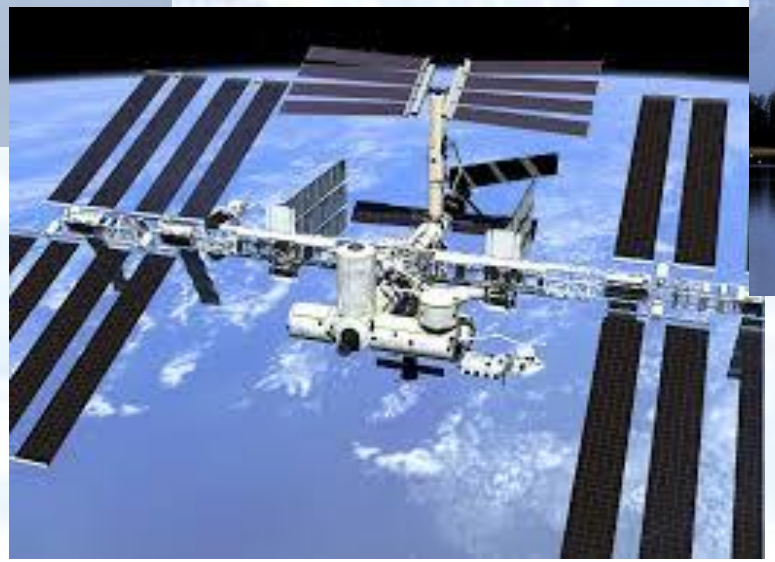
ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Лекция 1:
Введение в ИУС РВ

Кафедра АСВК,
Лаборатория Вычислительных Комплексов
Балашов В.В.

Системы реального времени

Сложные технические объекты управляются распределёнными компьютерными системами



ИУС РВ

- Информационно-управляющая система (ИУС) – вычислительная система в составе объекта, обеспечивающая:
  - управление функционированием объекта и мониторинг его состояния
  - взаимодействие между объектом и оператором
- Функционирует в реальном времени
  - рассчитать результат *правильно* и *вовремя*
- Где применяются
  - автоматизация производства, энергетика, наземный транспорт, авиация/космос, «умный» дом

Содержание курса

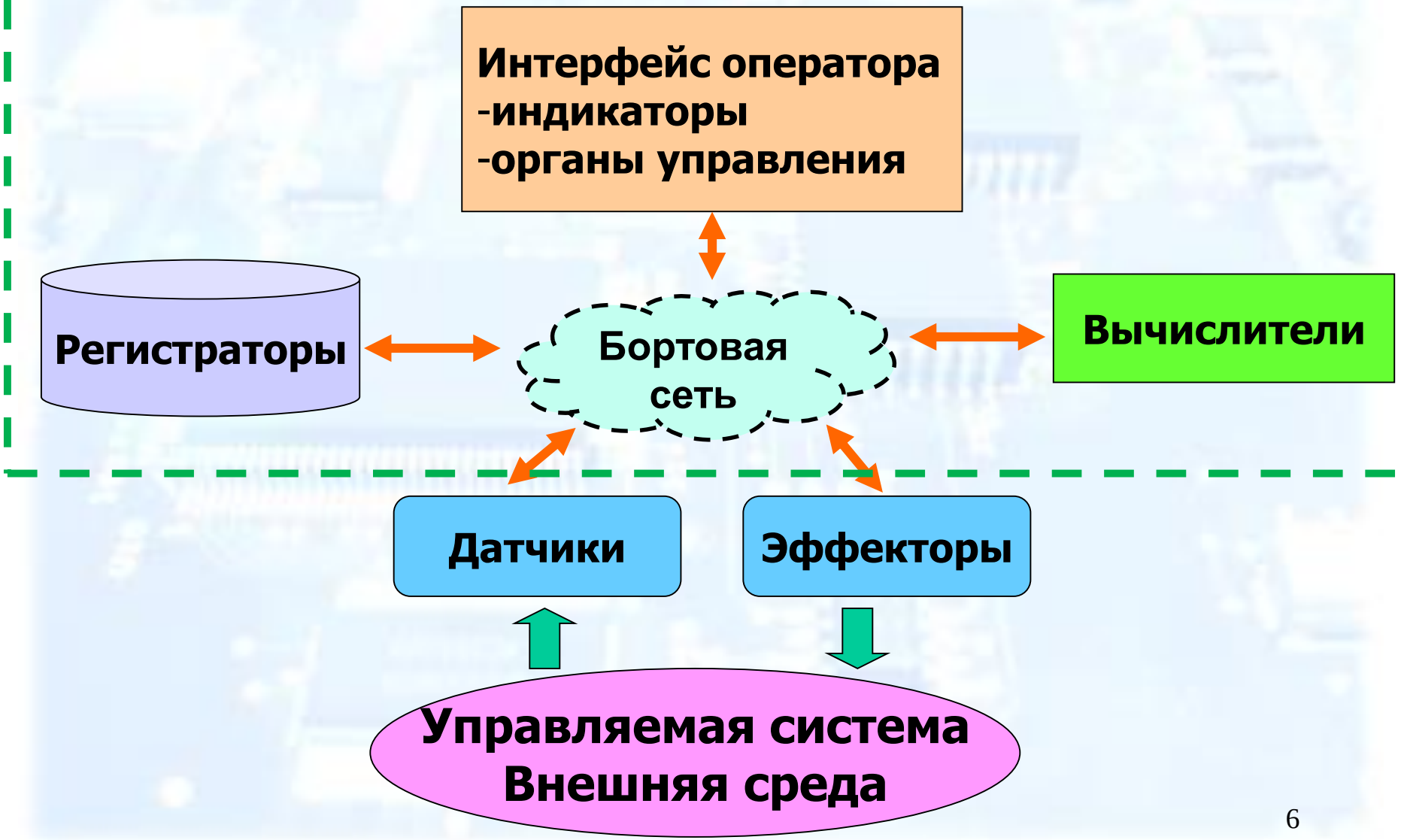
- Что есть:
  - принципы функционирования
  - архитектура аппаратной и программной части
  - подходы к разработке, отладке и обоснованию корректности
  - математические задачи и методы их решения
- Чего нет:
  - конкретные API
  - подробности протоколов
  - наборы команд процессоров
  - …RTFM

Где это пригодится

- Области:
  - автоматизация производства, энергетика, наземный транспорт, авиация/космос, «умный» дом
  - близкая область: передача данных в сетях 5G
- Задачи:
  - проектирование, разработка, тестирование, сопровождение, модернизация
- Вклад:
  - создание средств решения задач
  - решение задач

Особенность: передний край

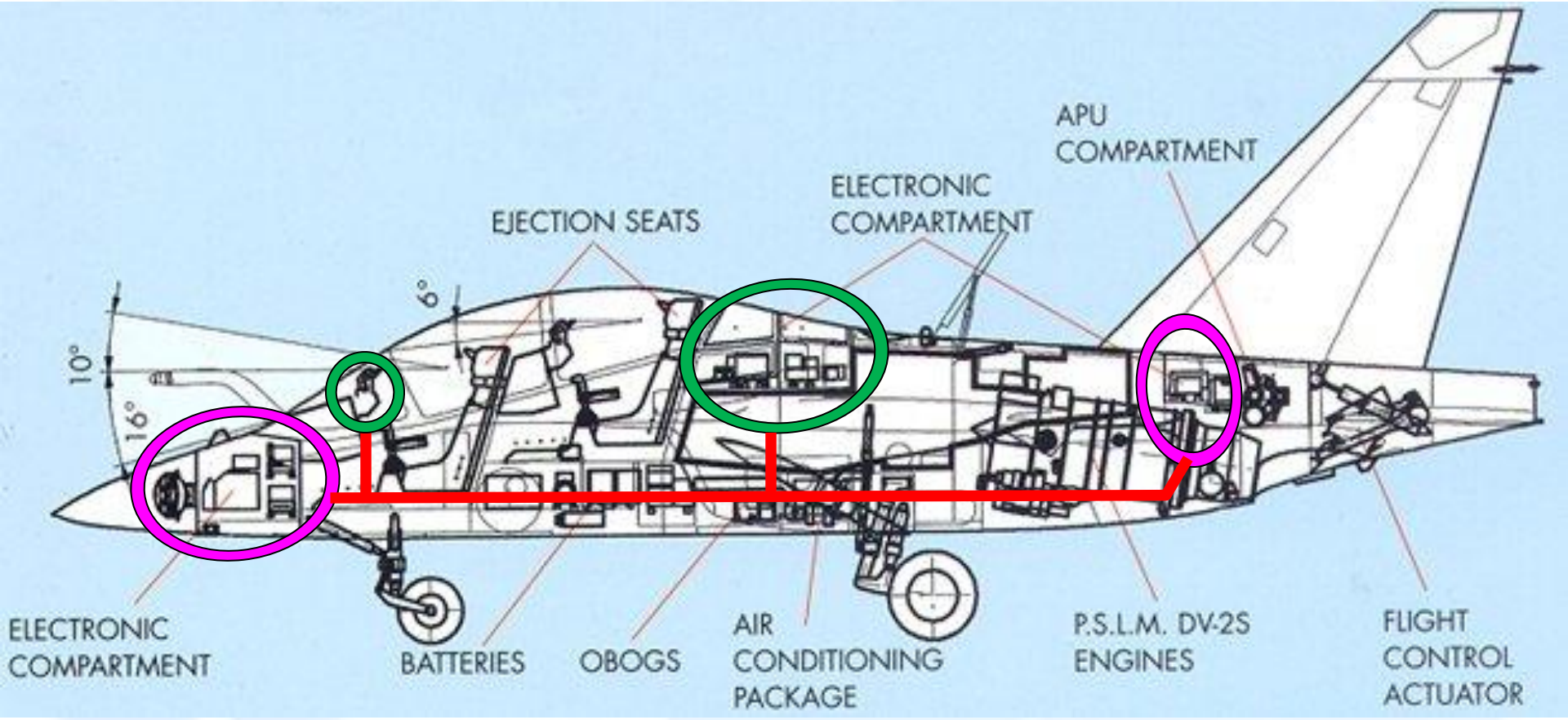
Состав ИУС

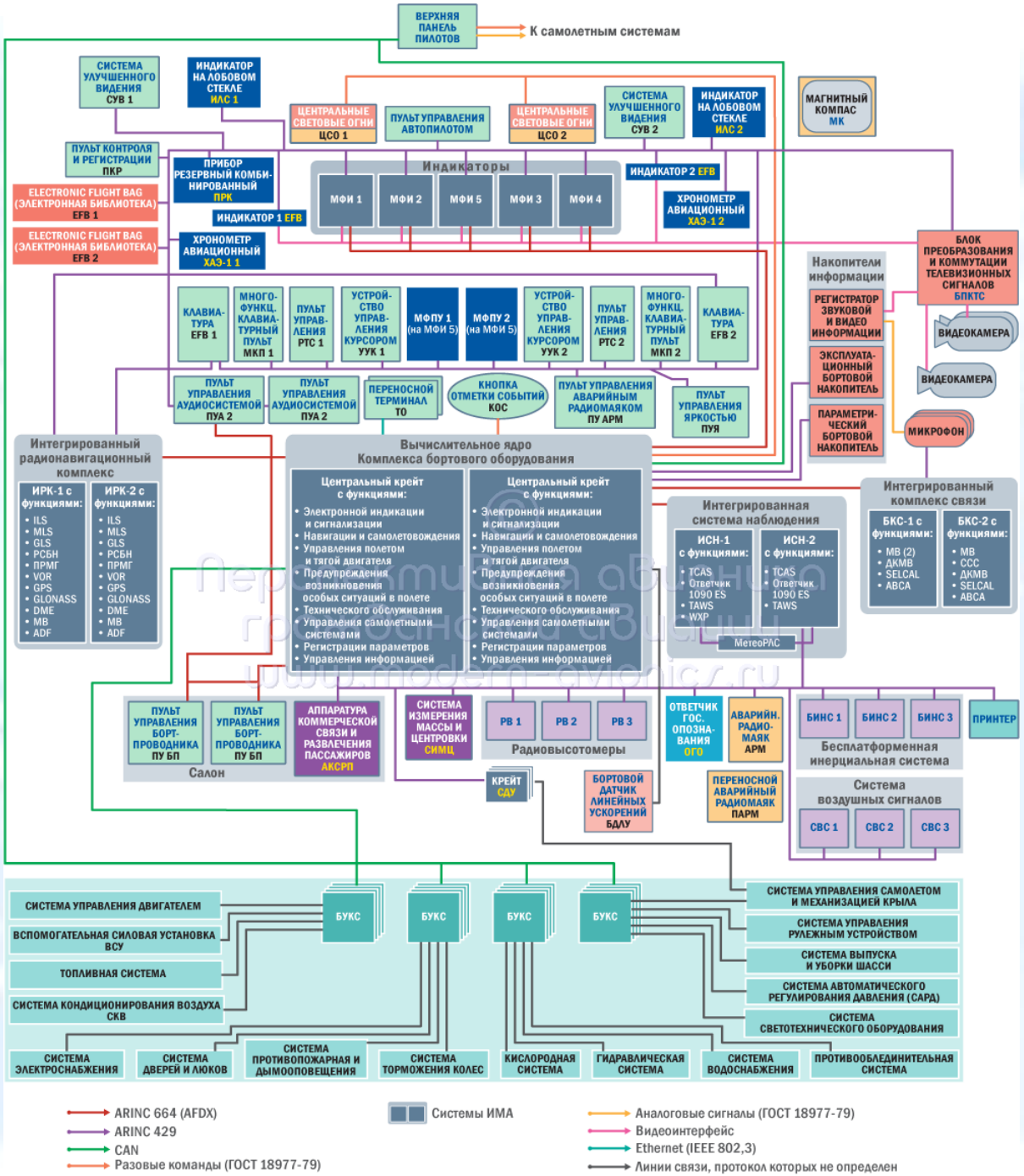

Интерфейс оператора
-индикаторы
-органы управления
Регистраторы
Бортовая сеть
Вычислители
Датчики
Эффекторы
Управляемая система
Внешняя среда

Функции ИУС

- Контроль состояния управляемого объекта
- Управление движением объекта или его частей
- Отслеживание положения объекта или его частей в пространстве
- Обмен данными с внешними системами
- Управление специализированными приборами (прикладной нагрузкой)
- Обмен данными с оператором
  - отображение данных
  - ввод данных

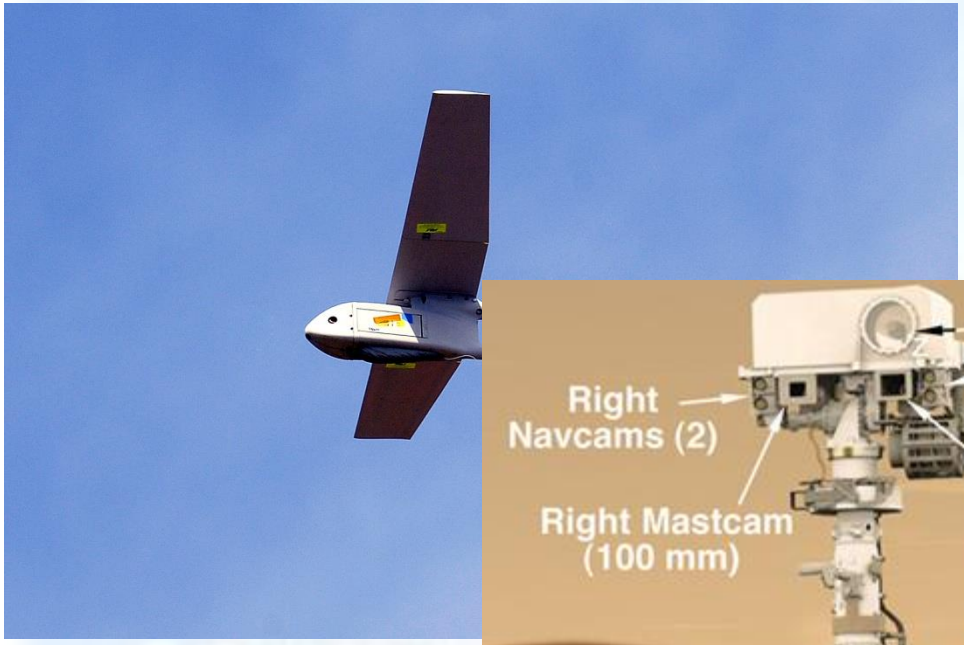
ИУС в управляемой системе

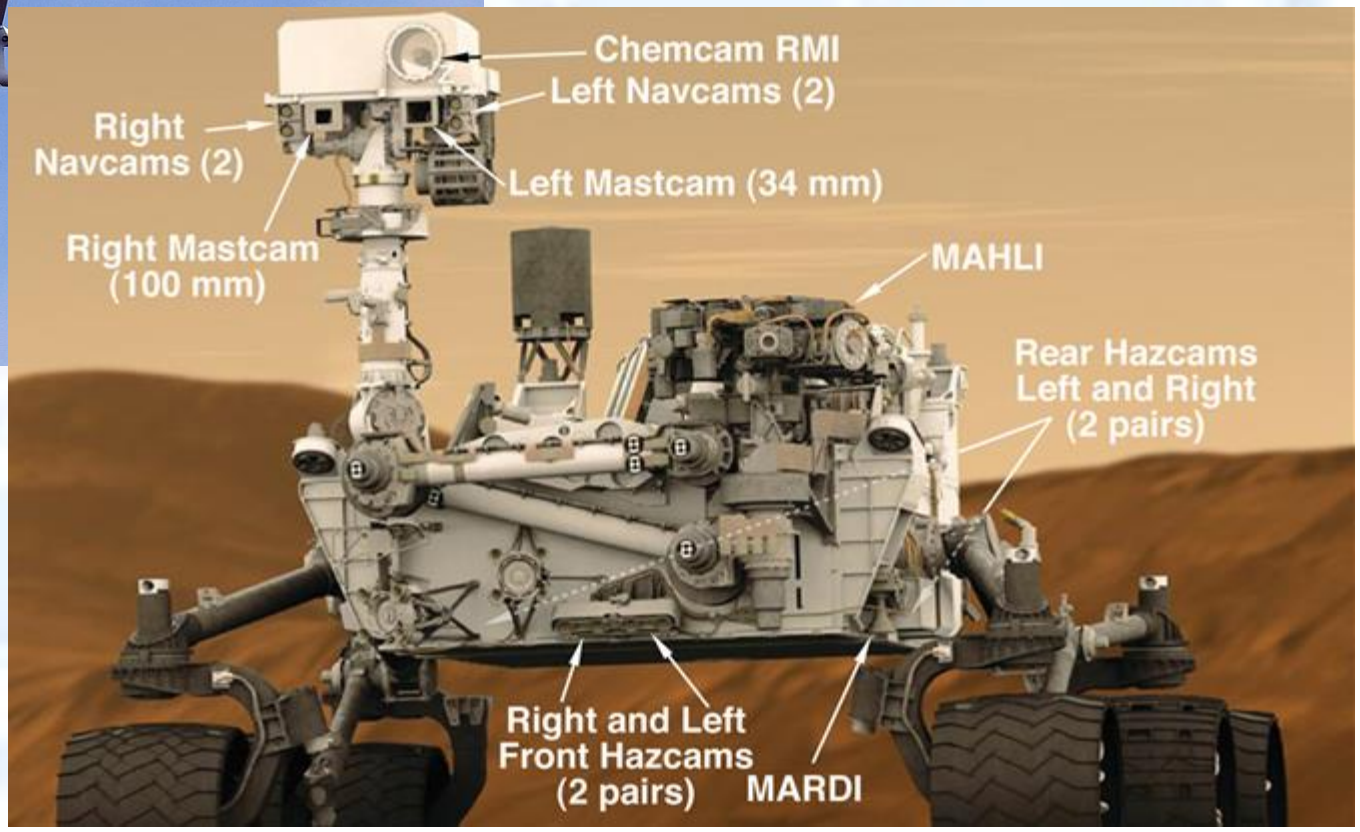



ВЕРХНЯЯ ПАНЕЛЬ ПИЛОТОВ
К самолетным системам
СИСТЕМА УЛУЧШЕННОГО ВИДЕНИЯ СУВ 1
ИНДИКАТОР НА ЛОБОВОМ СТЕКЛЕ ИЛС 1
ЦЕНТРАЛЬНЫЕ СВЕТОВЫЕ ОГНИ ЦСО 1
ПУЛЬТ УПРАВЛЕНИЯ АВТОПИЛОТОМ
ЦЕНТРАЛЬНЫЕ СВЕТОВЫЕ ОГНИ ЦСО 2
СИСТЕМА УЛУЧШЕННОГО ВИДЕНИЯ СУВ 2
ИНДИКАТОР НА ЛОБОВОМ СТЕКЛЕ ИЛС 2
МАГНИТНЫЙ КОМПАС МК
ПУЛЬТ КОНТРОЛЯ И РЕГИСТРАЦИИ ПКР
ПРИБОР РЕЗЕРВНЫЙ КОМБИНИРОВАННЫЙ ПРК
Индикаторы
МФИ 1
МФИ 2
МФИ 5
МФИ 3
МФИ 4
ИНДИКАТОР 2 EFB
ИНДИКАТОР 1 EFB
ХРОНОМЕТР АВИАЦИОННЫЙ ХАЭ-1 2
ELECTRONIC FLIGHT BAG (ЭЛЕКТРОННАЯ БИБЛИОТЕКА) EFB 1
ELECTRONIC FLIGHT BAG (ЭЛЕКТРОННАЯ БИБЛИОТЕКА) EFB 2
ХРОНОМЕТР АВИАЦИОННЫЙ ХАЭ-1 1
Накопители информации
БЛОК ПРЕОБРАЗОВАНИЯ И КОММУТАЦИИ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИГНАЛОВ БПКТС
РЕГИСТРАТОР ЗВУКОВОЙ И ВИДЕО ИНФОРМАЦИИ
ВИДЕОКАМЕРА
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЙ БОРТОВОЙ НАКОПИТЕЛЬ
ВИДЕОКАМЕРА
ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ БОРТОВОЙ НАКОПИТЕЛЬ
МИКРОФОН
КЛАВИАТУРА EFB 1
МНОГОФУНКЦ. КЛАВИАТУРНЫЙ ПУЛЬТ МКП 1
ПУЛЬТ УПРАВЛЕНИЯ РТС 1
УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ КУРСОРОМ УУК 1
МФПУ 1 (на МФИ 5)
МФПУ 2 (на МФИ 5)
УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ КУРСОРОМ УУК 2
ПУЛЬТ УПРАВЛЕНИЯ РТС 2
МНОГОФУНКЦ. КЛАВИАТУРНЫЙ ПУЛЬТ МКП 2
КЛАВИАТУРА EFB 2
ПУЛЬТ УПРАВЛЕНИЯ АУДИОСИСТЕМОЙ ПУА 2
ПУЛЬТ УПРАВЛЕНИЯ АУДИОСИСТЕМОЙ ПУА 2
ПЕРЕНОСНОЙ ТЕРМИНАЛ ТО
КНОПКА ОТМЕТКИ СОБЫТИЙ КОС
ПУЛЬТ УПРАВЛЕНИЯ АВАРИЙНЫМ РАДИОМАЯКОМ ПУ АРМ
ПУЛЬТ УПРАВЛЕНИЯ ЯРКОСТЬЮ ПУЯ
Интегрированный радионавигационный комплекс
ИРК-1 с функциями:
• ILS
• MLS
• GLS
• РСБН
• ПРМГ
• VOR
• GPS
• GLONASS
• DME
• MB
• ADF
ИРК-2 с функциями:
• ILS
• MLS
• GLS
• РСБН
• ПРМГ
• VOR
• GPS
• GLONASS
• DME
• MB
• ADF
Вычислительное ядро Комплекса бортового оборудования
Центральный крейт с функциями:
• Электронной индикации и сигнализации
• Навигации и самолетовождения
• Управления полетом и тягой двигателя
• Предупреждения возникновения особых ситуаций в полете
• Технического обслуживания
• Управления самолетными системами
• Регистрации параметров
• Управления информацией
Центральный крейт с функциями:
• Электронной индикации и сигнализации
• Навигации и самолетовождения
• Управления полетом и тягой двигателя
• Предупреждения возникновения особых ситуаций в полете
• Технического обслуживания
• Управления самолетными системами
• Регистрации параметров
• Управления информацией
Интегрированная система наблюдения
ИСН-1 с функциями:
• TCAS
• Ответчик 1090 ES
• TAWS
• WXP
ИСН-2 с функциями:
• TCAS
• Ответчик 1090 ES
• TAWS
МетеоРЛС
Интегрированный комплекс связи
БКС-1 с функциями:
• MB (2)
• ДКМВ
• SELCAL
• ABCA
БКС-2 с функциями:
• MB
• CCC
• ДКМВ
• SELCAL
• ABCA
ПУЛЬТ УПРАВЛЕНИЯ БОРТПРОВОДНИКА ПУ БП
ПУЛЬТ УПРАВЛЕНИЯ БОРТПРОВОДНИКА ПУ БП
АППАРАТУРА КОММЕРЧЕСКОЙ СВЯЗИ И РАЗВЛЕЧЕНИЯ ПАССАЖИРОВ АКСРП
Салон
СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ МАССЫ И ЦЕНТРОВКИ СИМЦ
РВ 1
РВ 2
РВ 3
Радиовысотомеры
ОТВЕТЧИК ГОС. ОПОЗНАВАНИЯ ОГО
АВАРИЙН. РАДИОМАЯК АРМ
БИНС 1
БИНС 2
БИНС 3
Бесплатформенная инерциальная система
ПРИНТЕР
КРЕЙТ СДУ
БОРТОВОЙ ДАТЧИК ЛИНЕЙНЫХ УСКОРЕНИЙ БДАУ
ПЕРЕНОСНОЙ АВАРИЙНЫЙ РАДИОМАЯК ПАРМ
Система воздушных сигналов
СВС 1
СВС 2
СВС 3
СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕМ
ВСПОМОГАТЕЛЬНАЯ СИЛОВАЯ УСТАНОВКА ВСУ
ТОПЛИВНАЯ СИСТЕМА
СИСТЕМА КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА СКВ
БУКС
БУКС
БУКС
БУКС
СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ САМОЛЕТОМ И МЕХАНИЗАЦИЕЙ КРЫЛА
СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РУЛЕЖНЫМ УСТРОЙСТВОМ
СИСТЕМА ВЫПУСКА И УБОРКИ ШАССИ
СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ (САРД)
СИСТЕМА СВЕТОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ
СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
СИСТЕМА ДВЕРЕЙ И ЛЮКОВ
СИСТЕМА ПРОТИВОПОЖАРНАЯ И ДЫМООПОВЕЩЕНИЯ
СИСТЕМА ТОРМОЖЕНИЯ КОЛЕС
КИСЛОРОДНАЯ СИСТЕМА
ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ СИСТЕМА
СИСТЕМА ВОДОСНАБЖЕНИЯ
ПРОТИВООБЛЕДИНИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА
ARINC 664 (AFDX)
ARINC 429
CAN
Разовые команды (ГОСТ 18977-79)
Системы ИМА
Аналоговые сигналы (ГОСТ 18977-79)
Видеоинтерфейс
Ethernet (IEEE 802,3)
Линии связи, протокол которых не определен

Устройства в составе ИУС

Прикладная нагрузка



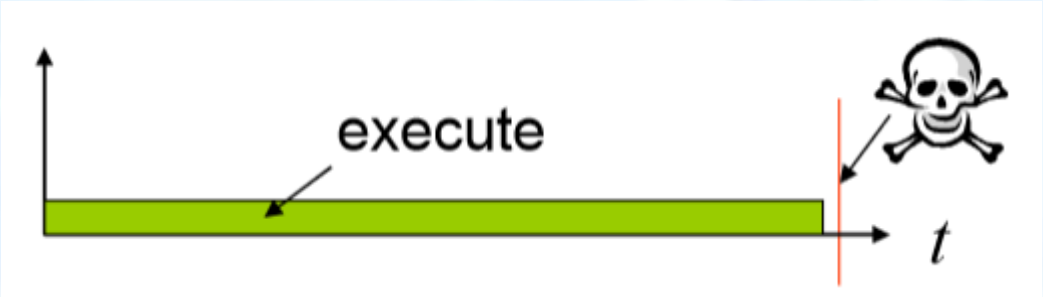


Специфика ИУС

- Работа в реальном времени
  - ориентация на «наихудшие» случаи
- Непрерывное функционирование
- Параллелизм
  - управлять одновременно многим
- Интеграция с управляемой системой
- Критичность для управляемой системы
  - высокая цена ошибки
- Устойчивость к сбоям
- Ограниченное участие оператора
- Предсказуемое поведение
- «Экстремальные» условия работы
- Ограничения по ресурсам
- Координация между ИУС взаимодействующих объектов

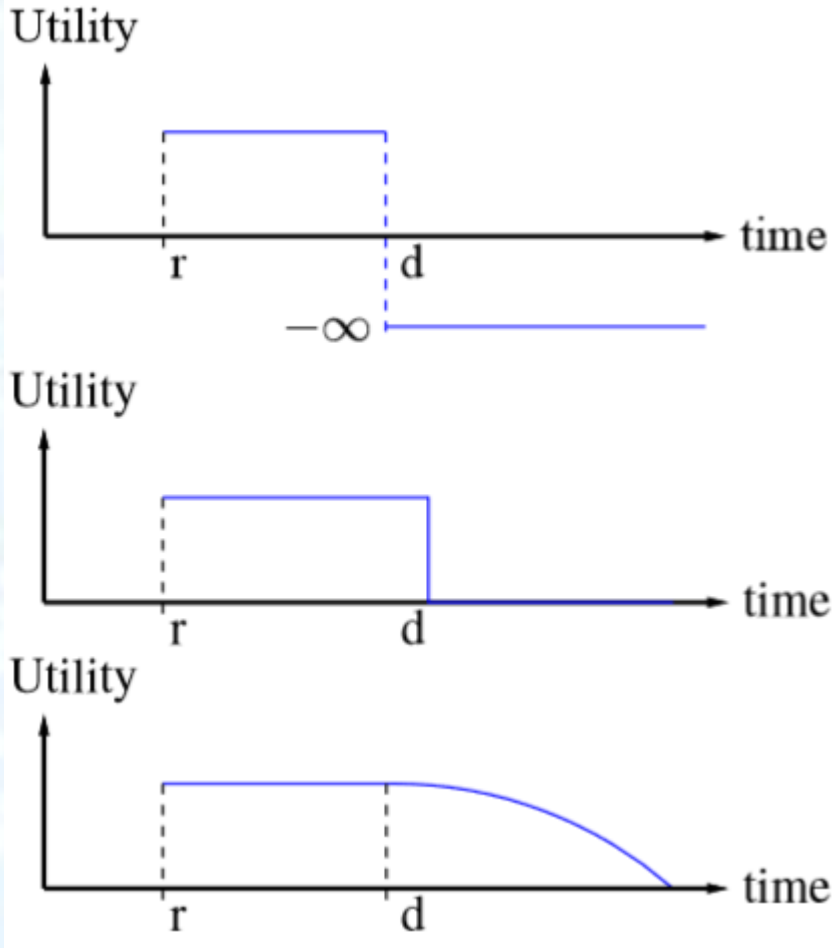
Работа в реальном времени

- Реагирующая система (reactive system) – ВС, функционирующая в постоянном взаимодействии с внешней средой и отвечающая на внешние воздействия в темпе, определяемом внешней средой
- Реакция на каждое воздействие должна укладываться в *директивный срок*



Градации требований реального времени

- Жёсткое (hard) РВ: нарушение ДС приводит к фатальным последствиям для управляемой системы (управление полётом)
- Промежуточный вариант (firm): нарушение ДС приводит к бесполезности результата, без фатальных последствий
- Мягкое (soft) РВ: нарушение ДС приводит к постепенному снижению ценности результата (автомобильный навигатор)



Распространённые заблуждения

- Работа в реальном времени = быстрая работа
  - своевременность важнее быстродействия
  - предсказуемость и надёжность важнее быстродействия
- Рост производительности процессоров решит все проблемы с реальным временем
  - современные высокопроизводительные процессоры быстры в «среднем» случае, а для РВ критичен наихудший случай
  - тонкая технология производства => ненадёжность в экстремальных условиях
  - источники быстродействия современных процессоров слишком непредсказуемы
- Бессмысленно говорить о работе в реальном времени, если аппаратура может дать сбой
  - постепенная деградация функциональности
  - реконфигурируемость, «сбойные» режимы
- Разработка систем реального времени – чистая инженерия, здесь нет науки
  - вот и посмотрим…

Примеры ИУС РВ

Functions by embedded processing:

- ABS: Anti-lock braking systems
- ESP: Electronic stability control
- Airbags
- Efficient automatic gearboxes
- Theft prevention with smart keys
- Blind-angle alert systems
- ... etc ...

- Multiple networks
- Multiple networked processors

Примеры ИУС РВ

- Flight control systems,
- anti-collision systems,
- pilot information systems,
- power supply system,
- flap control system,
- entertainment system,
- …

Примеры ИУС РВ

Networked computer system

- Controlling arms & tools
- Navigating the forest
- Recording the trees harvested
- Crucial to efficient work

“Tough enough to be out in the woods”

Промышленная АСУ ТП

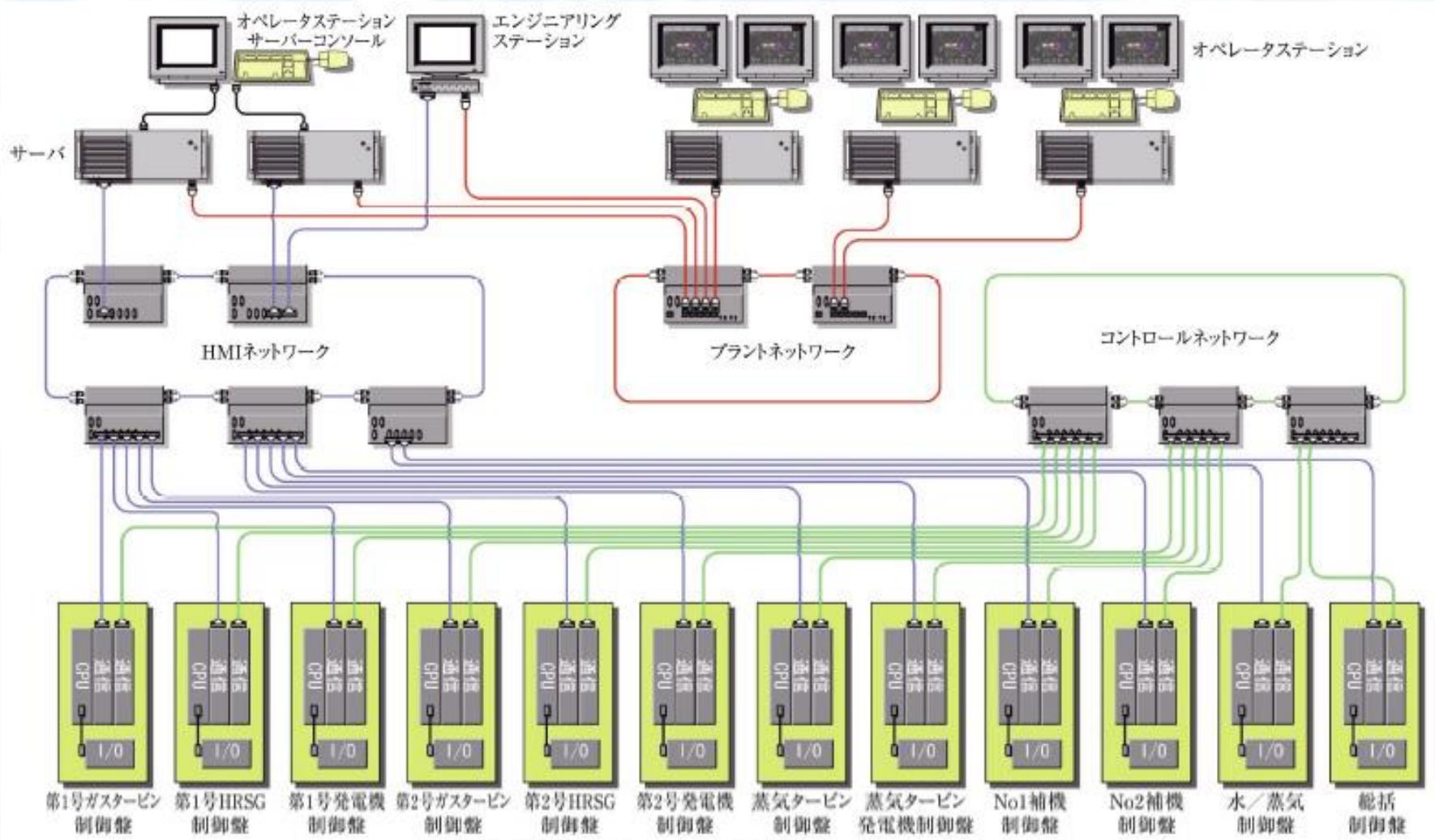


図2　中型発電制御装置のシステム構成例

Fig. 2　System configuration of medium class gas turbine power plant

Эволюция ИУС

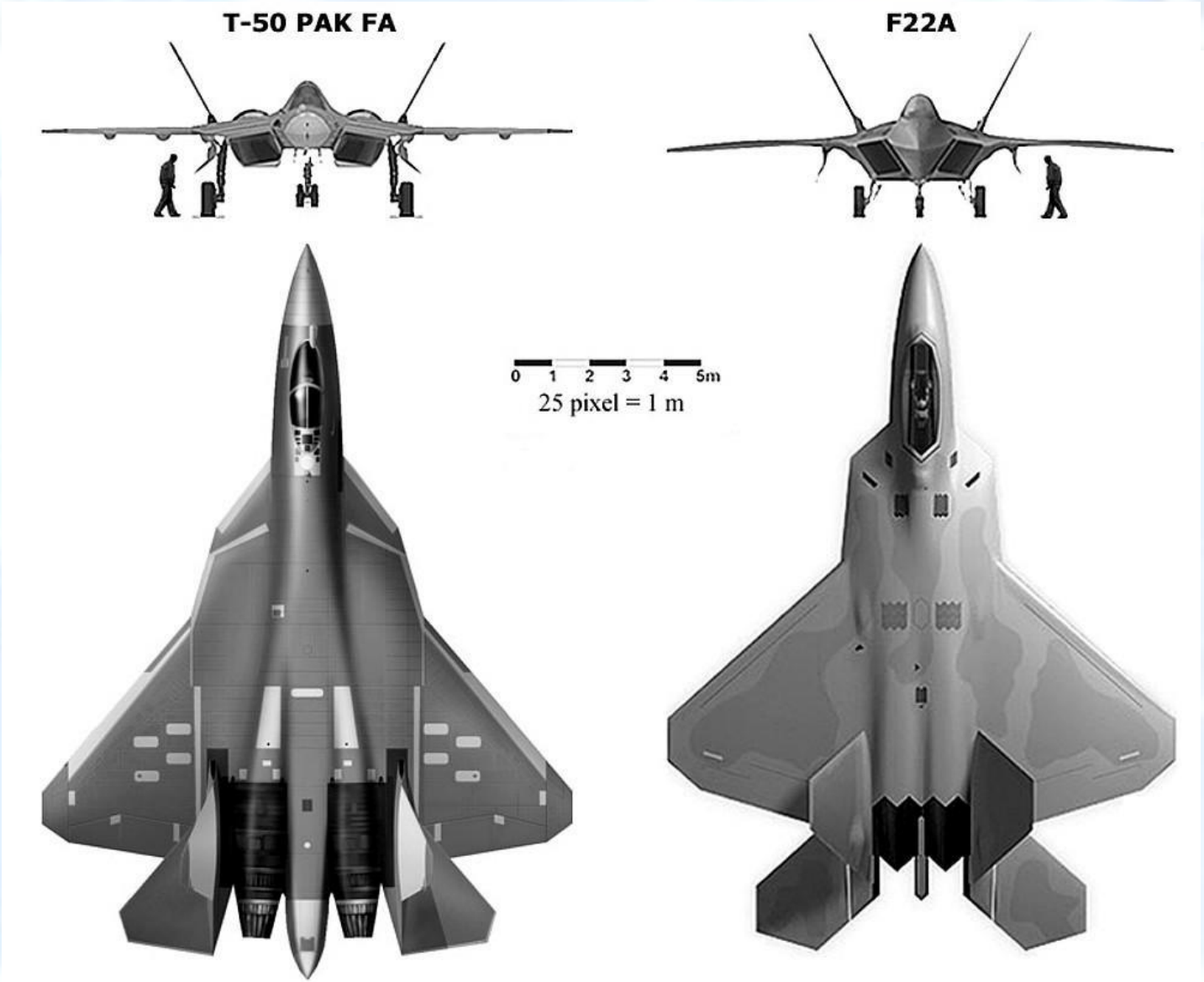
- Полностью аналоговая система
- Центральный вычислитель + аналоговые устройства
- Федеративная архитектура
  - медленные каналы связи (< 1 Мбит/с)
  - специализированные вычислители
  - локальная обработка данных
- Интегрированная модульная архитектура
  - «облако» вычислительных модулей
  - быстрые каналы связи
  - виртуализация сетевых и вычислительных ресурсов

Неоднородность ИУС

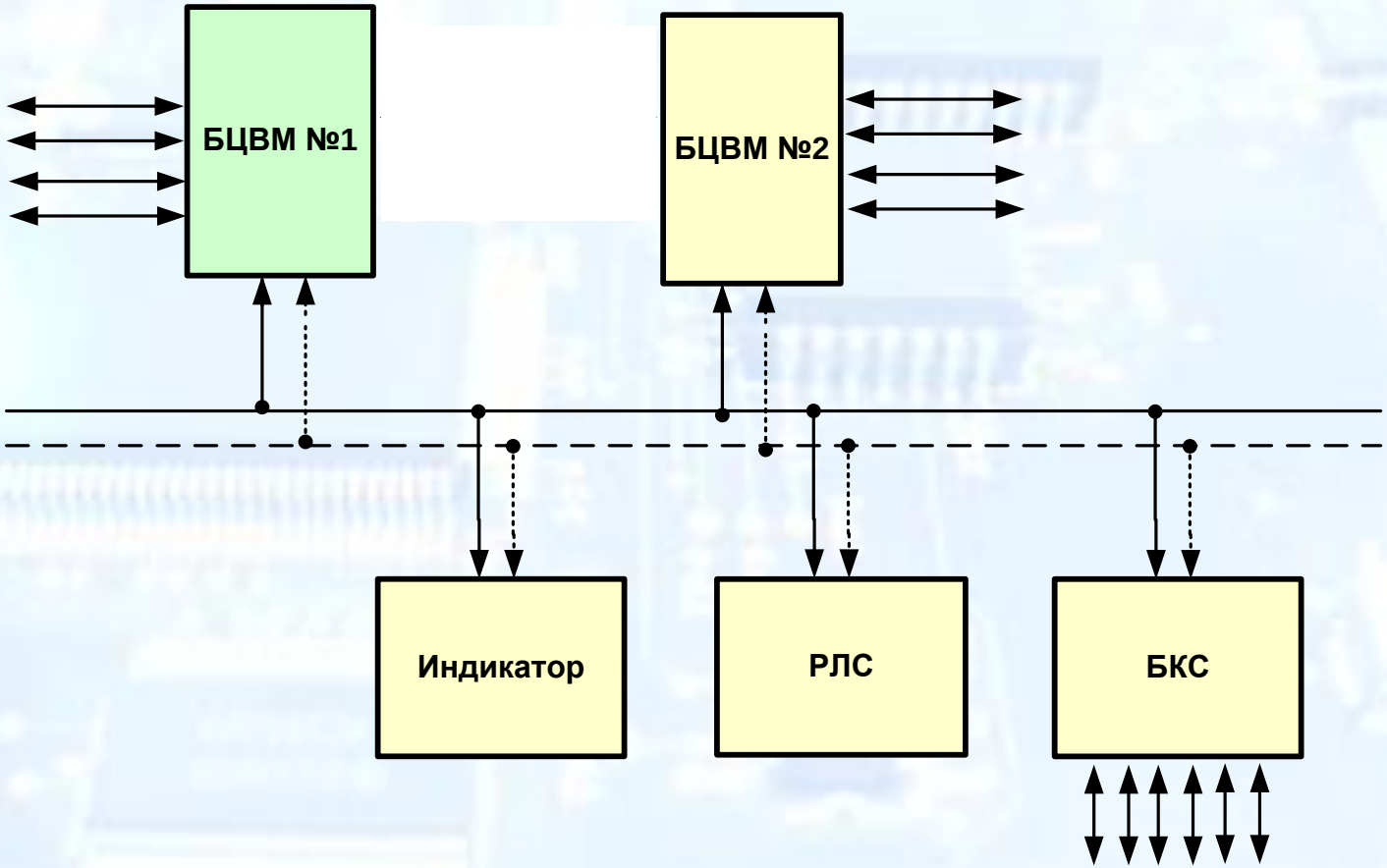
- Каналы: точка-точка, шина, коммутатор; 12 kbps, 1 Mbps, 1 Gbps
- Устройства: датчики, индикаторы, вычислители, органы управления, исполнительные устройства
- Данные: аналоговые, цифровые; числовые массивы, видеопотоки

Проблема унаследованных устройств

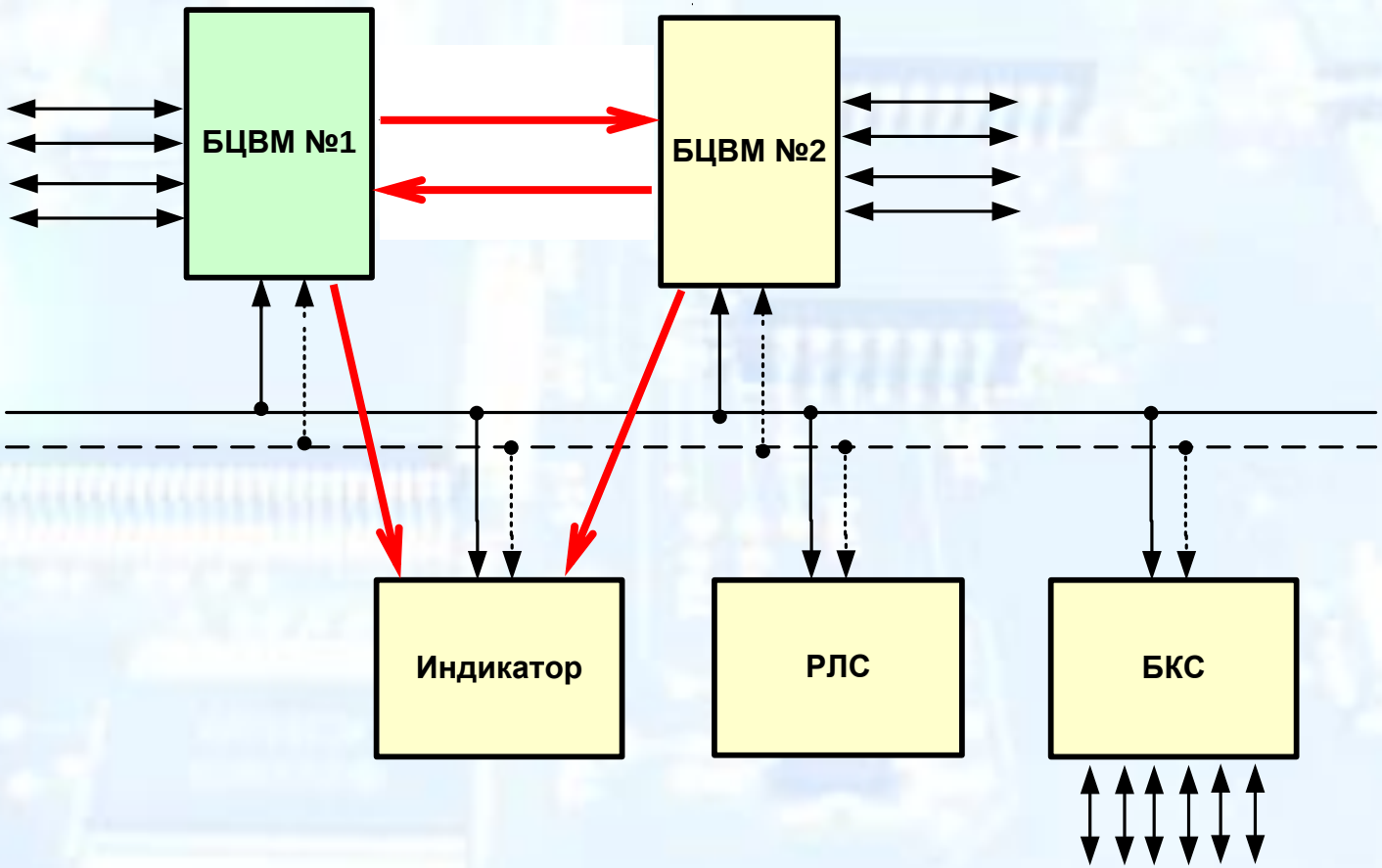
ИСТРЕБИТЕЛЬ 5 ПОКОЛЕНИЯ



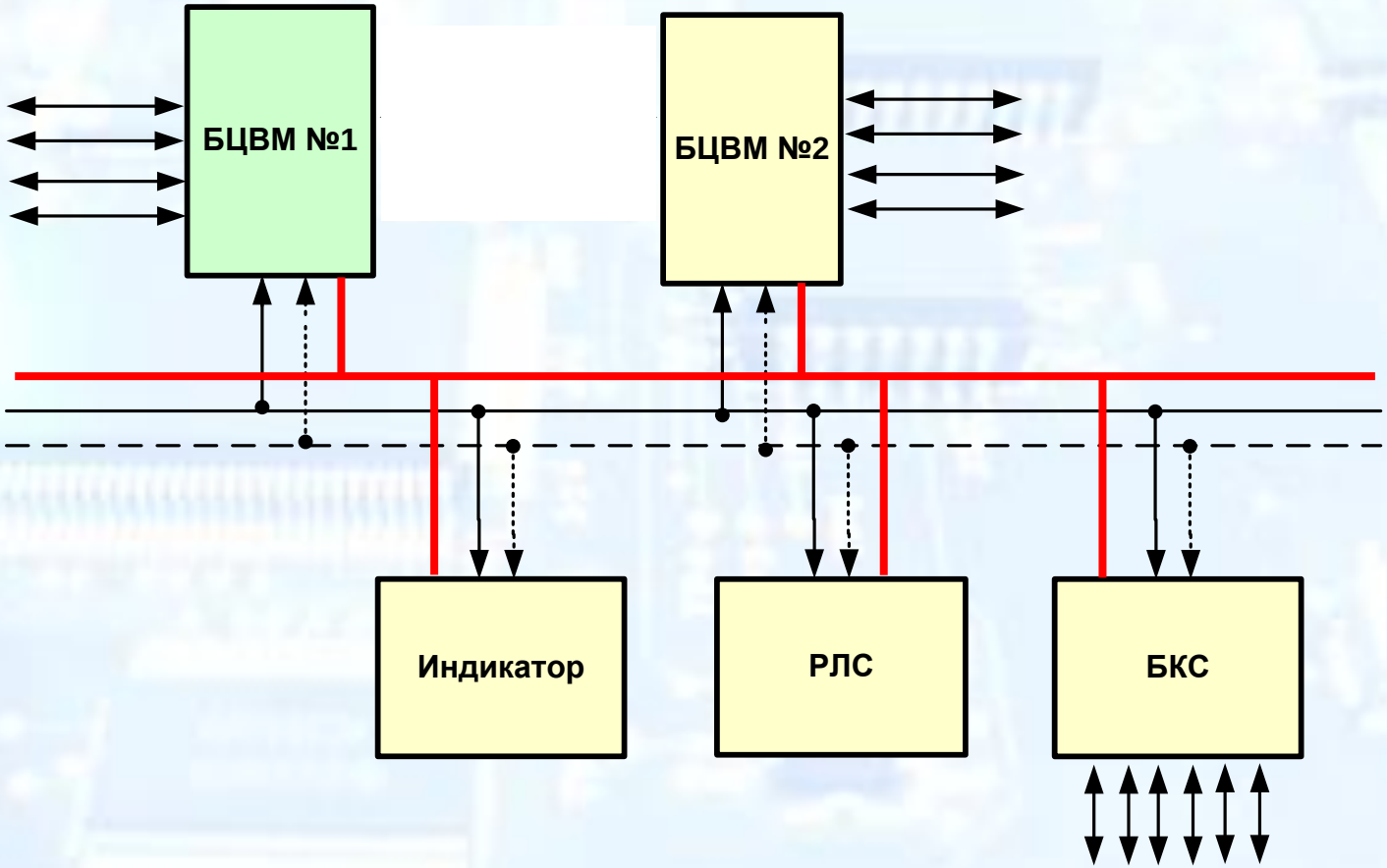
Унаследованная архитектура (4 поколение)



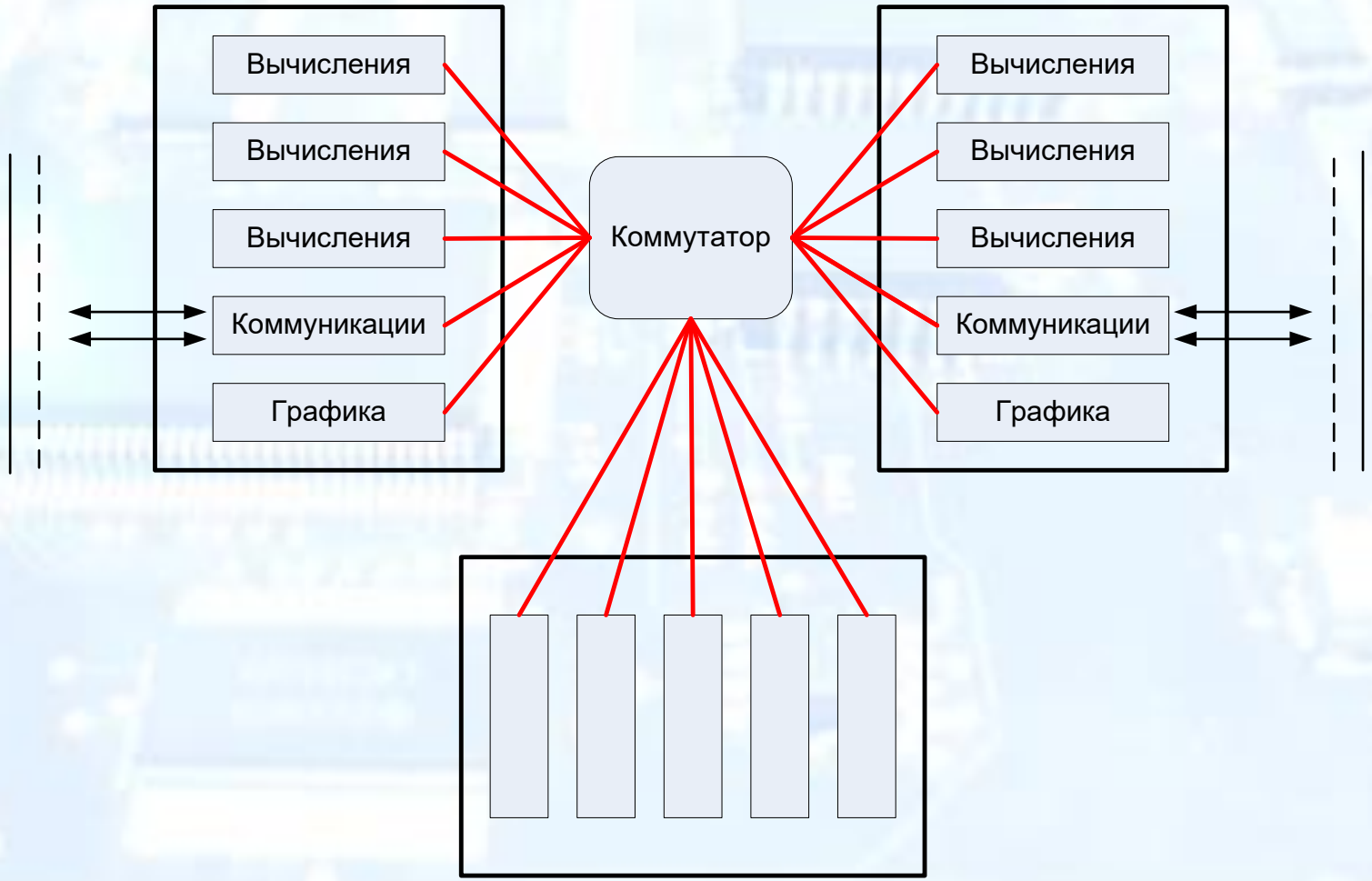
Оптические каналы точка-точка (4+)



Оптическая магистраль данных (4+)



Интегрированная модульная авионика (5 поколение)

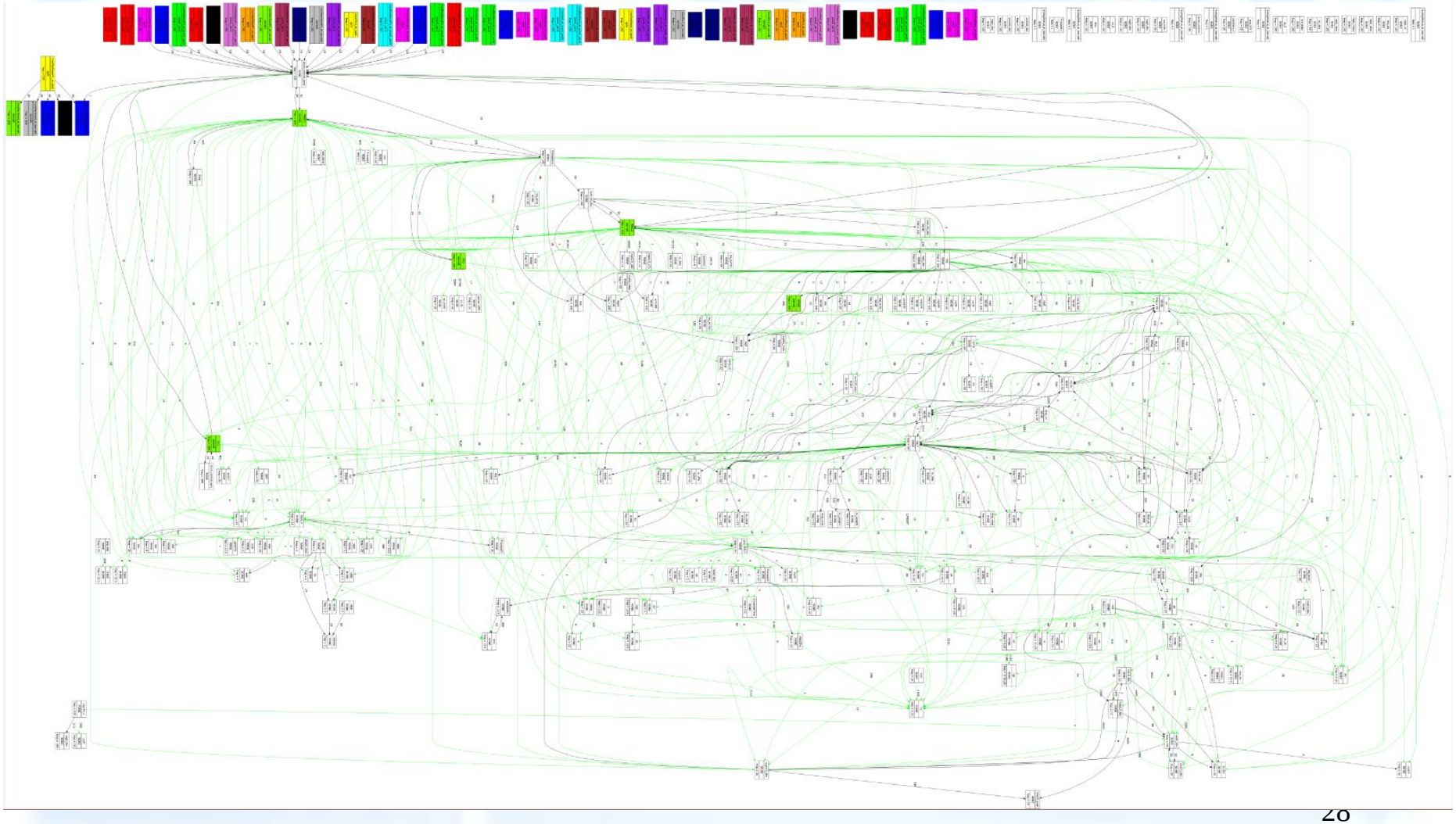


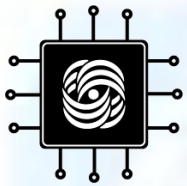
Рост сложности ПО

Year	Size
1986	10 KB
1992	100 kB
1998	1 MB
2008	15 MB

- Управляющее ПО телевизора
- Экспоненциальный рост
- ПО ИУС РВ – те же темпы, критичность выше
  - сотни тысяч строк кода

ПО БЦВМ

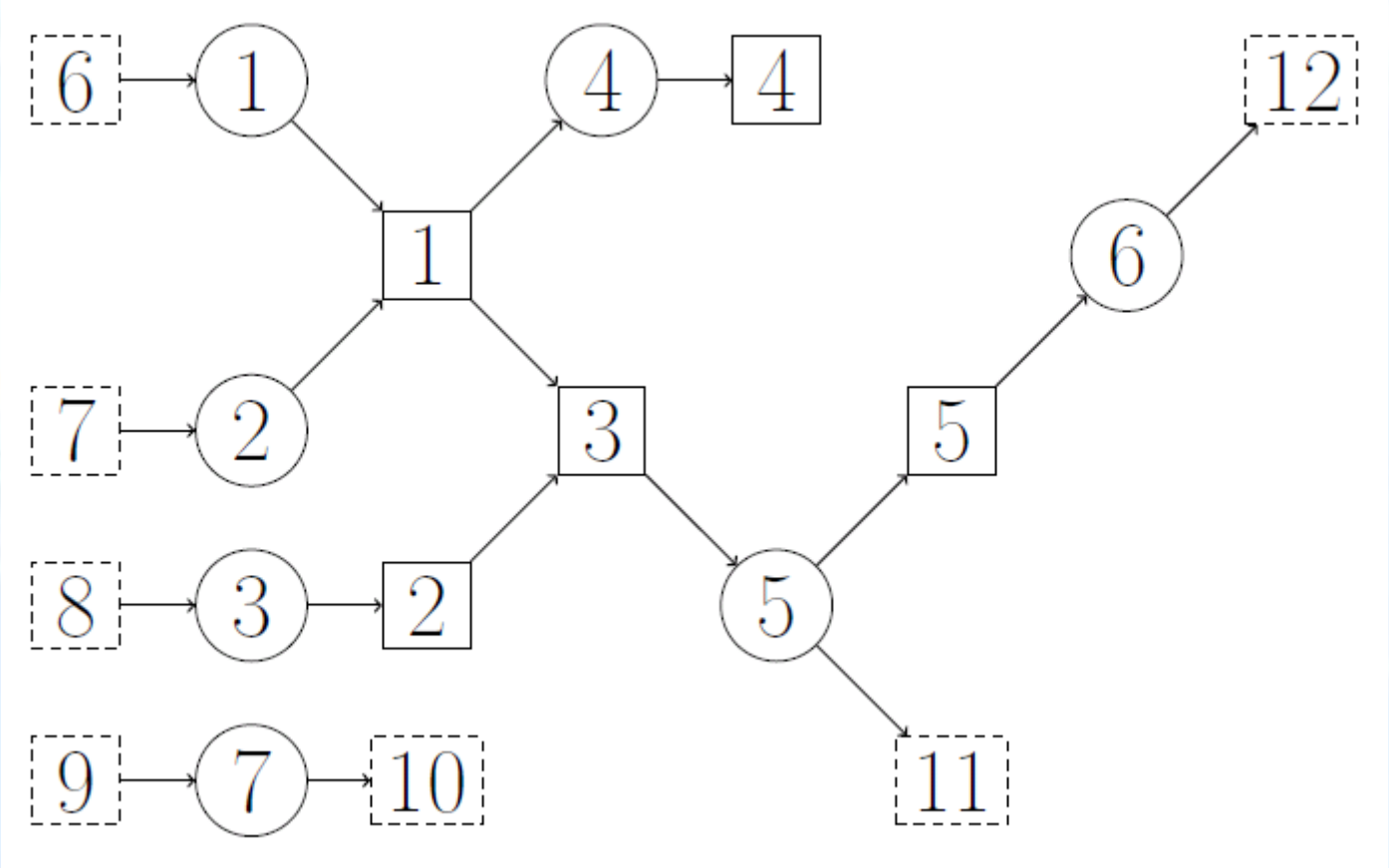




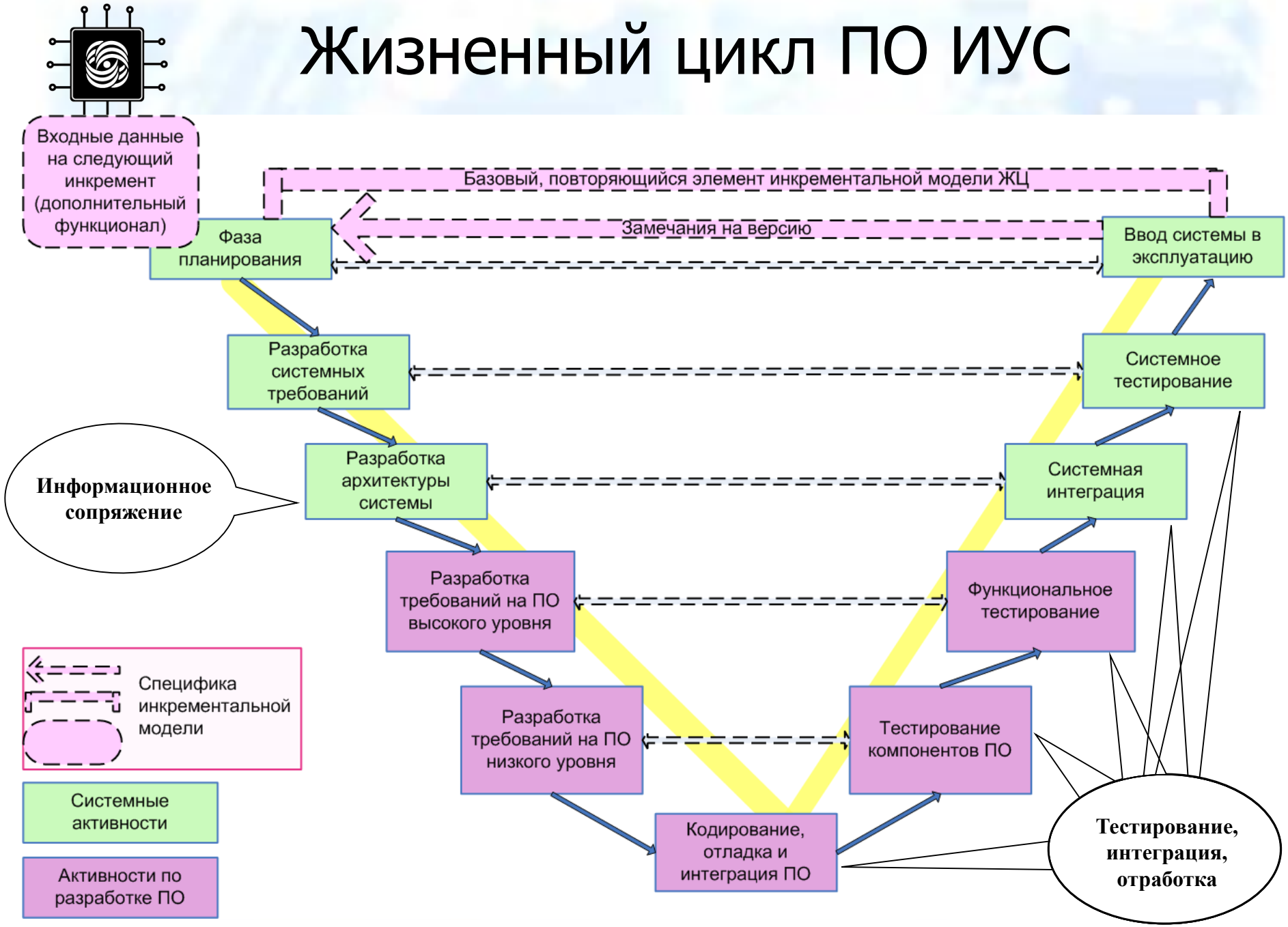
Информационное сопряжение вычислительных задач

- Интерфейс задачи:
  - входные и выходные параметры
- Обмен между задачами в одном блоке
  - синхронные зависимости по данным
- Обмен по каналам передачи данных
  - сообщения
  - расписание обмена

Функционирование ИУС в реальном времени



Жизненный цикл ПО ИУС



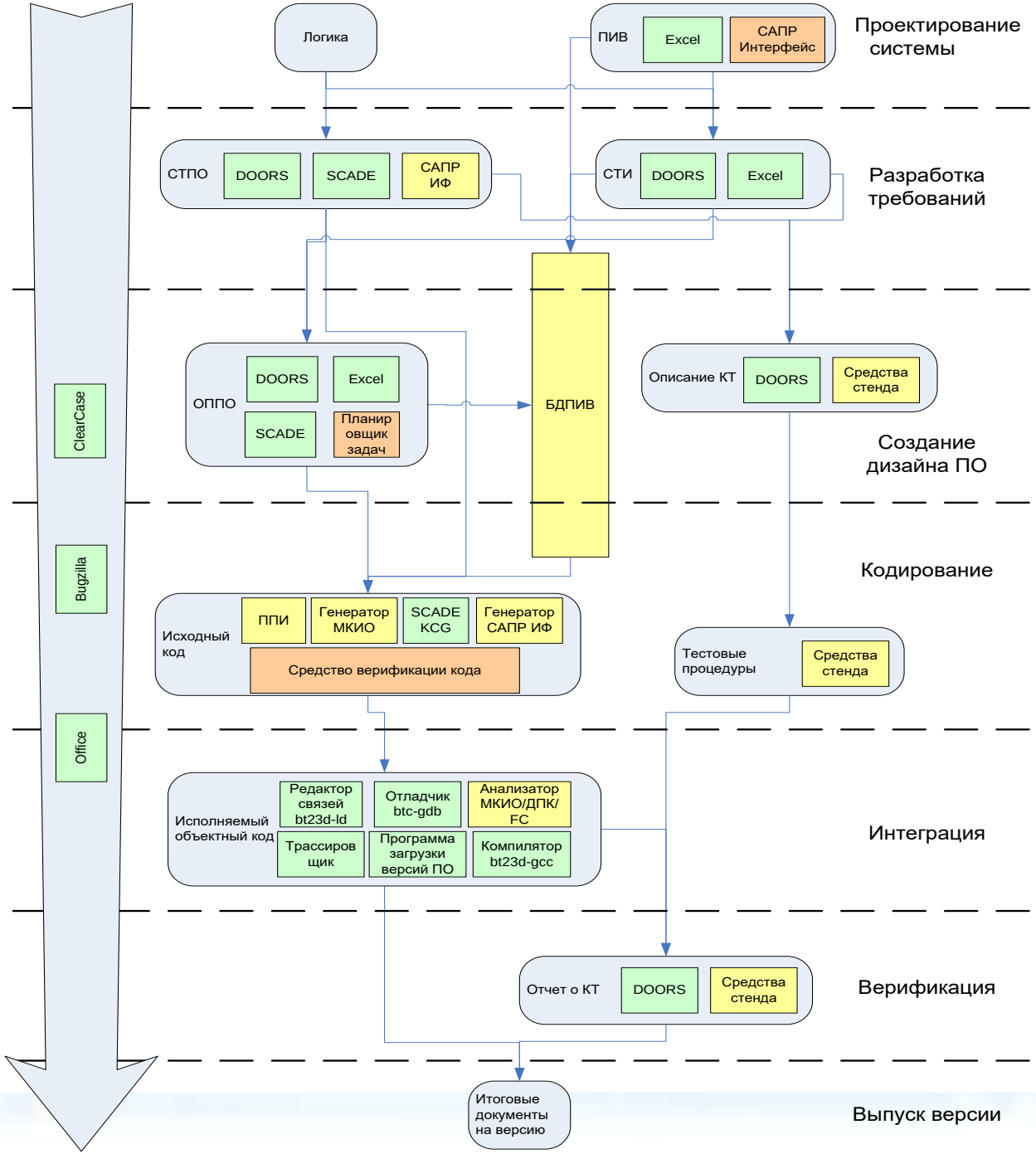
Инструментальные средства

- разработка требований
- управление версиями
- отслеживание проблем и изменений
- поддержка сопряжения подсистем ПО
- проектирование индикационных форматов
- проектирование алгоритмов
- построение расписаний
- конфигурирование сред обмена данными
- верификация и тестирование ПО ИУС

Цепочка средств разработки бортового ПО

- Сквозная поддержка ЖЦ, включая активности на всех фазах
- Сопряжение «вход-выход» с обеспечением совместимости форматов данных
- Особое внимание на переходы между фазами
  - требуется фиксация выходных артефактов

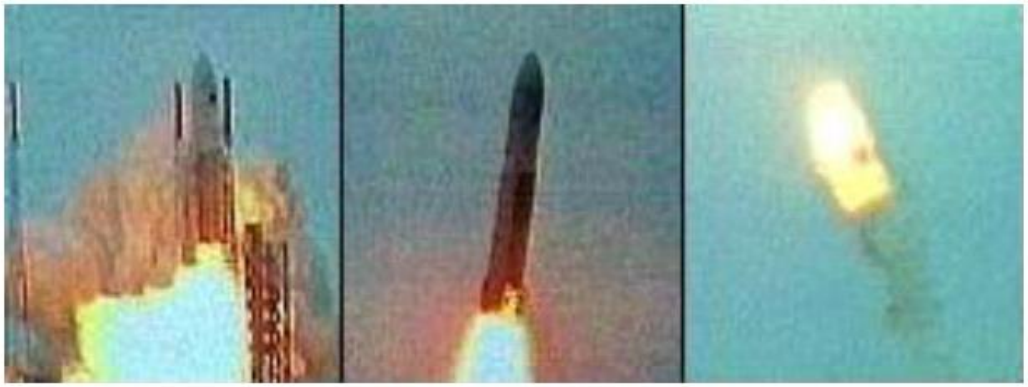
Цепочка средств разработки бортового ПО



Тестирование ИУС

Цена ошибки: Ariane-5

- Июнь 1996 года, взрыв ракеты спустя 40 сек. после старта,
- Ущерб – $500млн (разработка – $7 млрд.),
- Причина – 64bit float -> 16bit int.

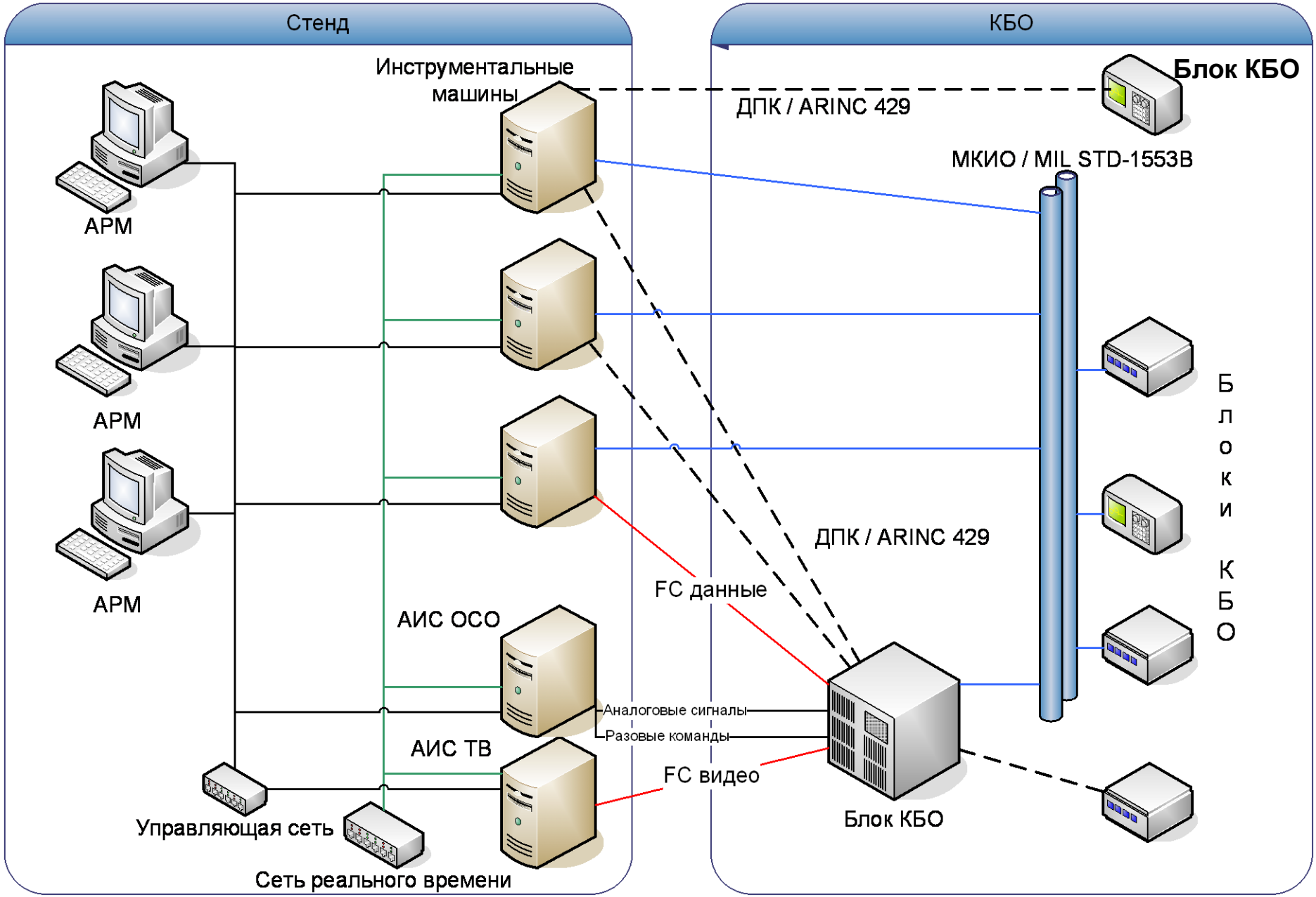


Кажется, что-то пошло не так…

Цена ошибки: Боинг 737 MAX

- 1. Запитать критически важную систему данными от одного датчика (хотя на борту их минимум два - резервирование на случай сбоя одного).
  2. Продавать функцию предупреждения о сбое датчика за отдельные большие деньги.
- 1'. Сертифицировать критически важную автоматическую систему с одними настройками (достаточно безопасными).
  2'. В ходе летных испытаний выяснить, что задуманные функции система может выполнять с другими настройками (оказавшимися не безопасными). Пропустить повторную сертификацию.
- 1". В попытке догнать конкурента (Эйрбас) выпустить самолёт в эксплуатацию до готовности тренажёров.
  2". Учить пилотов на планшетах.
- 1"'. Выполнять часть функций сертификации не силами независимого органа, а силами организации-разработчика (потому что у независимого органа не хватает ресурсов и он рад поделиться работой). Делать это в условиях гонки за конкурентом и соответствующего прессинга со стороны внутреннего менеджмента.
- Финальный штрих. В момент крушения второй пилот безуспешно боролся с автоматикой, а капитан ЛИСТАЛ РУКОВОДСТВО.

Тестирование ИУС



Математические задачи

- Выбор оптимальной конфигурации ИУС РВ
  - требования реального времени
  - требования надёжности
  - ограничения по ресурсам
- Построение расписания вычислений
- Построение расписания обмена данными
- Конфигурирование коммутируемой среды обмена данными
- Верификация работы ИУС РВ (доказательная)
  - функциональная
  - временн**а**я
- Генерация тестовых покрытий

Далее…

- Планирование выполнения задач в ИУС РВ
- Доказательство выполнения требований реального времени к выполнению задач
- Оценка наихудшего времени выполнения программ
- Конфигурирование сред информационного обмена

Спасибо за внимание!