

# Цифровые вычислительные устройства и микропроцессоры приборных комплексов

## Бортовые компьютеры

**Соловьёв Сергей Юрьевич**, канд. техн. наук, доцент кафедры 303  
**Ушаков Андрей Николаевич**, ассистент кафедры 303

# Бортовые компьютеры

---

- См. прилагаемые материалы по теме лекции.

# Требования к характеристикам перспективных ЛА

- Наступившие XXI столетие и третье тысячелетие все настойчивее ставят вопрос: какие летательные аппараты (ЛА) истребительной авиации обеспечат превосходство в воздухе? На поставленный вопрос следует однозначный ответ ими станут истребители следующего, 5-го поколения, реактивной эры авиации. Провести четкую грань между поколениями ЛА трудно и не всегда возможно. Да и сама смена поколений процесс довольно медленный. Но в итоге всегда наступает момент, когда ни один новый самолет предыдущего поколения не находит сбыта на рынке.
- Среди большинства специалистов по самолетостроению распространено мнение: формула главных качеств тактического истребителя 5-го поколения должна выглядеть как "5С" = "стремительность" + "скрытность" + "супервозможности" + "самозащита" + "системность". (указанные составляющие учитывают лишь главные, но далеко не все необходимые новые качества этого истребителя). В числе составляющих этой формулы такие абсолютно необходимые для современного истребителя качества, как всепогодность действий, способность выполнять различные задачи днем и ночью, на фоне земли и т.д., все они стали нормой еще в предыдущих поколениях, в первую очередь, благодаря современным характеристикам информационных датчиков функционального оборудования для различных диапазонов апертур (радиолокационного, оптического). Указанные выше главные качественные характеристики перспективного ЛА могут быть расшифрованы следующим образом.

# Требования к характеристикам перспективных ЛА

- Стремительность совокупность, в первую очередь, летных качеств истребителя: скорости полета, максимума достигаемой высоты, маневренности. Данный термин гораздо более полно обобщает характеристики летных качеств тактических ЛА 5-го поколения, чем просто скорость.
- Скрытность не только малозаметность истребителя как цели для радиолокационных средств противника, но и затруднения возможности обнаружения средствами радиоразведки излучаемых бортовыми системами самолета радиолокационных и радиосигналов.
- Супервозможности многофункциональность, возможность выполнения истребителем самых разных функций и боевых задач, не только по завоеванию превосходства в воздухе, но и по нанесению ударов по наземным и надводным целям; по выполнению задач разведывательного характера и тому подобные действия.

# Требования к характеристикам перспективных ЛА

- Самозащита способность обнаруживать облучение самого себя (истребителя) радарными и активными головками самонаведения ракет противника и создавать для них мощные радиопомехи, способность обнаруживать атакующие (в том числе и сзади самого себя) самолеты и ракеты противника и защищаться от них, используя противоракетный маневр, применяя пассивные радиолокационные диполи, тепловые (инфракрасные) ловушки либо уничтожая их имеющимся на борту оружием.
- Системность. Управлять одному человеку-пилоту столь сложным комплексом бортового оборудования (КБО) было бы невозможно без подчинения всех бортовых функциональных подсистем управляющей бортовой вычислительной системе (БВС), способной реализовать элементы искусственного интеллекта в виде подсказок для принятия правильных решений. Она обрабатывает поступающую информацию, систематизирует ее и в приемлемой, графической форме выдает летчику.
- Таким образом, одной из глобальных проблем построения КБО ЛА нового поколения является определение и обоснование основополагающих концепций организации перспективных БВС для ЛА следующего поколения.

## Организация вычислительных систем современных ЛА

- Необходимо отметить, что за рубежом последние 10-20 лет характеризуются завершением крупных научно-технических программ (DAIS, PAVE PILLAR и другие), которые в конечном итоге регламентировали принципы организации территориально-распределенной неоднородной многомашинной БВС с "фиксированным" распределением реализуемых задач с определенными возможностями к ее реконфигурации на аппаратном уровне. Для объединения элементов многомашинной БВС используются стандартные цифровые соединения на основе специализированных технологий информационного обмена с использованием централизованного или децентрализованного методов доступа (MIL-STD-1553B, STANAG3910, AS4074, AS4075).

# Организация вычислительных систем современных ЛА



## Основные зарубежные научно-технические программы

# Организация вычислительных систем современных ЛА

- Основные преимущества, которые обеспечиваются федеративно-централизованной организацией БВС с системной ориентацией, следующие:
  - КБО определяется как сложная территориально распределенная система, состоящая из отдельных функциональных подсистем, связанных между собой стандартными информационными соединениями;
  - разработка отдельных функциональных подсистем КБО осуществляется большей частью автономно различными фирмами-подрядчиками, а последующее их комплексирование обеспечивает функциональную интеграцию КБО в целом во всех режимах его эксплуатации;
  - процесс обработки информации распараллеливается во времени в неоднородных по своей организации и характеристикам вычислительных средствах;
  - разрабатываемое программное обеспечение имеет модульную организацию;
  - обеспечивается возможность реконфигурации структуры в случае возникновения отказов в вычислительных средствах или функциональном оборудовании КБО;
  - обеспечивается возможность модернизации и наращивания числа функциональных подсистем КБО практически без изменения топологии физических соединений на межсистемном (внутриобъектовом уровне).

## Организация вычислительных систем современных ЛА

- Последнее положение особенно важно, так как по оценкам зарубежных специалистов в ходе жизненного цикла эксплуатации современного авиационного комплекса часто приходится производить несколько модернизаций его КБО.
- Кроме того, в результате выполнения данных программ научных исследований был получен ответ на глобальный вопрос о возможности повышения эффективности и качества функционирования КБО и одновременно при этом, не усложняя его архитектуру, повысить надежность его функционирования, снизить стоимость технического обслуживания. Вместе с тем сохраняется обязательность требований к возможностям модификации и масштабируемости (модульном наращивании) КБО, т.е. добавления в его состав новых подсистем, которые могли бы быть разработаны в будущем, что должно происходить с минимальными затратами.

# Организация вычислительных систем современных ЛА

- Искомое решение сформировалось не столько в области повышения технических характеристик, качества и эффективности функционирования отдельных элементов КБО, сколько в области поиска новых концепций и возможных подходов к разработке архитектур КБО для перспективных ЛА, на основе следующих постулатов:
  - функциональный анализ подсистем бортового оборудования показал, что может быть сформировано семейство устройств, получивших название унифицированных модулей (common modules), с помощью которых может быть реализовано более 90% программируемых и аппаратных функций КБО, при этом проводится линия их глубокой унификации;
  - современный уровень развития электронных технологий позволяет реализовать отдельный общий модуль в виде одной или нескольких СБИС, а вычислительные средства функциональных подсистем могут реализоваться из той или иной совокупности общих модулей; те функции, которые не покрываются семейством общих модулей, реализуются посредством специализированных устройств, но таких специализированных модулей немного;

# Организация вычислительных систем современных ЛА

- программное обеспечение КБО необходимо продолжать строить по модульному принципу из общих и специализированных программных модулей;
- техническое обслуживание организуется на основе сменных блоков LRU (Line Replacable Unit), при этом в качестве единицы "физической" архитектуры был выбран общий унифицированный модуль, который, таким образом, одновременно и является LRU;
- помимо введенных выше различий функциональной и конструктивной архитектур КБО, на системном уровне предлагается также рассматривать еще и информационную архитектуру, а также архитектуру управления.

# Организация вычислительных систем современных ЛА

- Архитектурная организации управления современными КБО включает четыре иерархических уровня:
  - общесистемный уровень (принятие системного решения летчиком);
  - уровень взаимосвязанных функциональных подсистем;
  - уровень датчиков и исполнительных органов;
  - уровень обработки информации от подвижных авиационных подвешиваемых изделий.
- При данном подходе к организации КБО летчик вместо функций "координатора" и "интегратора" взаимодействия различных подсистем реализует функции "системного управления", которые определяют лишь основные цели функционирования всей системы и ограничения, а их реализацию на нижнем уровне осуществляет система управления, основу которой составляет БВС. Управляющая БВС ориентирована на принятие сотен решений исполнительного уровня, возлагая на лётчика принятие лишь самых ответственных, системных решений на уровне КБО в целом.

- Регламентируемые концепции информационной архитектуры задают уровни и характер информационных связей (интерфейсов) между общими модулями внутри КБО (внутриобъектовые межсистемные связи). В соответствии с программой PAVE PILLAR в КБО реализуются трехуровневые иерархические информационные соединения:
  - высокоскоростные локальные информационные связи между информационными датчиками и модулями специализированных процессоров;
  - межмодульный (региональный) интерфейс, обеспечивающий соединения общих модулей между собой в пределах одной функциональной подсистемы или элемента обработки информации БВС;
  - межсистемные (глобальные внутриобъектовые) соединения, обеспечивающие взаимные связи в пределах единого КБО.

- В общем, необходимо отметить, что авиационные БВС современных КБО, находящиеся в эксплуатации, имеют системно-ориентированную детерминированную структурную организацию. Вычислительный ресурс этих БВС регулярно распределен между информационными каналами КБО посредством организации отдельных подсистем, причем перераспределение задач между подсистемами при построении КБО на системном уровне не предусматривается, что не обеспечивают достаточной и гибкой интеграции бортового оборудования. Обычно реализуется лишь дублирование наиболее важных задач, решаемых вычислительными средствами верхнего уровня. Процесс совершенствования характеристик КБО и его БВС не может также постоянно продолжаться посредством наращивания количества используемых неоднородных ЭВМ даже при одновременном совершенствовании их технических характеристик.

- Кроме того, невозможна полномасштабная адекватная адаптация функциональных ресурсов БВС к различным ситуационным изменениям внешней обстановки. Настоящее положение объясняется, в частности, исторической, и правомерной для своего времени, ориентацией на применение физических магистральных соединений. При этом возможность программного управления потоками информации (программная коммутация) не полностью реализуется в архитектурах современных распределенных КБО. На рубеже 90-х годов ресурсы подобных БВС оказываются недостаточными в части эффективности организации управления КБО при изменениях внешней обстановки. Для таких БВС характерно нерациональное использование ресурсов СВТ, что, как следствие, приводит к неоправданно высоким габаритно-весовым и энергетическим характеристикам. Их основные качества, принципиально изменившие в свое время подходы к комплексированию бортового оборудования и стимулировавшие развитие цифровой авионики, перестали отвечать постоянно возрастающим требованиям к КБО ЛА.

# Характеристики авионики перспективных ЛА

- Развитие КБО характеризуется постоянным увеличением числа решаемых задач и повышением их сложности, расширением интеллектуальных и адаптивных возможностей комплекса.
- Основные отличительные качества КБО самолетов нового поколения это, прежде всего, развитая архитектура и интеллект, обеспечивающие высокую информационную поддержку выполнения полетного задания и высокий уровень автоматизации управления ЛА на всех этапах полета.
- Комплекс бортового оборудования нового поколения должен функционировать в условиях усложнения тактической обстановки и повышения динамики ее изменения.

Функциональная организация КБО перспективных ЛА следующего поколения должна обеспечивать такие параметры, как:

- высокая информационная поддержка при выполнении полетного задания, при одновременном снижении психологической нагрузки на экипаж;
- работоспособность в условиях усложнения тактической обстановки и повышения динамики ее изменения;
- уменьшение времени принятия решений при многокритериальности выбора оптимального варианта решения;
- эволюционность и адаптируемость функционального потенциала к различным типам ЛА, возможность проведения архитектурной модернизации;
- высокая эксплуатационная пригодность и надежность выполнения полетного задания при приемлемой стоимости эксплуатации.

- Основная концепция авионики в перспективных ЛА основана на интеграции информационных датчиков всех бортовых подсистем с целью формирования объективной реальной картины внешней обстановки для обеспечения ситуационной уверенности поведения, а также для вывода результирующей информации на индикаторы развитого по своим характеристикам информационно-управляющего поля (ИУП). В этом случае экипаж следит за бортовой информацией, а система сама производит подключение необходимых датчиков, чтобы ответить на вопросы летчика. В отличие от предыдущих КБО электронная аппаратура перспективных ЛА отражает комплексный подход более высокого уровня, благодаря которому авионика автоматически управляет датчиками, освобождая от этой задачи летчика.

- Предполагается, что ПО интегрированной авионики будет осуществлять следующие основные функции:
  - управление течением процесса выполнения боевой задачи;
  - обеспечение управления навигацией, интерфейсом "летчик ЛА", пусками АПИ и траекторией полета ЛА;
  - объединение и ранжирование информации о сопровождаемых целях;
  - выполнение функции сенсорного управления всеми бортовыми датчиками информационных каналов.

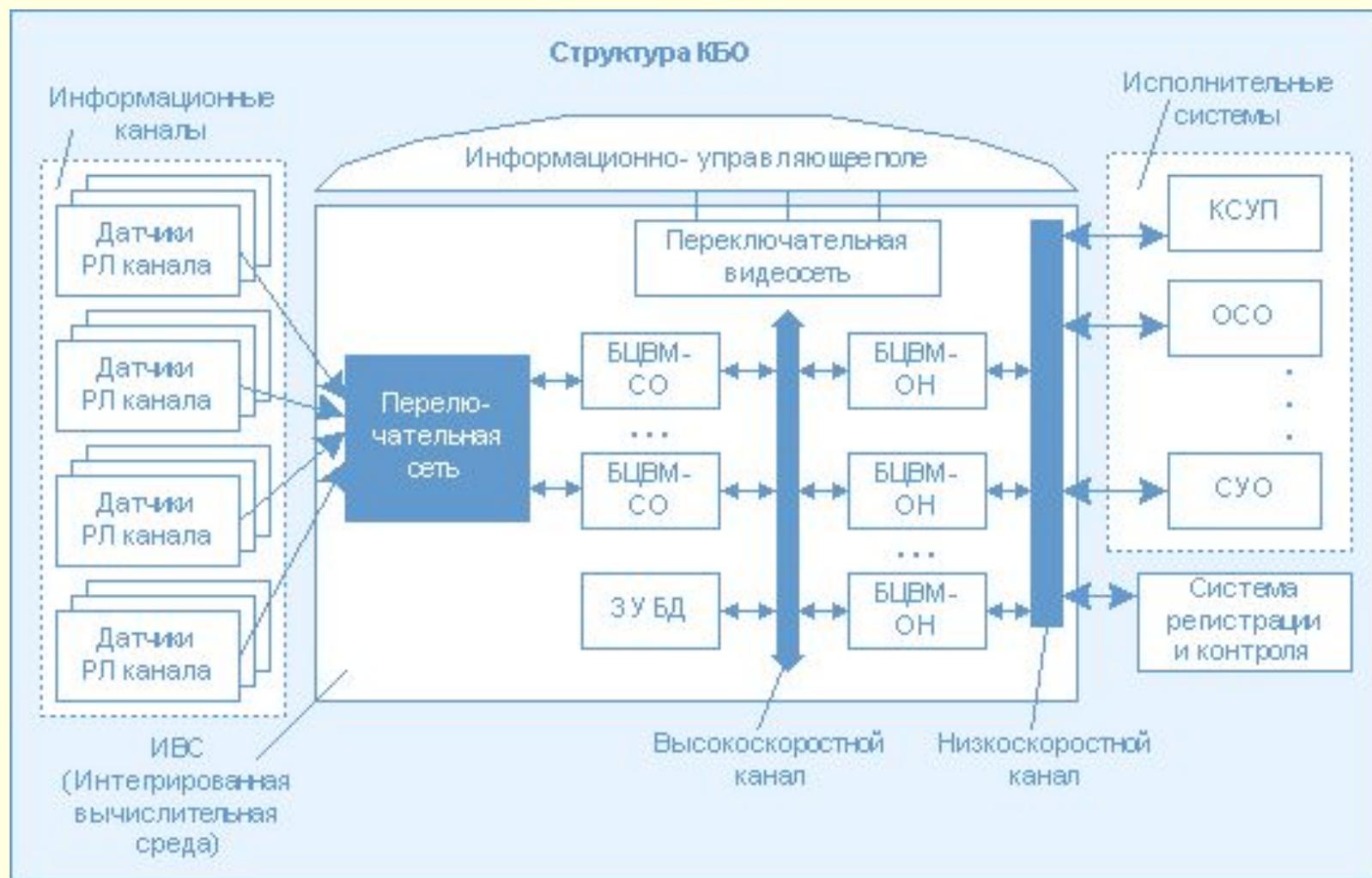
- Проведенный анализ показал, что подобные системно-ориентированные БВС, вычислительный потенциал (ресурс) которых четко распределен для реализации задач различных функциональных подсистем авионики, являются "жестко" детерминированными и принципиально не могут обеспечить для КБО ЛА следующего поколения определенных выше требуемых концептуальных качеств. Новый подход к организации архитектуры БВС определяется совершенно новой концепцией организации перспективной авионики.

- К концептуальным особенностям технологии проектирования БВС нового поколения относятся:
  - открытость и адаптивность архитектуры БВС к различным применениям;
  - глубокая унификация и стандартизация всех аппаратно-программных компонентов БВС на основе широкого использования базовых коммерческих COTS технологий;
  - глубокая функциональная и аппаратная интеграция;
  - высокий уровень технологичности процесса разработки БВС, в том числе аппаратных средств СИО;
  - введение ограничений на совокупную стоимость авионики в широком смысле.

- Концепция открытости архитектуры бортовых СВТ базируется на основе использования ограниченного набора унифицированных функциональных модулей средств обработки и передачи информации, что позволяет создавать масштабируемые БВС с широким спектром функциональных характеристик.
- Концепция глубокой унификации и стандартизации обеспечивает снижение затрат и сокращение сроков как разработки, так и последующих модернизаций КБО.
- Концепция аппаратной интеграции позволяет построить единую ИВС, которая обеспечит глубокую функциональную интеграцию и независимость программ от используемых аппаратных средств, обеспечит расширение функциональных возможностей КБО на основе комплексной обработки информации, возможность концентрации ресурсов вычислительной среды для выполнения наиболее важных функций и повышение надежности и живучести комплекса за счет реконфигурации структуры ИВС.
- Концепция высокой технологичности, поддерживаемая новейшими технологиями, обеспечит внедрение автоматизации в процессы проектирования и разработки БВС и ПО, снижение технического риска при создании БВС и КБО, а так же сокращение затрат на техобслуживание и эксплуатацию.

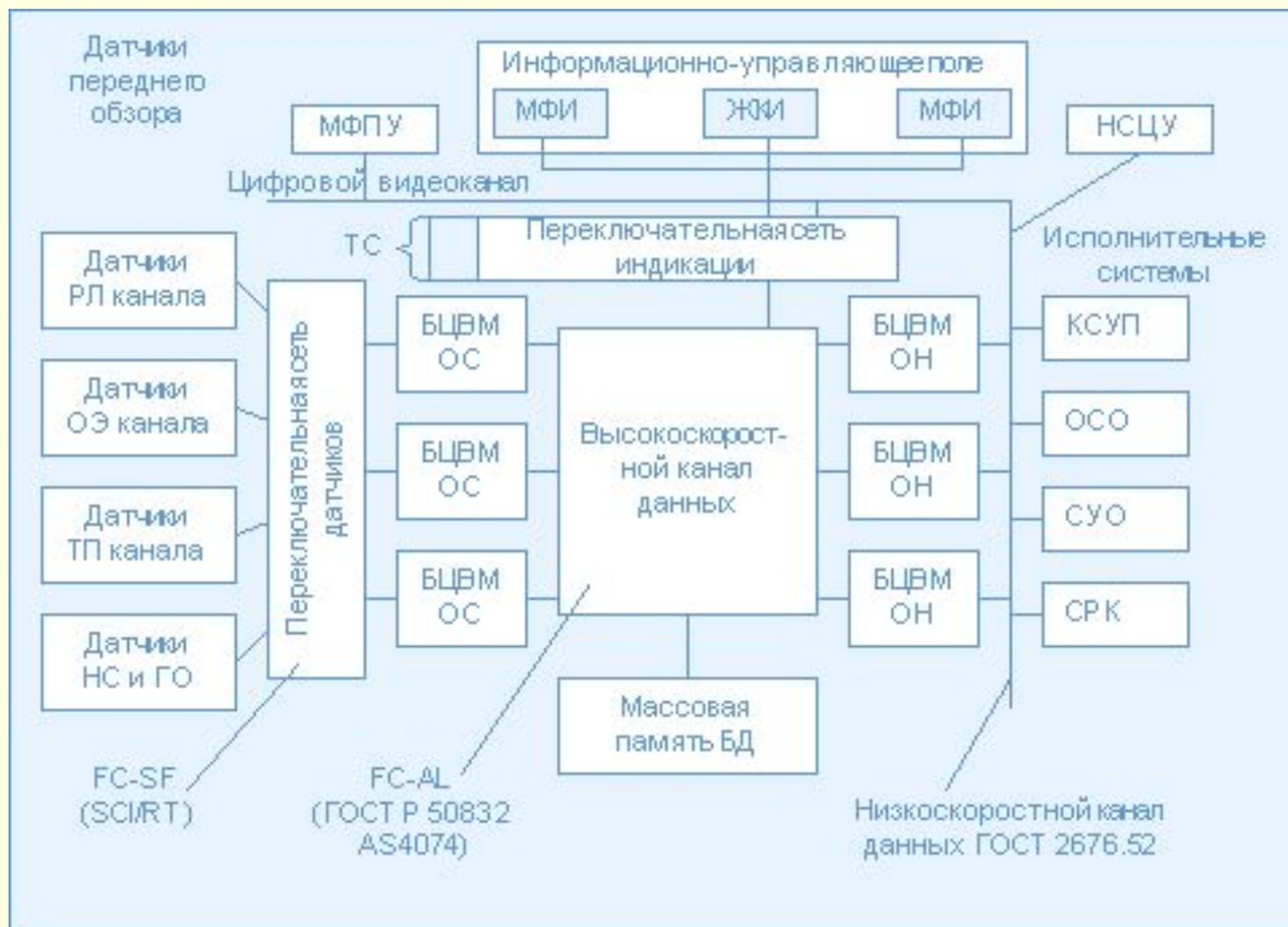
- В общем случае структуру БВС образуют четыре вычислительных системы (ВС), различающиеся своими ресурсами, ВС комплексной обработки, обеспечивающая решение основных задач КБО, ВС обработки сигналов, ВС интеллектуальной обработки, накопления знаний и принятия решений и высоконадежная ВС, обеспечивающая решение задач общесамолетных систем. Задачи комплексной обработки реализуются на БЦВМ-ОН, которые принципиально могут объединяться в вычислительную среду. Для обработки сигналов необходимы БЦВМ-ОС, которые также могут быть объединены в вычислительную среду.

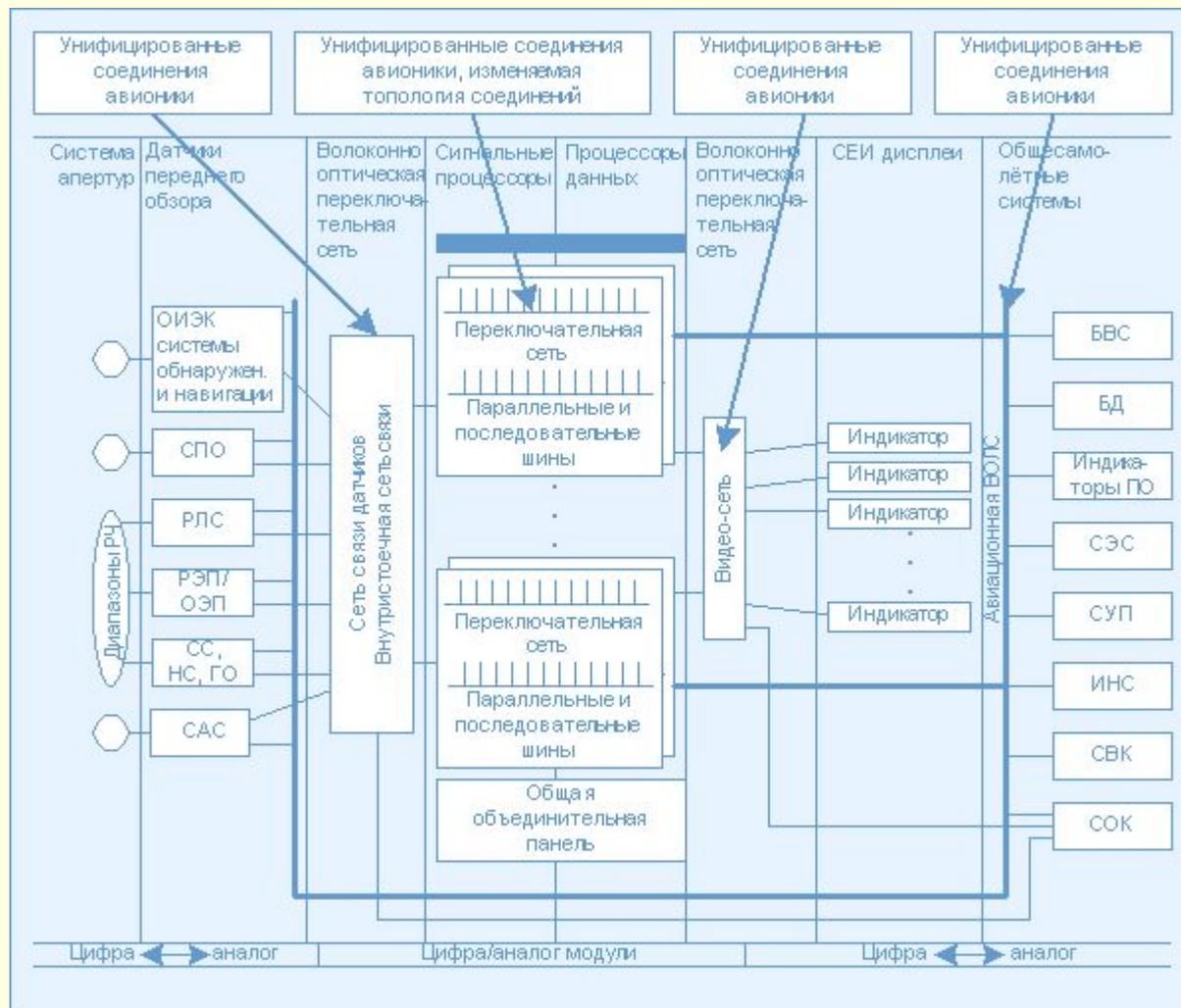
- Решение задач обработки, накопления знаний и принятия на этой основе оптимальных решений может потребовать как БЦВМ общего назначения, так с специализированных. Для решения задач общесамолетных систем требуются БЦВМ с высокой степенью надежности. Первые три ВС имеют сетевую организацию и могут быть реализованы как ИВС. Конфигурацией структуры БВС управляет ВС интеллектуальной обработки, объединяющая ресурсы всех ИВС в единый ресурс. Одновременно она формирует и общую стратегию функционирования среды.



- Построение ИВС целесообразно проводить на основе использования различных мультипроцессорных средств, которые в будущем могут представлять единую (структуру). На первом этапе ИВС образуется только для решения задач верхнего уровня. Подсистемы нижнего уровня в информационных каналах КБО, включающие БЦВМ сигнальной обработки и БЦВМ общего назначения, сохраняются. Для взаимодействия ИВС с подсистемами нижнего уровня рекомендуется использовать низкоскоростной мультиплексный канал по ГОСТ 26765.52 87 или его развитие ГОСТ Р 50832-95. Компоненты, обеспечивающие построение этого канала уже разработаны. В настоящее время можно вплотную приступить к моделированию подобной организации БВС.

- На следующем этапе вычислительные средства информационных каналов передаются в ИВС. В состав БВС вводится переключательная сеть, обеспечивающая связь датчиков со средствами обработки сигналов. Для управления датчиками и для связи с общесамолетными системами рекомендуется использовать, как и на первом этапе, мультиплексный канал по ГОСТ 25765.52 87/ГОСТ Р 50832-95.
- К моделированию подобной структуры БВС можно будет приступить в самое ближайшее будущее. И только после этого, можно будет с минимальным техническим риском построить ИВС в полном объеме на основе единого высокоскоростного интерфейса





- Для того чтобы обеспечить построение ИВС, функциональные и надежность характеристики которых будут отвечать требованиям перспективных КБО, необходима разработка бортовых СВТ следующего поколения высоко интегрированных модульных бортовых средств обработки информации на основе высокоскоростных сетевых интерфейсов, обеспечивающих совершенно новые качества и характеристики (масштабируемость, реконфигурируемость, повышенную производительность и пропускную способность). Структура СВТ формируется с использованием унифицированных модулей различного функционального назначения, причем их типы и количество являясь переменными, не должны влиять на принципы ее организации и функционирования.

- Бортовые ЭВМ с открытой архитектурой создаются также на основе использования концепции глубокой унификации, в данном случае на базе унифицированных модулей обработки, стандартных интерфейсов СИО и стандартного конструктива. С использованием ограниченного ряда унифицированных модулей могут быть созданы и БЦВМ общего назначения (БЦВМ-ОН), и спецвычислители для обработки больших информационных массивов обработки сигналов (БЦВМ-ОС), и нейрокомпьютеры и т.д., необходимые в каждом конкретном случае.

- Наличие в базовом наборе соответствующих интерфейсных модулей дает возможность построения БВС с различной организацией и составом, от простых распределенных федеративно-централизованных систем до ИВС, в зависимости от требований конкретного применения. При этом внутрисистемные и межсистемные интерфейсы практически полностью определяют организацию БВС.

- В настоящее время для построения элементов БВС (в том числе и с архитектурой ИВС), а также БВС в целом могут быть использованы следующие связанные платформы, образующие СИО:
  - VMEbus, с возможным переходом на CPCLbus (CompactPCI) в качестве внутрисистемных межмодульных магистралей;
  - последовательные цифровые интерфейсы по ГОСТ 26765.52-87 и ГОСТ Р 50832-95 (аналог технологии передачи данных STANAG 3910) в качестве межсистемных с последующим переходом в перспективе к интерфейсам, использующим сетевые принципы информационного обмена;
  - SCSI в качестве системного периферийного интерфейса;
  - STANAG 3350 с возможным переходом на цифровую коммутационную технологию обмена "точка-точка" FC-SF (или Fire wire);
  - RS-XXX (-232C, -422, -423, -449, -485) в качестве технологических интерфейсов.