

# Стенд полунатурного моделирования САУ БЛА с использованием промышленного шестистепенного роботизированного манипулятора

**Аполлонов Д. В.,**

Заместитель директора  
НИЦ БАС ФАУ «ЦАГИ»

**Артамонов М.А.,**

Лаборант  
НИЦ БАС ФАУ «ЦАГИ»

**Бибикова К.И.,**

Младший научный сотрудник  
НИЦ БАС ФАУ «ЦАГИ»

**Ермаков М.В.,**

Лаборант  
НИЦ БАС ФАУ «ЦАГИ»

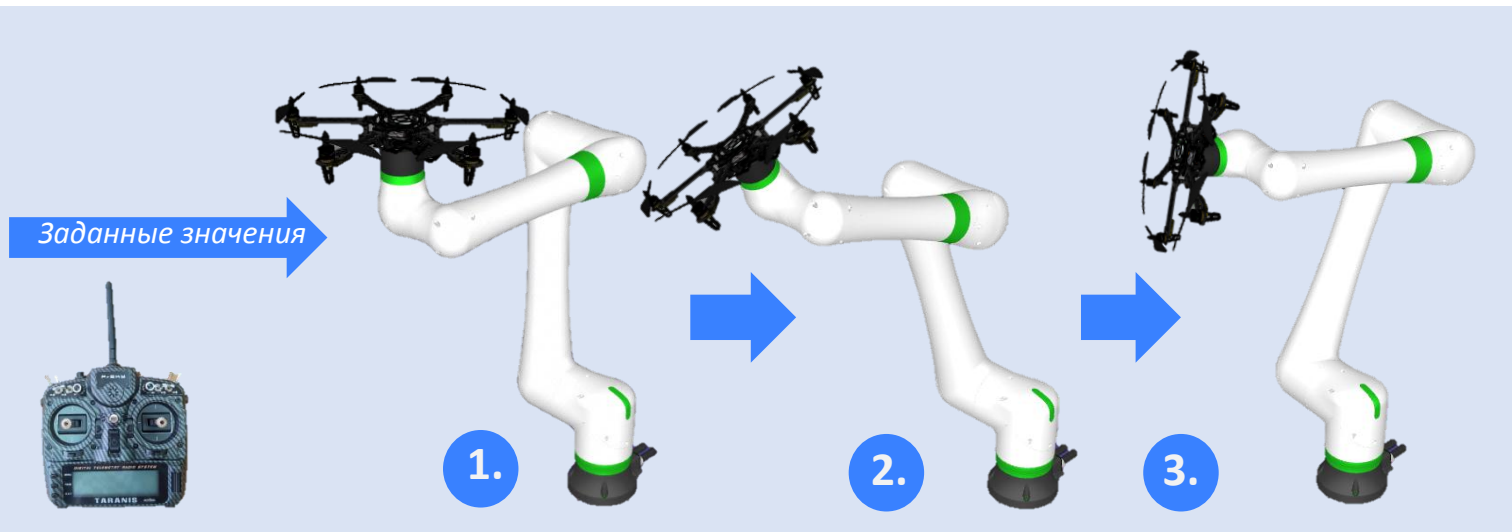
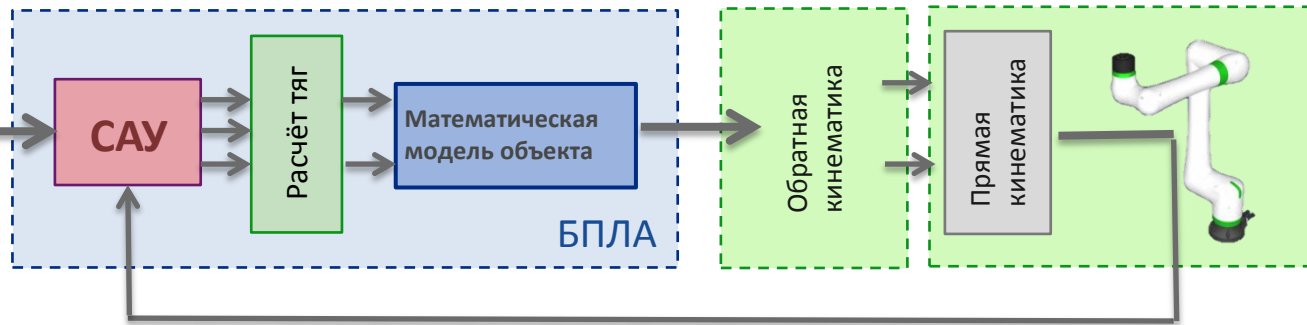
**Петрова А. А.**

Инженер  
НИЦ БАС ФАУ «ЦАГИ»

ФАУ «ЦАГИ», г. Жуковский, Россия

## Архитектура стенда полунатурного моделирования

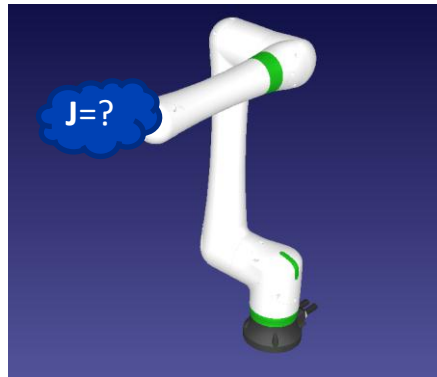
Заданные значения



# Система управления манипулятором



Прямая



Где будет находиться конечное звено по заданным поворотам шарнира

Обратная



На какие углы нужно повернуть шарниры, чтобы встать в нужное положение под нужным углом

Однородная матрица преобразований (ОМП) для n-го звена:

$$A_n = \begin{bmatrix} \cos \theta_n & -\sin \theta_n \cos \alpha_n & \sin \theta_n \sin \alpha_n & A_n \cos \theta_n \\ \sin \theta_n & \cos \theta_n \cos \alpha_n & \cos \theta_n \sin \alpha_n & A_n \sin \theta_n \\ 0 & \sin \alpha_n & \cos \alpha_n & D_n \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

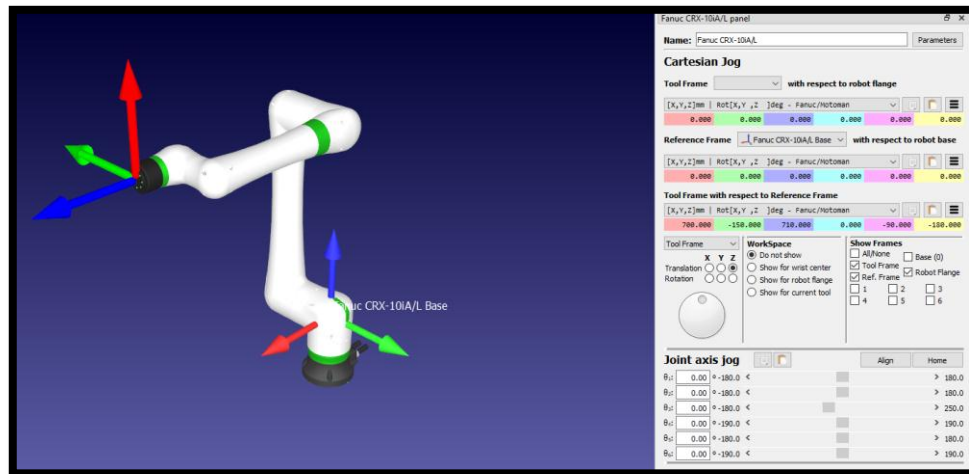
Параметры Денавита – Хартенберга представлены в виде:

Звено	$\alpha_n^\circ$	$\theta_n^\circ$	$D_n, \text{мм}$	$A_n, \text{мм}$
1	90	0	0	0
2	0	90	0	710
3	-90	0	0	0
4	90	0	-540	0
5	-90	0	150	0
6	180	0	-160	0

$$A_k^0 = \sum_{i=1}^k A_i^{i-1} \cdot q_i$$

Итоговая матрица получается путем последовательного перемножения ОМП :

$$A_6^0 = \begin{bmatrix} S_x & n_x & a_x & P_x \\ S_y & n_y & a_y & P_y \\ S_z & n_z & a_z & P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} & T_6^0 & P \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 700 \\ 0 & -1 & 0 & -150 \\ 1 & 0 & 0 & 710 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



$\theta_i$  – присоединенный угол, на который надо повернуть ось  $x_{i-1}$  вокруг оси  $z_{i-1}$ , чтобы она стала сонаправлена с осью  $x_i$ ;

$D_i$  - расстояние между пересечением оси  $z_{i-1}$  с осью  $x_i$  и началом  $(i-1)$ -й системы координат, отсчитываемое вдоль оси  $z_{i-1}$

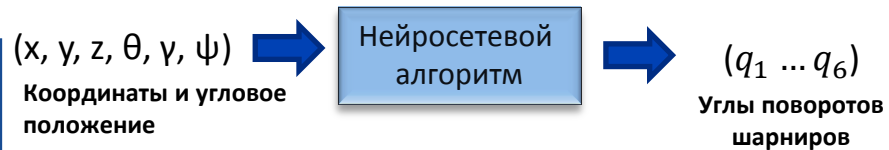
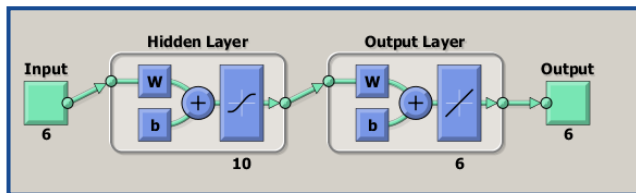
$A_i$  - расстояние между пересечением оси  $z_{i-1}$  с осью  $x_i$  и началом  $i$ -й системы координат, отсчитываемое вдоль оси  $x_i$

$\alpha_i$  - угол, на который надо повернуть ось  $z_{i-1}$  вокруг оси  $x_i$ , чтобы она стала сонаправленной с осью  $z_i$

Где  $T_6^0$  это матрица (3x3) направляющих косинусов, описывающая ориентацию хвата, прикрепленного к последнему звену. Последний столбец матрицы представляет положение хвата в пространстве относительно опорной точки робота (середины первого звена).

# Система управления манипулятором

## Обратная кинематика



Разделение полученных тренировочных данных для тренировки сети :

Training:	80%	667241 samples
Validation:	10%	83405 samples
Testing:	10%	83405 samples

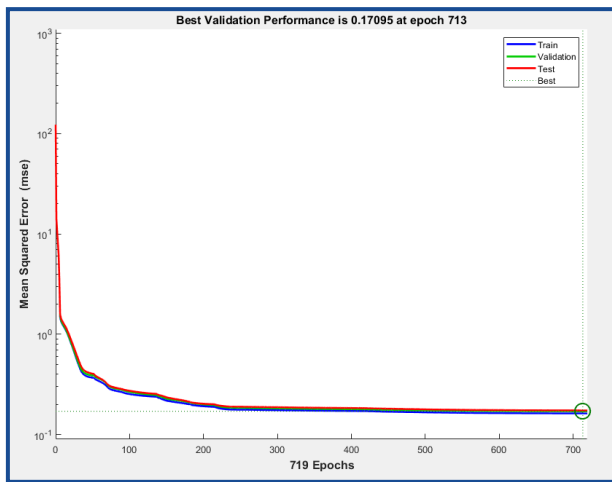
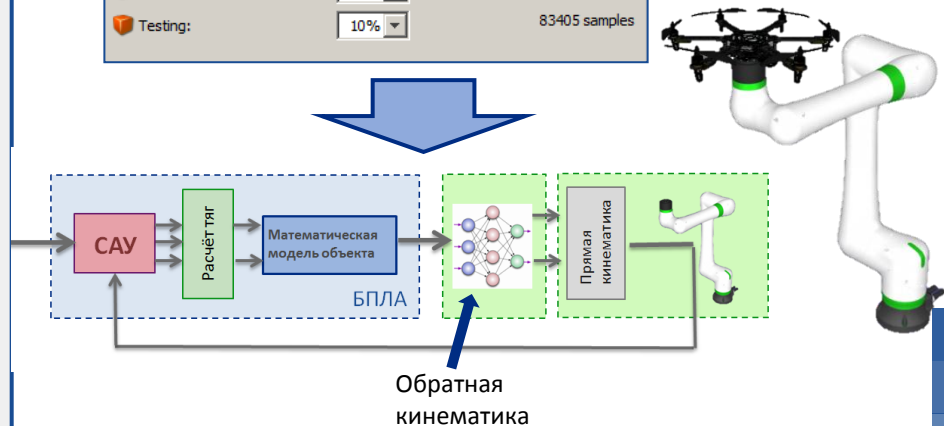
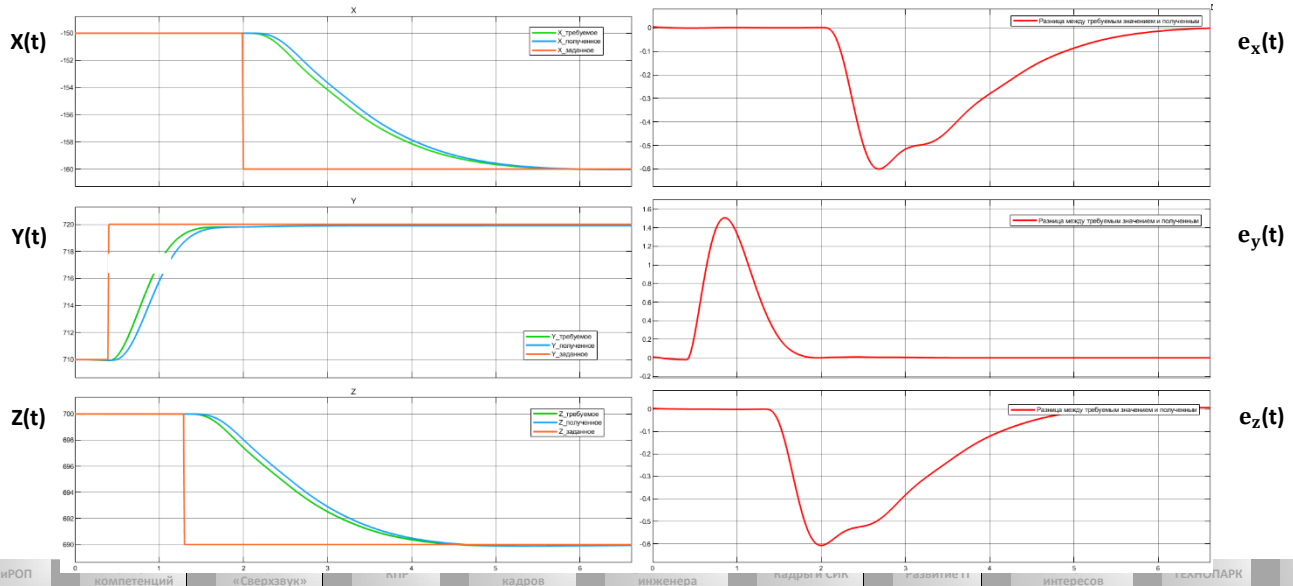
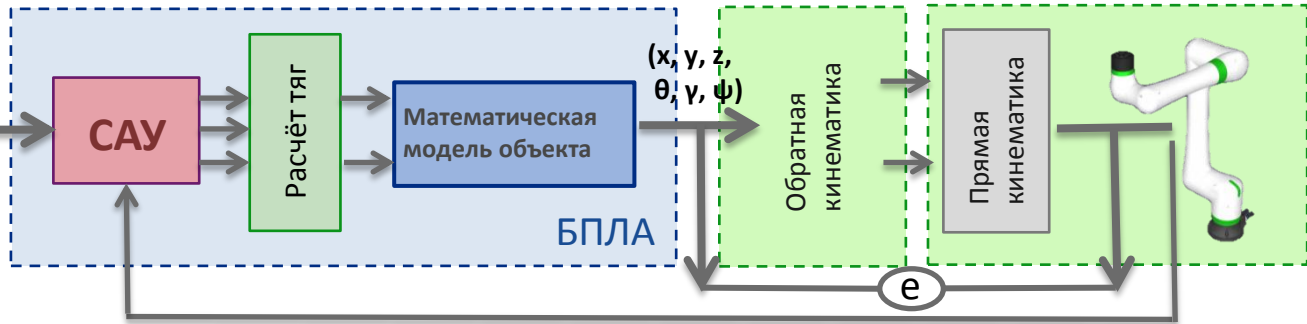


График изменения ошибки обучения



# Результаты моделирования

Заданные значения



**Спасибо за внимание!**