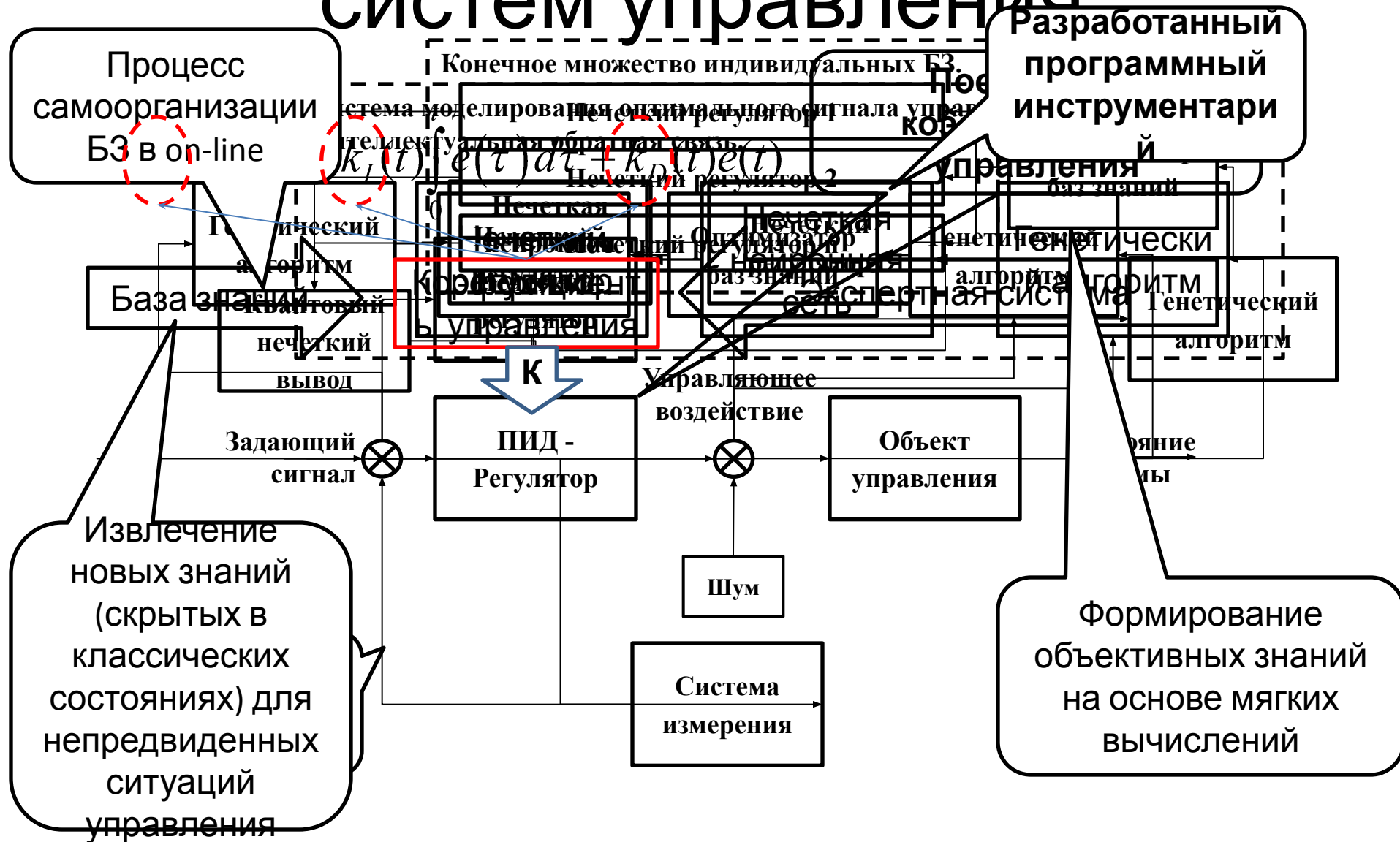


# Эволюция интеллектуальных систем управления



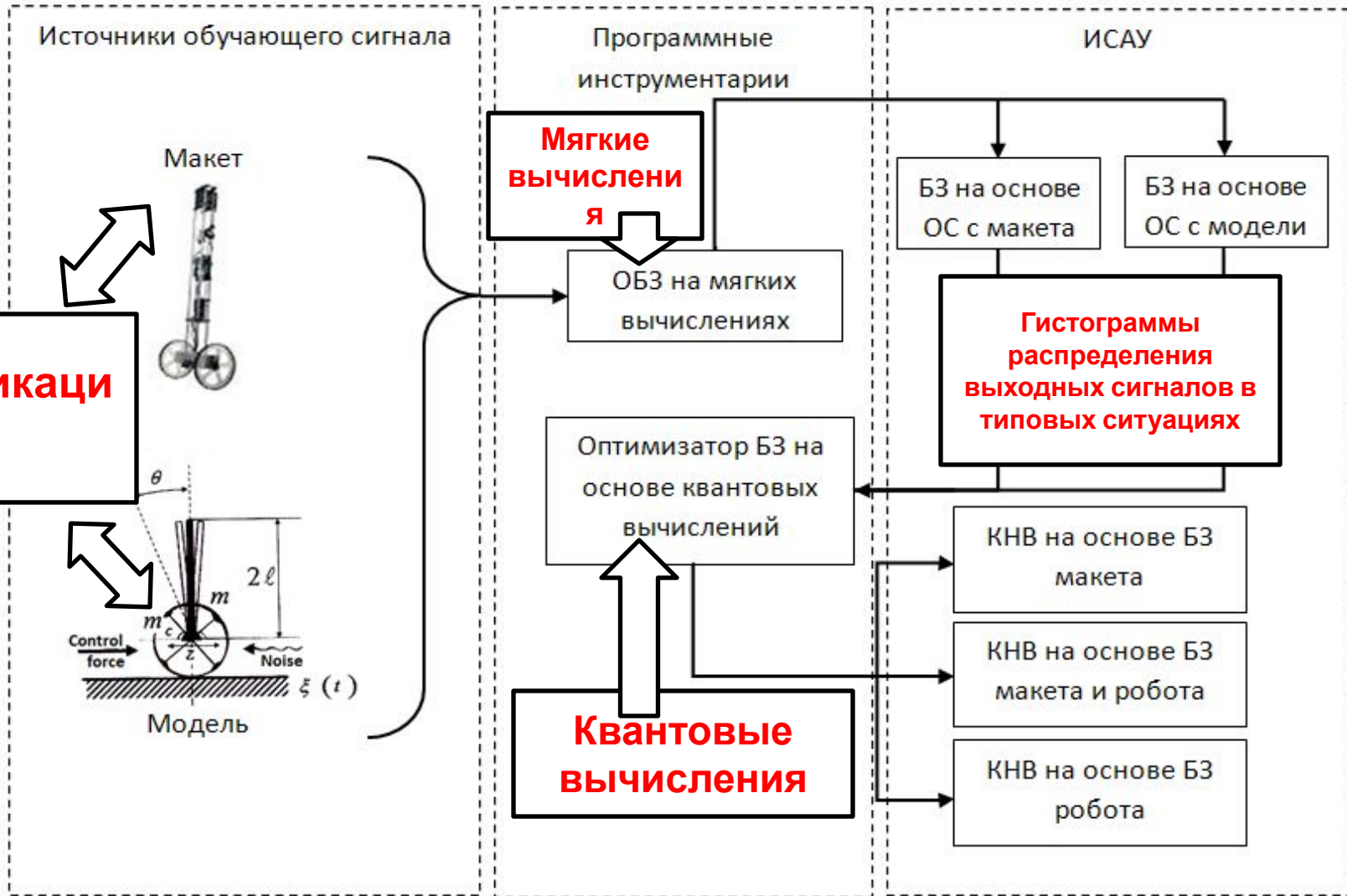
# Термодинамический критерий робастного управления



Уравнение Ульянова (1976 г.)

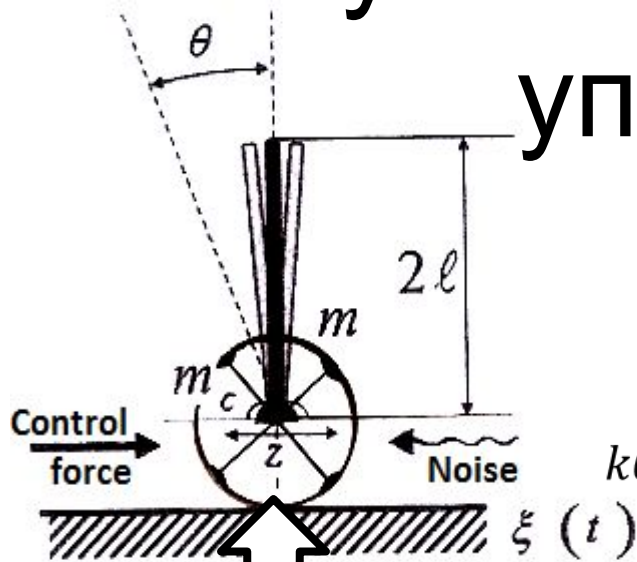
# Технология проектирования ИСУ на квантовых и мягких

Решающих



# Макет и модель динамически неустойчивого объекта управления

## управления

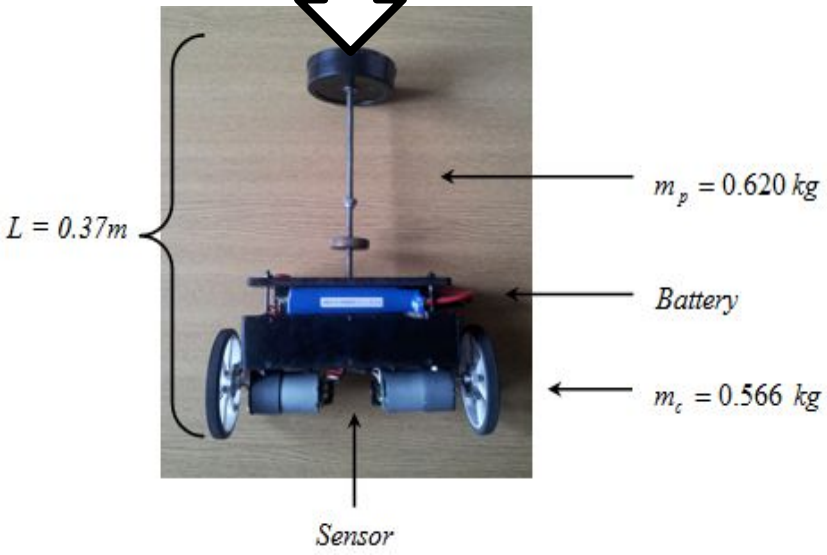


$$\ddot{\theta} = \frac{\left( (u + \xi(t)) + \{a_1 z + a_3 z\} - ml\dot{\theta}^2 \sin \theta \right) - k\dot{\theta}}{l \left( \frac{4}{3} - \frac{m \cos^2 \theta}{m_c + m} \right)}$$

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

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

### Макет

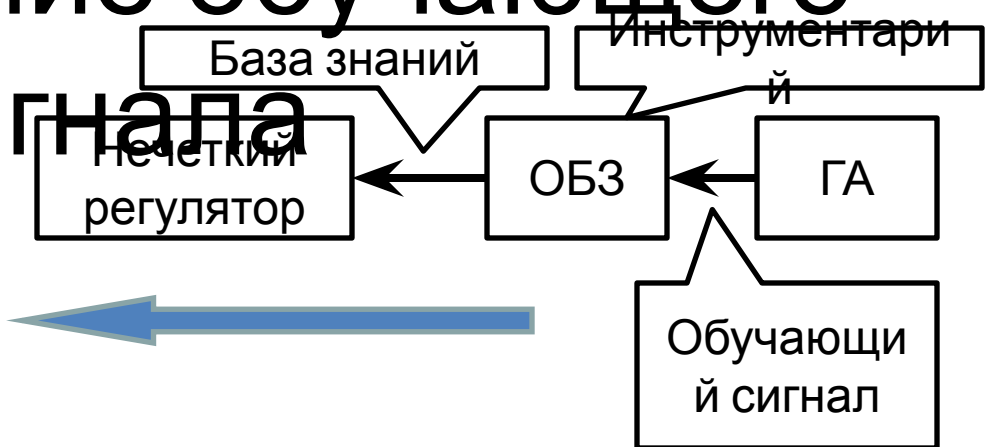


Для проведения экспериментов использовался макет перевернутого маятника.

# Формирование обучающего сигнала

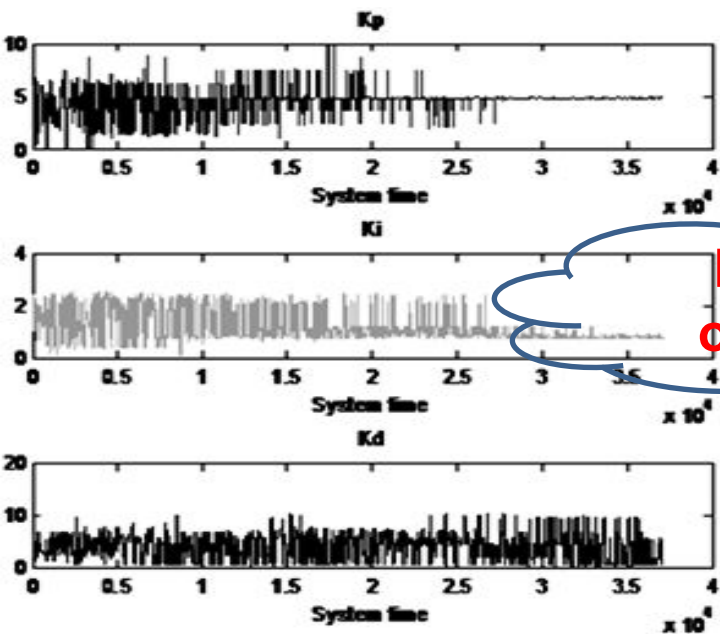
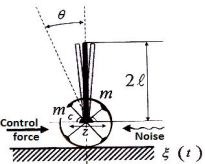
$e$	$\dot{e}$	$\int_0^t e dt$	$k_p$	$k_i$	$k_d$
-0.01	-0.01	-0.01	13.38	0.48	20.13
-0.02	-0.01	-0.04	13.38	0.48	20.13
-0.04	-0.01	-0.07	13.38	0.48	20.13
-0.05	-0.01	-0.12	13.38	0.48	20.13
-----					
-----					
-----					
0.25	-0.02	7.67	14.20	0.30	16.26
0.18	-0.07	7.84	14.20	0.30	16.26

Сигнала



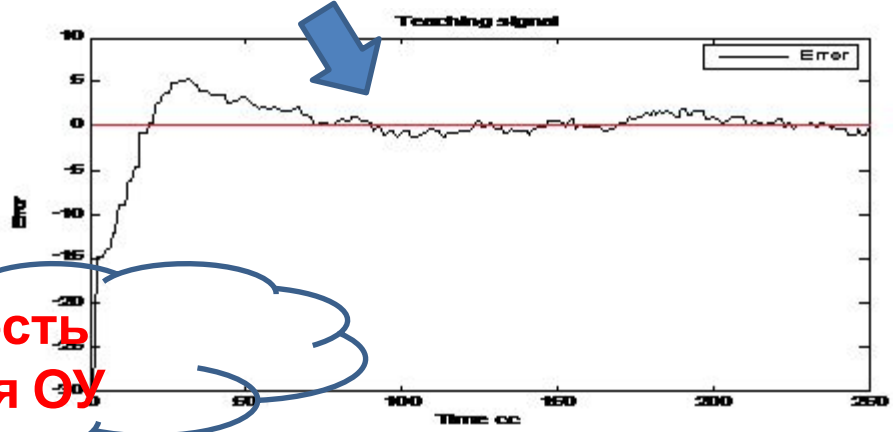
Два подхода для создания ОС:

## 1) Использование комп. модели



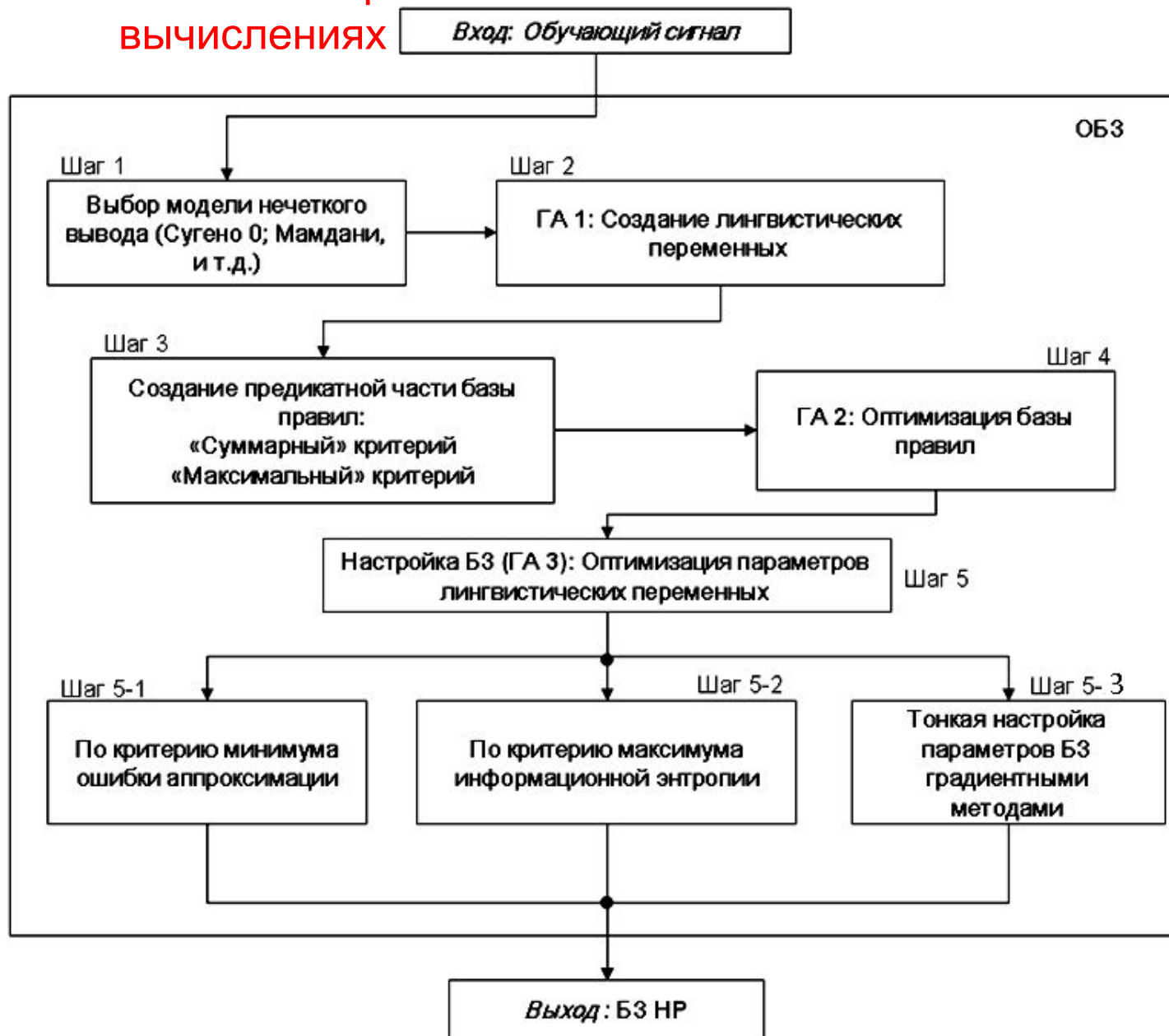
Неточность описания ОУ

## 2) Использование реального объекта



# Основные шаги создания БЗ

Оптимизатор баз знаний на мягких  
вычислениях



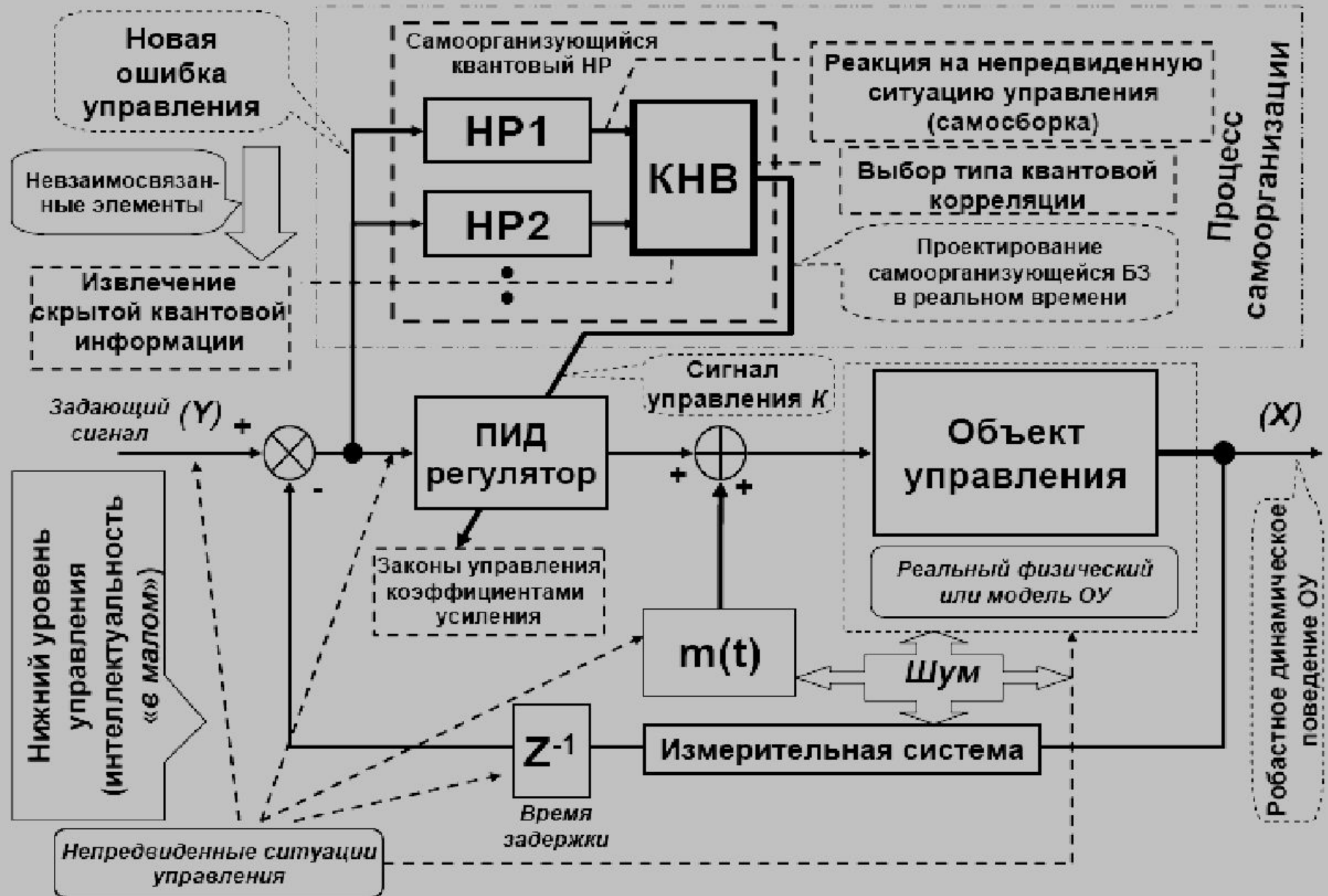
# Функции пригодности многокритериального генетического алгоритма

Тип ГА	Критерии	ФП алгоритма	Роль ФП
<b>ГА<sub>1</sub>:</b> Оптимизация лингвистических переменных	<b>Максимум</b> совместной информационной энтропии.	$H^{(jj)}_{x_i x_k} = H\left(x_i \middle  x_j = \mu^j_{x_i}, x_k = \mu^k_{x_k}\right) =$ $-\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[ \mu^j_{x_i}(x_i(t)) * \mu^k_{x_k}(x_k(t)) \right] \log \left[ \mu^j_{x_i}(x_i(t)) * \mu^k_{x_k}(x_k(t)) \right]$ где * – выбранная операция нечеткой конъюнкции	Выбор оптимальной мощности терм- множеств лингвистических переменных компонент ОС
	<b>Минимум</b> информации о сигналах в отдельности	$H^j_{x_i} = -p^j_{x_i} \log(p^j_{x_i}) = -p\left(x_i \middle  x_j = \mu^j_{x_i}\right) \log \left[ p\left(x_i \middle  x_j = \mu^j_{x_i}\right) \right] =$ $= -\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \mu^j_{x_i}(x_i(t)) \log \left[ \mu^j_{x_i}(x_i(t)) \right]$	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

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

Самоорганизация робастной структуры БЗ

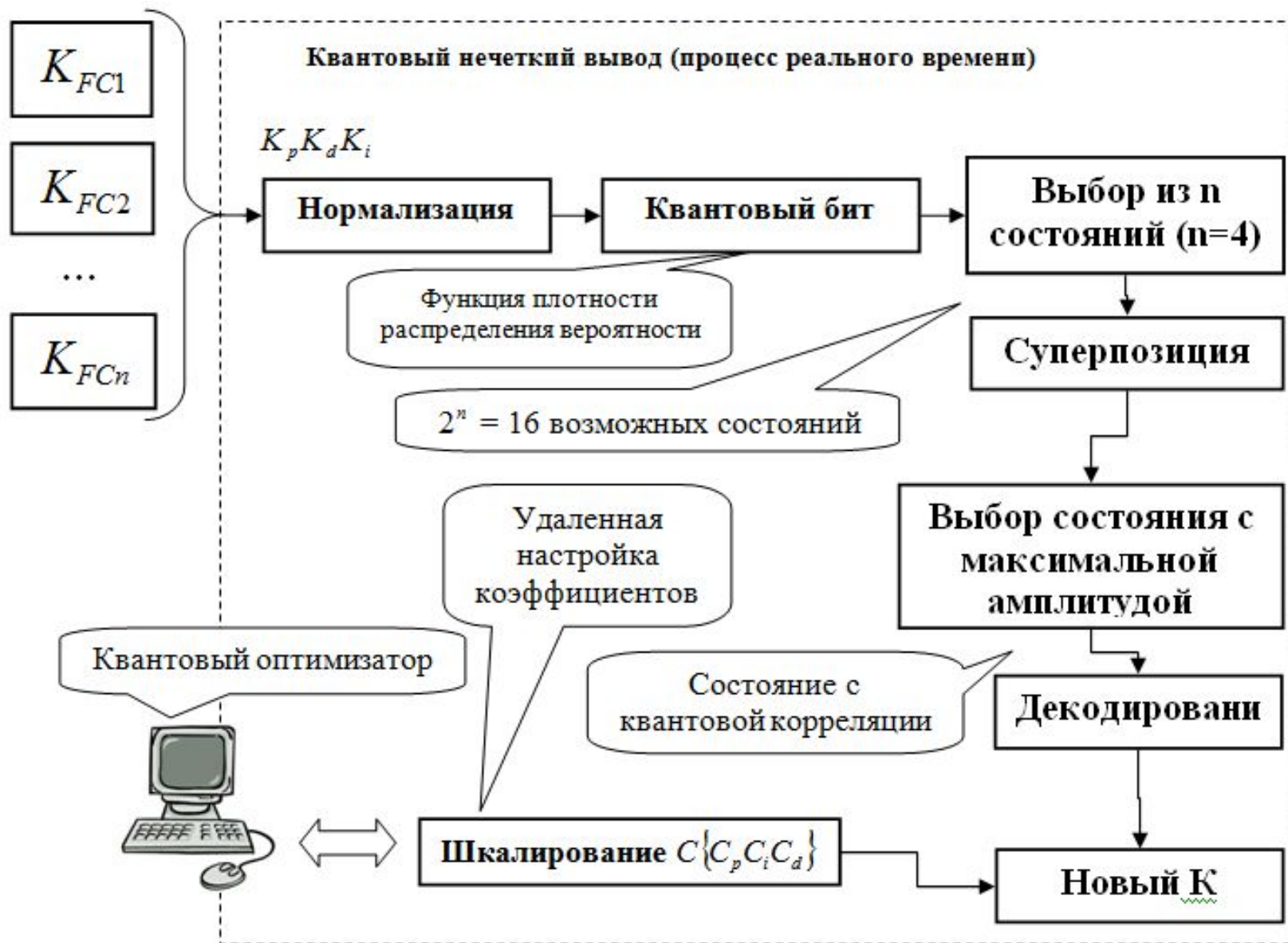
$\left[ \begin{array}{l} \text{(Интерференция)[max (Амплитуды вероятностей)](Суперпозиция)} \\ \text{Квантовый случайный поиск} \end{array} \right] \bullet \left( \begin{array}{l} \text{Квантовые} \\ \text{вычисления} \end{array} \right)$

$\bullet \left[ \begin{array}{l} \text{Проблемная ориентация ОУ} \\ \text{(Тип и вид корреляции)} \\ \text{(Внешняя, внутренняя) \bullet (Классическая, квантовая, смешанная)} \end{array} \right] \bullet \left( \begin{array}{l} \text{Выбор типа и} \\ \text{вида квантовой} \\ \text{корреляции} \end{array} \right)$

Формирование качества и глубины представления знаний

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

# Алгоритм квантового нечеткого вывода



# Квантовый бит. Формирование суперпозиции состояний

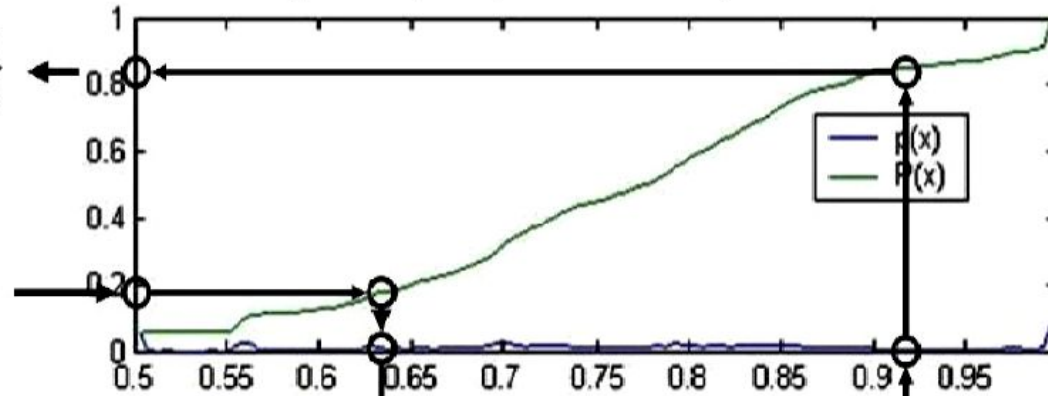
Функция распределения вероятности

$$(y_{I,P}^0)^2 = P\{|0\rangle_{1,P}\}$$



$$(y_{I,P}^1)^2 = P\{|1\rangle_{1,P}\}$$

$$P\{|0\rangle_{1,P}\} + P\{|1\rangle_{1,P}\} = 1$$

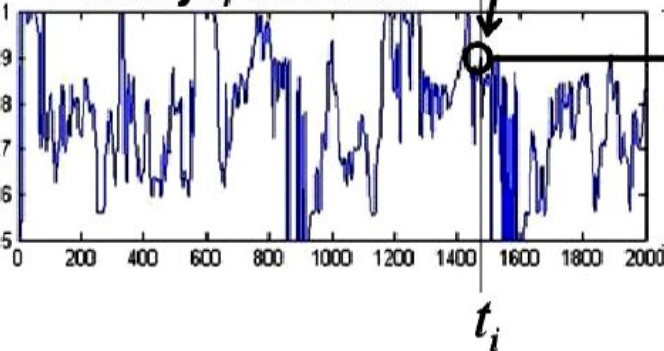


(нормализованные значения K)

нормализованный

Кр(d,i) сигнал

Закон управления



$|1\rangle_{1,P}$

Виртуальное состояние

$|0\rangle_{1,P}$

Реальное состояние

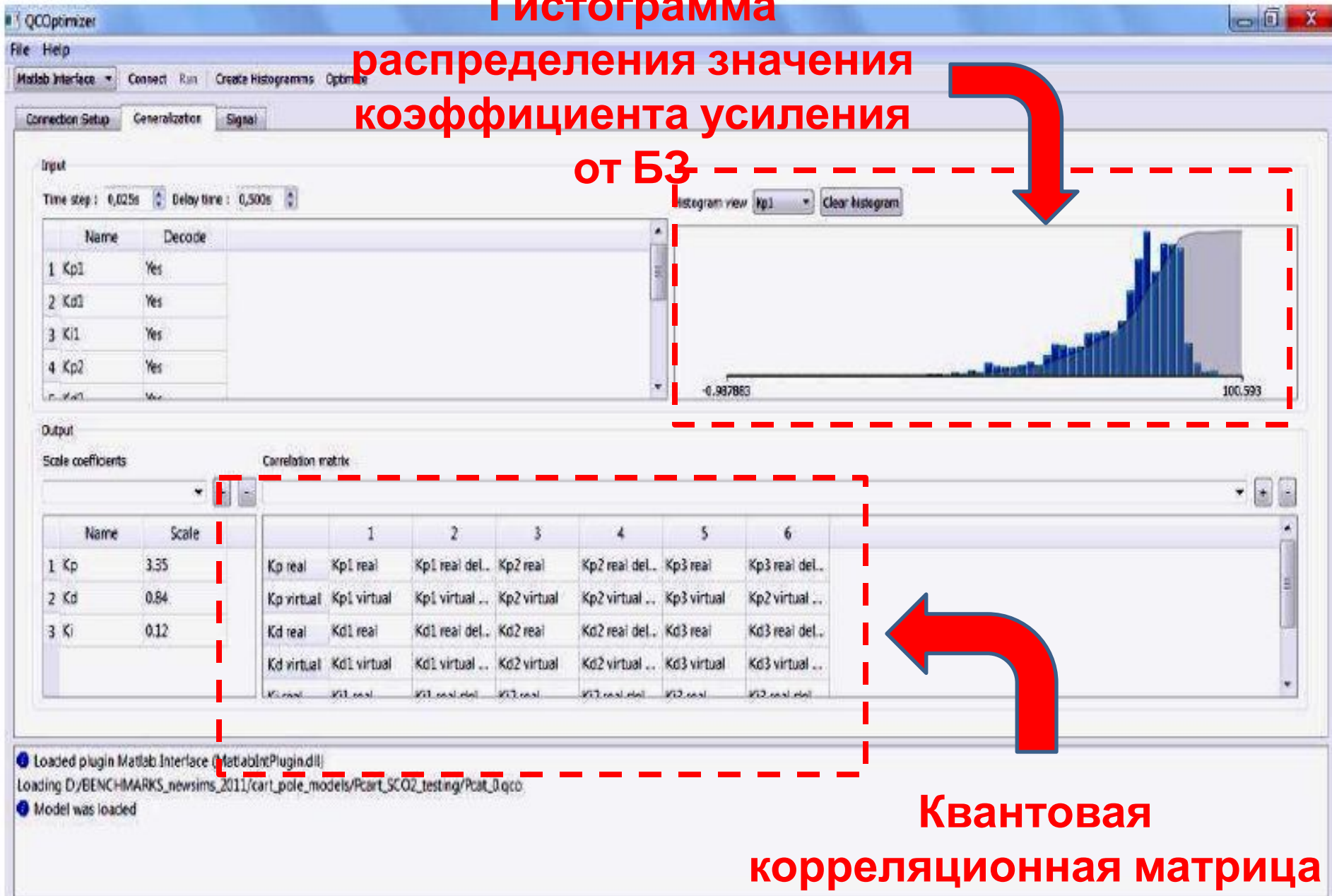
Квантовый бит :  
квантовое состояние для  $k_p(t)$

$$|k_P^{FC1}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (y_{1,P}^0 \cdot |0\rangle_{1,P} + y_{1,P}^1 \cdot |1\rangle_{1,P})$$

# Основное меню квантового оптимизатора баз знаний

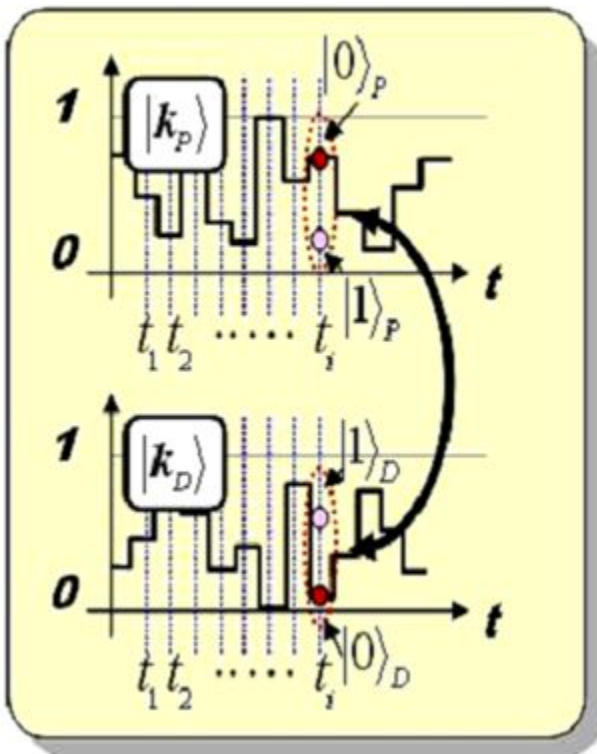
## Гистограмма

распределения значения  
коэффициента усиления  
от БЗ

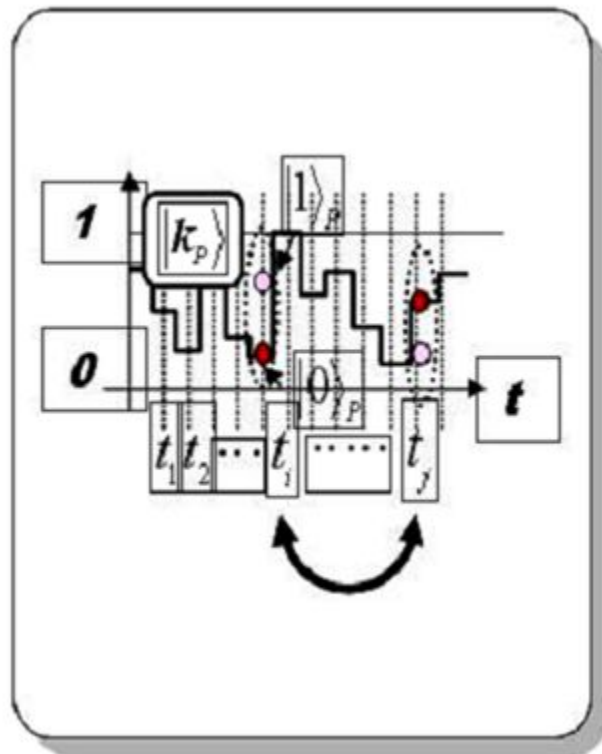


Квантовая  
корреляционная матрица

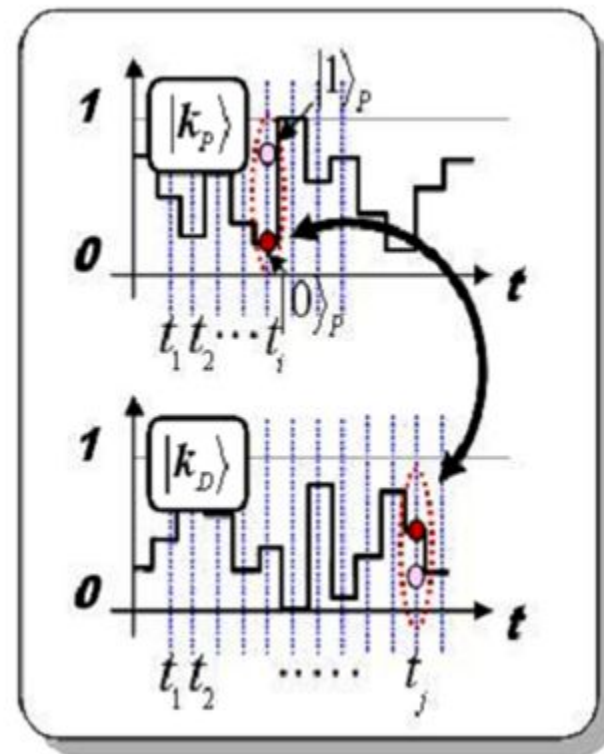
# Типы корреляции



Пространственная

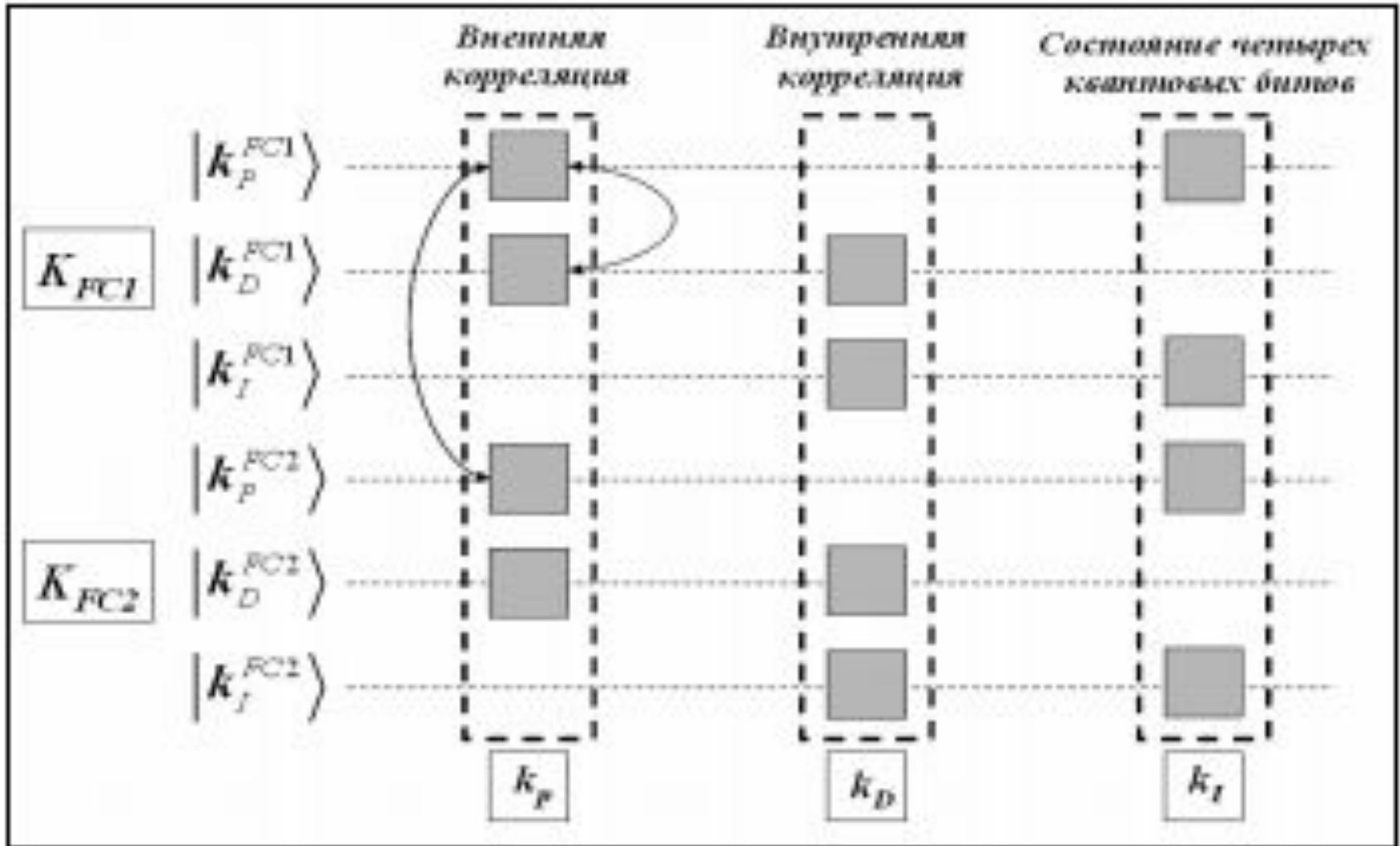


Временная



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



