

Презентация к магистерской диссертации на тему:

Нейросетевое управление траекторией двухзвенного манипулятора

Выполнила: Глех Е.В. группа 63503/2

Руководитель: доцент ВШ КФСУ,

к.т.н. Курмашев А.Д.

Цель работы:

разработать нейросетевой регулятор траектории, который повысил бы добротность и минимизировал ошибку воспроизведения заданной траектории двухзвенным манипулятором с упругими связями

Задачи исследования:

1. Создание математической и имитационной модели двухзвенного манипулятора с упругими связями.
2. Создание математических и имитационных моделей регуляторов траектории
3. Исследование добротности воспроизведения траектории в контурной системе согласованного управления.

Кинематическая модель манипулятора

ПЗК:

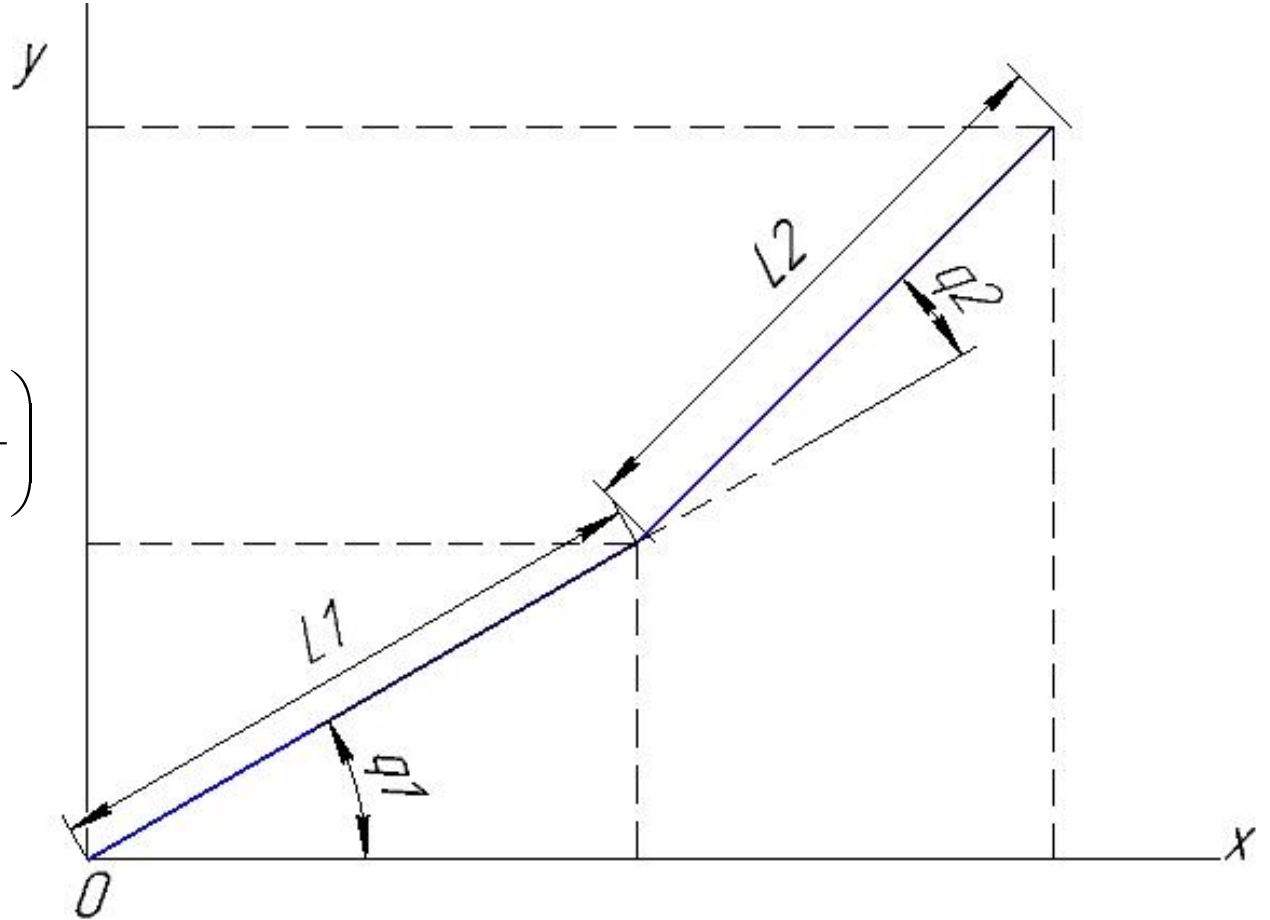
$$x = l_1 \cos q_1 + l_2 \cos(q_1 + q_2);$$

$$y = l_1 \sin q_1 + l_2 \sin(q_1 + q_2).$$

ОЗК:

$$q_1 = \arccos \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}} + \arccos \left(\frac{s^2 + l_1^2 - l_2^2}{2l_1 s} \right)$$

$$q_2 = -\arccos \frac{s^2 - l_1^2 - l_2^2}{2l_1 l_2}$$



Динамическая модель манипулятора

Уравнение Лагранжа-Эйлера
$$\begin{pmatrix} M_1(t) \\ M_2(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} D_{11} & D_{12} \\ D_{21} & D_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \ddot{q}_1(t) \\ \ddot{q}_2(t) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} h_1 \\ h_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \end{pmatrix}$$

$$D_{11} = l_1^2 \left(\frac{1}{12} m_1 + m_2 + m_{zp} \right) + l_2^2 \left(\frac{1}{12} m_2 + 2m_{zp} \right) + l_1 l_2 \cos q_2 (m_2 + 2m_{zp});$$

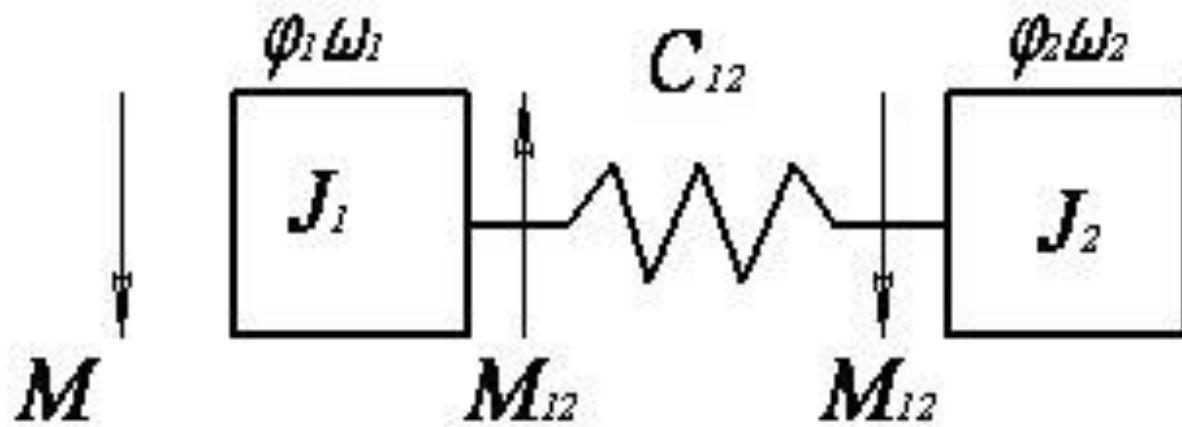
$$D_{12} = l_2^2 \left(\frac{1}{12} m_2 + 2m_{zp} \right) + l_1 l_2 \cos q_2 \left(\frac{1}{2} m_2 + m_{zp} \right); D_{22} = l_2^2 \left(\frac{1}{12} m_2 + 2m_{zp} \right).$$

$$c_1 = g [l_1 \cos q_1 (m_1 + 2m_2 + 2m_{zp}) + l_2 \cos(q_1 + q_2) (m_2 + m_{zp})];$$

$$c_2 = \frac{1}{2} m_2 g l_2 \cos(q_1 + q_2).$$

$$h_1 = -\frac{1}{2} l_1 l_2 \sin q_2 (m_2 + 2m_{zp}) (\dot{q}_1 + \dot{q}_2) \dot{q}_2;$$

$$h_2 = \frac{1}{2} l_1 l_2 \sin q_2 (m_2 + 2m_{zp}) \dot{q}_1^2.$$



Представим привод и звено манипулятора в качестве двухмассовой механической системы

$$J_1 \ddot{\varphi}_1 = M - b(\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) - c(\varphi_1 - \varphi_2) - M_{21},$$

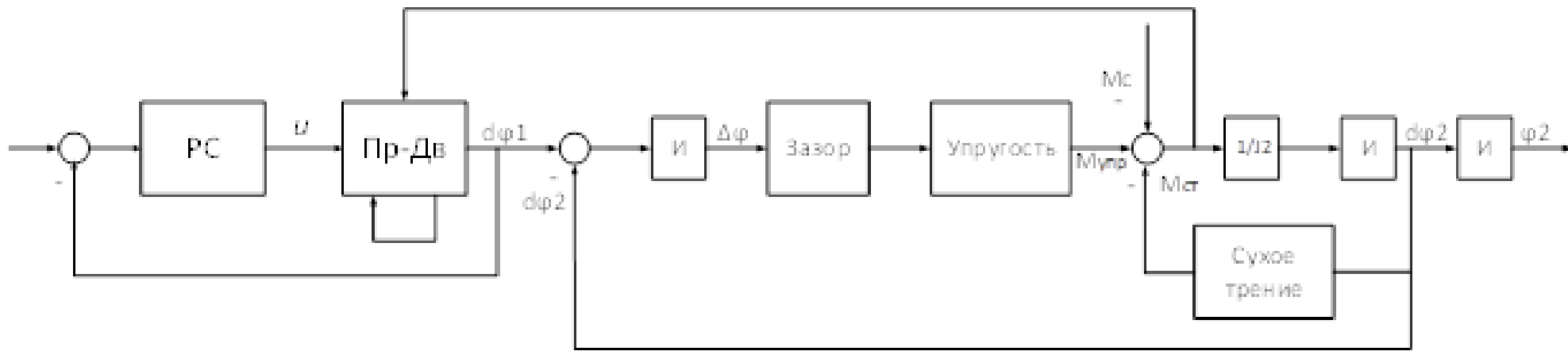
$$J_2 \ddot{\varphi}_2 = b(\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) + c(\varphi_1 - \varphi_2) - M_{12} - M$$

Модель упругих связей

Модель степени подвижности

В модель степени подвижности входят модель электропривода и модель упругих связей.

$$J_1 \ddot{\varphi}_1 = M - b(\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) - c(\varphi_1 - \varphi_2) - M_{21},$$
$$J_2 \ddot{\varphi}_2 = b(\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) + c(\varphi_1 - \varphi_2) - M_{12} - M_B,$$
$$u(t) = \frac{R_{\text{я}} T_{\text{я}}}{C_M} \dot{M}_{\text{д}} + \frac{R_{\text{я}}}{C_M} M_{\text{д}} + C_E \dot{\varphi}_{\text{д}}.$$



Имитационная модель степени подвижности

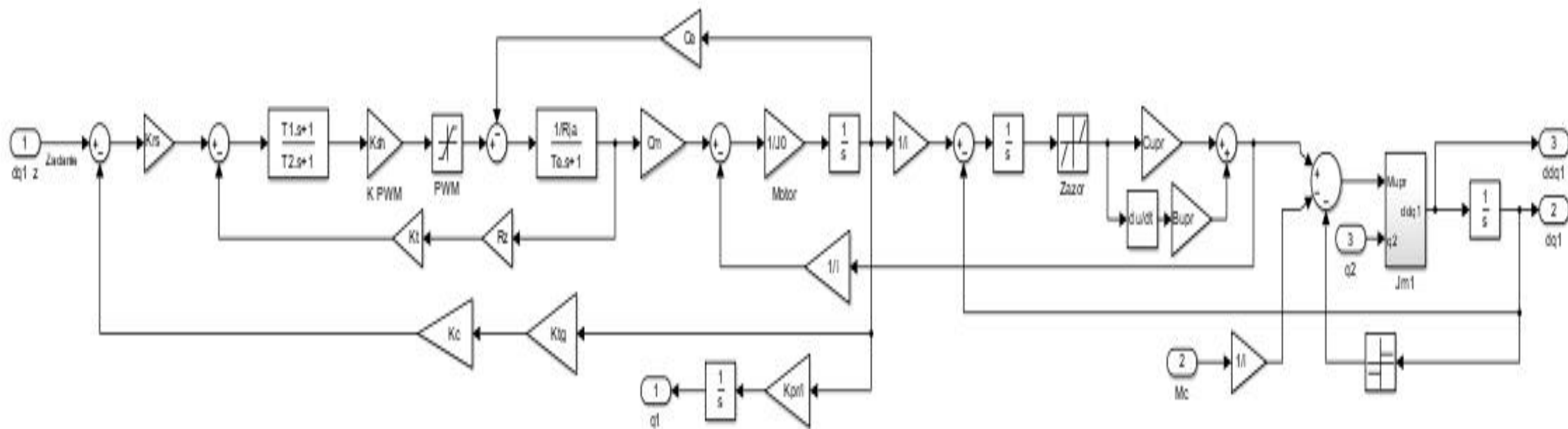
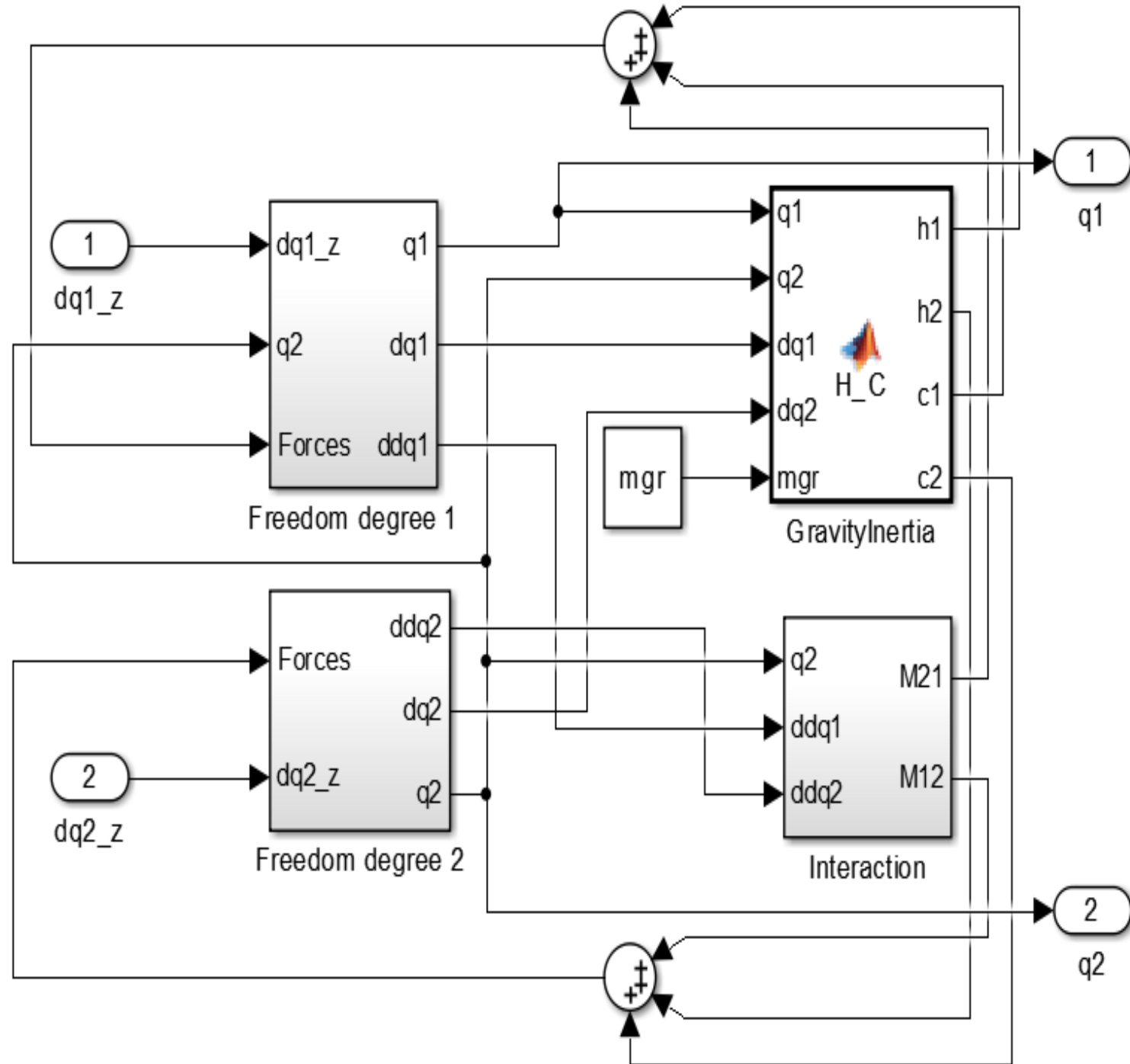
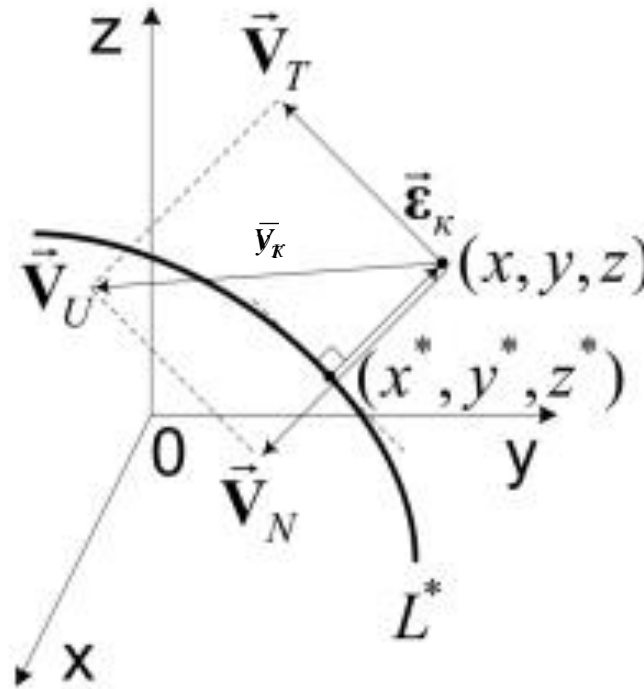
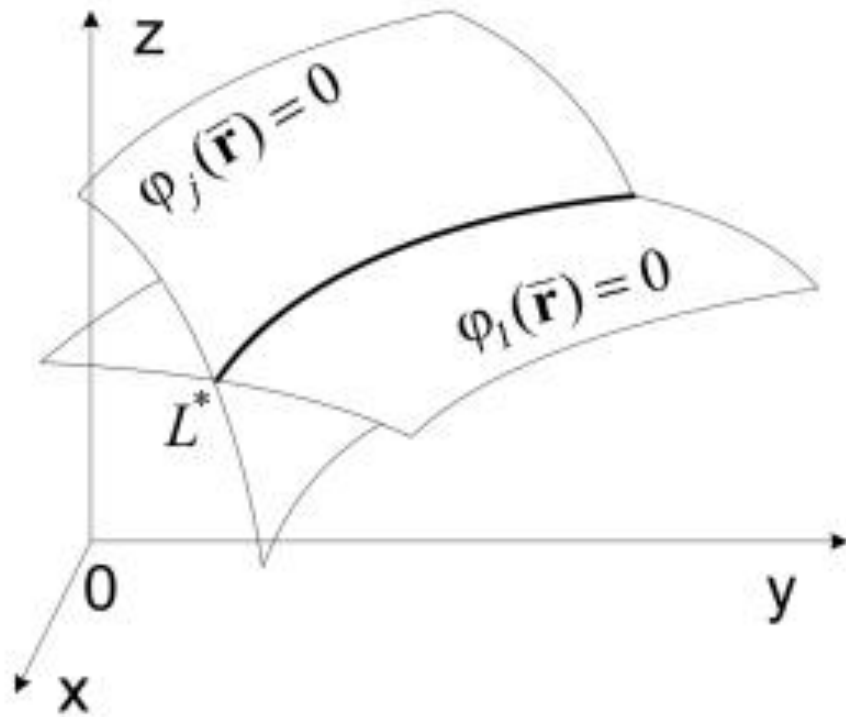


Схема моделирования манипулятора



Согласованное управление

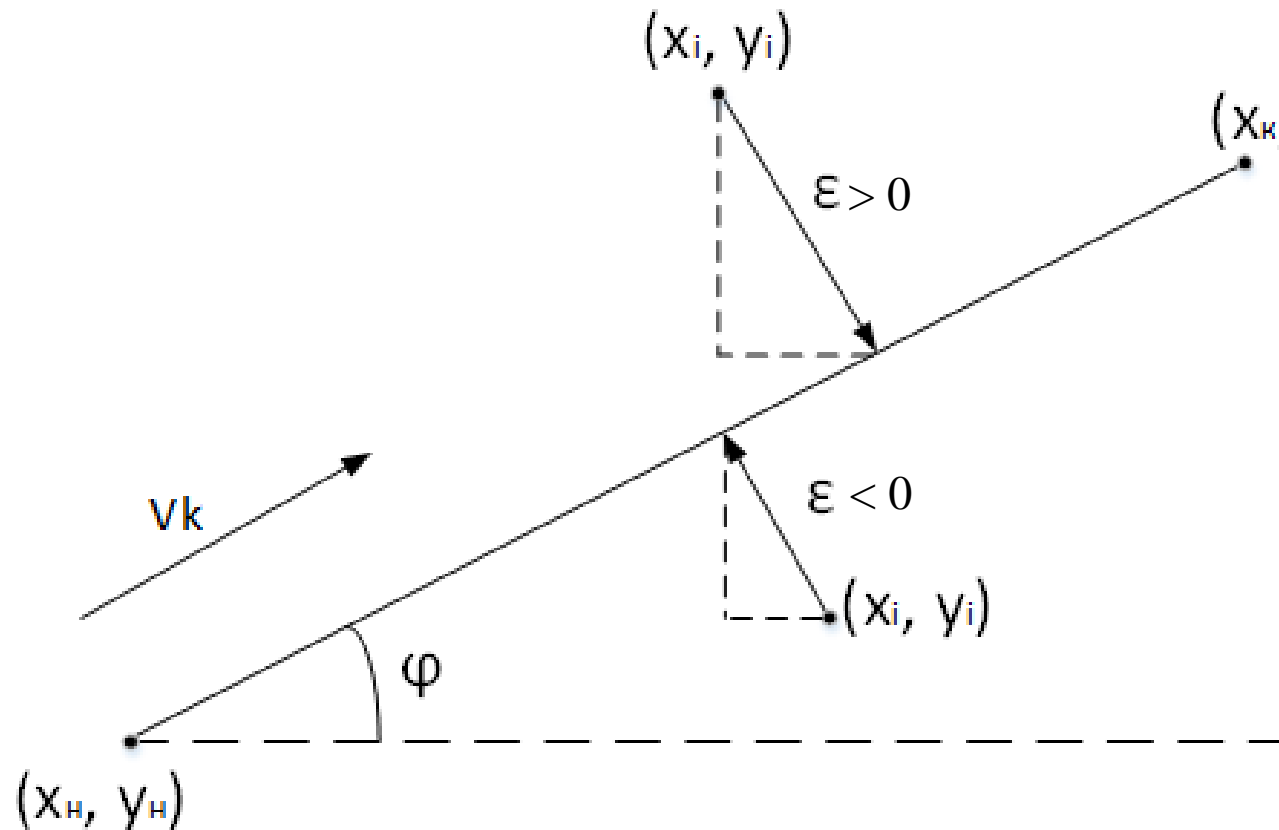


\bar{V}_T – контурное движение
по траектории

\bar{V}_N – стабилизирующее
движение,
обеспечивающее
минимизацию
контурной ошибки

$\bar{V}_U = \bar{V}_N + \bar{V}_T$ - управляющее
воздействие

КССУ для отрезка прямой



$$\epsilon_K = \frac{x_i \cdot (y_K - y_H) + y_i \cdot (x_H - x_K) + x_K \cdot y_H - x_H \cdot y_K}{\sqrt{(x_K - x_H)^2 + (y_K - y_H)^2}}$$

$$u_y = -u_0 \cdot \sin \varphi \cdot \text{sign } \epsilon_K$$

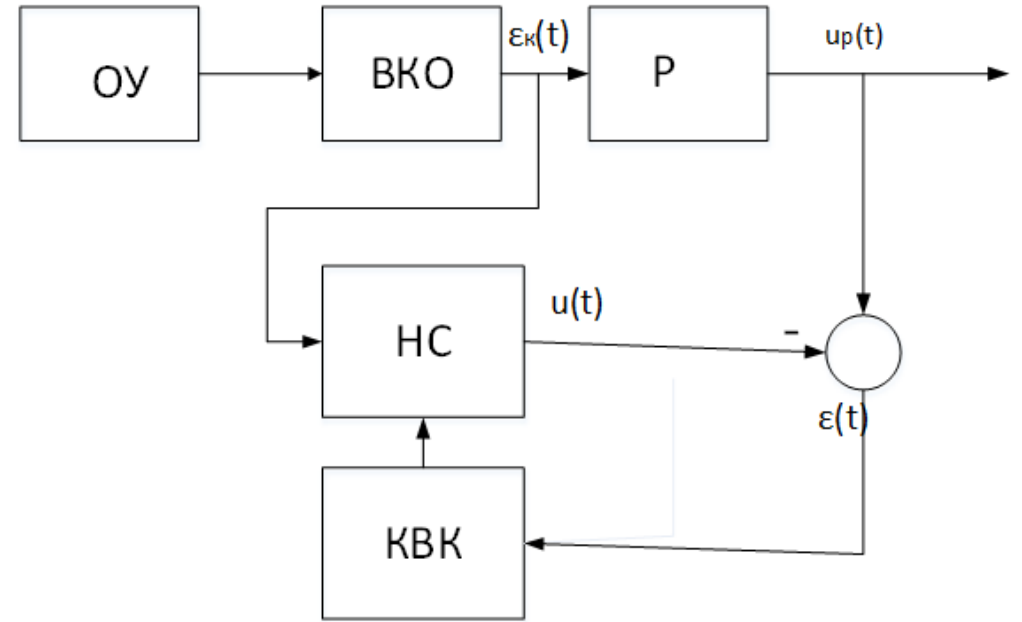
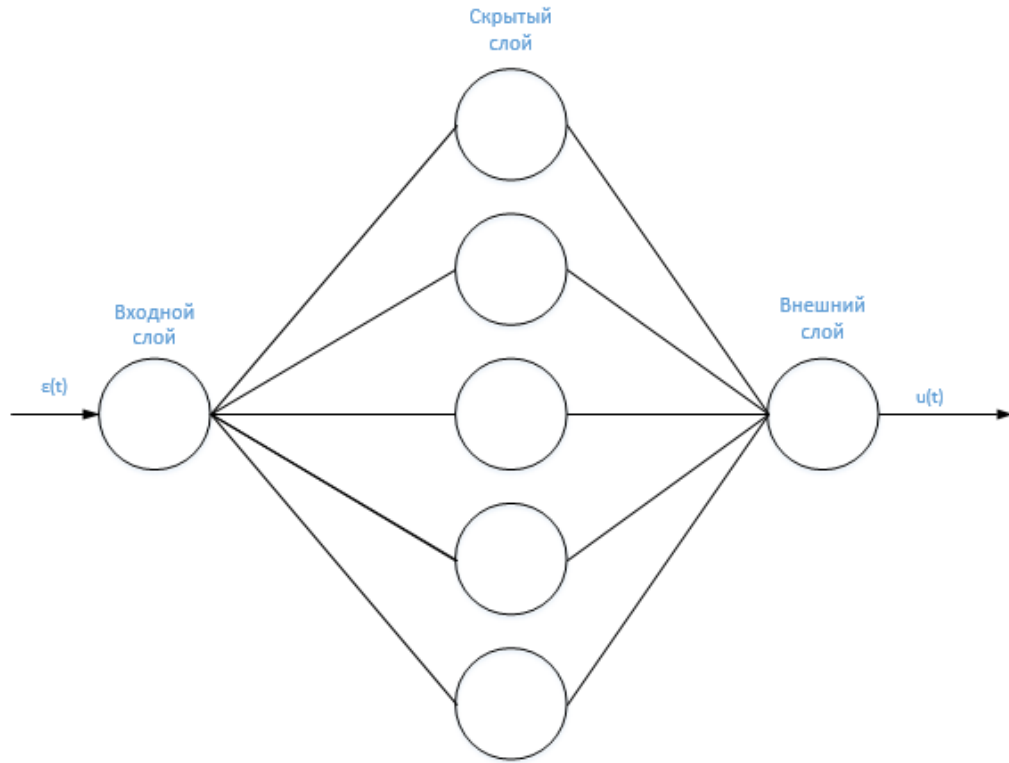
$$u_x = u_0 \cdot \cos \varphi \cdot \text{sign } \epsilon_K$$

$$\sin \varphi = \frac{y_K - y_H}{\sqrt{(x_K - x_H)^2 + (y_K - y_H)^2}}$$

$$\cos \varphi = \frac{x_K - x_H}{\sqrt{(x_K - x_H)^2 + (y_K - y_H)^2}}$$

где u_0 — ВЫХОД

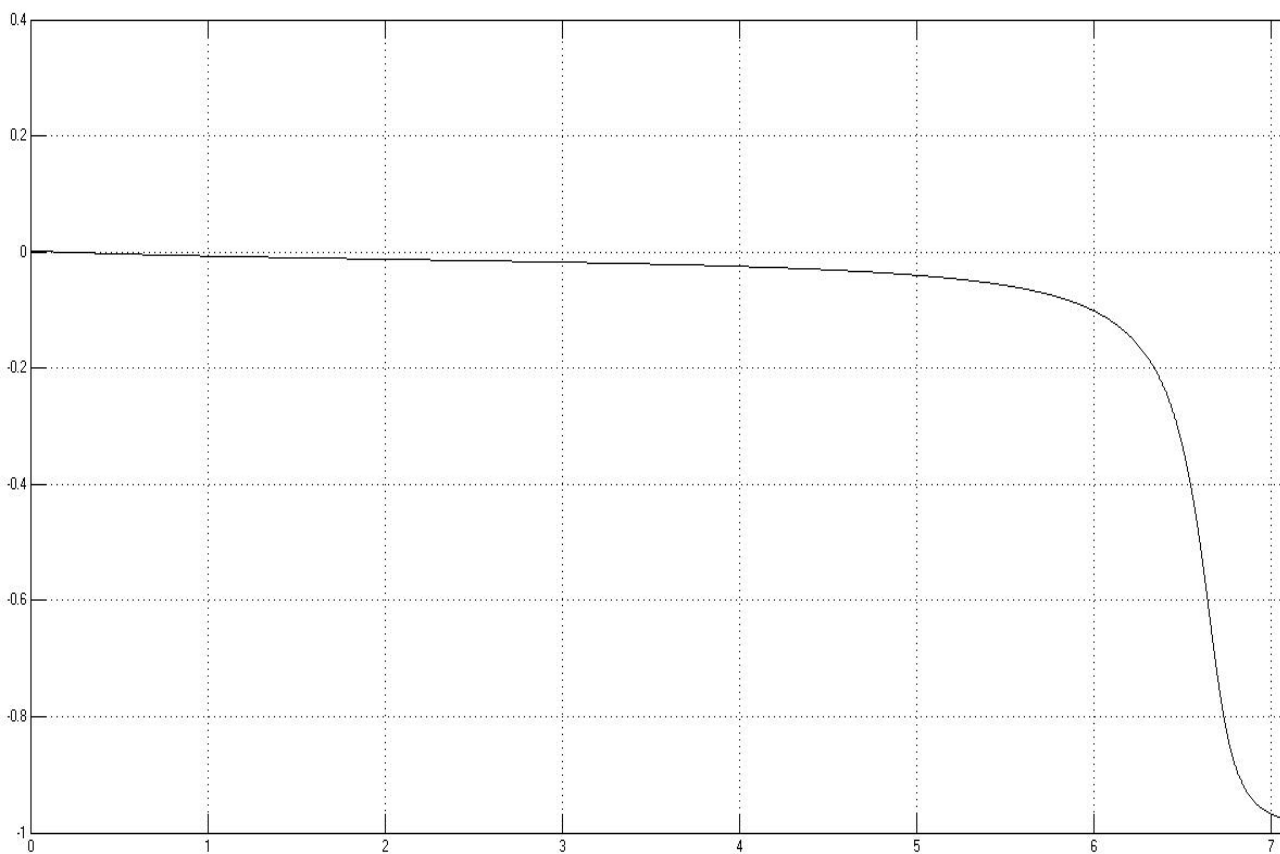
регулятора траектории



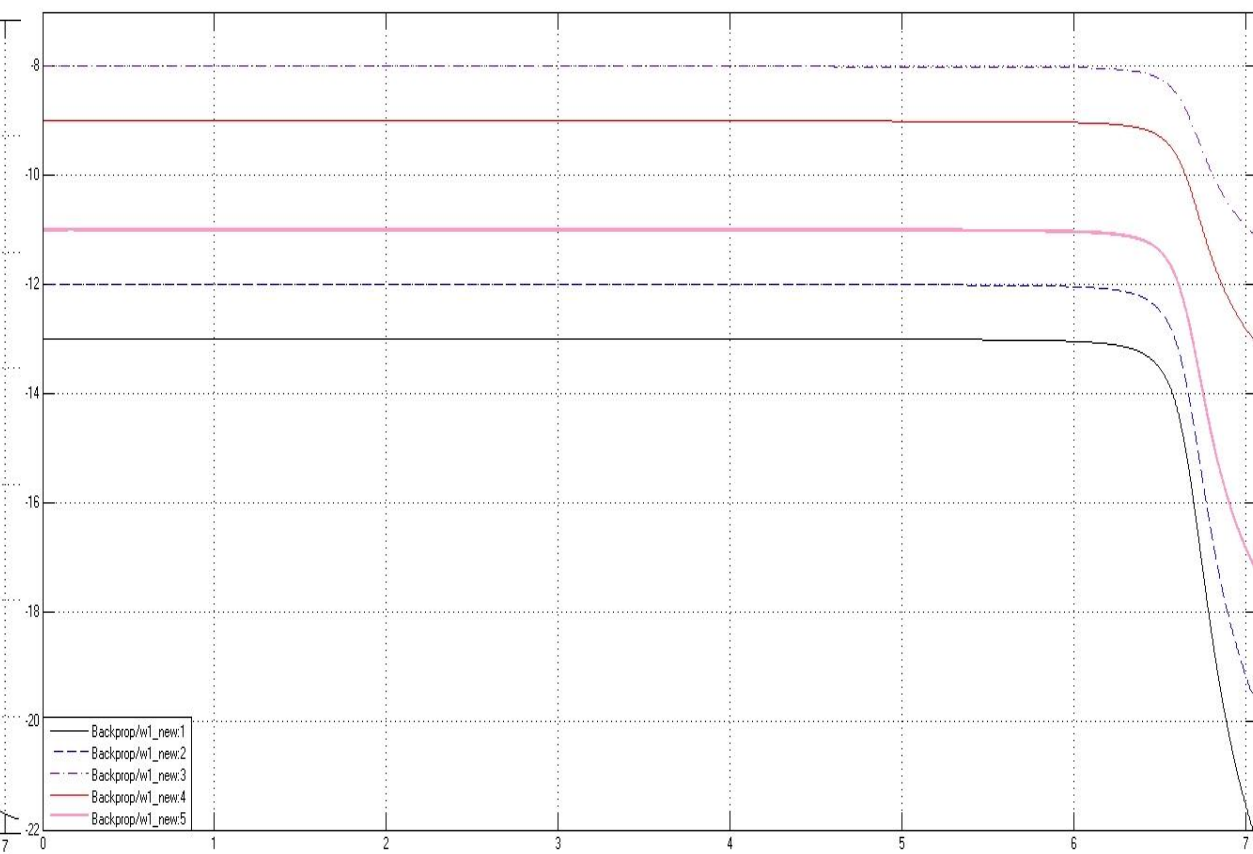
Нейросетевой регулятор

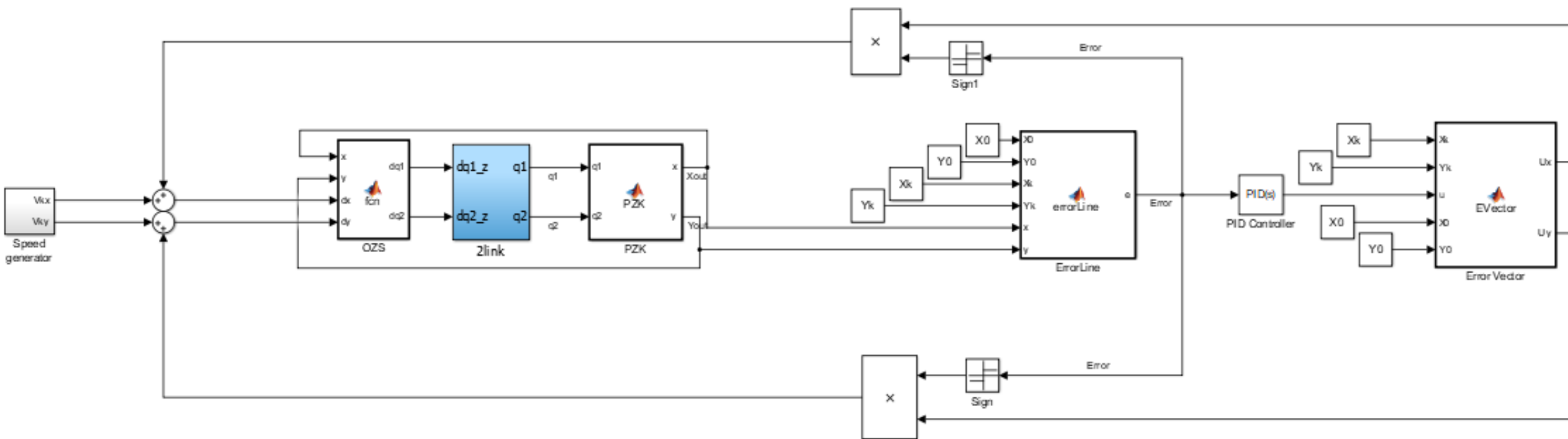
Обучение нейронной сети

Рассогласование

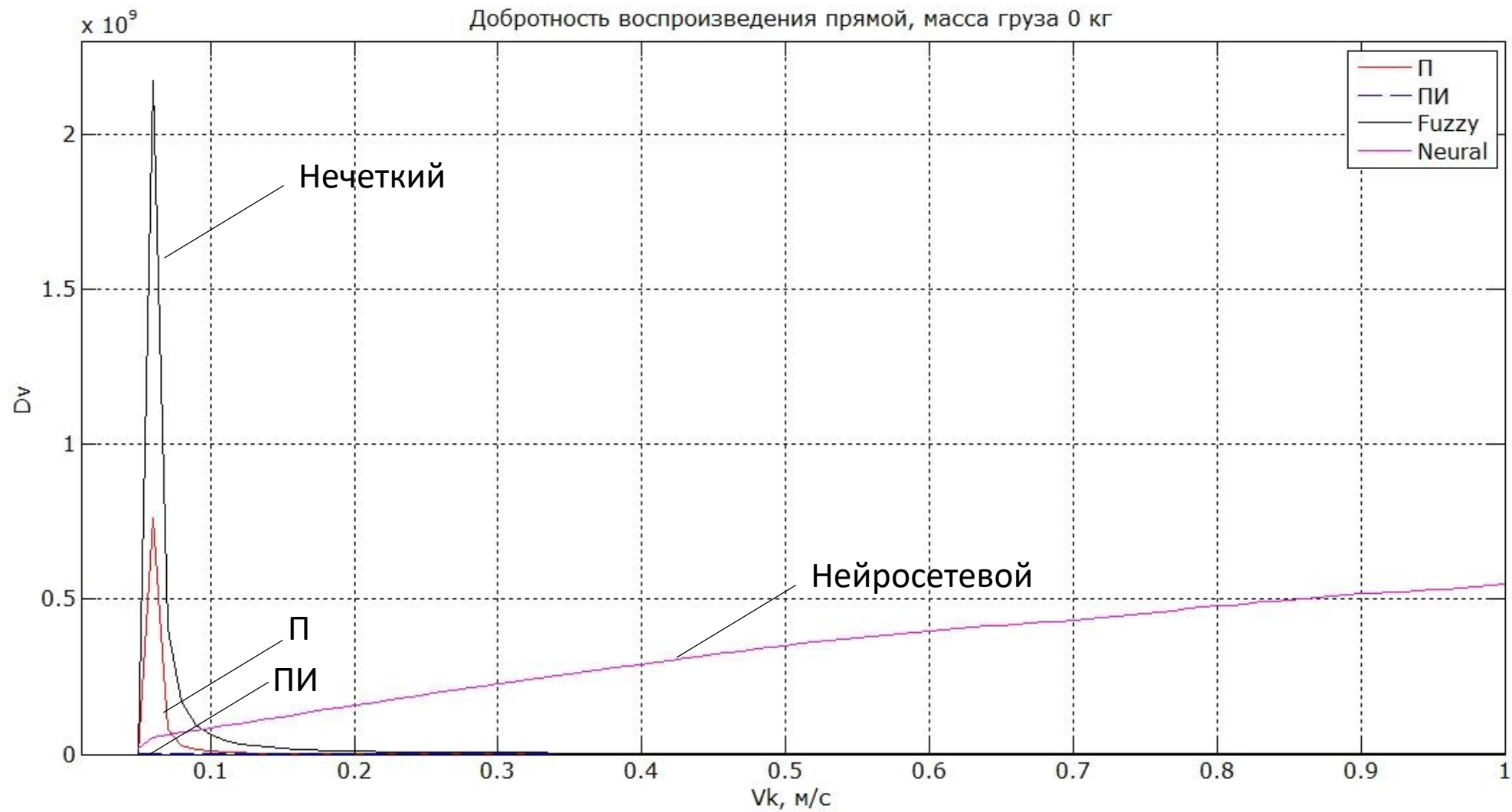


Изменение весов





Имитационная модель КССУ



**Добротность воспроизведения прямой по
среднеквадратичной ошибке**

Заключение

- Разработаны модели в среде Simulink, позволяющие исследовать программное движение двухзвенного манипулятора с учётом упругих связей;
- Синтезирован и обучен нейросетевой регулятор траектории;
- Показано, что добротность воспроизведения траектории в контурной системе согласованного управления с нейросетевым регулятором траектории выше в широком диапазоне контурных скоростей, чем для остальных рассмотренных регуляторов траектории.