

УДК 629.7.05

Д.В. Хахимов, С.К. Киселев, В.М. Кандаулов

## ОПТИМИЗАЦИЯ АРХИТЕКТУРЫ ФУНКЦИЙ КОМПЛЕКСОВ БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЛЬНОЙ МОДУЛЬНОЙ АВИАНИКИ

**Хахимов Дмитрий Валерьевич**, окончил факультет информационных систем и технологий, аспирантуру кафедры «Измерительно-вычислительные комплексы» Ульяновского государственного технического университета. Инженер комплексного отдела ООО «НПП «ЦРТС». Имеет статьи в области оценки безопасности авионики и оптимизации структуры комплексов бортового оборудования. [e-mail: sense151015@mail.ru].

**Киселев Сергей Константинович**, доктор технических наук, окончил Ульяновский политехнический институт по специальности «Авиаприборостроение», заведующий кафедрой «Измерительно-вычислительные комплексы» УлГТУ. Имеет монографии, статьи, патенты в области приборостроения. [e-mail: ksk@ulstu.ru].

**Кандаулов Валерий Михайлович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Измерительно-вычислительные комплексы» УлГТУ. Руководит малым инновационным предприятием «ИнтелСофт», является специалистом в области разработки САПР, аналитических информационных систем, имеет публикации по данным направлениям. [e-mail: kandaulov@aisgorod.ru].

### Аннотация

В статье рассматривается процесс проектирования комплекса бортового оборудования на базе интегральной модульной авионики. Для более полного раскрытия преимуществ новой архитектуры комплексов предложено выделить в отдельный этап процесс проектирования архитектуры функций изделия в виде дерева. Учитывая, что процесс проектирования комплекса тесно связан на всех этапах с процессом оценки его безопасности, показано, что проектирование архитектуры функций изделия должно быть промежуточным между анализом технического задания и анализом безопасности и процессом схемотехнического проектирования изделия. Это позволяет проводить первичную оценку уровня отказобезопасности изделия, формировать требования к применению методов повышения его надежности и отказобезопасности на ранних стадиях проектирования. Оптимизация архитектуры функций изделия также позволяет обосновать требования к аппаратному обеспечению комплекса.

Ключевые слова: комплекс бортового оборудования, интегральная модульная авионика, отказобезопасность изделия, оптимизация архитектуры функций.

## ARCHITECTURE OPTIMIZATION OF FUNCTIONS OF AIRBORNE EQUIPMENT COMPLEXES ON THE BASIS OF INTEGRAL MODULAR AVIONICS

**Dmitrii Valerevich Khakimov**, graduated from the Faculty of Information Systems and Technologies and finished his postgraduate studies at the Department of Measuring and Computing Systems at Ulyanovsk State Technical University; Engineer of the Complex Department of Scientific-Production Enterprise "Digital Radio Systems"; an author of articles in the field of avionics safety assessment and airborne hardware complexes structure optimization. e-mail: sense151015@mail.ru.

**Sergei Konstantinovich Kiselev**, Doctor of Engineering; graduated from Ulyanovsk Polytechnic Institute with a specialty in Aircraft Instruments Engineering; Professor and Head of the Department of Measuring and Computing Systems of Ulyanovsk State Technical University; an author of monographs, articles, and patents in the field of instrument engineering. e-mail: ksk@ulstu.ru.

**Valerii Mikhailovich Kandaulov**, Candidate of Engineering, Associate Professor at the Department of Measuring and Computing Systems at Ulyanovsk State Technical University; Head of "Intelsoft"; specializes in CAD and analytical information systems development; an author of articles in these fields. e-mail: kandaulov@aisgorod.ru.

## Abstract

The article deals with the process of designing of an airborne equipment complex based on integrated modular avionics. For a more complete disclosure of the advantages of the new architecture of the complexes, the authors propose to single out the process of designing the architecture of the product functions in the form of a tree in a separate stage. Taking into account that the design process of the complex is closely connected with the process of assessing its security at all stages, the article shows that the design of the product function architecture should be intermediate between technical analysis and safety analysis and the process of circuit design of the product. That allows to perform a primary assessment of the product fault safety level, formulate requirements for the application of methods in order to increase its reliability and fault safety at the early stages of design. Optimization of the architecture of the product functions also allows to justify the hardware requirements of the complex.

Key words: airborne equipment complex, integral modular avionics, product fault safety, optimization of functions architecture.

**ВВЕДЕНИЕ**

Комплексы бортового оборудования (КБО) современного летательного аппарата (ЛА) должны быть надежными, многофункциональными и при этом дешевыми по стоимости и в процессе эксплуатации. Обеспечение данных качеств авионики является прямой задачей проектирования.

Еще недавно основой проектирования КБО была федеративная архитектура [1], и существующий процесс проектирования максимально оптимизирован для решения задач авионики данного типа. В настоящее время на смену федеративной архитектуре приходит интегральная модульная авионика (ИМА). Принципы ее построения позволяют в значительной степени улучшить основные свойства комплексов.

Однако в настоящее время реализация преимуществ ИМА в полной мере является достаточно сложной задачей. Одна из основных проблем – реализация принципа независимости программного и аппаратного обеспечения (ПО и АО), для чего в существующем процессе проектирования отсутствуют необходимые процедуры, методы и инструменты.

Для решения возникших при проектировании КБО ИМА проблем требуется модернизировать существующий процесс проектирования с целью его оптимизации для решения возникающих задач. Для этого необходимо провести его анализ, выявить основные недостатки при проектировании ИМА и предложить пути улучшения.

**АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ, ВЫЯВЛЕНИЕ НЕДОСТАТКОВ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЗАДАЧЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КБО ИМА**

Современный процесс проектирования авионики производится в соответствии с требованиями руководств Р4761 и Р4754, которые были введены в действие с 1 января 2011 года директивным письмом АР МАК № 05 2010. В этих руководствах представлена «V»-образная модель процесса проектирования авионики [2, 3] (рис. 1).

В соответствии с ней проектирование КБО является сложным итерационным процессом последовательного характера, который тесно связан с процессом оценки безопасности. Весь процесс разделен на этапы и уровни.

Этапы проектирования указаны в модели общими формулировками и не противоречат ГОСТ 34.601-90 [4]. На его основе применительно к проектированию КБО можно выделить несколько этапов проектирования:

1. Формирование требований к КБО;
2. Разработка концепции проектирования;
3. Формирование технического задания (ТЗ);
4. Эскизное проектирование изделия;
5. Техническое проектирование изделия;
6. Формирование рабочей документации;
7. Ввод в действие, в том числе подготовка и проведение испытаний КБО;
8. Гарантийное сопровождение и послегарантийное обслуживание.

Каждый этап заканчивается формированием документации с фиксацией результатов проделанной работы. Переход от одного этапа к другому осуществляется по итогам оценки проделанной работы и принятия решений о проведении следующего.

Между уровнями проектирования существуют жесткие иерархические связи. Это обеспечивает единство концепций проектирования модулей в рамках системы, систем в рамках КБО. Связи между уровнями выстраиваются при помощи документов, содержащих требования. Требования к любой составной части изделия формируются сочетанием требований верхнего уровня и частных требований.

Все требования можно разделить на два основных вида: технические требования и требования безопасности. Технические требования определяют основные технические характеристики, такие как функции, конструктивное исполнение, дизайн изделия, прочность и т. д. Требования безопасности закрепляют определенные характеристики надежности изделия, формируют перечень мер и процедур для обеспечения и гарантии безопасности проектирования и последующей эксплуатации.

Модель, представленная в Р4754 и Р476, является совмещенной моделью процессов проектирования и оценки безопасности. Из нее видно, что существующий процесс проектирования тесно связан с процессом оценки безопасности. Это является результатом реализации концепции сквозного проектирования авионики [5].

Процесс проектирования, сформированный по такой модели, позволяет разрабатывать АО как федератив-

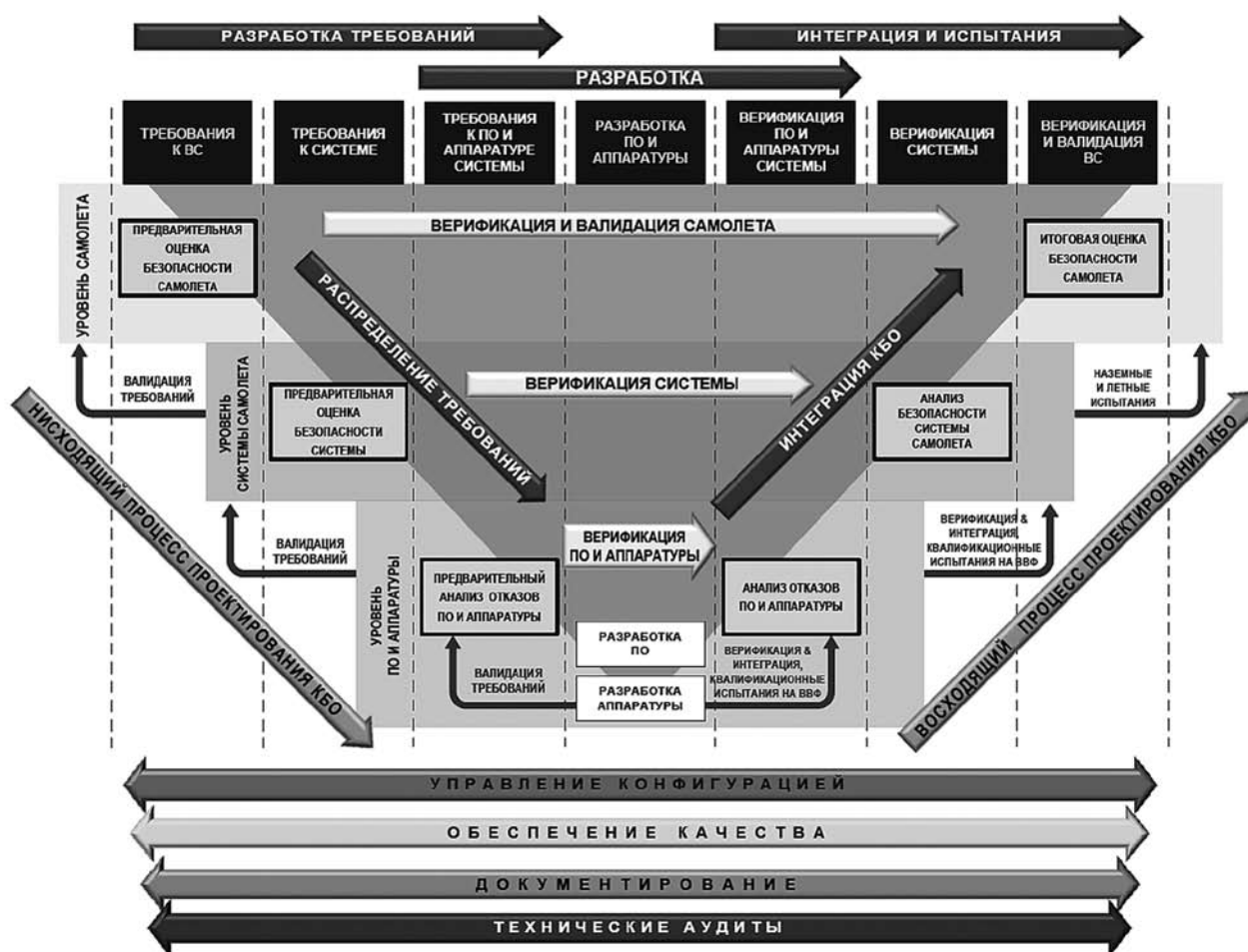


Рис. 1. Модель процесса проектирования авионики в соответствии с руководствами R4754 и R4761

ных КБО, так и ИМА. Однако создание КБО ИМА является более сложным в части проектирования архитектуры функций (ПАФ) и, следовательно, ПО. При проектировании федеративных КБО архитектура функций формируется из принципов системно-ориентированного проектирования. Для проектирования ИМА такой метод построения архитектуры неприемлем ввиду того, что аппаратной единицы «система» как таковой в архитектуре комплексов ИМА нет.

Таким образом, переход от проектирования федеративных КБО к КБО ИМА приводит к усложнению задачи ПАФ. В рамках проектирования федеративных комплексов данная задача успешно решается методом постепенной модернизации, наследования проектных решений и опыта разработок прошлых лет. Это эволюционный метод построения архитектуры функций. Основным преимуществом данного метода является снижение трудозатрат на ПАФ и сохранение высокого уровня отказобезопасности.

В настоящее время данная методика применяется и в отношении КБО ИМА, так как выполнение ПАФ под каждый конкретный КБО является задачей высокой сложности и трудоемкости, а также сопровождается большой вероятностью ошибки выполнения ПАФ вручную. Естественным образом все это приводит к тому, что ар-

хитектура функций КБО ИМА в подавляющем большинстве случаев является фактически копией архитектуры функций федеративных комплексов. Но это упрощение процесса ПАФ не позволяет в полной мере реализовать преимущества ИМА, часть из них нивелируется.

Для решения задачи ПАФ КБО ИМА на сегодняшний день существует несколько различных методик и алгоритмов. Одной из методик является «процесс проектирования архитектуры функций на основе дерева функций изделия» [6]. Основными преимуществами применения данной методики являются:

1. Методика основана на базе точных алгоритмов, что позволяет получить определенный вариант оптимизированной архитектуры функций даже при проектировании изделия впервые;
2. Для начала проведения процесса оптимизации требуется сравнительно небольшое количество исходных данных;
3. Методика универсальна в отношении типа архитектуры комплекса и применима для задачи проектирования федеративного комплекса, ИМА и комплексов смешанной архитектуры.

Таким образом, данная методика является предпочтительной для применения и внедрения в процесс проектирования КБО.

**ВКЛЮЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ПАФ В ОБЩИЙ ПРОЦЕСС ПРОЕКТИРОВАНИЯ КБО**

Процесс ПАФ на основе дерева функций изделия описан в [6, 7].

Анализ данных, необходимых для реализации процесса ПАФ, и данных, получаемых по итогам его работы, показывает, что данный процесс выполняется в рамках эскизного этапа проектирования. Общая модель процесса ПАФ типа «черный ящик» представлена на рисунке 2.

Ввиду того, что на рисунке 1 представлена общая модель всего процесса проектирования, интегрированного с процессом оценки безопасности (ОБ), необходимо рассмотреть отдельно модель процесса эскизного проектирования (рис. 3) и модель процесса ОБ (рисунки 4 и 5), которые построены на основе руководств Р4761, Р4754, с учетом требований стандартов РФ.



Рис. 2. Модель процесса ПАФ типа «черный ящик»

На рисунках 3, 4 и 5 использованы следующие сокращения:

- КД – конструкторская документация;
- FHA (Functional Hazard Assessment) – оценка функциональных опасностей;
- PASA (Preliminary Aircraft Safety Assessment) – предварительная ОБ воздушного судна (ВС);
- CCA (Common Cause Analysis) – анализ общих причин отказов;
- PSSA (Preliminary System Safety Assessment) – предварительная ОБ системы;
- SSA (System Safety Assessment) – ОБ системы (результатирующая);
- FTA (Fault Tree Analysis) – анализ «дерева отказов»;
- FMEA/FMES (Failure Mode and Effect Analysis/ Failure Mode and Effect Summary) – анализ видов и последствий отказов / сводка видов и последствий отказов;
- CMA (Common Modes Analysis) – анализ общих режимов;
- ASA (Aircraft Safety Assessment) – ОБ ВС (результатирующая).

Для определения взаимодействия процесса ОБ с процессом ПАФ проведем его анализ.

Как видно из моделей на рисунках 4 и 5, исходными данными для процесса ОБ являются данные ТЗ. На основе этих данных происходит формирование требований безопасности к изделию. Процесс ОБ разделен на две части:

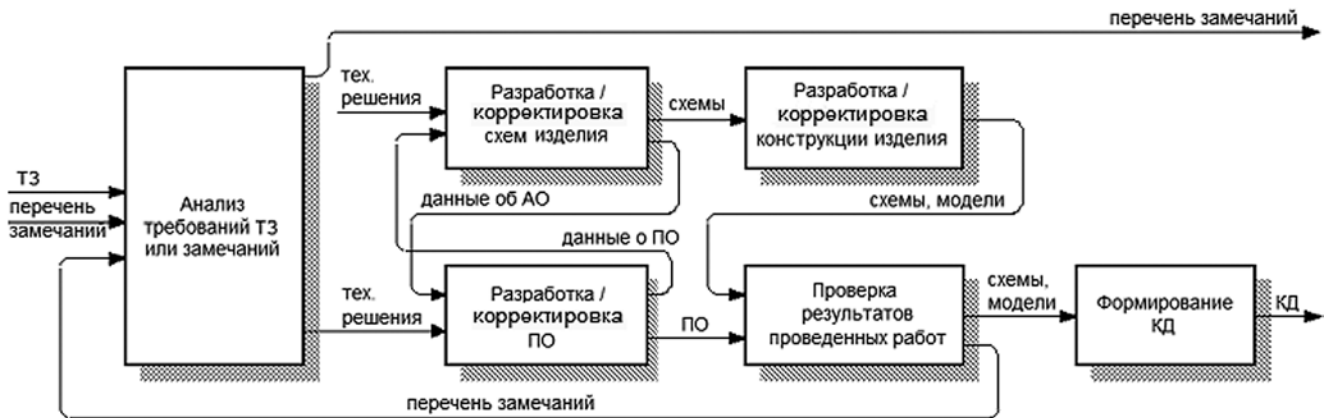


Рис. 3. Модель этапа эскизного проектирования изделия

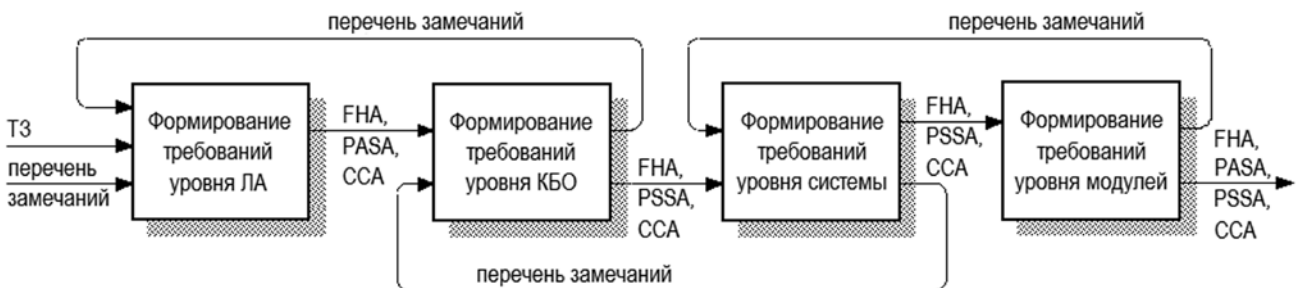


Рис. 4. Модель этапа формирования требований процесса ОБ

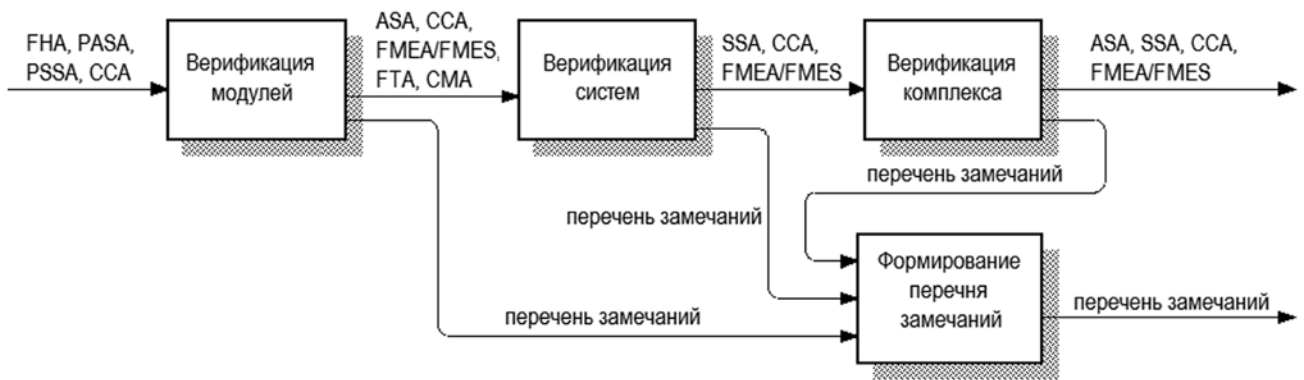


Рис. 5. Модель этапа верификации процесса ОБ

1. Формирование требований безопасности (рис. 4);

2. Проверка соответствия фактических параметров изделия заданным требованиям (рис. 5).

Процесс формирования требований фактически состоит в разработке документа FHA. Данный документ содержит следующую информацию:

1. Перечень функций изделия;
2. Фазы эксплуатации изделия;
3. Классификация отказных состояний функций изделия;
4. Уровни критичности отказных состояний функций изделия;
5. Классификация воздействий отказных состояний функция изделия на ЛА, экипаж и пассажиров;
6. Уровень гарантии проектирования (УГП) функций изделия;
7. Требования к проведению или непроведению анализа PSSA;
8. Метод верификации.

Перечень функций изделия в FHA расширен за счет включения в него некоторых производных функций, например, таких как межсистемный обмен данными.

Как указано выше, в FHA содержится еще и перечень фаз эксплуатации изделия. Как правило, эти фазы являются фазами полета ВС. Указание фаз эксплуатации является обязательным, так как дальнейшие процессы ОБ рассматриваются в привязке к определенной эксплуатационной фазе. То, в каких фазах полета используется та или иная функция изделия, будет определять степень критичности ее отказа.

Также в рамках FHA производится классификация отказных состояний функций.

Причем отказные состояния функции могут иметь несколько уровней критичности отказа, в зависимости от фазы эксплуатации. Таким образом, происходит процесс классификации отказных состояний функции.

После завершения процесса классификации и описания последствий отказных состояний производится классификации функций по УГП по правилам, определенным в Р4761.

К FHA прилагается FTA. FTA прорисовывается по нисходящему принципу на основе классификации отказных состояний функций устройства.

Дальнейший процесс ОБ производится после того, как завершается этап эскизного проектирования изделия. При необходимости производится процесс анализа ОБ спроектированной архитектуры, формируется PSSA, в которой продолжается работа с функциями изделия.

Исходными для формирования PSSA данными являются все доступные на текущий момент данные об архитектуре устройства и его функциях.

В рамках PSSA производится:

1. расширение перечня функций изделия;
2. дополнение и корректировка перечня требований к безопасности;
3. изучение отказных состояний на основе:
  - анализа FTA;
  - идентификации всех требований к независимости отказов;
4. формирование дополнительных требований к повышению отказобезопасности ряда функций;
5. формирование требований к проведению CCA.

Для изделий сложной конфигурации и изделий нижнего уровня может быть выдвинуто требование к проведению дополнительного анализа – анализа общих причин отказов и оформления отчета CCA.

Так как целью CCA является обнаружение причинно-следственных связей между различными отказными состояниями функций, то для его проведения также используется информация об архитектуре функций. При этом, так как наличие причинно-следственных связей между различными отказными состояниями функций неприемлемо, то на этом этапе в архитектуру функций также могут быть внесены коррективы.

Документы FHA, PSSA и CCA разрабатываются для каждого из уровней проектирования. Применительно к КБО формируется два уровня документации FHA – уровня систем и уровня модулей, а FHA уровня КБО разработчику предоставляет заказчик – разработчик ВС. Документы PSSA и CCA разрабатываются для уровней КБО, системы и модулей в полном объеме.

На завершающем этапе процесса ОБ КБО формируются документы SSA и CCA уровня комплекса, которые также содержат информацию о функциях и их архитектуре. Так итоговая SSA содержит в себе следующую информацию:

1. Классификацию отказных состояний функций, утвержденную на этапе формирования требований;
2. Классификацию УГП функций, утвержденную на этапе формирования требований;
3. Расчетные значения УГП функций;
4. Описание изделия;
5. Качественный и количественный анализы отказных состояний, представленные в качестве FTA (или иным способом);
6. Задачи обеспечения безопасности и интервалы времени технического обслуживания;
7. Результаты испытаний и демонстраций, описание инспекционных действий по проверке реализации требований безопасности.

По итогам анализа процесса ОБ можно сделать следующие выводы:

1. Процесс ПАФ должен учитывать данные FNA в качестве исходных данных;
2. Процесс ПАФ должен учитывать данные об УГП в качестве основного критерия при проектировании и оптимизации архитектуры функций комплекса.

Кроме того, результаты анализа процесса ОБ показывают, что:

- Роль процесса ОБ при проектировании КБО крайне высока. Заданные требования безопасности, предъявляемые к функциям комплекса, являются определяющими. Ввиду этого, можно утверждать, что УГП функций является одним из важнейших критериев в ходе процесса проектирования. Исходя из этого следует, что УГП функций должен быть учтен с высоким приоритетом в ходе процесса ПАФ;
- Формирование FNA производится до начала этапа эскизного проектирования изделия, вследствие чего

FNA является одним из исходных документов для процесса ПАФ;

- Любые изменения архитектуры КБО приводят к необходимости повтора процесса ПАФ и процесса ОБ.

Таким образом, в ходе проектирования разработчик имеет данные о результатах процесса ОБ, полученные после каждой итерации. Так как эти изменения приводят к необходимости повторного процесса ПАФ, то результат процесса ОБ может быть использован как косвенный показатель качества архитектуры функций.

Анализа моделей, представленных на рисунках 1–5, позволяет определить место процесса ПАФ в процессе проектирования КБО – он должен быть промежуточным между процессами анализа ТЗ и анализа безопасности и процессом схмотехнического проектирования изделия (рис. 6).

В сравнении с типовым вариантом процесса проектирования, когда построение архитектуры функций выполняется в ходе формирования схем изделия, в данной модели процесс ПАФ представлен как обособленный.

### ОПТИМИЗАЦИЯ АРХИТЕКТУРЫ ФУНКЦИЙ

Обособление процесса ПАФ позволяет решать эту задачу как оптимизационную.

В общем случае большей оптимальностью будет обладать архитектура, для которой минимальна целевая функция:

$$F: (n, m, K_{AO}) \rightarrow \min,$$

где  $n$  – количество вычислительных модулей в структуре КБО (может быть равно количеству групп функций в архитектуре);

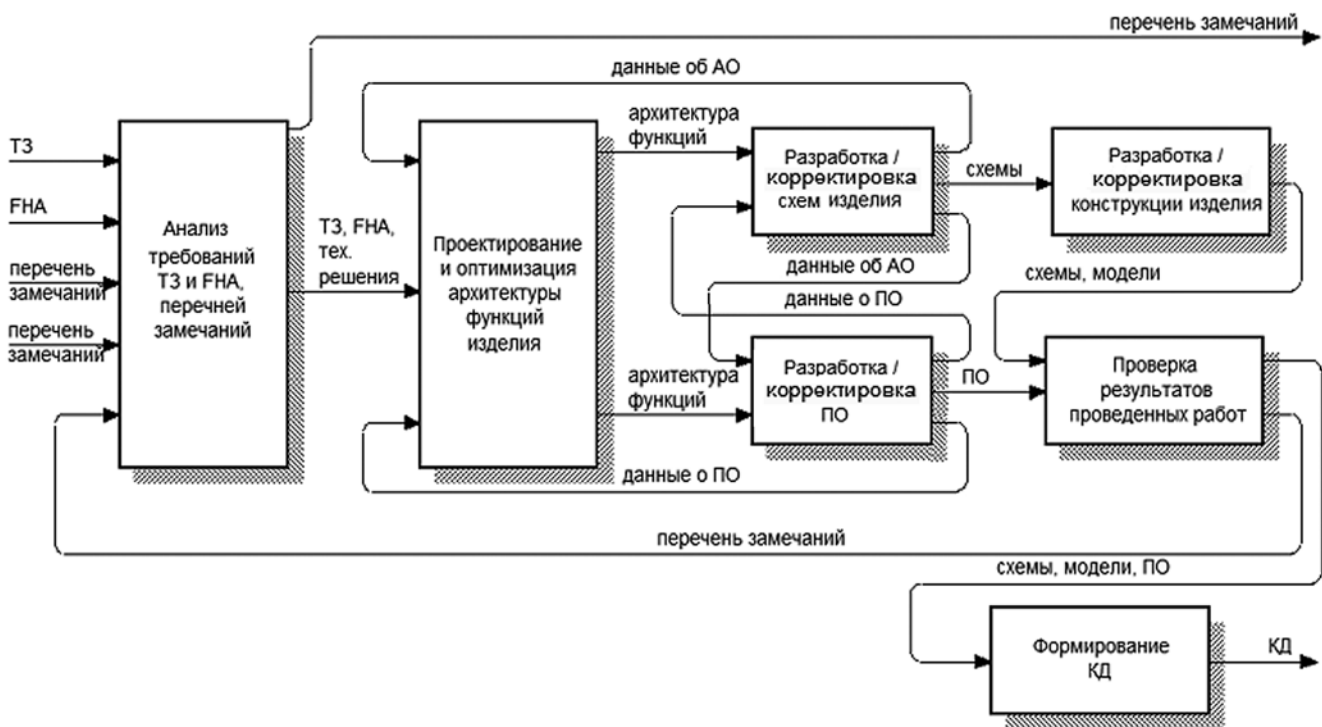


Рис. 6. Модель процесса проектирования авионики, интегрированная с моделью процесса ПАФ

$m$  – количество параметров, передаваемых между группами функций;

$K_{AO}$  – общая производительность вычислительных модулей (ВМ) в КБО.

Так как архитектура функций является сложной системой, оцениваемой по нескольким характеристикам, то целевая функция может быть, например, суммой указанных параметров, нормированных соответствующими коэффициентами, величина которых определяет приоритетность того или иного параметра. Так, с точки зрения реализации ПО, наиболее эффективной будет система с высоким  $K_{AO}$ . С точки зрения производителя – с наименьшим показателем  $n$  и дешевыми комплектующими. С точки зрения сложности интеграции, нагрузки на сеть передачи данных между модулями и надежности – с минимальным значением  $m$ .

При оптимизации производительность вычислительных ресурсов, требуемая для реализации определенного варианта архитектуры функций должна быть меньше общей производительности вычислительных модулей в КБО:  $Ks \leq K_{AO}$ .

Учитывая однотипность ВМ, используемых в рамках концепции ИМА, общая производительность ВМ в КБО равна:

$$K_{AO} = n k_{BM}$$

где  $k_{BM}$  – вычислительная производительность типового модуля.

В случае необходимости резервирования  $z$  из  $n$  ВМ, выполняющих критические функции,  $K_{AO}$  увеличивается:

$$K_{AO} = (n+z) k_{BM}$$

Идеальным случаем оптимизации структуры функций можно считать выполнение условия  $Ks = K_{AO}$ , но в силу того, что концепция ИМА предполагает использование унифицированных, однотипных ВМ, вероятность выполнения этого маловероятна. Еще одним из показателей качества оптимизации может служить разница между  $Ks$  и  $K_{AO}$ .

Сложность рассматриваемой задачи оптимизации архитектуры функций обуславливается наличием иерархических связей между группами функций, которые должны быть учтены. Известные алгоритмы, как правило, позволяют оптимизировать состав каждой из групп функций, но оптимизация каждой группы функций в отдельности не означает достижения оптимальности архитектуры в целом.

В случае оптимизации иерархических сложных систем применяются методы композиционного проектирования, системно-структурного и системно-функционального подходов, основанные на выделении уровней (комплекс, система, модуль) и проведении оптимизации в рамках каждого отдельного уровня. Однако при этом общая эффективность оптимизации в целом снижается в результате того, что при переходе от нижнего уровня к иерархически более высокому уровню возможность изменения структуры нижнего уровня

становится невозможной. Для КБО даже частичная потеря оптимальности нежелательна, т. к. реализуются критические функции, а доступные на борту ресурсы жестко ограничены. Поэтому важно провести именно глобальную оптимизацию архитектуры функций, что и реализуется использованием упомянутых выше методик и алгоритмов реализации процесса ПАФ на основе дерева функций изделия [6] с оцениванием получаемых архитектур целевой функцией. При этом можно провести либо многокритериальную оптимизацию по нескольким характеристикам, либо оптимизацию по какой-либо частной характеристике, если она в процессе проектирования КБО признается преобладающей.

Необходимо также учесть, что сложность и множественность возможных вариантов архитектуры функций КБО ИМА, большое количество реализуемых функций, неоднократное изменение архитектуры при оптимизации, проектировании и ОБ требуют автоматизации данного процесса.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Процесс проектирования, сформированный в соответствии с моделью, представленной на рисунке 6, позволяет решить задачи, возникающие при проектировании КБО ИМА, в частности первичную оценку уровня отказобезопасности в соответствии с «Руководством Р-4761 по методам оценки безопасности систем и бортового оборудования воздушных судов гражданской авиации» и «Руководством Р-4754 по сертификации сложных бортовых систем воздушных судов гражданской авиации» провести еще до завершения процессов эскизного проектирования. Это позволяет сформировать требования к применению методов повышения надежности и отказобезопасности выполнения функций на ранних стадиях проектирования и дальнейшую разработку КБО производить с учетом данных требований. Выделение и обособление процесса ПАФ из общего процесса проектирования КБО позволяет также решать данную задачу как оптимизационную. При этом внедрение процесса ПАФ не приводит к ухудшению адаптивности процесса проектирования относительно федеративных КБО. Таким образом, можно сделать вывод о том, что внедрение процесса ПАФ в процесс проектирования является целесообразным и эффективным.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Роль и место бортового оборудования воздушных судов на современном этапе развития авиации. – URL: <http://www.modern-avionics.ru/analytics/2014/modern-role-of-avionics-aircraft/part-1/#> (дата обращения: 21.12.2016).
2. Руководство 4761 по методам оценки безопасности систем и бортового оборудования воздушных судов гражданской авиации. – М. : ОАО «Авиаиздат», 2010. – 264 с.
3. Руководство 4754 по процессам сертификации высокоинтегрированных сложных бортовых систем воз-

душных судов гражданской авиации. – М. : ОАО «Авиаиздат», 2010. – 76 с.

4. ГОСТ 34.601-90. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Стадии создания. – М. : Стандартинформ, 2009. – 7 с.

5. Сквозная технология проектирования комплексов бортового оборудования перспективных воздушных судов / В.В. Галушкин, Д.И. Катков, В.В. Косьянчук, Н.И. Сельвесюк // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2012. – № 3 (128). – С. 201–209.

6. Хахимов Д.В., Киселев С.К. Оптимизация структуры комплексов бортового оборудования летательных аппаратов на основе оптимизации функциональной структуры на ранних стадиях проектирования // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2016. – № 2, т. 12. – С. 65–69.

7. Хахимов Д.В., Киселев С.К. Оптимизация функциональной структуры комплексов бортового оборудования летательных аппаратов // Автоматизация процессов управления. – 2016. – № 2 (44). – С. 87–92.

#### REFERENCES

1. *Rol i mesto bortovogo oborudovaniia vozdukhnykh sudov na sovremennom etape razvitiia aviatsii* [The Role and Place of Airborne Equipment at the Modern Stage of Aviation Progress]. Available at: <http://www.modern-avionics.ru/analytics/2014/modern-role-of-avionics-aircraft/part-1/#> (accessed: 21.12.2016).

2. *Rukovodstvo 4761 po metodam otsenki bezopasnosti sistem i bortovogo oborudovaniia vozdukhnykh sudov grazhdanskoi aviatsii* [Guidance 4761. Methods for Conducting the Safety Assessment on Airborne Systems and Equipment]. Moscow, OAO Aviaizdat Publ., 2010. 264 p.

3. *Rukovodstvo 4754 po protsessam sertifikatsii vysokointegrirovannykh slozhnykh bortovykh sistem vozdukhnykh sudov grazhdanskoi aviatsii* [Recommended Practices on Certification Processes for Highly Integrated Complex Civil Airborne Systems]. Moscow, Aviaizdat OJSC Publ., 2010. 76 p.

4. *GOST 34.601-90. Informatsionnaia tekhnologiia. Kompleks standartov na avtomatizirovannye sistemy. Avtomatizirovannye sistemy. Stadii sozdaniia* [GOST 34.601-90. Information Technology. Set of Standards for Automated Systems. Automated Systems. Stages of Development]. Moscow, Standartinform Publ., 2009. 7 p.

5. Galushkin V.V., Katkov D.I., Kosianchuk V.V., Selvesiuk N.I. Skvoznaia tekhnologiia proektirovaniia kompleksov bortovogo oborudovaniia perspektivnykh vozdukhnykh sudov [True Design Technology of Avionics of Perspective Aircraft]. *Izvestiia luzhnogo federalnogo universiteta. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU Engineering Sciences], 2012, no. 3 (128), pp. 201–209.

6. Khakimov D.V., Kiselev S.K. Optimizatsiia struktury kompleksov bortovogo oborudovaniia letatelnykh apparatov na osnove optimizatsii funktsionalnoi struktury na rannikh stadiakh proektirovaniia [Structure Optimization the Onboard Equipment of the Aircraft Based on the Optimization of the Functional Structure Early in the Design]. *Elektrotekhnicheskie i informatsionnye kompleksy i sistemy* [Electrical and Data Processing Facilities and Systems], 2016, no. 2, vol. 12, pp. 65–69.

7. Khakimov D.V., Kiselev S.K. Optimizatsiia funktsionalnoi struktury kompleksov bortovogo oborudovaniia letatelnykh apparatov [Optimization of the Functional Structure of Airborne Hardware Complexes]. *Avtomatizatsiia protsessov upravleniia* [Automation of Control Processes], 2016, no. 2 (44), pp. 87–92.