЭО в целом и ко всем его компонентам. Необходимо отметить, что вопросам распределения требований к разрабатываемым комплексам и системам БРЭО за рубежом посвящен целый ряд руководящих документов:

Инструкция МО США 3170.01Н «Объединенная система разработки и интеграции характеристик» (The Joint Capabilities and Development System);

Порядок рассмотрения программного обеспечения бортовых систем и Сертификация оборудования (DO-178C, Software Consideration in Airborne Systems and Equipment Certification, 2011);

Развитие на основе моделирования и Приложения по Сертификации стандартам DO-178C и DO-278A (DO-331, Model Based Development and Certification Supplement to DO-178C and DO-278A, 2011).

В Российской Федерации проектирование комплекса бортового радиоэлектронного оборудования БРЭО и БСУ боевых ЛА осуществляется в соответствии нормативной базой по ГОСТ РВ 15.203-2003 – для образцов ВВТ, и по ГОСТ РВ 15.205 – для комплектующих изделий, научно-методическая база которых основана на реализации каскадной схемы разработки и создания сложных технических систем (рисунок 3):

- разработка тактико-технического задания на опытно-конструкторскую работу;
- разработка эскизного проекта (ЭП);
- разработка технического проекта (ТП);
- разработка рабочей конструкторской документации (РКД);
- изготовление опытного образца (опытной партии);
- предварительные испытания;
- государственные испытания;
- корректировка и утверждение рабочей конструкторской документации для организации серийного производства образца ВВСТ или его составной части.

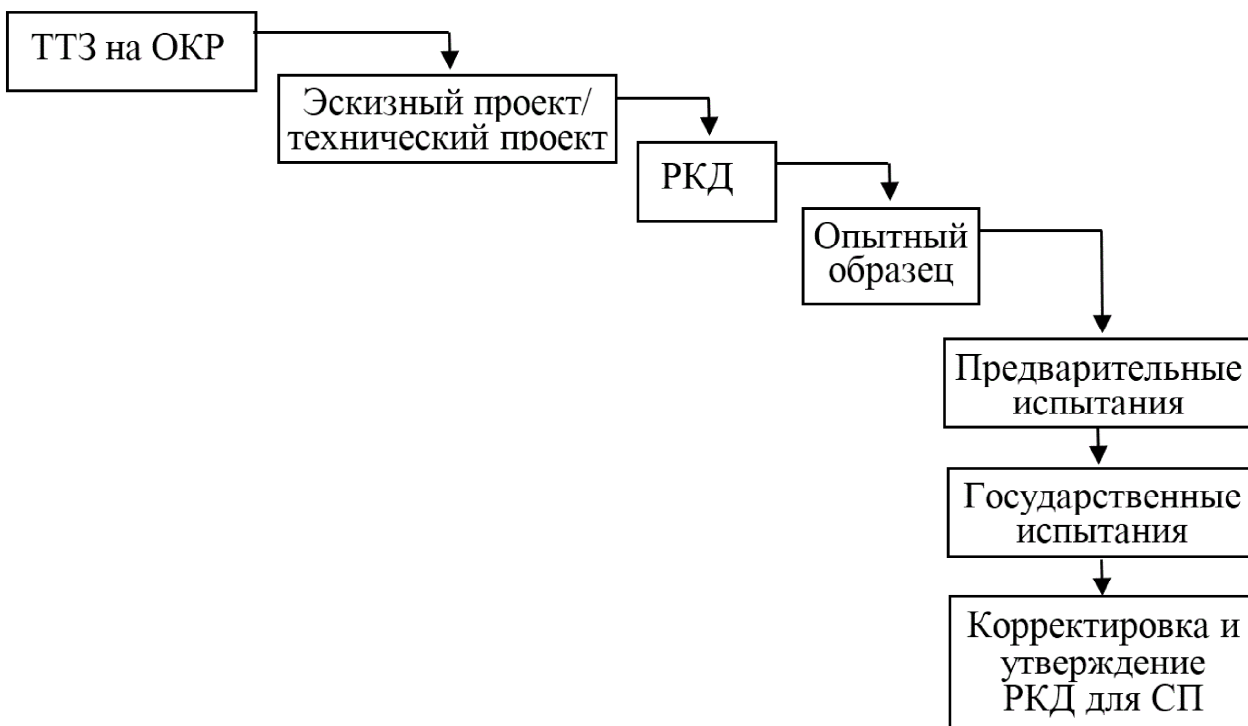


Рисунок 3 – Каскадная схема создания сложных технических систем

В рамках такой схемы разработка технических средств и подсистем БСУ, программного обеспечения осуществляется только на основе требований верхнего уровня, определенных в ТТЗ и частично уточненных в эскизном или техническом проекте. Кроме того, формирование требований осуществляется, как правило, в ходе выполнения отдельной НИР, в разделе, посвященном разработке проекта ТТЗ на выполнение ОКР. При этом исполнитель данной НИР, то есть разработчик требований ТТЗ на ОКР, чаще всего в выполнении ОКР непосредственного участия не принимает, а отчетные материалы с обоснованием требований к опытному образцу и подтверждением их реализуемости до головного исполнителя ОКР и исполнителей ее составных частей не доходят, поскольку головной исполнитель определяется по результатам конкурса и временной интервал между выполнением НИР с обоснованием и распределением требований может занять существенный отрезок времени – до нескольких лет.

Традиционно вопросы распределения требований между компонентами разрабатываемых бортовых систем управления решались либо методами теории чувствительности [7, 8], либо эмпирическими методами итерационного совершенствования основных характеристик бортовых систем управления, в первую очередь, точности, автономности и помехоустойчивости.

Методы теории чувствительности не потеряли своей актуальности и к настоящему времени. Однако их применимость в настоящее время ограничена областью разработки отдельных чувствительных элементов, датчиков и их узлов.

Итерационные эмпирические методы особенно характерны для конца прошлого века, когда, с одной стороны, сложилось представление, что инерциальная техника достигла определенного технологического предела, а с другой – часть разработчиков была убеждена в возможности создания универсального навигационного средства, каким тогда представлялись спутниковые радионавигационные системы. Вместе с тем очевидно, что и в области разработки новых чувствительных элементов, и в области новых применений информации о геофизических и искусственных навигационных полях, и в области концептуальных проблем построения бортовых интегрированных систем и комплексов будут появляться новые разработки. Поэтому полагаться даже на такую современную концепцию, какой является концепция ИМА, как на основной путь в развитии бортовых систем и комплексов управления БЛА, по нашему мнению, вряд ли оправданно.

Поскольку процесс формирования облика БСУ по существу является процессом реализации определенных алгоритмов управления, где объектом управления являются структура, состав БСУ, алгоритмическое обеспечение, характеристики компонентов БСУ, а управлением – соответствующие изменения в указанных элементах облика БСУ, то и к процессу формирования облика логично применить методы и подходы адаптивного управления [5, 9]. Причем эти подходы связаны как с решением технологических вопросов, так и нормативных вопросов, регламентирующих разработку новой техники.

Облик бортовой системы управления БЛА БД, как и облик любой другой сложной технической системы во многом определяется состоянием нормативной базы, устанавливающей требования к оборонной продукции, в том числе научно-технической. Качество оборонной продукции обуславливается не только соответствием ее характеристик требованиям стандартов, но и соответствием самих стандартов современному уровню достижений науки и техники (рисунок 4) [4].

На рисунке 4 показано, что если в области гражданской авиации РФ существует достаточно полный и современный перечень нормативной документации, то в области разработки образцов военной техники нормативная база в значительной части либо устарела, либо отсутствует вовсе. Это касается в первую очередь нормативной базы, регламентирующей разработку сложных систем, формирование и распределение требований к сложным системам, оценку реализуемости этих требований.

	Гражданская авиация			Военная авиация
	США	ЕС	Россия	
Разработка и сертификация сложных систем	ARP 4754 1996 г. ARP 4754A 2010 г.	ED-79 1996 г. ED-79A 2010 г.	Р 4754 2011 г. Р 4754А 2011 г. ДП 05 2010 г.	- отсутствует
Оценка безопасности оборудования	ARP 4761 1996 г. ARP4761A 2014 г.	ED-135 1996 г. ED-135A 2014 г.	Р 4761 2011 г. ДП 05 2010 г.	- отсутствует
Оценка воздействия внешних факторов	DO-160E 2004 г. DO-160F 2007 г.	ED-14E 2005 г. ED-14F 2008 г.	КТ-160D 2005 г.	ГОСТ РВ 20.39.30Х-98 ГОСТ РВ 6601-002- 2008 превосходит
Разработка и сертификация ИМА	TSO C-153 2002 г. DO-297 2005 г. AC 20-170 2011 г.	ETSO 2С153 2014 г. ED-124 2007 г.	КТ 297 (проект) Р 297 (проект)	- отсутствует
Разработка программного обеспечения	DO-178В 1992 г. DO-178С 2011 г.	ED-12В 1992 г. ED-12С 2015 г.	КТ 178В КТ 178С 2015 (+ 4 Приложения)	ГОСТ РВ 51904- 2002 ГОСТ РВ 0019-001- 2006 соответствует
Разработка аппаратуры	DO-254 2000 г.	ED-80 2000 г.	КТ 254 2011 г.	ГОСТ 15.203-2001 не соответствует
ARP 4754 – руководство по процессам сертификации высокоинтегрированных сложных бортовых систем гражданских воздушных судов			DO-297 – руководство по вопросам разработки и сертификации интегрированного модульного авиационного радиоэлектронного оборудования (ИМА)	
ARP 4754А – руководство по процессам разработки гражданских воздушных судов и систем			DO-178С – требования к программному обеспечению бортовой аппаратуры и систем при сертификации авиационной техники (+ 4 приложения)	
ARP4761А – руководство по методам оценки безопасности систем и бортового оборудования самолетов			DO-160F – условия окружающей среды и тестовые процедуры для бортового авиационного оборудования	
DO-254 – руководство по гарантии конструирования бортовой электронной аппаратуры				

Рисунок 4 – Сравнение нормативной базы проектирования комплексов бортового оборудования

Очевидно, что глубокая переработка существующей системы документов и принятие новой системы, аналогичной СРПП ВТ, КС ОТТ (общие технические требования), КС КК (контроль качества) и др. потребуют значительного времени и финансовых затрат, связанных с модернизацией системы государственного оборонного заказа в области НИОКР, что является предметом отдель-

ного серьезного обсуждения. Вместе с тем с учетом рассматриваемой в статье конкретной проблемной области – области формирования (проектирования) облика БСУ БЛА, некоторые первоочередные шаги могут быть предложены уже сейчас.

Предлагается несколько путей решения проблемных вопросов проектирования систем управления беспилотных летательных аппаратов большой дальности.

Предложения по учету и корректировке недостатков тактико-технических заданий на опытно-конструкторские работы

Одним из основных недостатков каскадной модели является невозможность возврата к предыдущим этапам и уточнения или пересмотра ранее принятых решений. Это выражается, например, в том, что недоработки, допущенные при формировании ТТЗ, существенно усложняют выполнение этапов ОКР и в ряде случаев не позволяют Заказчику получить требуемый образец.

Одним из решений этого проблемного вопроса может быть возврат к опыту проведения исследований в Советском Союзе, когда при формировании технического задания на ОКР в качестве приложения представлялся отчет с примерным названием «Обоснование технического задания». Отчет содержал более полные сведения по анализу экспериментальных данных о воздействующих факторах, оценке возможных вариантов построения системы и ее основных элементов, экономическим расчетам, а также предложения по организации разработки и срокам выполнения работ.

Выделение этапа эскизно-технического проекта из общего содержания опытно-конструкторской работы и его параллельное выполнение несколькими исполнителями

В качестве первого шага решения проблемных вопросов разработки БСУ БЛА БД может быть рассмотрено обеспечение устойчивой связи между этапами НИР, предшествующей ОКР и обосновывающей требования к разрабатываемой в ОКР системе и самой ОКР. Для разрешения данного проблемного вопроса необходимо ответить, по крайней мере, на два вопроса, связанных с существующим порядком проведения опытно-конструкторских работ по созданию изделий ВВСТ и их составных частей:

1) Возможно ли в рамках существующего порядка выполнения ОКР предусмотреть проработку нескольких вариантов технических и технологических решений?

2) Кем и на каком этапе разработки будут формироваться варианты такой сложной технической системы как БСУ БЛА БД?

Следуя закономерностям адаптивного управления [9], в рамках существующей СРПП можно предложить следующие варианты ответов.

1) Выполнение этапов эскизного и технического проектирования параллельно с головным исполнителем ОКР целесообразно поручить нескольким соисполнителям. Этапы эскизного и технического проектирования проводить по предварительному техническому заданию, в котором указываются только требования назначения (основные функции) и условия применения образца. Из технического задания на ОКР целесообразно исключить требования к составу разрабатываемого образца. Остальные характеристики и состав БСУ не являются догмой и могут уточняться и корректироваться. Это обеспечит получение нескольких вариантов проектирования БСУ БЛА БД. При этом каждый исполнитель (соисполнитель) обязан предоставлять Заказчику соответствующий отчет с оценкой реализуемости предлагаемых решений. Такой порядок выполнения ОКР не противоречит существующему, поскольку ГОСТ РВ.15.203 предусматривает проработку нескольких технических решений на этапе проектирования. Однако на практике это выполняется крайне редко, поскольку исполнитель ОКР (СЧ ОКР) ориентируется в первую очередь на собственный научно-технический задел. Таким образом, необходимо обеспечить распаралле-

ливание этапа эскизно-технического проектирования между несколькими исполнителями с последующим выбором оптимального варианта комиссией, включающей представителей заказывающей организации, НИУ МО, представителей организаций исполнителя (соисполнителей) ОКР.

2) Формирование вариантов (опорных вариантов) БСУ БЛА БД может осуществляться в рамках отдельной системной научно-исследовательской работы либо аванпроекта. Целью этой НИР (аванпроекта) является разработка проекта технического задания на ОКР по разработке опытного образца БСУ. Исполнители такой НИР (аванпроекта), как и организации, осуществляющие в дальнейшем военно-научное сопровождение ОКР, должны быть определены из числа НИО МО РФ. Головной исполнитель выполняет этапы разработки РКД, изготовления опытного образца и проведения испытаний в соответствии с существующей системой СРПП.

Создание адаптивной «сквозной» технологии проектирования БСУ БЛА БД

Формирование требований должно представлять поток параллельных нисходящих процессов проектирования (рисунок 5) БСУ БЛА БД, поскольку распределение требований производится как по вертикали – от верхнего уровня (требования к БСУ в соответствии с концепцией применения БЛА БД) до самого нижнего (требования к системам, средствам, ПО), так и по горизонтали – между системами и средствами, выполняющими сходные задачи.

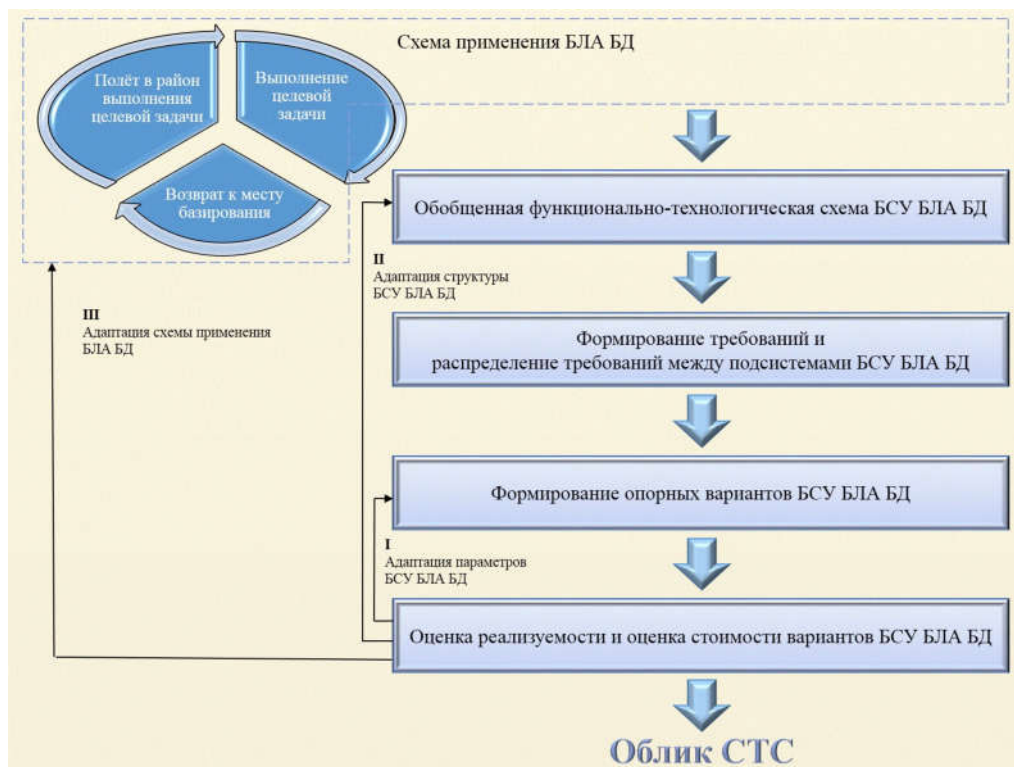


Рисунок 5 – Адаптивная схема формирования требований к БСУ

Поясним применение термина «адаптивность» в задаче распределения требований. Представленный подход позволяет связать все уровни требований – требований к применению БЛА, требований к БСУ, требований к компонентам БСУ, требований к ПО и требований к чувствительным элементам. При этом необходимо обеспечить оценку реализуемости требований для каждого уровня. Адаптивность здесь предполагает (по результатам оценки реализуемости) возможность гибко изменять технические характеристики компонентов БСУ БЛА (1-й контур адаптации), состав и структуру БСУ БЛА (2-й контур адаптации), и даже требования к режимам функционирования БСУ БЛА (3-й контур адаптации) (рисунок 6). Это позволит оперативно и с мини-

мальными затратами корректировать и распределять требования, предъявляемые ко всем компонентам БСУ с безусловным выполнением требований назначения (основные функции) и условий применения образца БСУ БЛА БД.

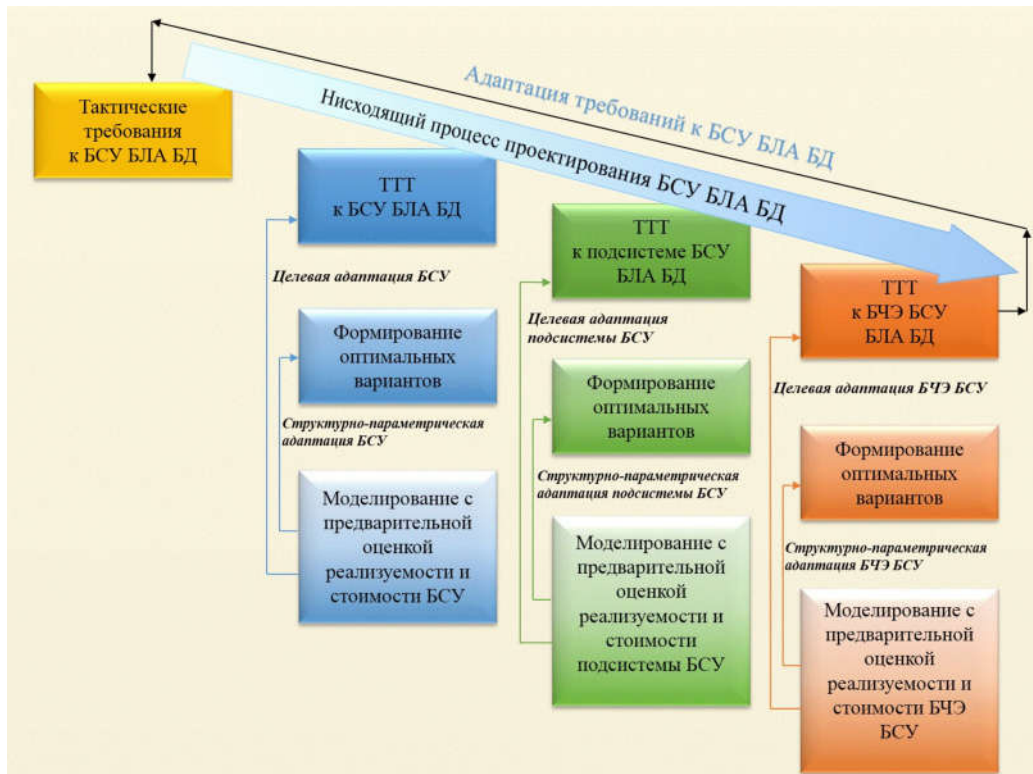


Рисунок 6 – Адаптивная сквозная технология проектирования и распределения требований

Таким образом, весь процесс оптимального проектирования БСУ БЛА БД может осуществляться на трех уровнях (рисунок 6).

На первом уровне Заказчиком на основе концепции разрабатываемого образца БЛА БД разрабатывается техническое задание, в котором формируются требования по дальности применения и точности навигации БЛА БД.

На втором уровне происходит формирование облика бортовой системы управления – A_m^i , K_r^i , S_k^i , с конкретизацией (распределением) точностных характеристик ее подсистем $\Delta R(A_m^i)$, $\Delta R(K_r^i)$, $\Delta R(S_k^i)$.

На третьем уровне формируются требования к точностным характеристикам основных чувствительных элементов и электронных узлов компонентов БСУ БЛА БД – $\Delta r(A_m^i)$, $\Delta r(K_r^i)$, $\Delta r(S_k^i)$.

Полученные решения позволяют:

- получать оптимальные сочетания параметров основных подсистем, входящих в состав БСУ для конкретной решаемой задачи с известными финансовыми ограничениями;
- при включении в состав БСУ заведомо «грубой» в смысле точностных параметров системы компенсировать ее погрешности свойствами более точных систем, включаемых на основании строго обоснованных требований;
- формировать предложения по способам применения БЛА на основе решения обратной оптимизационной задачи: то есть, исходя из известных параметров подсистем БСУ, определять достижимые расстояния до вскрываемого объекта, продолжительность автономного полета и точность навигации и наведения БСУ БЛА в целом.

Список использованных источников

1. Панов В.В., Горчица Г.И., Балыко Ю.П. Формирование рационального облика перспективных авиационных систем и комплексов. – М.: Машиностроение, 2010.
2. Эргатические интегрированные комплексы летательных аппаратов / Под ред. М.М. Сильвестрова. – М.: Филиал Воениздата, 2007.
3. Чуянов Г.А., Косьянчук В.В., Сельвесюк Н.И. Перспективы развития комплексов бортового оборудования на базе интегрированной модульной авионики // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 3 (128).
4. Косьянчук В.В., Сельвесюк Н.И., Чуянов Г.А. Проблемные вопросы развития технологий создания бортового оборудования летательных аппаратов военного назначения // Вооружение и экономика. – 2013. – № 4 (25).
5. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. А.А. Красовского. – М.: Главная редакция физико-математической литературы «Наука», 1987.
6. Брайткрайц С.Г., Небелов Е.В., Безденежных С.И. Совершенствование порядка формирования требований при подготовке тактико-технических заданий на создание комплексов с беспилотными летательными аппаратами / Сборник докладов и статей научно-практической конференции «Перспективы развития и применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами». – Коломна, 2017.
7. Липчин Л.Ц. Проектирование сложных навигационных систем. – М.: Машиностроение, 1976.
8. Гехер К. Теория чувствительности и допусков электронных цепей. – М.: Советское радио, 1973.
9. Растринин Л.А. Адаптация сложных систем. – Рига: Зинатие, 1981.
10. Красовский А.А. Избранные труды: Теоретическая и прикладная теория управления. Последние проекты и открытия. – М.: Мысль, 2001.
11. Проектирование систем наведения / Под ред. Е.А. Федосова. – М.: Машиностроение, 1975.
12. Мубаракшин Р.В. Комплексное наведение летательных аппаратов и отделяемых средств. – М.: Машиностроение, 1990.