



e<sup>x</sup> 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).



OAK

ОБЪЕДИНЕННАЯ  
АВИАСТРОИТЕЛЬНАЯ  
КОРПОРАЦИЯ

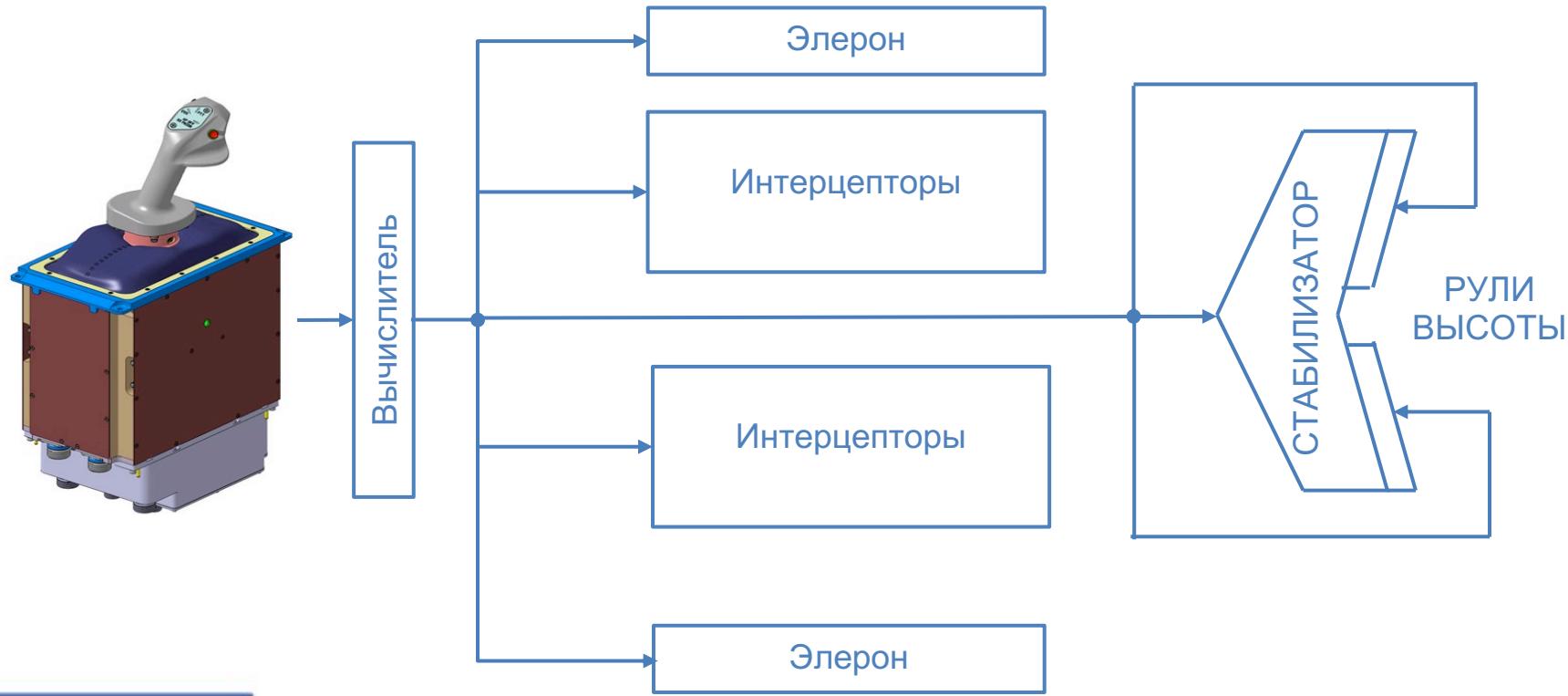
# Основная программа

- Семейство ближне-среднемагистральных пассажирских самолётов МС-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

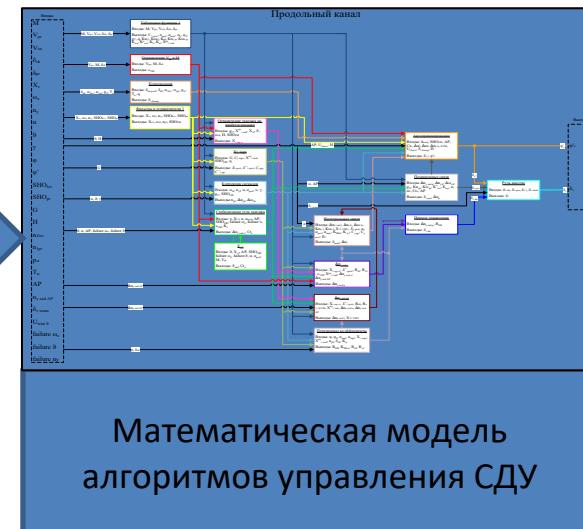
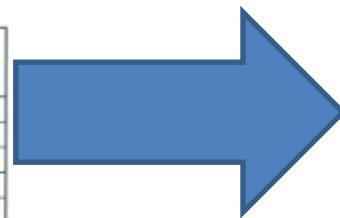
Проектирование алгоритмов СДУ и их настройка на этапах создания и отработки ПО с использованием штатного аппаратного обеспечения является чрезвычайно трудоёмким и продолжительным процессом, потому целесообразным здесь является проектирование их посредством математического моделирования.

ЧИГ-и		
$\alpha, ^\circ$	$m_z^{\omega_z}$	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	

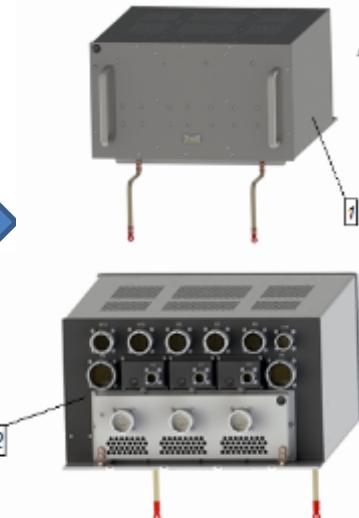
  

$k_{m_z \delta}$		
$\alpha, ^\circ$	$k_{m_z \delta}$	ВзК и ПосК
-4		
0		
4		
8		
12		
14		
16		
18		
20		
22		
24		

Получение  
исходных  
данных



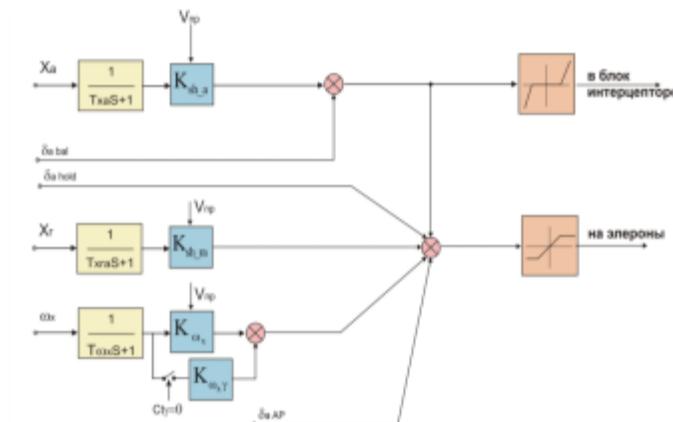
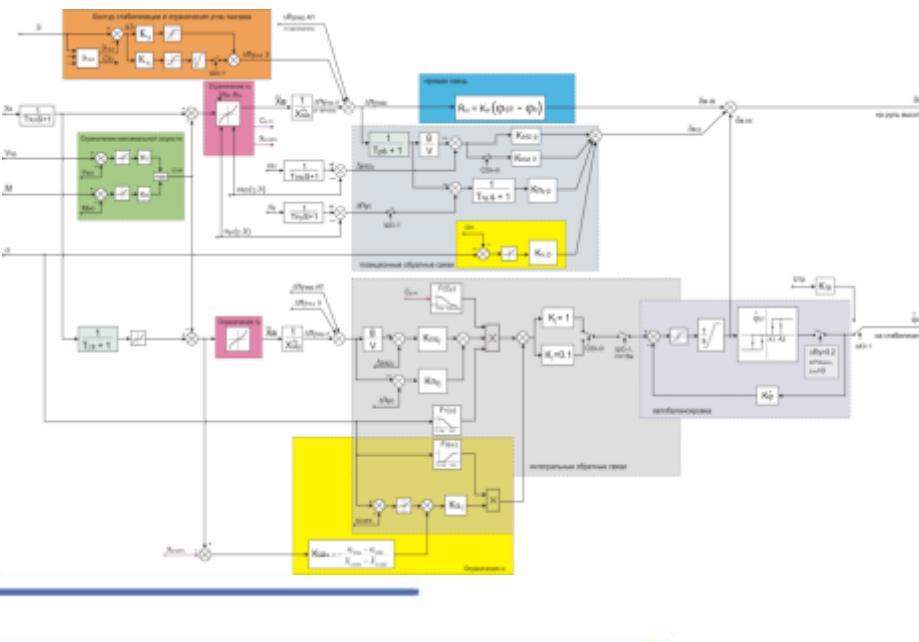
Реализация в  
ПО



# Объект моделирования

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

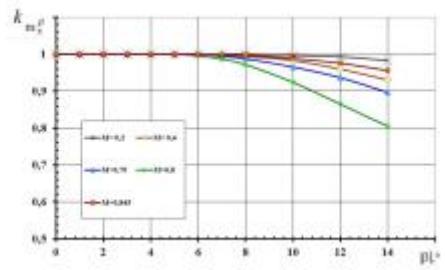
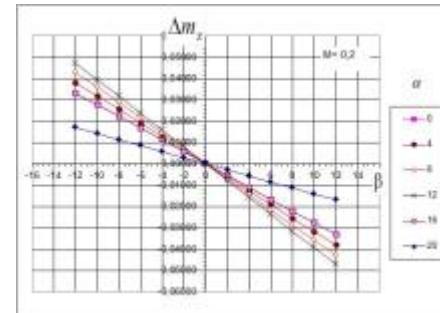
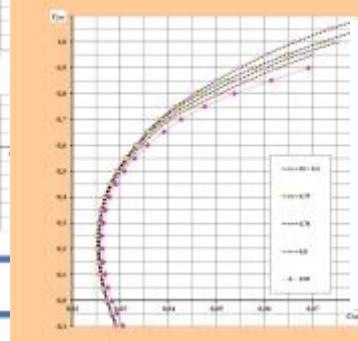
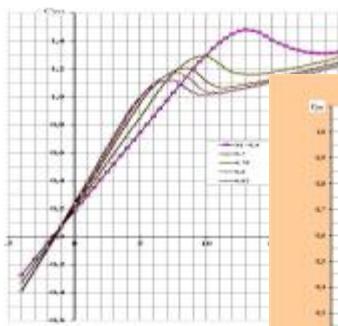
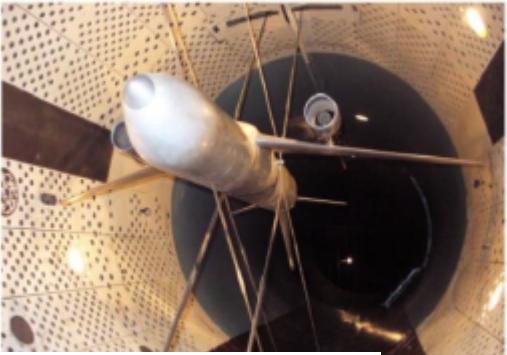
Алгоритмы СДУ представляют собой набор передаточных функций входными параметрами которых являются: положения органов (рычагов, переключателей) ручного и автоматического управления системы управления в кабине, признаки состояния системы, параметры собственного и траекторного движения самолета для использования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



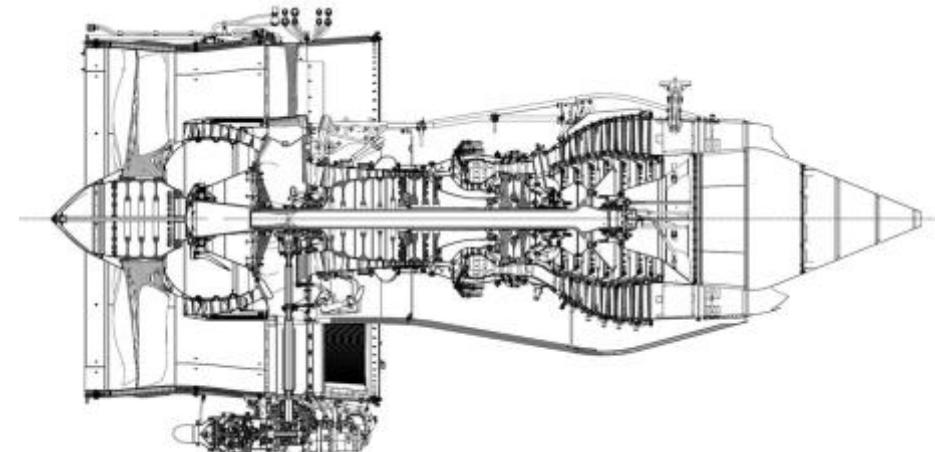
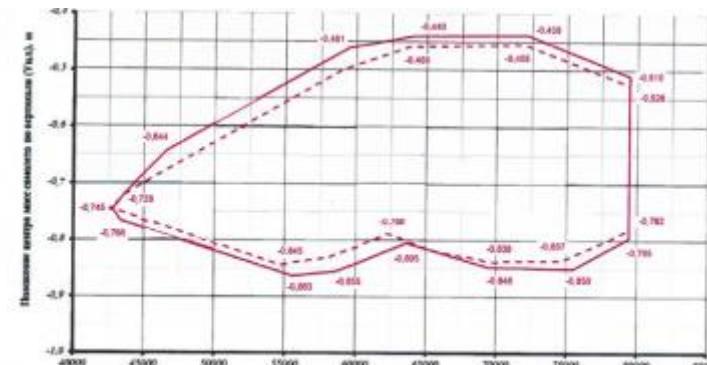
# Матмодель динамики движения самолёта

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.



№	$H, м$	$M$	$\alpha, град$	$R, кгс$	$n_{одр}, об/мин$
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.

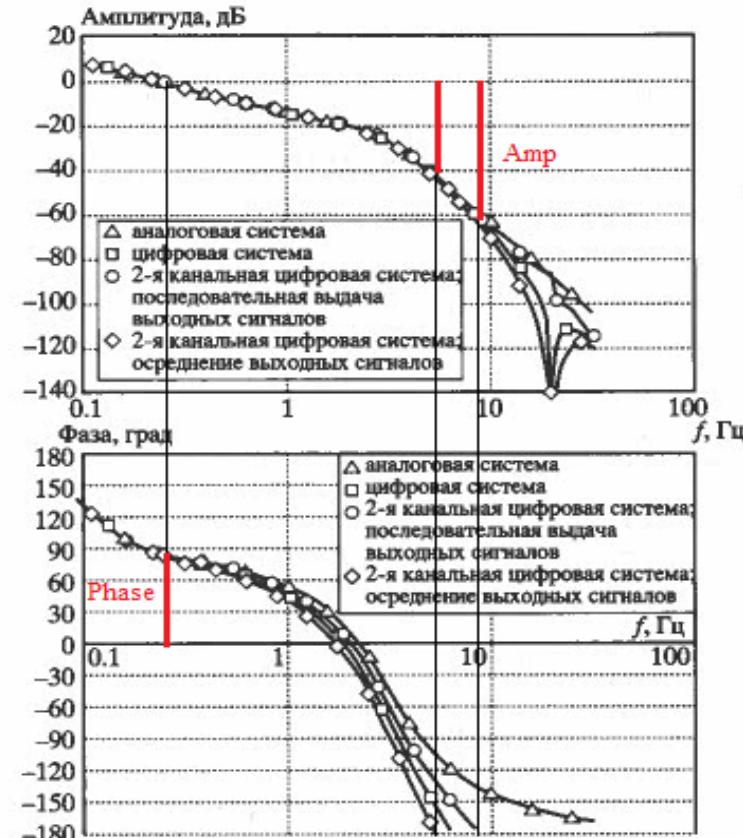


# Особенности систем управления, требующие учёта при моделировании

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.

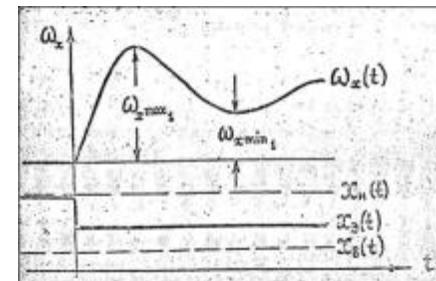
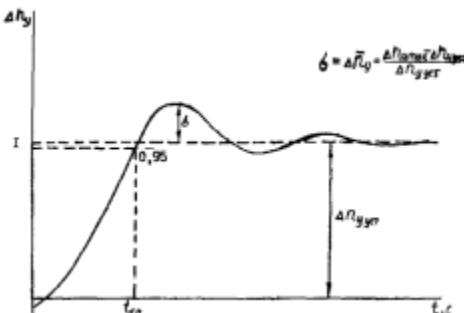
Данные особенности значительно влияют на динамические характеристики системы управления.



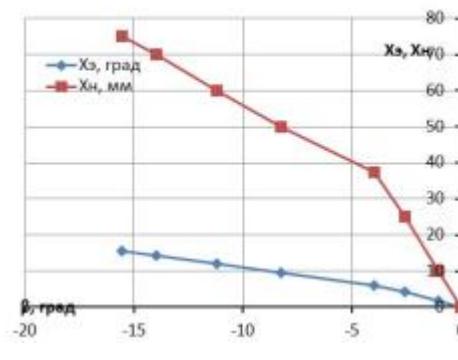
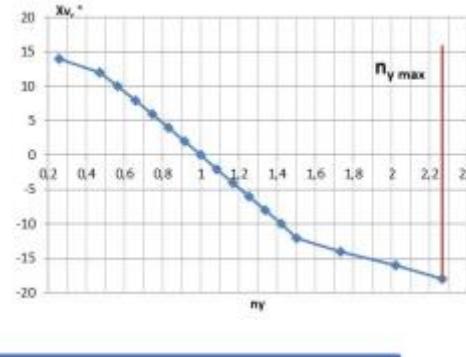
# Критерии при проектировании

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

1. Временные критерии управляемости основанные на оценке переходных

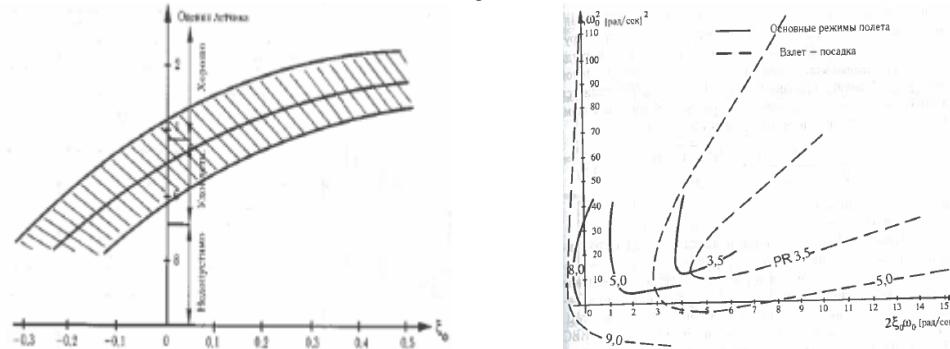


2. Статические критерии управляемости, сводящиеся к оценке балансировочных характеристик самолета по параметрам движения.

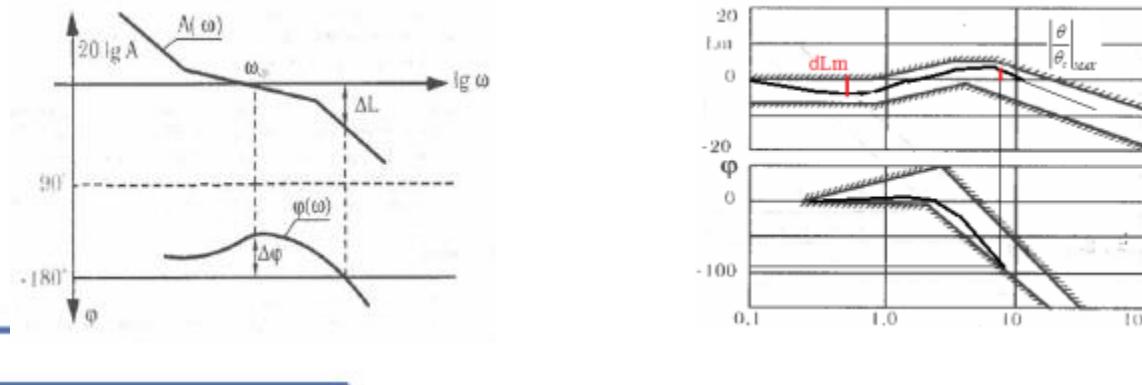


# Критерии при проектировании

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



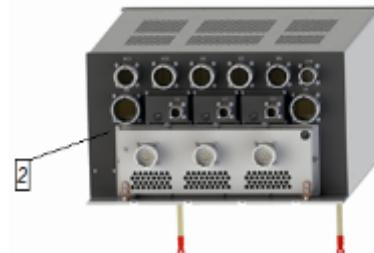
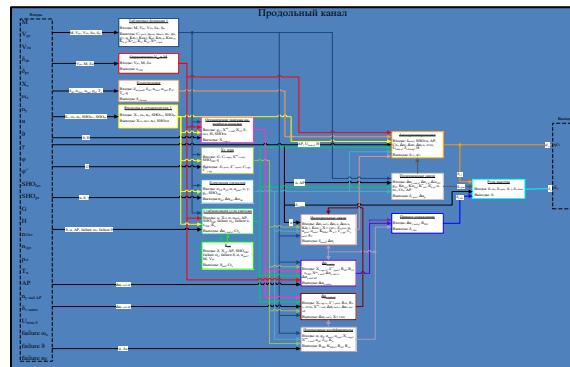
4. Частотные критерии рассматривающие запасы устойчивости системы, запаздывания и снижение реакции на управляющие воздействия с увеличением их частоты.



# Реализация в ПО

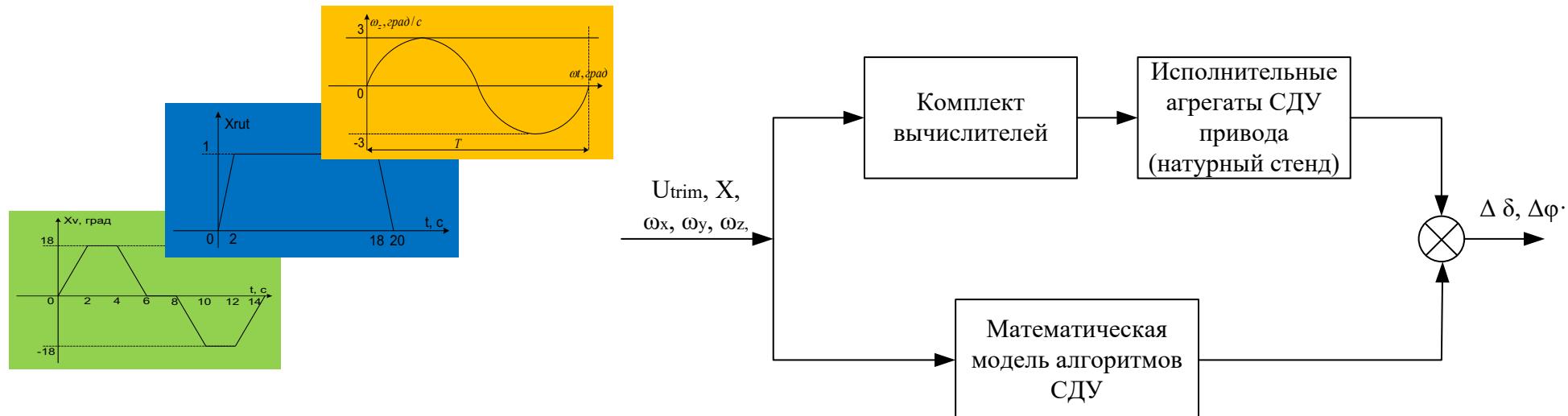
После проведения всего комплекса оценок и настроек, алгоритмы реализуются в качестве бортового ПО системы управления.

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



# Реализация ПО

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



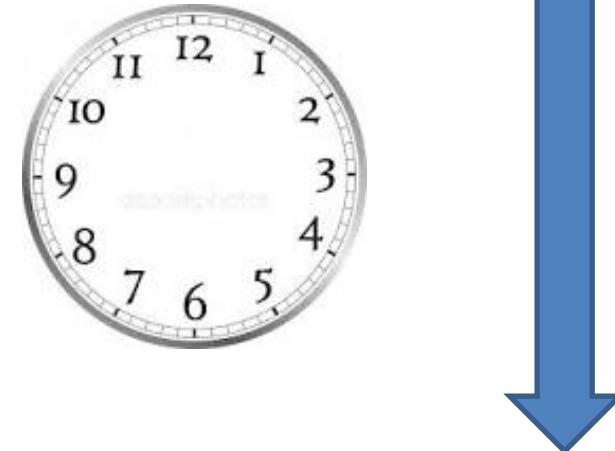
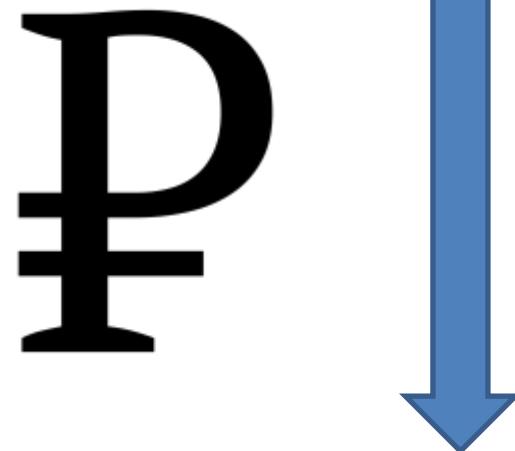


## Результаты применения

- 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 решения 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 исполнительной математической модели.

Математическая модель  
алгоритмов управления СДУ  
(формат Matlab/Simulink)

Конвертация в формат ПО





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



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