

## **Интегрированный комплекс бортового оборудования нового поколения.**

**(Доклад на Международной конференции**

**“Авиация и космонавтика – 2003”, Москва, 3-6 ноября 2003 г.)**

К.Ф. Попович, В.П. Школин

*Рассматривается архитектура интегрированного комплекса бортового оборудования учебно-боевого самолета УБС Як-130, выполненного на основе сетевых магистрально-модульных вычислительных систем и показывается возможность его применения для легких многофункциональных боевых самолетов.*

Непрерывно возрастающие требования к современным боевым самолетам по таким важнейшим характеристикам как высокий уровень надежности, степень автоматизации полета, точность и многорежимность, многоцелевость и автоматизация применения оружия, всепогодность и применение оружия в любое время суток, а также высокая степень готовности к вылету вызывают необходимость, а современный уровень используемой элементной базы и успехи в области автоматизации проектирования создают предпосылки для создания нового поколения комплексов бортового оборудования – интегрированных комплексов радиоэлектронного оборудования с сетевой, магистрально-модульной архитектурой, все элементы которого находятся в тесном функциональном, информационном и энергетическом взаимодействии, как между собой, так и с самолетными системами и органами управления.

Таким образом, ИКБО призван объединить функции подсистем и их программно-аппаратные средства с функциями летчика-оператора (экипажа) с учетом его физиологического состояния на единой информационной основе для достижения качественно новых свойств самолета в целом с учетом ограничений на техническую реализуемость и ресурсы бортового оборудования.

Неотъемлемой и существенной частью ИКБО, определяющей его "интеллектуальные" возможности, является автоматизированная система управления (АСУ ИКБО), ядро которой составляет бортовая вычислительная система (БВС).

Основным назначением АСУ ИКБО является повышение эффективности функционирования комплекса за счет улучшения использования имеющихся ресурсов, а основные направления разработки базируются на принципах системотехнического, математического и организационно-технического характера.

Системотехнический подход к проектированию больших систем, к которым относятся ИКБО, включает в себя следующую последовательность действий:

- Анализ задач, решаемых самолетом, и на его основе определение общей структуры ИКБО;
- организацию взаимодействия между системами, подсистемами и датчиками (с учетом влияния внешней среды);
- разработка, анализ и синтез алгоритмов функционирования и определение интенсивности информационных потоков;
- разработку структур систем, подсистем и датчиков;
- оптимизацию структуры и алгоритмов в целом.

Исследования по определению перечня задач ИКБО перспективного учебно-тренировочного и учебно-боевого самолета (УБС) показали, что бортовое радиоэлектронное оборудование УБС Як-130 должно обеспечивать решение следующих основных задач:

- непрерывное автоматическое определение и индикацию основных параметров движения самолета (высота, скорость, пространственное положение, текущие координаты и др.);
- выработка сигналов управления самолетом при заходе на посадку и автоматизированную посадку;
- отображение основной пилотажно-навигационной, командной и прицельной информации на лобовом стекле передней кабины и электронных индикаторах обеих кабин;
- отработка элементов специальных задач, ведения боевых действий по воздушным, наземным и надводным целям;
- имитация использования и использование ракет "воздух-поверхность" и "воздух-воздух" с различными головками и системами наведения, бомбометание и стрельба;
- имитация применения и использование реальных средств бортовых комплексов обороны;
- имитация обстановки для отработки задач перехвата воздушных целей, применяющих радиопротиводействие в сочетании с различными видами маневра;
- сигнализация об отказах авиационной техники и выработка рекомендаций по действиям экипажа;
- автоматизированный контроль состояния основных систем самолета, а также поиск неисправностей с глубиной до сменного блока;
- надежная двухсторонняя радиосвязь между членами экипажа, с наземными радиостанциями и другими самолетами, документирование переговоров экипажа;
- объективный контроль действий экипажа при выполнении учебных задач;
- обеспечение электропитанием систем и оборудования самолета;
- применение подвешеного вооружения.

Анализ задач, решаемых БРЭО УБС Як-130 позволяет выявить определенные функциональные особенности комплекса:

- пилотажно-навигационные задачи, задачи радиосвязи, контроля и отображения информации обладают непосредственной физической базой реализации в навигационно-пилотажных системах, радиосвязном оборудовании, оборудовании контроля и информационно-управляющего поля кабины, в то время как для задач учебно-боевых действий, имитации тактической обстановки и имитации применения оружия и комплексов обороны необходима программная среда реализации;
- объемы задач учебно-боевых действий, имитации тактической обстановки и имитации применения оружия существенны и сопоставимы с объемом боевых задач современного маневренного истребителя, а для их реализации потребуются значительный потенциал, которым обладают БЦВМ верхнего уровня бортовых комплексов современных истребителей.

При разработке архитектуры ИКБО нового поколения учитывалось, что теоретические основы построения отказоустойчивых сетевых бортовых систем достаточно подробно проработаны [1] и имеется положительный опыт использования в гражданской и военной авиации мультиплексных каналов, выполненных по ГОСТ 26765.52-87. и радиально-последовательных каналов, выполненных по ГОСТ 18977-79 [2].

Комплексование БРЭО УБС Як-130 выполняется на основе автоматизированной системы управления полетом и учебно-боевыми действиями (АСУ П-УБД). Ядром АСУ П-УБД является БЦВС АСУ П-УБД, построенная в виде двухмашинного контура, вычислители которого БЦВМ1/1 и БЦВМ1/2 связаны параллельным межмашинным каналом по ГОСТ 26765.51-86 для функций резервирования (Рис. 1).

Система информационного обмена разделена на три независимых мультиплексных канала информационного обмена, один из которых является каналом системы управления вооружения МКИО (СУВ) и предназначен для подключения к бортовой вычислительной системе системы управления оружием и обзорно-прицельных систем, второй канал является каналом автоматизированной системы управления (МКИО ПНК и ОСО) самолетом и предназначен для подключения к бортовой вычислительной системе инерциальной системы, радиотехнической системы ближней навигации и посадки, радиовысотомера, бортовой системы объективного контроля, ответчика системы управления воздушным движением и государственного опознавания, комплексной системы управления, комплексной системы аварийного покидания самолета, системы управления общесамолетным оборудованием, электронной системы управления силовой установки, а третий канал МКИО СОИ является каналом комплексной системы управления электронной индикации, управления и прицеливания и предназначен для подключения к бортовой

вычислительной системе электронных многофункциональных индикаторов, многофункциональных пультов управления и прицельно-пилотажного индикатора.

Для МКИО ПНК и ОСО функцию контроллера выполняет БЦВМ 1/1, а в случае отказа резервную функцию контроллера выполняет БЦВМ1/2. В случае отказа обоих БЦВМ1/1 и 1/2 функции резервных контроллеров, в ограниченном объеме, выполняет БЦВМ системы управления общесамолетным оборудованием.

Для МКИО КСЕИУ функцию контроллера шины выполняет БЦВМ1/1, а в случае отказа резервную функцию контроллера выполняет БЦВМ1/2. В случае отказа обоих БЦВМ1/1 и 1/2 передачу информации на многофункциональные индикаторы (МФЦИ) обеспечивает одна из БЦВМ системы управления общесамолетным оборудованием. В этом случае передача информации обеспечивается по цифровым каналам, соответствующим стандарту ГОСТ 18977-79 и РТМ 1495-75 (аналог ARING 429), проложенным между БЦВМ СУ ОСО и МФЦИ. Для МКИО СУВ функцию контроллера выполняет БЦВМ 1/2, а в случае отказа ее функции выполняет БЦВМ 1/1 [3].

Система информационного обмена работает под управлением БЦВС АСУ и обеспечивает централизацию управления режимами, вычислительными процессами и потоками информации, контроль правильности функционирования бортового оборудования и возможность реконфигурации при отказах.

Рассмотрим подробнее структурную схему ИК БРЭО перспективного легкого многоцелевого самолета, которая отличается от ИК БРЭО УБС составом системы управления вооружением (СУВ) и степенью интеграции подсистем связи, навигации и обороны (Рис. 2).

В состав бортовой автоматизированной системы управления (БАСУ) входят: бортовая цифровая вычислительная система (БЦВС) 1 с бортовыми цифровыми вычислительными машинами 2,3; внешнее запоминающее устройство (ВЗУ) 4; комплексная система электронной индикации (КСЭИ), включающая прицельно-пилотажный индикатор (ППИ) 5, многофункциональные цифровые индикаторы (МФЦИ) 6-8, многофункциональные пульты управления (МФПУ) 9, блок коммутации телевизионных сигналов (БКТС) 10; речевая информационно-управляющая система (РИУС) 11; система ввода информации (СВИ) 12; наשלменная единая система визуализации и целеуказания (НСЦ) 13; системные мультиплексные каналы информационного обмена (СМКИО) 14-16.

В состав пилотажно-навигационного комплекса входят: бесплатформенная инерциальная навигационная система (БИНС), интегрированная со спутниковой навигационной системой 17, 18; радиотехническая система ближней навигации и посадки (РСБН) 19; автоматический радиокompас (АРК) 20; маркерный радиоприемник (МРП) 21; ответчик госопознания, интегрированный с самолетным ответчиком управления воздушным движением (ОГО и УВД) 22; радиовысотомер

(РВМ) 24; комплексная система управления самолетом (КСУ = САУ + СДУ) 23, включающая систему автоматического управления (САУ) и систему дистанционного управления (СДУ); цифровые резервированные вычислители; блоки питания, а также: электрогидравлические рулевые привода поверхностей управления; датчики угловых скоростей; датчики линейных ускорений; датчики положения резервированные; датчики ПВД; приемники температуры торможения и ручка управления самолетом.

Бортовой радиоэлектронный комплекс (БРЭК) 25 содержит: радиолокационный прицельный комплекс (РЛПК), в который входят: радиолокационная станция (РЛС) переднего обзора 26 и заднего обзора 27, бортовая цифровая вычислительная система (БЦВС) 28 и оптико-электронный прицельный комплекс (ОЭПК) 29.

В состав ОЭПК входят: оптико-электронная прицельная система (ОЭПС) передней полусферы 30, обзорно-следающий тепловизор (ОСТП) задней полусферы 31, малогабаритная тепловизионная система (ТПС) 32; обнаружитель лазерного пятна 33; запросчик государственного опознавания (ЗГО) 34 и локальный мультиплексный канал информационного обмена (ЛМКИО) 35.

Бортовой комплекс обороны (БКО) 36 содержит: станцию предупреждения о лазерном облучении типа (СПЛО) 42 и технические средства постановки объемно-поглощающих завес (ОПЗ) и объемно-детонирующих систем (ОДС) 43.

Интегрированный бортовой комплекс связи и наведения (ИБКС) 44 включает в себя: модуль радиотехнической связи в МВ-ДМВ диапазоне 45; модуль ГЛК связи в МВ-ДМВ диапазоне 46; модуль спутниковой связи 47; аппаратура внутренней связи и коммутации (АВСК) 50; специализированный цифровой вычислитель (СЦВ) 51 и локальный мультиплексный канал информационного обмена (ЛМКИО) 52.

Система управления оружием (СУО) 53 содержит: бортовую цифровую вычислительную машину (БЦВМ) 54; локальный мультиплексный канал информационного обмена 55; блоки сопряжения с ЛМКИО (ОУ СУО) 56; блоки исполнительные (БИ) 57, устройства выброса пороховых патронов (УВ) 58.

Система управления общесамолетным оборудованием (СУ ОСО) 59 с исполнительными (БИ) блоками.

Система объективного контроля (СОК) 60 содержит: бортовое устройство регистрации (БУР) 61 в составе:

- блок сбора и обработки цифровой и параметрической информации (БСПИ);
- защищенный бортовой накопитель (СБН);
- эксплуатационный бортовой накопитель (ЭБН) и

телевизионную систему объективного контроля (Т-СОК) 62.

Система управления силовой установкой (СУ СУ) состоит из системы автоматического управления и контроля силовой установки (САУ СУ) 63, 64 и малоходовой ручки управления двигателем (РУД).

В состав ИКБО входят также: комплекс средств аварийного покидания самолета (КСАПС) 65, система электроснабжения (СЭС) 66, генератор на ВСУ 67 и бортовые панели техобслуживания 68.

Система информационного обмена НКБО ЛМЦС является двухуровневой, т.е. содержит глобальные межсистемные каналы МКИО-КСЕИ, МКИО ПНК и ОСО и МКИО СУВ, а также локальные (внутрисистемные) каналы ЛМКИО, функционирование которых определяется межсистемными соглашениями, определяющими адресацию, ядро команд, информационный процесс, стратегию контроля и диагностики, и частными протоколами информационного обмена, отражающими специфические особенности внутрисистемных информационных взаимодействий [4].

Сохранение единой логической организации в рамках ГОСТа 26785.52-87 для межсистемных и локальных каналов позволит использовать имеющиеся разработки по элементной базе Российской фирмы ЭЛКУС и тем самым сократить сроки разработки МКИО ИКБО в целом.

Архитектура ИКБО ЛМЦС являясь открытой и прозрачной, позволяет наращивать состав бортового оборудования, состав вооружения и варьировать комплектацией прицельной системы с минимальными доработками аппаратурной части и соответствующими доработками модульной структуры программного обеспечения БЦВС и СУВ.

В ИК БРЭО предусмотрена алгоритмическая реализация системы "электронный летчик" с применением методов искусственного интеллекта и принципов построения экспертных систем, помогающих летчику в принятии решений при управлении самолетом и оружием в типовых боевых ситуациях. Система обеспечивает решение задач в реальном масштабе времени с возможностями активного управления самолетом и его системами в интересах решения следующих задач:

- накопления данных об обстановке, синтез обстановки на основе разнохарактерной информации с последующим анализом в реальном масштабе времени;
- выбора оптимальной траектории для облета зон ПВО противника;
- классификации и выбора целей;
- определения количества одновременно обстреливаемых целей, последовательности и наряда расходуемых средств поражения;
- оптимального применения средств обнаружения и средств радиоэлектронного подавления;
- определения взаимодействия и распределение функций между самолетами группы;
- организации управления режимами работы комплексов, входящих в ИК БРЭО;

– контроля работы ИК БРЭО и т.д.

Следует отметить, что проработка вариантов и степени автоматизации управления перспективных ЛМЦС и алгоритмов деятельности летчика неразрывно связана с внедрением новых концепций построения информационно-управляющих полей на рабочих местах членов летных экипажей, предусматривающих создание летчику комфортных условий для сознательного контроля ситуации и собственных действий, а также оперативного его включения в контур управления.

Внедрение многофункциональных средств отображения информации и органов управления потребовало изменения принципа «каждой бортовой системе свой индикатор (группа индикаторов) и орган управления (группа органов управления)», применяемый на самолетах третьего поколения, на современный принцип «интеграции средств отображения информации и органов управления, меняющих свою функцию по определенному замыслу, в информационно-управляющие поля».

Поэтому, индикационное обеспечение пилотажно-навигационных режимов, контроля работы общесамолетного оборудования и боевого применения реализовано с помощью трех МФЦИ на жидко-кристаллической матрице, КАИ 8, МФПУ 9, которые объединены в единую интегральную систему информации с управляющей БЦВМ мультиплексным и радиальными каналами информационного обмена, что позволяет не только предъявлять возрастающий объем информации от различных средств на ограниченной площади приборной доски, но и оптимизировать условия для восприятия количественной приборной и естественной внекабинной информации, повысить ее наглядность. Связь МФЦИ, КАИ и МФПУ с резервной управляющей БЦВМ осуществлена также резервными радиальными каналами информационного обмена, выполненным по ГОСТ 18977-78.

В целях повышения живучести два из МФЦИ 6-8 и управляющая БЦВМ подключены к системе энергоснабжения по первой категории, т.е., как уже указывалось, запитываются от аккумуляторной батареи и выпрямительных устройств генератора переменного тока, основной или вспомогательной силовых установок [4].

Принцип взаимозаменяемости индикаторов позволяет при отказе одного из МФЦИ обеспечить практически полный объем информации для выполнения пилотажно-навигационной задачи, а для случая отказа двух из трех МФЦИ 5-7 разработан специальный информационный кадр "аварийный", обеспечивающий выдачу минимальной пилотажно-навигационной информации на одном не отказавшем МФЦИ, необходимой для безопасного пилотирования.

Отказ от применения основных и резервных электромеханических приборов позволил рационально использовать площадь приборной доски и уменьшить при этом степень насыщенности информацией оперативное поле восприятия (Рис. 3).

Контроль ИКБО базируется на встроенных средствах контроля (ВСК), заложенных в оборудовании и позволяет определить техническое состояние элементов и комплекса в целом.

Основными задачами проведения контроля являются:

- автоматизированный встроенный контроль бортового оборудования и вооружения самолета в полете и при техническом обслуживании;
- формирование на УИП информации о результатах встроенного контроля, информирование летчика о состоянии АСП и их готовности к применению;
- подготовка информации и выдача ее в аппаратуру регистрации, оповещения и документирования для проведения объективного контроля и экспресс анализа работоспособности систем и качества действий летчика при выполнении полетного задания.

Автоматизированный встроенный контроль в полете и при техническом обслуживании в целом осуществляется с помощью вычислительных средств БЦВС, которая анализирует текущее состояние систем БРЭО, а также учитывает отказы, которые происходили ранее, что позволяет проводить оценку состояния оборудования и выполнять его прогнозирование.

Предусмотрено два режима встроенного контроля; расширенный тест-контроль и текущий тест-контроль. При расширенном тест-контроле системы выполняется тест, позволяющий проконтролировать в максимально возможном объеме состояние ее ресурсов. Этот контроль проводится в наземных условиях при включении БЦВС с выдачей результатов контроля на один из экранов КСЕИ. Расширенный тест-контроль также проводится по сигналу "Автономный контроль" при проверке КБО в целом.

Текущий контроль выполняется постоянно во всех штатных режимах работы ИКБО, то есть при решении любых функциональных задач в полете.

Автономный контроль состояния составных частей ИКБО осуществляется с помощью программных и аппаратных средств, позволяющих осуществить максимально возможную глубину контроля каждой отдельной системы. В первую очередь средствами контроля охватываются наиболее важные узлы и устройства, а также узлы с пониженной надежностью.

Анализируя результаты ВСК, получаемые от абонентов, БЦВС формирует информацию о техническом состоянии комплекса для каждого канала СИО на данный момент времени, определяет техническое состояние комплекса с учетом отказов и неисправностей, имевших место ранее, информация о которых хранится в БЦВС.

Важным компонентом жизненного цикла ИКБО является грамотная стратегия технического обслуживания, целью которой является управление техническим состоянием системы в течение срока службы или ресурса до списания отдельных компонентов и системы в целом, позволяющее обеспечить заданный уровень готовности к использованию по назначению и

работоспособность в процессе эксплуатации, минимальные трудозатраты и средства на выполнение технического обслуживания и ремонта.

В БАСУ и ИКВО системы, назначение которых наиболее важно для выполнения полетного задания, охвачены техническим обслуживанием по состоянию, что позволяет прогнозировать состояние ИКВО и предоставляет возможность эксплуатации на аэродромах в отрыве от основной базы. Эксплуатация ИКВО проводится с минимально необходимым количеством средств наземного обслуживания и минимумом доступа к бортовому оборудованию, а при необходимости и без них.

Контроль технического состояния БАСУ при эксплуатации и техническом обслуживании обеспечивается средствами встроенного контроля, без использования наземных средств, а надежность систем и структурное построение ИКВО обеспечивают эксплуатацию до предотказного состояния.

Таким образом, магистрально-модульная архитектура перспективного ИК БРЭО предоставляет возможность в сжатые сроки создать комплексы бортового оборудования перспективных легких многоцелевых самолетов с приемлемыми массо-габаритными характеристиками на основе современных достижений отечественных оборонных предприятий.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.**

1. Белоусов Ю.А. Отказоустойчивые бортовые вычислительные системы. Вопросы построения аппаратной части. // Авиакосмическое приборостроение. - 2003, №3. - с. 18-23.
  2. Демченко О.Ф., Попович К.Ф., Школин В.П. и др. Интегрированный комплекс бортового оборудования с легкого учебно-боевого самолета. Патент РФ RU № 2203200 С1 МПК 7В64С30/00 от 27.04.03 по заявке 2002121126/28 от 08.08.02 - Оpubл. 27.04.03, Бюл. № 12.
  3. Демченко О.Ф., Попович К.Ф., Школин В.П. и др. Комплекс бортового радиоэлектронного оборудования легкого многоцелевого самолета. Патент РФ RU № 2215668 С1 МПК 7С13/00, В64/Д45/00 от 10.11.03 по заявке 2002129948/28 от 11.11.02 - Оpubл. 10.11.03, Бюл. № 31.
  4. Демченко О.Ф., Попович К.Ф., Школин В.П. и др. Комплексная система электронной индикации легкого многоцелевого самолета. Патент РФ RU № 2219108 С1 МПК 7В64Д45/00, G01Д7/00, G06F17/40, от 20.12.03 по заявке 2002129949/11 от 11.11.02 - Оpubл. 20.12.03, Бюл. № 35.
-

## **СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ**

*Попович Константин Федорович, Главный конструктор ОКБ им. А.С. Яковлева, к.т.н.*

*Шолин Владимир Петрович, заместитель Главного конструктора ОКБ им. А.С. Яковлева, д.т.н.*



## ПРИБОРНАЯ ДОСКА И ПУЛЬТЫ КАБИНЫ



Рис 3