

ВИРТУАЛЬНАЯ ПТИЦА – МОДЕЛЬНО ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПРОЦЕСС РАЗРАБОТКИ БОРТОВОГО РАДИО ЭЛЕКТРОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ И СИСТЕМ САМОЛЕТОВ ТРАНСПОРТНОЙ КАТЕГОРИИ

Алексеев С.А., Войтишина М.С., Исайчев С.Ю.

АПРЕЛЬ 2023

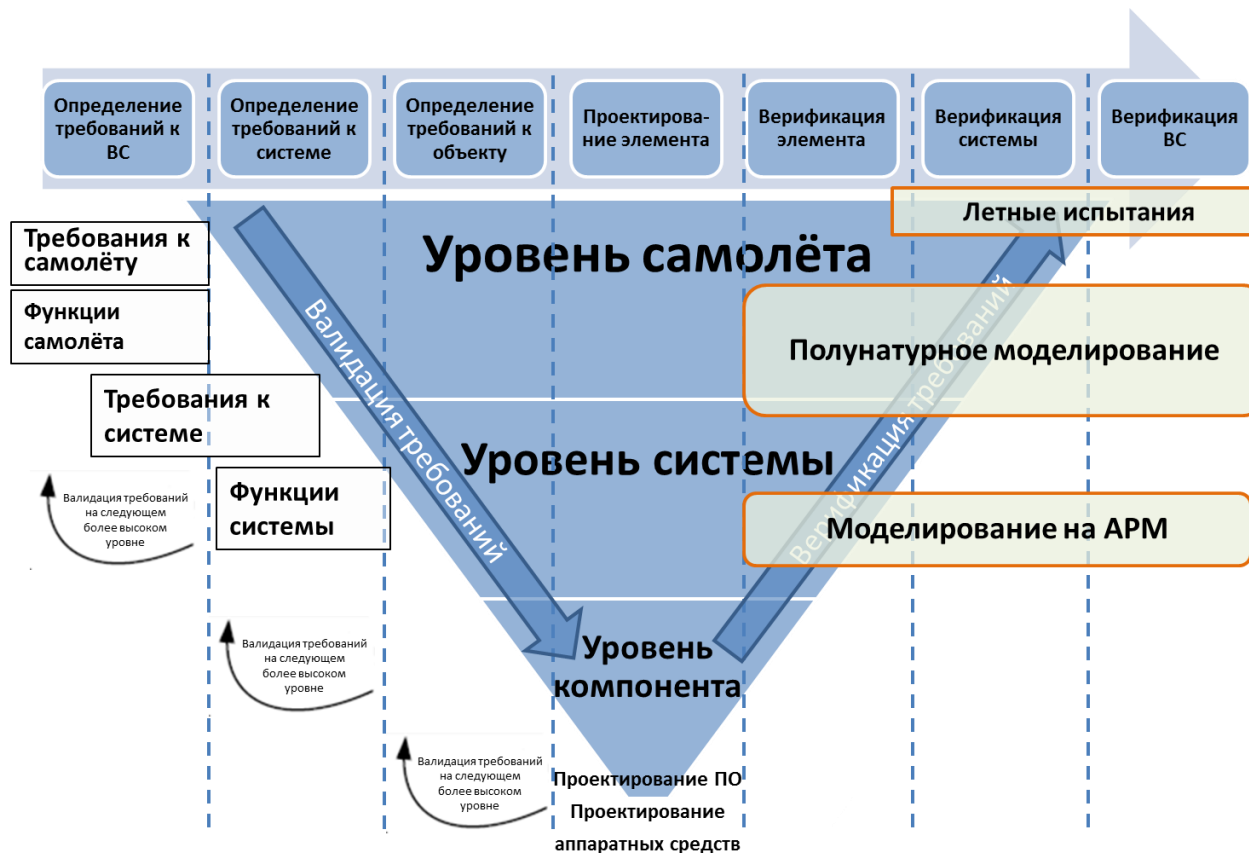
Старт разработки «Виртуальной Птицы»

Программа SSJ-100



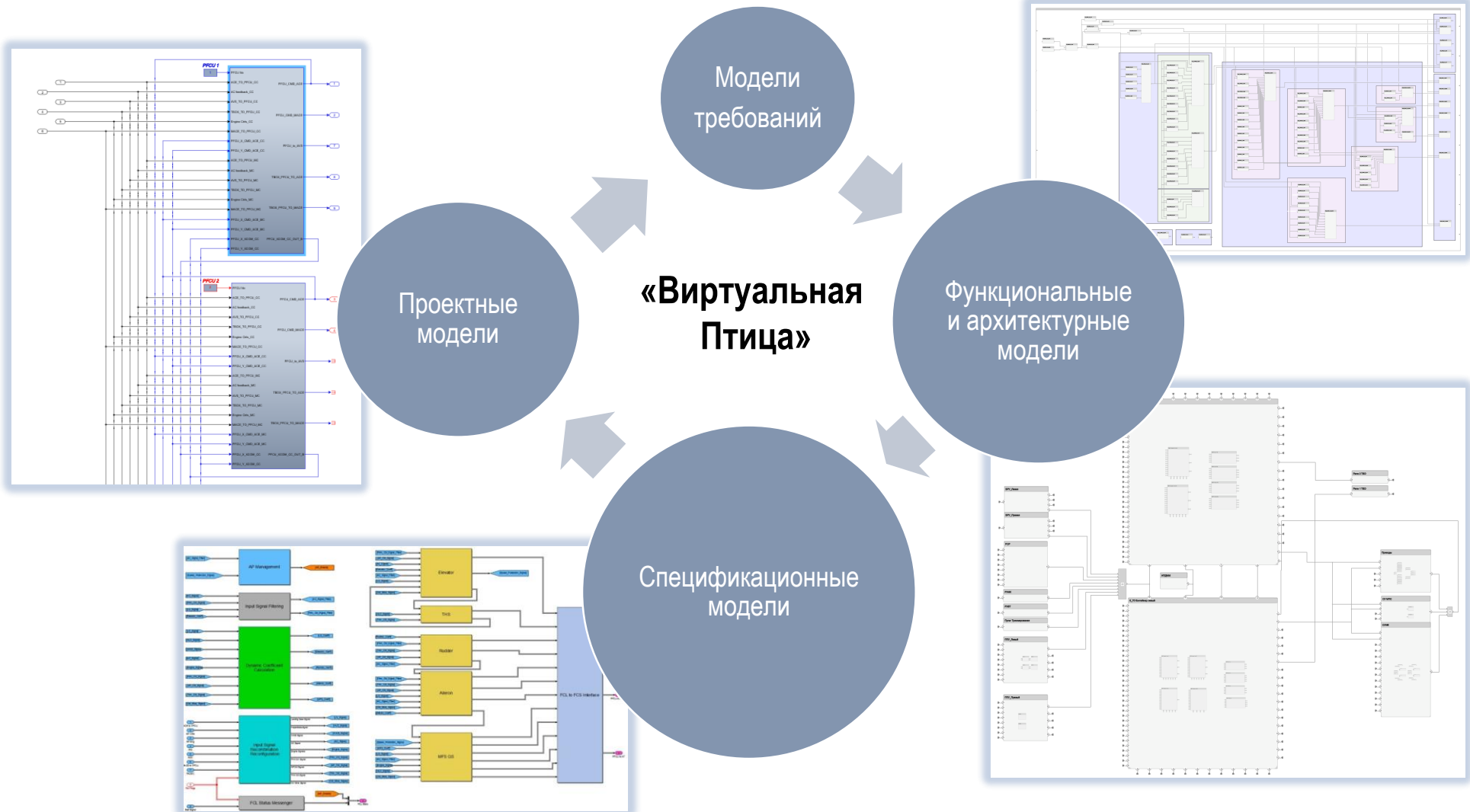
- Основной проект SSJ-NEW – модификация самолета RRJ-95 с максимальным импортозамещением
- В рамках проекта разрабатываются и интегрируются импортозамещенные сложные бортовые системы
- Дополнительное требование – сохранение максимально-возможной унификации с текущей конструкцией самолета RRJ-95





- Формализация процессов разработки
- Выявление несоответствий
- Построение «деревьев» функциональных отказов
- Определение уровня критичности систем и элементов

Программный комплекс интеграции систем «Виртуальная Птица»



Комплекс «Виртуальная Птица» — набор взаимодействующих математических моделей бортовых систем самолета

Цели:

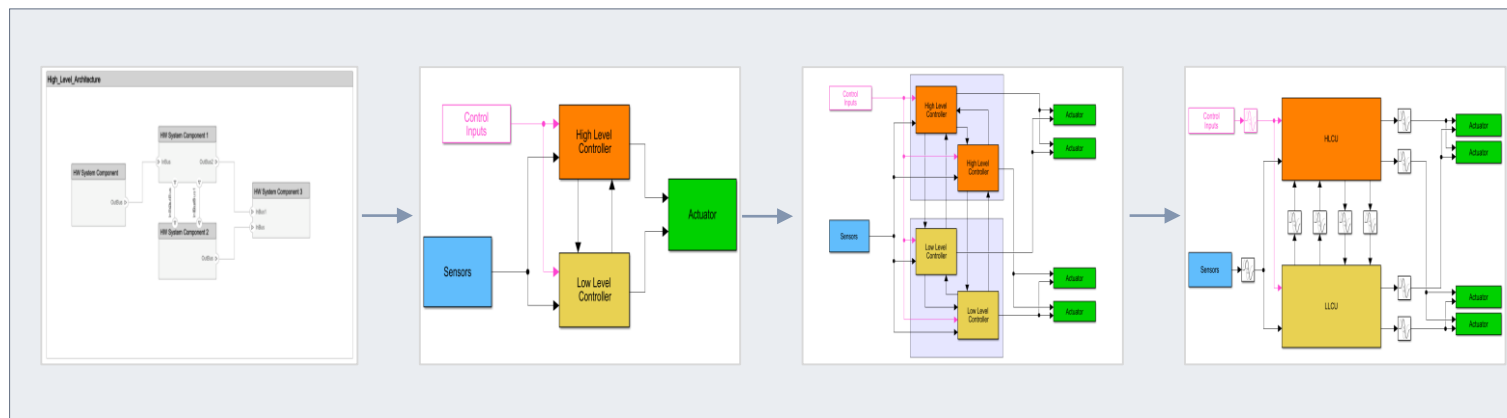
- Масштабирование методов модельно-ориентированной системной инженерии и проектирования на все критичные системы
- Междисциплинарное моделирование бортового оборудования и систем ВС на всех этапах жизненного цикла вновь создаваемой и модернизируемой авиационной техники

Задачи:

- Разработка высокоуровневых моделей систем
- Автоматическая генерация функциональных и архитектурных моделей из описаний интерфейсов
- Командная разработка и управление конфигурацией в едином проекте
- Оценка интеграционных аспектов на ранних этапах разработки

Разработка «Виртуальной птицы» ведется последовательно в четырех исполнениях:

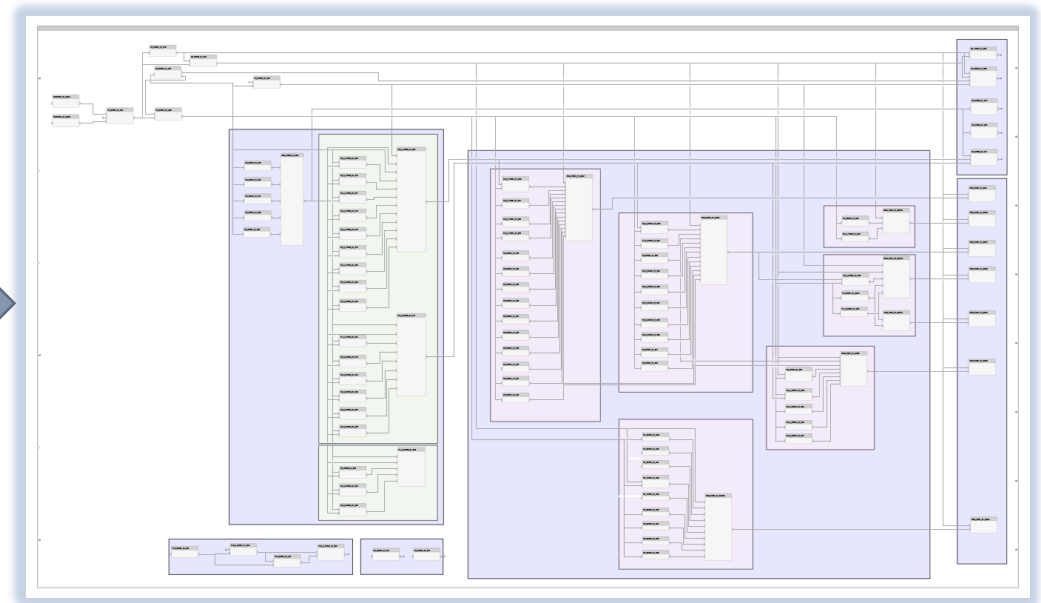
1. Уровень Спецификационных моделей бортовых систем
2. Уровень Предпроектных моделей ПО бортовых систем
3. Уровень Проектных моделей ПО бортовых систем
4. Уровень Цифровых двойников* вычислителей бортовых систем



Исходные данные:

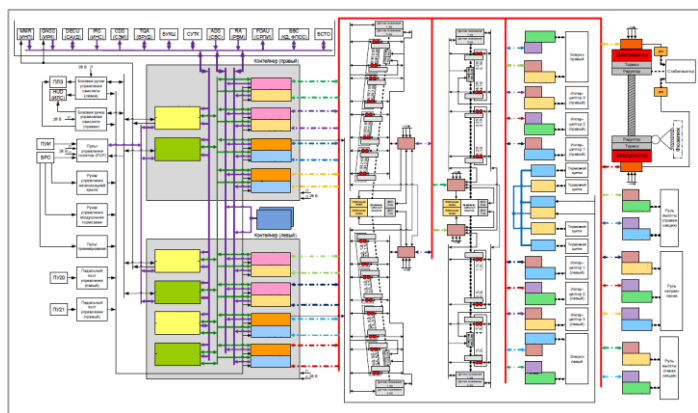
Функции уровня систем

Функции самолётного уровня	Номер функции	Функции системного уровня
F1_2_1 Управление движением центра масс самолета по траектории в горизонтальной плоскости по земле	F1_2_1FS22_01_001	Автоматическая стабилизация нулевого бокового отклонения от осевой линии ВПП на пробеге при автоматической посадке
F1_2_2_2 Замедление самолета на земле	F1_2_2_2FS27_01_095	Формирование команды на перемещение тормозных щитков
	F1_2_2_2FS27_01_096	Перемещение тормозных щитков
	F1_2_2_2FS27_01_003	Функция автоматического выпуска интерцепторов и тормозных щитков на послепосадочном пробеге или прерванном взлете
	F1_2_2_2FS27_01_004	Функция антизависания элеронов
...



Исходные данные:

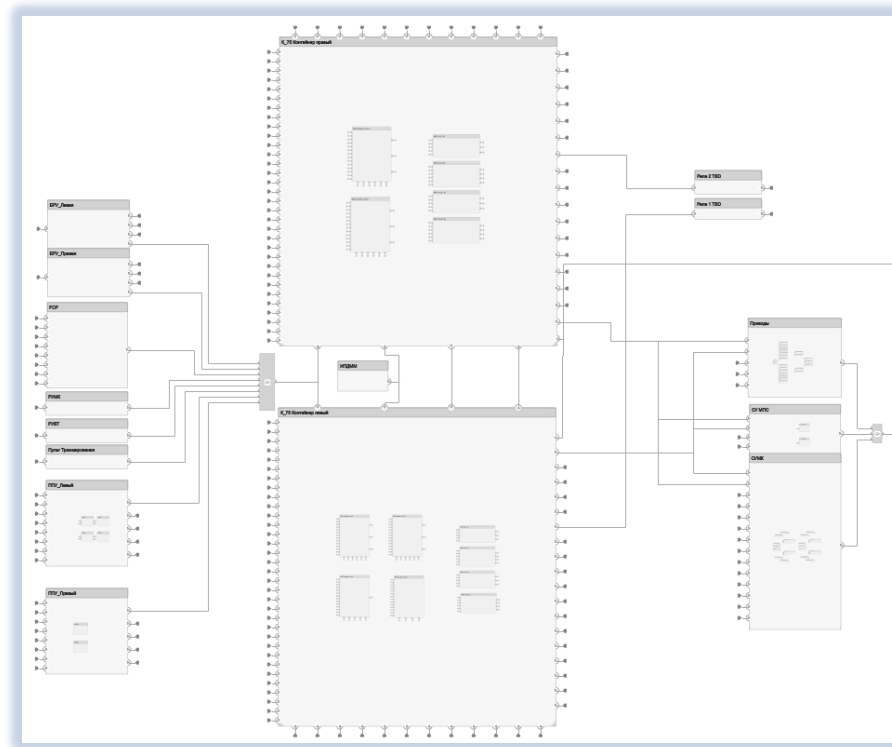
- Структурные и принципиальные схемы систем и компонентов
- Документы контроля интерфейсов



+

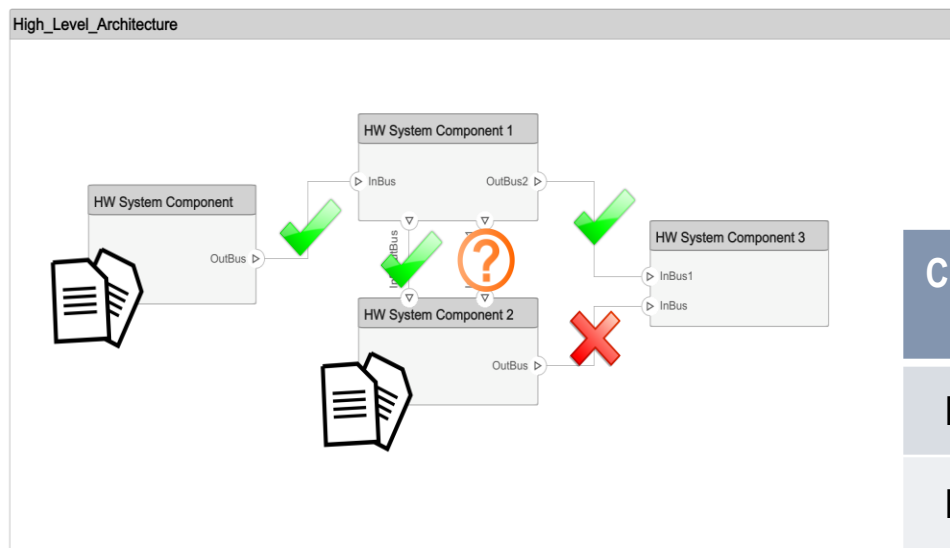
Идентификатор шины (Bus ID)	Идентификатор Интерфейса (Interface ID)	Имя интерфейса (Interface Name)	Тип интерфейса (Interface type)	Функция КСУ	Функция ПУ	Устройство КСУ	Устройство ПУ	Комментарий (Comments)
RRJ-3110-250	RRJ-E-3110-250-2700-001	L_RUD_PID_ADI_M11	PK	ПЛУ получает команду от ПУ на регулировку подачи	ПУ коммутирует электродвигатель ПТУ и корпус ВС	ПТУ прав.	ПУ20	
RRJ-3110-251	RRJ-E-3110-251-2700-001	L_RUD_PID_ADI_W01	PK	ПЛУ получает команду от ПУ на регулировку подачи	ПУ коммутирует электродвигатель ПТУ и корпус ВС	ПТУ прав.	ПУ20	
RRJ-3110-252	RRJ-E-3110-252-2700-001	L_RUD_PID_ADI_M12	PK	ПЛУ получает команду от ПУ на регулировку подачи	ПУ коммутирует электродвигатель ПТУ и СДС	ПТУ прав.	ПУ20	
RRJ-3110-253	RRJ-E-3110-253-2700-001	L_RUD_PID_ADI_W02	PK	ПЛУ получает команду от ПУ на регулировку подачи	ПУ коммутирует электродвигатель ПТУ и СДС	ПТУ прав.	ПУ20	
RRJ-3110-254	RRJ-E-3110-254-2700-001	R_RUD_PID_ADI_M11	PK	ПЛУ получает команду от ПУ на регулировку подачи	ПУ коммутирует электродвигатель ПТУ и корпус ВС	ПТУ лев.	ПУ21	
RRJ-3110-255	RRJ-E-3110-255-2700-001	R_RUD_PID_ADI_W01	PK	ПЛУ получает команду от ПУ на регулировку подачи	ПУ коммутирует электродвигатель ПТУ и корпус ВС	ПТУ лев.	ПУ21	
RRJ-3110-256	RRJ-E-3110-256-2700-001	R_RUD_PID_ADI_M12	PK	ПЛУ получает команду от ПУ на регулировку подачи	ПУ коммутирует электродвигатель ПТУ и СДС	ПТУ лев.	ПУ21	
RRJ-3110-257	RRJ-E-3110-257-2700-001	R_RUD_PID_ADI_W02	PK	ПЛУ получает команду от ПУ на регулировку подачи	ПУ коммутирует электродвигатель ПТУ и СДС	ПТУ лев.	ПУ21	

=



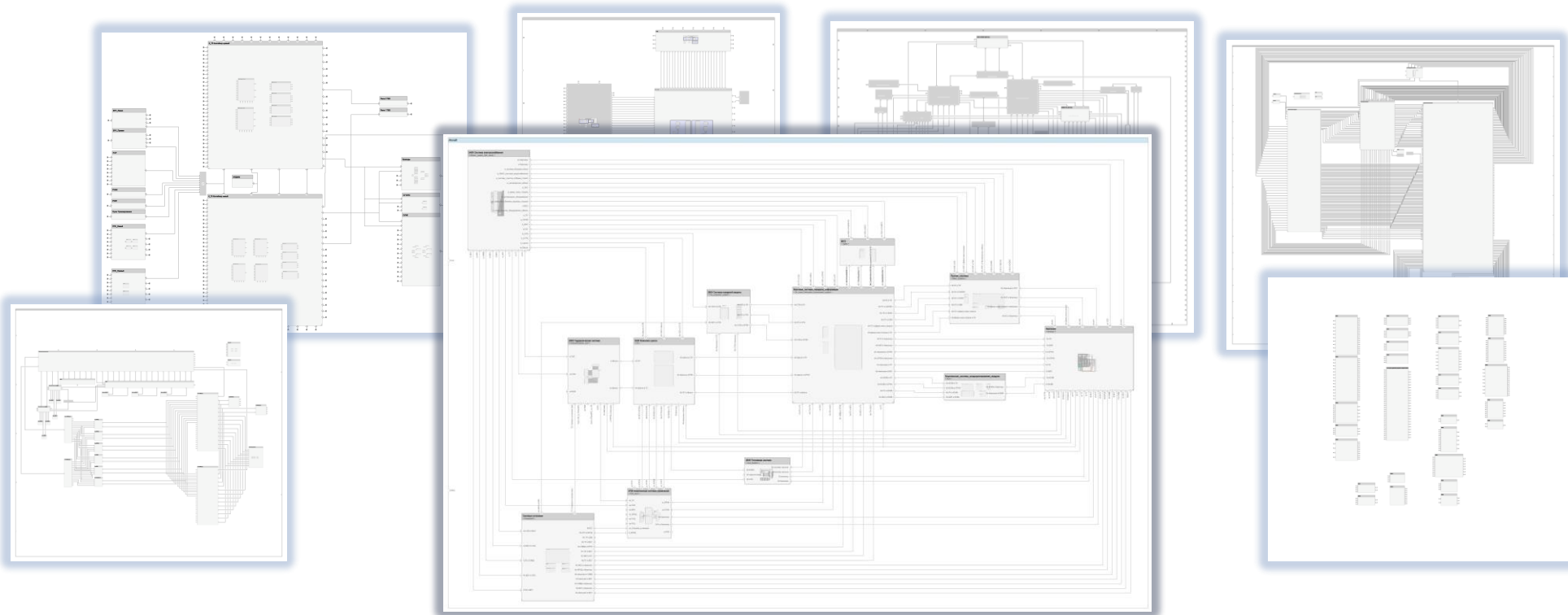
Спецификационные модели бортовых систем необходимы для:

- **Анализа аппаратной и функциональной архитектуры**
- **Распределения требований и функций по системам и компонентам**
- **Установления интерфейсов между системами и компонентами и последующего анализа.**

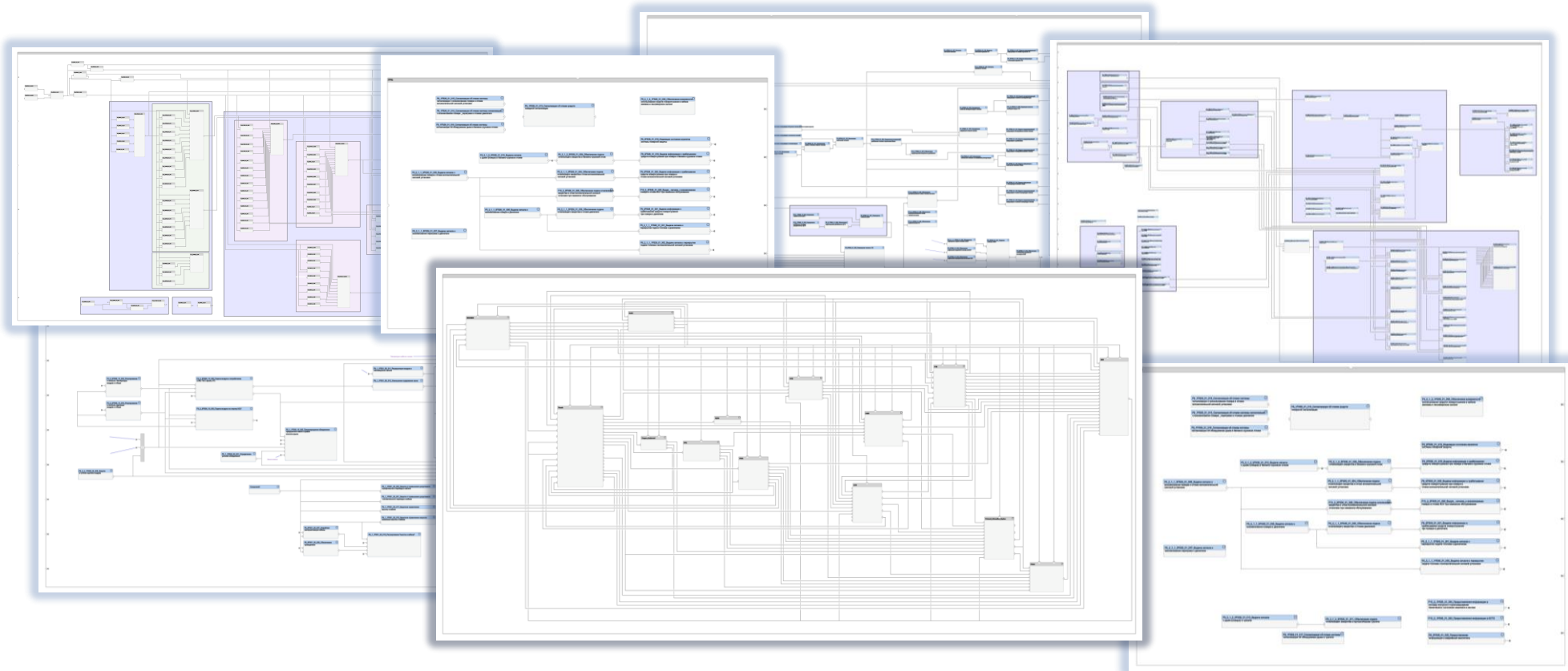


Component/ Function	System Component	...	System Component i
Function 1	+	...	-
Function 2	-	...	+

Объединение моделей Аппаратной архитектуры в комплекс «Виртуальная Птица»



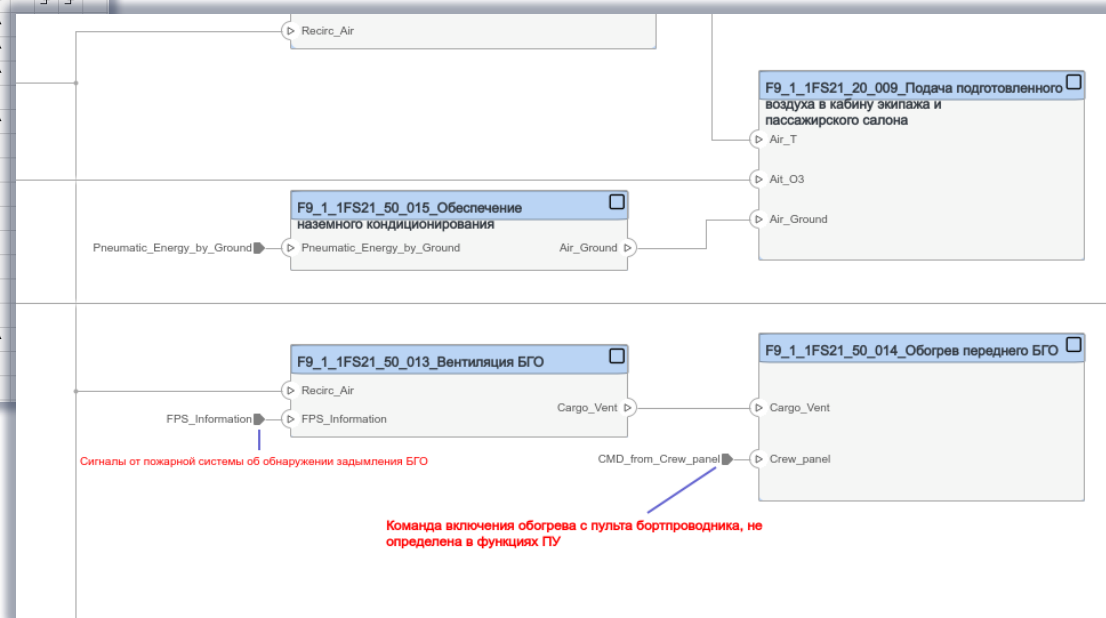
Объединение моделей Функциональной архитектуры в комплекс «Виртуальная Птица»



Рассмотренные аспекты Архитектурных и Функциональных моделей:

- **Согласованность физических, информационных и функциональных интерфейсов между системами**
- **Распределение функций систем по элементам**

	KSU_Architecture	MB-15_2	MB-16_2	Привод левого вту	MB-16_3	Привод левого вту	Привод левого вту	МЛТ-10 (2,1 R)	БРУ_Правая	Привод правой се	Привод правой вт	Привод правого ст	MB-16_1	Привод правого вт	MB-15_4	БРУ_Левая	Привод правого вт	МЛТ-9 (1,2 L)	Привод правой се	Привод правого вт	МЛТ-10 (2,2 L)	МЛТ-10 (2,1 U)	Привод левой се	Привод правого ст	МЛТ-10 (2,2 R)	Привод правого вт	МЛТ-9 (1,1 R)	МЛТ-9 (1,1 L)	Привод левой се	
KSU_functions																														
F8_6FS27_01_0																														
F8_8FS27_01_0																														
F8_5FS27_01_0																														
F8_8FS27_01_0																														
F2_3_1FS27_01																														
F5_3FS27_01_0																														
F8_1FS27_01_0																														
Fxxx_FS27_01_																														
F5_3FS27_01_0																														
F1_2_2FS27_01																														
F8_2FS22_01_0																														
Fxxx_FS27_01_																														
F10_2FS27_01_																														
Fxxx_FS27_01_																														
F8_6FS27_01_0																														
F2_3_1FS27_01																														
F2_3_2FS27_01																														
Fxxx_FS27_01_																														



Предпроектная модель – Модель функциональных алгоритмов системы без учета характеристик и архитектуры аппаратной части

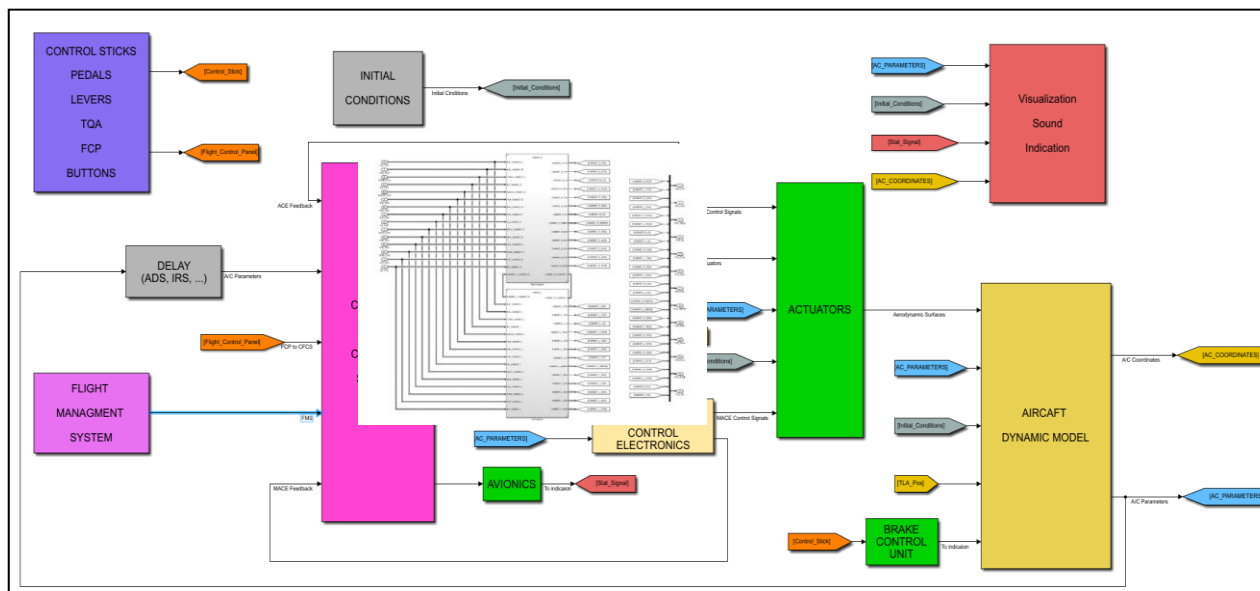
Предпроектные модели предназначены для:

- Отработки алгоритмов управления совместно с объектом управления
- Уточнения требований к качеству регулирования
- Проработки интерфейсов

Оценка работоспособности предпроектных моделей может проводиться симуляцией модели, в т.ч. в замкнутом контуре

Математические модели систем самолета и объектов управления этих систем позволяют выполнять моделирование работы систем в замкнутом контуре и после интеграции моделирование функционирования систем в составе ВС

- Качественная и количественная оценка выполнения функций уровня ВС
- Определение взаимного влияния функционирования систем
- Валидация функциональных требований к ВС



Проектная модель - Модель функциональных алгоритмов с учетом характеристик архитектуры аппаратной части

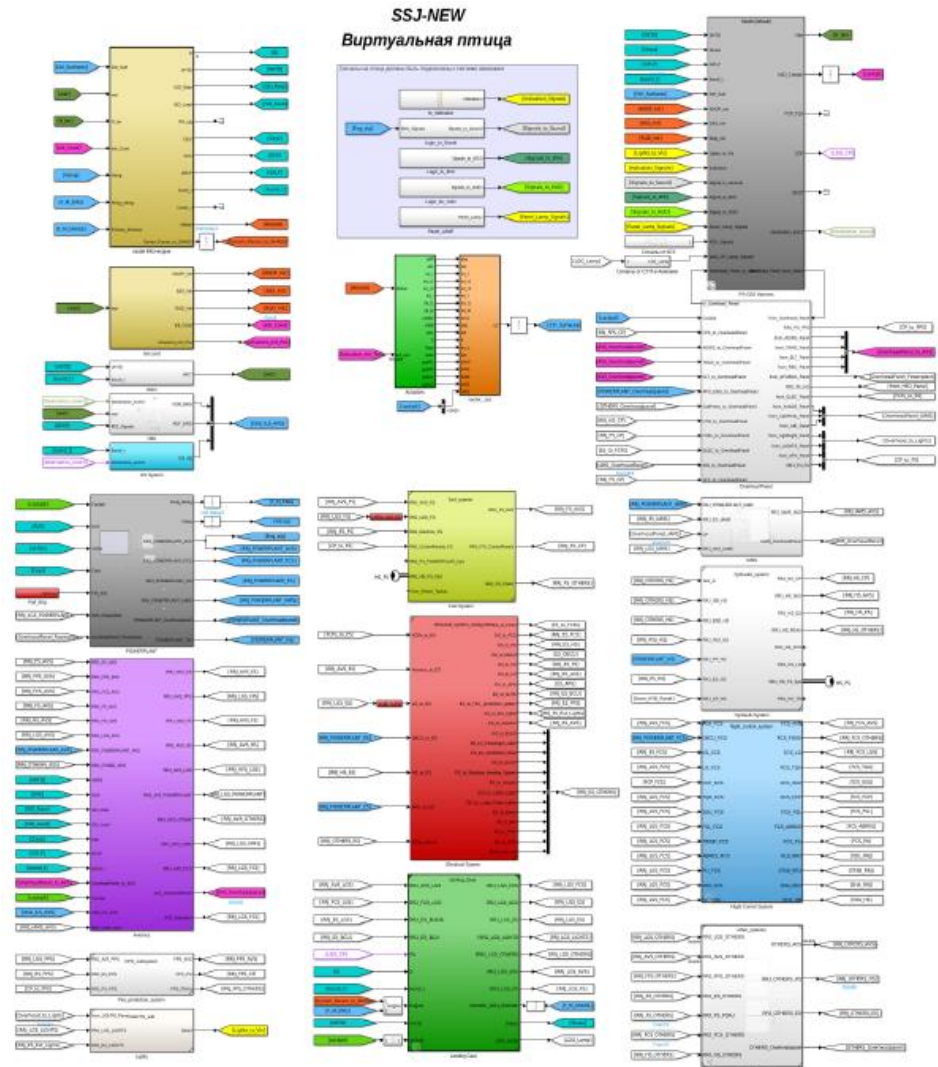
Решаемые задачи

- Уточнение требований в части межмашинного обмена, в алгоритмах парирования отказов подсистем и компонентов
- Валидация и верификация ММ по отношению к реальным компонентам СВБС

Проектные модели предназначены, в первую очередь, для уточнения требований к ПО бортовых систем. На этом уровне модели систем рассматриваются с точки зрения алгоритмов, обеспечивающих выполнение разработанных законов управления на реальной архитектуре системы.

Третье исполнение «Виртуальной Птицы»

Модели, разработанные на данном этапе являются ИД – требованиями для разработчиков бортового ПО в соответствии с КТ-178С с учетом Р-331

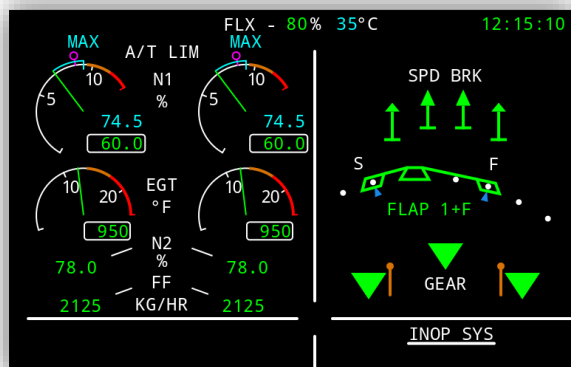
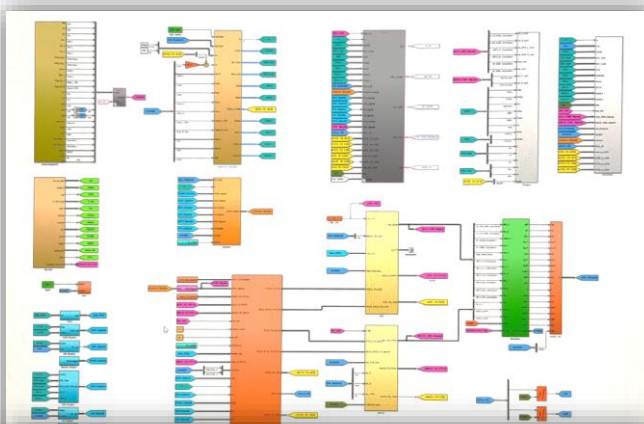


Цифровой двойник - Модель вычислителя с функциональным и базовым ПО

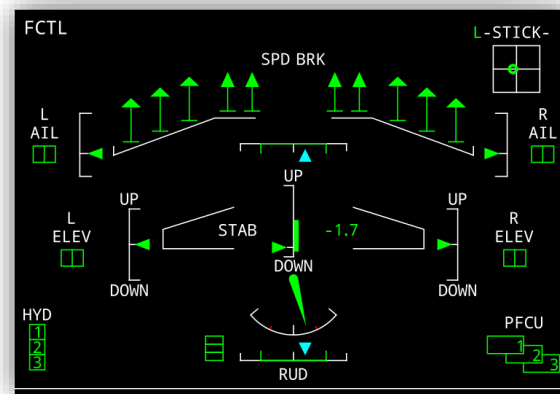
Решаемые задачи

- Уточнение требований в части характеристик аппаратной части
- Оценка влияния запаздываний в линиях связи, возникающих вследствие цифровой обработки сигналов
- Оценка влияния асинхронности работы вычислителей на работу функционального ПО
- Влияние базового ПО на функционирование вычислительных систем

«Виртуальная Птица» начиная со второго исполнения интегрируется в состав пилотажного стенда (ПС-ГСС) и позволяет выполнять испытания в замкнутом контуре с участием летчиков-испытателей.



Label	Source	Destination
#9: Enable Switch Detection	Enabling cruise control	#9 Enable Switch Detection
#7: Cancel Switch Detection	Disabling cruise control	#7 Cancel Switch Detection
#8: Set Switch Detection	Activating cruise control	#8 Set Switch Detection
#8: Set Switch Detection	Deactivating cruise control	#8 Set Switch Detection
#11: Increment Switch Detection	Target Speed Increment	#11 Increment Switch Detection
#15: Decrement Switch Detection	Target speed decrement	#15 Decrement Switch Detection
#16: Decrement Short Switch D.	Target speed decrement	#16 Decrement Short Switch Detection
#12: Increment Short Switch D.	Target Speed Increment	#12 Increment Short Switch Detection
#13: Increment Long Switch De.	Successive Target Speed Increment	#13 Increment Long Switch Detection
#14: Intermediate state	Successive Target Speed Increment	#14 Intermediate state
#17: Decrement Long Switch D.	Successive Target Speed Decrement	#17 Decrement Long Switch Detection
#18: Intermediate state	Successive Target Speed Decrement	#18 Intermediate state
Chir/SelfRequest_Tass.simx	Changed source: 0/8	Changed destination: 4/8
crs_controller.simx	Changed source: 0/68	Changed destination: 63/68
crs_plant.simx	Changed source: 0/8	Changed destination: 0/8
crs_controllerdc.simx	Changed source: 0/7	Changed destination: 7/7



TOTAL FUEL	11800 KG	SAT	-4 °F	CAB ALT	2400 FT
CALC FUEL	11700 KG	TAT	53 °F	RATE	200 FPM
F. TEMP	90 °F			ΔP	8.4 PSI
GROSS WEIGHT	37000 KG	MAN LDG ELEV	200 FT		

Математические модели систем (механических, электрических, гидравлических и др.) после валидации по отношению к реальным могут использоваться:

- Для выстраивания процессов ARP4754 для новых проектов гражданской АТ
- При сопровождении процессов разработки бортового ПО в соответствии с КТ-178С и Р-331
- Для цифровых испытаний
- При создании тренажеров FFS cat. D
- При сопровождении эксплуатации

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ