

Герасимов Владимир Александрович – Институт проблем морских технологий Дальневосточного отделения Российской Академии наук, г. Владивосток; e-mail: gerasimov@marine.febras.ru; 690091, г. Владивосток, ул. Суханова, 5а; тел.: 89025223824; к.т.н.; профессор; зав. лабораторией 07.

Филоженко Алексей Юрьевич – e-mail: filozhenko_a@mail.ru; тел.: +79140678041; к.т.н.; зав. лабораторией 07.

Чепурин Павел Игоревич – e-mail: chepurinp@mail.ru; тел.: +79024885899; к.т.н., зав. лабораторией 07.

Gerasimov Vladimir Aleksandrovich – Institute of Marine Technology Problems of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences; e-mail: gerasimov@marine.febras.ru; 5a, Suhanova street, Vladivostok, 690091, Russia; phone: +79025223824; cand. of eng. sc.; professor; managing laboratory 07.

Filozhenko Aleksey Jurievich – e-mail: filozhenko_a@mail.ru; phone: +79140678041; cand. of eng. sc.; managing laboratory 07.

Chepurin Pavel Igorevich – e-mail: chepurinp@mail.ru; phone: +79024885899; cand. of eng. sc.; managing laboratory 07.

УДК 629.7.01

Г.А. Чуянов, В.В. Косьянчук, Н.И. Сельвесюк

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КОМПЛЕКСОВ БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА БАЗЕ ИНТЕГРИРОВАННОЙ МОДУЛЬНОЙ АВИОНИКИ

Рассмотрены перспективные направления развития комплексов бортового оборудования, построенных на принципах интегрированной модульной авионики. Проанализированы особенности сетевой отказоустойчивой архитектуры и интерфейсов комплекса, возможности унификации и модернизации компонентов ИМА, описаны новые функциональные возможности, принципы обеспечения надежности и отказобезопасности комплекса, рассмотрены возможности реализации новационных самолетных систем на базе ИМА, современные технологии проектирования, обеспечивающие автоматизацию проектирования программного обеспечения и аппаратуры, а также поддерживающие процессную сертификацию бортового оборудования. Также проанализированы возможности развития высокоинтегрированных бортовых систем и общесамолетного оборудования.

Комплекс бортового оборудования, интегрированная модульная авионика; сетевая архитектура; функциональное программное обеспечение.

G.A. Chuyanov, V.V. Kosyanchuk, N.I. Selvesyuk

PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF COMPLEX ONBOARD EQUIPMENT ON THE BASIS OF INTEGRATED MODULAR AVIONICS

The article describes the perspectives for the development of on-board complex equipment, based on the principles of integrated modular avionics. The features of a fault-tolerant network architecture and interfaces of the on-board equipment, the possibility of unification and modernization IMA components, describes the new functionality, the principles of reliability and fail-safe provided for on-board equipment, consider implementing a novation of aircraft systems based on the IMA, modern design technology, providing design automation software and hardware, and support of process certification of on-board equipment. Assess the possible development of highly integrated aircraft systems and vehicle equipment.

Complex onboard equipment, integrated modular avionics, network architecture; functional software.

Введение. Облик авионики будущего связан с общемировой тенденцией развития комплексов бортового оборудования, основанной на глубокой интеграции систем и обобщении ресурсов программного и аппаратного обеспечения. С одной стороны, наблюдаются возрастающие потребности в наращивании функциональности оборудования с одновременным стремлением к снижению его стоимости и уменьшению эксплуатационных расходов. С другой стороны, существующий и прогнозируемый уровни развития технологий и элементной базы позволяют осуществлять более глубокую интеграцию на аппаратном и алгоритмическом уровнях.

В этой связи можно выделить следующие концептуальные направления совершенствования комплексов бортового оборудования (КБО) на базе интегрированной модульной авионики (ИМА):

- ◆ создание унифицированного ряда открытых отказоустойчивых адаптируемых сетевых архитектур КБО на базе масштабируемой ИМА с применением перспективных интерфейсов (Ethernet, Fibre Channel, Wi-Fi, SpaceWire) в ИМА-платформе между функциями, датчиками и исполнительными элементами, обеспечивающих эффективное построение динамических структур с сетевой организацией;
- ◆ дальнейшая унификация модулей и компонентов с целью снижения номенклатуры и сроков разработки КБО, массогабаритных характеристик, повышения производительности элементной базы, надежности и отказоустойчивости;
- ◆ разработка новационных общесамолетных систем со встроенными удаленными концентраторами;
- ◆ разработка multifunctionальной, полностью интегрированной программно-настраиваемой единой радиосистемы IMA/SDR/CNS;
- ◆ внедрение эффективных средств встроенного контроля с целью повышения уровня отказоустойчивости, ремонтпригодности, технического обслуживания;
- ◆ разработка новых функций КБО и функциональности кабины пилотов с целью повышения безопасности и экономической эффективности полетов.

Реализация указанных тенденций и направлений развития авионики, перспективных методов управления ЛА требует развития указанных составляющих, обеспечивающих безопасность и эффективность лётной эксплуатации воздушных судов следующих поколений в сложных многофакторных условиях. Ниже более подробно рассмотрен ряд направлений развития КБО.

Архитектура КБО. Перспективный КБО должен иметь открытую сетевую отказоустойчивую функционально-ориентированную архитектуру на базе масштабируемой ИМА с использованием единой вычислительной среды (платформы). Функции систем комплекса в этом случае выполняют программные приложения, разделяющие общие вычислительные и информационные ресурсы [1].

Важной особенностью такой архитектуры является отсутствие "жестких" раз и навсегда установленных связей между датчиками бортового оборудования (информационными каналами) и вычислительными средствами. Это позволяет реализовать динамическую реконфигурацию структуры КБО с соответствующим перераспределением ресурсов. Внутри вычислительной среды формируются (с подключением к необходимым информационным каналам комплекса) структуры для оптимального выполнения каждой функции КБО. Каждая возникающая при этом структура формируется только на время выполнения заданной функции. Таким образом, общая конфигурация вычислительной среды динамически перестраивается в процессе функционирования комплекса.

В данную структуру должны внедряться высокоинтегрированные мультифункциональные системы основных функций, например, единая программно-управляемая радиосистема связи, навигации и наблюдения (рис. 1). Функции общесамолетных систем также должны максимально использовать общие вычислительные ресурсы комплекса.

Комплектующие КБО. Структура комплекса бортового оборудования реализуется с использованием минимальной номенклатуры унифицированных взаимозаменяемых открытых стандартных изделий (модулей, систем) с высокой производительностью и энергетической эффективностью.

Схемотехнические решения функциональных модулей платформы предполагают разработку:

- ◆ процессорных модулей на базе мультиядерных микропроцессоров с высокой производительностью и пониженным энергопотреблением;
- ◆ графических модулей, обеспечивающих формирование 3D-графических изображений с разрешением не менее 1920x1200x60 Гц;
- ◆ сетевых коммутаторов с высокой надежностью и пониженным энергопотреблением;
- ◆ модулей электропитания с компенсацией перерывов электропитания.

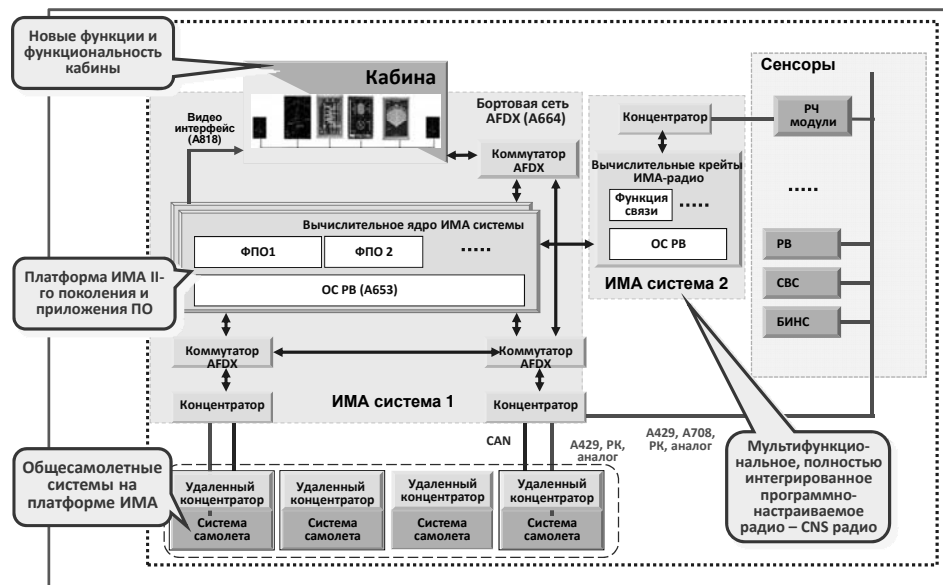


Рис. 1. Сетевая отказоустойчивая архитектура КБО

Необходима разработка эффективных способов охлаждения модулей с высокой энергоотдачей на базе стандарта ANSIVITA 48.5. Для модулей крейтов и блоков предполагается использование легких композитных материалов.

В ближайшей перспективе ожидается переход к широкому использованию «систем на кристалле» – «System on a Chip – SoC», представляющих собой сверхбольшие интегральные схемы (СБИС).

Общесамолетное оборудование. В соответствии с тенденцией дальнейшей интеграции и использования общих ресурсов предполагается увеличение перечня систем общесамолетного оборудования со встроенными удаленными концентраторами на базе ИМА, функции которых будут реализовываться в общей вычислительной платформе комплекса бортового оборудования в виде соответствующего

функционального программного обеспечения. При этом сами общесамолетные системы будут являться общим информационным ресурсом бортовой вычислительной сети.

Это позволит оптимизировать структуру бортового комплекса по следующим важным параметрам:

- ◆ улучшить массо-габаритные характеристики за счет уменьшения количества соединительных проводов;
- ◆ повысить надежность за счет уменьшения перечня внешних воздействий, влияющих на бортовое оборудование;
- ◆ минимизировать количество датчиков первичной информации, необходимых для реализации функций КБО.

В качестве таких систем могут рассматриваться следующие системы: гидравлическая, электроснабжения, топливная, уборки-выпуска шасси, кондиционирования воздуха, регулирования давления в кабине, торможения колес, управления рулежным устройством, кислородная, вспомогательная силовая установка, противопожарная и дымооповещательная, противообледенительная дверей и люков, система фар и другие.

Для включения общесамолетной системы в единую бортовую сеть необходимо решить ряд задач:

- ◆ создать адекватные алгоритмы функционирования системы в форме математических моделей;
- ◆ разработать удаленные концентраторы сети, предусматривающие жесткие условия эксплуатации и, при необходимости, осуществляющие реализацию части функций системы;
- ◆ разработать адаптивные цифровые датчики первичной информации со стандартизованными интерфейсами и возможностью первичной обработки информации;
- ◆ предложить конструктивные решения для электрических исполнительных органов с цифровыми входами, обладающих необходимыми характеристиками.

Интегрированная программно-настраиваемая радиосистема IMA/SDR/CNS предполагает реализацию алгоритмов обработки различных радиосигналов на базе платформы IMA (рис. 2).

Реализация этих принципов в ближайшей перспективе позволит обеспечить отечественной авиации мировое лидерство в данной области. Для создания объединенной бортовой радиосистемы на базе IMA необходимо [2]:

- ◆ осуществить унификацию модулей системы (вычислителей, маршрутизаторов, широкополосных радиоблоков и активных антенных систем);
- ◆ разработать протоколы взаимодействия компонентов объединенной радиосистемы;
- ◆ реализовать функции объединенной радиосистемы на единой вычислительной платформе с унификацией модулей программного обеспечения.

Преимущества единой радиосистемы IMA/SDR/CNS заключается в следующем: улучшаются массогабаритные характеристики, повышается надежность и отказоустойчивость, снижается энергопотребление, уменьшается количество антенн и фидеров, появляется возможность программной модернизации.

Необслуживаемый КБО. Перспективным направлением развития является разработка технологий создания отказоустойчивого необслуживаемого КБО самолета на базе IMA. Основными свойствами такого комплекса являются:

- ◆ отсутствие необходимости обслуживания комплекса в межсервисные периоды с сохранением требуемого уровня безопасности;

- ♦ использование активной системы безопасности, позволяющей в случае отказов изменять структуру комплекса для сохранения его функций.

Необслуживаемый КБО должен включать в свой состав как бортовую авионику, так и возможно больший перечень общесамолетного оборудования.

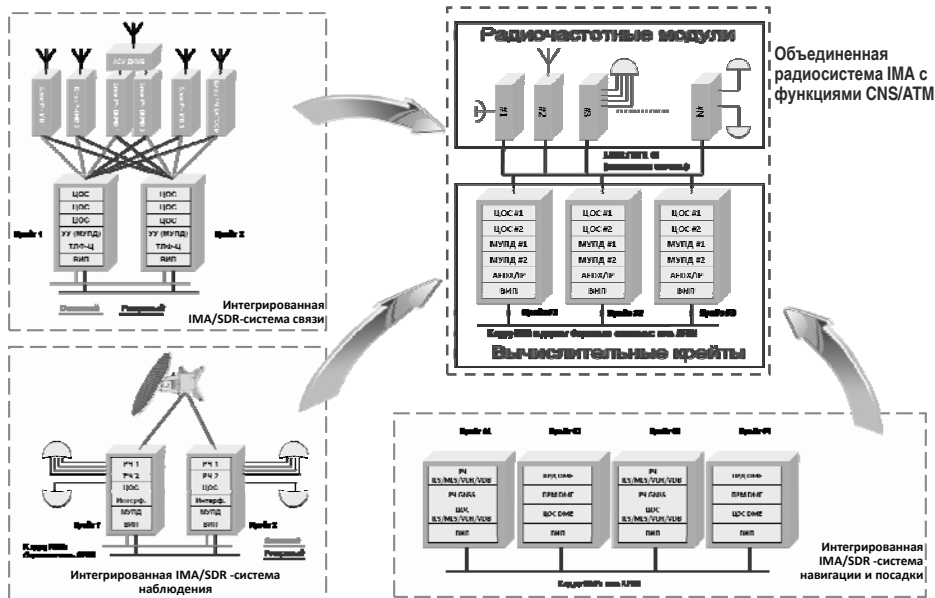


Рис. 2. Объединенная радиосистема IMA/SDR/CNS

Построение комплекса на базе ИМА второй генерации обеспечит возможность реконфигурации программных, аппаратных и функциональных ресурсов бортового оборудования в случае возникновения отказов. Это позволит минимизировать резервирование и обеспечить достижение максимально возможной безопасности и эффективности выполнения или завершения полета.

Реализация концепции необслуживаемой авионики требует разработки новых алгоритмов встроенного контроля с использованием системы распределенных датчиков и новых функций автоматического диагностирования отказов авиационного оборудования на основе информационно-логических и математических моделей. Это позволит осуществлять в реальном режиме времени локализацию поврежденных, отказавших или неправильно функционирующих модулей и систем, включая членов экипажа, а также обеспечить необходимую информационную поддержку экипажа и наземных служб.

Необходимо разработать принципы построения отказоустойчивой системы управления общесамолетным оборудованием, в том числе систему полной диагностики авиационных двигателей, и способы ее интеграции в комплекс бортового оборудования.

Новое поколение КБО должно обладать способностью автоматического диагностирования своего технического состояния, а в дальнейшем и ЛА в целом. Должны быть проведены исследования по созданию рассредоточенных по самолету датчиков, контролирующих состояние компонентов и систем, а также процессов обработки информации, позволяющих предсказывать возможное ухудшение состояния в будущем. Необходимо сформулировать принципы построения и найти технические решения по созданию отказоустойчивой системы управления обще-

самолетным оборудованием, систем полной диагностики вибросостояния летательного аппарата, авиационных двигателей и редукторов вертолетов на основе методов прогнозирования остаточного ресурса агрегатов и определения их предотказного состояния для своевременной замены на земле и реконфигурации системы в полете, обеспечить их интеграцию в КБО.

Решение указанных задач позволит сформировать структуру пространственно распределенного интегрированного комплекса бортового оборудования с управляемой избыточностью и свойствами самовосстановления в межсервисные периоды. Переход на необслуживаемый КБО позволит существенно снизить затраты на эксплуатацию, уменьшить время подготовки к полету, сократить перечень критических отказов, повысить надежность комплекса до 10^{-10} .

Полностью электрифицированный самолет. Технология создания бортового оборудования в концепции полностью электрифицированного самолета (ПЭС) является перспективным направлением. Реализация данной концепции позволит упростить дальнейшую интеграцию бортового оборудования и существенно снизить затраты на его эксплуатацию.

Под «полностью электрифицированным самолетом» понимается самолет с единой системой энергоснабжения, в качестве которой используется система электроснабжения, обеспечивающая питанием все бортовые потребители энергии. Электрическая энергия будет применяться для питания наиболее энергоемких систем, которые традиционно использовали для своего функционирования гидравлическую и пневматическую энергию. К таким системам, прежде всего, относятся:

- ◆ системы управления аэродинамическими поверхностями и взлетно-посадочными устройствами, в которых будут использоваться электрогидромеханические или полностью электромеханические приводы;
- ◆ система кондиционирования, в которой для нагнетания воздуха будет применен отдельный компрессор, приводимый во вращение от электрического двигателя;
- ◆ электрические противообледенительные системы самолета и силовой установки;
- ◆ система запуска авиадвигателя, в которой предполагается использование электрических стартер-генераторов.

Полностью электрический самолет имеет следующие прогнозируемые преимущества: снижение массы конструкции и стоимости самолета, уменьшение расхода топлива, упрощение бортовых систем за счет исключения гидравлической и воздушной энергосистем, упрощение структуры и снижение стоимости эксплуатации, а также наземного обслуживания. Исключение отбора воздуха от двигателей обусловит улучшение режимов работы силовых установок, снижение их массы и удельного расхода топлива. Реализация концепции ПЭС позволит существенно сократить затраты на разработку и производство перспективных самолетов ГА при обеспечении их высоких летно-технических характеристик.

Новые функции КБО и функциональности кабины пилотов. Перспективным направлением является разработка и внедрение функции улучшенного, синтезированного и комбинированного видения. Она включает решение следующих задач:

- ◆ разработку алгоритмов обработки измерительной информации с целью обнаружения ВПП, препятствий на ВПП и объектов аэродромной инфраструктуры;
- ◆ разработку алгоритмов автоматической взаимной привязки и визуального комплексирования измерительной и геопрограммной информации;

- ◆ разработку алгоритмов получения, передачи и синтетического отображения пространственных данных в едином информационном пространстве «борт-земля».

Весьма важным вопросом является разработка функции расширенных режимов наблюдения и управления, в том числе на территории аэропорта, для совершенствования и автоматизации взаимодействия служб организации и управления воздушным движением и самолетов с целью повышения безопасности и обеспечения регулярности полетов:

- ◆ разработка алгоритмов бортовой системы управления конфликтными ситуациями для выдерживания согласованной 4-мерной бесконфликтной траектории;
- ◆ реализация процедуры ремаршрутизации – автоматической прокладки альтернативного маршрута;
- ◆ реализация процедуры независимого близко-параллельного захода на посадку;
- ◆ обеспечение ситуационной осведомленности экипажа об обстановке на поверхности аэропорта.

Новая функция реконфигурации системы управления полетом самолета при отказах и повреждениях информационных и исполнительных устройств включает:

- ◆ разработку алгоритма реконфигурации системы управления в случае отказа исполнительных устройств (элеронов, стабилизаторов и т.д.);
- ◆ разработку алгоритма реконфигурации системы управления в случае отказа информационных устройств;
- ◆ обеспечение осведомленности экипажа об оставшихся ресурсах управления;
- ◆ построение оптимальных профилей полета при заходе на аэродром посадки с учетом ограничений на отклонение управляющих поверхностей.

Расширение функциональности существующих функций необходимо для:

- ◆ ФПО навигации и самолетовождения;
- ◆ ФПО интегрированного технического обслуживания;
- ◆ электронный бортовой журнал и т.д.;

Необходимо осуществлять оптимизацию интерфейса «экипаж – оборудование кабины» с целью:

- ◆ расширения условий организации воздушного движения;
- ◆ совершенствования способов предупреждения конфликтных ситуаций для исключения авиационных происшествий по причинам потери пространственного положения, неадекватного восприятия основных параметров движения ЛА, неоднозначного восприятия информации от бортовых и внешних источников;
- ◆ рационального распределения функций между экипажем и системами ВС для создания предпосылок перехода на пилотирующий экипаж, состоящий из одного пилота;
- ◆ совершенствования способов информационного обеспечения экипажа и управления информационным полем, системами ВС;
- ◆ повышения качества информационного обмена «воздух-земля-воздух»;
- ◆ стандартизации новых технических решений.

Технология проектирования комплексов бортового оборудования [3].

Для обеспечения необходимого уровня безопасности полетов и снижение стоимости создания КБО ВС необходимо использовать наиболее перспективные технологии проектирования, удовлетворяющие следующим требованиям:

- ◆ соответствие общепринятой мировой НТД, сертифицируемость;
- ◆ использование общепринятой у ведущих авиастроительных фирм мира системы спецификаций с прослеживанием требований;

- ◆ возможность автоматизации процессов разработки;
- ◆ открытость.

Сохраняется тенденция использования V-образной технологии [4], разделяющей уровни проектирования и предполагающей верификацию и валидацию на всех этапах жизненного цикла.

Автоматизация проектирования предполагает:

- ◆ создание сквозных автоматизированных технологий разработки КБО на базе отслеживания актуальной мировой НТД с использованием общепринятой у ведущих авиастроительных фирм мира системы спецификаций и прослеживанием требований;
- ◆ разработку средств комплексной автоматизации для модельного проектирования КБО, идентификации системы требований и автоматического формирования конфигурационных данных.

Автоматизация проектирования предполагает создание базы данных ресурсов ИМА, на основе которой строятся модели архитектуры КБО, модель интерфейсов КБО, осуществляется проверка циклограмм, проверка распределения ресурсов, анализируется загрузка сети. Все это осуществляется с использованием математических моделей различного уровня.

Вывод. Подводя итог, отметим, что реализация КБО воздушных судов на базе интегрированной модульной авионики второго поколения позволит существенно повысить эффективность КБО.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федосов Е.А. Российский проект создания нового поколения интегрированной модульной авионики с открытой архитектурой. Состояние и перспективы // Фазотрон. – 2011. – № 2. [Электронный ресурс] <http://www.media-phazotron.ru/?p=192>.
2. Шадринцев Н. Перспективы создания объединенной бортовой радиосистемы CNS/ATM // Доклады Международной науч.-практ. конф. «Состояние и перспективы развития интегрированной модульной авионики (Москва, 29 – 30 октября 2012 г.) [Электронный ресурс] <http://www.modern-avionics.ru/Files/10-GosNIIAS-Shadrincev.pdf>
3. Гадушкин В.В., Катков Д.И., Косьянчук В.В., Сельвесюк Н.И. Технология создания комплексов бортового оборудования воздушных судов // Тезисы докладов Всероссийской науч.-тех. конф. «Навигация, наведение и управление летательными аппаратами» (Москва, 20-21 сентября 2012 г.). – М.: Научтехлитиздат, 2012. – С. 171-174.
4. SAE ARP 4754A. Guidelines for Development of Civil Aircraft and Systems.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.П. Харьков.

Косьянчук Владислав Викторович – ФУП «Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем»; e-mail: kos.vl.v@gmail.com; 125319, г. Москва, ул. Викторенко, 7; тел.: +74997590069; д.т.н., профессор; главный научный сотрудник.

Сельвесюк Николай Иванович – e-mail: niselvesuk@2100.gosniias.ru; тел.: +74997590069; д.т.н.; доцент; главный научный сотрудник.

Чуянов Геннадий Алексеевич – e-mail: gachuyanov@2100.gosniias.ru; тел.: +74991570747; начальник отделения.

Kosyanchuk Vladislav Viktorovich – FGUP «State Research Institute of Aviation Systems»; e-mail: kos.vl.v@gmail.com; 7, Viktorenko street, Moscow, 125319, Russia; phone: +74997590069; dr. of eng. sc.; professor; leading researcher.

Selvesyuk Nikolay Ivanovich – e-mail: niselvesuk@2100.gosniias.ru; phone: +74997590069; dr. of eng. sc.; associate professor; leading researcher.

Chuyanov Gennadiy Alekseevich – e-mail: gachuyanov@2100.gosniias.ru; phone: +74991570747; head of department.