



ИННОПОЛИС  
**РИФ**



# «СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА ОТЕЧЕСТВЕННЫХ СИСТЕМ НА КРИСТАЛЛЕ ДЛЯ КОМПЛЕКСОВ БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ»

Подготовили: Г.А. Платошин  
С.В. Стецюк

# Развитие бортового оборудования



За последние 60 лет произошло серьезное изменение структуры комплексов бортового оборудования (КБО). Изначально КБО состояли из независимых систем. Их связи друг с другом были минимальны и представляли собой радиальные соединения источник-приёмник.

От независимых систем пришли к федеративной архитектуре. Для неё характерно использование разными системами общих ресурсов. Разделение информационных ресурсов достигается за счёт объединения систем едиными мультиплексными каналами обмена или другими разветвлёнными системами связи.

Современное поколение бортовых комплексов представляет собой интегрированную модульную авионику (ИМА). Внедрение их на борт началось в 1990-х годах. Новое поколение отличается гораздо более высокой степенью интеграции и обобщения ресурсов. Идея заключается в том, чтобы не разбивать комплекс на ряд автономных систем, а построить его на основе единой вычислительной платформы, функции систем комплекса в этом случае выполняют программные приложения, разделяющие общие вычислительные ресурсы.

# Интегрируемая модульная авионика

Крейт



Модуль



Мезонин



Аппаратура бортового комплекса ИМА состоит из ограниченного набора функциональных модулей. Каждый модуль приспособлен для выполнения определённых функций - вычисления, хранения данных, электропитания...

Эти функции модуль выполняет не в интересах какой-то отдельной системы, а в интересах всех задач, решаемых в комплексе. Отдельные БЦВМ и вычислители, присущие федеративным системам, заменены общими процессорными ресурсами, которые распределяют между собой и выполняют все прикладные программы. Такая организация позволяет оптимально использовать вычислительные ресурсы.

Структура комплекса сделана гибкой и масштабируемой, это позволяет легко адаптировать его под требования различных применений и для разных типов ЛА, а также облегчает расширение возможностей и улучшение характеристик комплекса в будущем.

Модули комплекса устанавливаются в крейты. Типичный комплекс включает несколько крейтов, их количество определяется сложностью задач и требованиями компоновки. Обычно их два, что позволяет не только распределять между ними задачи, но и обеспечить резервирование на случай отказов.

Реализуя COTS-технологии (один из основных принципов РМЭ) Ethernet внедряется в бортовые системы.

Существует 2 модификации Ethernet для бортовых систем:

- 1) AFDX (ARINC 664)
- 2) TTEthernet (SAE AS6802)

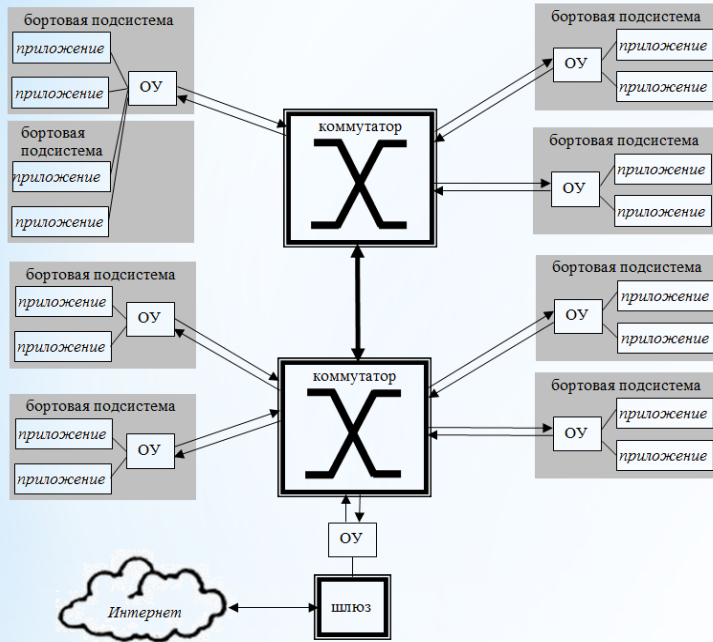


В современных комплексах авионики объем передаваемой информации постоянно увеличивается, что связано со следующими изменениями:

- 1) Данные, которыми обмениваются системы, больше не ограничиваются отдельными параметрами как скорость и высота. Теперь это может быть рельеф пролетаемого участка местности, или схема аэродрома, или карта погоды. Авиация движется от передачи данных, требующих низкой пропускной способности системы связи, к передаче информации, объёмы которой измеряются гигабайтами и поэтому требуют высокой пропускной способности.
- 2) Данные, которые прежде передавались аналоговыми сигналами (изображение, звук, данные от сенсоров ЛА) стали передаваться в цифровом виде.
- 3) Изменилась структура бортового оборудования, произошло разделение на системы первичной информации/обзорные системы и системы, осуществляющие обработку первичной информации и смешивание данных от разных источников, в связи с этим появился большой поток данных на обработку от обзорных систем и систем первичной информации к системам обработки.
- 4) Появляются новые задачи, требующие передачи больших потоков информации в реальном масштабе времени, например, построение изображения пролетаемого участка местности по информации, хранимой в базе данных.

Рост объемов передаваемой информации должен поддерживаться ростом пропускной способности интерфейсов, предназначенных для передачи информации.

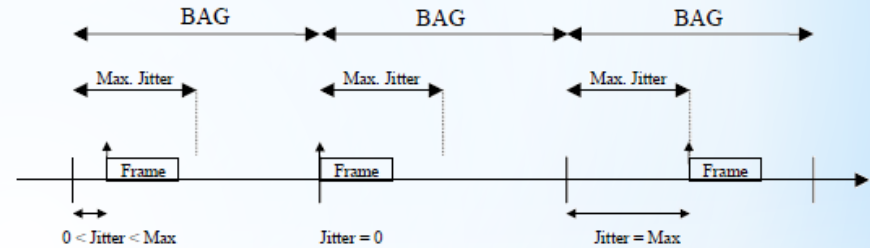
# AFDX (Arinc 664)



Каждая оконечная система сети соединена с коммутатором двумя каналами: один на передачу, второй на приём. В AFDX вместо MAC-адреса введено понятие «виртуального канала связи» (Virtual link).

Виртуальный канал имеет следующие характеристики:

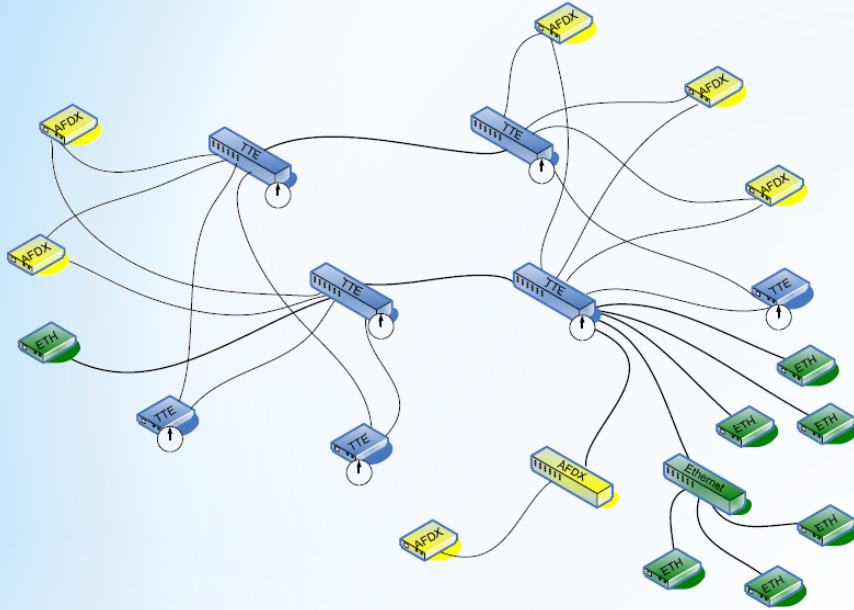
- BAG (Bandwidth Allocation Gap);
- Jitter (запаздывание);



$$\max_{jitter} \leq 40 \text{ мкс} + \frac{\sum_{j \in \{\text{количество ВЛ}\}} ((20 + L_{maxj}) \times 8)}{net\_bandwidth} \leq 500 \text{ мкс},$$

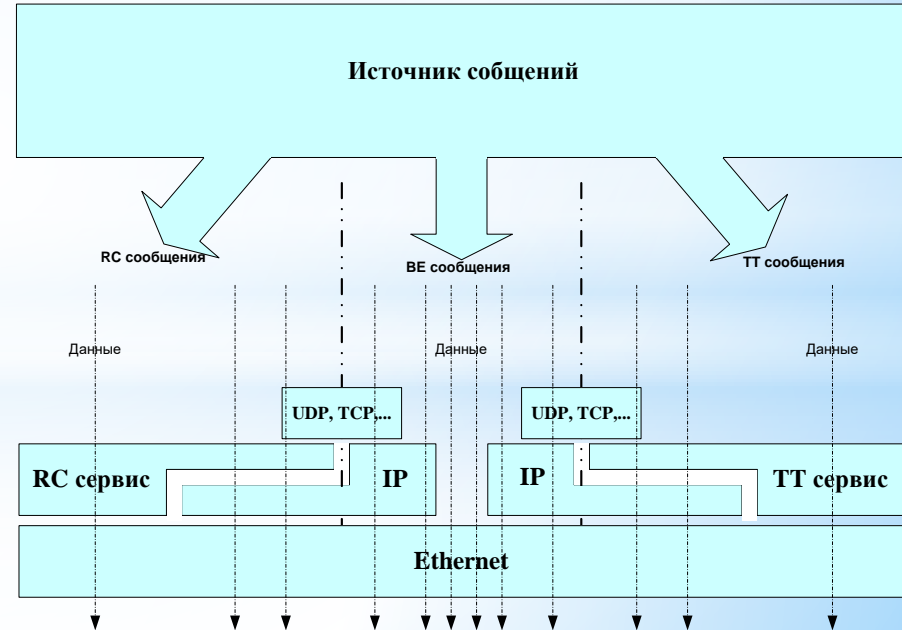
где 40 мкс - максимальный технологический джиттер,  $L_{maxj}$  – размер кадра,  $net_{bandwidth}$  – пропускная способность.

# TTEthernet (SAE AS6802)



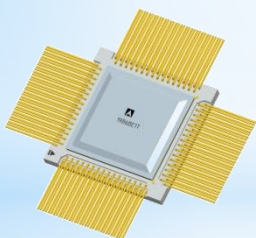
TTE коммутаторы с помощью сервера единого времени организуют передачу данных в соответствии с заранее утвержденным графиком и с минимально возможной задержкой. Такой метод доступа называется TDMA (Time Division Multiple Access – множественный доступ с разделением по времени). Он позволяет гарантировать виртуальному каналу возможность передать критические данные в заданные моменты времени с запаздыванием не более 0,1 мс (технологическая задержка).

SAE AS6802 поддерживает 3 типа сообщений:  
 Time-triggered traffic (Вызванные временем сообщения (TT сообщения)) отправляются по сети в определенное время и имеют приоритет по сравнению со всеми другими типам сообщения.  
 Rate-constrained traffic (RC сообщения) используются для случаев с менее строгим детерминизмом и требованиями в реальном времени.  
 Best-effort traffic (BE сообщения) аналогичны сообщениям, используемым в классическом стандарте Ethernet. Они не дают никакой гарантии, когда эти сообщения могут быть переданы, какие задержки происходят и достигают ли сообщения получателя.



# Система на кристалле

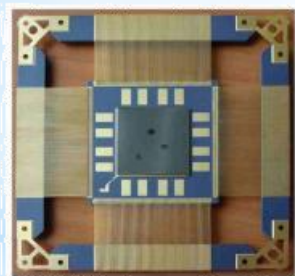
Современный комплекс бортового оборудования строящийся на базе интегрированной модульной авионики с открытой сетевой архитектурой, базируется на применении систем на кристалле (электронная схема, выполняющая функции целого устройства, размещенная на одной интегральной схеме, кристалле).



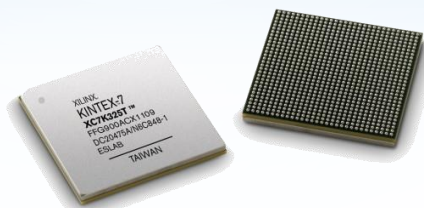
Процессор/ Параметр	1890ВМ8Я	1986ВЕ1Т	Байкал Т1	1892ВМ14Я	1891ВМ8Я	ММ7705
Архитектура	MIPS	ARM	MIPS	ARM + DSP	Эльбрус	PowerPC + NeuroMatrix
Ядро	Комдив64	ARM v6	P5600	Dual CORTEX-A9 ELCore30	Эльбрус	PowerPC 470
Производитель	НИИСИ РАН	Миландр	Байкал электрони кс	ЭЛВИС	МЦСТ	НТЦ Модуль
Количество ядер	2	1	2	6	4	2
Тактовая частота	1000 МГц	144 МГц	1.2 ГГц	1104МГц 744МГц	800 МГц	400 МГц
Потребляемая мощность	≈5 Вт	≈1 Вт	5 Вт	3 Вт	45 Вт	≈5 Вт
Диапазон рабочих температур	- 60 – +125 °С	- 60 – +125 °С	-45 +65	-45 +65	-60 +85°С	-40 +85°С
Встроенные контроллеры памяти	DDR2/DD R3 2 канала 64+8(ECC)	Встроенное ОЗУ 48 Кбайт, FLASH 128 Кбайт, на внешней шине: СОЗУ, ПЗУ, NAND Flash	DDR3-1600	два порта DDR3, порт NORMPOR, порт NANDMPORT	DDR3-1600 3 канала	DDR3-1600 2 канала, SRAM, NAND, NOR
Основные встроенные контроллеры интерфейсов	RapidIO	CAN, ГОСТ 18977-79, ГОСТ Р 52070-2003, Ethernet 10/100, USB, UART, SPI	два Ethernet 1Gb, один Ethernet 10Gb, PCI-e Gen. 3 contr, SATA 2 port, USB 2.0	Ethernet MAC 10/100/1000, два SpaceWire, USB2.0	3 канала межпроцессорного обмена ccLVDS	два Ethernet 1Gb, один Ethernet 10/100, два SpaceWire, два МКПД, Fibre Channel, ARINC-818, PCI-e 1x, GPIO, I2C, USB 2.0, UART, SPI, GSPI/SDIO
Технология	65 nm	140 nm	28 nm	16 nm	65 nm	28 nm

# ПЛИС

Также широко применяются ПЛИС (программируемые логические интегральные схемы), как для исследования так и для создания оборудования.



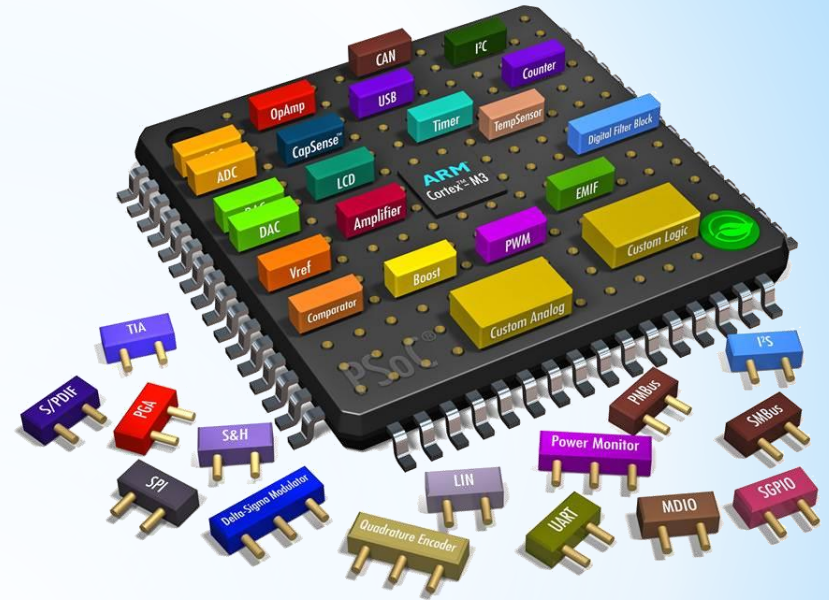
Плис/Параметр	ПЛИС 5578TC024	ПЛИС 5578TC014	Stratix V	Kintex 7	Virtex UltraScale+
Производитель	АО "ВЗПП-С"	АО "ВЗПП-С"	Altera	Xilinx	Xilinx
Количество логических элементов (*)	7 200	5 040	952 000	477 000	3 780 000
Объем встроенной памяти, бит	368 640	258 048	52 000 000	34 380 000	455 000 000
Количество умножителей 18x18, шт.	14	20	704	-	-
Технологические нормы, нм	90	90	28	28	16
Аналоги	Cyclone II, Spartan III	Cyclone II, Spartan III			
*Эквивалентным логическим элементом принят логический элемент серии FLEX ф. Altera, состоящий из 4-х входного LUT, цепей ускоренного переноса, триггера и схем его управления					



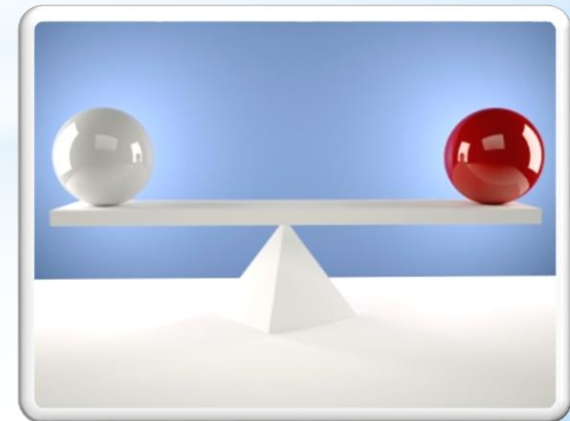


## Оценка обоснованности применения

- Доступность
- Доверие к микропроцессору и к производителю
- Устойчивость к сбоям
- Программное обеспечение
- Адекватный переход на другие процессоры при снятии процессоров с производства



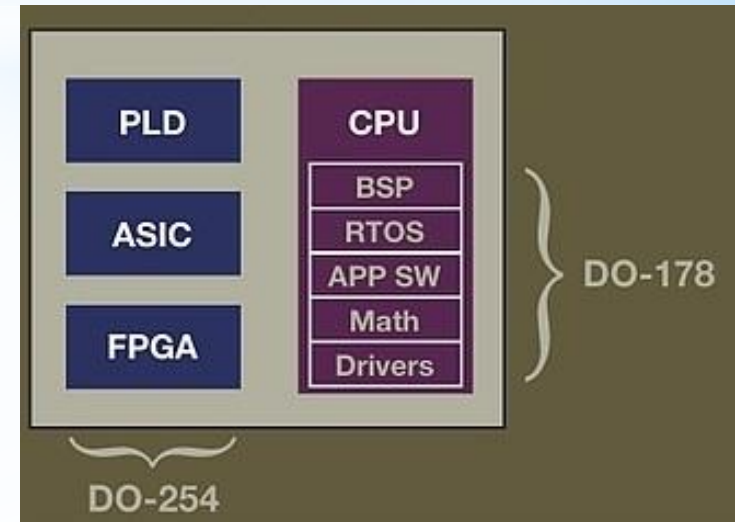
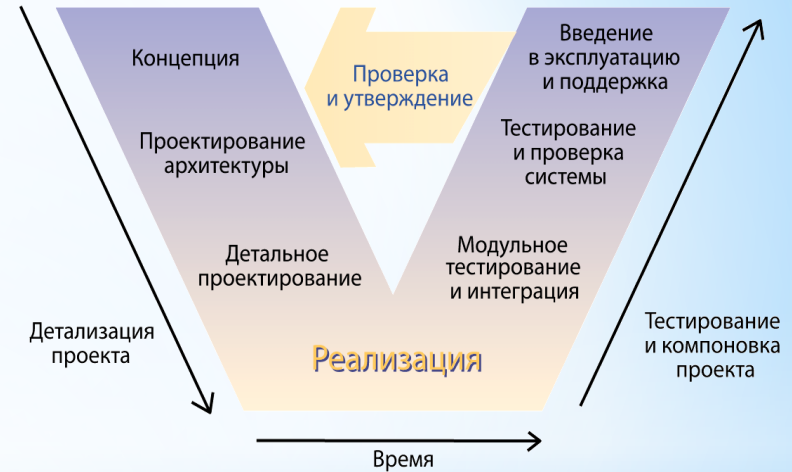
## Оценка соответствия задач и возможностей СнК



# Сертификация электронного оборудования

V-модель является моделью разработки информационных систем, направленной на упрощение понимания сложностей, связанных с разработкой систем.

Для разработчиков программного или аппаратного обеспечения радиоэлектронного оборудования воздушного судна основными стандартами являются DO-178C или DO-254.

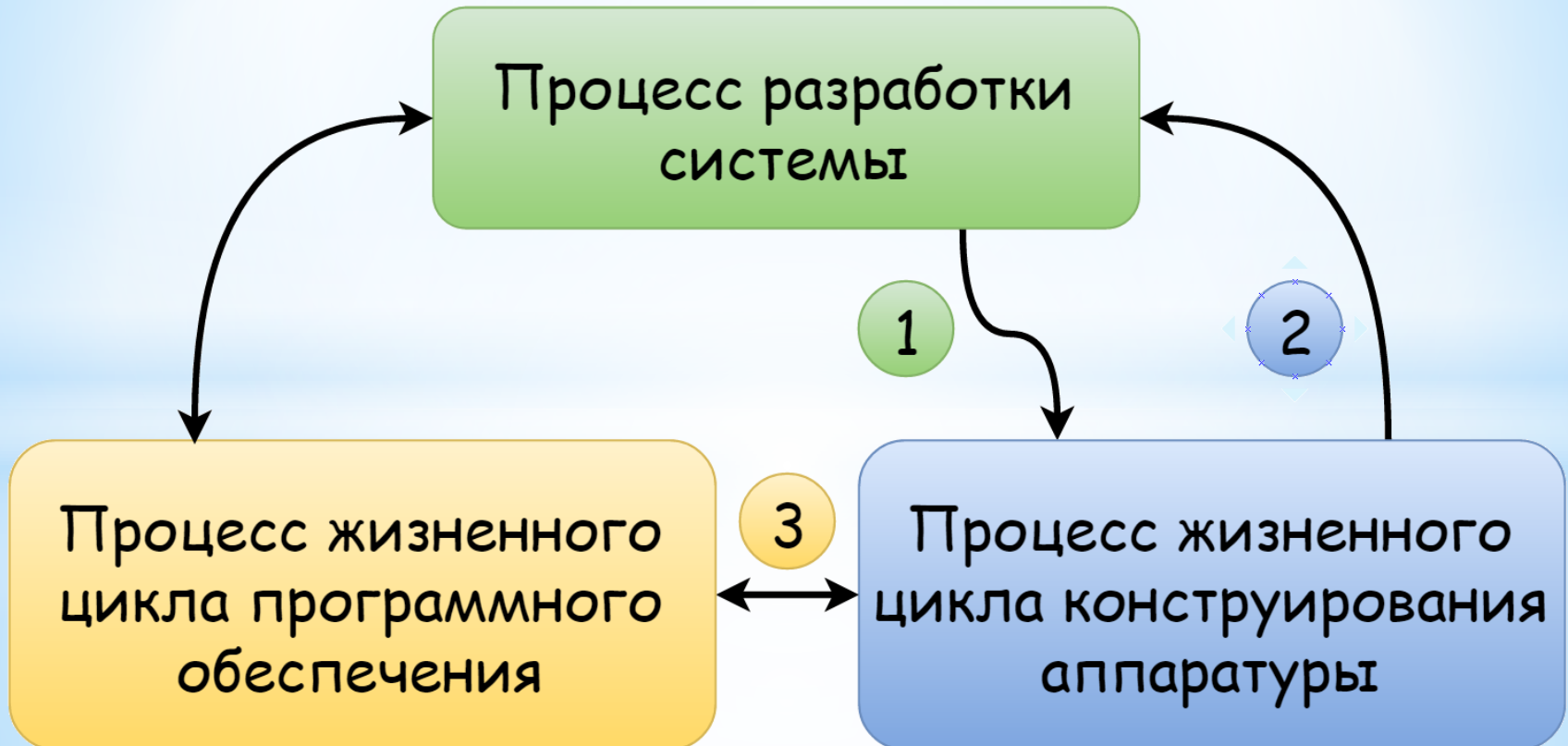


# Обзор документа DO-254



Стандарт DO-254 представляет руководство для разработки сложного бортового электронного оборудования от концепции до первоначальной сертификации и последующих улучшений.

# Процессы разработки системы





# Оценка безопасности системы

Процесс оценки безопасности системы должен преобразовывать цели безопасности в требования по безопасности



**A**

**Катастрофическое (Catastrophic)**



**B**

**Аварийное (Hazardous)**



**C**

**Сложное (Major)**



**D**

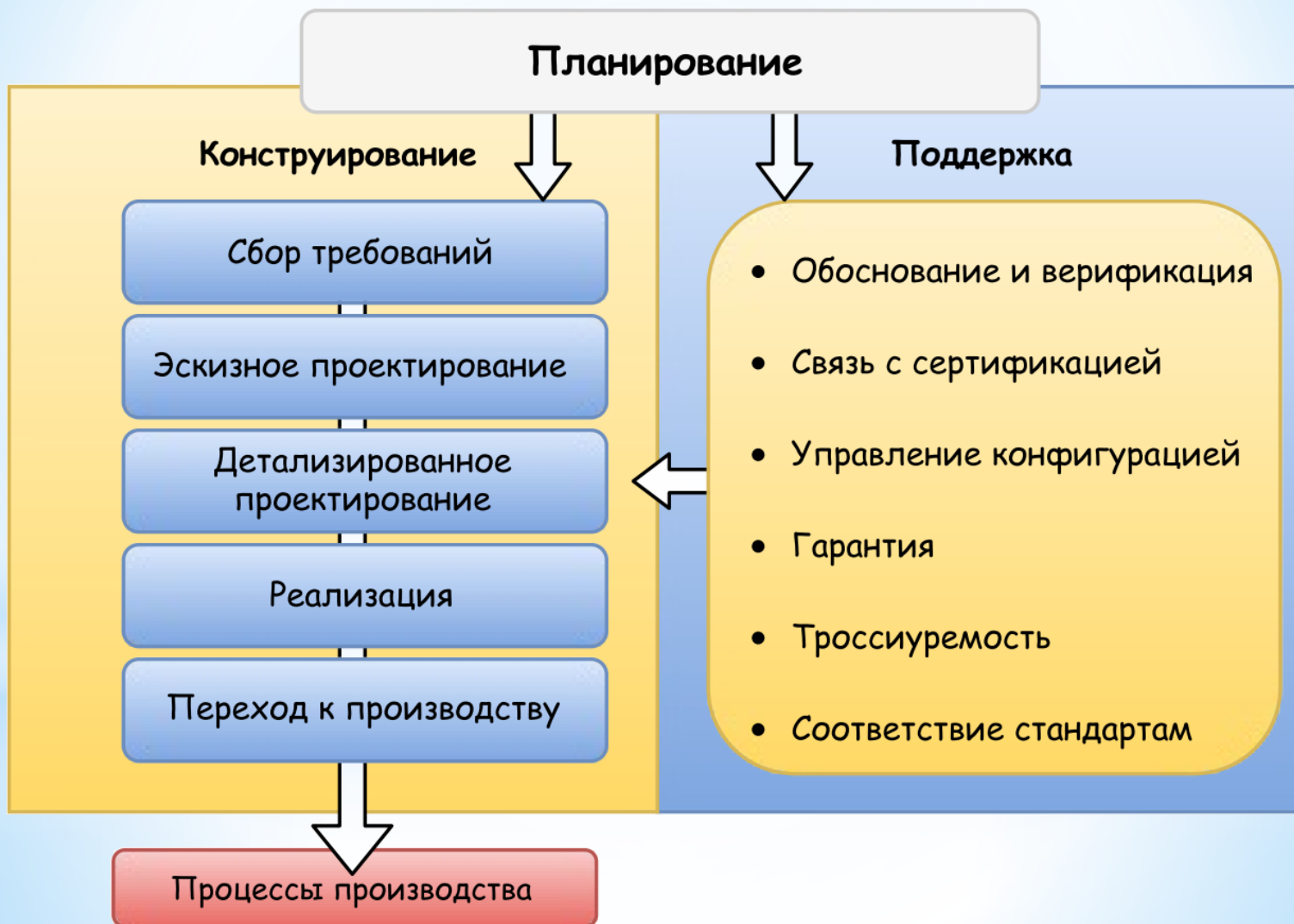
**Усложнение условий полета (Minor)**



**E**

**Без последствий (No safety effect)**

# Жизненный цикл конструирования аппаратуры





# Планы аппаратуры

Процессы, процедуры и стандарты, которые должны использоваться при разработке, сертификации, оценке, проверке; обеспечении качества процесса и управлении конфигурацией.

- План сертификации аппаратуры
- План конструирования аппаратуры
- План обоснования аппаратуры
- План верификации аппаратуры
- План управления конфигурацией аппаратуры
- План процесса гарантии аппаратуры.



Системы автоматизированного проектирования и верификации.





# Использование процессного подхода

Повышение надежности системы.



Возможность выхода на международный рынок с отечественной конкурентоспособной микроэлектроникой.



Отказ от импортной элементной базы.





# Спасибо за внимание!

Контактные данные: Платошин Георгий Александрович

[gaplatoshin@2100.gosniias.ru](mailto:gaplatoshin@2100.gosniias.ru)

Стецюк Степан Владимирович

[svstecuk@2100.gosniias.ru](mailto:svstecuk@2100.gosniias.ru)

*В самом начале чего-то важного мы об этом не догадываемся. Гарольд Пинтер*