

УДК 681.324

ИНТЕГРИРОВАННЫЕ БОРТОВЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ: ОБЗОР СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ И АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ В АВИАЦИОННОМ ПРИБОРОСТРОЕНИИ

П.П. Парамонов, И.О. Жаринов



Парамонов Павел Павлович, доктор технических наук, профессор, генеральный директор Федерального государственного унитарного предприятия «Санкт-Петербургское опытно-конструкторское бюро «Электроавтоматика» им. П.А. Ефимова», профессор базовой кафедры машинного проектирования бортовой электронно-вычислительной аппаратуры НИУ ИТМО. Участник создания самолетов МиГ-23, МиГ-25, МиГ-27, МиГ-29, Су-25Т, Су-27, Су-80ГП, Ту-154, Ту-144, Ил-62, Ил-86 и др., а также вертолетов Ми-35, Ми-24К, Ка-50 («Черная акула»). Действительный член Академии навигации и управления движением, действительный член Петровской академии наук и искусств. Автор более 170 опубликованных работ, из которых 6 монографий, 30 учебно-методических работ, более 25 патентов. Почетный авиастроитель. Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации. Заслуженный конструктор Российской Федерации. Отличник качества авиационной промышленности. Почетный гражданин Кировского района Санкт-Петербурга. Лауреат премии им. С.И. Мосина. Член редколлегии журнала «Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики».



Жаринов Игорь Олегович, доктор технических наук, доцент, руководитель учебно-научного центра Федерального государственного унитарного предприятия «Санкт-Петербургское Опытное-конструкторское бюро «Электроавтоматика» им. П.А. Ефимова», заведующий базовой кафедрой машинного проектирования бортовой электронно-вычислительной аппаратуры НИУ ИТМО. Ведущий специалист в области теории и основ построения информационно-управляющего поля кабины пилотируемых летательных аппаратов, эргономической поддержки, разработки и эксплуатации авиационных систем. Участник создания бортовой аппаратуры для объектов Су-80ГП, Су-25СМ, Су-25УБМ и др. Специалист в области автоматизации проектирования бортового оборудования. Специалист в области компьютерной обработки электрофизиологических данных в медицинском приборостроении. Автор более 90 опубликованных работ, из которых 6 монографий, 15 учебных пособий, 6 отраслевых авторских свидетельств на программные продукты. Член диссертационного совета при НИУ ИТМО.

Приведен обзор современного состояния и анализ перспектив развития интегрированных бортовых вычислительных систем, применяемых в авиационном приборостроении. Основное внимание уделено проектам, выполненным в рамках концепции интегрированной модульной авионики. Подробно рассмотрены иерархические уровни проектирования модулей, крейтов (бортовых систем) и авиационных комплексов. Приведены примеры существующих отечественных и зарубежных разработок и их краткие технические характеристики, а также обширная библиография по тематике.

Ключевые слова: интегрированная модульная авионика, крейты, современное состояние, обзор.

Введение

Проблема проектирования перспективного бортового радиоэлектронного оборудования (БРЭО) относится сегодня к приоритетным направлениям развития авиационной промышленности Российской Федерации. Основные научные исследования в этой области осуществляются специалистами авиаприборостроения в рамках поиска новых концепций проектирования аппаратного [1–7] и программного [8, 9] обеспечения и в рамках внедрения новых технологий, материалов и элементной базы [10, 11] в образцы авиационной продукции. Поиск новых концепций проектирования аппаратного и программного обеспечения направлен на совершенствование структурной организации бортовых систем с целью удовлетворения непрерывно возрастающих требований:

- по обеспечению регулярности, безопасности и комфортабельности полетов летательных аппаратов;
- по обеспечению экономичности владения и удобства обслуживания летательных аппаратов (ЛА);
- по обеспечению заданной точности расчетов пилотажно-навигационных параметров;
- по обеспечению заданных надежностных характеристик приборного оборудования и т.д.

Внедрение новых технологий, материалов и элементной базы в образцы авиационной продукции направлено на изменение технико-экономических показателей БРЭО с целью придания бортовым системам новых качеств или с целью совершенствования количественных показателей существующей аппаратуры. На современном этапе разработчиками авионики достигнуты определенные успехи в решении частных задач проектирования отдельных компонентов за счет внедрения в разработки перспективной технологии функциональной, программной и аппаратной интеграции оборудования, однако проблема построения интегрированных вычислительных комплексов БРЭО остается нерешенной в полной мере до настоящего времени. Целью данной статьи является представление широкому кругу специалистов проблематики проектирования интегрированных вычислительных систем, составляющих вычислительное ядро перспективных комплексов БРЭО. Читателю будет представлен краткий обзор достигнутых сегодня разработчиками результатов и предложен для более подробного знакомства современный подход к проектированию перспективного БРЭО – подход на основе внедрения на борт ЛА структур интегрированной модульной авионики.

Обзор современных направлений проектирования вычислительных систем в авиационном приборостроении

Основные направления проектирования вычислительных систем в современном авиационном приборостроении реализуются в Российской Федерации в рамках следующих федеральных целевых государственных программ:

- «Развитие гражданской авиационной техники России на 2002–2010 г.г. и на период до 2015 г.»; выполняется в рамках постановления Правительства РФ от 15 октября 2001 года № 728: «О федеральной целевой программе развития авиационной техники России на 2002–2010 г.г. и на период до 2015 г.»;
- «Модернизация и развитие интегрированных комплексов и систем цифрового оборудования самолетов гражданской авиации России на период 2003–2010 г.г.» (АВИОНИКА–2010);
- «Развитие электронной компонентной базы и радиоэлектроники на 2008–2015 г.г.»; выполняется в рамках постановления Правительства РФ от 23 июня 2007 г. № 972-р. и др.

Соисполнителями программ выступают ОАО «ОКБ Сухого», ОАО «РСК «МиГ», ОАО «ММПШ «Салют», ОАО «КнААПО», ОАО «РПКБ «Раменское», ФГУП «СПб ОКБ «Электроавтоматика» им. П.А. Ефимова», ОАО «Авиаприбор-Холдинг», ВНИИРА, ОАО «МНПК «Авионика», ОАО «Измеритель», ОАО «Научно-производственный комплекс «ЭЛАРА» им. Г.А. Ильенко», ФГУП «Уфимское приборостроительное производственное объединение», ОАО «ОКБ им. А.И. Микояна», ОАО «ОКБ им. А.С. Яковлева», ОАО «Туполев», ЦАГИ, КБ «Сигнал», ЛИ и ДБ им. М.М. Громова, ФГУП «НИИ аэронавигации», ОАО «Нижегородский авиастроительный завод «Сокол», ФГУП «Государственный Рязанский приборостроительный завод» и др. За рубежом перспективные исследования разработчиков в области авиаприборостроения осуществляются [12–16] под эгидой объединенного комитета НАТО по стандартизации архитектуры авиационных комплексов Allied Standard Avionics Architecture Council (ASAAC) в рамках программ создания новых концепций построения БРЭО: Digital Avionics Information System (DAIS), Pave Pillar / F22 (Raptor), Pave Pace / JSF (Joint Strike Fighter – F35), Module Avionics System Architecture (MASA), Integrated Sensor System (ISS), Standard Avionic Module (SAM), Advanced Avionics Architecture and Packing (AAP) и др. Соисполнителями программ выступают компании Airbus, Bell Helicopter Textron, Boeing, General Motors, Rockwell Int., GTE Government Systems, American Airlines, United Airlines, Lockheed Martin, Tokyo Electric Power, European Aeronautic Defense and Space Company, European Association of Aerospace Construction и др.

Основным интернациональным результатом работы специалистов в области разработки архитектуры и компонентов БРЭО сегодня является утвержденная фирмой ARINC (Aeronautical Radio Inc., США) и развиваемая отечественными специалистами [17–27] концепция интеграции бортовой аппаратуры – концепция IMA (Integrated Modular Avionic), основы которой изложены в стандарте ARINC 651 «Design Guidance for Integrated Modular Avionic». Стандарт определил новое направление в совершенствовании авиационного приборостроения и наметил перспективы развития авиационной промышленности на десятилетия вперед.

ARINC 651 представляет собой согласованное и утвержденное законодательно в США мнение представителей авиакомпаний-эксплуатантов ЛА, фирм-производителей самолетов и авиационной техники США и ряда других стран по вопросу систематизации подхода к проектированию авионики. В Российской Федерации стандарт ARINC 651 носит информационный характер. Стандарт ARINC 651 явился основой серии документов ARINC, посвященных IMA (в частности, ARINC 624, 629, 636, 637, 650, 652, 653, 659 и др.). По мнению зарубежных специалистов [14–16], в перспективе аппаратура IMA должна заменить БРЭО, разработанное ранее в соответствии с требованиями стандартов 700-ой серии ARINC.

Концепция IMA охватывает следующие группы проектных задач авиаприборостроения [18]:

- цели создания и внедрения IMA в разработки БРЭО;
- используемые при разработке БРЭО технологии;

- реализация свойства отказоустойчивости бортового оборудования;
- принципы построения бортовой сети информационного обмена (бортовой сети данных);
- архитектура БРЭО;
- архитектура программного обеспечения БРЭО и его компонентов;
- сертификация разработок (аппаратного и программного обеспечения БРЭО);
- контролепригодность и ремонтпригодность БРЭО и объекта – ЛА – в целом;
- выбор источников и потребителей данных (абоненты бортовой локальной сети данных).

Концепция ИМА предполагает разделение функциональных компонентов авиационной электроники на три иерархических уровня [28–32]:

- нижний уровень иерархии образуют унифицированные конструктивно-функциональные модули (КФМ) различного назначения, имеющие собственные вычислительные средства в компактном стандартизованном исполнении (например, по стандартам евромеханики с типоразмерами печатных плат 3U, 6U, 9U);
- средний уровень иерархии образуют мультипроцессорные вычислительные системы (крейты), создаваемые из модулей нижнего уровня и конструктивно выполненные в стандартизованном корпусе (в различных источниках литературы встречаются различные названия конструктива – крейт, стойка, шкаф, бокс, шасси);
- высший уровень иерархии представляет собой бортовую локальную вычислительную сеть на основе центрального сетевого интерфейса высокой пропускной способности, интегрирующую вычислительные средства крейтов среднего уровня.

Для организации бортового центрального сетевого интерфейса высокой пропускной способности сегодня специалистами авиаприборостроительных предприятий прорабатываются конструктивно-технологические решения по внедрению на авиационных и космических ЛА новых или уже существующих [33–38]:

- межсистемных интерфейсов Fiber Channel (ANSI X3T11); Scalable Coherent Interface (ANSI / IEEE Std 1596-1992); Myrinet; Gigabit Ethernet; ARINC 664; Asynchronous Transfer Mode; FireWire (IEEE 1394) и др.;
- внутрисистемных интерфейсов Scalable Coherent Interface – SCI (ANSI / IEEE Std 1596-1992); Fiber Channel – ANSI X3T11; VME; PCI Compact; SKY Channel Packet Bus; LVDS (TIA / EIA 644) и др.

Результаты сравнительного анализа различных принципов построения БРЭО [39–42] и основные ожидаемые технико-экономические преимущества, которые обеспечиваются введением в состав БРЭО аппаратуры, разработанной по концепции ИМА, приведены в таблице.

Критерий или свойство	Принцип построения архитектуры авиационного комплекса БРЭО		
	Независимый	Федеративный	Интегрированный (ИМА)
Эволюционная совместимость разработок	Используются специализированные проектные решения, разрабатываемые специально под каждое конкретное применение в составе летательного аппарата. Возможно также использование стандартизованных (готовых, заимствованных) проектных решений, если они функционально и технически совместимы с решаемыми комплексом БРЭО задачами.		Используется специализированная технология для модулей ИМА, ориентированная на выполнение высоконадежных функций ЛА. Использование коммерческих технологий возможно только для реализации второстепенных функций ЛА.
Типы используемых бортовых сетевых решений (бортовая информационная сеть)	Применяется вся номенклатура аналоговых и цифровых линий связи и шин передачи информации. Исторически первые поколения комплексов БРЭО базировались на аналоговых каналах связи. В современных комплексах БРЭО используются высокоскоростные цифровые каналы связи (в различных комплексах реализуются различные форматы протоколов передачи данных).		
Отказоустойчивость авионики	Взаимное влияние отказа, возникшего в одном комплексе БРЭО, на системы другого комплекса исключается вследствие их независимости. Выявление отказа диагностируется путем использования встроенных средств аппаратно-программного контроля в отказавшем комплексе.	Имеет место распространение отказа в системе одного комплекса БРЭО на системы другого комплекса вследствие взаимного обмена данными. Диагностирование отказа реализуется автоматически средствами аппаратно-программного контроля обоих комплексов.	Системы, реализующие различные по категории важности бортовые задачи, обнаруживают и парируют отказы за счет использования процедур динамического назначения задач на имеющиеся в БРЭО работоспособные ресурсы. Для реализации отказоустойчивости применяются механизмы программного контроля и защиты информации.
	Избыточность аппаратных средств БРЭО обеспечивает защиту от случайных ошибок (сбоев) в измерениях. Избыточность программных средств БРЭО обеспечивает защиту от систематических ошибок и погрешностей вычислений.		

Продолжение таблицы

Критерий или свойство	Принцип построения архитектуры авиационного комплекса БРЭО		
	Независимый	Федеративный	Интегрированный (ИМА)
Ремонтпригодность авионики	Ремонтно-восстановительные работы проводятся на специализированных авиаремонтных заводах (АРЗ), где сосредоточены запасы и гарантийные технические аптечки исправной бортовой аппаратуры. При наличии нескольких АРЗ запасы аппаратуры должны находиться в каждом АРЗ в достаточном объеме, что увеличивает стоимость эксплуатации авионики. При использовании специализированных аппаратных средств на различных авиационных объектах ремонтпригодность БРЭО зависит от логистической поддержки обеспечения складов кондиционной продукцией.		Единая стандартизированная платформа авионики и единая номенклатура модулей ИМА существенно упрощают техническое обслуживание объектов различного типа. В каждом АРЗ достаточно иметь ограниченный объем запаса унифицированных модулей ИМА для обслуживания большого парка объектов.
Модернизация авионики	Модернизация аппаратных средств или прикладного программного обеспечения затрагивает только одну соответствующую систему. После изменения документации только в одной системе требуется повторная сертификация системы (летные испытания объекта).	Модернизация может производиться на уровне одной системы или одного комплекса БРЭО. После внесения изменений в документацию системы (комплекса) требуется проведение повторной сертификации разработки.	Модернизация модулей ИМА не сказывается на прикладном программном обеспечении вследствие его независимости от аппаратной платформы. Изменениям подвергаются только встроенные средства аппаратно-программного контроля БРЭО с сохранением программного кода функциональных бортовых задач ЛА.
Потребность аппаратуры в системе охлаждения	Каждая подсистема БРЭО способствует увеличению суммарного тепловыделения в составе объекта, в связи с чем требуется кондиционирование аппаратуры средствами охлаждения. Анализ объемов тепловыделения показывает, что для систем одного и того же функционального назначения комплексы ИМА требуют заметно меньшего объема охлаждающего воздуха по сравнению с независимым или федеративным принципом построения авиационных комплексов.		Так как крейты ИМА интегрируют различную по критичности аппаратуру БРЭО, требуется постоянный обдув электрорадиоэлементов.
	Для ослабления температурного режима работы электрорадиоэлементов наиболее важных систем БРЭО требуется постоянное применение средств охлаждения (встроенных или централизованных).		
Время, стоимость и ответственность за разработку, сертификацию и комплексирование авионики	Разработку и сопровождение средств авионики осуществляют несколько независимых фирм-производителей, каждая из которых обеспечивает последующее гарантийное и послегарантийное обслуживание своей аппаратуры. Применение стандартизованных функциональных элементов, включая применение коммерческих технологий, способствует переходу аппаратуры к принципам построения открытой архитектуры авионики и к унификации компонентов различных производителей. Синергетические эффекты между различными поставщиками бортовых систем исключены: разработка, настройка, проверка и сертификация БРЭО выполняются каждым производителем независимо друг от друга, в связи с чем стоимость или время создания БРЭО в масштабах объекта не могут быть минимизированы. Вопросы системной интеграции и комплексирования аппаратуры реализуются в составе объекта (или стенда отработки) после получения всех подсистем и находятся в компетенции главного (генерального) конструктора, ответственного за разработку объекта (летательного аппарата) в целом.		Производители БРЭО ориентированы на создание модулей ИМА, совместимых с существующими авиационными стандартами на программном и аппаратном уровне. Тестирование и сертификация каждого типа модуля ИМА осуществляется производителем и не зависит от типа летательного аппарата. Порядок разработки и сертификации регламентируется соответствующими авиационными стандартами. Системная интеграция и комплексирование БРЭО проводятся в едином технологическом цикле разработки на головном предприятии, поскольку прикладное программное обеспечение различных систем проектируется на базе единой аппаратно-программной платформы.

Критерий или свойство	Принцип построения архитектуры авиационного комплекса БРЭО		
	Независимый	Федеративный	Интегрированный (ИМА)
Габаритные размеры, энергопотребление	Каждая система устанавливается в составе объекта индивидуально и является автономным потребителем бортовой электроэнергии соответствующей категории. Аппаратура первой категории – подсистемы БРЭО – является наиболее важной для выполнения летательным аппаратом бортовых задач (взлет, посадка).	Каждая система устанавливается в составе объекта индивидуально и является автономным потребителем бортовой электроэнергии. За счет использования принципа комплексной обработки информации аппаратных средств БРЭО могут быть снижены.	Несколько различных систем объединены в составе единого конструктива. Используются принцип экономии габаритных размеров аппаратуры за счет максимального приближения источников и приемников бортовой информации друг к другу, реализуется свойство интеграции бортовой аппаратуры. На программном уровне регулируется объем задействованной аппаратуры БРЭО в зависимости от полетной ситуации.
Наращивание числа функциональных задач БРЭО, программирование БРЭО	Наращивание функциональных задач БРЭО реализуется путем изменения прикладного программного обеспечения и (или) введением дополнительных линий передачи информации между комплексами БРЭО. Доработка программного обеспечения, как правило, приводит к реализации свойства информационной избыточности БРЭО. Оба способа наращивания задач реализуются в пределах одной системы (комплекса). Могут изменяться масса, размеры, энергопотребление аппаратуры БРЭО. Если в состав БРЭО вводится дополнительно новая система, может потребоваться также введение новых специальных устройств (датчиков) – источников и приемников пилотажно-навигационной информации.	Наращивание функциональных задач БРЭО реализуется путем изменения прикладного программного обеспечения и (или) интеграцией с другими системами в единый комплекс. Доработка программ, как правило, приводит к реализации свойства информационной избыточности БРЭО. Второй способ затрагивает каналы передачи информации между системами, в связи с чем усложняется архитектура БРЭО. Может также потребоваться пересертификация БРЭО. Если в состав БРЭО вводится дополнительно новая система, может потребоваться также введение специальных устройств (датчиков) – источников и приемников пилотажно-навигационной информации.	Программные приложения, реализующие новые функции БРЭО, могут быть интегрированы в состав исходного кода бортовой задачи за счет использования модульного принципа построения программного обеспечения. При наличии в циклограмме бортовой задачи достаточного временного запаса интеграция новых фрагментов программного обеспечения реализуется без доработки уже существующих приложений и их программных кодов. Пересертификация существующих фрагментов программного обеспечения не требуется, сертифицируются только новые компоненты программного кода. Введение дополнительной функциональной бортовой задачи также может потребовать изменения топологии схемы связи БРЭО, прокладки дополнительных линий передачи информации в составе ЛА и пр.
Масса аппаратуры БРЭО	Масса аппаратуры БРЭО зависит от числа задействованных авиационных приборов и систем. Анализ различных принципов построения БРЭО для систем одного и того же функционального назначения показывает, что комплексы ИМА нуждаются в значительно меньшем количестве аппаратных средств, что уменьшает общую массу БРЭО по сравнению с независимым или федеративным принципом построения авиационных комплексов.		
	Соединение бортовой аппаратуры по принципу точка-точка обуславливает значительный вес бортовой кабельной сети за счет наличия прямых и обратных проводников каналов передачи информации.	Используются мультиплексированные линии связи между бортовыми источниками и приемниками информации, а также элементы высокой степени интеграции, за счет чего сокращается суммарный вес кабельной сети.	Используются высокоскоростные мультиплексированные линии связи, включая оптоволоконный канал передачи данных, между бортовыми источниками и приемниками информации, а также «системы на кристалле», за счет чего сокращается суммарный вес бортовой кабельной сети.

Продолжение таблицы

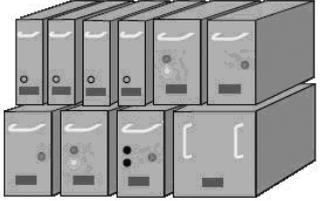
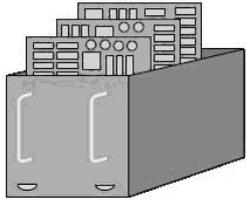
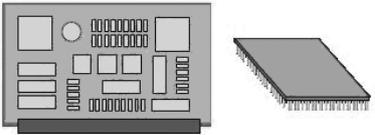
Критерий или свойство	Принцип построения архитектуры авиационного комплекса БРЭО		
	Независимый	Федеративный	Интегрированный (ИМА)
			

Таблица. Сравнительные характеристики различных принципов построения авиационных комплексов

Обзор патентно-информационных ресурсов в области существующих разработок ИМА

На фоне глобализации рынка авиационной продукции и услуг, расширения партнерских отношений российских предприятий с зарубежными компаниями и перспектив совместных работ в области реализации программ создания новых самолетов гражданской авиации представляется возможным использовать основные положения стандарта ARINC 651 в порядке методических рекомендаций для отечественных специалистов. Совместный опыт проектирования для авиастроительных предприятий Российской Федерации является, безусловно, положительным, поскольку позволяет интегрировать концептуальные российские идеи по разработке бортовой аппаратуры с существующим зарубежным научно-практическим заделом. Пример [43] такого международного сотрудничества – взаимодействие ФГУП «НИИ авиационного оборудования» с корпорацией Allied Signal (США), в результате которого был разработан интегрированный комплекс бортовой авионики для самолета-амфибии Бе-200.

Отечественные результаты разработок специалистов авиаприборостроительной отрасли в области структур ИМА реализуются сегодня рядом предприятий Российской Федерации, в том числе ВНИИРА, ФГУП «СПб ОКБ «Электроавтоматика» им. П.А. Ефимова», МИЭА, НПО «Полет» и др., в частности, в рамках [18, 28, 42]:

- НИОКР «ИКБО-95МС»;
- НИОКР «Создание технологии проектирования и высокотехнологического производства аппаратно-программных компонентов информационно-вычислительной среды и периферийных средств для комплексов авиационного оборудования нового поколения на основе концепции ИМА и необслуживаемого БРЭО»,

Специалистами проработаны конструкторско-технологические решения по разработке приемопередающих быстросменных КФМ для крейтов бортовой интегрированной радиотехнической системы, интегрированной системы радиосвязи и системы управления ЛА, КФМ для бортовой цифровой вычислительной системы. Среди примеров известных сегодня отечественных проектов бортового приборного оборудования, разработанного в соответствии с основными положениями концепции ИМА, можно отметить (рис. 1, а) многопроцессорный вычислительный комплекс «МПВК» [30, 44] производительностью 25GFLOPS разработки ЗАО НПП «Авиационная и морская электроника». Комплекс «МПВК» выполнен на базе унифицированных одноплатных модулей-вычислителей серии CPC502 (до восьми модулей в едином специализированном конструктиве), изготавливаемых ЗАО НПФ «Доломант» по документации и под авторским надзором компании Fastwel в стандарте CompactPCI 3U. Комплекс «МПВК» по эксплуатационным свойствам соответствует гр. 2.1.2 ГОСТ РВ 20.39.304-98, ГОСТ РВ 20.39.305-98. В ближайшее время в рамках программы по импортозамещению элементной базы специалисты ЗАО НПП «Авиационная и морская электроника» в проекте «МПВК» предполагают переход на модули-вычислители на базе отечественного микропроцессорного комплекта 1892BM5 производства ГУП НПЦ «Элвис».

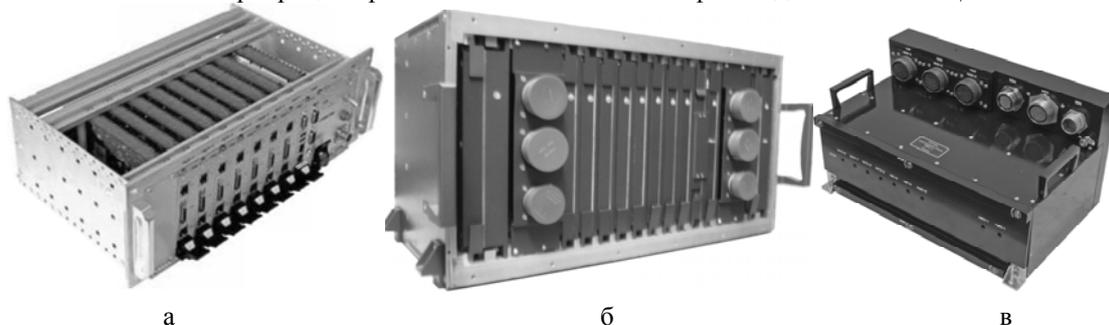


Рис. 1. Бортные цифровые вычислительные системы структуры ИМА: разработки ЗАО НПП «Авиационная и Морская Электроника» (а); разработки ФГУП «СПб ОКБ «Электроавтоматика» им. П. А. Ефимова» (б); разработки ОАО «РПКБ «Раменское» (в) (примеры)

Другой пример [28, 42] удачной разработки бортовой вычислительной системы в классе структур IMA – изделие «Крейт» (рис. 1, б), спроектированное и изготовленное в ФГУП «СПб ОКБ «Электроавтоматика» им. П.А. Ефимова» на базе модулей стандарта 6U в исполнении по гр.3.1 ГОСТ РВ 20.39.304-98, ГОСТ РВ 20.39.305-98. Вычислительная система «Крейт» является потребителем электроэнергии от бортовой сети постоянного и переменного тока с качеством и параметрами по ГОСТ 19705-89. В состав «Крейт» входят 10 модулей процессоров, обеспечивающих комплексную обработку пилотажно-навигационной информации и обмен по ГОСТ 18977-79 и РТМ 1495-75, ГОСТ Р 52070-2003, ARINC 664, Fiber Channel. Архитектура системы «Крейт» выполнена по двухконтурному типу в едином конструктиве и подробно рассмотрена в работах [45–47].

Практический интерес представляет также бортовая вычислительная система «БВС-1» [48], разработанная в ОАО «РПКБ «Раменское» в классе структур IMA и предназначенная для выполнения вычислительных и управляющих функций в составе информационно-управляющих систем перспективных комплексов бортового оборудования военной и гражданской авиации. Система «БВС-1» (рис. 1, в) обеспечивает резервированную полнодуплексную связь на основе последовательного высокоскоростного интерфейса коммутируемой архитектуры ARINC 664 между установленными в нее интеллектуальными электронными модулями (процессорные модули общего назначения, модули цифровой обработки сигналов и т.п.), а также связь с другими системами комплекса БРЭО в составе ЛА. Система «БВС-1» обеспечивает прием видеoinформации, формирование и наложение графических изображений и выдачу результирующей синтезированной видеoinформации на средства индикации информационно-управляющего поля кабины пилота ЛА. Процессорные модули и модули коммутатора сети выполнены в формате VPX-REDI (VITA 46, VITA 48) с типоразмером печатной платы 3U. На процессорные модули устанавливаются мезонинные модули графического контроллера или модуля массовой памяти. Суммарное быстродействие модулей-процессоров общего назначения (модуль выполнен на базе микропроцессора MPC8548 фирмы Freescale, тактовая частота работы 1–1,5 ГГц) – не менее 12000 MIPS. Объем оперативной памяти процессорных модулей: 3 Гбайт, объем постоянной памяти процессорных модулей: 1,5 Гбайт. Объем ПЗУ модуля массовой памяти: 8 Гбайт. Система «БВС-1» относится к классу приемников электроэнергии первой категории по ГОСТ 19705-89, раздел 3. Внешние интерфейсы системы «БВС-1» – ARINC 664 (Gigabit Ethernet 1000Base-SX), ARINC 818 (Fiber Channel 1x). Для информационного обмена с абонентами БРЭО используется многомодовый волоконно-оптический кабель, рабочая длина волны 850 нм.

Помимо указанных организаций, разработкой высокопроизводительных многопроцессорных вычислительных систем в классе структур IMA для авиационной промышленности в настоящее время в Российской Федерации занимаются такие известные предприятия, как ФГУП «Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем» [49, 50], ОАО «Научно-конструкторское бюро вычислительных систем» (проект «Базис 5.0» [22]), ОАО «НИЦЭВТ» (работы в рамках НИР «Беркут», проект «Ястреб», проект «Ангара» [51]), ЗАО НТЦ «Модуль» (проект «Борт-М», проект «БПТС»), ОАО «НИИ ВК им. М.А. Карцева», ЗАО «МЦСТ» (проект «Эльбрус-90микро»), КБ «Корунд-М» (проект «Багет») и др. Ряд разработок, выполненных отечественными и зарубежными специалистами в области реконфигурируемых структур IMA, защищен патентами [47, 49, 50, 52, 53].

Для исследования и оптимизации проектных решений по отработке перспективных архитектур вычислительных систем, в частности, и авионики в целом учеными и техническими специалистами разрабатываются специализированные системы автоматизированного проектирования (САПР) [54–58]: GSSS (Generalized Structure Synthesis System) разработки Московского энергетического института (технического университета), САПР серии «САФАК» разработки ЦНИИ 30 МО РФ и др. Согласно системе классификации Флинна, большинство отечественных разработок в области построения многомодульных вычислительных систем относится к классу многопроцессорных систем с множественным потоком команд и множественным потоком данных.

Среди зарубежных проектов авиационной электроники [12–14, 43], выполненных в соответствии с основными положениями концепции IMA, заслуживают внимание комплексы ProLine 21, Primus Epic, Topdeck, включающие от 2 до 4 стандартных вычислительных крейтов IMA.

Интегрированный комплекс модульной авионики ProLine 21 разработки Rockwell Collins был впервые представлен в США в 1995 г. Комплекс предназначен для решения задач навигации и управления полетом гражданских транспортных самолетов бизнес-класса, используемых на местных воздушных авиалиниях, а также для современных вертолетов. Сегодня комплекс ProLine 21 устанавливается на реактивном самолете Premier I, на транспортных самолетах бизнес-класса Continental, Hawker 800XP, CitationJet моделей CJ1 и CJ2, на конвертоплане BA-609 и др. Внешний вид одного крейта IMA разработки Rockwell Collins и пример модуля IMA разработки National Aerospace Laboratory [15] показаны на рис. 2. Аналогичный по назначению комплекс БРЭО разработки Rockwell Collins для военных самолетов получил название Flight-2 и устанавливается сегодня на модернизируемых самолетах ВВС и ВМФ США: топливозаправщиках KC-135, транспортных самолетах C-130 и самолетах радиолокационного дозора P-3 Orion, а также на вертолетах Sikorsky моделей S-92, S-70.

Primus Epic – название бортового комплекса в классе структур IMA разработки компании Honeywell. Комплекс Primus Epic обладает открытой архитектурой, достаточной для масштабирования пилотажно-навигационного комплекса под любой тип гражданских ЛА – от маленьких турбовинтовых самолетов и вертолетов до реактивных лайнеров с числом перевозимых пассажиров более 100. Комплекс Primus Epic сегодня устанавливается на гражданских самолетах бизнес-класса Hawker Horizon, Hawker 450, Citation Sovereign, на вертолете AB139 и на реактивных самолетах семейства Fairchild–Dornier моделей 528JET / 728JET / 928JET, а также самолетах семейства Embraer моделей ERJ-170 / ERJ-190.



Рис. 2. Крейт модульной авионики разработки Rockwell Collins (а) и модуль IMA разработки National Aerospace Laboratory (Голландия) (б)

Помимо бортовых авиационных комплексов ProLine 21 и Primus Epic, практическое применение получила разработка фирмы Thales Avionics – комплекс интегрированной модульной авионики Topdeck, установленный на военно-транспортных самолетах стран блока НАТО C-295, CN-235-300. В более совершенном исполнении известны также разработки бортовых комплексов структуры IMA по военным программам: Rave Pillar (комплекс БРЭО применяется в составе аппаратуры истребителя F-22A и боевого вертолета RAH-66); Rave Pace (комплекс БРЭО применяется в составе аппаратуры истребителя F-35).

Об актуальности проектирования новых комплексов БРЭО в классе структур IMA свидетельствует тот факт, что все электронное приборное оборудование нового пассажирского самолета Airbus A380 выполнено по концепции IMA (масса электронного оборудования в эквиваленте снижена на 40% при сохранении числа решаемых задач). С этой целью 33 проектных организации и научно-исследовательских института из 10 стран Европы под руководством Thales Avionics разработали проект бортовой электроники Victoria. БРЭО новейшего пассажирского самолета Boeing-787 «Dreamliner» (США) сегодня также разработано в классе структур IMA.

Авиационные комплексы структуры IMA имеют существенные преимущества перед своими предшественниками. Использование общих ресурсов позволяет уменьшить массогабаритные характеристики БРЭО, номенклатура однотипных модулей облегчает техническое обслуживание (эксплуатацию) объекта, уменьшается стоимость приобретения БРЭО, так как вместо разнотипных блоков, изготавливаемых мелкими партиями, на заводах-изготовителях тиражируются модули одного и того же типа с ограниченной номенклатурой. Так, выигрыш от применения на практике бортового комплекса Primus Epic структуры IMA оценен [43] фирмой Honeywell по следующей системе показателей (в сравнении с аппаратурой, разработанной по стандартам 700-й серии ARINC):

- вес и геометрические размеры аппаратуры БРЭО снижены на 40%;
- надежность комплекса БРЭО увеличена на 100%;
- стоимость приобретения оборудования снижена на 30%;
- стоимость использования оборудования снижена на 50%;
- ремонтпригодность бортового оборудования повышена на 60%;
- протяженность электропроводки самолета снижена на 30%.

На самолете Hawker Horizon, где установлен комплекс Primus Epic, по сравнению, например, с Hawker 1000, где ранее устанавливался комплекс БРЭО предыдущего поколения SPZ-8000, достигнута экономия массы бортового оборудования на 45 кг, исключено 23 электронных блока, за счет чего надежность бортового комплекса увеличена вдвое.

Анализ достигнутых отечественными и зарубежными специалистами авиаприборостроения результатов позволяет выделить среди свойств многомодульных бортовых вычислительных средств, разрабатываемых по концепции IMA, следующие наиболее важные:

- мультипроцессорность, состоящая в том, что число модулей в системе не фиксировано заранее (относительно каждого вычислительного процесса оперативная память имеет два уровня: первый – наиболее быстрая по доступу внутренняя память модуля процессора, второй – память, размещаемая вне модуля, в том числе и в других модулях крейта);
- управляемая коммутация связей между элементами модулей, обеспечивающая создание динамиче-

ских вычислительных подсистем различной конфигурации (управление активностью процессоров в системных взаимодействиях);

- идентичность применяемых модулей относительно протоколов связи друг с другом, формата передаваемых данных, базового набора системы команд микропроцессоров и т.д. (при этом не исключается возможность наличия у модулей различных свойств на физическом уровне, например, из-за разной емкости оперативной и постоянной памяти, микропроцессоров различной производительности (неоднородные вычислительные среды) или специализированных сопроцессоров и др.).

Таким образом, структура многомодульной системы может быть различной в каждый момент времени. Сетевые коммутаторы могут содержать локальную память, способную запомнить несколько динамических конфигураций обеспечиваемых ими связей. Установка базовых конфигураций позволяет осуществить непосредственное статическое соединение между двумя или большим числом одновременно существующих в вычислительной системе потоков данных и абонентов.

Ключевое значение для построения многомодульных вычислительных систем структуры ИМА имеет проблема обеспечения высокого уровня параллелизма вычислений. Эффективно многомодульные вычислительные системы функционируют только при решении относительно малосвязных задач. При решении задач многоканальной обработки и задач, схожих с ними по организации вычислительного процесса, в которых задействуется большое число вычислительных модулей с интенсивным межмодульным информационным обменом, использование многомашинных вычислительных комплексов нецелесообразно. Как показывают результаты исследований специалистов ОАО «НИЦЭВТ» [59], полученные с использованием методики тестирования, разработанной Центром независимого межведомственного тестирования суперкомпьютерных систем ГУ РИНКЦЭ, на практике реальная производительность мультипроцессоров при решении многосвязных задач составляет лишь 5–10% от потенциальных возможностей вычислителей.

Структура многомодульных крейтов имеет аналогию со структурой нейронной сети человеческого мозга, пространство состояний которого и механизмы перехода от одного состояния к другому исследовались в работе [60]. Элементарные модули, обладающие собственными вычислительными средствами, могут интерпретироваться как нейроны, а переключатели – как аксоны (отростки нейронов). «Манипулирование» переключателем создает каждый раз новую конфигурацию. Таким образом, в многомодульном вычислителе реализуется свойство адаптации системы под алгоритм решаемой задачи и под наличие свободных (исправных) вычислительных ресурсов, что создает предпосылки для внедрения на борту ЛА реконфигурируемых вычислительных структур.

Модульный состав современных крейтов ИМА, назначение КФМ

Унифицированные модули одного крейта ИМА могут выполнять следующие бортовые функции [43]:

- автоматического и директорного управления полетом (автопилота);
- автоматического управления тягой двигателя (автомата тяги самолета);
- вычислительной системы самолетовождения;
- управления общесамолетными системами;
- вычислителя-генератора символов для системы индикации (информационно-управляющего поля);
- формирования аварийной, предупреждающей и уведомляющей сигнализации;
- предупреждения о критических режимах полета ЛА;
- предупреждения об опасном приближении ЛА к земле;
- контроля параметров взлета летательного аппарата;
- формирования и выдачи речевой и тональной звуковой сигнализации в кабине пилота;
- хранения и вывода на индикацию различной справочной информации (карты полета, радиоэлектронной информации от радиолокационной станции, контрольные перечни операций и др.), в том числе доступ во время полета к наземной справочной информации (метеорологические службы, службы планирования полетов, предприятия технического обслуживания и ремонта);
- радиосвязи с наземными службами;
- сбора информации для технического обслуживания, в том числе сбора и локализации отказов бортового оборудования комплекса БРЭО;
- концентрации данных от систем и измерительных датчиков ЛА для их использования другим приборным оборудованием комплекса БРЭО.

Для выполнения заданных функций крейты ИМА комплектуются модулями различных типов. Наибольшее распространение на практике получил [47] следующий набор стандартных унифицированных КФМ:

- модуль вычислительный (МВ);
- модуль постоянной памяти (МПП);
- модуль графический (МГ);

- модуль ввода-вывода (МВВ);
- модуль напряжений (МН).

На рис. 3, а–д, представлены для примера фотографии модулей структуры ИМА разработки ФГУП «СПб ОКБ «Электроавтоматика» им. П.А. Ефимова». Основные принципы построения модулей приведены в [47].

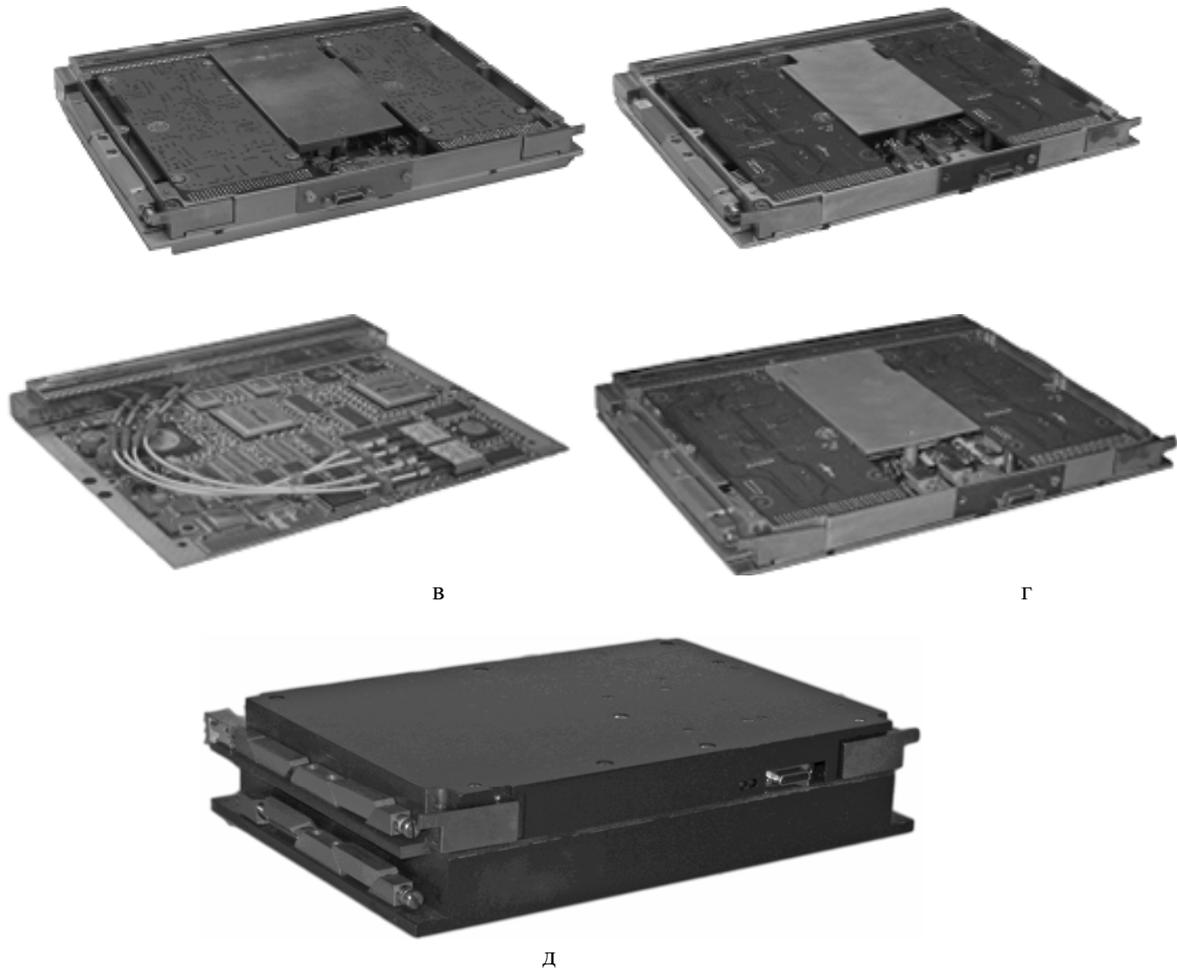


Рис. 3. Модули структуры ИМА: модуль вычислительный (а); модуль постоянной памяти (б); модуль графический (в); модуль ввода-вывода (г); модуль напряжений (д)

МВ (рис. 3, а) представляет собой автономную бортовую вычислительную машину в одноплатном исполнении. Каждый из устанавливаемых в крейт МВ, а их может быть несколько (на практике известны случаи размещения в одном конструктиве до 10 вычислительных модулей), способен выполнять в режиме разделения времени несколько бортовых задач, причем задачи могут относиться к разным уровням критичности. Программное обеспечение для МВ имеет два уровня. Один из уровней представляет собой выполняемые задачи, другой уровень изолирует задачи от применяемой вычислительной платформы, обеспечивая их взаимонезависимость. В качестве примера применения модулей МВ следует отметить, что в составе одного крейта БРЭО Primus Eric самолета Hawker-4000 используется 2 аналогичных модуля-вычислителя (число крейтов – от 2 до 4 шт.), столько же модулей используется в составе крейта БРЭО AIMS самолета Boeing-777 (число крейтов – 2 шт.).

МПП (рис. 3, б) выполняет функцию электронной библиотеки, к которой при необходимости обращаются пилоты ЛА или электронные модули комплекса БРЭО, а также функцию записи (регистрации) в полете информации, используемой в процессе наземного технического обслуживания или ремонта. База данных экспертных систем также размещается в пределах МПП. В качестве примера применения модулей МПП следует отметить, что в составе одного крейта БРЭО Primus Eric самолета Hawker-4000 используется 1 аналогичный модуль (число крейтов в составе самолета – от 2 до 4 шт.), столько же модулей используется в составе крейта БРЭО AIMS самолета Boeing-777 (число крейтов в составе самолета – 2 шт.).

МГ (рис. 3, в) собирает пилотажно-навигационную информацию, подготавливает и передает на средства индикации информационно-управляющего поля сформированное изображение (информационный поток видеoinформации). МГ также получает видеoinформацию от измерительных датчиков ЛА,

например, от инфракрасной обзорной системы или радиолокатора. Полученное видеоизображение масштабируется, на него накладывается символьная информация (режим совмещения графической и видеоинформации), и подготовленное для индикации видеоизображение передается на многофункциональные бортовые индикаторы. В качестве примера применения МГ следует отметить, что в составе одного крейта БРЭО Primus Epic самолета Hawker-4000 используется 1 аналогичный модуль (число крейтов в составе самолета – от 2 до 4 шт.), столько же модулей используется в составе крейта БРЭО AIMS самолета Boeing-777 (число крейтов в составе самолета – 2 шт.).

МВВ (рис. 3, г) служит для приема той информации от самолетных систем и измерительных датчиков ЛА, которая поступает в комплекс БРЭО по бортовым интерфейсам различных видов, например, от систем, формирующих информацию по последовательному каналу связи или по мультиплексному каналу. МВВ преобразует поступающую информацию и передает ее во внутреннюю сеть крейта для использования модулями ИМА. Наличие модулей ввода-вывода позволяет сосредоточить аппаратуру, необходимую для приема уникальных видов интерфейсов, в одном крейте; всем другим модулям комплекса БРЭО достаточно иметь в своем составе средства доступа к общей бортовой сети, в которую модуль ввода-вывода транслирует поступающую информацию. С целью уменьшения длины и массы электропроводки МВВ можно размещать и вне основного крейта – в непосредственной близости от датчиков сигналов в составе объекта, тогда конструктивно они выполняются в виде отдельного блока-концентратора. В качестве примера применения МВВ следует отметить, что в составе одного крейта БРЭО Primus Epic самолета Hawker-4000 используется 2 аналогичных модуля (число крейтов – от 2 до 4 шт.), 4 модуля используется в составе крейта БРЭО AIMS самолета Boeing-777 (число крейтов – 2 шт.).

МН (рис. 3, д) преобразует первичное напряжение бортовой сети (переменное ~115 В, 400 Гц, или постоянное +27 В) во вторичные напряжения, необходимые для низковольтного электропитания модулей крейта. Зачастую в МН реализуется двухканальная схема. Например, в комплексе ProLine 21 МН состоит из двух независимых формирователей вторичного питания, что существенно повышает надежность вычислительной системы в целом. Каждый из преобразователей способен обеспечивать электропитанием весь крейт, но в номинальном режиме эксплуатации, когда оба канала системы питания исправны, нагрузка распределяется между ними равномерно, вследствие чего преобразователи напряжения функционируют в облегченном электрическом и тепловом режиме. В качестве примера применения МН следует отметить, что в составе одного крейта БРЭО Primus Epic самолета Hawker-4000 используется 2 аналогичных модуля (число крейтов – от 2 до 4 шт.), столько же модулей используется в составе крейта БРЭО AIMS самолета Boeing-777 (число крейтов – 2 шт.).

Применение крейтов ИМА в составе летательных аппаратов при разработке комплексов бортового радиоэлектронного оборудования

Успешное использование отечественными разработчиками методов структуризации позволило специалистам авиаприборостроительных предприятий [2, 3, 17, 21, 25, 26, 61] в последние годы сформировать обобщенную функциональную схему федеративных комплексов бортового оборудования (4-ое поколение БРЭО) практически для любого типа летательного аппарата. Рассматривая класс пилотируемых ЛА и ограничиваясь задачами самолетовождения, структуру бортовой авионики (техническое лицо комплекса БРЭО) сегодня представляют в виде многоконтурной системы информационного обмена – бортовой вычислительной сети, в которой:

- основной контур обеспечивает автоматизацию процессов, связанных с целевым назначением объекта (пилотаж/навигация ЛА), предусматривая отказоустойчивый детерминизм структуры БРЭО (за счет дублирования составляющих) для обеспечения заданных характеристик по его надежности;
- резервный контур локализует порядок применения специальных средств летательного аппарата на выполнение частных задач на основе обработки информации от оптико-электронных и радиолокационных датчиков;
- вспомогательный контур обеспечивает передачу экипажу пилотажно-навигационной информации на средства индикации информационно-управляющего поля, осуществляет информационное взаимодействие летчика и аппаратуры путем обработки и анализа состояния органов управления кабины пилота ЛА.

Основные свойства, которые обеспечиваются при такой федеративной организации БРЭО с системной ориентацией, следующие [29, 41]:

- БРЭО определяется как сложная территориально-распределенная система, состоящая из отдельных функциональных подсистем, связанных между собой стандартными информационными соединениями;
- разработка отдельных функциональных подсистем БРЭО осуществляется большей частью автономно различными проектными опытно-конструкторскими бюро, а последующее их комплексирование обеспечивает функциональную интеграцию БРЭО в целом на всех этапах его эксплуатации;
- процесс обработки информации распараллеливается во времени в неоднородных по своей организации и характеристикам вычислительных средах;

- разрабатываемое программное обеспечение БРЭО и его компонентов имеет модульную организацию;
- обеспечивается возможность сохранения статической структуры БРЭО в случае возникновения отказов оборудования;
- обеспечивается возможность модернизации БРЭО и наращивания числа функциональных подсистем без значительного изменения топологии физических соединений (схемы информационного обмена) на межсистемном (внутриобъектовом для ЛА) уровне.

Данный подход в течение длительного времени (до 4-го поколения БРЭО включительно) соответствовал логике развития бортовых систем, функционирование которых базировалось на разнородных физических принципах, а разработка которых в силу этого зачастую поручалась различным проектным организациям и различным главным конструкторам. Однако по мере усложнения функциональных задач и увеличения их количества федеративный принцип построения БРЭО в значительной степени исчерпал свои возможности.

Общепринятый подход [62–69] к проектированию перспективных авиационных комплексов состоит в том, что все подсистемы должны выбираться с позиции интеграции аппаратуры БРЭО в единое целое – «интеллектуальное вычислительное ядро». Доминирующая сегодня концепция интеграции базируется на оптимальной композиции всей совокупности бортовых систем (источников и приемников информации, средств индикации и обработки) на всех этапах проектирования, начиная с концептуальных (поисковых) исследований, эскизного, технического проектирования и заканчивая вопросами унификации и стандартизации основных конструктивно-функциональных модулей, в том числе серийно выпускаемых.

Особенности схем связи комплексов БРЭО для независимого, федеративного и интегрированного принципов построения комплексов БРЭО [39] приведены на рис. 4.

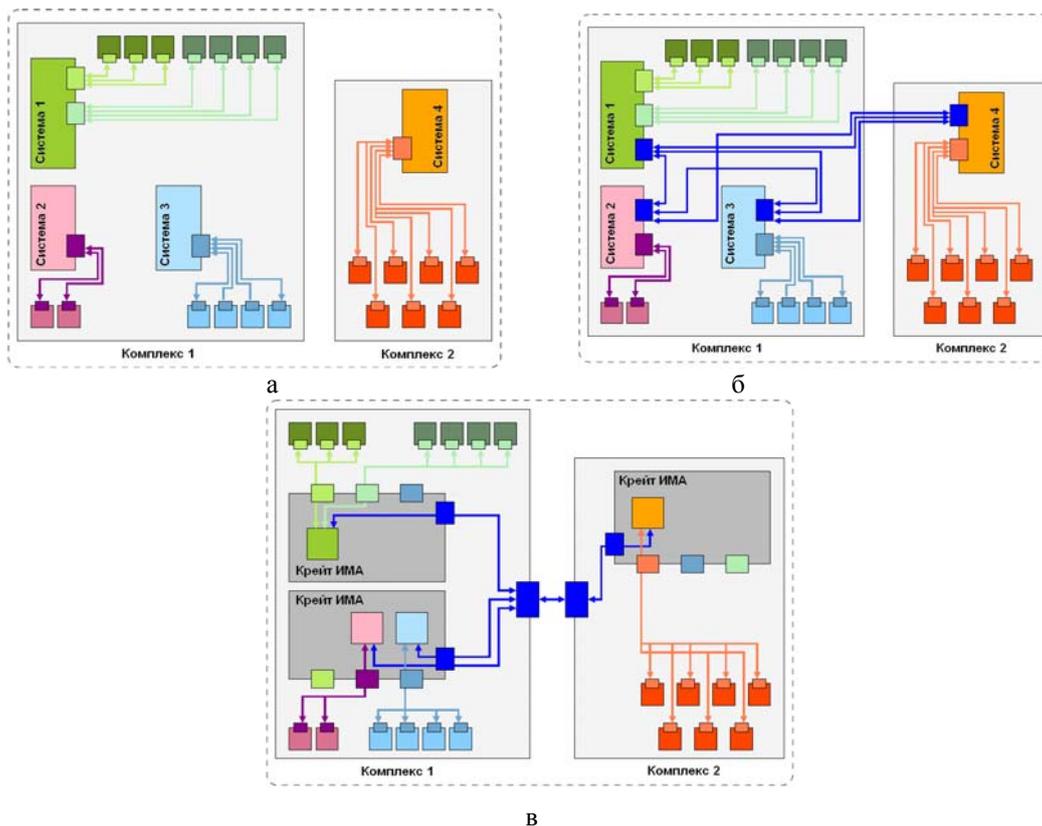


Рис. 4. Примеры построения структур авиационных комплексов: независимый принцип построения архитектуры БРЭО (а); федеративный принцип построения архитектуры БРЭО (б); интегрированный модульный принцип построения архитектуры БРЭО (в) (ИМА – интегрированная модульная авионика)

Авиационные комплексы БРЭО современных ЛА, находящиеся сегодня в эксплуатации, имеют системно-ориентированную детерминированную структурную организацию. Вычислительный ресурс такого БРЭО регулярно распределен между информационными каналами связи посредством организации отдельных подсистем (перераспределение задач между подсистемами на системном уровне не предусматривается), что не обеспечивает возможность интеграции бортового оборудования. Реализуется лишь резервирование (дублирование, реже троирование) наиболее важных функций, решаемых бортовыми вычислительными средствами. Анализ бортовых информационных потоков пилотажно-навигационных

данных свидетельствует [28, 67], что при жестком функциональном распределении задач между специализированными бортовыми вычислительными системами требуемые характеристики производительности федеративного БРЭО 4-го поколения не обеспечиваются даже в случае использования высокоскоростных каналов информационного обмена.

Для радикального повышения эффективности БРЭО разработчиками сегодня предпринимаются попытки его реализации и проектирования в классе мультимикропроцессорных структур ИМА с программируемой архитектурой, допускающей динамическое перераспределение вычислительной мощности аппаратуры в зависимости от приоритета решаемых задач. Результирующая структура БРЭО на основе концепции ИМА, разработанная специалистами авиаприборостроения [14], приведена на рис. 5.

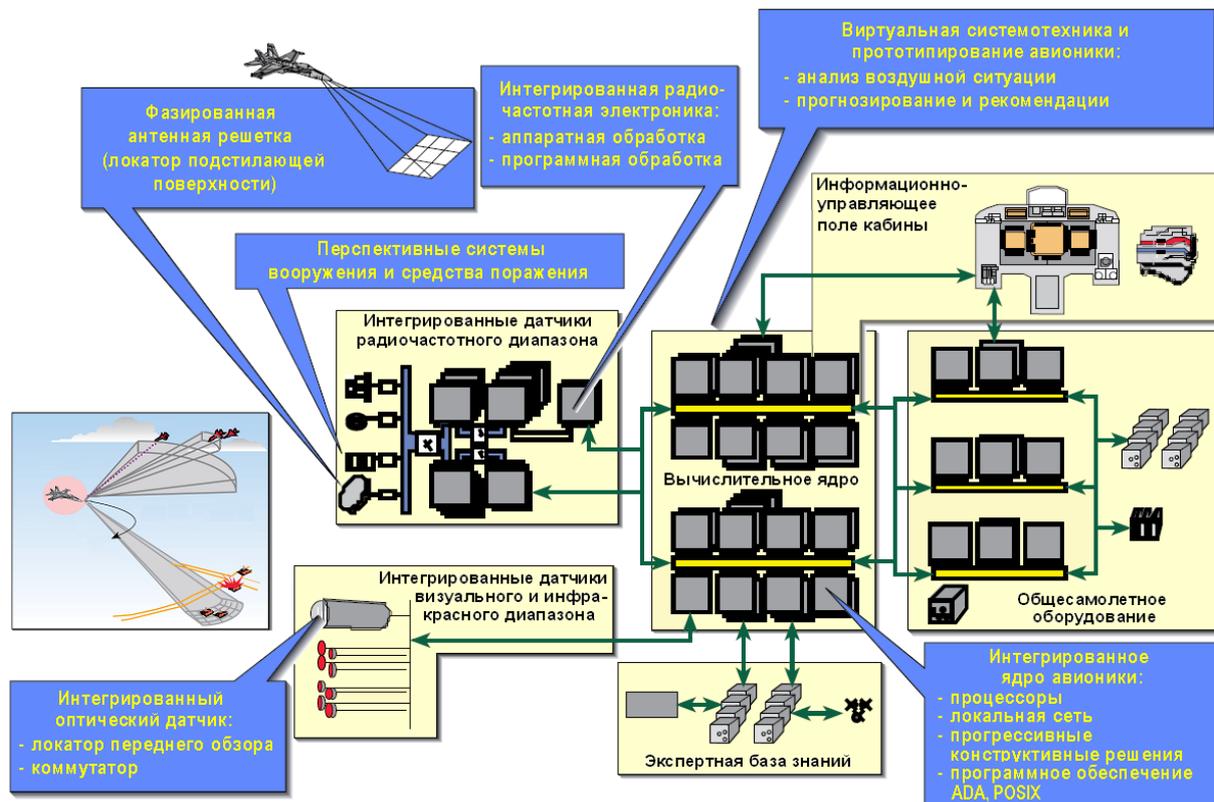


Рис. 5. Интегрированный комплекс БРЭО перспективного самолета, разработанный специалистами авиаприборостроительных предприятий в соответствии с концепцией ИМА

Как следует из анализа рис. 5, интеграции в составе ЛА подлежат система измерительных датчиков радиочастотного диапазона, система датчиков визуального и инфракрасного диапазонов частот, бортовая вычислительная система (вычислительное ядро комплекса авионики), информационно-управляющее поле кабины пилота летательного аппарата и общесамолетное оборудование.

Заключение

Подводя итоги аналитического обзора современного состояния и перспектив развития интегрированных бортовых вычислительных систем, применяемых в авиационном приборостроении, необходимо отметить, что техническую основу проектирования изделий структур ИМА сегодня составляют:

- бортовая информационная сеть сбора и распределения в реальном масштабе времени поступающей от различных датчиков информации об окружающей ЛА обстановке (датчиков переднего и заднего обзора, аэрометрических датчиков и пр.), а также информации для устройств, представляющих собой аналоговые и цифровые средства измерения, средства анализа и преобразования данных;
- семейство унифицированных цифровых вычислительных модулей обработки и передачи данных, образующих в совокупности мультимикропроцессорный суперкомпьютер, конструктивно оформленный в виде стандартного крейта (число крейтов на борту зависит от числа функциональных задач и от производительности вычислительных средств конструктивно-функциональных модулей);
- математическое, алгоритмическое и программное обеспечение, включающее операционные системы реального времени, осуществляющие функции планирования и диспетчеризации вычислений и распределения вычислительных ресурсов (при назначении ресурсов выполнение задачи осуществляется вычислительными средствами конструктивно-функциональных модулей низшего уровня).

Учитывая, что полное внедрение методологии ИМА в основы проектирования бортового радиоэлектронного оборудования – это проблема не сегодняшнего, а пока еще «завтрашнего» дня, большинство специалистов авиаприборостроительной отрасли [1, 2, 4, 5, 12, 17, 19, 22, 25–27, 29, 40, 43] склоняются к выводу, что первостепенными авиационными объектами проектирования в классе структур ИМА должны стать:

- унифицированная интегрированная вычислительная система самолетовождения с открытой архитектурой;
- интегрированная система самолетовождения и индикации;
- интегрированная система самолетовождения, индикации и управления для различных самолетов гражданской и военной авиации.

Литература

1. Воробьев А.В. Научные основы создания отказоустойчивых интегрированных вычислительных комплексов систем управления летательными аппаратами: Автореф. дисс. ... д-ра техн. наук: 05.13.05. – М.: МГИЭМ, 2010. – 32 с.
2. Джанджгава Г.И. Авионика пятого поколения: новые задачи – новая структура // Вестник авиации и космонавтики. – 2001. – № 5. – С. 8–10.
3. Джанджгава Г.И., Герасимов Г.И., Рогалев А.П., Шерман В.М., Сухоруков С.Я., Вершков В.В. Концепция создания интегрированных комплексов бортового оборудования летательных аппаратов нового поколения // Авиакосмическое приборостроение. – 2002. – № 6. – С. 38.
4. Евгенов А.В. Направления развития интегрированных комплексов бортового оборудования самолетов гражданской авиации // Авиакосмическое приборостроение. – 2003. – № 3. – С. 48–53.
5. Ефанов В.Н., Бодрунов С.Д. Открытые архитектуры в концепции авионики пятого поколения // Мир авионики. – 2004. – № 5. – С. 20–28.
6. Левин Д.Н., Пономаренко А.В., Сильвестров М.М. Концептуальный облик и особенности построения диалоговых моделирующих комплексов и действующего макета кабины для эргономического сопровождения разработки эргатического информационно-управляющего комплекса перспективного многофункционального маневренного самолета // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2009. – № 12. – С. 52–59.
7. Михайлуца К.Т., Чернышев Е.Э., Шейнин Ю.Е. Основные архитектурные концепции информационно-вычислительной среды бортового оборудования перспективных летательных аппаратов // Современные технологии извлечения и обработки информации. – СПб: Радиоавионика, 2001. – 175 с.
8. Золотарев С.В. LyncOS-178 – сертифицированная ОСРВ для интегрированной модульной авионики // Мир компьютерной автоматизации. 2006. № 5 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www/rtsoft_training.ru/?p=600071, свободный. Яз. рус. (дата обращения 08.10.2009).
9. Паркинсон П., Киннан Л. Разработка критического по безопасности ПО для интегрированной модульной авионики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.vxworks.ru/rus_safety-critical-sw-dev_wp-1107.pdf, свободный. Яз. рус. (дата обращения 27.09.2009).
10. Борисов Ю.И. Отечественная электронная промышленность и компонентная база. Перспективы развития // Электроника: НТБ. – 2006. – № 2. – С. 6–9.
11. Данилин Н.С., Белослудцев С.А. Проблемы применения современной индустриальной электронной компонентной базы иностранного производства в ракетно-космической технике // Современная электроника. – 2007. – № 7. – С. 8–12.
12. Колпаков К.М., Павлов А.М. Состояние и тенденции развития бортовых вычислительных систем перспективных летательных аппаратов. Аналитический обзор по материалам зарубежных источников / Под ред. Е.А. Федосова. – М.: ФГУП «НИИ АС», 2008. – Ч. 1. – 118 с.; Ч. 2. – 122 с.
13. Программа JSF и ее влияние на авионику боевых самолетов 5-го поколения. Аналитический обзор по материалам зарубежной печати / Под ред. Е.А. Федосова. – М.: ФГУП «НИИ АС», 2000. – 129 с.
14. Steidle Craig E. The Joint Strike Fighter Program // Johns Hopkins APL Technical Digest. – 1997. – V.18. – № 1. – P. 6–20.
15. Eveleens René L.C. Open Systems Integrated Modular Avionics – The Real Thing // Mission Systems Engineering. – Educational Notes RTO-EN-SCI-176, 2006. – Neuilly-sur-Seine, November, France: RTO. – Paper 2. – P. 2-1–2-22.
16. Stevens B., Price M. A Presentation to the Allied Standard Avionics Architecture Council Systems Working Group. – United Kingdom. 2005. July [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://assconline.co.uk/documents/BS_Slides-Systems_WG_200705.pdf, свободный. Яз. англ. (дата обращения 10.09.2010).
17. Анцев Г.В. Принципы построения бортовых информационно-управляющих систем высокоточного оружия нового поколения // Радиотехника. – 2001. – № 8. – С. 81–86.

18. Бабуров В.И., Пономаренко Б.В. Принципы интегрированной бортовой авионики. – СПб: Агентство «РДК-Принт», 2005. – 448 с.
19. Белый Ю.И. Построение комплексов БРЭО самолетов пятого поколения. Основные принципы // Аэрокосмическое приборостроение России в трудах специалистов корпорации «Аэрокосмическое оборудование» (1998–2003 гг.) / Под ред. С.Д. Бодрунова. – СПб: Изд-во ОАО «Пирометр», 2003. – Ч. 2. – С. 126–129.
20. Бражкин В.М., Герасимов Г.И. Развитие интегрированных комплексов бортового оборудования самолетов нового поколения // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2008. – № 2. – С. 24–29.
21. Джанджгава Г.И., Герасимов Г.И., Петкевичус П.Ю. Развитие интегрированных комплексов бортового оборудования навигации, управления и наведения летательных аппаратов в разработках Раменского приборостроительного конструкторского бюро // Авиакосмическое приборостроение. – 2008. – № 2. – С. 3–8.
22. Итенберг И. Интегрированная модульная электроника – новая стратегия на рынке приборостроения // Новый оборонный заказ. Стратегии. – 2010. – № 5. – С. 64–65.
23. Кофман М.М., Парамонов П.П., Сабо Ю.И. Интеграция на основе системной отказоустойчивости — перспективный путь проектирования комплексов бортового оборудования и обеспечения безопасности полетов // Авиакосмическое приборостроение. – 2005. – № 8. – С. 25–31.
24. Кофман М.М., Суров Б.И., Сабо Ю.И., Суслов В.Д., Шек-Иовсепянц Р.А. Интеграция авионики — основное направление комплексирования бортового радиоэлектронного оборудования перспективных вертолетов и самолетов // Аэрокосмическое приборостроение России в трудах специалистов корпорации «Аэрокосмическое оборудование» (1998–2003 гг.) / Под ред. С.Д. Бодрунова. – СПб: Изд-во ОАО «Пирометр», 2003. – Ч. 2. – С. 143–153.
25. Парамонов П.П. Основы проектирования авионики. – Тула: Гриф и К., 2003. – 228 с.
26. Турчак А.А. Архитектура вычислительных систем для интегрированной модульной авионики перспективных летательных аппаратов // Радиотехника. – 2001. – № 8. – С. 87–95.
27. Федосов Е.А. IMA Russian Program – Overall presentation // European and Russian Joint Avionics Forum. – Moscow, 2009. – 15 p.
28. Гатчин Ю.А., Жаринов И.О. Основы проектирования вычислительных систем интегрированной модульной авионики: монография. – М.: Машиностроение, 2010. – 224 с.
29. Павлов А.М. Принцип организации бортовых вычислительных систем перспективных летательных аппаратов // Мир компьютерной автоматизации. – 2001. – № 4 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.mka.ru/?p=41177, свободный. Яз рус. (дата обращения 25.04.2007).
30. Пятницких А. Бортовые компьютеры: варианты построения готовых систем // Современные технологии автоматизации. – 2008. – № 2. – С. 20–24.
31. Джонсон К., Леру П. Использование технологии объединения ресурсов для создания безопасных отказоустойчивых военных систем // Современные технологии автоматизации. – 2007. – № 4. – С. 72–76.
32. Буравлев А., Чельдиев М., Барыбин А., Костенко В., Тумакин Д., Петров Г. Масштабируемые мультипроцессорные вычислительные системы высокой производительности // Современные технологии автоматизации. – 2009. – № 3. – С. 72–82.
33. Беляева А.С., Путан Д.Б., Романов Д.А., Хахулин А.А. Интегрированная вычислительная среда малого космического аппарата // Авиакосмическое приборостроение. – 2008. – № 6. – С. 43–47.
34. Гобчанский О. Проблемы создания бортовых вычислительных комплексов малых космических аппаратов // Современные технологии автоматизации. – 2001. – № 4. – С. 28–34.
35. Горбачев С.В., Рождественский Д.А., Суворова Е.А., Шейнин Ю.Е. Масштабируемые архитектуры распределенных систем на технологии SpaceWire на базе платформы «МУЛЬТИКОР» // Вопросы радиоэлектроники. Сер. ОТ. – 2006. – Вып. 2. – С. 69–80.
36. Солохина Т.В., Петричкович Я.Я., Шейнин Ю.Е. Технология SpaceWire для параллельных систем и бортовых распределенных компьютеров // Электроника: НТБ. – 2006. – № 5. – С. 64–45.
37. Солохина Т.В., Петричкович Я.Я., Шейнин Ю.Е. Технология SpaceWire для параллельных систем и бортовых распределенных компьютеров // Электроника: НТБ. – 2007. – № 1. – С. 38–49.
38. Эрглис К.Э. Интерфейсы открытых систем. – М.: Горячая линия – Телеком, 2000. – 256 с.
39. Ott Alik. System Testing In The Avionics Domain: Dissertation Zur Erlangung Des Grades Einer Doktorin Der Ingenieurwissenschaften. – Germany: Universität Bremen, 2007. – 434 p.
40. Федосеев Е.П., Колпаков К.М. Бортовые вычислительные системы сквозь призму авионики 21-го века // Мехатроника, автоматизация, управление. Приложение. – 2006. – № 3. – С. 17–22.
41. Колпаков К.М. История развития бортовых цифровых вычислительных машин в России // PCweek. 1999. №32. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.pcweek.ru/year1999/№32/CP1251, свободный. Яз рус. (дата обращения 05.01.2006).
42. Жаринов И.О. Принципы построения и методы автоматизации проектирования вычислительных систем интегрированных комплексов бортового оборудования: Дисс. ... д-ра техн. наук: 05.13.12. – СПб:

- НИУ ИТМО. – 2011. – 298 с.
43. Кучерявый А.А. Бортзовые информационные системы: Курс лекций / Под ред. В.А. Мишина и Г.И. Ключева. – 2-е изд. перераб. и доп. – Ульяновск: УлГТУ, 2004. – 504 с.
 44. Севбо В., Орлов А., Лошаков А. Многопроцессорный вычислительный комплекс для задач «жесткого» реального времени // Современные технологии автоматизации. – 2007. – № 3. – С. 32–38.
 45. Жаринов О.О., Видин Б.В., Шек-Иовсепянц Р.А. Принципы построения крейта бортовой многопроцессорной вычислительной системы для авионики пятого поколения // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. – 2010. – № 4 (68). – С. 21–27.
 46. Кузнецова О.А. Оценка надежности структурно избыточных комплексов авионики с учетом среднего времени между восстановлениями при отказах // Изв. вузов. Приборостроение. – 2012. – Т. 55. – № 3. – С. 65–69.
 47. Богданов А.В., Васильев Г.А., Виноградов П.С., Егоров К.А., Зайченко А.Н., Ковернинский И.В., Петухов В.И., Романов А.Н., Смирнов Е.В., Уткин Б.В., Федосов Е.А., Шукалов А.В. Платформа интегрированной модульной авионики. Патент на полезную модель № 108868 U1 RU, МПК G06F 9/00, №2011121962/08. Заявл. 01.06.2011. Оpubл. 27.09.2011.
 48. Раменское приборостроительное конструкторское бюро. Бортзовая вычислительная станция «БВС-1». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.rpkb.ru, свободный. Яз рус. (дата обращения 05.01.2012).
 49. Егоров К.А., Итенберг И.И., Ковернинский И.В., Тимченко А.П., Федосов Е.А., Чуянов Г.А. Платформа интегрированной модульной авионики. Патент № 2413280 C1 RU, МПК G06F 9/02. №2009127190/08. Заявл. 14.07.2009. Оpubл. 27.02.2011. Бюл. № 6.
 50. Егоров К.А., Итенберг И.И., Ковернинский И.В., Тимченко А.П., Федосов Е.А., Чуянов Г.А. Платформа интегрированной модульной авионики. Патент на полезную модель №88462 C1 RU, МПК G06F 9/00. № 2009127040/22. Заявл. 14.07.2009. Оpubл. 10.11.2009.
 51. Слуцкий А., Эйсымонт Л. Российский суперкомпьютер с глобально адресуемой памятью // Открытые системы. – 2007. – № 9 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.osp.ru/os/2007/09/4569294>, свободный. Яз. рус. (дата обращения 25.09.2009).
 52. Герлих Х. Модульная система авионики самолета. Патент № 2413655 C2 RU, МПК B64C 19/00. № 2008123940/11. Заявл. 16.11.2006. Оpubл. 10.03.2011. Бюл. № 7.
 53. Абросимов О.В., Егоров К.А., Итенберг И.И., Ковальчученко А.Ф., Куликов Д.А., Сивцов С.А., Федосов Е.А., Чуянов Г.А. Базовая несущая конструкция платформы интегрированной модульной авионики. Патент на полезную модель № 106404 U1 RU, МПК G06F 1/16. № 2010129389/08. Заявл. 15.07.2010. Оpubл. 10.07.2011.
 54. Платунов В.С. Методология системных военно-научных исследований авиационных комплексов. – М.: «Дельта», 2005. – 344 с.
 55. Топорков В.В. Модели распределенных вычислений. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 320 с.
 56. Парамонов П.П., Гатчин Ю.А., Жаринов И.О., Жаринов О.О., Дейко М.С. Принципы построения отраслевой системы автоматизированного проектирования в авиационном приборостроении // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2012. – № 6 (82). – С. 111–117.
 57. Гатчин Ю.А., Жаринов И.О., Жаринов О.О. Архитектура программного обеспечения автоматизированного рабочего места разработчика бортового авиационного оборудования // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2012. – № 2 (78). – С. 140–141.
 58. Дейко М.С., Жаринов И.О. Применение симплекс-метода и метода искусственного базиса при проектировании бортового приборного оборудования // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2013. – № 1 (83). – С. 124–129.
 59. Митрофанов В., Слуцкий А., Ларионов К., Эйсымонт Л. Направления развития отечественных высокопроизводительных систем // Открытые системы. 2003. № 5. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.osp.ru/os/2003/05/183021.pdf, свободный. Яз. рус. (дата обращения 24.09.2009).
 60. Жаринов И.О., Жаринов О.О. Статистический анализ информационных процессов с повторяющимися признаками формы в электрофизиологических исследованиях и медицинском приборостроении: монография. – СПб: «Нестор-история», 2011. – 151 с.
 61. Джанджгава Г.И., Рогалев А.П., Бабиченко А.В., Сухоруков С.Я. Интегрированная динамически реконфигурируемая система комплексной обработки информации бортовых комплексов навигации, управления и наведения // Авиакосмическое приборостроение. – 2002. – № 6. – С. 8–14.
 62. Афраймович Л.Г., Прилуцкий М.Х. Многоиндексные задачи распределения ресурсов в иерархических системах // Автоматика и телемеханика. – 2006. – № 6. – С. 194–205.
 63. Богатырев В.А., Голубев И.Ю., Беззубов В.Ф. Организация межмашинного обмена в дублированных вычислительных комплексах // Изв. вузов. Приборостроение. – 2012. – Т. 55. – № 3. – С. 8–13.

64. Богатырев В.А. К распределению функциональных ресурсов в отказоустойчивых многомашинных вычислительных системах // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2001. – № 12. – С. 1–5.
65. Видин Б.В., Жаринов И.О., Жаринов О.О. Декомпозиционные методы в задачах распределения вычислительных ресурсов многомашинных комплексов бортовой авионики // Информационно-управляющие системы. – 2010. – № 1. – С. 2–5.
66. Копорский Н.С., Видин Б.В., Жаринов И.О. Организация вычислительного процесса в многомашинном бортовом вычислительном комплексе // Изв. вузов. Приборостроение. – 2006. – Т. 49. – № 6. – С. 41–50.
67. Парамонов П.П., Бобцов А.А., Видин Б.В., Жаринов И.О., Жаринов О.О., Сабо Ю.И., Шек-Иовсеянц Р.А. Проектирование систем бортового информационного обмена и их функциональных элементов: монография. – Тула: Гриф и К., 2010. – 208 с.
68. Парамонов П.П., Видин Б.В., Есин Ю.Ф., Жаринов И.О., Колесников Ю.Л., Кофман М.М., Сабо Ю.И., Шек-Иовсеянц Р.А. Теория и практика системного проектирования авионики: монография. – Тула: Гриф и К., 2010. – 365 с.
69. Сырямкин В.И., Шидловский В.С., Глушков Г.С., Лунев С.О., Бурмантов С.И. Интегрированные структурно-перестраиваемые корреляционно-экстремальные навигационные системы // Изв. вузов. Приборостроение. – 2012. – Т. 55. – № 2. – С. 51–55.

Парамонов Павел Павлович

– ФГУП «Санкт-Петербургское опытно-конструкторское бюро «Электроавтоматика» им. П.А.Ефимова», доктор технических наук, профессор, генеральный директор, postmaster@elavt.spb.ru

Жаринов Игорь Олегович

– ФГУП «Санкт-Петербургское опытно-конструкторское бюро «Электроавтоматика» им. П.А.Ефимова», доктор технических наук, доцент, руководитель учебно-научного центра, igor_rabota@pisem.net