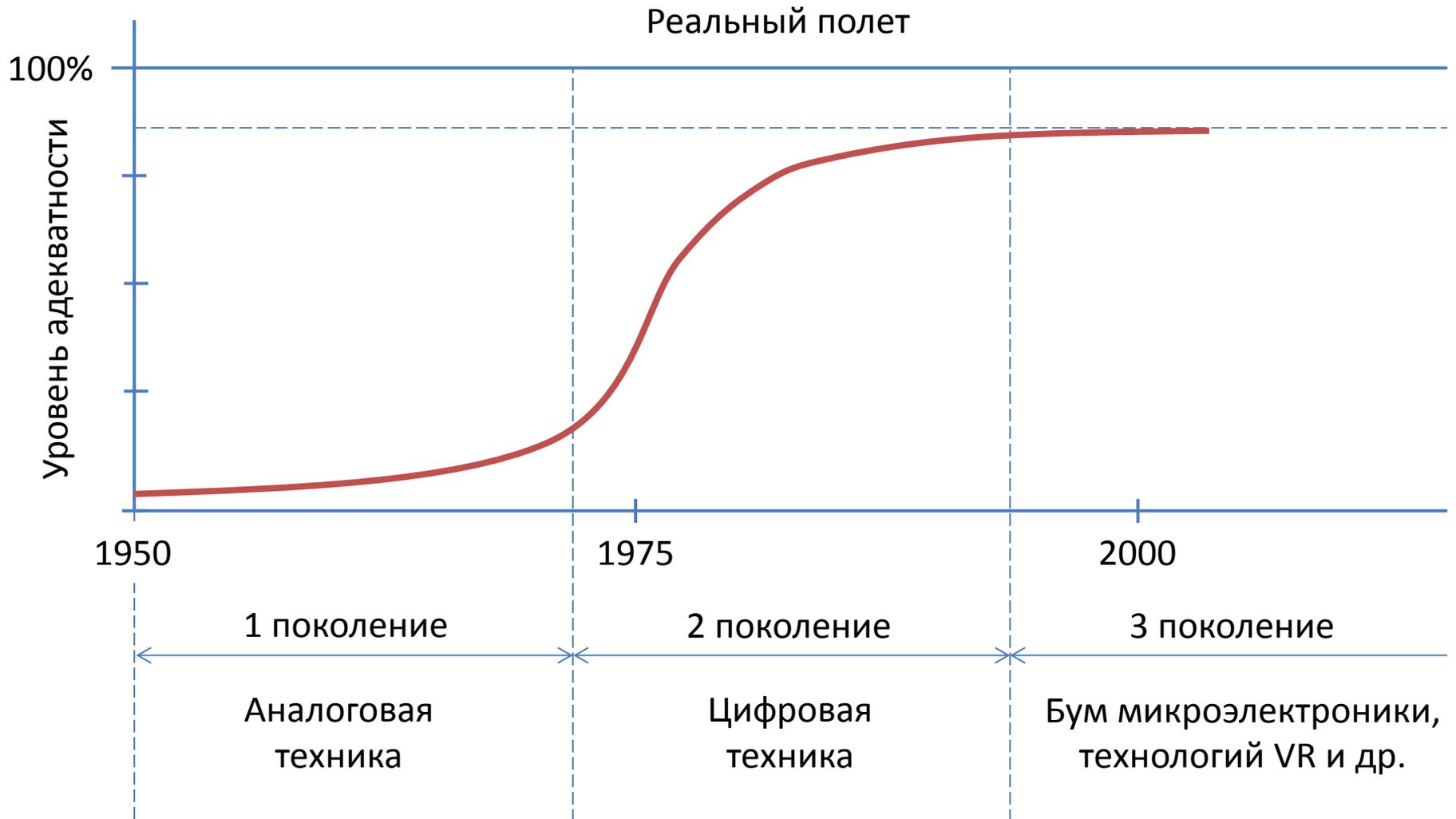


**Специализированный тренажер  
для экипажей маневренных  
летательных аппаратов с системой  
подвижности консольного типа**

*Автор: А.Г. Бюшгенс, д.т.н.*

# Эволюция тренажерных технологий



# История систем подвижности консольного типа



Фирма Northrop  
1970 г.

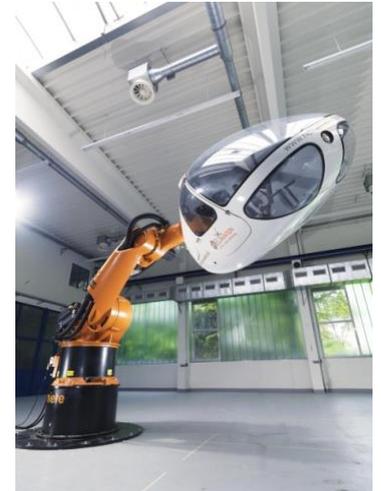


ЦАГИ  
1971 г.



ЦАГИ-Динамика  
1995 г.

# Сравнительные характеристики классических (платформы Стюарта) и консольных систем подвижности

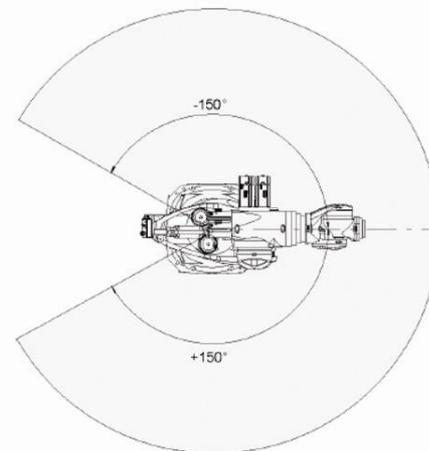
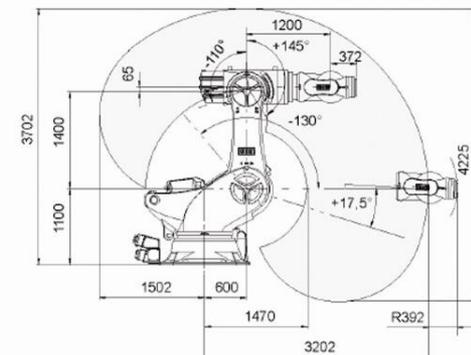


	X	0.8 м	3.2 м
Линейные перемещения	Y	1.3 м	4.2 м
	Z	1.2 м	4.2 м
	тангаж	$\pm 23^\circ$	$+110^\circ - -17.5^\circ$
Угловые перемещения (град)	крен	$\pm 25^\circ$	$\pm 180^\circ$
	курс	$\pm 24^\circ$	$\pm 150^\circ$

# Основные преимущества и недостатки систем подвижности консольного типа

## Преимущества:

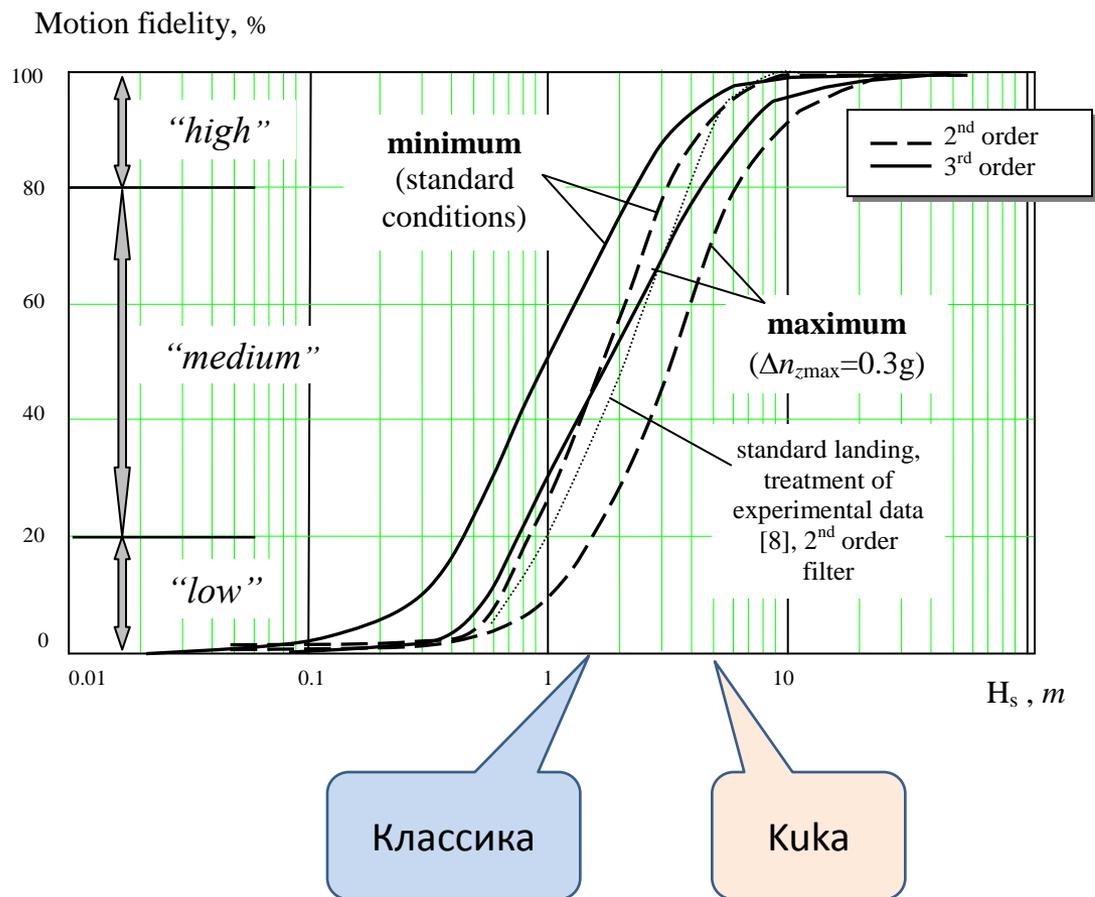
- Наличие серийного промышленного робота-манипулятора KUKA TITAN 1000
- Изолированность угловых и линейных степеней свободы
- Увеличение степени достоверности моделирования акселерационных ощущений в  $\approx 2-3$  раза



## Недостаток:

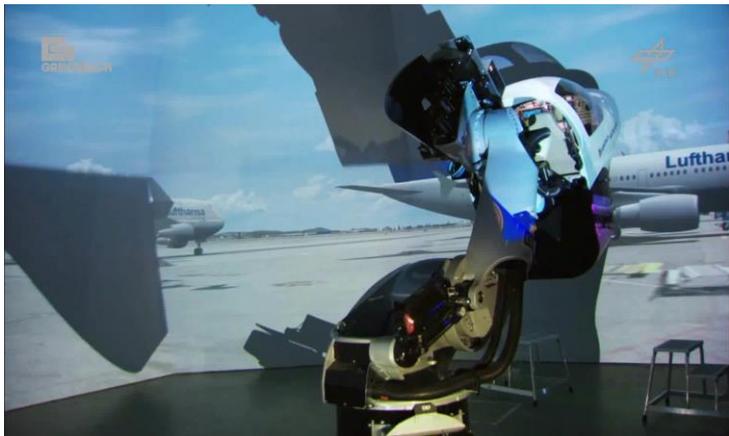
- Ограниченная грузоподъемность  $\leq 1500$  кг

# Данные ЦАГИ по влиянию располагаемых ходов системы подвижности на достоверность имитации продольных перегрузок



# Варианты системы визуализации (определяется на этапе ЭП)

Стационарный  
экран



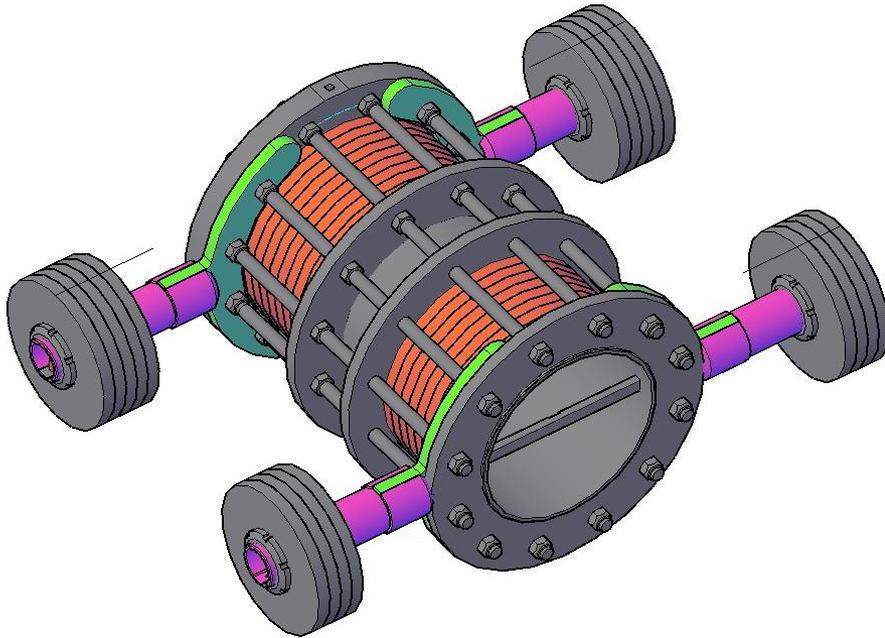
Экран –  
колпак кабины



Очки виртуальной  
реальности



# Тестовый груз



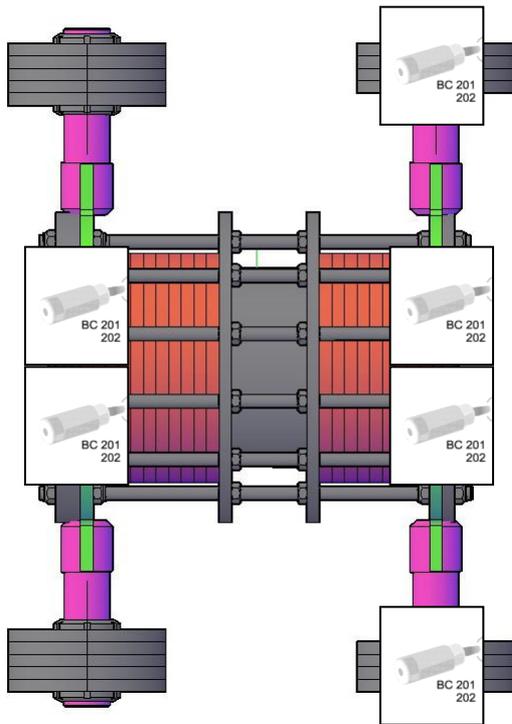
Масса груза 430 кг

## Возможность измерения:

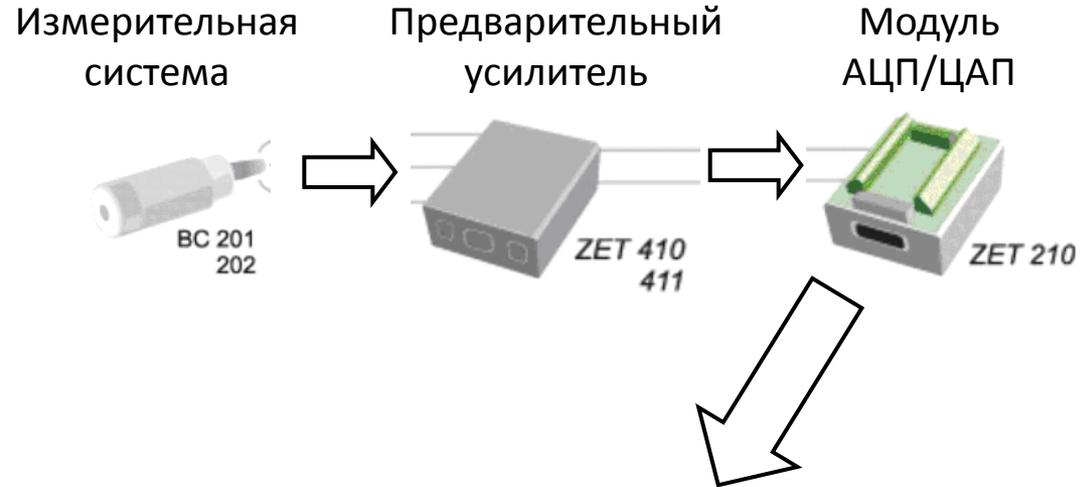
- веса (220 – 430 кг);
- моменты инерции груза:
  - $J_x = 42.4 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ ;
  - $J_y = 66.7 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ ;
  - $J_z = 98.9 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ ;
- диапазон изменения центровок:
  - от 0.22 до 0.4 м

# Система измерения

## Расположения датчиков ускорений на грузе



## Вычисление линейных перегрузок и угловых ускорений

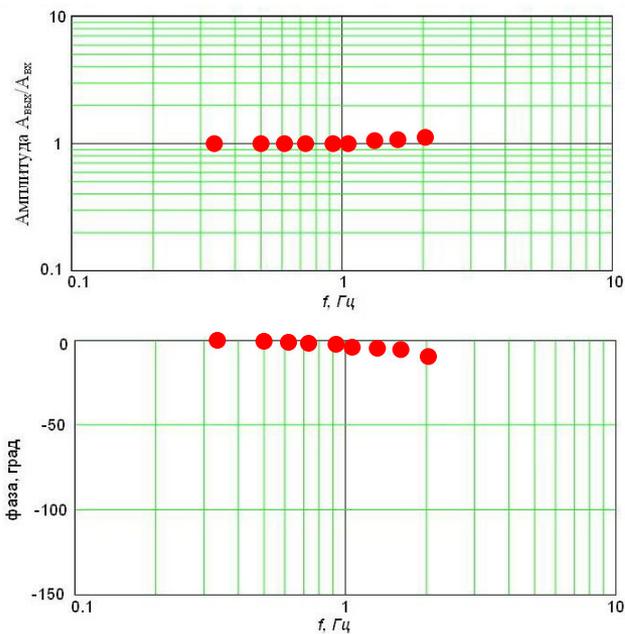


Система анализа и контроля ускорений

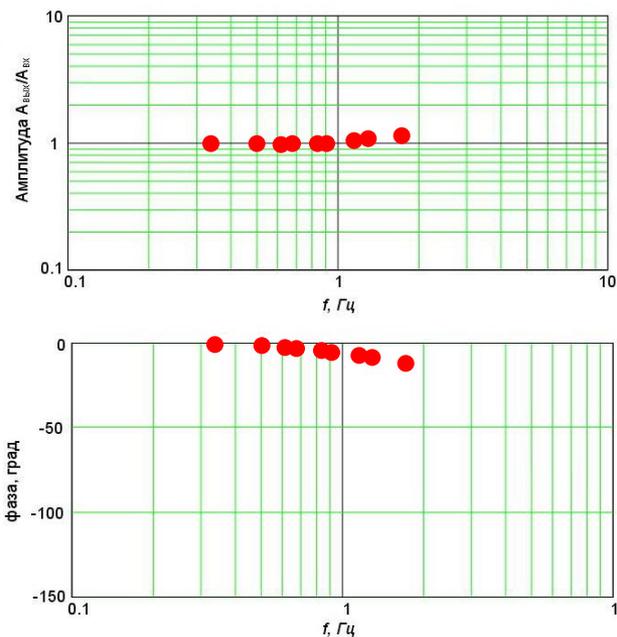
# Частотные характеристики

## Линейные степени свободы

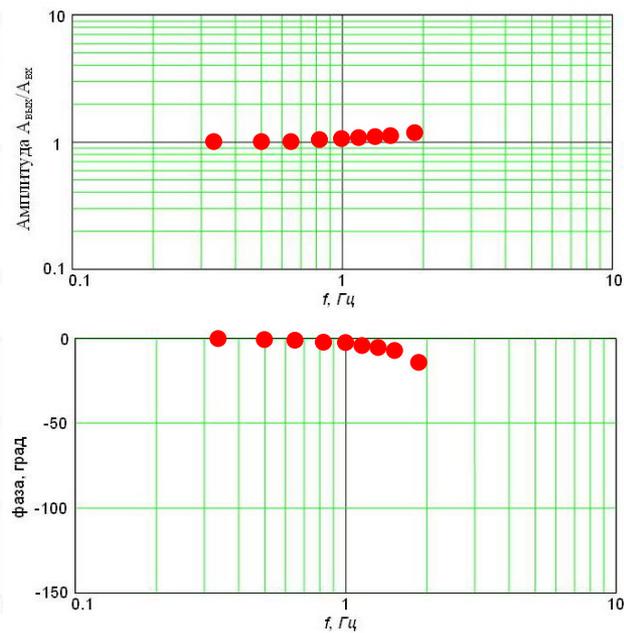
Продольный канал



Вертикальный канал



Боковой канал



\* частотные характеристики работа с грузом удовлетворяют международным требованиям и нормам

# Сравнительный анализ систем подвижности

## Задачи пилотирования



Задача управления:  
разгон самолета и взлет

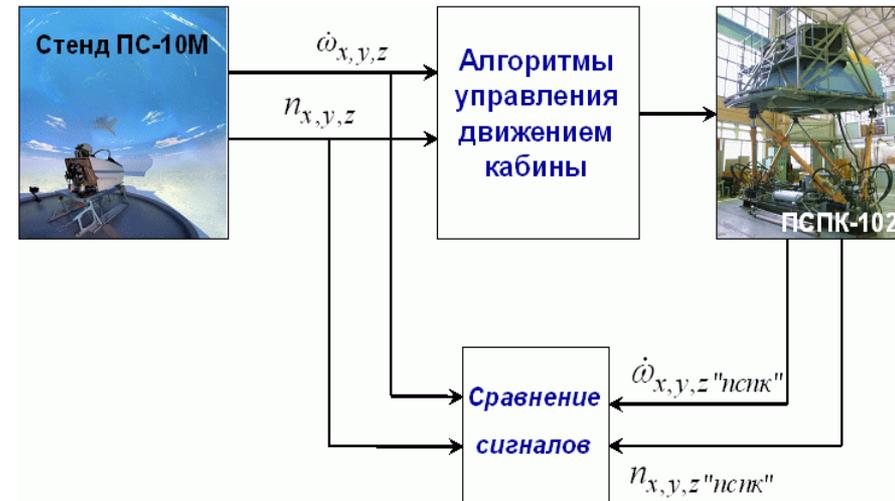
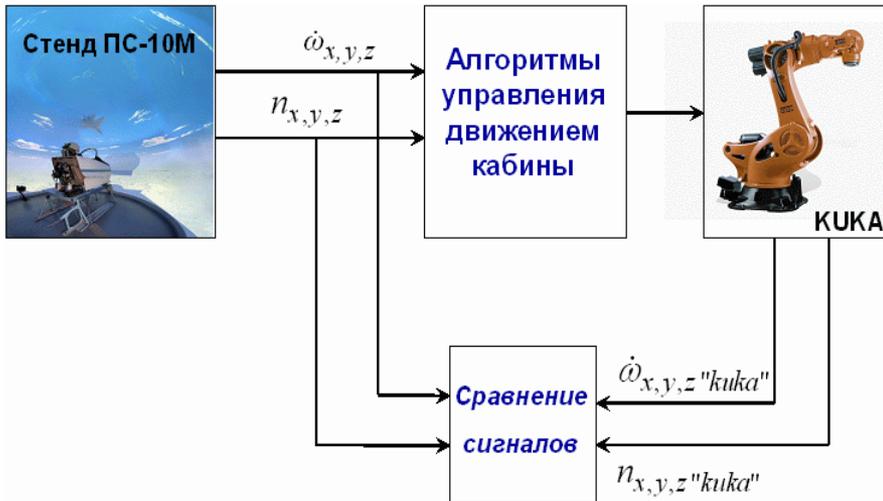


Задача точного пилотирования:  
дозаправка самолета в воздухе

## Эксперимент

Робот KUKA Titan

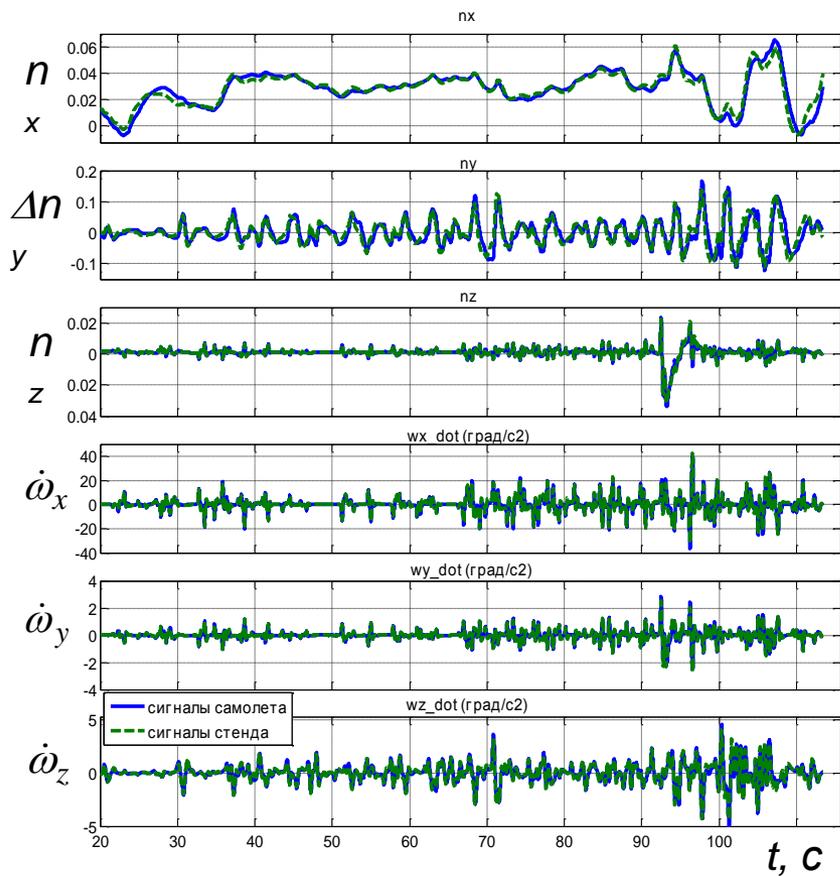
Пилотажный стенд ПСПК-102



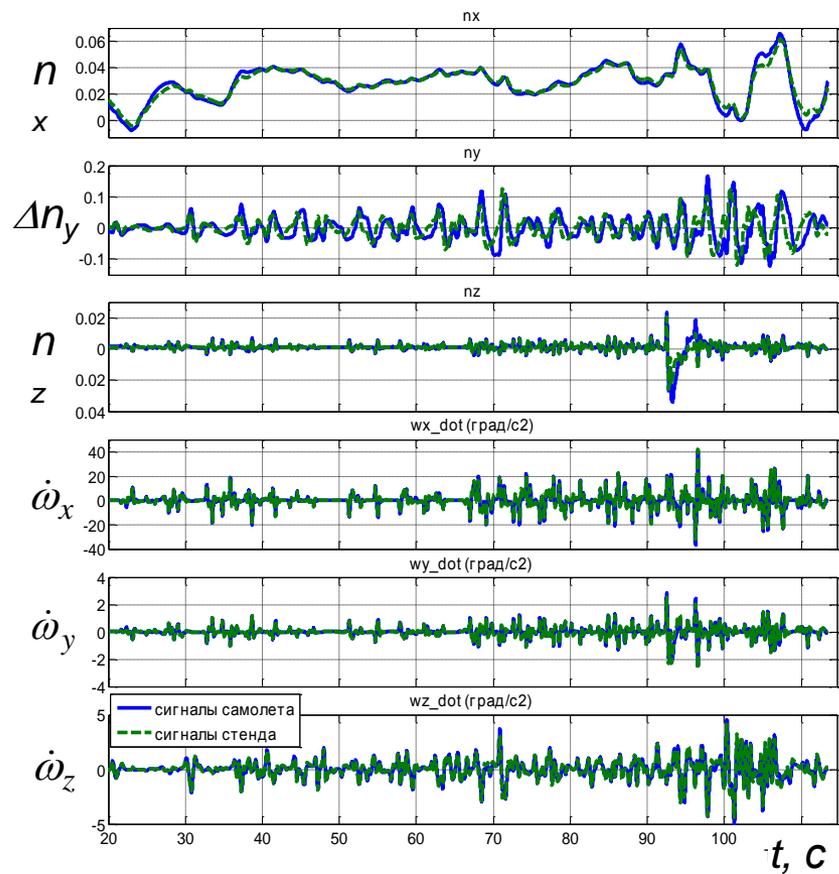
# Результаты сравнительного эксперимента

## Задача дозаправки самолета в воздухе

### KUKA KR 1000



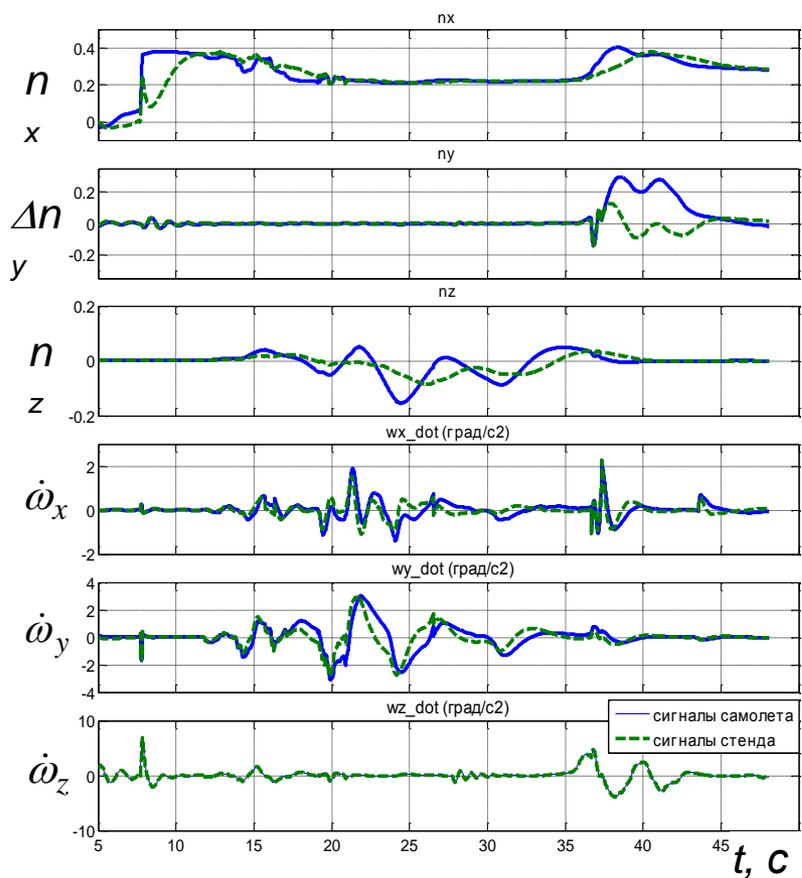
### ПСПК-102



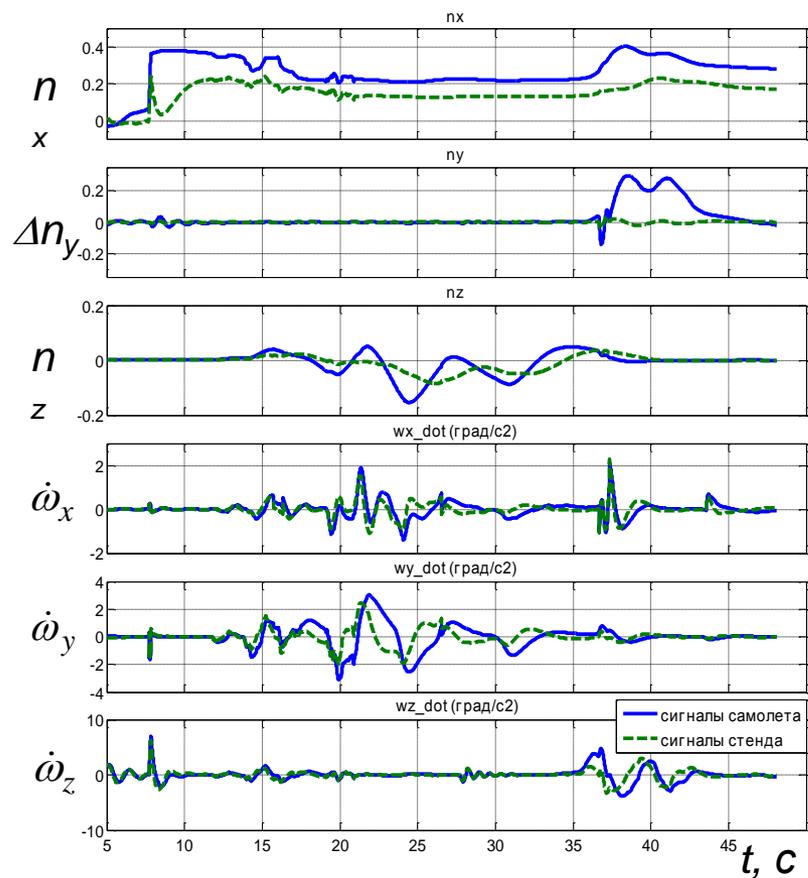
# Результаты сравнительного эксперимента

## Задача разгона и взлет самолета

### KUKA KR 1000



### ПСПК-102



# Факторы минимизирующие риск реализации проекта

## 1. Удачная кооперация:

ФГУП ЦАГИ – школа полунатурного моделирования мирового уровня

АО ЦНТУ «Динамика» – развитое тренажерное производство

## 2. Наличие прототипов (DLR, Max Plank)

3. Опережающая закупка и освоение робота KUKA TITAN 1500

4. Наличие задела в части алгоритмов управления роботом

# Возможные масштабы внедрения результатов проекта (АО ЦНТУ «Динамика»)

## Минимальный:

- Инженерные тренажеры для НИИ, ВУЗов и ОКБ ..... ≈ 10-12 шт.
- Специализированные тренажеры для отработки особо сложных режимов пилотирования (дозаправка, висение, палубная посадка, сваливание и штопор и т.д.)..... ≈ 15-18 шт.

## Средний:

- Тренажеры для авиации общего назначения и самолетов первоначального обучения..... ≈ 20-25 шт.

## Максимальный:

- Тренажеры для самолетов и вертолетов с небольшими кабинами (Ансат, Як-130 и др.)..... ≈ 40-50 шт.

# История участия в конкурсах Минобрнауки

## Мероприятие 1.3

### **2015-14-579-0173 (от 16 октября 2016 г.)**

Проведение прикладных научных исследований и экспериментальных разработок по приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в Российской Федерации в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы»

*Тема: Исследование, разработка и оптимизация алгоритмов управления движением кабины авиационного тренажера с системой подвижности консольного типа на базе промышленного робота*

### **2015-14-579-0173 (от 14 сентября 2016 г.)**

Отбор проектов, направленных на проведение прикладных научных исследований и экспериментальных разработок по приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в Российской Федерации

*Тема: Исследования и разработка авиационного тренажера с системой подвижности консольного типа на базе промышленного робота*

Индустриальным партнером выступало АО «ЦНТУ «Динамика»