



# Термодинамический критерий робастного управления

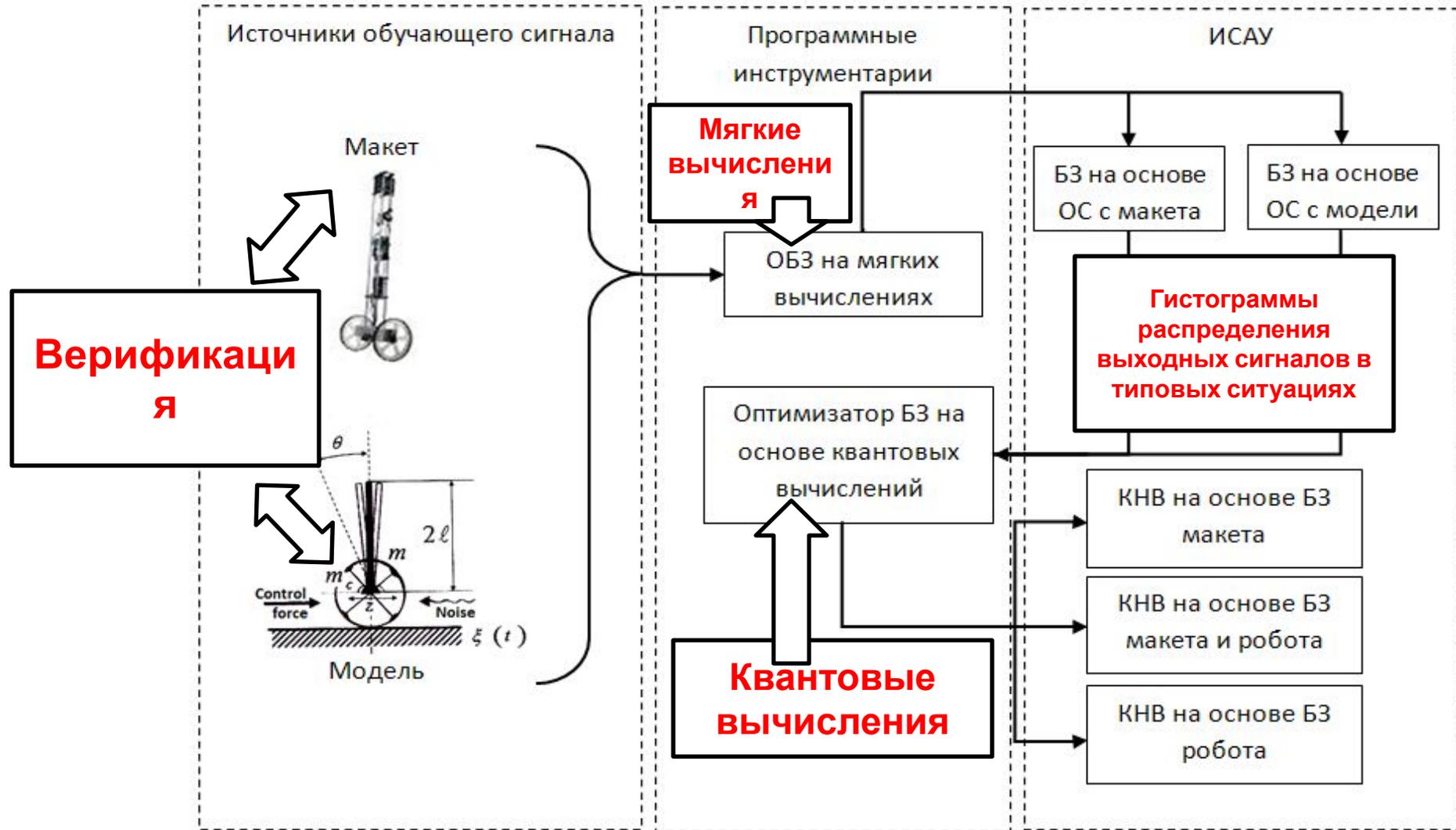
Замкнутая система	Открытая система
<div style="border: 1px dashed black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <math>\dot{q}_i = \varphi(q_i, t)</math>                      Объект управления                 </div> <p>Функция Ляпунова</p> $\frac{dV}{dt} = -\frac{1}{T} \frac{dS_{OY}}{dt}$	<p>Термодинамическое соотношение между устойчивостью, управляемостью и робастностью</p> $0 > \frac{dV}{dt} = \underbrace{\sum_i q_i \cdot \varphi(q_i, u, t)}_{\text{Динамика ОУ (Управляемость)}} + \underbrace{(S_{OY} - S_P) \left( \frac{dS_{OY}}{dt} - \frac{dS_P}{dt} \right)}_{\text{Термодинамическое поведение ОУ (Робастность)}}$ <p>Условие устойчивости</p>



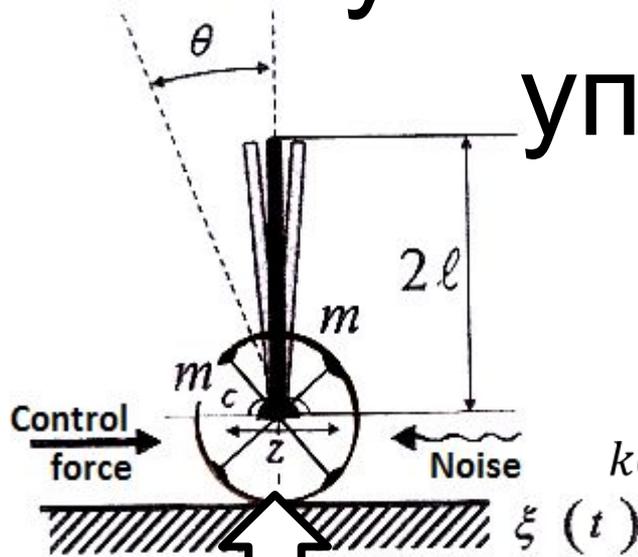
Уравнение Ульянова (1976 г.)

# Технология проектирования ИСУ на квантовых и мягких

РЕШЕНИЯМ



# Макет и модель динамически неустойчивого объекта управления



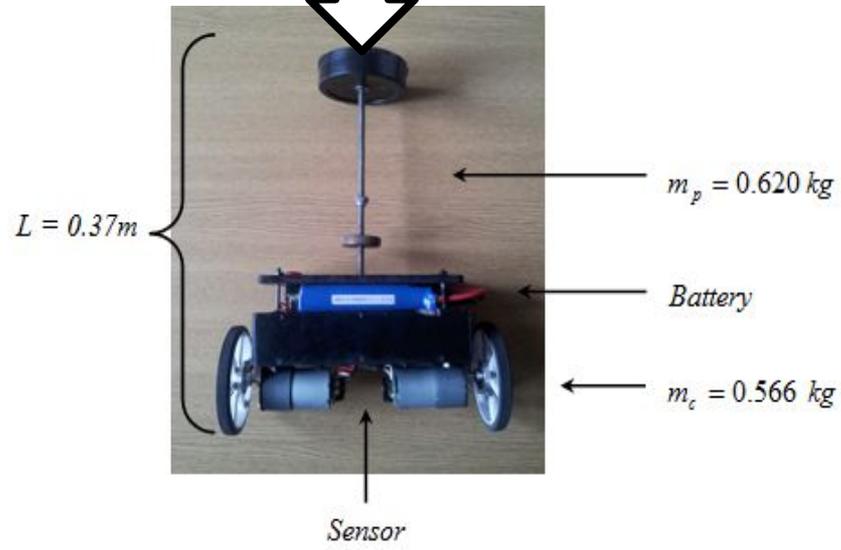
## управления

$$\ddot{\theta} = \frac{\left( (u + \xi(t)) + \{a_1 z + a_3 z\} - ml\dot{\theta}^2 \sin \theta \right) - k\dot{\theta}}{l \left( \frac{4}{3} - \frac{m \cos^2 \theta}{m_c + m} \right)}$$

$$\ddot{z} = \frac{u + \xi(t) - \{a_1 z + a_2 z\} + ml(\dot{\theta}^2 \sin \theta - \ddot{\theta} \cos \theta)}{m_c + m}$$

$k\dot{\theta}$  - трение в оси крепления,  $a_3 z$  - сила упругости,  
 $a_1 \dot{z}$  - трение колес,  
 $\xi(t)$  - шум,  $u$  - управляющее воздействие.

### Макет

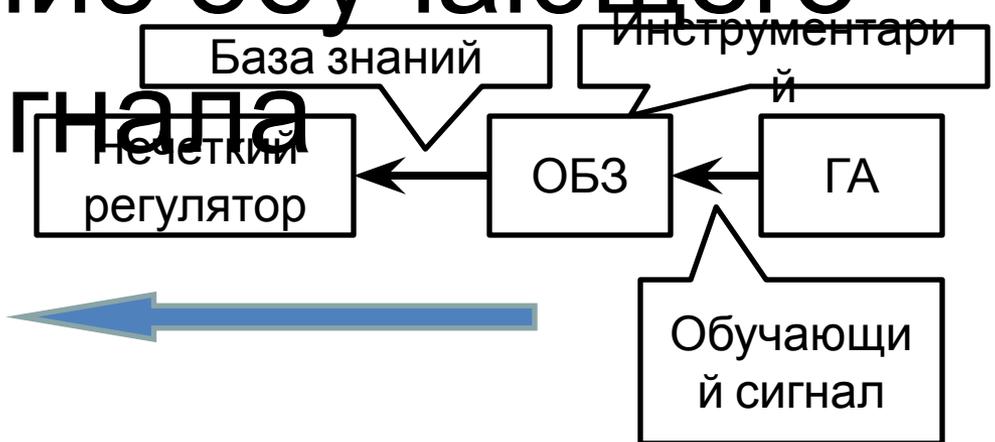


Для проведения экспериментов использовался макет перевернутого маятника.

# Формирование обучающего сигнала

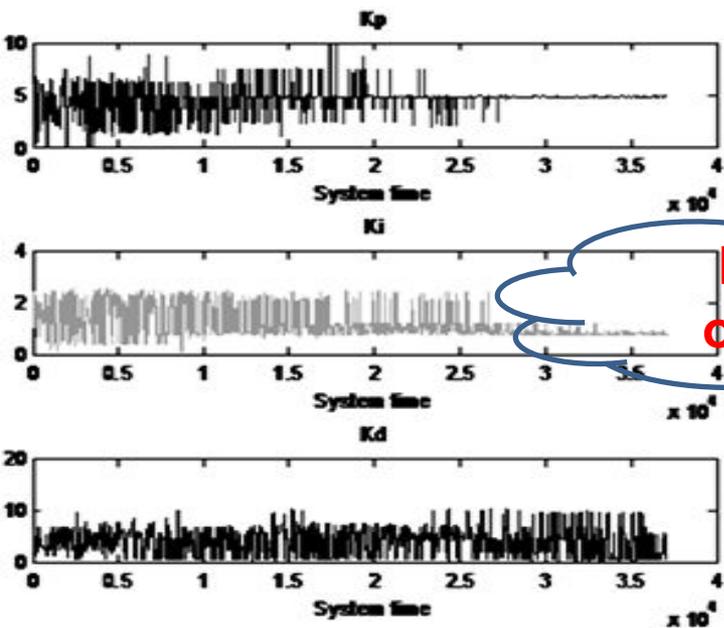
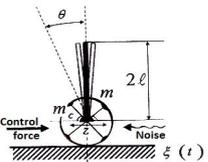
$e$	$\dot{e}$	$\int_0^t e dt$	$k_p$	$k_i$	$k_d$
-0.01	-0.01	-0.01	13.38	0.48	20.13
-0.02	-0.01	-0.04	13.38	0.48	20.13
-0.04	-0.01	-0.07	13.38	0.48	20.13
-0.05	-0.01	-0.12	13.38	0.48	20.13
-----					
-----					
-----					
0.25	-0.02	7.67	14.20	0.30	16.26
0.18	-0.07	7.84	14.20	0.30	16.26

Сигнала



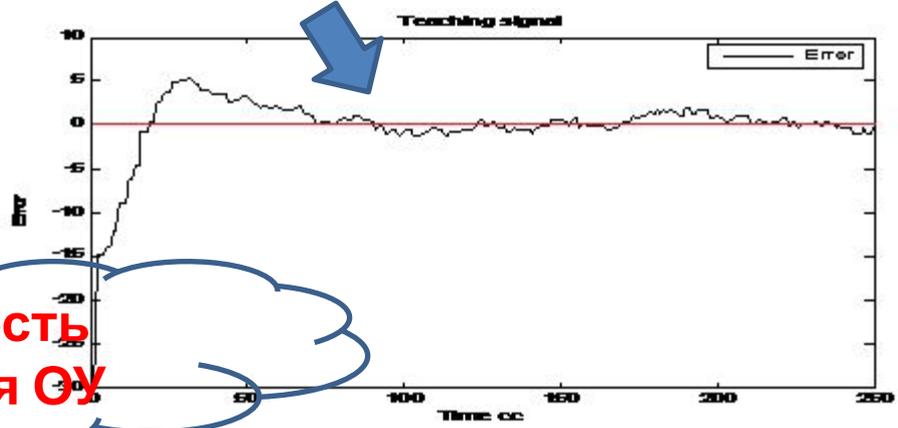
Два подхода для создания ОС:

## 1) Использование комп. модели



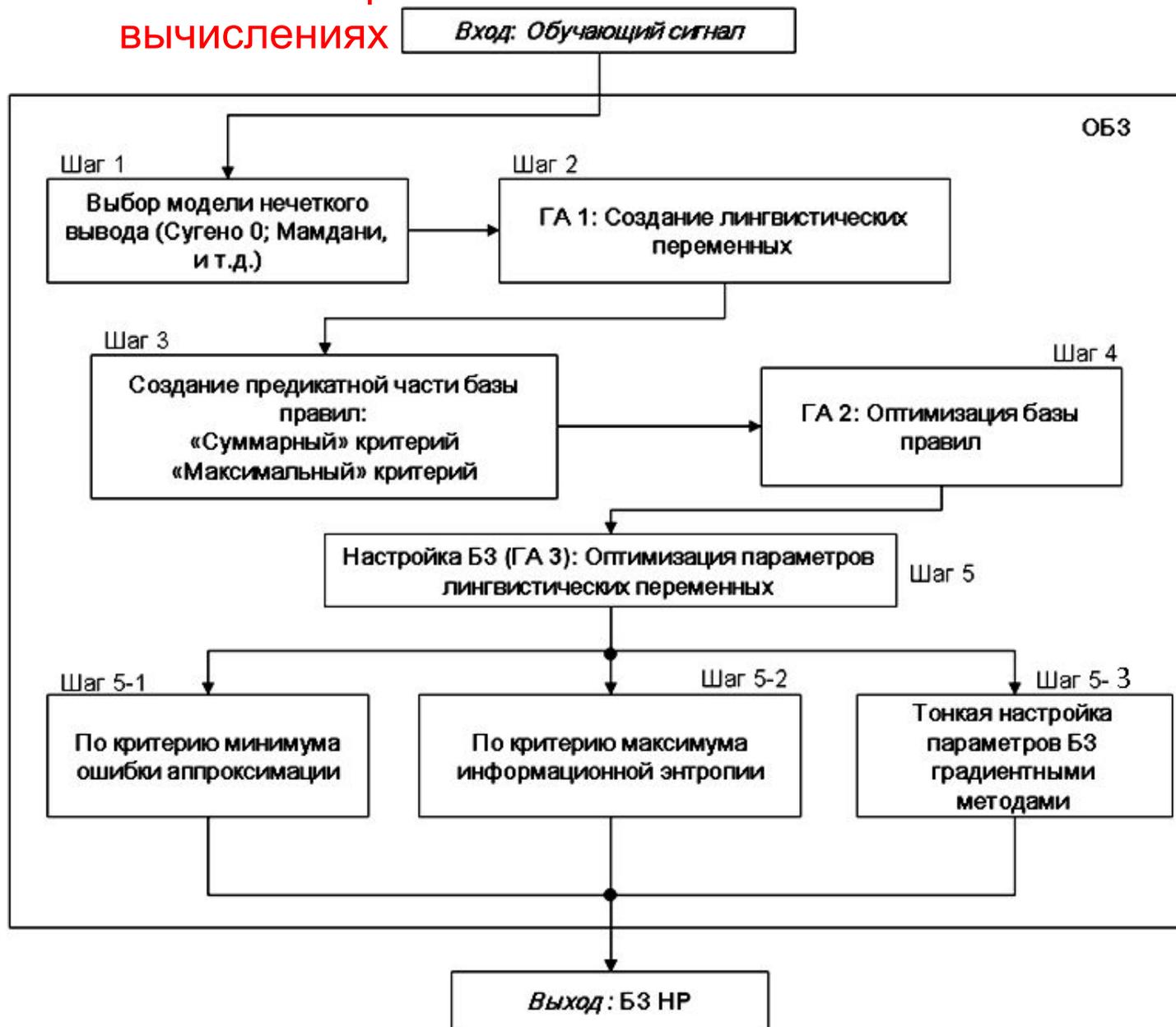
Неточность описания ОУ

## 2) Использование реального объекта



# Основные шаги создания БЗ

Оптимизатор баз знаний на мягких  
вычислениях

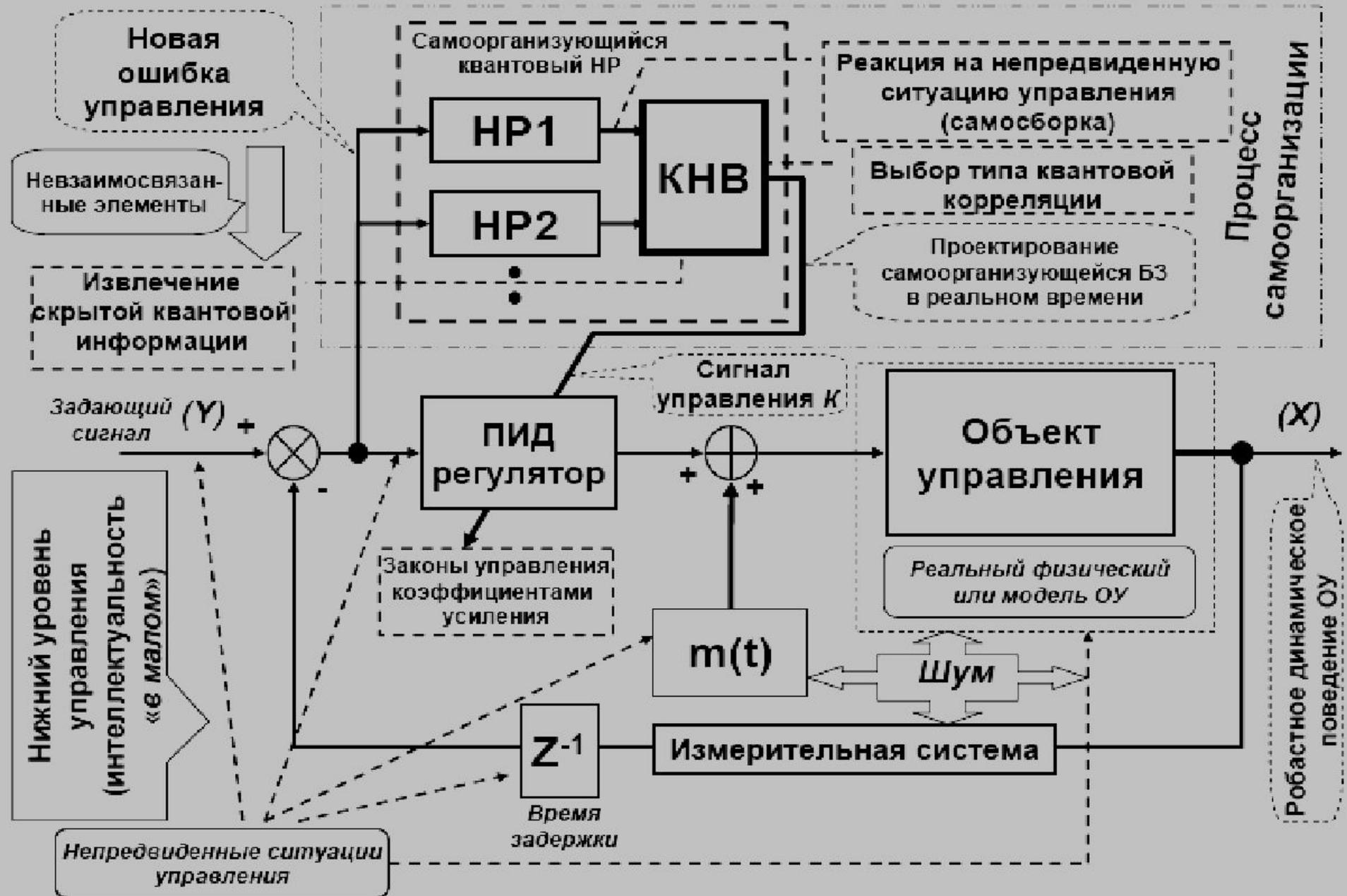


# Функции пригодности многокритериального генетического алгоритма

Тип ГА	Критерии	ФП алгоритма	Роль ФП
<b>ГА<sub>1</sub>:</b> Оптимизация лингвистических переменных	<b>Максимум</b> совместной информационной энтропии.	$H^{(jj)}_{X_i X_k} = H\left(x_i \Big _{x_i = \mu^j_{X_i}, x_k = \mu^k_{X_k}}\right) =$ $-\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[ \mu^j_{X_i}(x_i(t)) * \mu^k_{X_k}(x_k(t)) \right] \log \left[ \mu^j_{X_i}(x_i(t)) * \mu^k_{X_k}(x_k(t)) \right]$ где * – выбранная операция нечеткой конъюнкции	Выбор оптимальной мощности термножеств лингвистических переменных компонент ОС
	<b>Минимум</b> информации о сигналах в отдельности	$H^j_{X_i} = -p^j_{X_i} \log(p^j_{X_i}) = -p\left(x_i \Big _{x_i = \mu^j_{X_i}}\right) \log \left[ p\left(x_i \Big _{x_i = \mu^j_{X_i}}\right) \right] =$ $= -\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \mu^j_{X_i}(x_i(t)) \log \left[ \mu^j_{X_i}(x_i(t)) \right]$	Устранение избыточности ОС
<b>ГА<sub>2</sub>:</b> Оптимизация базы правил	<b>Минимум</b> ошибки аппроксимации	$E = \sum_p E^p, \text{ где } E^p = 1/2(F(x_1^p, x_2^p, \dots, x_n^p) - d^p)^2$	Выбор оптимальных параметров правых частей правил
<b>ГА<sub>3</sub>:</b> Настройка БЗ	<b>Минимум</b> ошибки аппроксимации или <b>максимум</b> совместной информационной энтропии	$E = \sum_p E^p$	«Тонкая» настройка параметров функций принадлежности

# ТЕХНОЛОГИЯ КВАНТОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОМ УПРАВЛЕНИИ

# Структура самоорганизующейся ИСУ



# Модель квантового нечеткого вывода

$\left\langle \begin{array}{c} \text{Законы управления коэффициентами усиления} \\ \text{гибридного нечеткого ПИД-регулятора} \end{array} \right\rangle \bullet (Выход) =$

Самоорганизация робастной структуры БЗ

$\left[ \begin{array}{c} \left( \text{Интерференция} \right) \left[ \max \left( \text{Амплитуды вероятностей} \right) \right] \left( \text{Суперпозиция} \right) \bullet \left( \begin{array}{c} \text{Квантовые} \\ \text{вычисления} \end{array} \right) \\ \text{Квантовый случайный поиск} \\ \bullet \left( \begin{array}{c} \text{Проблемная ориентация ОУ} \\ \left( \text{Тип и вид корреляции} \right) \\ \left( \text{Внешняя, внутренняя} \right) \bullet \left( \text{Классическая, квантовая, смешанная} \right) \end{array} \right) \bullet \left( \begin{array}{c} \text{Выбор типа и} \\ \text{вида квантовой} \\ \text{корреляции} \end{array} \right) \end{array} \right]$

Формирование качества и глубины представления знаний

$\left\{ \begin{array}{c} \text{"Строительные" блоки} \\ \left[ \text{Начальное состояние} \right] \\ \text{Состояния выходных сигналов НР} \\ \text{на новую ошибку управления} \end{array} \right\} \bullet \left[ \begin{array}{c} \left( \begin{array}{c} \text{Реакция продукционных правил} \\ \text{БЗ в НР на мягких вычислениях} \end{array} \right) \bullet \\ \left( \text{Вход} \right) \bullet \left( \begin{array}{c} \text{Ошибка управления} \\ \text{в непредвиденной ситуации} \end{array} \right) \end{array} \right]$

# Алгоритм квантового нечеткого вывода

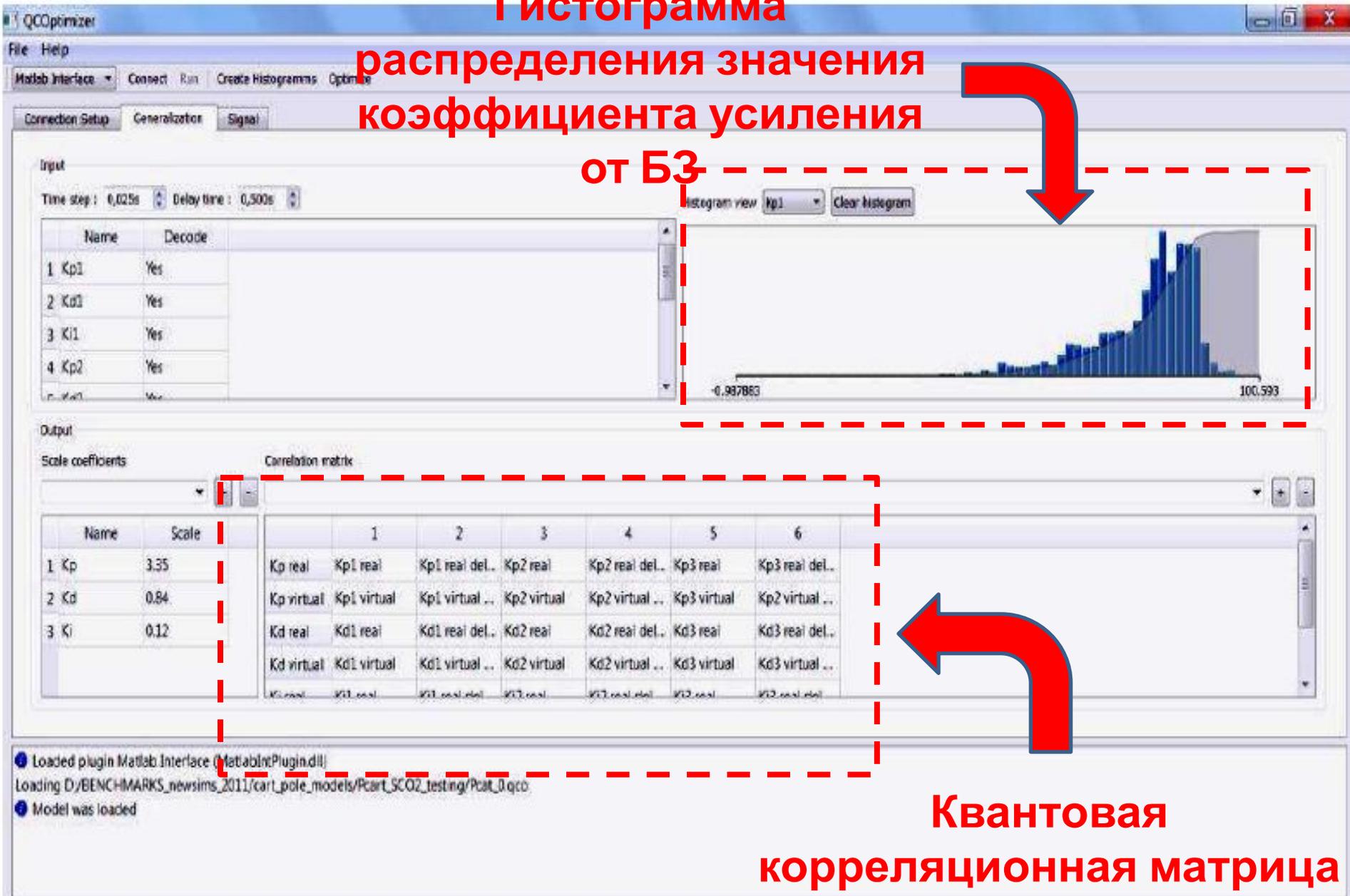




# Основное меню квантового оптимизатора баз знаний

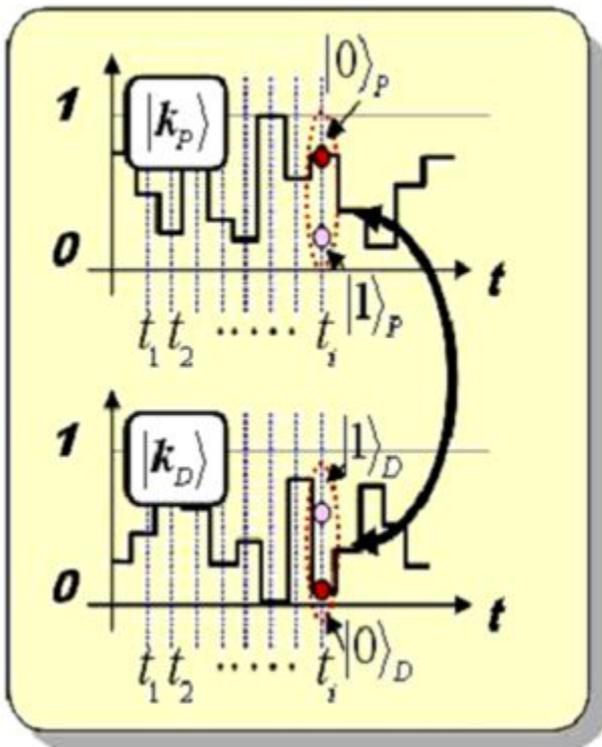
## Гистограмма

распределения значения  
коэффициента усиления  
от БЗ

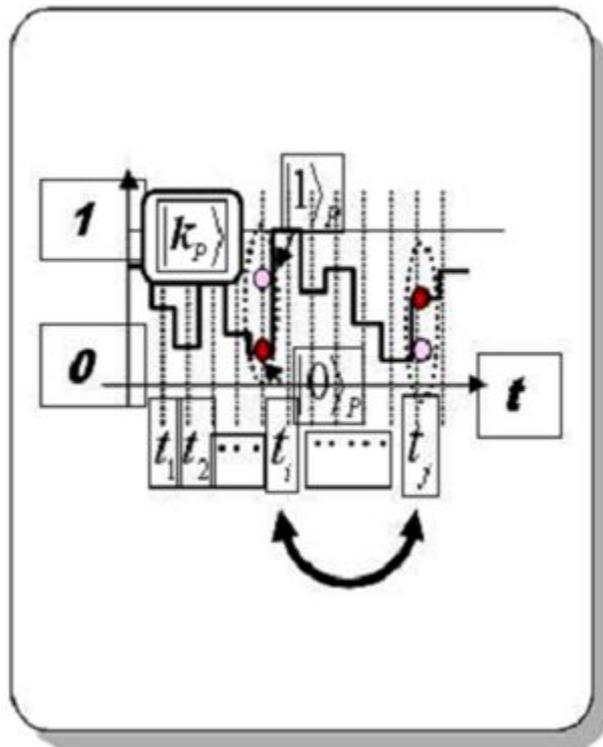


Квантовая  
корреляционная матрица

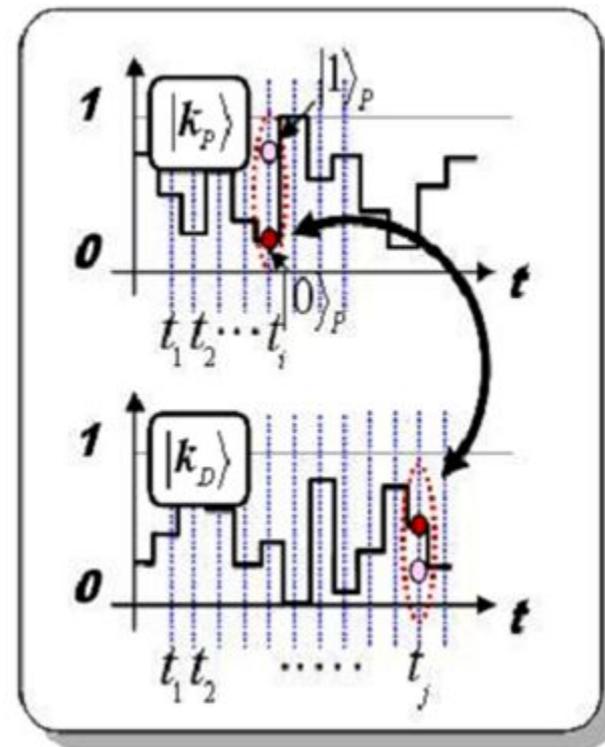
# Типы корреляции



Пространственная

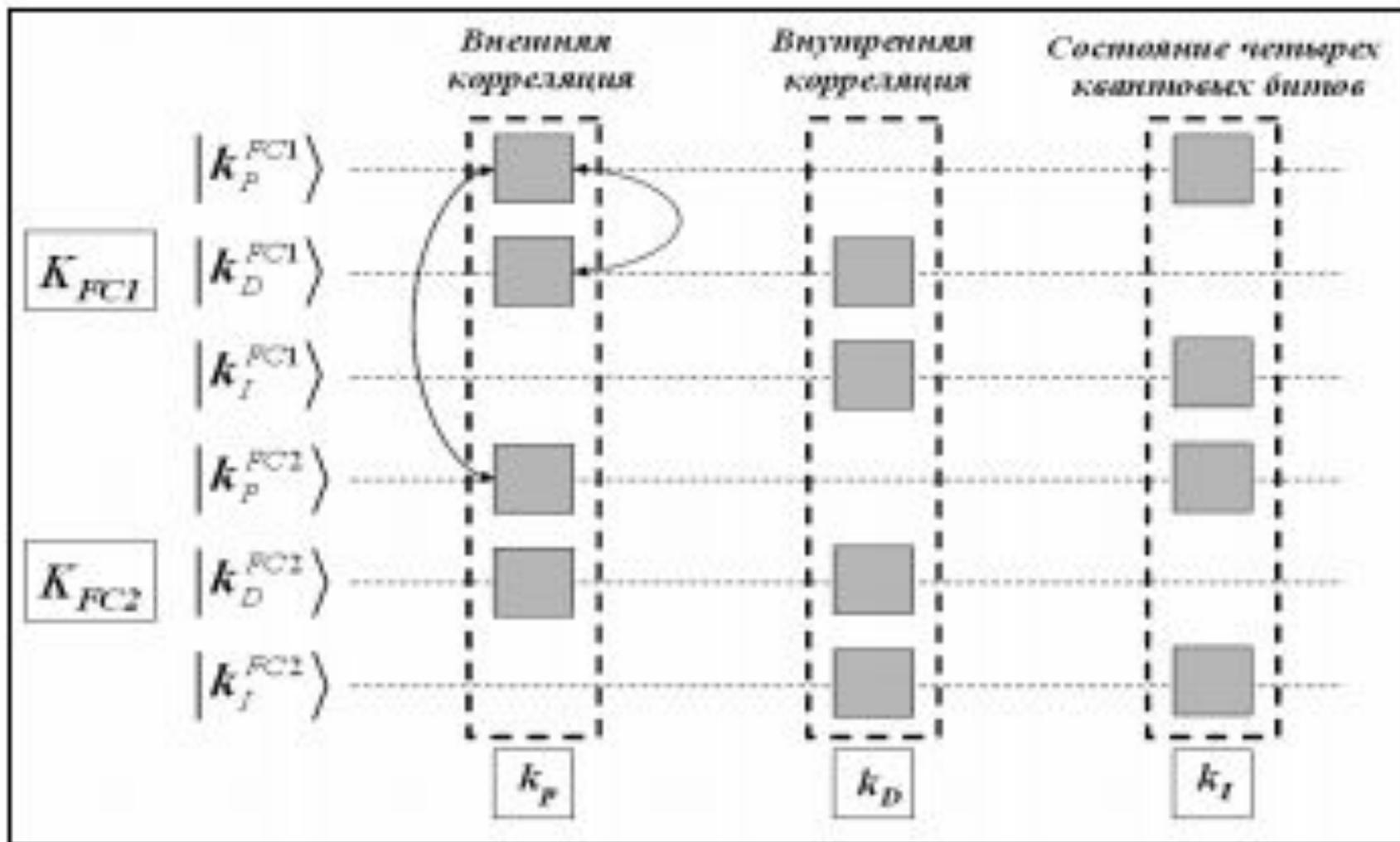


Временная



Пространственно -  
временная

# Виды корреляции



# Пример вычисления коэффициента усиления

$$\begin{aligned}
 & |k_P^{FC1}\rangle \otimes |k_P^{FC2}\rangle \otimes |k_D^{FC1}\rangle \otimes |k_D^{FC2}\rangle \\
 &= \frac{1}{\sqrt{2}} \left( y_{1,P}^0 \cdot |0\rangle_{1,P} + y_{1,P}^1 \cdot |1\rangle_{1,P} \right) \otimes \frac{1}{\sqrt{2}} \left( y_{2,P}^0 \cdot |0\rangle_{2,P} + y_{2,P}^1 \cdot |1\rangle_{2,P} \right) \\
 &\quad \otimes \frac{1}{\sqrt{2}} \left( y_{1,D}^0 \cdot |0\rangle_{1,D} + y_{1,D}^1 \cdot |1\rangle_{1,D} \right) \otimes \frac{1}{\sqrt{2}} \left( y_{2,D}^0 \cdot |0\rangle_{2,D} + y_{2,D}^1 \cdot |1\rangle_{2,D} \right) \\
 &= \frac{1}{\sqrt{2^n}} \left( \alpha_1 \cdot |0000\rangle + \alpha_2 \cdot |0001\rangle + \dots + \alpha_{2^{n-1}} \cdot |1110\rangle + \alpha_{2^n} \cdot |1111\rangle \right)
 \end{aligned}$$

(n = 4)

16 возможных состояний

$\alpha_1 = y_{1,P}^0 \cdot y_{2,P}^0 \cdot y_{1,D}^0 \cdot y_{2,D}^0$  : амплитуда вероятности

