



**ЭКСПОНЕНТА**

ЦЕНТР ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
И МОДЕЛИРОВАНИЯ

# VII ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

## Управление проектированием и отработкой алгоритмов систем дистанционного управления полетом самолета с использованием математического моделирования



Сергей Байков  
Начальник отдела  
моделирования систем управления  
ПАО «Корпорация «Иркут»

# ПАО «Корпорация «Иркут»

- ПАО «Корпорация «Иркут» ведущее авиастроительное предприятие России, осуществляющее разработку и производство техники гражданского и военного назначения.
- В настоящее время на базе Корпорации «Иркут» формируется дивизион гражданской авиации ОАК. Это предусматривает дальнейшее расширение функций и совершенствование структуры Корпорации (с включением в нее ряда новых подразделений и филиалов).





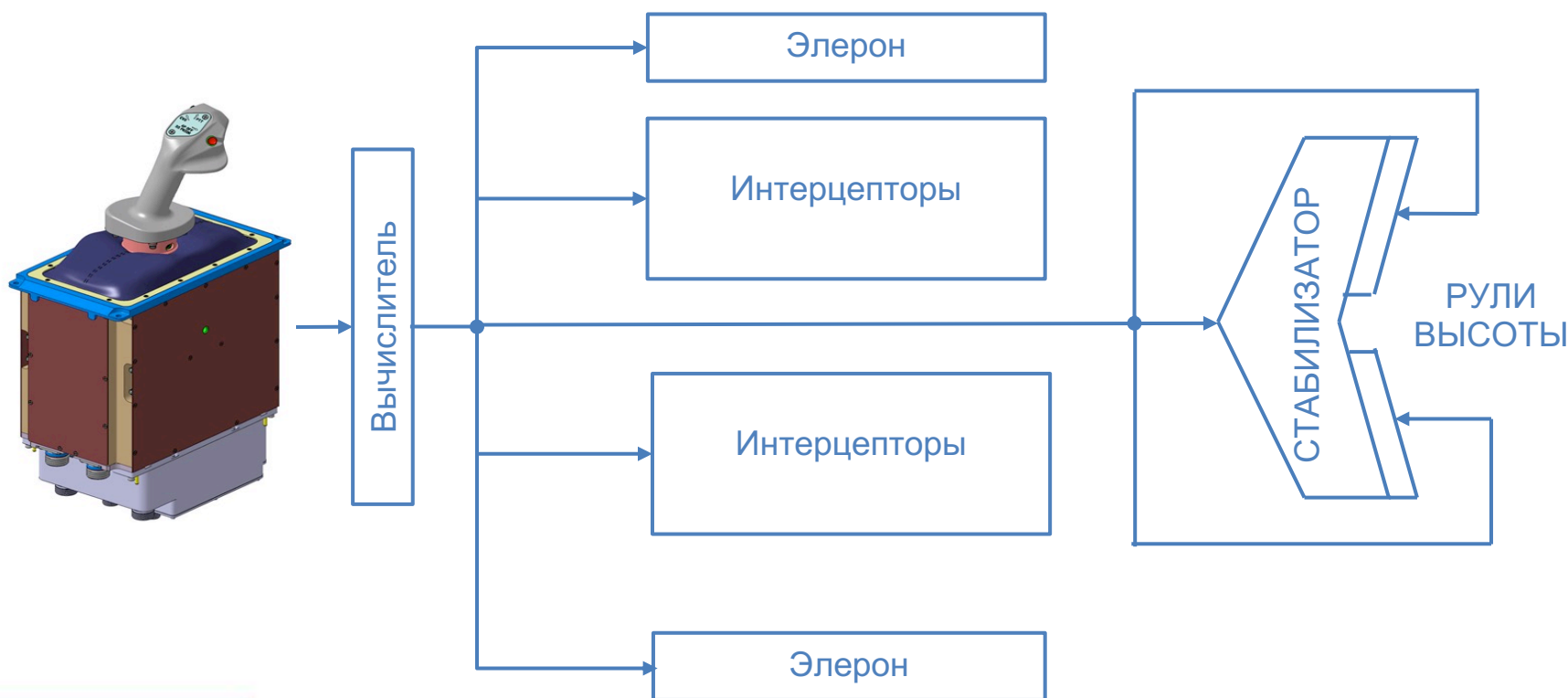
# Основная программа

- Семейство ближне-среднемагистральных пассажирских самолётов MC-21 с учетом передовых технологий и ориентировано на самый ёмкий сегмент мирового пассажирского рынка.



# Комплексная система управления МС-21

- На самолетах семейства МС-21 реализована комплексная система управления полетом, использующая технологию систем дистанционного управления – СДУ (fly-by-wire).





# Комплексная система управления МС-21

Системы дистанционного управления современных самолетов транспортной категории являются высокоавтоматизированными системами с широким спектром функций, обеспечивающими выполнение требований норм летной годности к характеристикам устойчивости и управляемости и высокий уровень безопасности полета и комфорта управления.

Обобщая опыт разработки современных дистанционных систем управления, все функции можно разделить на три основные группы:

- *функции управления;*
- *функции защиты;*
- *Функции повышения комфорта управления.*

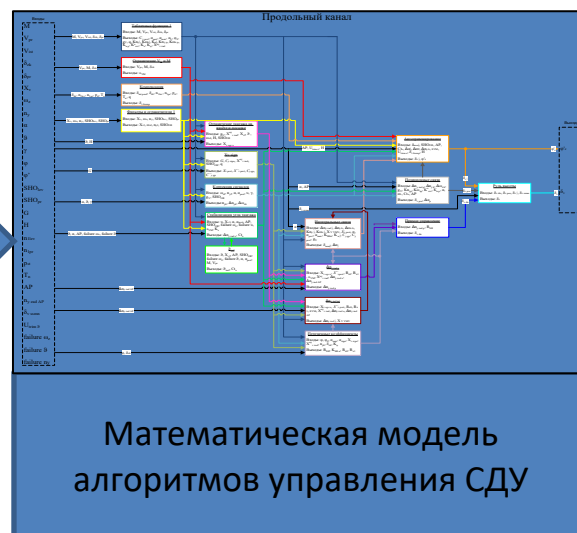
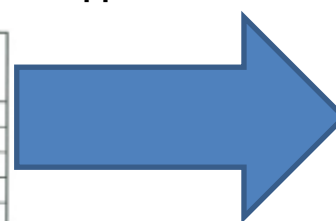
# Сложности проекта

Проектирование алгоритмов СДУ и их настройка на этапах создания и отработки ПО с использованием штатного аппаратного обеспечения является чрезвычайно трудоёмким и продолжительным процессом, потому целесообразным здесь является проектирование их посредством математического моделирования.

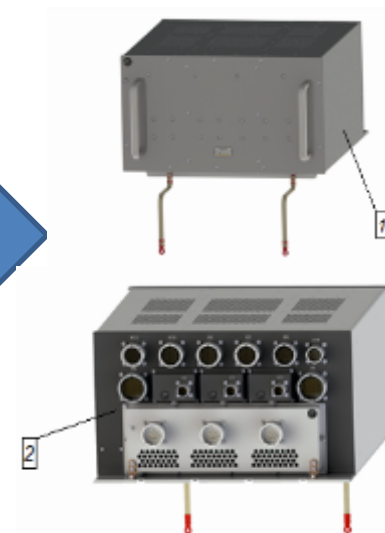
УИГ-д	
$a, ^\circ$	$m_z^{\omega_z}$ ВзК и ПосК
-5	-23.36
-3	-23.36
0	-23.36
3	-23.36
5	-23.31
7	-23.00
9	-22.35
11	-21.50
13	-19.50
15	-14.89
18	-0.64
20	6.00
22	6.00
24	6.00

$\alpha, ^\circ$	$k_{mzs}$		
	$\delta a, ^\circ$	КрК	ВзК и ПосК
-4			
0	-30	0.904	0.904
4	-25	0.962	0.962
8	-20	0.994	0.994
12	-15	1.000	1.000
14	-10	1.000	1.000
16	-5	1.000	1.000
18	0	1.000	1.000
20	5	0.990	0.990
22	10	0.980	0.980
24	15	0.922	0.922
	20	0.823	0.823
	25	0.603	0.603

Получение  
исходных  
данных



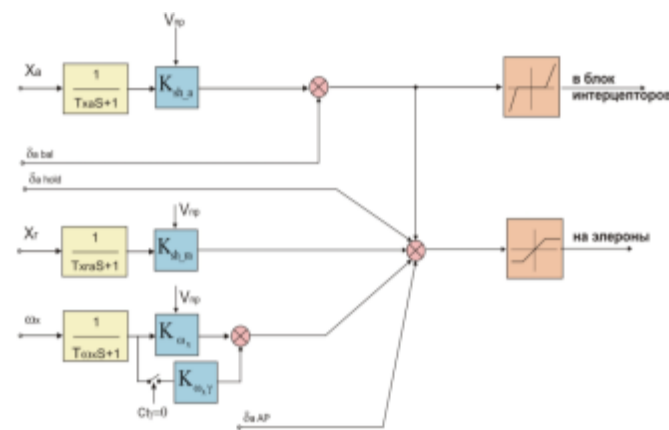
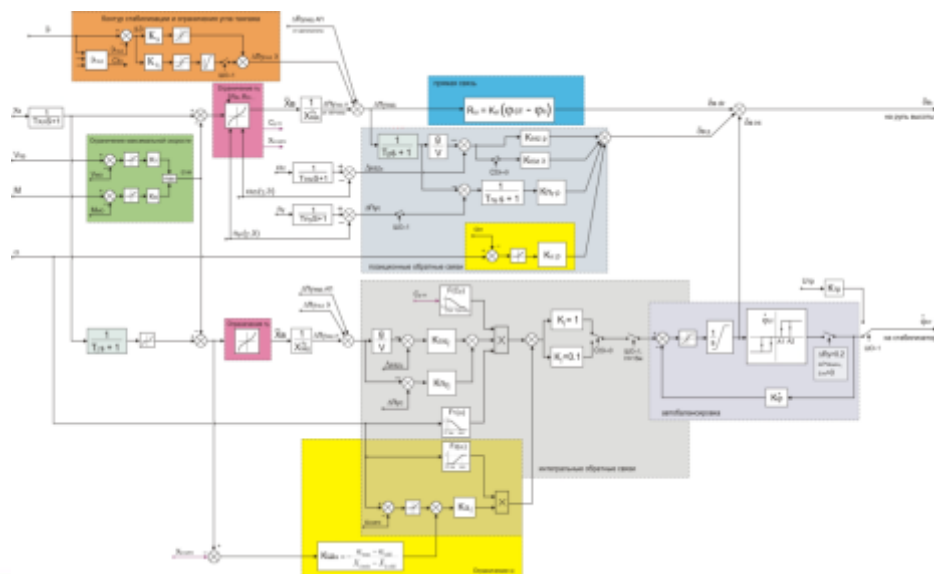
Реализация в  
ПО



# Объект моделирования

Модель алгоритмов СДУ является основным объектом настройки и исходным материалом для разработки бортового ПО системы управления.

Алгоритмы СДУ представляют собой набор передаточных функций входными параметрами которых являются: положения органов (рычагов, переключателей) ручного и автоматического управления системы управления в кабине, признаки состояния системы, параметры собственного и траекторного движения самолета для использования в качестве сигналов обратных связей в контурах улучшения устойчивости и ограничения параметров полета.

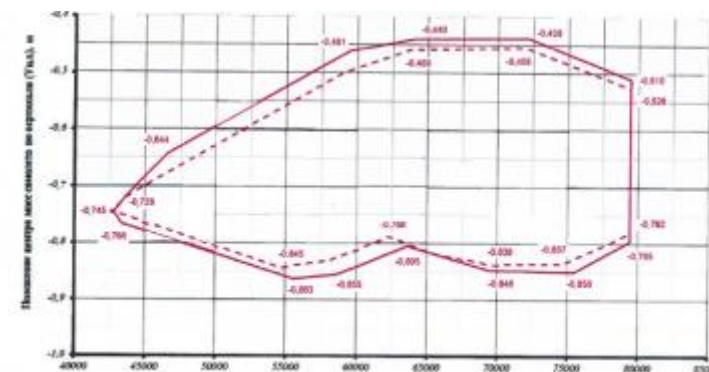
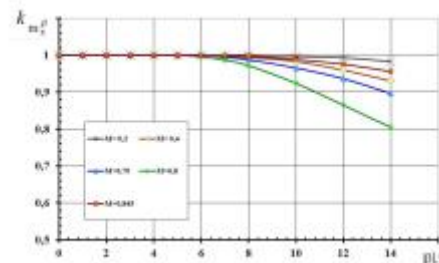
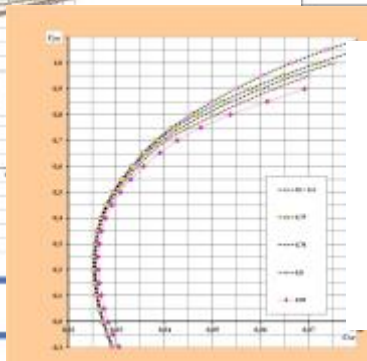
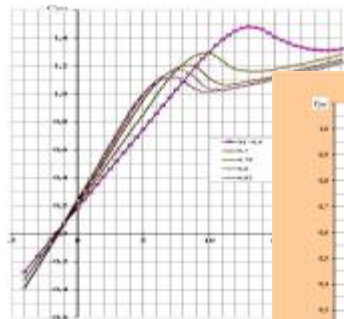
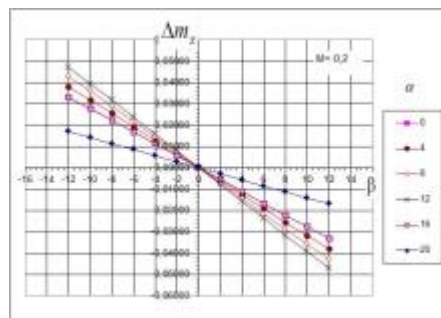
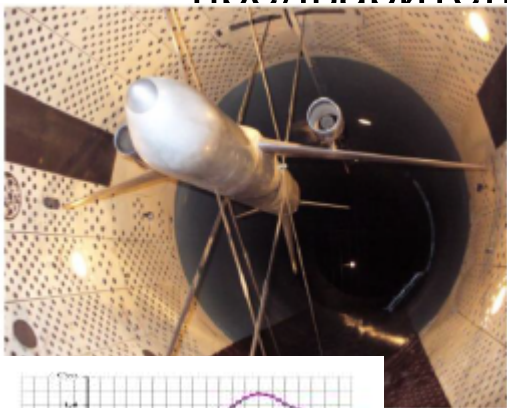




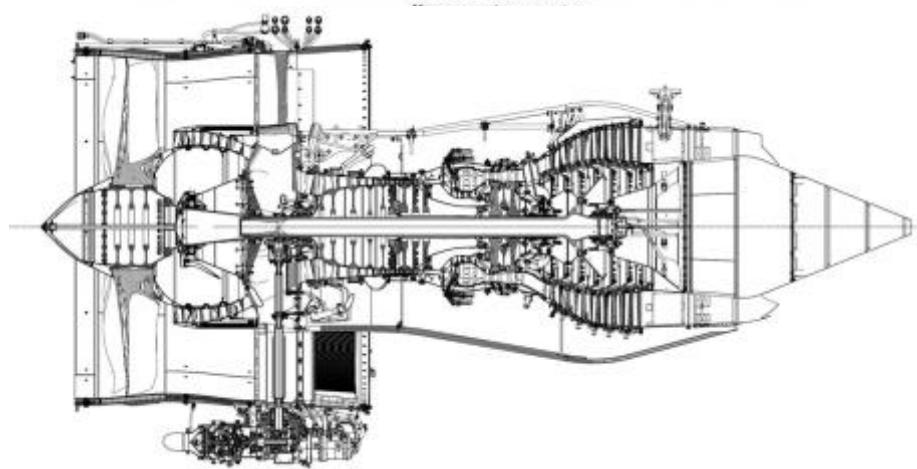
# Матмодель динамики движения самолёта

На основе исходных данных, которыми являются:

- аэродинамические характеристики самолета на основании испытаний исполнительной модели самолета в аэродинамических трубах;
- массово-инерционные характеристики;
- характеристики силовой установки;
- предварительные алгоритмы управления СДУ.



№	H, м	M	$\alpha_{\text{гидр}}$ , град	R, кгс	$n_{\text{гидр}}$ , об/мин
1	0	0	50,3	13767	8686
2	0	0,1	50,3	12400	8775
3	0	0,2	50,3	11383	8870
4	0	0,3	50,3	10423	8916
5	457,2	0	45,3	13206	8694
6	457,2	0,1	50,3	12033	8818
7	457,2	0,2	50,3	11055	8916
8	457,2	0,3	50,3	10137	8961
14	3048	0	50,3	10992	8964
15	3048	0,1	50,3	9994	9052
16	3048	0,2	50,3	9233	9136
17	3048	0,3	50,3	8277	9092
18	3048	0,4	50,3	7553	9088



# Мат. модель динамики движения самолёта

Алгоритмы интегрируются в комплексную математическую модель полного движения самолета, выполненную в программной среде Matlab/Simulink представленную в виде блоков связанных между собой векторами входных и выходных параметров. При помощи данной модели оцениваются характеристики динамики самолета и осуществляется оптимальная настройка алгоритмов управления.

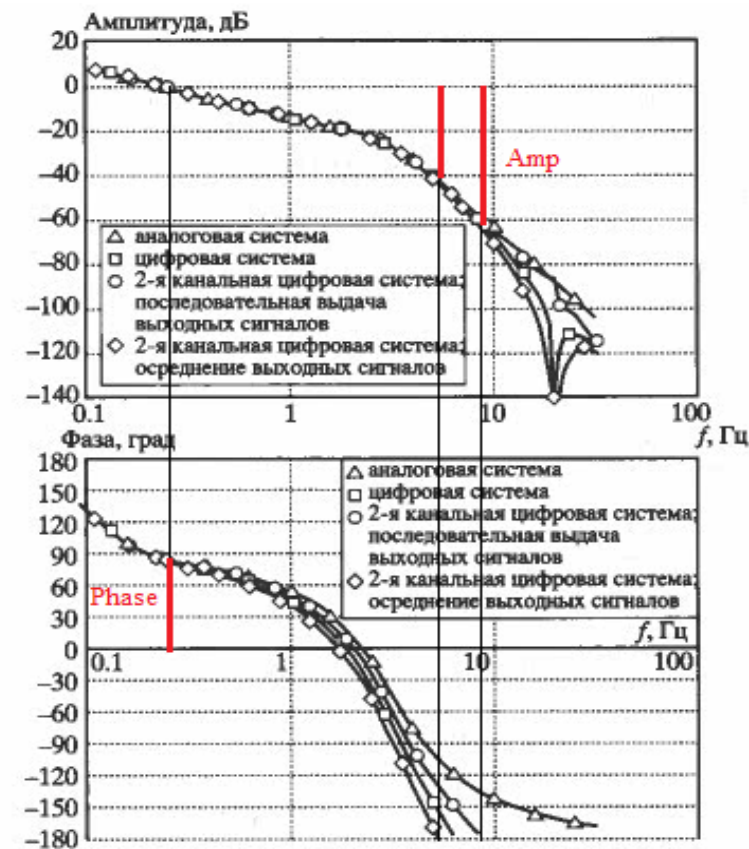


# Особенности систем управления, требующие учёта при моделировании

При моделировании требуется учитывать также особенности цифровых резервированных систем управления и информационных систем самолета. Такие особенности и факторы работы требуют учета :

- многоканальность;
- асинхронность каналов;
- частота обновления информации;
- транспортные задержки;
- запаздывания, связанные с синхронизацией динамических звеньев в разных каналах.

Данные особенности значительно влияют на динамические характеристики системы управления.

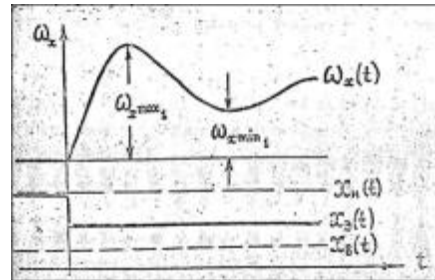
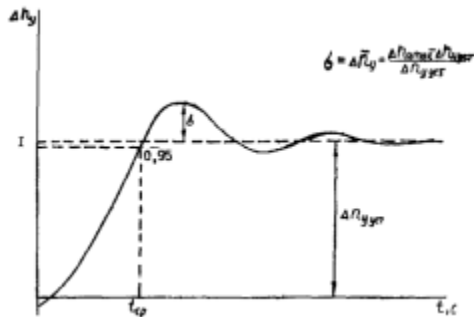




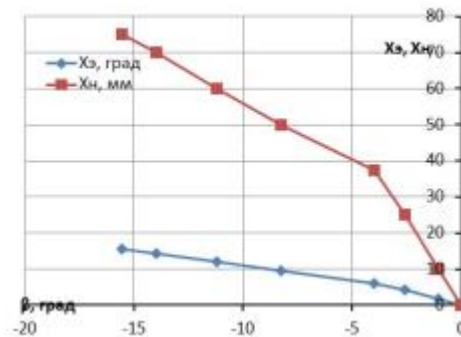
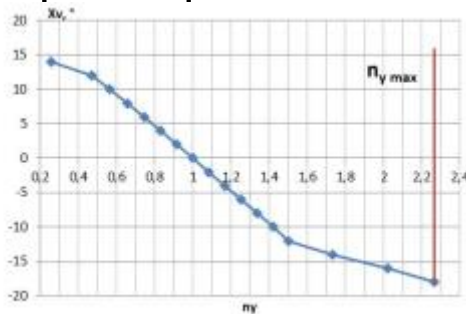
# Критерии при проектировании

При моделировании используются известные критерии устойчивости управляемости для обеспечения оптимальной настройки алгоритмов управления.

1. Временные критерии управляемости основанные на оценке переходных

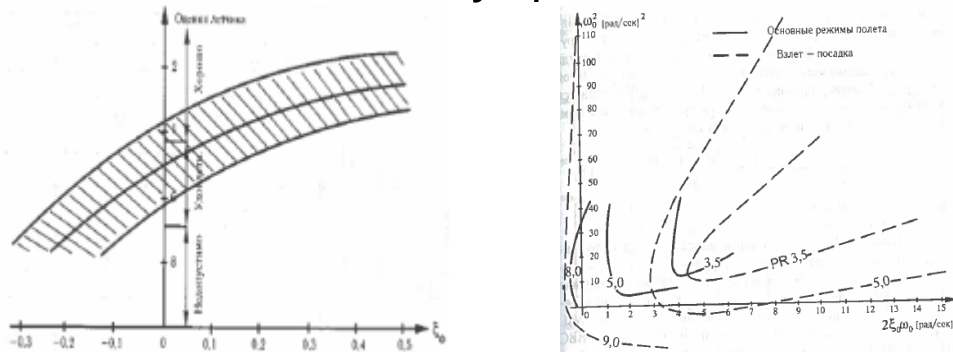


2. Статические критерии управляемости, сводящиеся к оценке балансировочных характеристик самолета по параметрам движения.

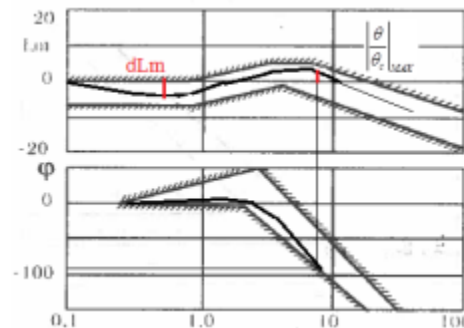
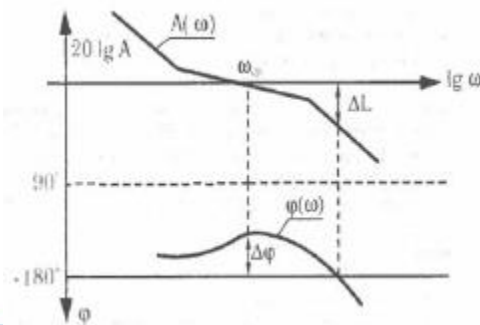


# Критерии при проектировании

3. Корневые критерии рассматривающие как объект регулирования систему «летчик – система управления – самолет».



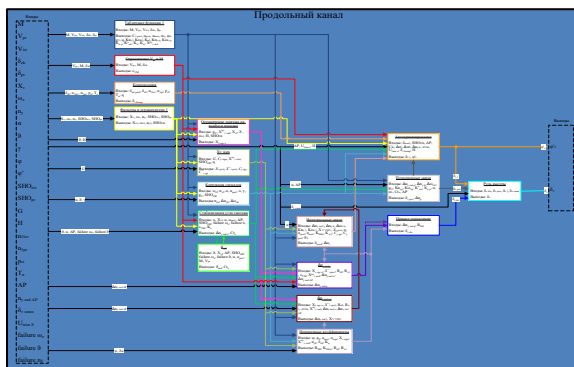
4. Частотные критерии рассматривающие запасы устойчивости системы, запаздывания и снижение реакции на управляющие воздействия с увеличением их частоты.



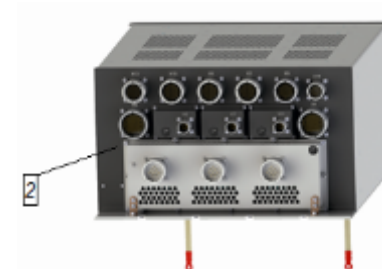
# Реализация в ПО

После проведения всего комплекса оценок и настроек, алгоритмы реализуются в качестве бортового ПО системы управления.

Для реализации в ПО алгоритмов могут быть использованы формульно-текстовые, табличные математические описания (Спецификация) алгоритмов управления КСУ.



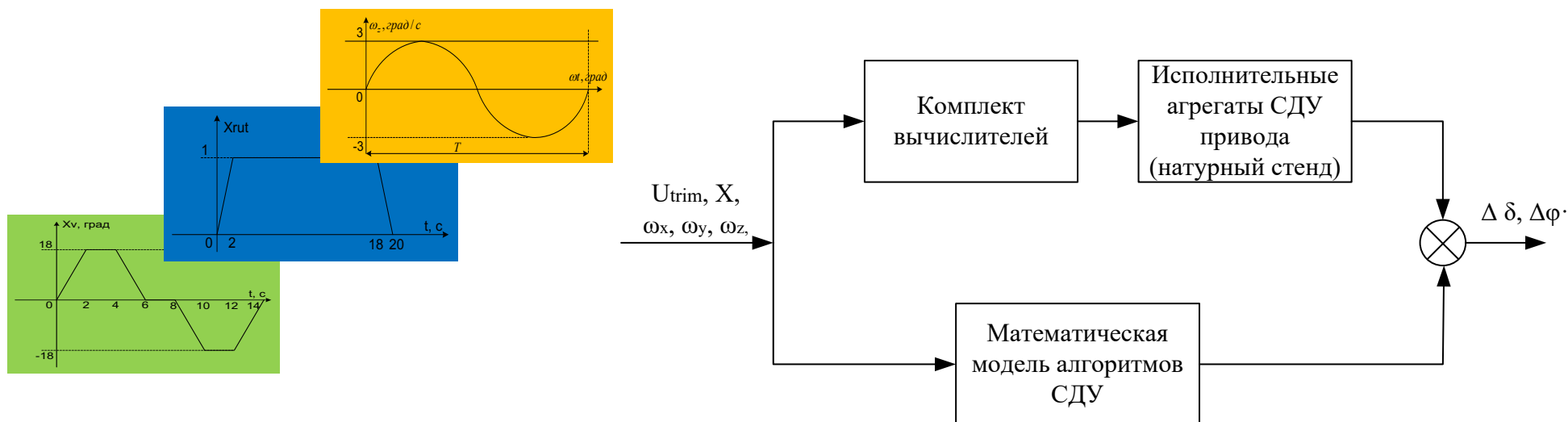
Реализация в ПО





# Реализация ПО

Для проверки реализации ПО на натурных стендах потребовалось использование параллельного тестирования с помощью автоматизированных инструментов MATLAB, покрывающих практически все возможные комбинации работы ПО.



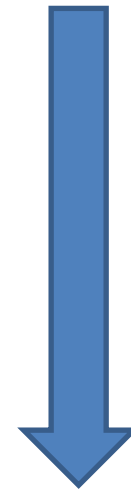
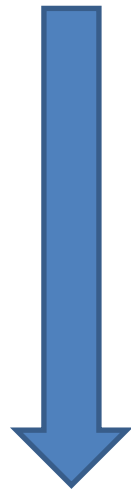
## Результаты применения

- Результаты работ были использованы в качестве исходных данных при написании ПО системы управления.
- Разработаны тестовые примеры для проверки реализации ПО.
- Результаты моделирования были использованы для получения Заключений отраслевых институтов о безопасности начала полетов по программам заводских и сертификационных испытаний.
- Также материалы работы оформлены в виде отчётов для использования в качестве доказательных документов при сертификации самолета.

## Мнения участников проекта

- Использование данного решение позволило снизить затраты на лётные и стендовые испытания, и позволяет получить дополнительные материалы для использования при сертификации.

₽





# Рекомендации коллегам

Для повышения достоверности и поддержания актуальности и проведения, так называемого, опережающего моделирования предлагается следующая схема.

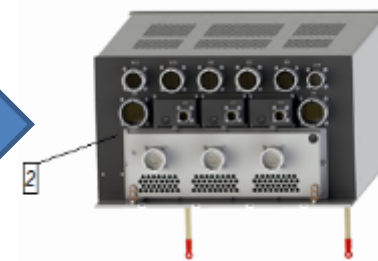


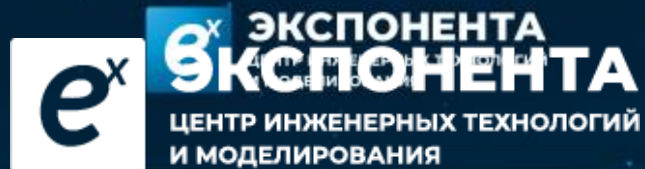
## Следующие шаги

Для сокращения объемов работ связанных с тестированием, оптимизации взаимодействия с соисполнителями минимизации возможных ошибок перспективной является использование прямой конвертации алгоритмов в формат бортового кода ПО из формата исполняемой математической модели.

Математическая модель  
алгоритмов управления СДУ  
(формат Matlab/Simulink)

Конвертация в формат ПО





# VI ВСЕРОССИЙСКАЯ VII ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

## Управление проектированием и отработкой алгоритмов систем дистанционного управления полетом самолета с использованием математического моделирования



Сергей Байков  
Начальник отдела  
моделирования систем управления  
ПАО «Корпорация «Иркут»