

Встроенные информационно-управляющие системы реального времени

Лекция 5: Технология и инструментальные средства поддержки жизненного цикла ПО встроенных ИУС РВ

Кафедра АСВК,
Лаборатория Вычислительных Комплексов
Балашов В.В.

РАЗРАБОТКА ПО ИУС РВ – ТЕХНОЛОГИЧЕСКИ И ОРГАНИЗАЦИОННО СЛОЖНЫЙ ПРОЦЕСС

На примере разработки бортовых ИУС РВ

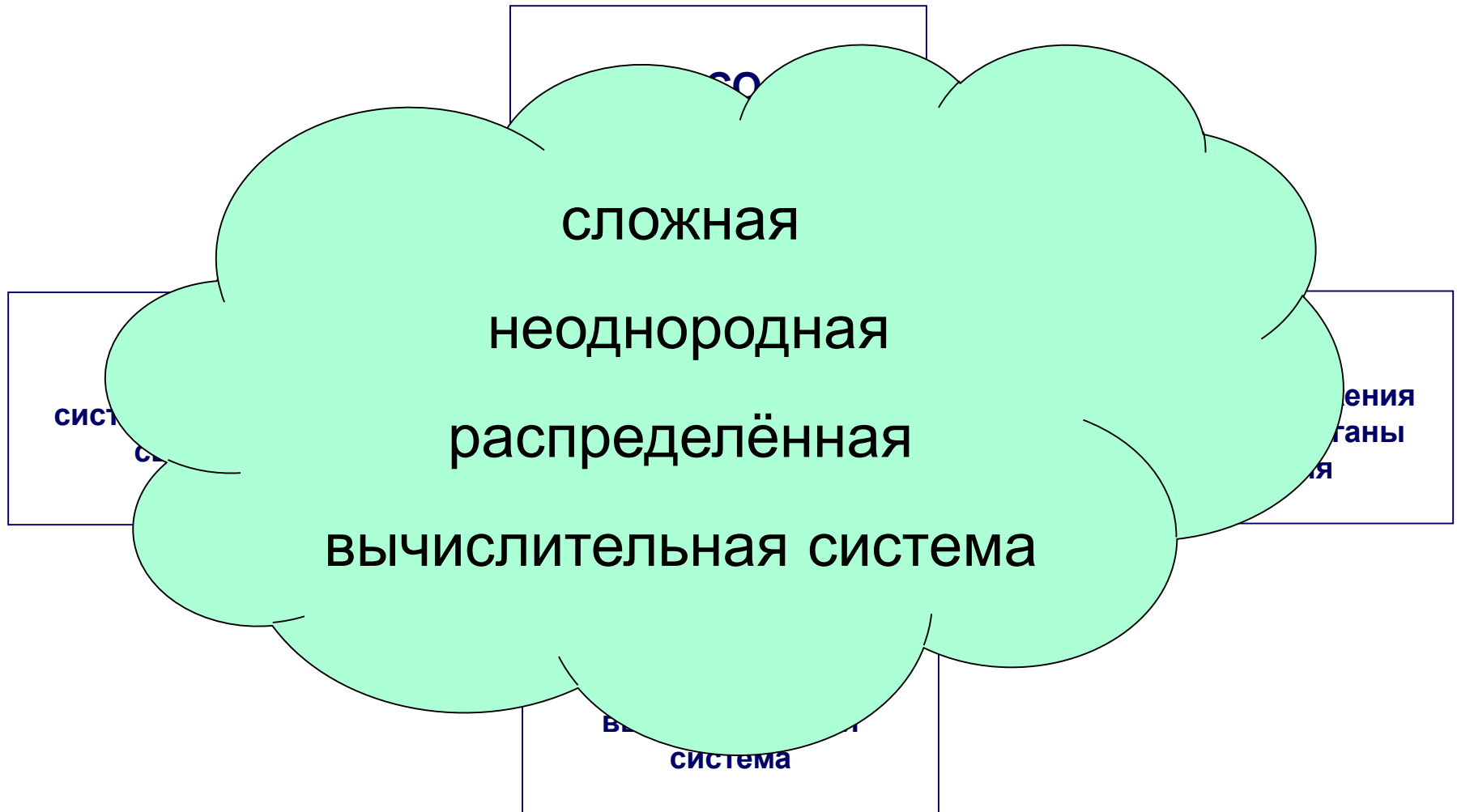
План доклада

- Специфика бортовых ВС
- Жизненный цикл бортового ПО
- Инструментальные средства разработки бортового ПО
- Технологическая цепочка средств разработки бортового ПО
- Стенды отработки бортовых ВС

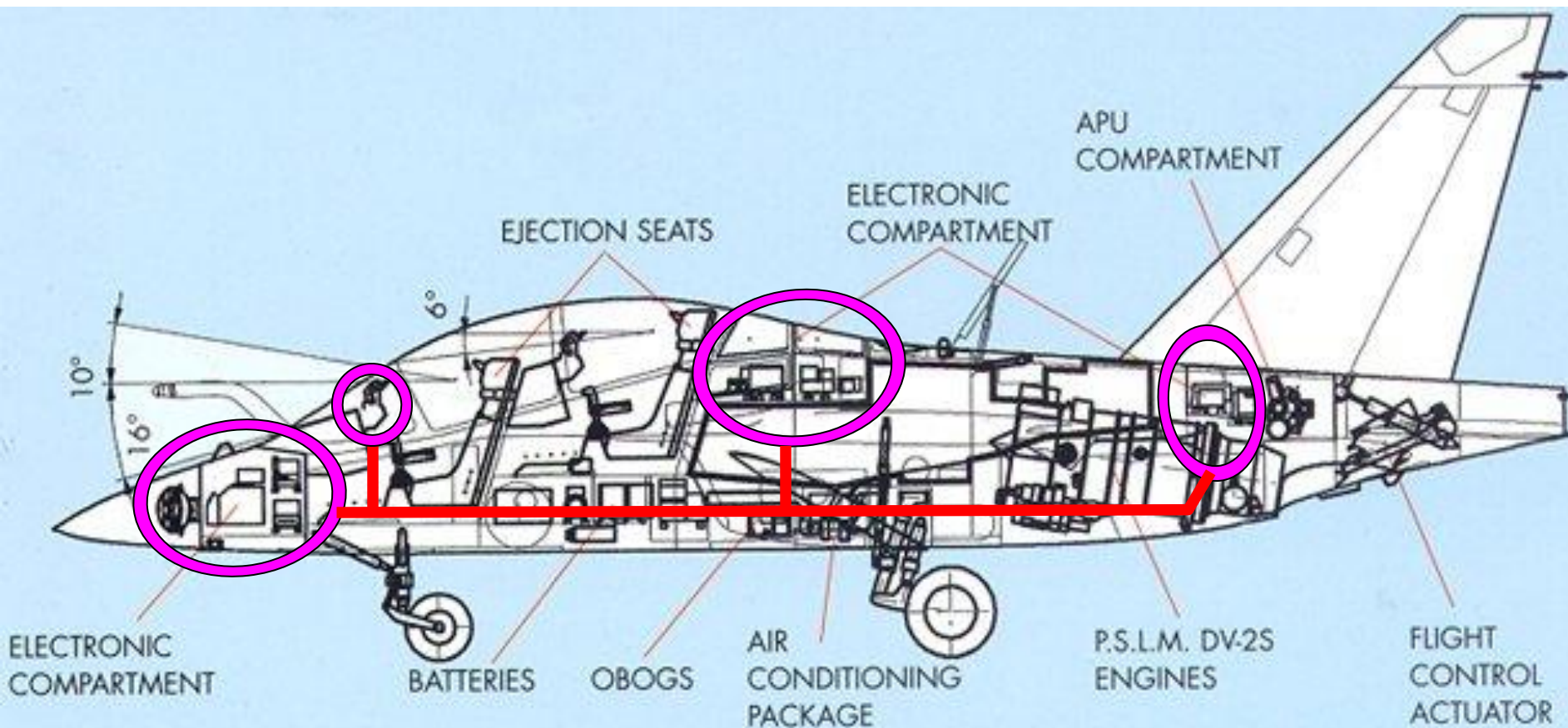
План доклада

- **Специфика бортовых ВС**
- Жизненный цикл бортового ПО
- Инструментальные средства разработки бортового ПО
- Технологическая цепочка средств разработки бортового ПО
- Стенды отработки бортовых ВС

Комплекс бортового оборудования



Расположение элементов бортового оборудования



Специфика бортовых ИУС РВ

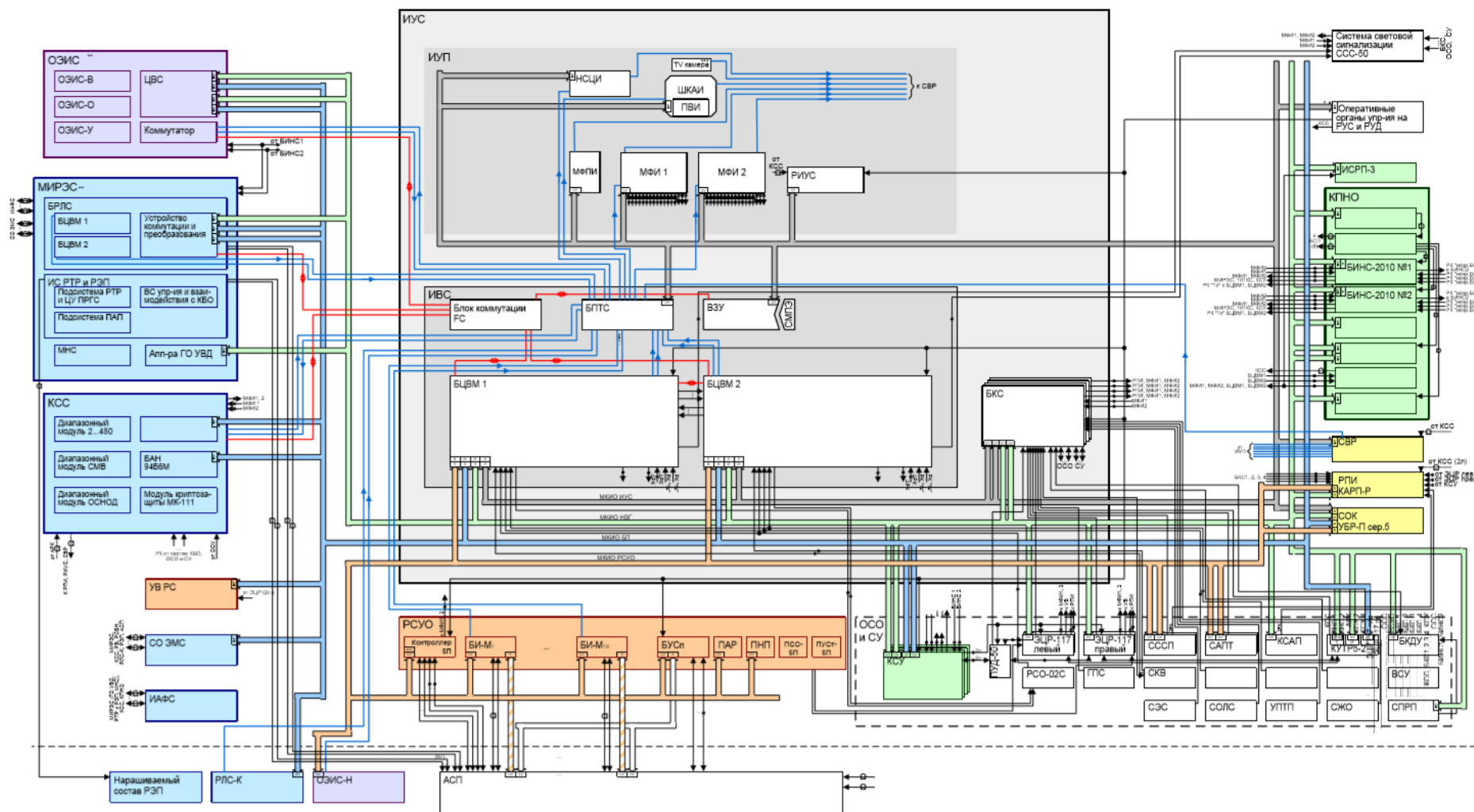
- Высокая сложность
- Функционирование в реальном времени
 - Вычисления
 - Информационный обмен
- Требования
 - Функциональность ← разнообразие
 - Надёжность
 - Реальное время
- Критичность
- Неоднородность
 - Каналы: точка-точка, шина, коммутатор; 12 kbps, 1 Mbps, 1 Gbps
 - Устройства: датчики, индикаторы, вычислители, органы управления, исполнительные устройства
 - Данные: аналоговые, цифровые; числовые массивы, видеопотоки

Бортовые ИУС РВ и их ПО требуют систематического подхода к проектированию, реализации и тестированию

Бортовые устройства



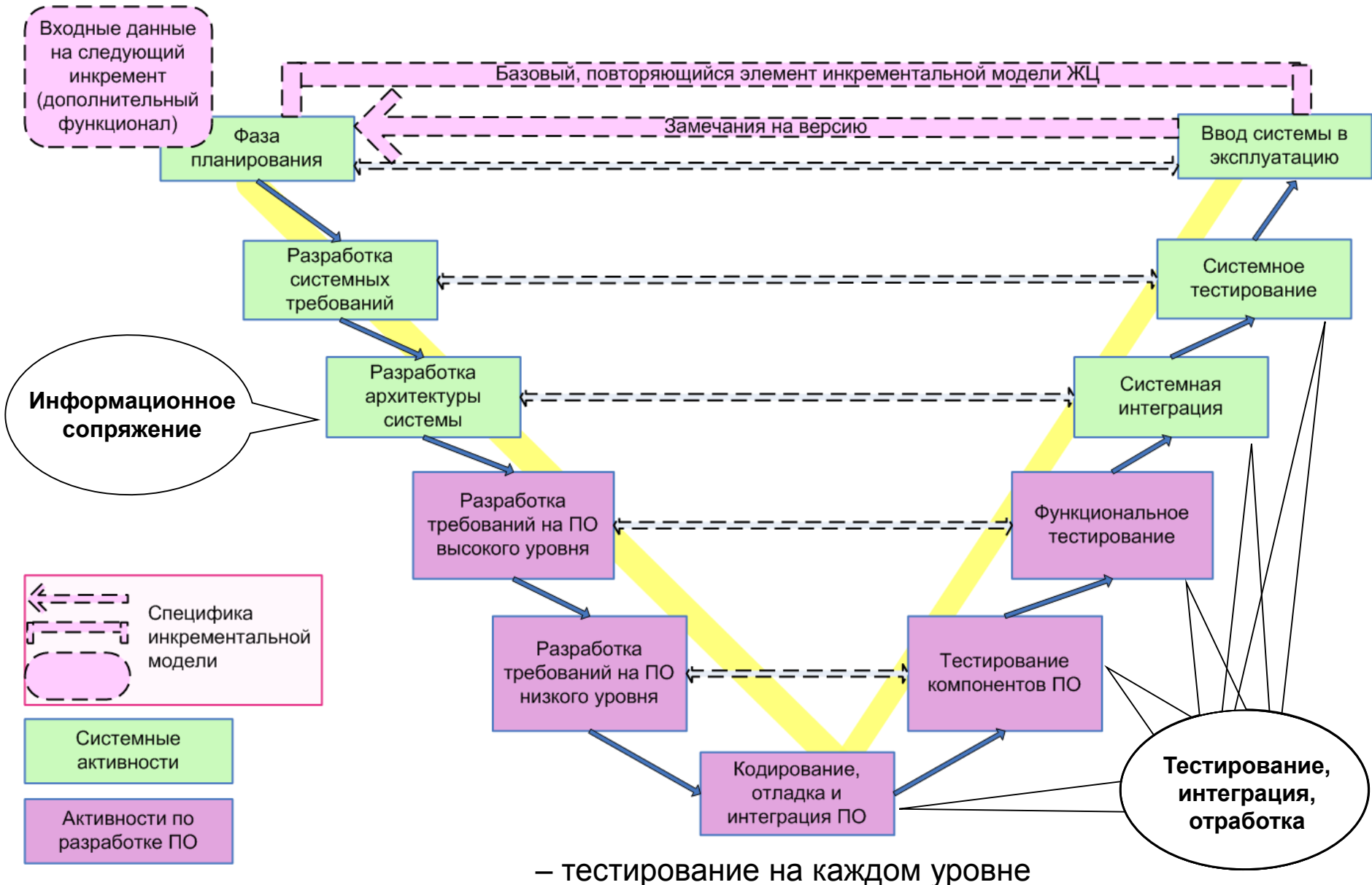
Бортовая ИУС РВ – сложная система



План доклада

- Специфика бортовых ВС
- **Жизненный цикл бортового ПО**
- Инструментальные средства разработки бортового ПО
- Технологическая цепочка средств разработки бортового ПО
- Стенды отработки бортовых ВС

Жизненный цикл бортового ПО



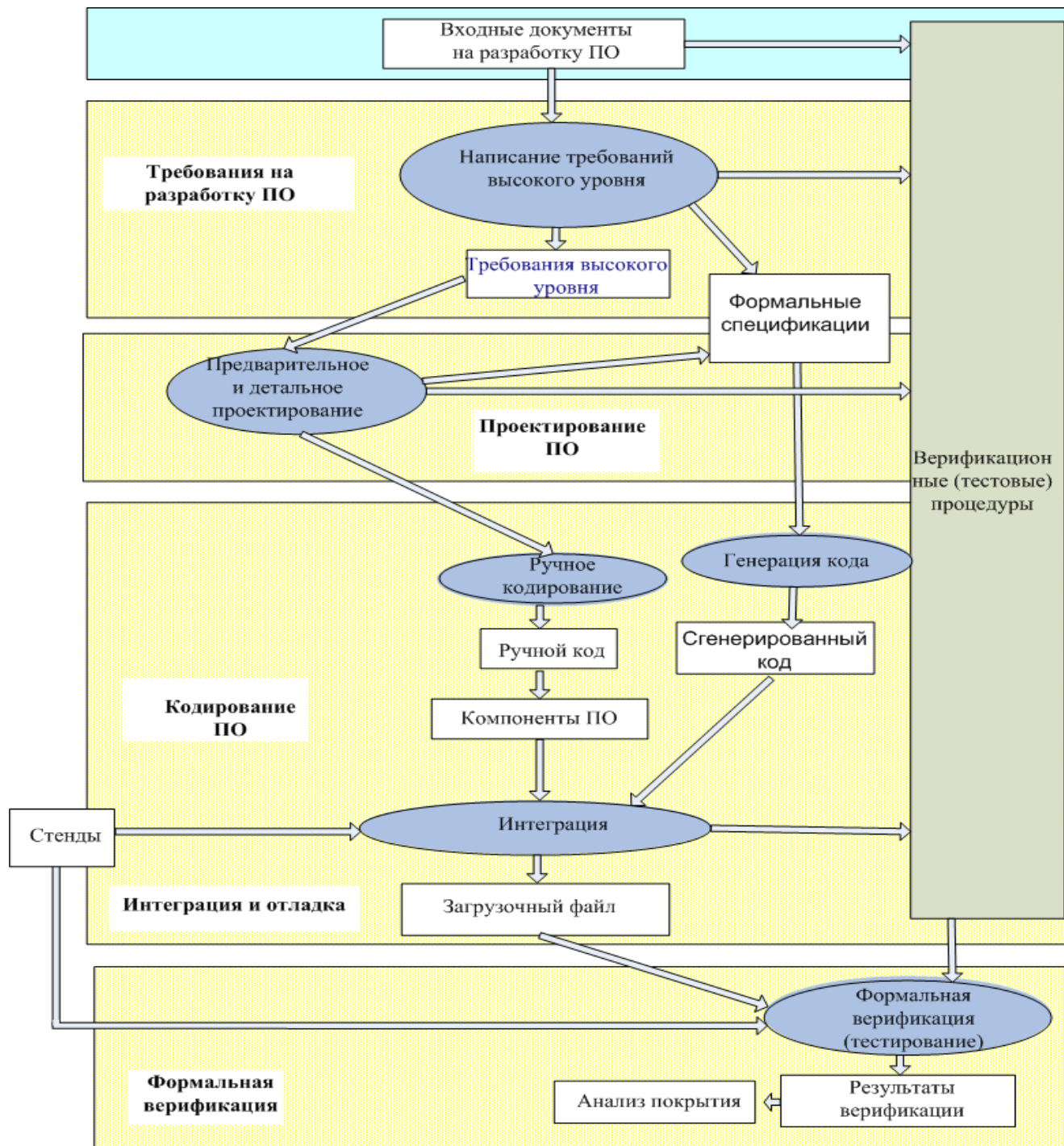
Процессы ЖЦ по стандарту DO-178B

Software Considerations in Airborne Systems and Equipment

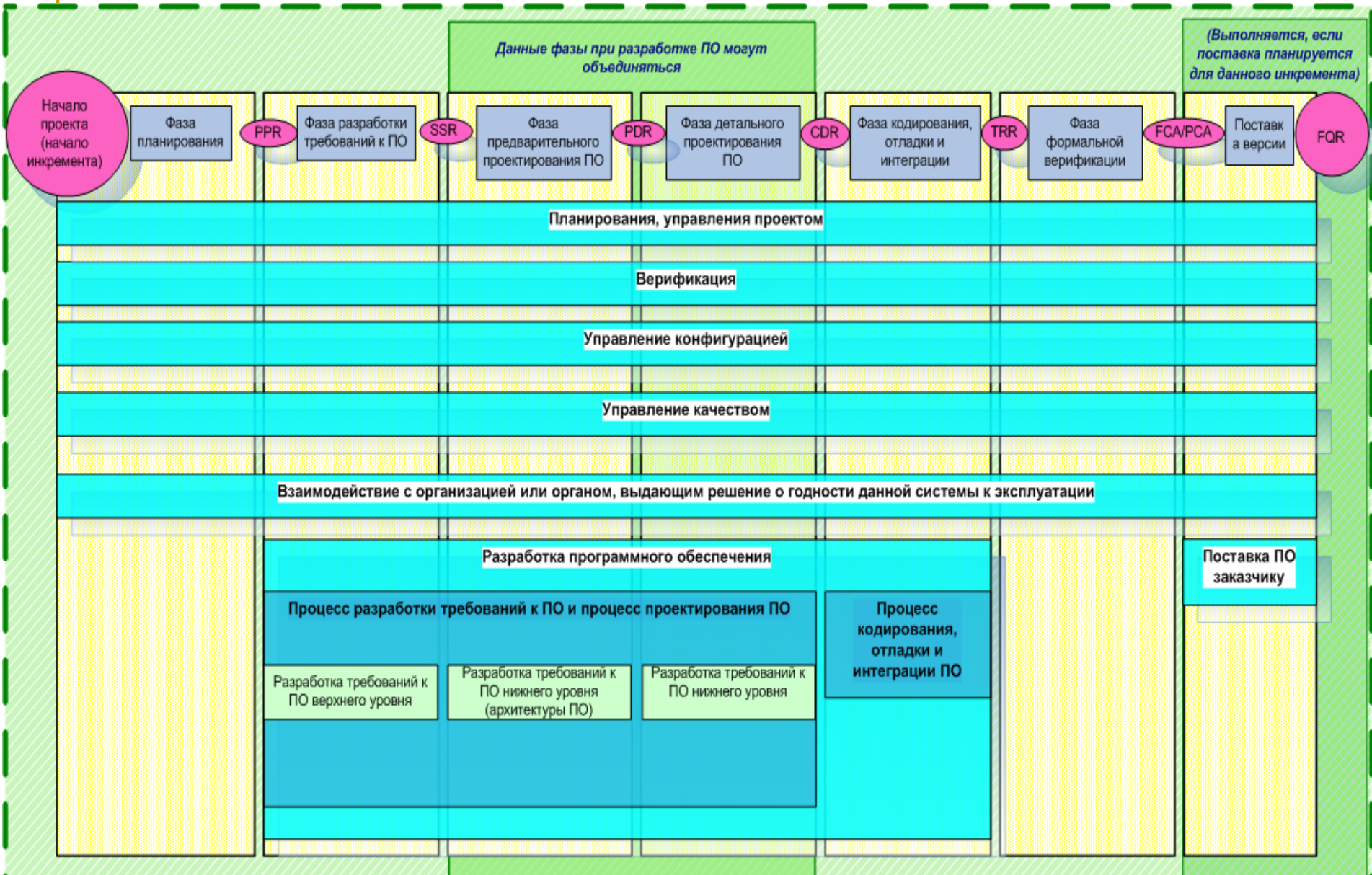
- Процесс планирования и управления проектом
- Процесс разработки ПО
 - Разработка требований
 - Проектирование
 - Кодирование, отладка и интеграция
- Интегральные процессы
 - Управление конфигурацией
 - Верификация
 - Обеспечение качества
 - Сертификационное взаимодействие

Влияние на состав фаз ЖЦ

Активности по фазам ЖЦ ПО



Соотношение фаз и процессов ЖЦ ПО



План доклада

- Специфика бортовых ВС
- Жизненный цикл бортового ПО
- **Инструментальные средства разработки бортового ПО**
- Технологическая цепочка средств разработки бортового ПО
- Стенды отработки бортовых ВС

Средства поддержки разработки требований

- Функциональность бортового ПО описывается десятками тысяч требований (системных; собственно к ПО)
- Необходимая функциональность:
 - создание и хранение требований, отслеживание истории
 - связывание требований с версиями документов и ПО
 - прослеживаемость требований на:
 - Низкоуровневые требования
 - Формальные спецификации
 - Код
 - Тесты
- Примеры средств: IBM DOORS, Borland CaliberRM, SyBase PowerDesigner

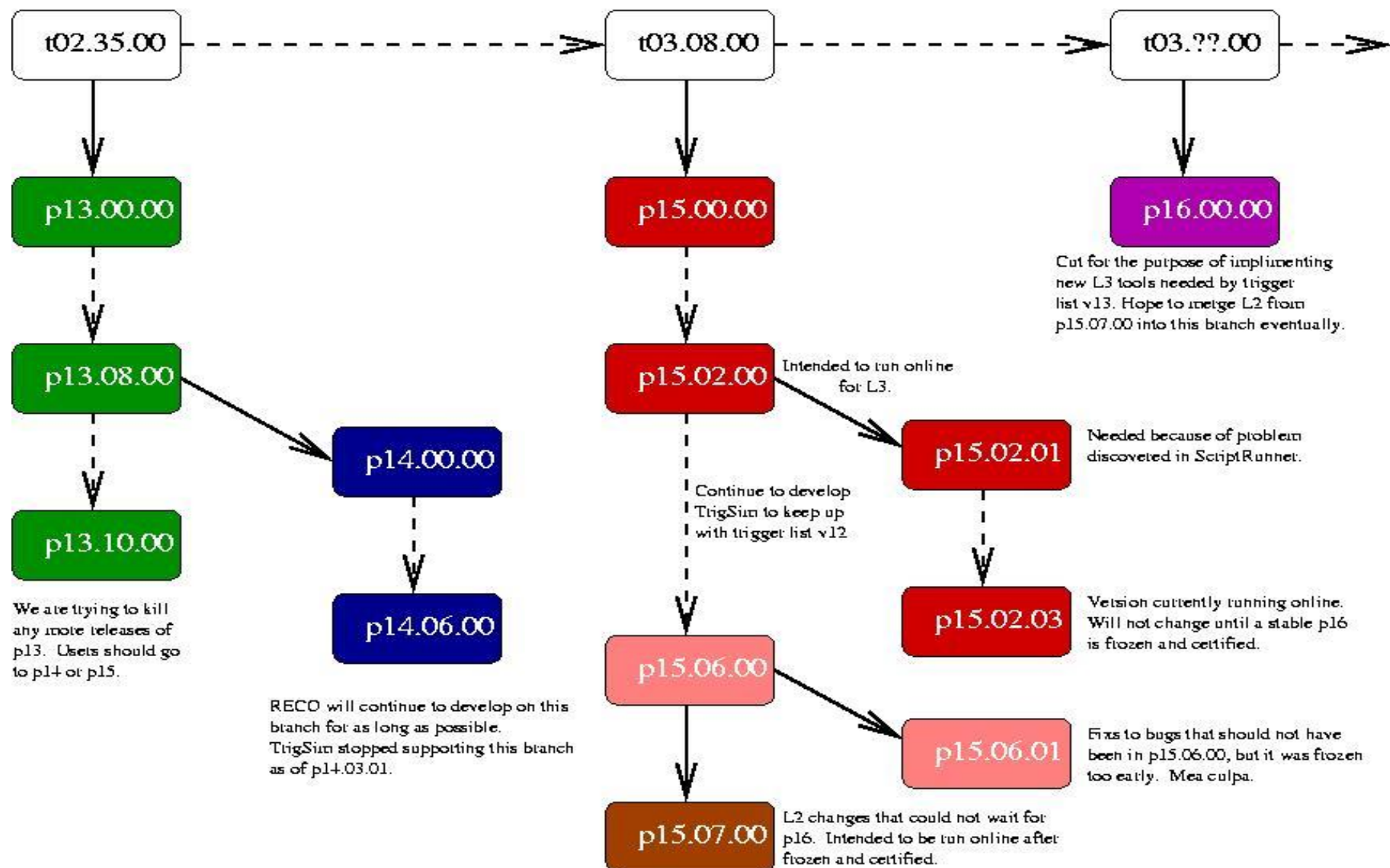
Примеры требований к подсистеме ИУС РВ

BCS.INIT.SELF	Встроенная самопроверка БЦВМ	
	После включения питания БЦВМ должна выполнять начальную встроенную самопроверку. Взаимодействие по каналам КБИ при этом не выполняется. Продолжительность встроенной самопроверки не менее 2 сек. и не более 8 сек. По результатам встроенной проверки загорается светодиод исправности БЦВМ.	
BCS.INIT.MILS	Контроль МКИО	
	После встроенной самопроверки БЦВМ должна выполнять контроль обменов по МКИО: - передачу групповой команды "Установить ОУ в исходное состояние"; - передачу групповой команды "Начать самоконтроль ОУ"; - опрос векторного слова самоконтроля у абонентов МКИО; Продолжительность встроенной самопроверки не более 3 сек.	
BCS.SKV.TEST.START	Включение режима 'Тест'	
	Не позднее, чем через 10 сек. после включения питания БЦВМ должна перевести СКВ в режим 'Тест'.	
BCS.SKV.TEST.DELAY	Продолжительность режима 'Тест'	
	Продолжительность режима 'Тест' СКВ должна быть не менее 2 сек.	

Средства версионного/ конфигурационного контроля

- При разработке ПО формируется множество документов, группируемых в версии
 - Промежуточные («инженерные») версии
 - Официальные версии
- Версия = вся совокупность документов
 - Требования, спецификации, код, тесты,...
 - Часть конфигурации борта
- Необходимая функциональность:
 - Версионирование совокупности документов (в т.ч. атомарность изменений)
 - Поддержка ветвей истории
 - Поддержка групповой разработки, в т.ч. разграничения доступа
 - Обновление документов в реальном времени
- Примеры: CVS, Subversion, git, IBM ClearCase

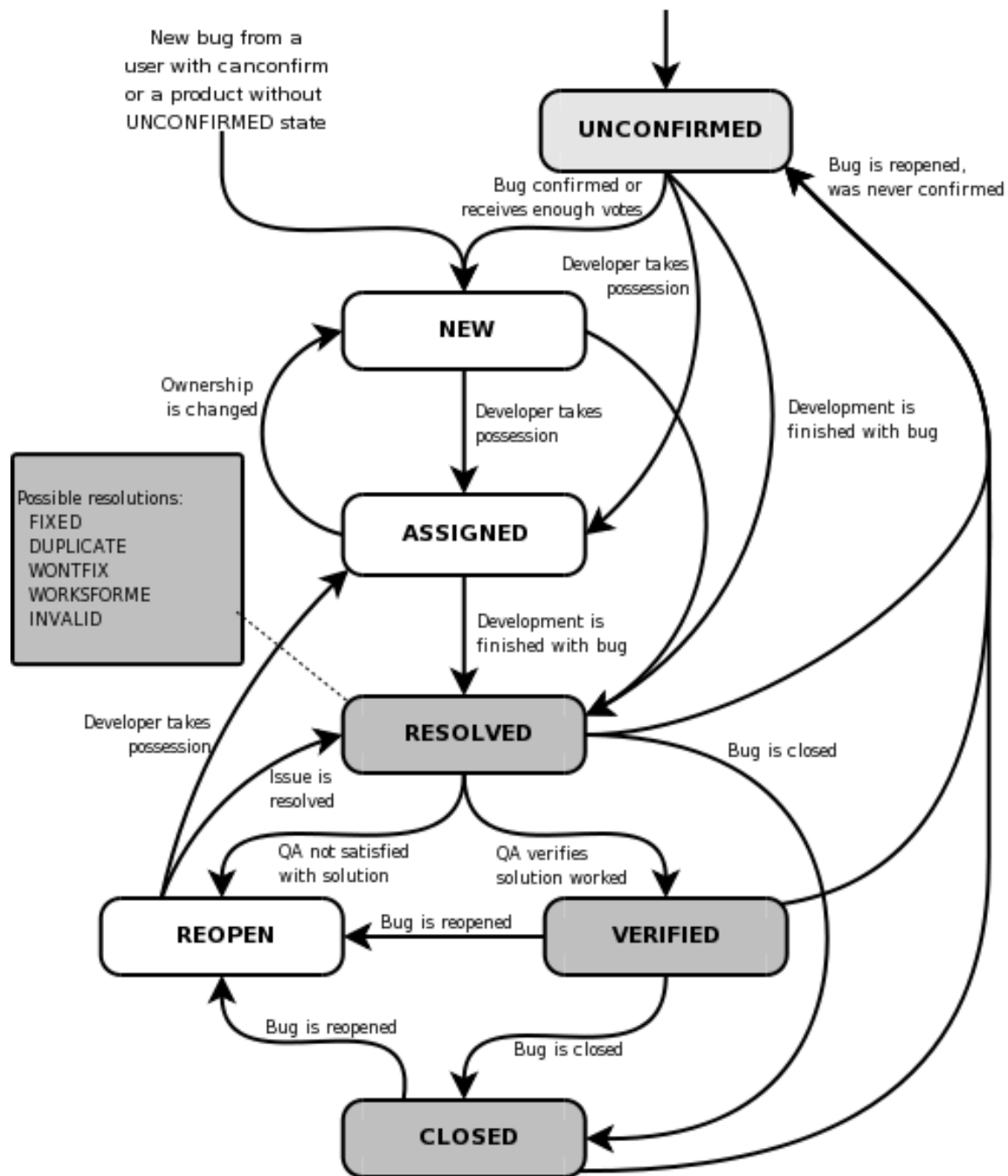
Дерево версий



Средства отслеживания проблем и изменений

- В процессе разработки ПО:
 - Дефекты и ошибки: зарегистрированы, проанализированы и устранены
 - Изменения: зарегистрированы, утверждены и реализованы
- Необходимая функциональность:
 - Поддержка структуры продукта и процесса
 - Настраиваемый формат сообщения о проблеме
 - Настраиваемый ЖЦ сообщения, поддержка согласования
 - Поддержка групповой разработки, втч разграничения доступа
 - Интеграция со средствами управления версиями
- Примеры: Bugzilla, Trac, IBM ClearQuest

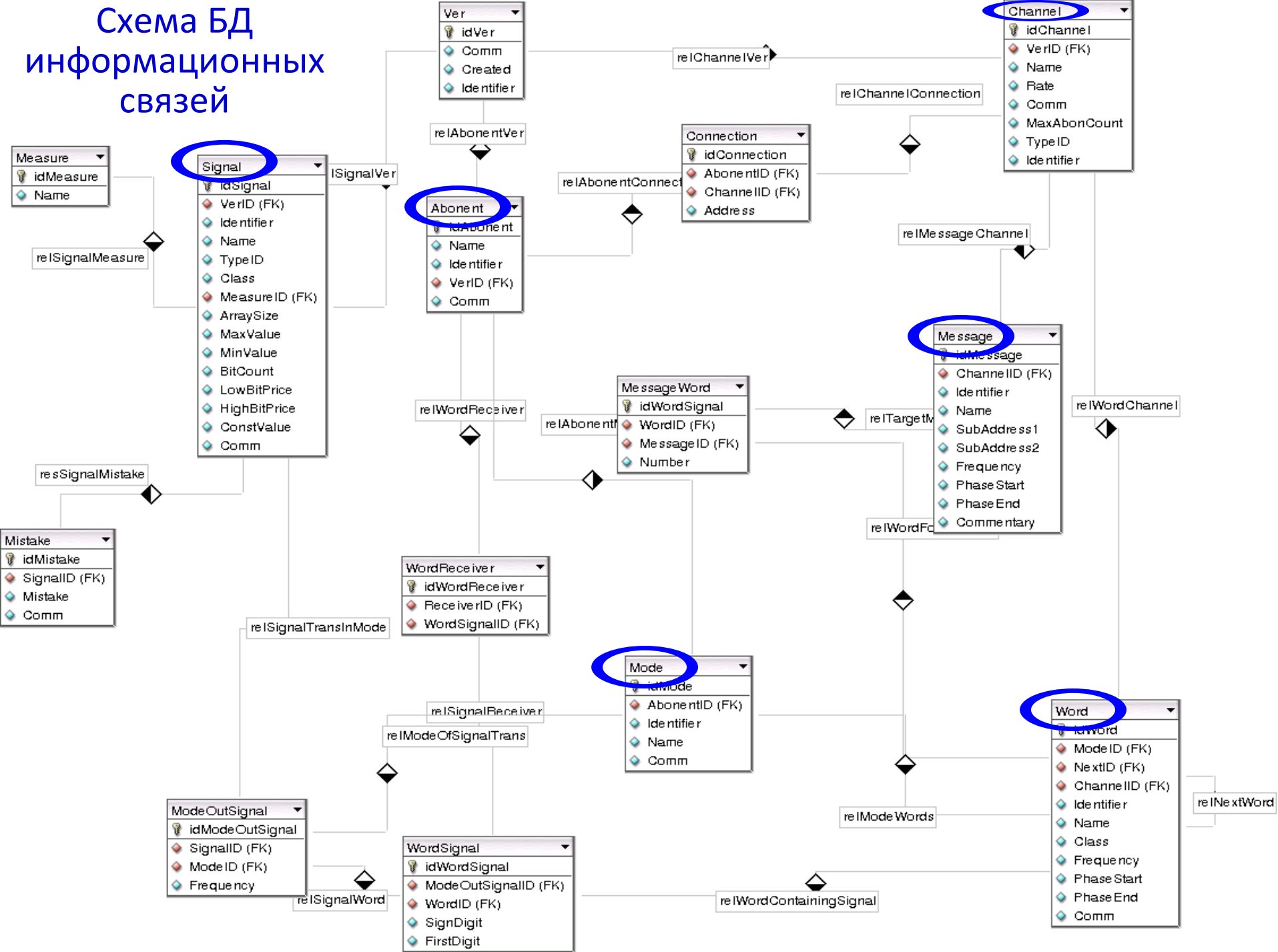
Жизненный цикл сообщения о проблеме



Средства поддержки сопряжения подсистем ПО

- Средства автоматизации проектирования бортовых интерфейсов
 - Балансировка загрузки каналов
 - Формирование набора сообщений
 - Построение расписаний обмена (канал с централизованным управлением)
 - Построение системы виртуальных каналов (сеть на основе коммутаторов)
- Средства автоматизации интеграции ПО
 - Использование унифицированных структурных компонентов ПО
 - По управлению: расписание выполнения СКПО
 - По данным:
 - БД информационных связей СКПО
 - Автоматическое формирование описания интерфейсов ПО (буфера, каналы, сообщения) для конфигурирования ОСРВ

Схема БД информационных связей



Средства автоматизации проектирования индикационных форматов

- Индикационный формат =
набор графических элементов + правила поведения
- Необходимая функциональность:
 - Редактирование в графической форме, WYSIWYG
 - Поддержка библиотеки элементов
 - Поддержка автономного тестирования
 - Генерация кода в формате для целевого устройства
- Примеры: SCADE Display, VAPS, САПР ИФ

П/Т

НВГ

ОВО

БКС

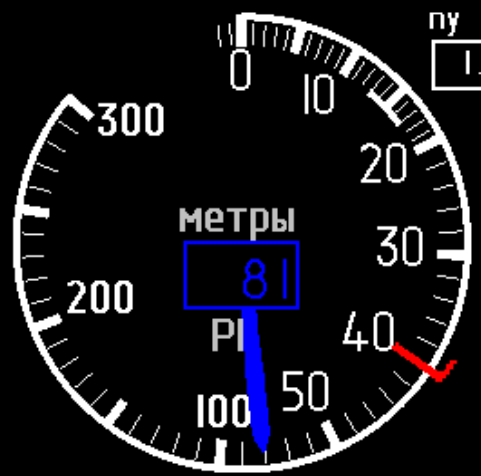
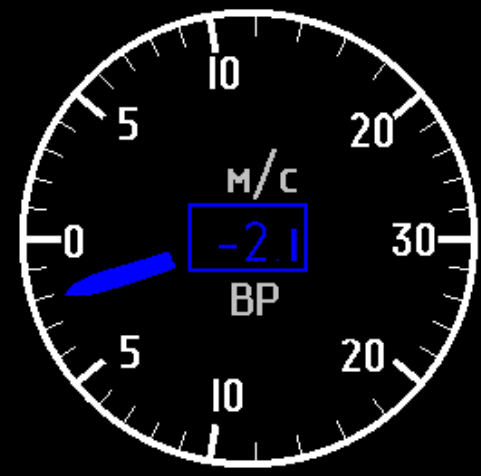
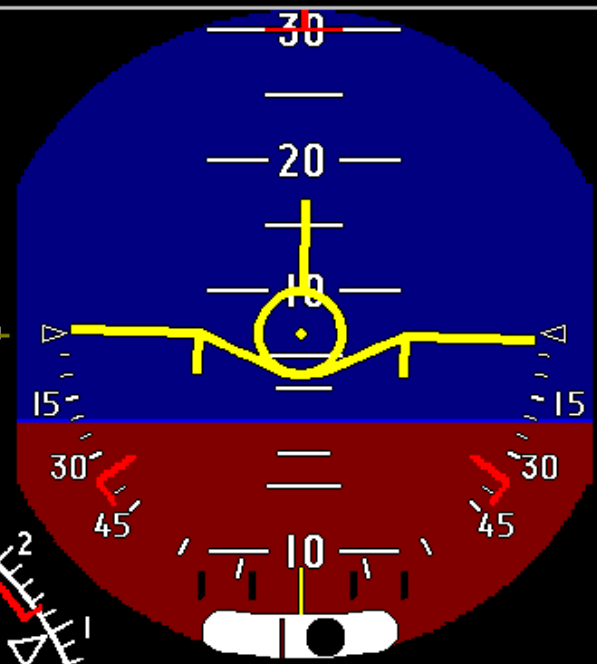
БКО

Р/С

ОПС

★

Н
7
6
0



ПЗ 9 ППМІ Д 91 КМ
Аз 313° ↑

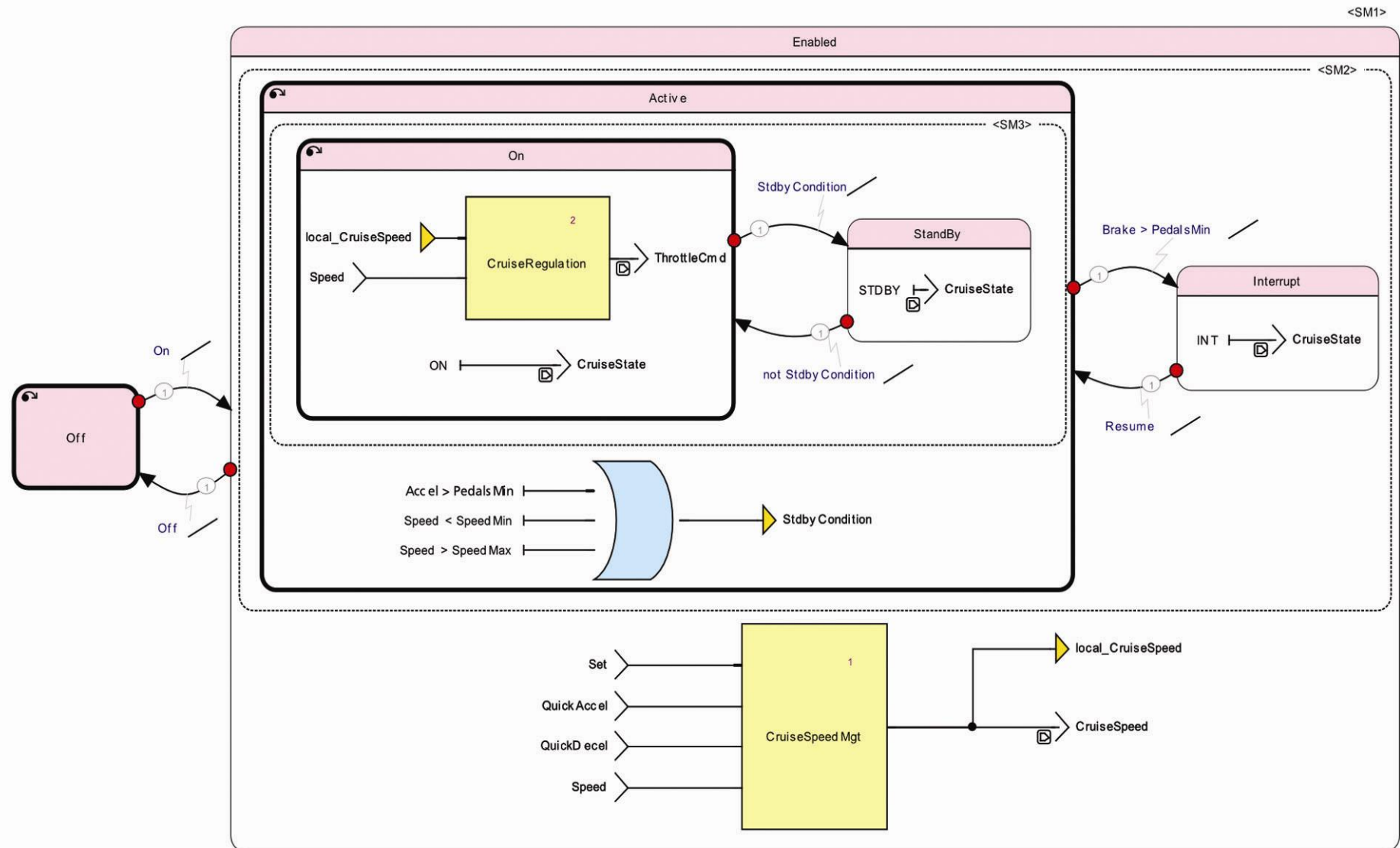
И
М
С
И
Н
П
У
И
Н
С
У
Б
В

А
П
Т
А
Н
Г

Средства проектирования алгоритмов

- Алгоритмы бортового ПО хорошо формализуются
 - Поточковая обработка данных
 - Конечный автомат
- Проектирование/описание на формальном уровне позволяет формализовать проверку алгоритма
- Необходимая функциональность:
 - Поддержка обоих видов формального представления
 - Графическое описание
 - Тестирование и пошаговая отладка на уровне модели
 - Верификация на основе формальных методов
 - Сертифицированный кодогенератор
- Примеры: Telelogic Rhapsody, SCADE Suite, Simulink

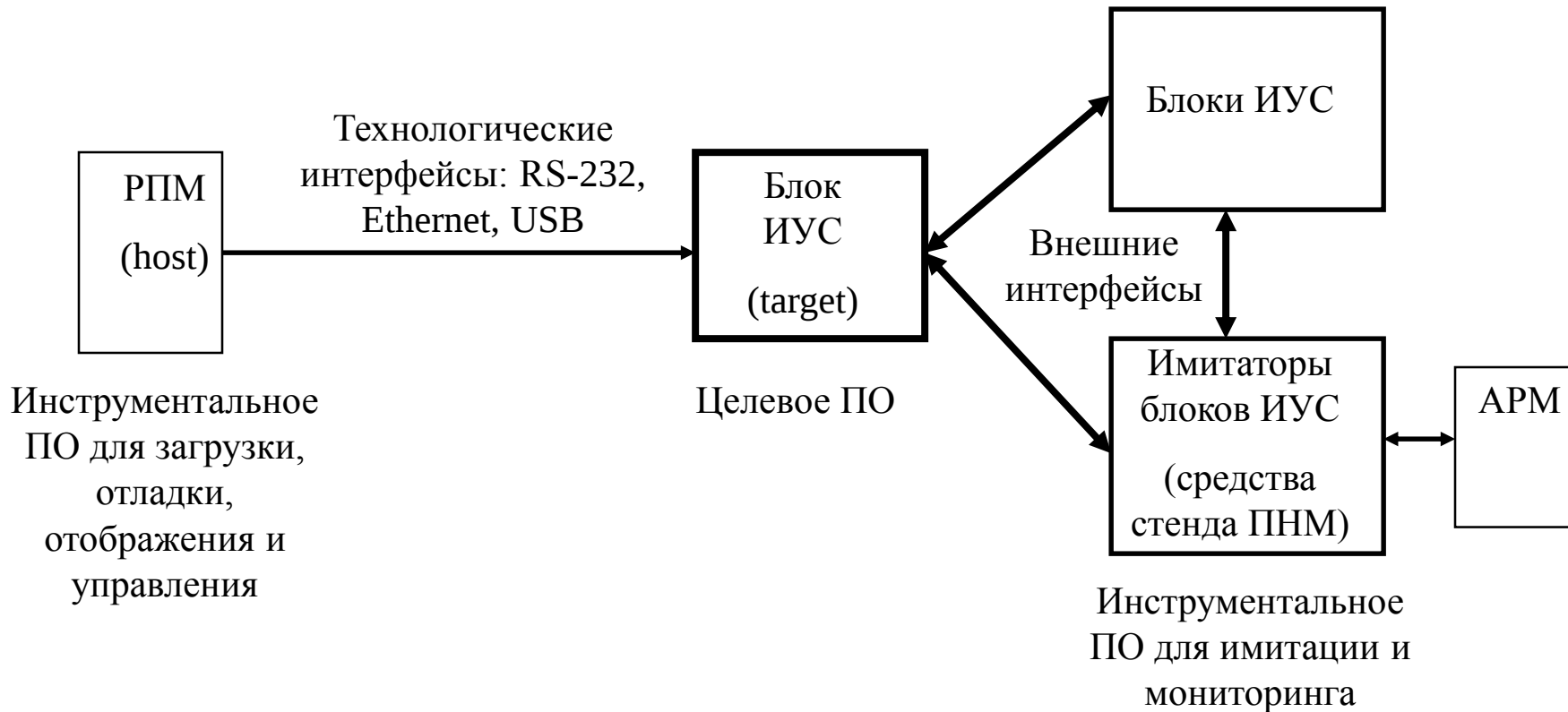
Диаграмма SCADE



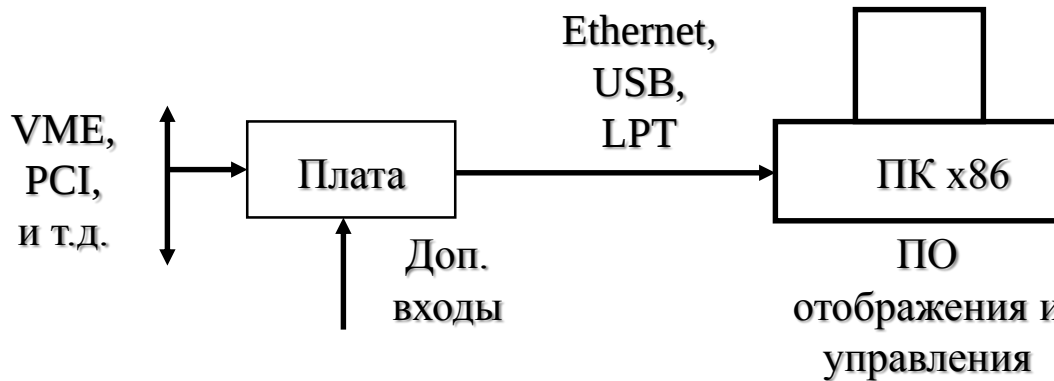
Технологический комплекс разработки программ

- Поддержка целевой ОС и аппаратной архитектуры
- Поддержка редактирования/компиляции/компоновки программ
- Поддержка отладки
 - В среде инструментального ПК
 - В среде эмулятора целевой системы
 - На целевой системе
- Поддержка отладки в реальном времени
 - Мониторинг внешних каналов связи
 - Мониторинг внутренних данных программы
 - Мониторинг системных шин БЦВМ

Отладка ПО ИУС РВ на реальном блоке



Анализаторы шин VME/PCI

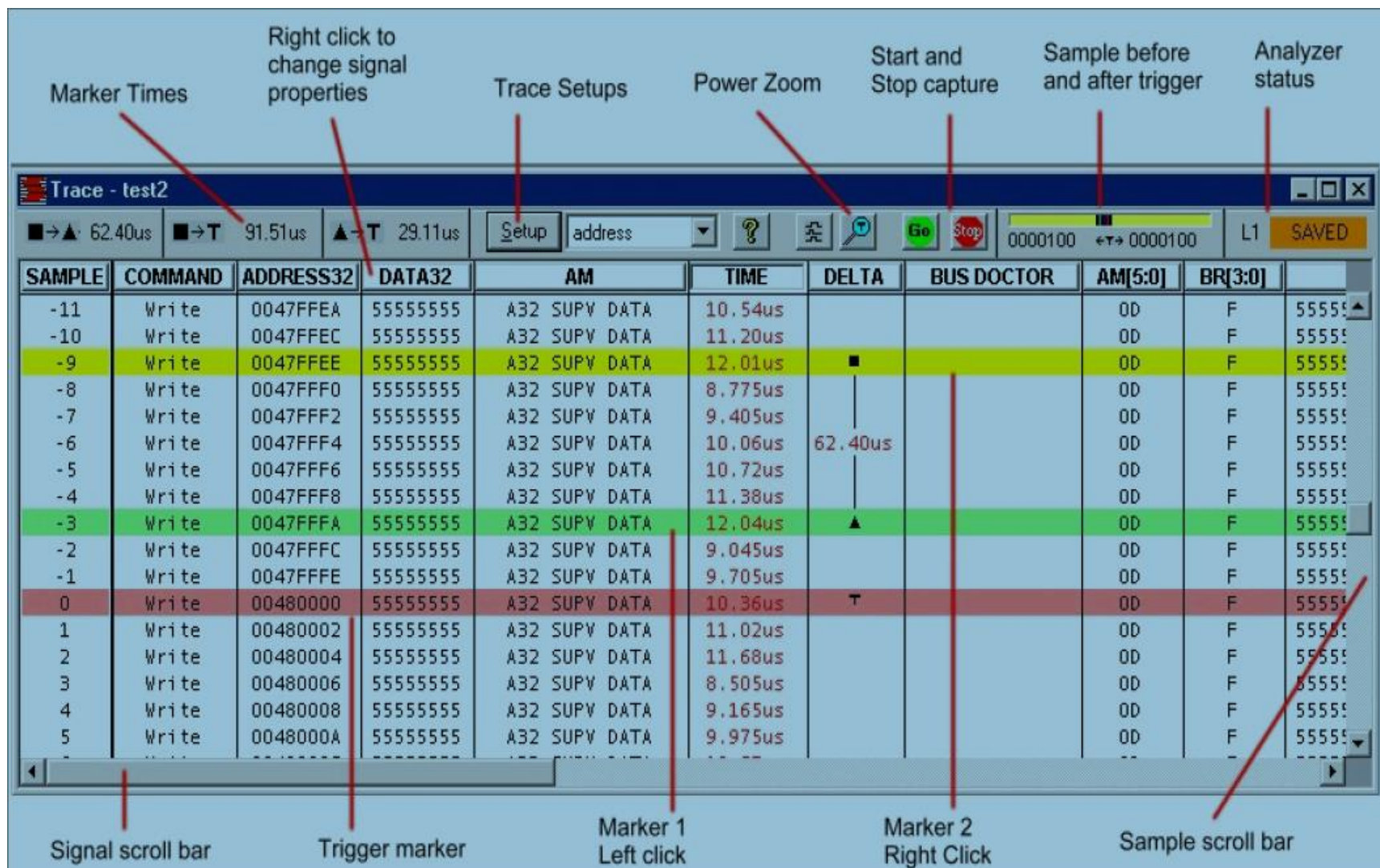


Инструментальные средства анализа:

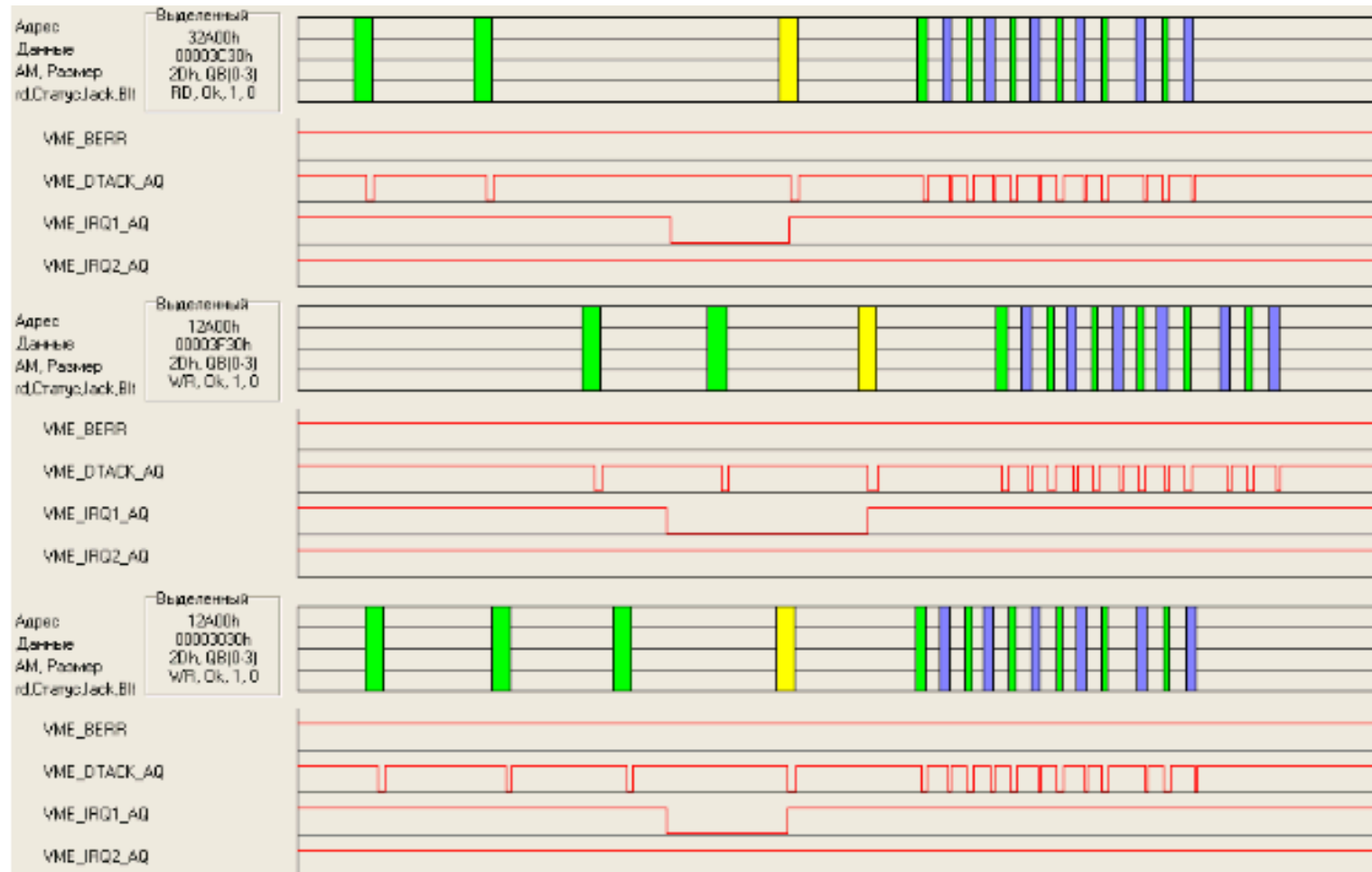
- Silicon Control Inc
- Curtiss-Wright Electronics systems / VMETRO
- LeCroy Inc
- Tektronix Inc
- Гранит-BT



Анализатор шины VME: таблица обменов



Анализатор шины VME: временная диаграмма



Анализатор канала MIL STD-1553B

Текущий сеанс: "2012-05-05 14:31" <@standvm-lenny>

5 мая 2012 Время: 11:01.817125 - 12:01.817141 Длительность: 01:00.000016 Ч:М

Каналы

Имя	Тип	ОН	P	B	ОУ
mil	МКИО				
mil1	МКИО				
mil2	МКИО				

Свойство Фильтр

Имя	значение
Циклограмма	По умолчанию
Имя	mil
Тип	M1553
МК	☒
Размещение	hamster:2
Фильтр	По умолчанию
КК	☒
Размещение	hamster:2
ОУ	☒
Размещение	hamster:2
Фильтр	По умолчанию

Добавить МК Добавить КК

Добавить ОУ Удалить

[МКИО] mils (180) Интервал: 15:07:20.817125 - 15:08:20.817141 Обмен Адрес ОУ Per Статистика КК

№	Время	Дата	Δt	Формат	Отправитель	Получатель	Размер
4600	15:07:53.815...	5 Май 2012	0:00:00.9991...	1 (КК->ОУ)	КК	0x01:0x01	32
4601	15:07:53.816...	5 Май 2012	0:00:00.0000...	2 (ОУ->КК)	0x01:0x01	КК	0
4602	15:07:53.816...	5 Май 2012	0:00:00.0000...	3 (ОУ->ОУ)	0x00:0x01	0x01:0x01	0
Пауза: 0:00:00.999144							
4603	15:07:54.815...	5 Май 2012	0:00:00.9991...	1 (КК->ОУ)	КК	0x01:0x01	32
4604	15:07:54.816...	5 Май 2012	0:00:00.0000...	2 (ОУ->КК)	0x01:0x01	КК	0
4605	15:07:54.816...	5 Май 2012	0:00:00.0000...	3 (ОУ->ОУ)	0x00:0x01	0x01:0x01	0
Пауза: 0:00:00.999119							
4606	15:07:55.815...	5 Май 2012	0:00:00.9991...	1 (КК->ОУ)	КК	0x01:0x01	32
4607	15:07:55.816...	5 Май 2012	0:00:00.0000...	2 (ОУ->КК)	0x01:0x01	КК	32
4608	15:07:55.817...	5 Май 2012	0:00:00.0000...	3 (ОУ->ОУ)	0x00:0x01	0x01:0x01	32
Пауза: 0:00:00.997816							
4609	15:07:56.815...	5 Май 2012	0:00:00.9978...	1 (КК->ОУ)	КК	0x01:0x01	32
4610	15:07:56.816...	5 Май 2012	0:00:00.0000...	2 (ОУ->КК)	0x01:0x01	КК	32
4611	15:07:56.817...	5 Май 2012	0:00:00.0000...	3 (ОУ->ОУ)	0x00:0x01	0x01:0x01	32

[МКИО] mils (181) 0.28% Интервал: 15:11:01.817125 - 15:12:01.817141 Обмен Адрес ОУ Per Статистика КК

№	Время	Дата	Δt	Формат	Отправитель	Получатель	Размер
5166	15:11:01.817161	5 Май 2012	0:00:00.000000	3 (ОУ->ОУ)	0x00:0x01	0x01:0x01	
Пауза: 0:00:00.997801							
5167	15:11:02.815692	5 Май 2012	0:00:00.997801	1 (КК->ОУ)	КК	0x01:0x01	
5168	15:11:02.816413	5 Май 2012	0:00:00.000036	2 (ОУ->КК)	0x01:0x01	КК	
5169	15:11:02.817140	5 Май 2012	0:00:00.000042	3 (ОУ->ОУ)	0x00:0x01	0x01:0x01	
Пауза: 0:00:00.997821							
5170	15:11:03.815691	5 Май 2012	0:00:00.997821	1 (КК->ОУ)	КК	0x01:0x01	
5171	15:11:03.816413	5 Май 2012	0:00:00.000037	2 (ОУ->КК)	0x01:0x01	КК	
5172	15:11:03.817140	5 Май 2012	0:00:00.000042	3 (ОУ->ОУ)	0x00:0x01	0x01:0x01	
Пауза: 0:00:00.997822							
5173	15:11:04.815692	5 Май 2012	0:00:00.997822	1 (КК->ОУ)	КК	0x01:0x01	
5174	15:11:04.816413	5 Май 2012	0:00:00.000036	2 (ОУ->КК)	0x01:0x01	КК	
5175	15:11:04.817151	5 Май 2012	0:00:00.000053	3 (ОУ->ОУ)	0x00:0x01	0x01:0x01	
Пауза: 0:00:00.997811							
5176	15:11:05.815692	5 Май 2012	0:00:00.997811	1 (КК->ОУ)	КК	0x01:0x01	

14:27:26: Сеанс "Default" успешно загружен.

Средства поддержки верификации и тестирования бортового ПО

- Тестирование на целевой платформе
 - Недопустимость инструментирования
 - Тестирование через каналы бортовых интерфейсов
 - Тестирование требований реального времени
 - Интерактивное тестирование индикационных форматов
- Многоэтапное тестирование
 - Сопровождение интеграции подсистем КБО
- Необходимая функциональность:
 - Поддержка стандартов бортовых интерфейсов
 - Многомашинные конфигурации
 - Выполнение тестов в реальном времени
 - Автоматическое и интерактивное тестирование
 - Пакетный режим
 - Формирование отчётов, прослеживаемость требований
- Примеры средств: Rational Test RealTime, VectorCast, средства разработки ЛВК

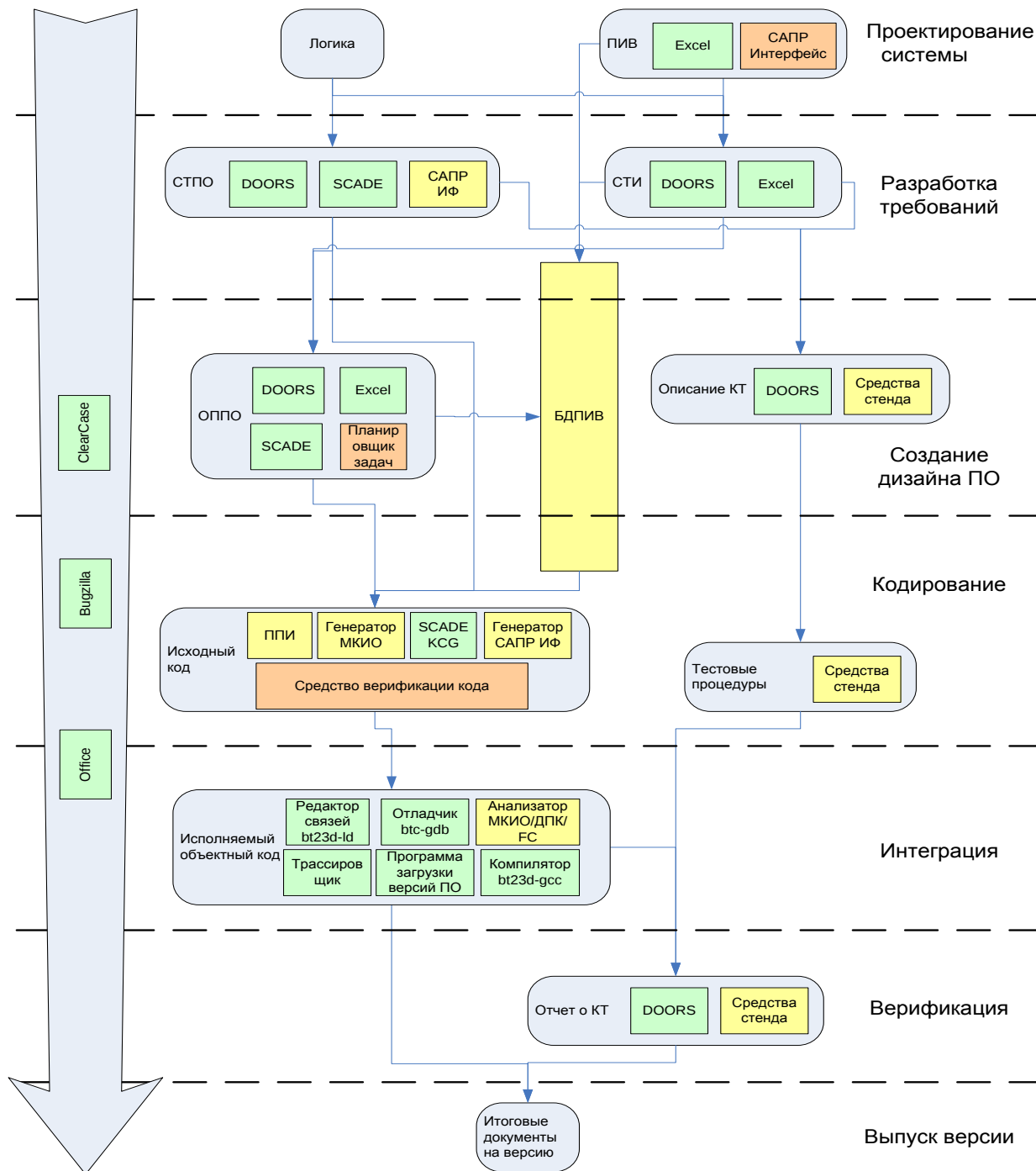
План доклада

- Специфика бортовых ВС
- Жизненный цикл бортового ПО
- Инструментальные средства разработки бортового ПО
- **Технологическая цепочка средств разработки бортового ПО**
- Стенды отработки бортовых ВС

Принцип построения технологической цепочки

- 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



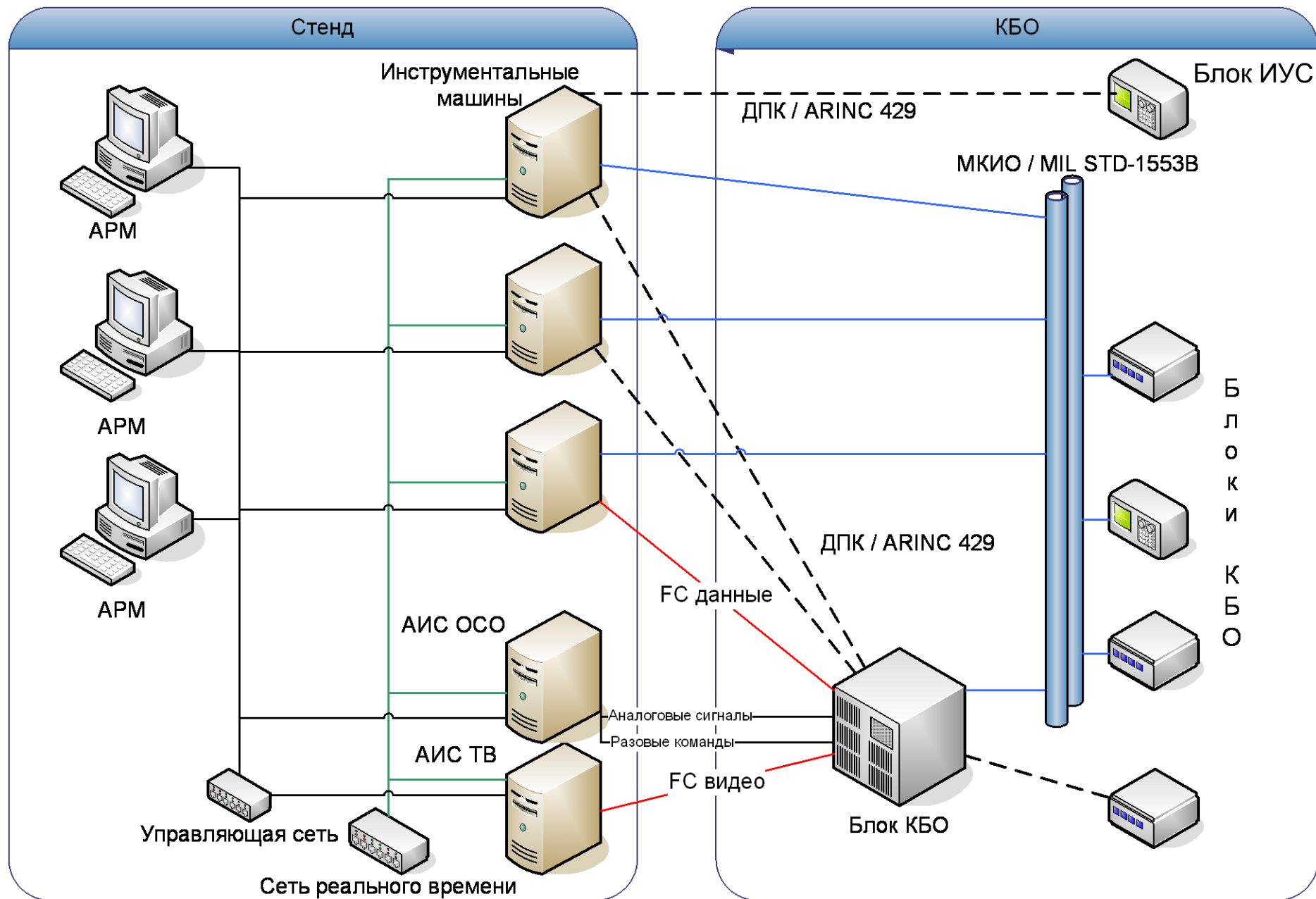
План доклада

- Специфика бортовых ВС
- Жизненный цикл бортового ПО
- Инструментальные средства разработки бортового ПО
- Технологическая цепочка средств разработки бортового ПО
- **Стенды отработки бортовых ВС**

Стенд комплексирования и испытаний ИУС

- Язык описания моделей устройств ИУС
- Язык для задания тестовых воздействий и проверяемых условий
- Выполнение функциональных тестов и моделей ИУС в реальном времени
- Обмен данными с устройствами ИУС через аппаратные бортовые каналы
- Оперативное управление функциональным тестированием
- Автоматическое формирование интерфейсной части тестов по БД бортовых интерфейсов
- Автоматическое формирование отчётов по тестированию, включая матрицы прослеживаемости требований
- Трассируемость проверяемых требований
- Интеграция в процесс разработки ПО ИУС по ГОСТ 51904-2002 и КТ-178 (DO-178)

Тестирование через КБИ, без инструментирования.



Средство оперативного управления тестированием

Online visualization and control tool <@standvm-lenny>

Window Commands Help

State tree State Value tree Value

Stand

- env
 - all
- bcs
 - bcvm
 - rv
 - env
 - mils
 - skv
 - env
 - mils
 - arinc
 - mils

State

- Fictive
- On
- MIL STD-1553B checkup
- Off
- On
- RT is listening to the bus
- Off
- On
- RT is listening to the bus
- Off
- Idle
- Waiting

Value tree

Stand

- env
 - X 34474.5
 - Y -42126.2
 - V_x -724.296
 - V_y 689.49
 - Psi -46.4103
 - H_suf 10000
 - w_z -1.14592
 - a_x -13.7898
 - a_y -14.4859
- bcs
 - bcvm
 - rv
 - skv

Messages

tck1 tck2

Delay (s): 0 Out-of-order test: Test not selected

Test Component: Stand.tck1 State: Waiting for input

Test "1"

Activated testing log file LOG ("Log.tck1.log")

>>>> [2s 000ms] from experiment start

Test "A.B.C.E"

[Waiting for input]

Experiment status: Experiment is running Model time: 0:07:35 Deviation: 100 us

Средства мониторинга и анализа обменов в бортовых каналах

■ Решаемые задачи

- Оперативный мониторинг информационных обменов.
- Регистрация информационных обменов до нескольких суток.
- Отображение и поддержка анализа пользователем результатов регистрации.
- Выдача в канал заданной пользователем информации.

■ Возможности

- Поддержка бортовых каналов: МКИО, ДПК, Fibre channel
- Задание циклограмм информационного обмена
- Фильтрация и поиск в результатах регистрации
- Распаковка, визуализация и оперативный анализ значений параметров
- Распределенная работа с аппаратурой регистрации
- Кроссплатформенность пользовательского интерфейса
- Стационарное и мобильное исполнение

Применение стендов для тестирования, интеграции и отработки блоков ИУС

Задачи, требующие работы с натурными бортовыми устройствами:

- интеграция аппаратуры и ПО, отладка ПО ИУС на целевой платформе;
- интеграция компонентов ПО ИУС, в т.ч. компонентов, поступающих от предприятий-созработчиков;
- интеграция подсистем ИУС, а также ИУС в целом как многокомпонентной аппаратно-программной системы;
- функциональное и квалификационное тестирование ИУС;
- приемосдаточные испытания блоков ИУС и ИУС в целом;
- диагностика блоков ИУС, по которым поступили рекламации;
- диагностика блоков ИУС в составе объекта.

Семейство стендов отработки ИУС

- Стенд тестирования и отладки ПО отдельного блока ИУС
- Стенд тестирования и отладки ПО нескольких связанных блоков ИУС
- Стенд комплексирования и приёмосдаточных испытаний ИУС
- Стенд разработки функциональных тестов ИУС
- Стенд серийного выпуска ИУС
- Мобильная рабочая станция мониторинга и тестирования

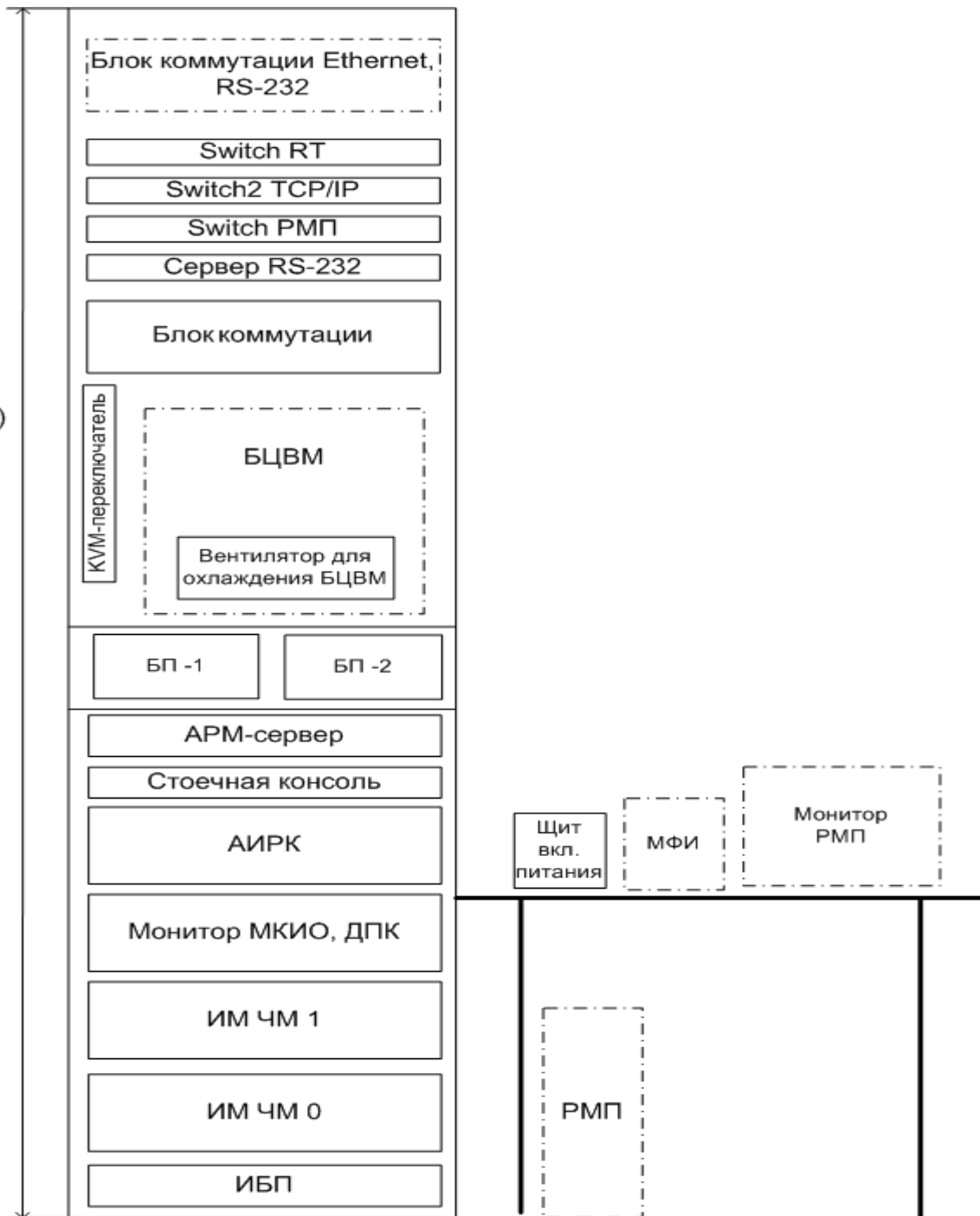
Стенд отладки ПО БЦВМ

47 U
(210 см)

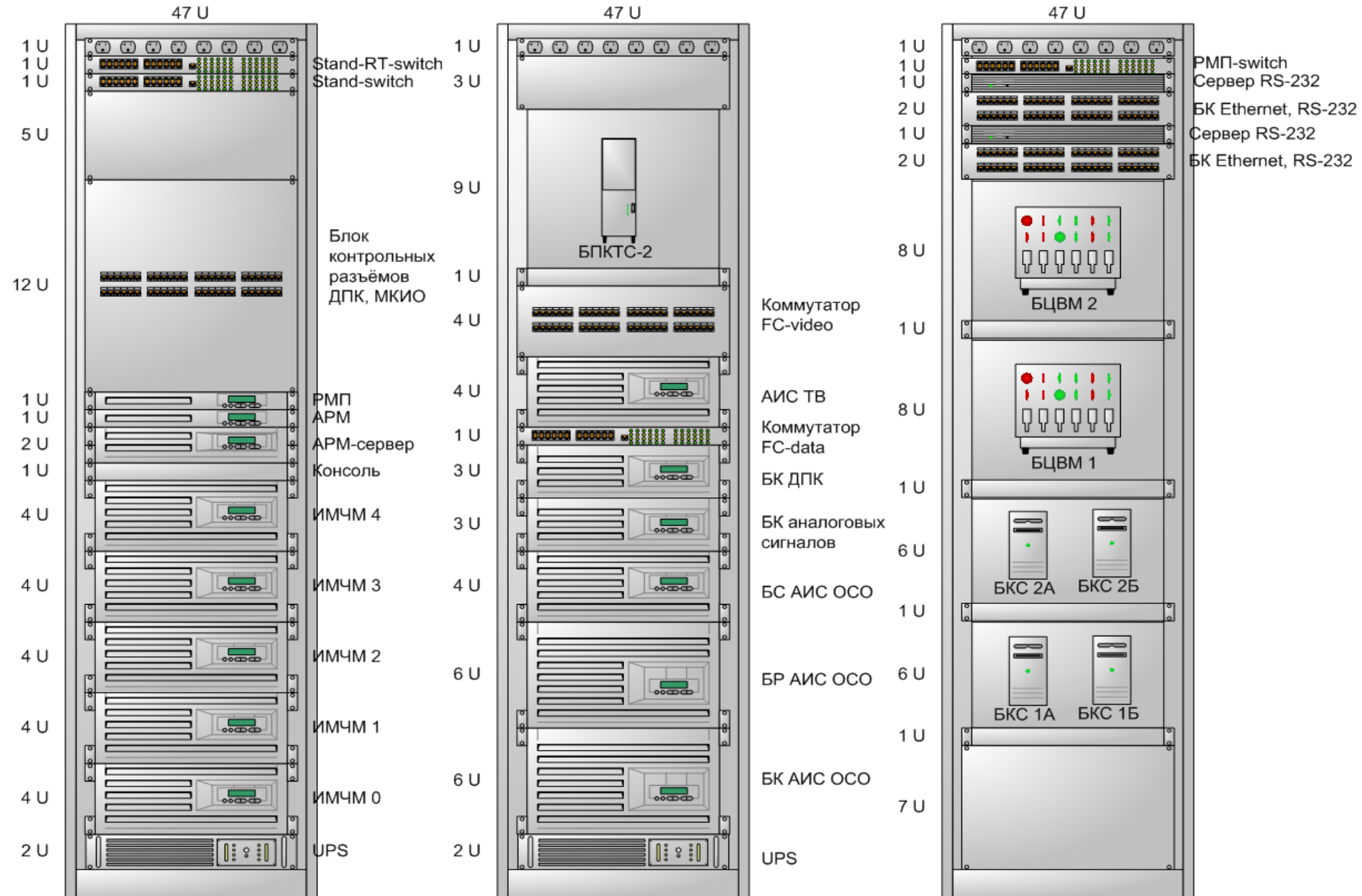


Стенд тестирования ПО БЦВМ и МФИ

47 U
(210 см)

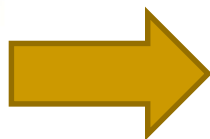


Стенд серийного выпуска ИУС



Мобильная станция мониторинга

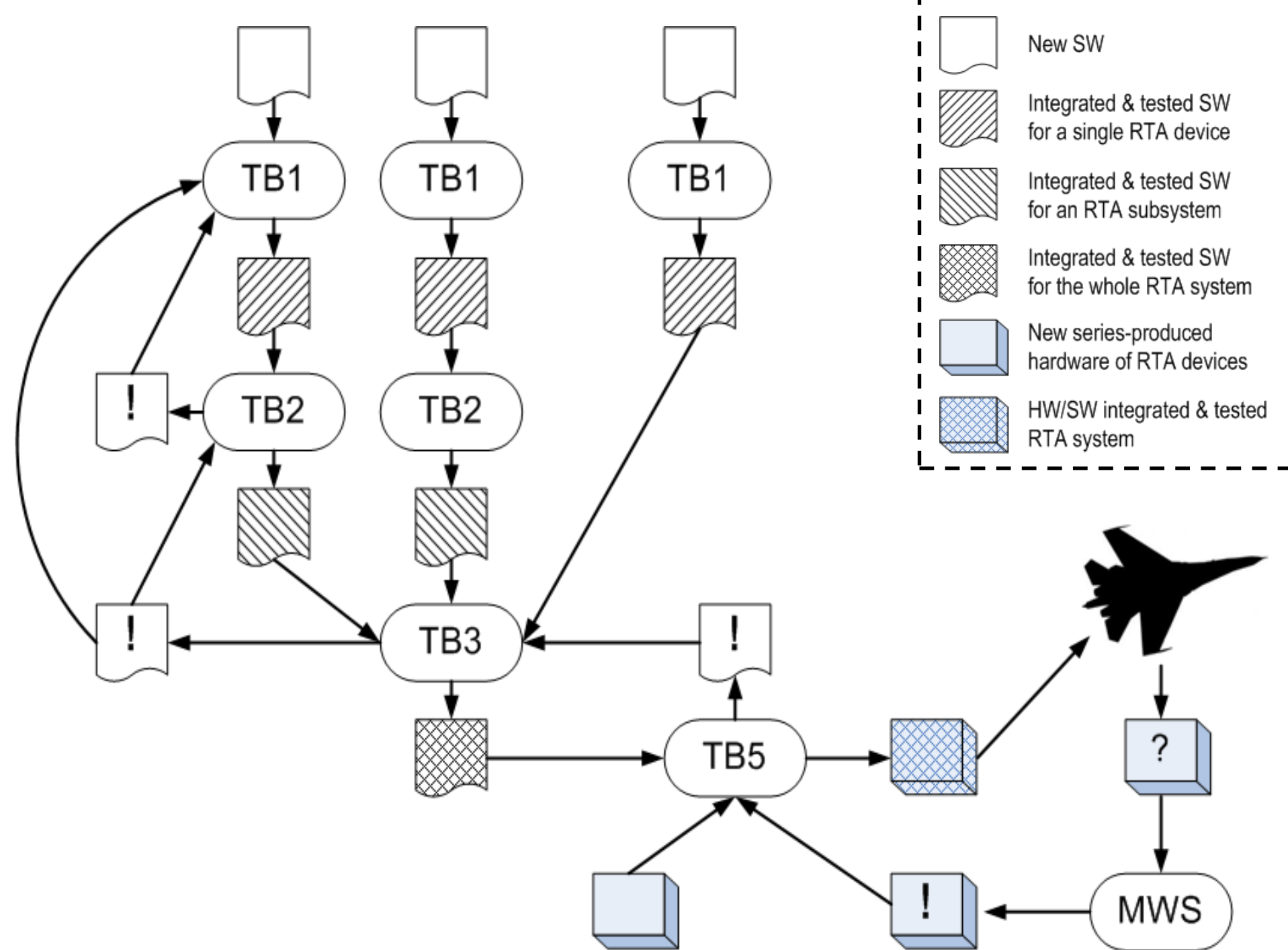
Промышленный
ноутбук



Адаптеры
MIL STD-1553B и
Fibre Channel



Мобильный
коммутатор FC





Хорошие новости

- ПО ИУС РВ требует систематического подхода к проектированию, разработке и тестированию
- Сложность и критичность ПО ИУС РВ определяет организационную и технологическую сложность процесса его разработки
- Выполнено организационное структурирование жизненного цикла ПО ИУС РВ по фазам, процессам, активностям
- Построена и внедрена технологическая цепочка средств разработки ПО ИУС РВ, применяемая в соответствии со структурой ЖЦ
- Разработана и внедрена линейка стендов отработки ПО ИУС РВ

Спасибо за внимание

Балашов В.В.
к.ф.-м.н, н.с.
hbd@cs.msu.su

Язык описания моделей устройств ИУС

- Расширение языка Си
- Предназначен для описания:
 - Составы входных и выходных параметров устройства ИУС
 - Логики вычисления выходных параметров устройства по входным
 - Логики взаимодействия устройств по бортовым каналам
 - Структуры ИУС и связей между блоками ИУС

Язык описания тестов

- Расширение ЯОМ
 - Предоставляет конструкции для:
 - Задания структуры информационных слов и сообщений, передаваемых по бортовым каналам
 - Задания структуры тестового набора и его связи с набором требований
 - Задания и автоматической проверки тестируемых условий
 - Взаимодействия с пользователем при выполнении интерактивных тестов
-

Видеорегистрация: тонкая настройка

- Требования:

- длительность регистрации: от 30 мин
- отсутствие пропуска кадров

- Технические решения:

- раздел на «внешних» дорожках
- очистка раздела (→ нет фрагментации)
- асинхронная запись (сброс дискового буфера ОС не блокирует СПО)
- выделение дискового пространства большими блоками

- Результат: 10 мин → 50 мин

Средство оперативного управления тестированием

Online visualization and control tool <@standvm-lenny>

Window Commands Help

State tree State Value tree Value

Stand

- env
 - all
- bcs
 - bcvm
 - rv
 - env
 - mils
 - skv
 - env
 - mils
 - arinc
 - arinc
 - mils

State

- Fictive
- On
- MIL STD-1553B checkup
- Off
- On
- RT is listening to the bus
- Off
- On
- RT is listening to the bus
- Off
- Idle
- Waiting

Value tree

Stand

- env
 - X 34474.5
 - Y -42126.2
 - V_x -724.296
 - V_y 689.49
 - Psi -46.4103
 - H_suf 10000
 - w_z -1.14592
 - a_x -13.7898
 - a_y -14.4859
- bcs
 - bcvm
 - rv
 - skv

Messages

tck1 tck2

Delay (s): 0 Out-of-order test: Test not selected

Test Component: Stand.tck1 State: Waiting for input

Test "1"

Activated testing log file LOG ("Log.tck1.log")

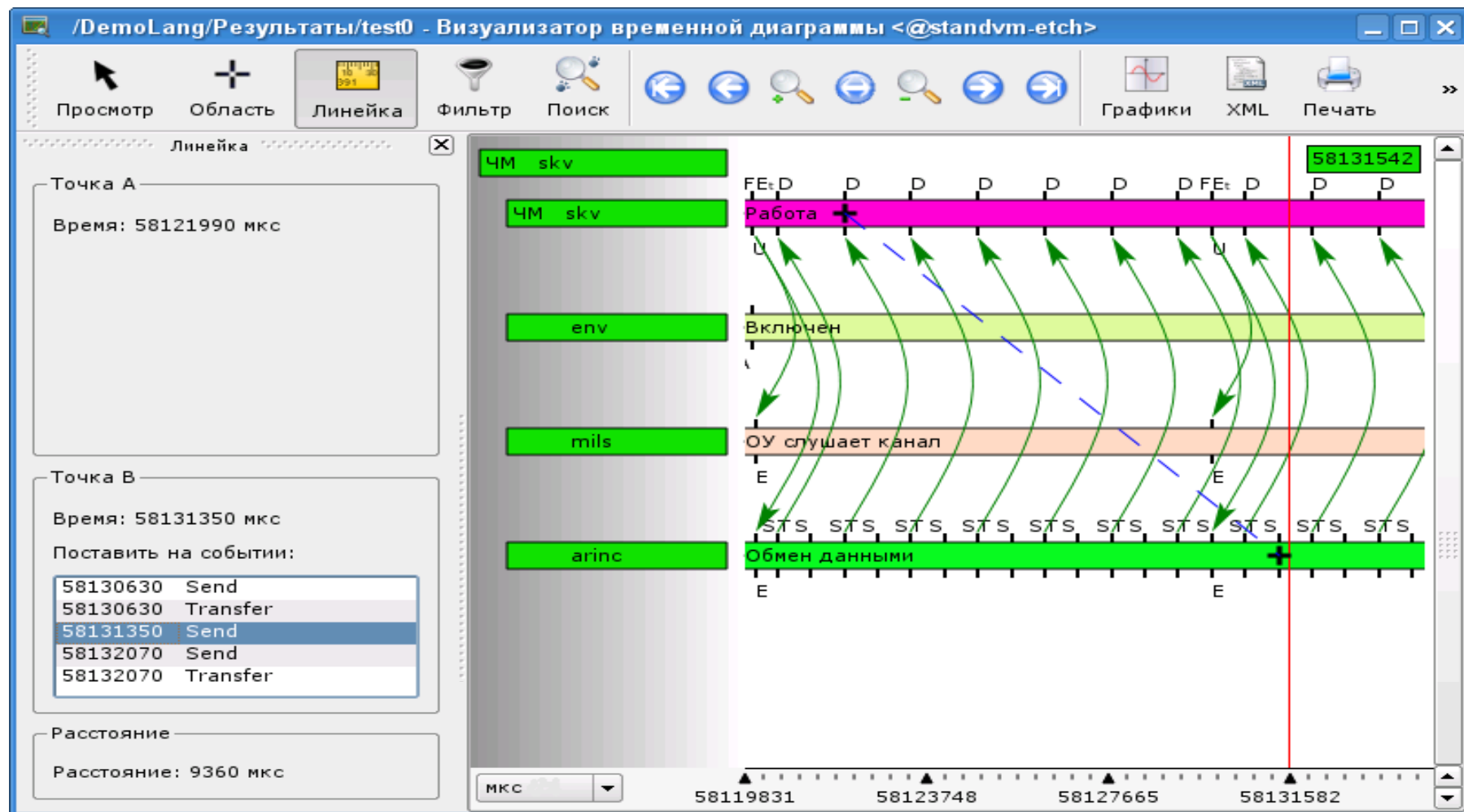
>>>> [2s 000ms] from experiment start

Test "A.B.C.E"

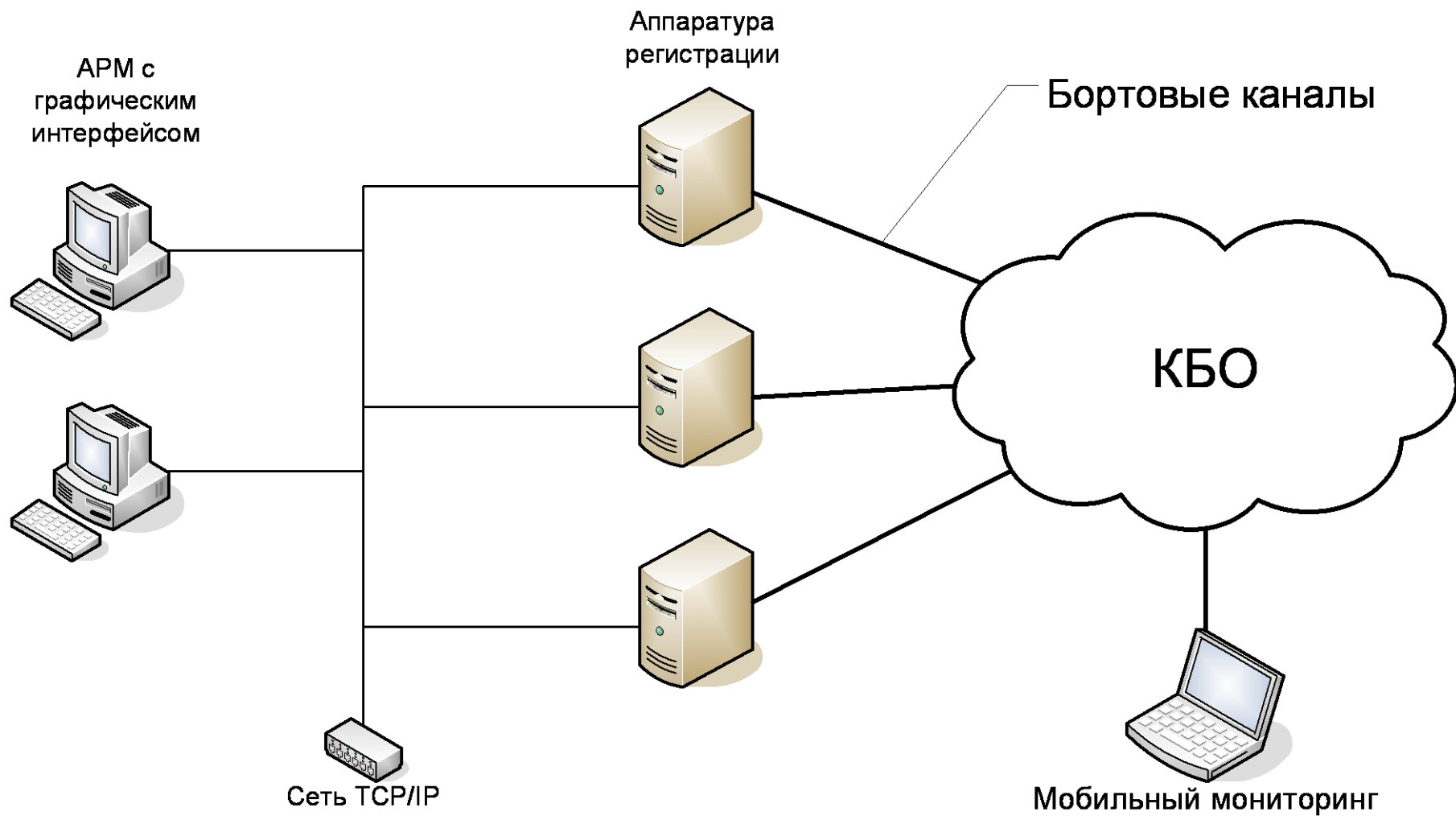
[Waiting for input]

Experiment status: Experiment is running Model time: 0:07:35 Deviation: 100 us

Визуализатор временной диаграммы



Мониторинг обменов в ИУС



Анализатор ДПК: основное окно

opermon <@standvm-lenny>

Время: :24:45.582 - :25:45.582 Длительность: :01:00.000 Ч:1

Каналы

arinc (180) Интервал времени: 18:24:45.582 - 18:25:45.582 Обмен Адрес Статистика Вых

№	Время	Δt	Адрес	МЗС	Слово	Кодировка
523	18:24:46.577	0:00:00.000	01	00 Норма(+)	0x00000080	ДК
524	18:24:46.578	0:00:00.000	02	00 Норма(+)	0x00000040	ДК
525	18:24:46.578	0:00:00.000	03	00 Норма(+)	0x800000c0	ДК
18:24:46.578 Пауза: 0:00:00.998						
526	18:24:47.577	0:00:00.999	01	00 Норма(+)	0x00000080	ДК
527	18:24:47.578	0:00:00.000	02	00 Норма(+)	0x00000040	ДК
528	18:24:47.578	0:00:00.000	03	00 Норма(+)	0x800000c0	ДК
18:24:47.579 Пауза: 0:00:00.998						
529	18:24:48.578	0:00:00.999	01	00 Норма(+)	0x00000080	ДК
530	18:24:48.578	0:00:00.000	02	00 Норма(+)	0x00000040	ДК
531	18:24:48.578	0:00:00.000	03	00 Норма(+)	0x800000c0	ДК
18:24:48.579 Пауза: 0:00:00.998						
532	18:24:49.578	0:00:00.999	01	00 Норма(+)	0x00000080	ДК
533	18:24:49.578	0:00:00.000	02	00 Норма(+)	0x00000040	ДК
534	18:24:49.578	0:00:00.000	03	00 Норма(+)	0x800000c0	ДК
18:24:49.579 Пауза: 0:00:00.998						
535	18:24:50.578	0:00:00.999	01	00 Норма(+)	0x00000080	ДК
536	18:24:50.578	0:00:00.000	02	00 Норма(+)	0x00000040	ДК
537	18:24:50.578	0:00:00.000	03	00 Норма(+)	0x800000c0	ДК
18:24:50.579 Пауза: 0:00:00.998						
538	18:24:51.578	0:00:00.999	01	00 Норма(+)	0x00000080	ДК

Свойство Фильтр

название	значе
name	arinc
type	A429
Frequency	100
izm. RTM	2
Reg	☒
location	hamster:0:0
filter	Filter-Reg-hostnan
Out	☒
location	lizard:0:0
filter	Filter-Out-hostnan

Добавить Рег Добавить Вых

Удалить