

Методический подход к формированию облика комплекса бортового радиоэлектронного оборудования беспилотных летательных аппаратов большой продолжительности полета

С. Г. Брайткрайц, В. А. Евдокимов, Е. М. Ильин, А. И. Полубехин

В статье рассматривается методический подход к формированию облика бортового радиоэлектронного оборудования (БРЭО) беспилотных летательных аппаратов (БЛА) большой продолжительности полета. Отличием предлагаемого методического подхода от традиционных подходов является реализация обратной связи в блоке формирования требований к вновь разрабатываемым компонентам БРЭО БЛА. Сформированные принципы проектирования бортовых систем управления могут быть использованы при разработке перспективных образцов беспилотных летательных аппаратов средней и большой продолжительности полета различного назначения.

Ключевые слова: бортовое радиоэлектронное оборудование, беспилотные летательные аппараты, информационные системы, компоненты бортового радиоэлектронного оборудования, методический подход.

1. Введение

Системообразующим ядром современных образцов БЛА большой продолжительности полета, определяющим эффективность их применения, являются комплексы бортового радиоэлектронного оборудования [1].

Как правило, проектирование БРЭО БЛА заключается в комбинировании различных сочетаний компонентов с последующей оценкой эффективности БЛА в целом. При этом процесс формирования (проектирования) комплексов БРЭО БЛА по-прежнему остается слабоформализованным без учета стоимости бортовых компонентов БРЭО, реализуемости и стоимости их системы информационного обеспечения. Как правило, это итерационный процесс, в котором в качестве исходного состава принимается некоторый базовый состав, наращиваемый дополнительными техническими средствами в зависимости от предъявляемых требований к БРЭО и выделяемых на создание образца БЛА финансовых ресурсов. В то же время требования ко всем этапам применения, а следовательно, и к компонентам БРЭО БЛА задаются точно и детально. Показатели стоимости как компонентов БРЭО, так и его информационного обеспечения также имеют четкий физический смысл. Данной информации вполне достаточно для математически строгого решения задачи формирования облика БРЭО конкретного комплекса БЛА с конкретизацией ее основных технических характеристик в зависимости от располагаемого варианта финансирования.

2. Состав и структура бортовых систем управления БЛА большой продолжительности полета

Основными факторами, определяющими структуру БРЭО БЛА, являются методы и измерительные системы получения информации о параметрах движения БЛА. В настоящее время наибольшее распространение получили следующие типы измерительных систем.

1. Системы, основанные на инерциальных методах измерения параметров движения и ориентации:

– платформенные и бесплатформенные инерциальные навигационные системы (ИНС, БИНС);

– инерциальные курсовертикали (ИКВ), курсовые системы (КС), гировертикали (ГВ), датчики угловых скоростей (ДУС).

2. Системы, основанные на астроизмерениях:

– астроинерциальные системы (АИНС), астрокорректоры (АК).

3. Системы, основанные на измерениях параметров геофизических полей:

– рельефометрические, оптико-электронные, радиолокационные корреляционно-экстремальные навигационные системы (КЭНС).

4. Радиолокационные и радиотехнические системы:

а) автономные:

– доплеровские измерители скорости и угла сноса (ДИСС);

– радиовысотомеры (РВ);

– радиолокационные станции (РЛС);

б) радиотехнические (неавтономные) навигационные системы:

– радиотехнические системы ближней и дальней радионавигации (РСБН, РСДН);

– аппаратура спутниковых радионавигационных систем (АСН);

– локальные радионавигационные системы наведения (ЛРНС) по наземным маркерам.

5. Аэротрические системы:

– системы воздушных сигналов (СВС), автономные измерители высоты и скорости, информационные комплексы высотно-скоростных параметров (ИК ВСП).

Функционирование бортовых систем управления БЛА невозможно без соответствующих систем информационного обеспечения (СИО), которое, в свою очередь, определяется ее структурой и составом. Так, для работы корреляционно-экстремальных навигационных систем необходимы эталонные изображения зон коррекций, района цели и объекта поражения, полей рельефа местности, гравитационного и магнитного полей Земли.

На рис. 1 представлена обобщенная структурно-функциональная схема бортовой системы управления (БСУ) БЛА.

С внедрением современной компьютерной техники задача создания бортового и наземного оборудования, обеспечивающего непосредственное применение БЛА, принципиально меняется, так как смысловой центр разработки смещается от чисто схемно-технических задач к математическому обеспечению. Поэтому дополнительно к приведенному выше составу системы управления необходимо добавить такой важнейший элемент, как программно-математическое и программно-алгоритмическое обеспечение (ПМО, ПАО).

3. Формализация требований к основным компонентам БРЭО БЛА большой продолжительности полета

Исходя из функционального назначения измерительных систем – компонентов БРЭО БЛА, сформулируем и сгруппируем основные требования к ним.

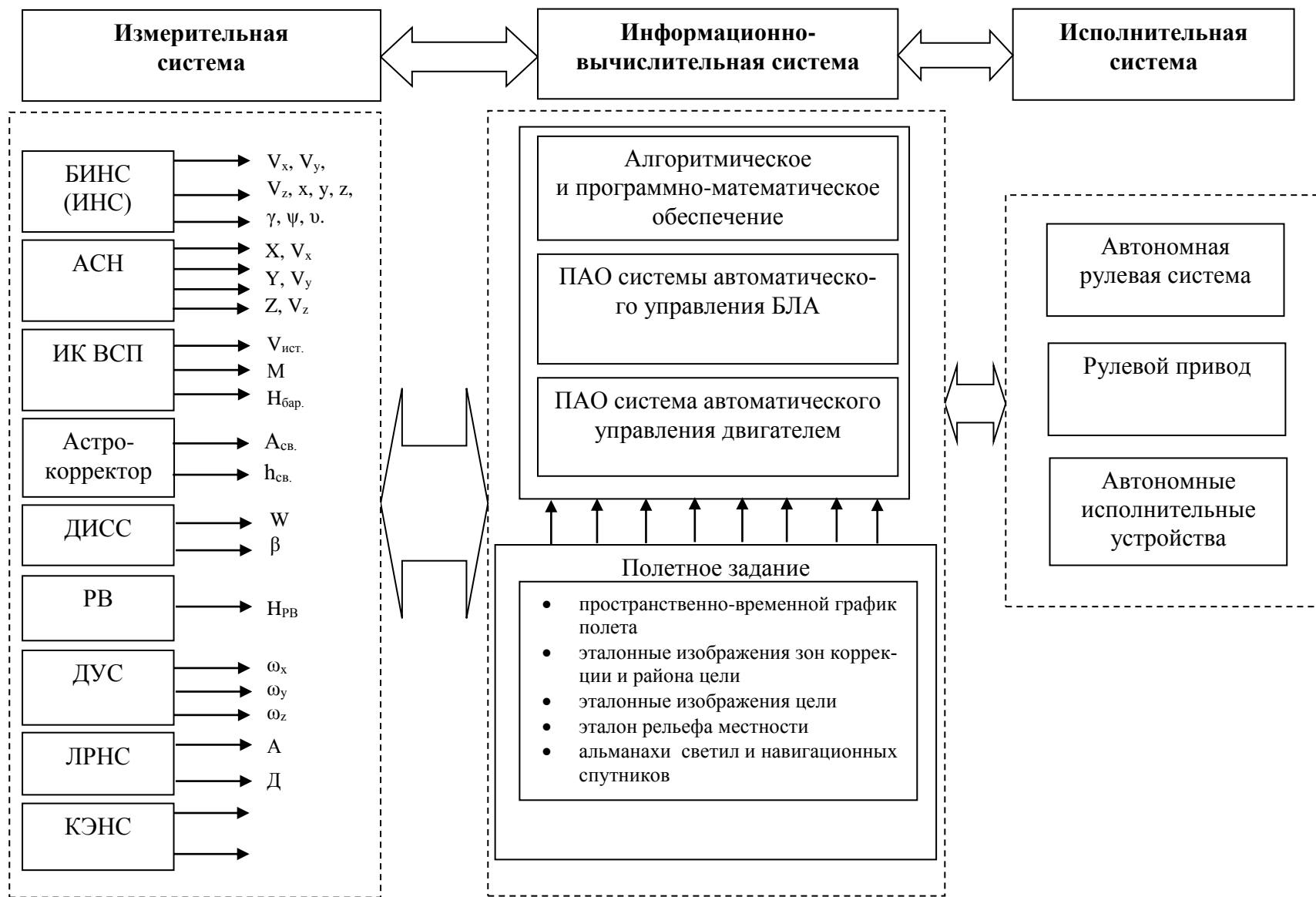


Рис. 1. Обобщенная структурно-функциональная схема БСУ БЛА

Для инерциальных навигационных систем, корректируемых различными устройствами, совокупность предъявляемых требований имеет наиболее представительный характер. Данные требования в рамках технических условий на разработанные системы или их составные части обычно приводятся в виде погрешностей определения и выдачи навигационной информации в рассматриваемом режиме (инерциальном, инерциально-спутниковом, астроинерциальном, астро-инерциально-спутниковом и др.). Сюда же отнесем точностные характеристики инерциальных систем в режиме коррекции от корреляционно-экстремальных навигационных систем, работающих по геофизическим полям, автономных измерителей выотно-скоростных параметров, аппаратуры спутниковой навигации и локальных радиотехнических систем.

Обозначим представленную совокупность характеристик в виде:

$$A_m = \{a_{m1}, a_{m2}, \dots, a_{mn}\}, \quad (1)$$

где n – размерность вектора навигационных параметров рассматриваемой инерциальной навигационной системы m ;

a_{mn} – значение погрешности определения параметра n инерциальной навигационной системы m .

Для системы информационного обеспечения техническими характеристиками могут являться, например: размер, расположение, дискрет (разрешение) эталонированных зон коррекции, ошибка дискретизации, ошибка картографирования, вид корреляционной функции:

$$S_k = \{s_{k1}, s_{k2}, \dots, s_{kl}\}, \quad (2)$$

где l – размерность вектора измерений системы информационного обеспечения k -комплекса БРЭО.

Не менее важным является учет фактора возможного снижения точности за счет характеристик средств аппаратного и информационного сопряжения БЛА с наземными средствами управления – $\Phi_{\text{наз}}$.

В условиях рыночной экономики особое значение приобретает стоимость проектируемой БСУ БЛА – C_p [6].

Таким образом, получено формализованное описание бортовой системы управления БЛА большой продолжительности полета:

$$G_i = \{A_m^i(a_{mn})_i, S_k^i(s_{kl})_i, C_i, \Phi_{\text{наз}}^i\}. \quad (3)$$

Полученное формализованное представление облика комплекса БРЭО позволяет перейти к рассмотрению методического подхода к формированию облика БРЭО перспективных образцов БЛА.

4. Методический подход к формированию облика комплексов БРЭО перспективных БЛА большой продолжительности полета

Чем вызвана необходимость разработки методического подхода для формирования перспективных комплексов БРЭО? Во введении мы уже отметили, что основным назначением методического аппарата является решение проблемы выбора оптимального (по критерию «эффективность – стоимость») сочетания компонентов и элементов БРЭО в формализованной постановке – на основе математического и имитационного моделирования. При этом потребность именно в методическом аппарате как некоей строго организованной последовательности вычислительных процедур, процедур выбора обуславливается

необходимостью многократного их применения. Это связано, в первую очередь, с изменением оперативного характера решаемых задач. Для БЛА большой продолжительности полета это означает изменение разведываемых объектов – их удаленности, географии расположения и, следовательно, местности, над которой будут проходить траектории полета БЛА, степени противодействия потенциального противника, в том числе защищенности и замаскированности разведываемых объектов. Вторая группа причин, обуславливающих актуальность разработки методического аппарата, – совершенствование технологий, закладываемых в перспективные образцы БЛА. Для БЛА большой продолжительности полета это технологии управления и наведения, навигационные технологии, технологии информационного обеспечения. При этом развитие беспилотной авиации будет неизбежно связано со стремлением снизить ее стоимость.

Ряд авторов считает, что при современном уровне развития технологий при наличии необходимого финансирования принципиально возможно построить комплекс БРЭО БЛА практически с любыми задаваемыми характеристиками [2]. По нашим представлениям, такой подход является не вполне корректным в силу следующих причин.

Во-первых, всегда будут существовать технические и технологические ограничения, особенно в такой сложной задаче, как управление высокоманевренным БЛА большой продолжительности полета [3].

Во-вторых, трудно представить постановку опытно-конструкторской работы с неограниченным финансированием.

В-третьих, в задаче проектирования БРЭО БЛА всегда выдвигаются определяющие требования – это требуемый уровень точности навигации при вскрытии типовых объектов: ошибка (3σ) не должна превышать T_1 (м) для высокоточного целеуказания и T_2 (м) – для прецизионного целеуказания.

Теперь задача формирования комплекса БРЭО БЛА может быть сведена к поиску соответствия вида:

$$T_{1,2} \leftrightarrow \left\{ A_m^i(a_{mn})_i, S_k^i(s_{kl})_i, \Pi_i, \Phi_{наз}^i \right\}. \quad (4)$$

Теоретическую основу для решения задач такого типа могут составить методы многокритериального выбора и упорядочения объектов [1]. В данном случае задачу упорядочения объектов сформулируем следующим образом:

$$Opt_{(P,I)} \left\{ A_m^i(a_{mn})_i, S_k^i(s_{kl})_i, \Pi_i, \Phi_{наз}^i, T_{1,2} \right\}, \quad (5)$$

где A_m^i, S_k^i – конечное множество элементов системы управления комплекса;

$\Pi_i, \Phi_{наз}^i, T_{1,2}$ – конечное множество критериев;

$(a_{mn})_i, (s_{kl})_i$ – количественные оценки i -го элемента системы управления;

P – бинарное отношение предпочтения;

I – бинарное отношение неразличимости.

Поскольку оценка эффективности синтезируемых вариантов комплексов БРЭО БЛА будет связана с математическим и имитационным моделированием, необходимо привести типовую схему применения БЛА большой продолжительности полета.

Безусловно, наиболее объективным решением будут результаты полунатурного моделирования применения БЛА так, как это в настоящее время осуществляется в корпорации SAIC (Science Application International Corporation), являющейся крупнейшей в мире научно-исследовательской организацией по оценке и реализуемости для выполнения конкретных задач новейших научных, технических и технологических решений. В корпорации был создан экспериментальный стенд-имитатор для проведения испытаний передовых навигацион-

ных технологий (Simulink Experimentation Testbed for Advanced Navigation Technology – SEXTANT) [7].

В стенде-имитаторе SEXTANT предусмотрены испытания различных типов навигационных датчиков и систем, программно-алгоритмического обеспечения с имитацией применения рассматриваемой совокупности оборудования в различных условиях, в том числе в городских условиях и закрытых помещениях. Стенд позволяет воспроизводить различные типы объектов (платформ), оснащаемых различными наборами навигационных измерителей, проводить отладку алгоритмов комплексной обработки информации (КОИ), решать вопросы интеграции навигационных измерителей (сенсоров). Стенд рассчитан на применение на всех этапах разработки проектов: при формировании требований, изучении рынка конкретных технологий, реализуемых в рамках проекта, формировании требований к ключевым характеристикам интегрированных систем, отладке соответствующих интерфейсов на основе имитации и использования в качестве программного стенда до появления (создания) аппаратных решений.

Вместе с тем для предварительного формирования облика комплекса БРЭО БЛА могут быть использованы достаточно простые математические и имитационные модели. При этом задача моделирования сводится к следующему алгоритму:

1) построение математической модели комплекса БРЭО БЛА в аспекте распределения результирующей точности навигации и наведения между компонентами, его составляющими [4, 5];

2) выбор и обоснование функциональных зависимостей точностных показателей компонентов БРЭО БЛА и требуемых экономических параметров для их разработки;

3) разработка алгоритма оптимального распределения точностных характеристик $\Delta R(A_m^i)$, $\Delta R(S_k^i)$ на результирующую точность навигации и наведения БРЭО БЛА.

Процесс применения БЛА большой продолжительности полета условно можно описать следующей взаимосвязанной последовательностью операций.

На первой фазе осуществляется планирование применения и подготовка полетного задания БЛА. Исходной информацией для подготовки полетного задания для БЛА являются предварительные разведданные о разведываемом объекте, цифровые модели и карты местности, модели фоноцелевой обстановки, зоны ПВО противника, массивы эталонной информации о целях, каталоги характеристик отражения объектов и местности для различных диапазонов длин волн, базы данных о метеорологической обстановке районов применения БЛА и другие данные. На основе данной информации формируется полетное задание для БЛА, задающее траекторию полета (с учетом обхода зон ПВО) и (для корреляционно-экстремальных систем наведения) комплекты эталонов.

На второй фазе осуществляется подготовка БЛА: ввод данных полетного задания в бортовой вычислитель, начальная подготовка и выставление параметров бортовой системы управления БЛА. Завершается вторая фаза пуском БЛА.

На третьей фазе комплекс БРЭО БЛА, обрабатывая текущую и запрограммированную информацию, решает задачи по построению траектории полета в заданный район и формированию с помощью вычислителя системы управления соответствующих воздействий – отклонению управляющих поверхностей для движения БЛА по расчетной траектории.

На четвертой фазе производятся прецизионные операции по проведению видео-, фото- и/или радиолокационной съемки объектов разведки и определению их положения относительно БЛА.

На пятой фазе БЛА возвращается на аэродром базирования по запрограммированной траектории.

Общая схема предлагаемого подхода выглядит следующим образом (рис. 2):

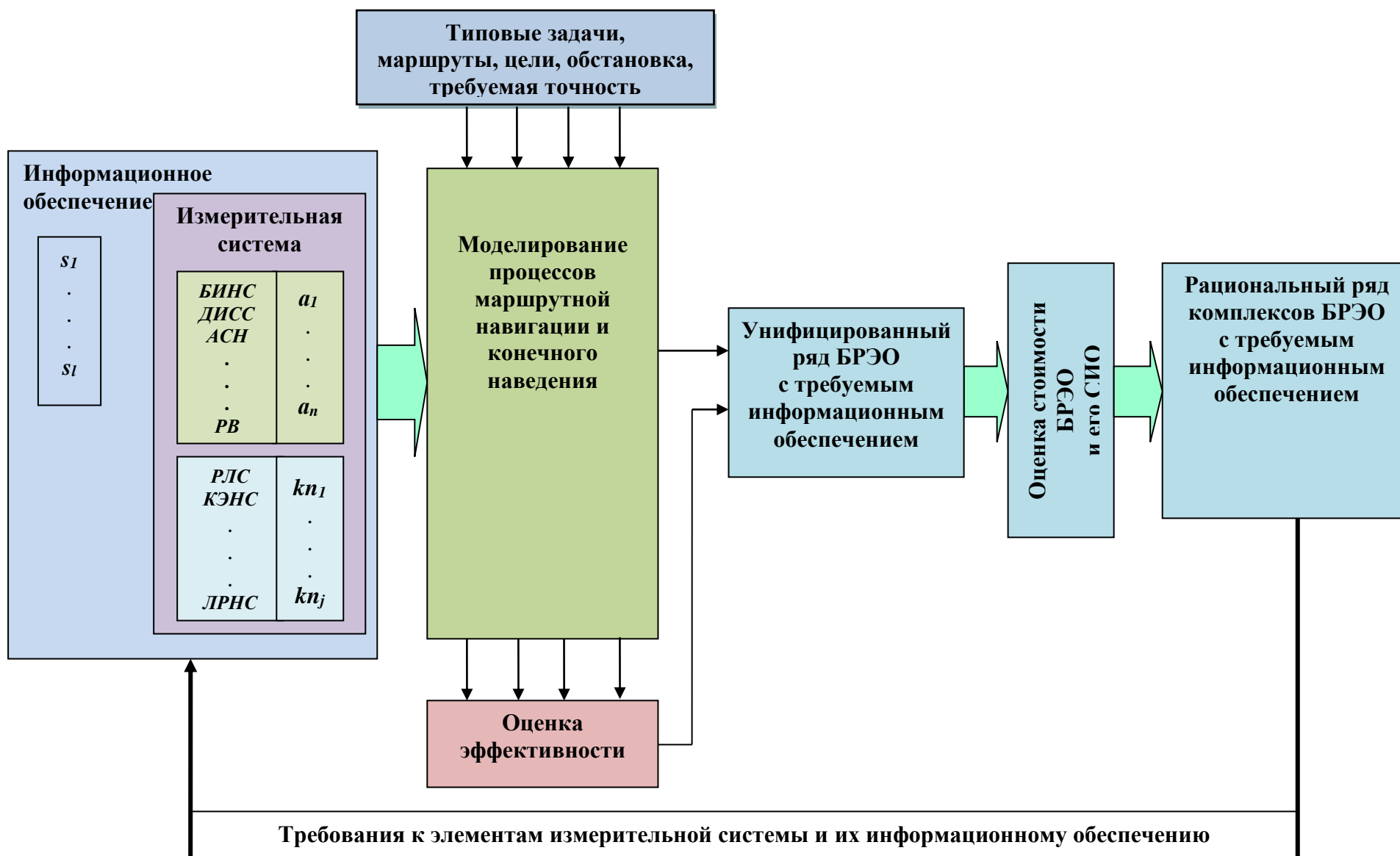


Рис. 2. Схематическое представление методического подхода к формированию облика комплекса БРЭО БЛА

1) имеется множество вариантов A_m^i, S_k^i построения комплекса БРЭО БЛА, каждый из которых оценивается совокупностью показателей, и имеется методический аппарат и моделирующий комплекс, позволяющие для набора типовых задач применения БЛА (удаленности до вскрываемого объекта, конфигурации траектории, информационного обеспечения каждого участка траектории, помеховой обстановки и выбранного варианта программно-алгоритмического обеспечения) оценить эффективность выполнения задачи в целом;

2) для каждого из сформированных вариантов построения системы управления выполняется моделирование применения комплекса БЛА, результатом которого является оценка эффективности выполнения задачи (разведки, наведения, целеуказания и т.д.);

3) полученные сочетания элементов системы управления разбиваются на две (три) группы в соответствии с обеспечиваемым уровнем эффективности;

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

Наличие в рассматриваемом методическом подходе обратной связи дает возможность варьирования входными данными (техническими характеристиками элементов БРЭО) и их информационным обеспечением, что обеспечивает гибкость и адаптивность процесса формирования (разработки) комплекса БРЭО и БЛА в целом.

5. Заключение

Таким образом, разработана формализованная постановка задачи формирования облика комплекса БРЭО перспективного БЛА большой продолжительности полета, включающая конечное множество элементов БРЭО БЛА, конечное множество критериев и количественные оценки i -го элемента комплекса БРЭО. Представлена типовая схема применения БЛА, являющаяся основой математического и имитационного моделирования, выполняемого в рамках разрабатываемого методического подхода. Разработан методический подход с замкнутой структурой, включающий формирование множества вариантов A_m^i, S_k^i построения комплекса БРЭО БЛА, моделирование применения каждого из вариантов комплексов БРЭО, результатом которого является оценка эффективности применения БЛА, группирование полученных сочетаний компонентов БРЭО в соответствии с обеспечиваемым уровнем точности (навигации, наведения, целеуказания), упорядочение сформированных вариантов (сочетаний элементов) системы по критерию стоимости для каждого уровня точности. Реализация в рассматриваемом методическом подходе обратной связи, обеспечивающей возможность варьирования входными данными (техническими характеристиками элементов БРЭО), обеспечивает гибкость и адаптивность процесса формирования (разработки) комплекса БРЭО и БЛА в целом.

Литература

1. Справочник по теории автоматического управления / под редакцией А. А. Красовского. М.: Наука, 1987. 712 с.
2. Основы устройства, проектирования, конструирования и производства летательных аппаратов / под редакцией И. С. Голубева и Ю. И. Янкевича. М.: Издательство МАИ, 2006. 528 с.
3. Платунов В. С. Методология системных военно-научных исследований авиационных комплексов. М.: Издательство «Дельта», 2005. 344 с.

4. *Липчин Л. Ц.* Проектирование сложных навигационных систем. М.: Машиностроение, 1976. 176 с.
5. *Гехер К.* Теория чувствительности и допусков электронных цепей. М.: Советское радио, 1973. 200 с.
6. *Буренок В. М., Косенко А. А., Лавринов Г. А.* Техническое оснащение Вооруженных Сил Российской Федерации: организационные, экономические и методологические аспекты. М.: Издательский дом «Граница», 2007. 728 с.
7. SEXTANT: a High-Fidelity Navigation Simulation Testbed/ Kevin M. Betts, Brandon K. DeKock, Donald L.Reed, Jason Gewehr, Derrick Bezanson. ION GNSS 21st International Technical Meeting of the Satellite Division, September 16-19, Savannah, Georgia, USA GA. 2008. V. 2. P. 769.

Статья поступила в редакцию 20.05.2016

Ильин Евгений Михайлович

д.ф.-м.н, ведущий аналитик инновационного технологического центра МГТУ им. Н. Э. Баумана (105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1), тел. (499) 263-68-46, e-mail: evgil45@mail.ru.

Брайткрайц Сергей Гарриевич

д.т.н., ведущий аналитик инновационного технологического центра МГТУ им. Н. Э. Баумана (105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1), тел. (499) 263-68-46, e-mail: braitkrait_e@mail.ru.

Евдокимов Владимир Александрович

к.т.н., ведущий научный сотрудник ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России (129327, Москва, Чукотский проезд, владение 10), тел. (495) 471-27-90, e-mail: evd_vl_a@mail.ru.

Полубехин Александр Иванович

к.т.н., руководитель инновационного технологического центра МГТУ им. Н. Э. Баумана (105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1), тел. (499) 263-68-46, e-mail: polub1980@mail.ru.

Methodical approach for synthesis of complex avionics of long-range UAV

Evgene M. Il'yin, Sergey G. Braytkrayts, Vladimir A. Evdokimov, Alexander I. Polubekhin

This article considers methodical approach for synthesis of complex avionics of long-range UAV. The suggested approach differs from traditional one by close loop link for formation requirements for new components of avionics of long-range UAV.

The principles of engineering will be useful for creation of perspective types of long-range and middle-range UAV.

Keywords: onboard avionics, unmanned air vehicle, information systems, components of onboard avionics, methodical approach.