

Компьютерная технология **УПРАВЛЕНИЕ**

Моделирование

Управление

Наблюдение

Фильтрация

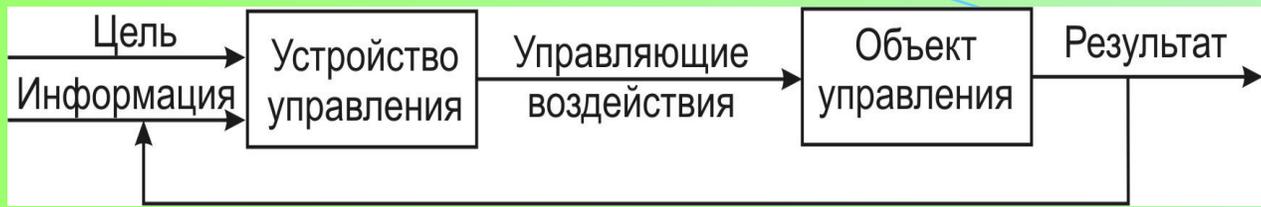
Идентификация

Диагностика

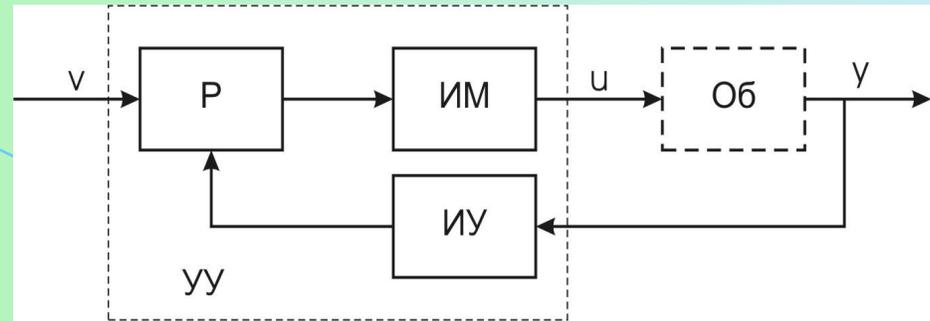
Адаптация

Оптимизация

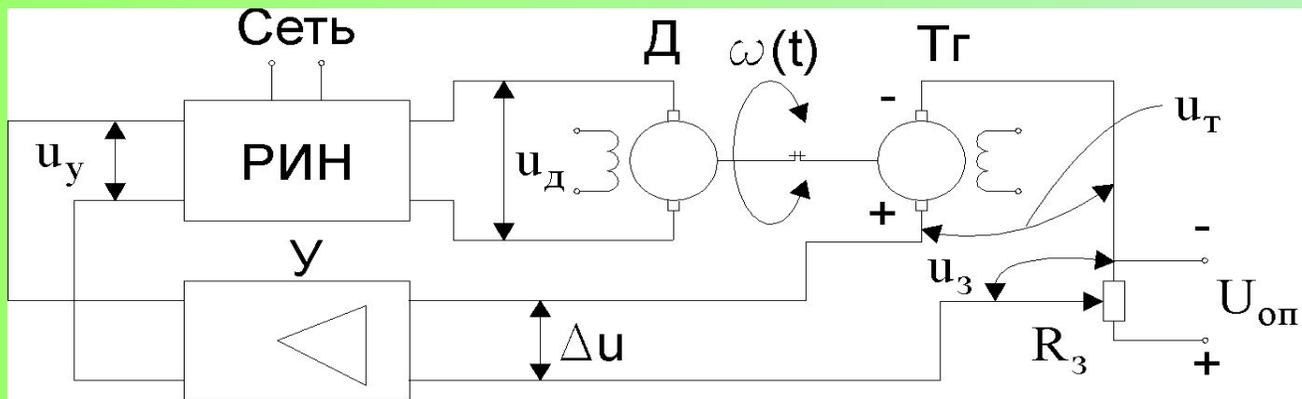
Визуализация



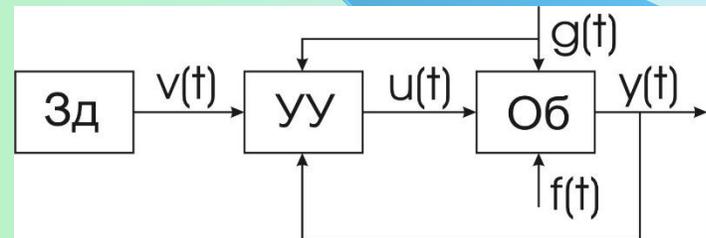
Система автоматического регулирования



Состав регулятора



Пример. Регулирование скорости электродвигателя



Обобщённая структура

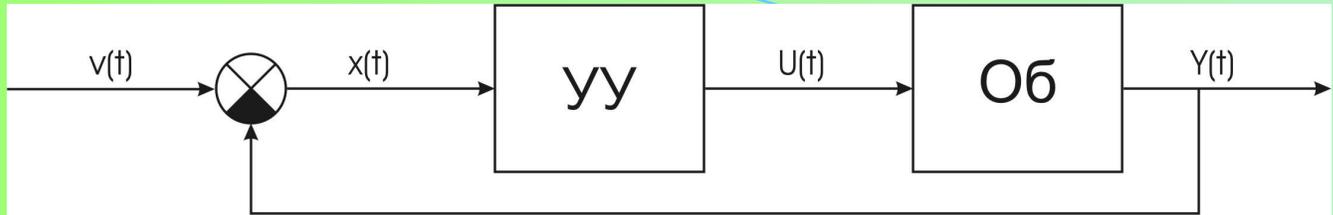
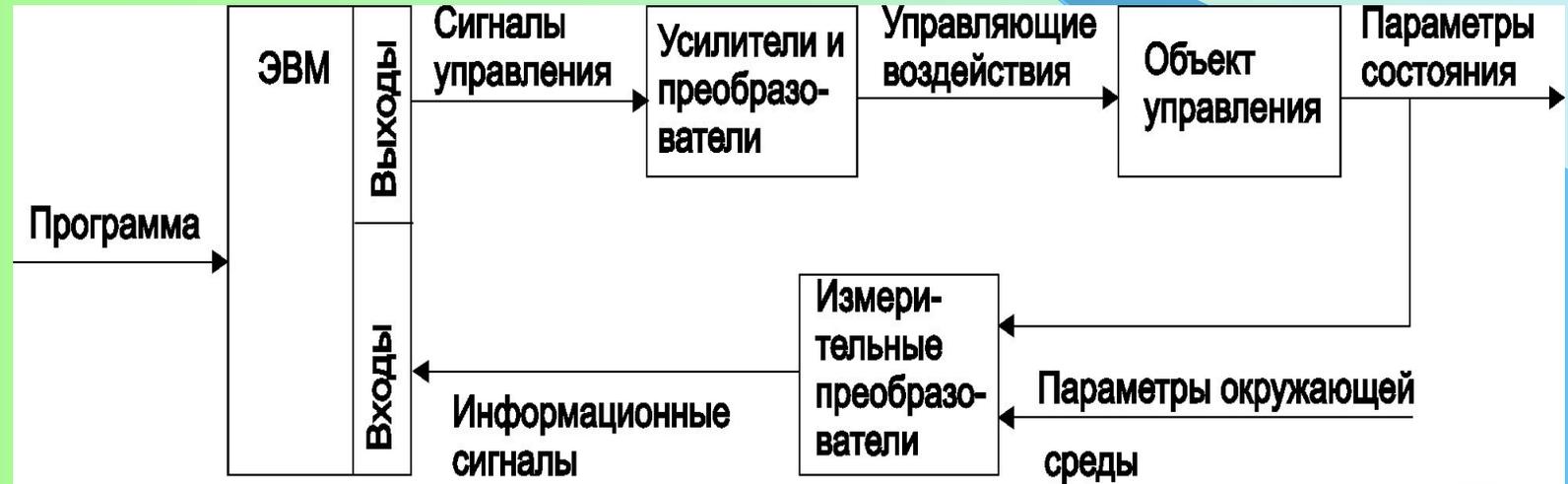
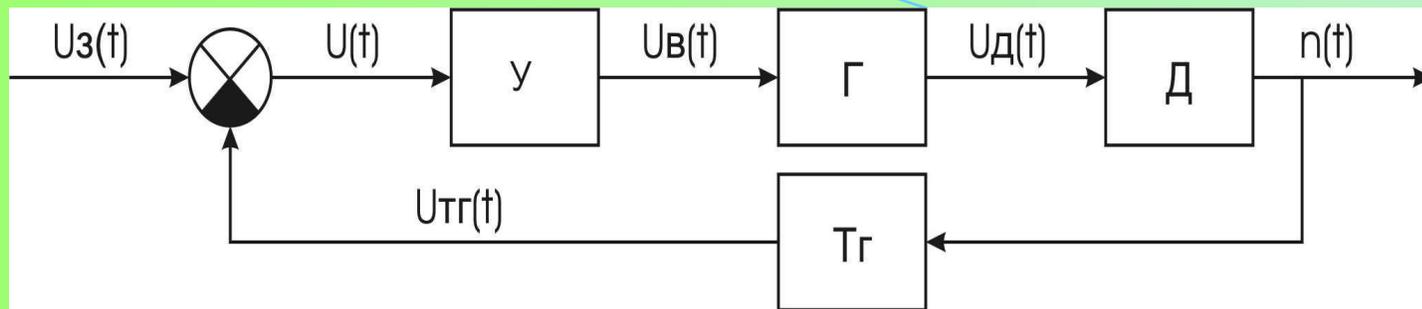


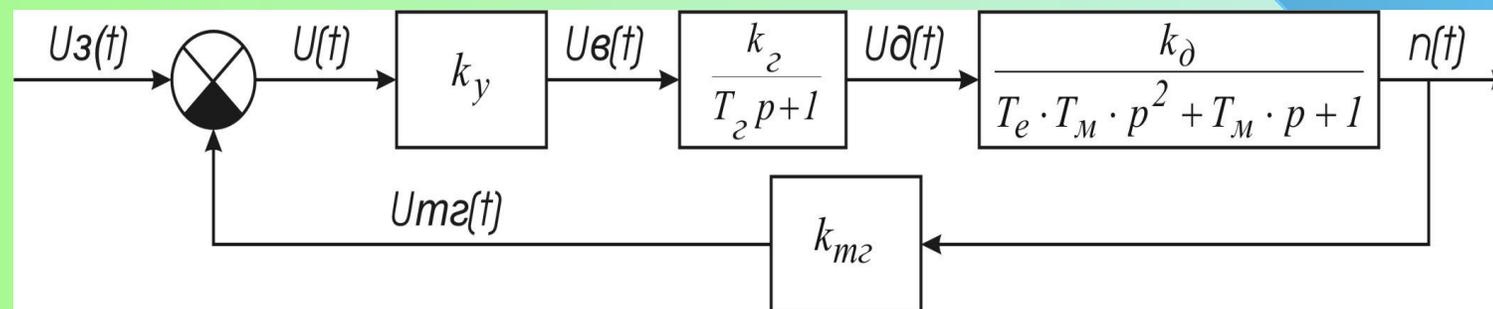
Рис. 9. Расчётная схема САУ



Управление объектом от ЭВМ



Пример. Функциональная схема системы "генератор-двигатель"



Пример. Структурная схема системы "генератор-двигатель"

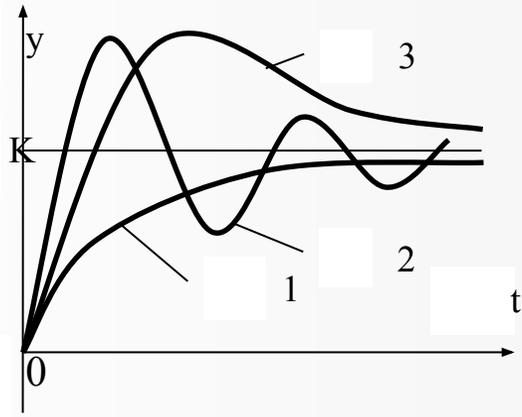


Рис. 18. Переходные характеристики

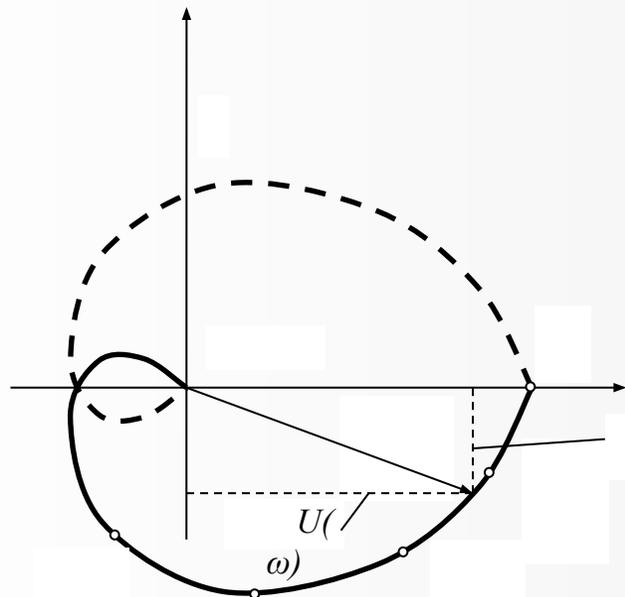


Рис. 20. АФЧХ системы

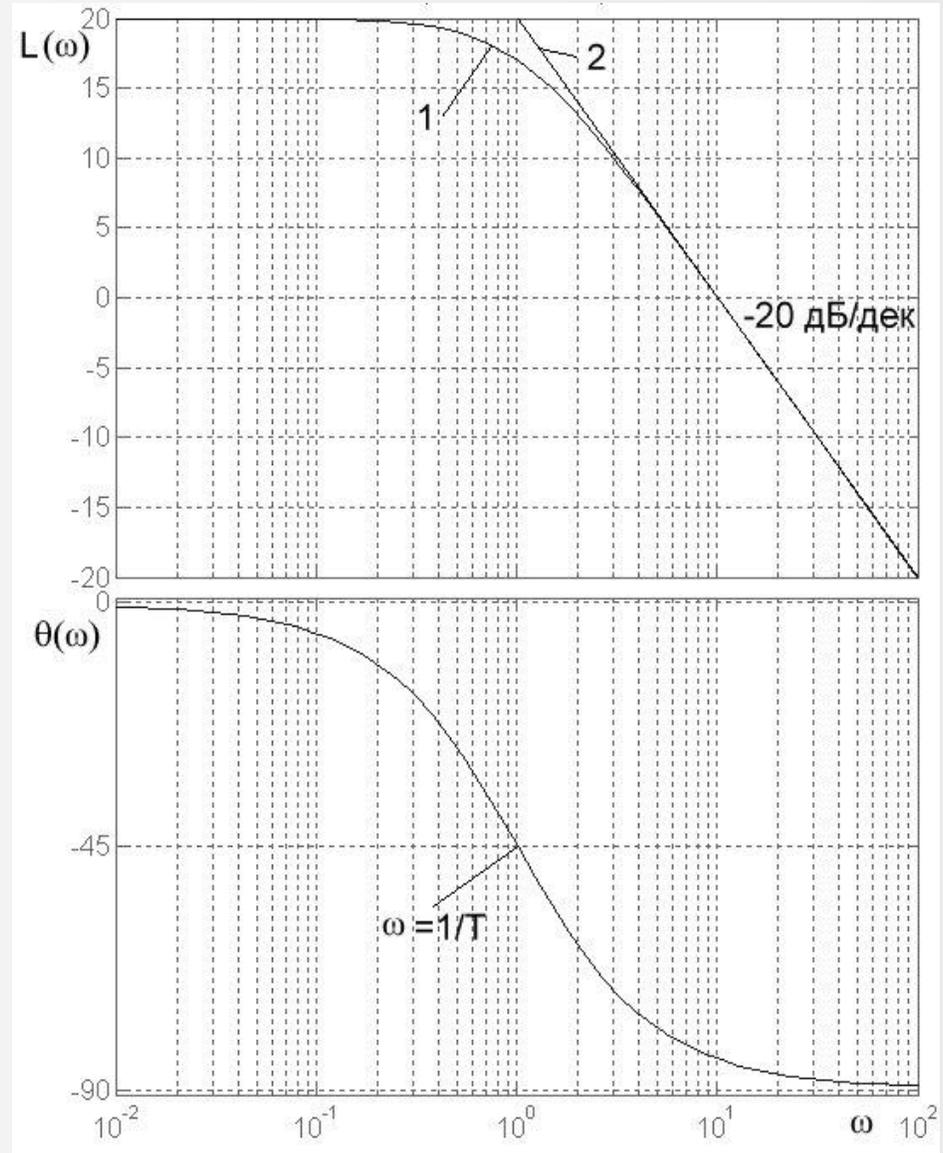
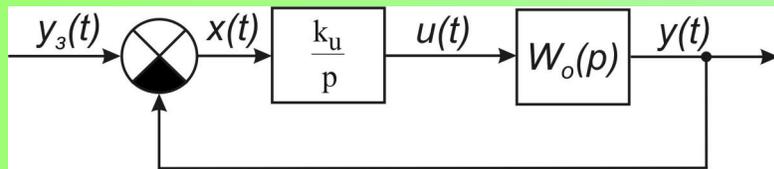
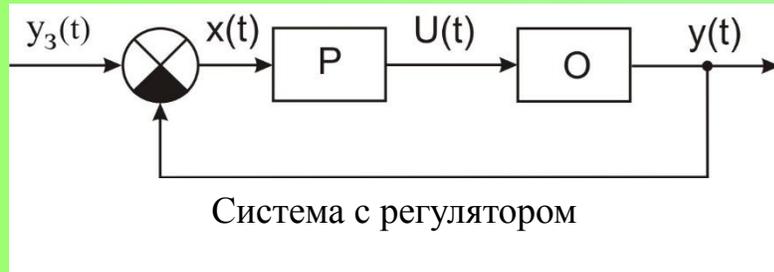
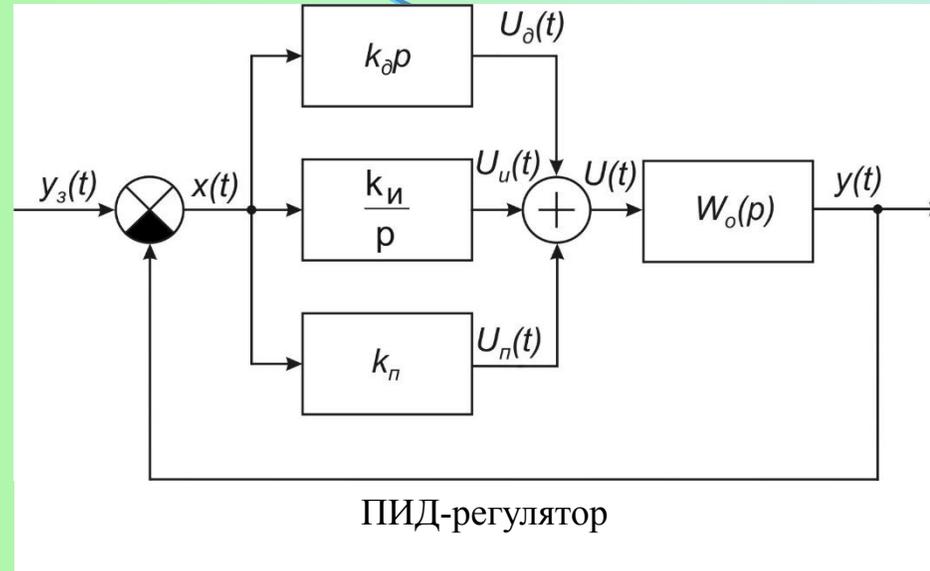


Рис. 24. ЛХ инерционного звена

Промышленные регуляторы



Интегральный регулятор





Классификация САУ

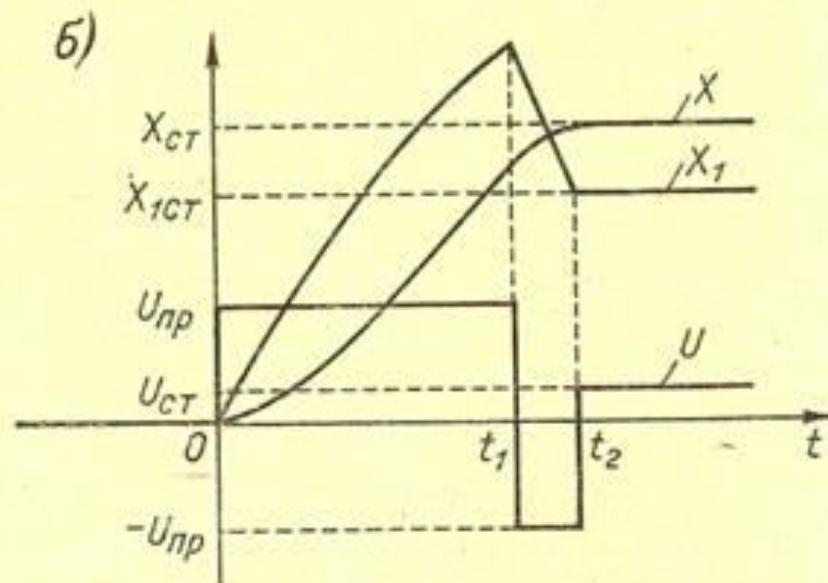
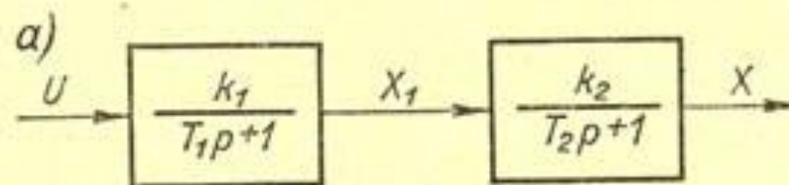
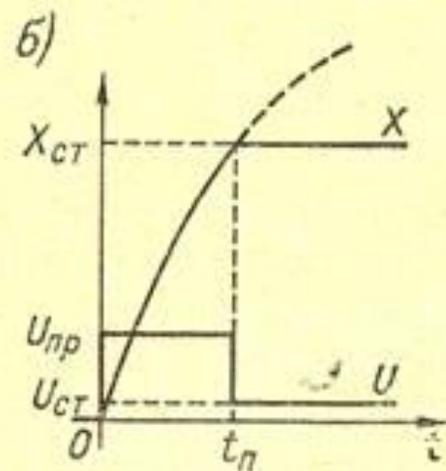
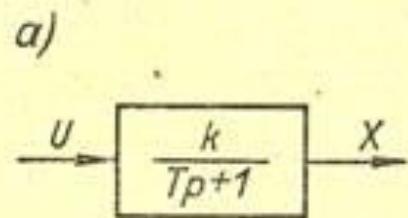
Оптимальные системы – в этих системах осуществляется оптимальное управление переводом объекта из исходного состояния в заданное конечное состояние. Оптимальная модель содержит дополнительно описание критерия оптимальности, на основе которого оценивается успешность решения задачи управления.

Экстремальные системы – модели, которые позволяют описать и решить задачу экстремального управления, т.е. автоматического обеспечения экстремума выходной величины объекта управления в условиях недостаточной априорной информации.

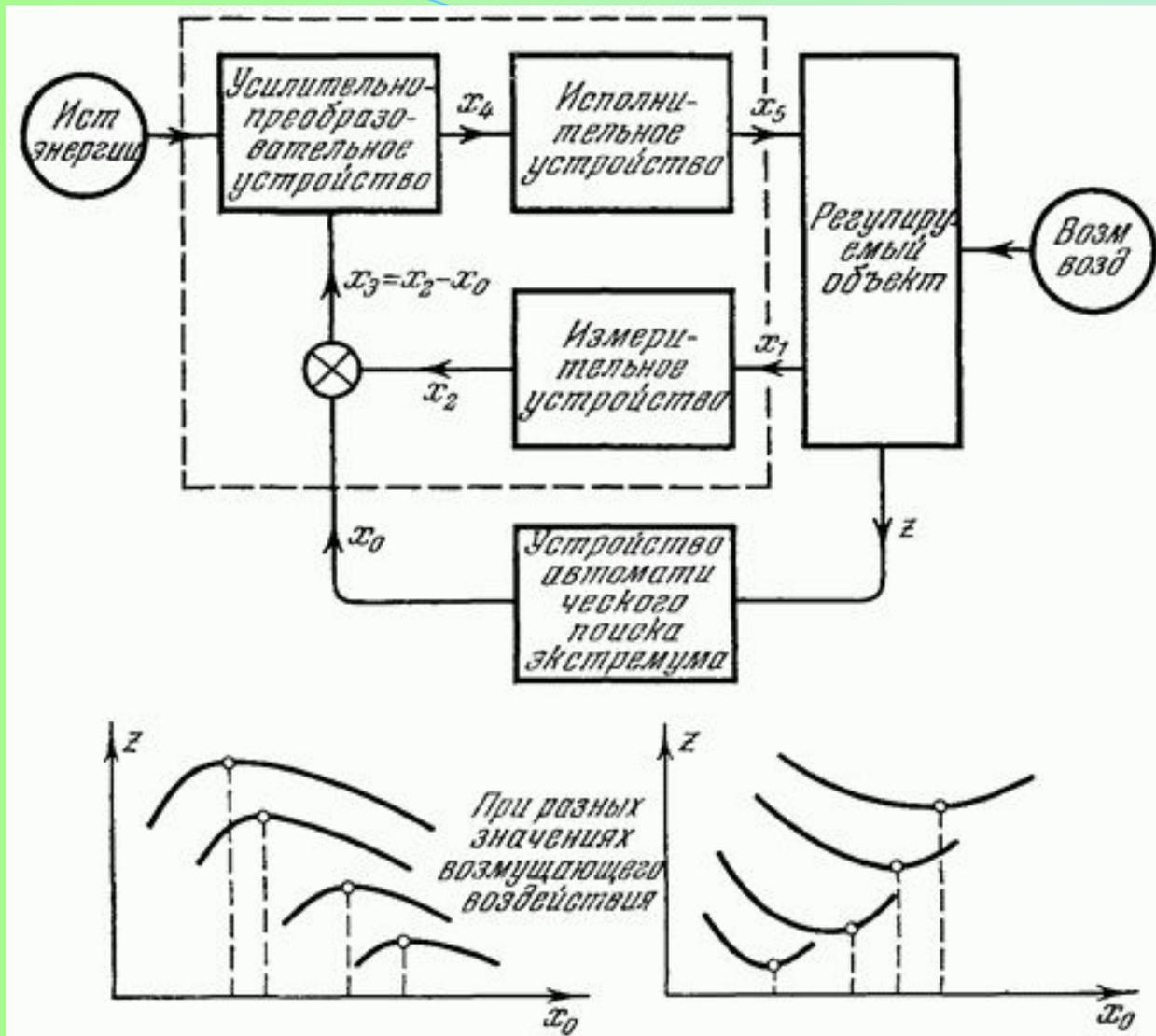
Адаптивные системы – модели, используемые для описания и исследования систем адаптивного управления, в которых характеристики управления не остаются постоянными, а целенаправленно изменяются так, чтобы адаптировать поведение системы к конкретным условиям её функционирования.

Системы фазы-управления (нечеткое управление, нейро-нечеткое управление) – эти модели позволяют формализовать качественное (вербальное) описание процесса управления, не поддающегося детерминированному описанию классическими методами теории управления. *Например, с помощью методов фазы-управления можно описать и автоматизировать процесс ручного управления оператором, осуществляемый на основе личного опыта оператора*

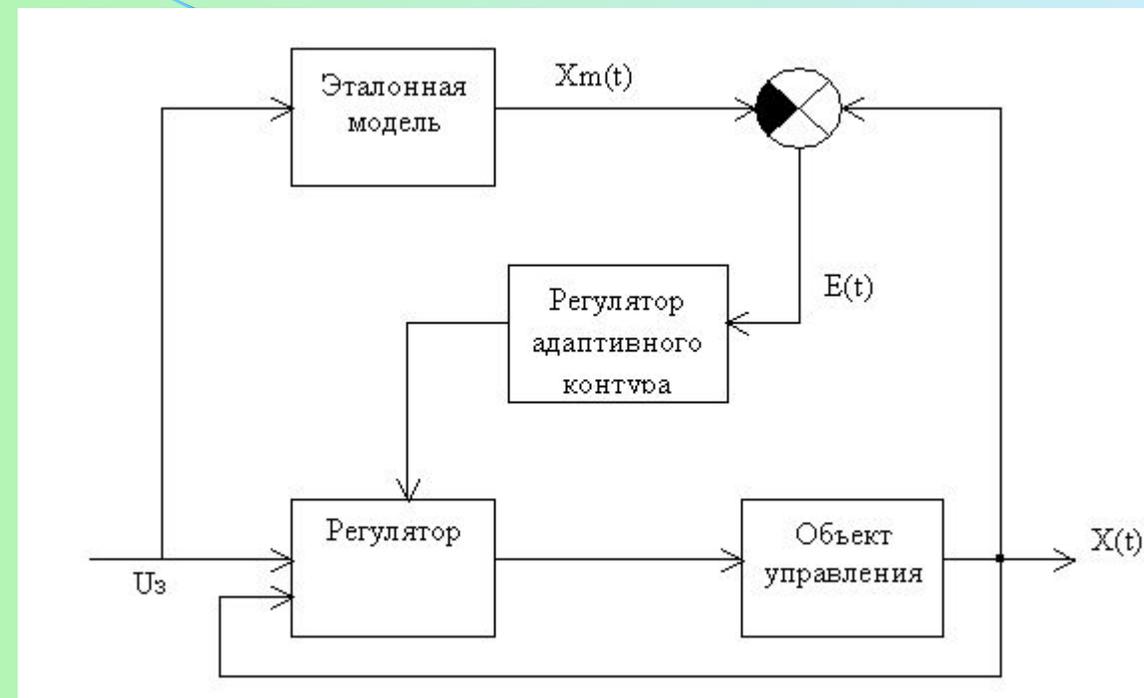
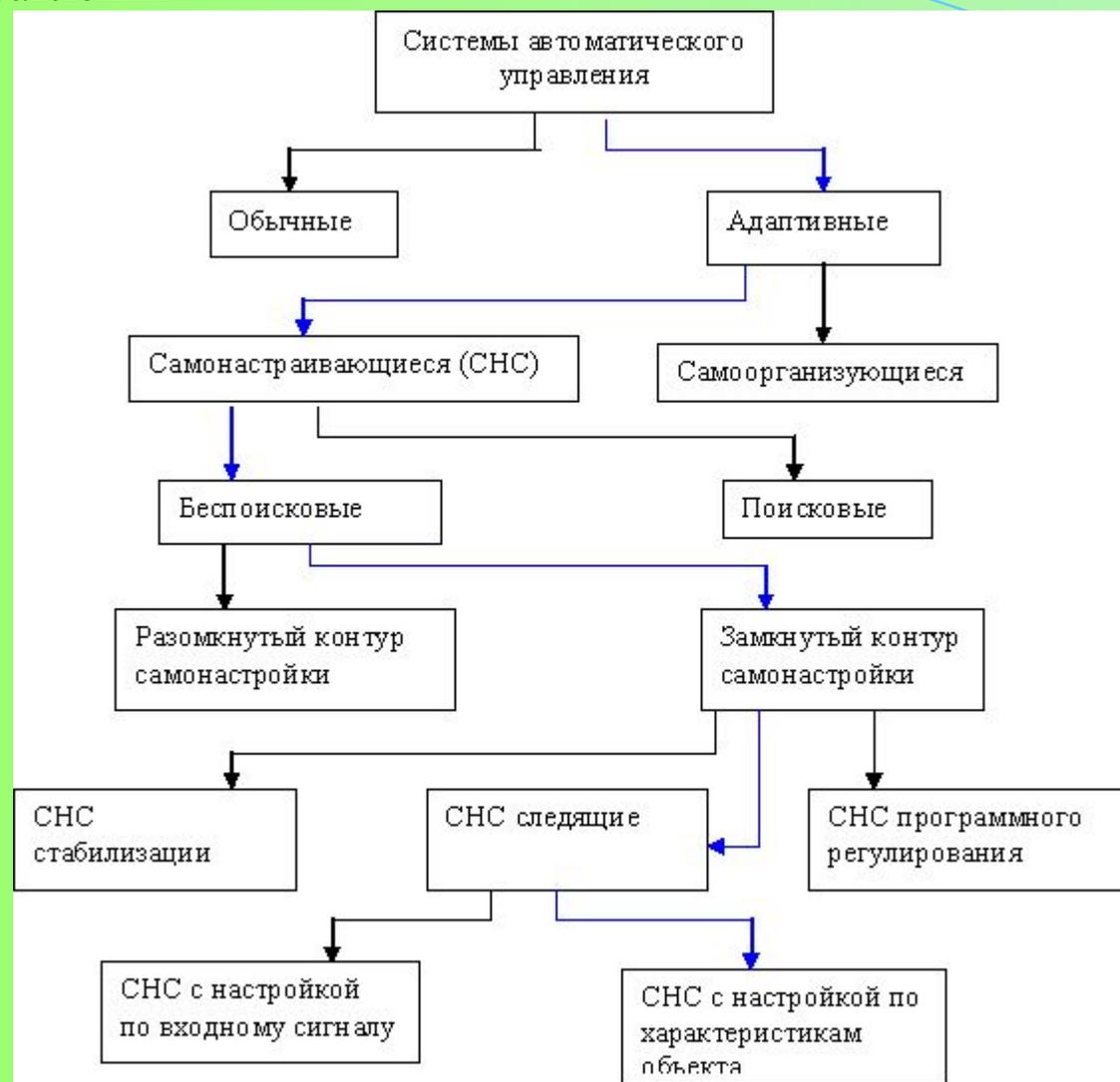
Системы оптимального быстрогодействия



Экстремальная
система
управления

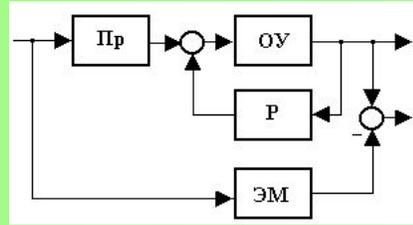


Адаптивные системы управления

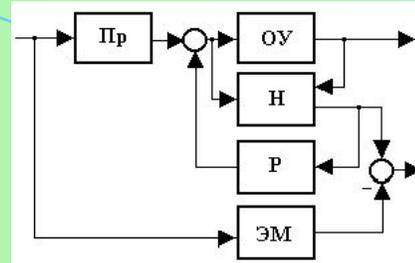


Локальная классификация базовых структур систем управления с эталонной динамикой

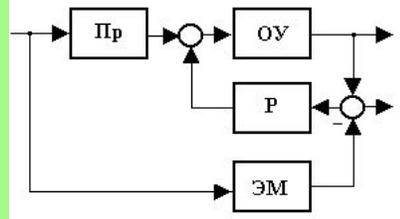
управление по координатам



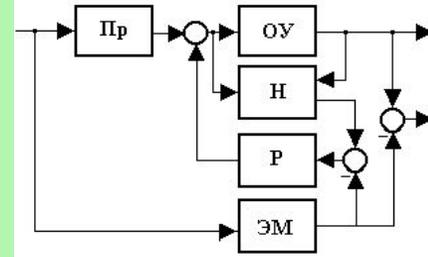
управление по оценкам координат



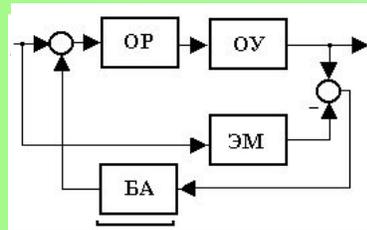
квазиадаптивное управление по координатам



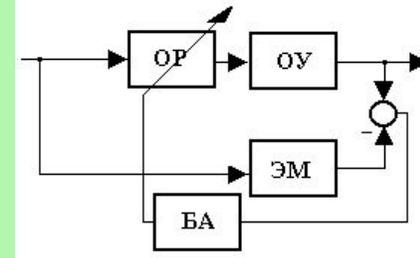
квазиадаптивное управление по оценкам координат



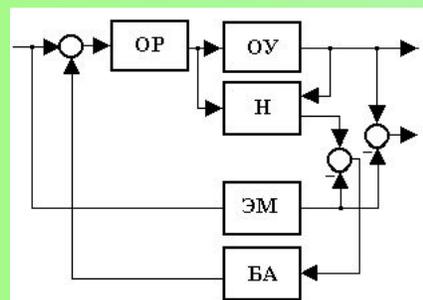
адаптивное управление с сигнальной настройкой (СН)



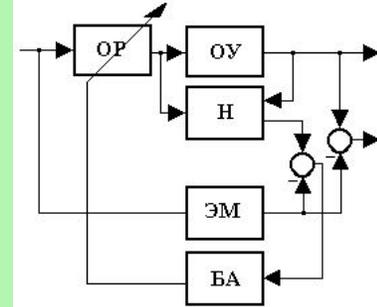
адаптивное управление с параметрической настройкой (ПН);



адаптивное управление по оценкам координат и СН

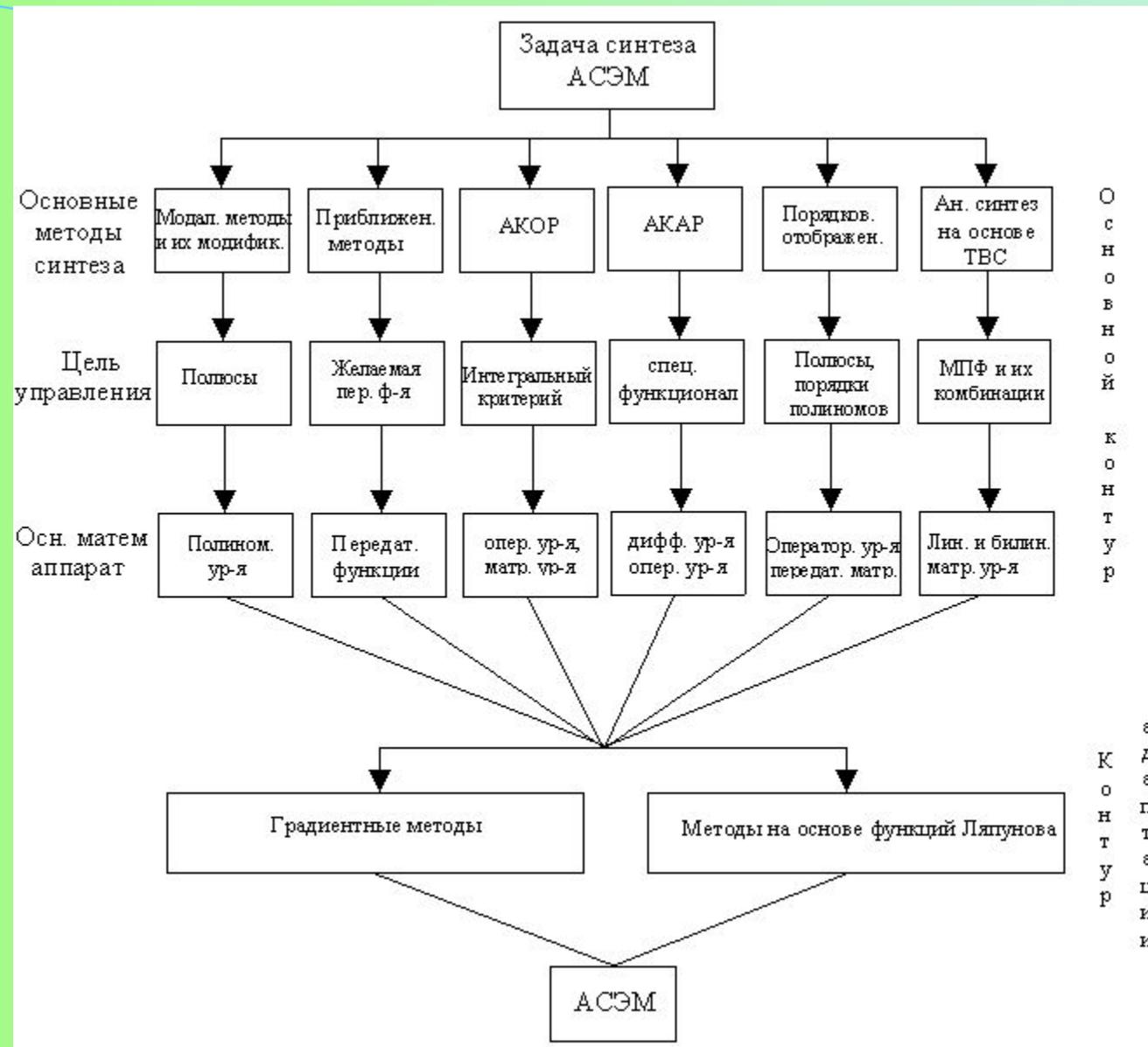


адаптивное управление по оценкам координат и ПН



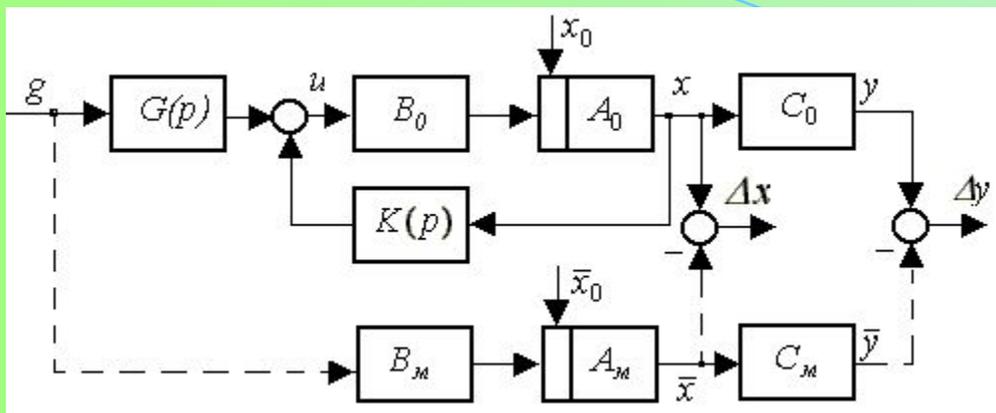
Обозначения:

- ОУ – объект управления;
- Пр – предкомпенсатор;
- Р – регулятор в цепи обратной связи;
- ЭМ – эталонная модель;
- Н – наблюдатель;
- ОР – обобщённый регулятор;
- БА – блок адаптации.



Классификация методов синтеза многомерных адаптивных систем с моделью

Аналитический синтез многомерных линейных систем управления с эталонной моделью на основе технологии вложения систем



$$\Omega = \begin{bmatrix} pI_n - A_0 & 0 & 0 & 0 & -B_0 & 0 \\ 0 & pI_m - A & 0 & 0 & 0 & -B \\ -C_0 & 0 & I_m & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -C_M & 0 & I_m & 0 & 0 \\ K(p) & 0 & 0 & 0 & I_s & -G(p) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I_s \end{bmatrix}$$

$$\Delta x = E_{\Delta x}^0(p)x_0 + E_{\Delta x}^g(p)g = \Delta x_c + \Delta x_e ;$$

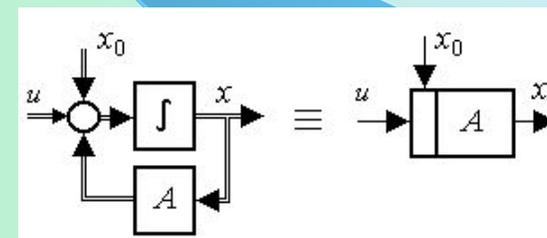
$$(3.1) \quad \Delta x_c = x_c - \bar{x}_c = (E_x^0(p) - E_{\bar{x}}^0(p))x_0 = E_{\Delta x}^0(p)x_0; \quad E_{\Delta x}^0(p) = E_x^0(p) - E_{\bar{x}}^0(p);$$

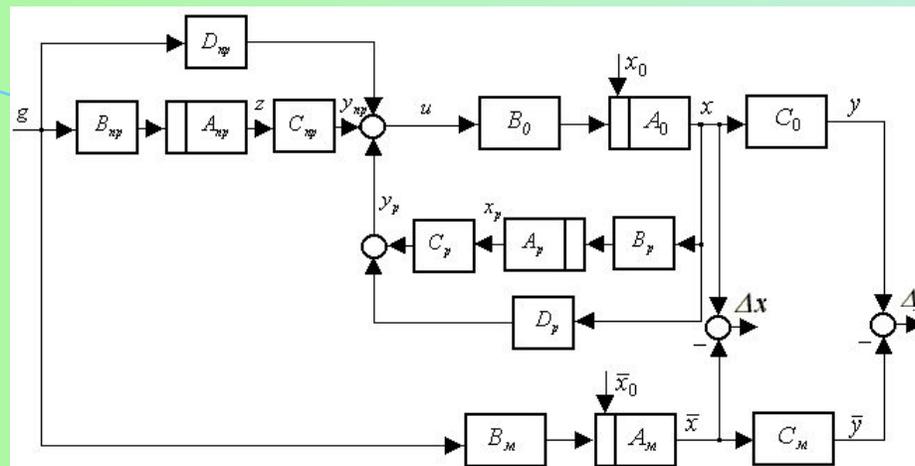
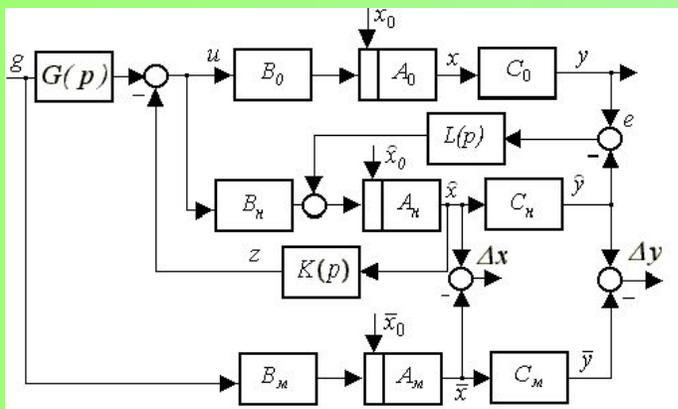
$$\Delta x_e = x_e - \bar{x}_e = (E_x^g(p) - E_{\bar{x}}^g(p))g = E_{\Delta x}^g(p)g; \quad E_{\Delta x}^g(p) = E_x^g(p) - E_{\bar{x}}^g(p),$$

Задача 3.1: для объекта управления, заданного тройкой матриц A_0, B_0, C_0 , цели управления, заданной тройкой матриц A_M, B_M, C_M , и алгоритма управления $G(p)g = u + K(p)x$ требуется найти матричные передаточные функции предкомпенсатора $G(p)$ и регулятора $K(p)$ или условия их определяющие, при которых заданная матричная передаточная функция из (3.1) или их комбинация имеет требуемый вид.

Результаты синтеза:

$\omega \Rightarrow E_{\Delta x}^0(p)$	$\omega \Rightarrow E_{\Delta x}^g(p)$	$\omega \Rightarrow E_{\Delta x}^0, E_{\Delta x}^g$
$\pi_x(pI_n - A_0) + \pi_x B_0 K = I_n$	$\pi_M B_0 G + \pi_{\bar{x}} B = E_{\Delta}^g(p);$	$E_{\Delta x}^0(p)(pI_n - A_0) + E_{\Delta x}^0(p)B_0 K(p) = I_n$
$\pi_{\bar{x}}(pI_n - A) = -I$	$\pi_x(pI_n - A_0 + B_0 K) = I_n;$	$\pi_{\bar{x}2}(pI_n - A) = -I$
$\pi_x = E_{\Delta x}^0(p)$	$\pi_{\bar{x}}(pI_n - A) = -I,$	$\pi_{\bar{x}2} B + E_{\Delta}^0(p)B_0 G(p) = E_{\Delta}^g(p)$

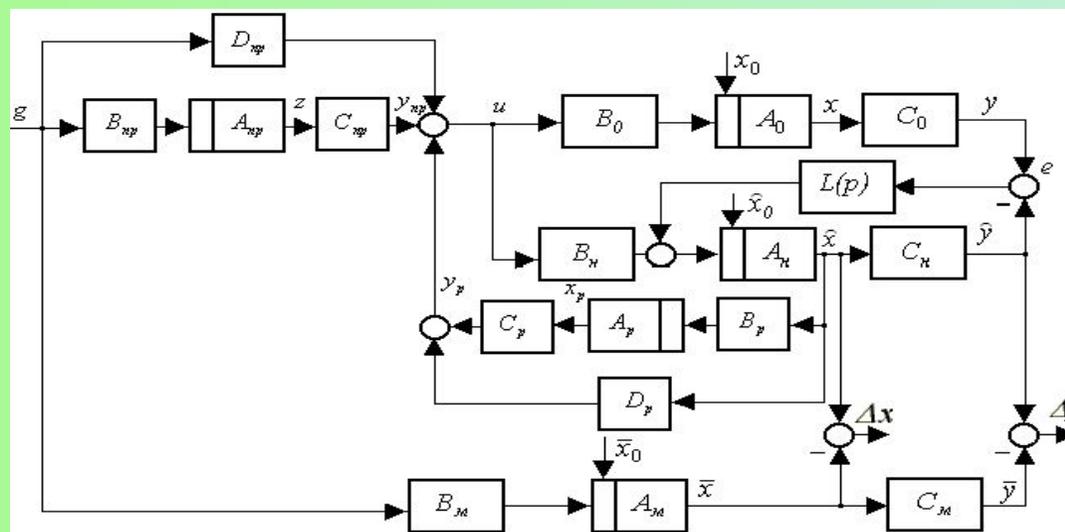




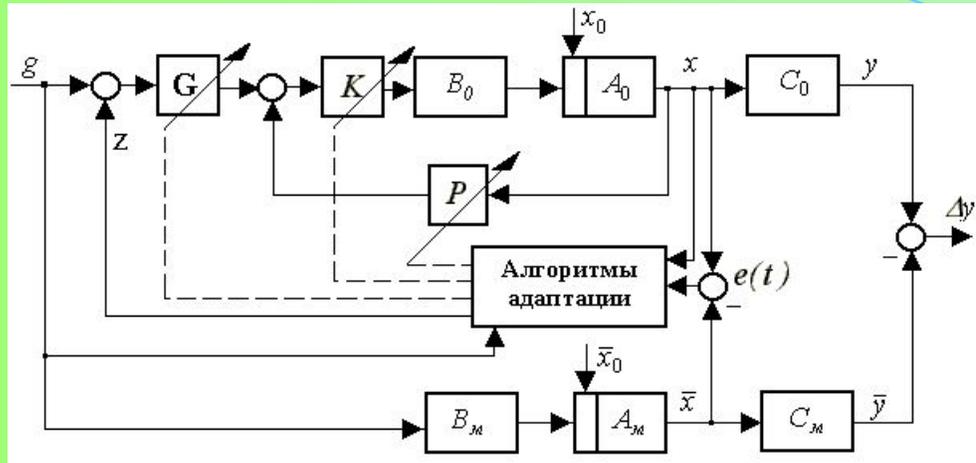
$$\begin{aligned} \dot{x}_p &= A_p x_p + B_p u; \\ y_p &= C_p x_p + D_p u; \\ z &= A_{np} z + B_{np} g; \\ y_{np} &= C_{np} z + D_{np} g; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_p(t_0) &= x_{p0}; & x_p &\in R^r; \\ y_p &\in R^s, \\ z(t_0) &= z_0; & z &\in R^p; \\ y_{np} &\in R^s; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x &\in R^n; \\ g &\in R^l; \end{aligned}$$



Синтез алгоритмов управления беспереисковых многомерных адаптивных систем на основе методов функций Ляпунова и вложения систем



Структурная схема обобщенной адаптивной системы

Синтез контура адаптации. Уравнение ОНО :

$$\dot{e}(t) = A_m e(t) + B_m \delta(t) \Pi(t)$$

$$\delta(t) = [\delta_p(t) \quad \delta_k(t)] \quad \Pi(t) = \begin{bmatrix} x(t) \\ K(t)[g(t) + P(t)x(t)] \end{bmatrix}$$

функция Ляпунова $V = \frac{1}{2} e^T H e + \frac{1}{2} \text{tr}(\delta^T \Gamma^{-1} \delta)$

$$\dot{P}(t) = -\Gamma_1 B_m^T H e x^T(t)$$

$$\dot{K}(t) = -K \Gamma_2 B_m^T H e (g(t) + P x(t))^T (K)^T K$$

$$\Gamma_i = \Gamma_i^T > 0 \quad \Gamma = \text{diag}(\Gamma_1, \Gamma_2) \quad A_m^T H + H A_m = -Q \quad H = H^T > 0$$

Адаптация с ПН.

Синтез основного контура.

Класс возможных эталонных моделей:

$$\langle A_m \rangle_\rho = A_0 + \overline{B_0^L}^R \rho \quad B_m = \overline{B_0^L}^R \nu$$

$$K^*(p) = \overline{B_0} \left[(E_m^0)^{-1} E_e^g + (E_e^0)^{-1} (pI_n - A) B \right],$$

$$P^*(p) = \overline{K}^*(p) \left[\overline{B_0} \left[(E_e^0)^{-1} - (pI_n - A_0) \right] \right]$$

при условиях

$$E_m^g(p) = E_e^0(p) \overline{B_0^L}^R \xi - (pI_n - A) B,$$

$$(E_e^0)^{-1} = (pI_n - A_0) + \overline{B_0^L}^R \rho,$$

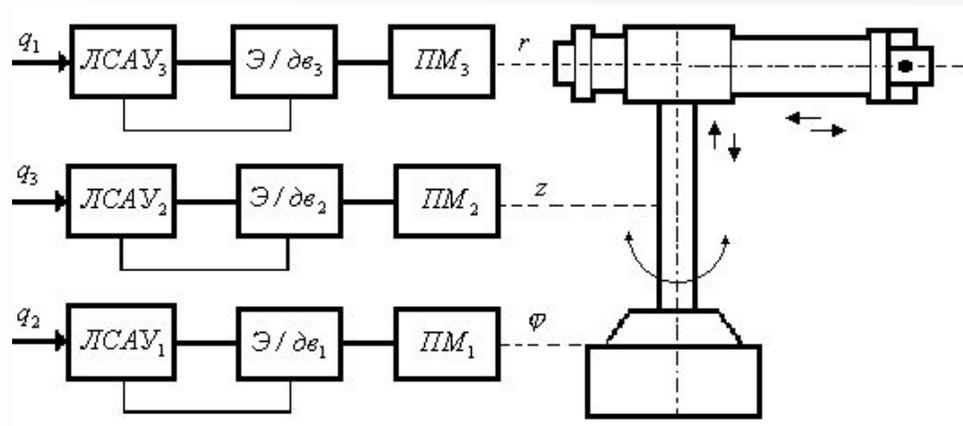
$$\overline{B_0} \left[(E_e^0)^{-1} - (pI_n - A_0) \right] = \overline{K^*(p)}^L \lambda,$$

Классы решений

$$\langle K^*(p) \rangle_\eta = \overline{B_0} \left[(E_m^0)^{-1} E_e^g + (E_e^0)^{-1} (pI_n - A) B \right] + \overline{B}^R \eta(p)$$

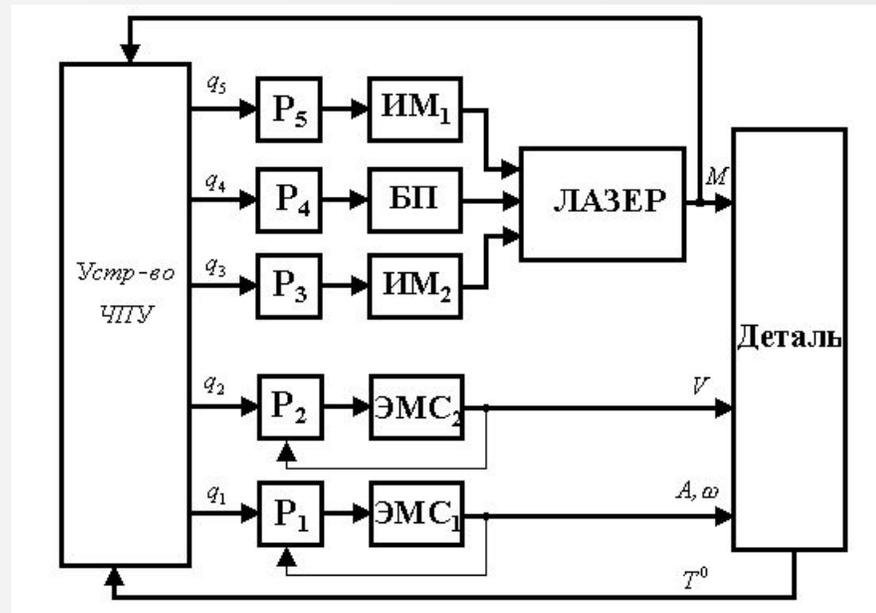
$$\langle P^*(p) \rangle_{\mu, \sigma} = \overline{K}^*(p) \left[\overline{B_0} \left[(E_e^0)^{-1} - (pI_n - A_0) \right] + \overline{B}^R \mu(p) \right] + \overline{K(p)}^R \nu(p)$$

Примеры сложных динамических объектов (СДО)

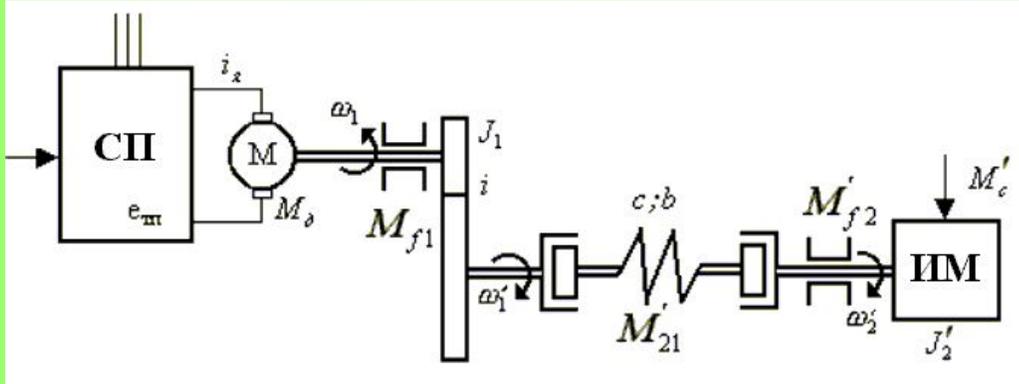


Функциональная схема манипулятора

Система управления лазерным технологическим комплексом



Аналитический синтез многомерного адаптивного регулятора взаимосвязанных электромеханических систем промышленного манипулятора



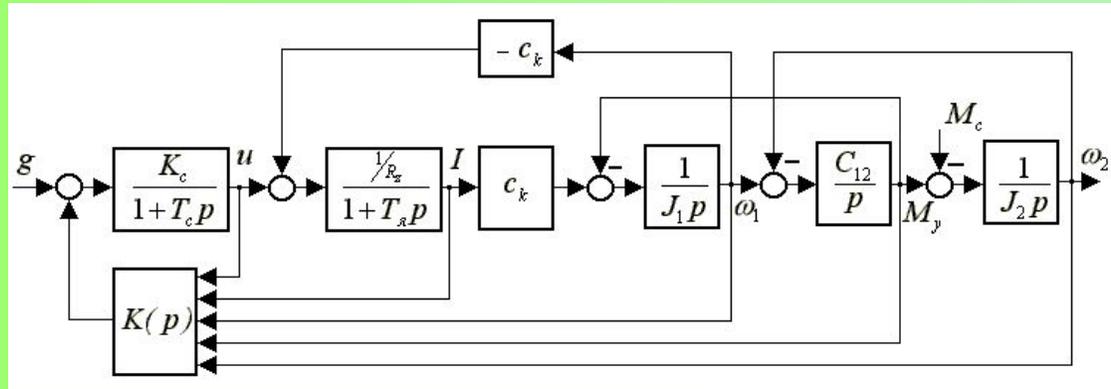
Двухмассовая ЭМС с упругостью для одного канала

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{1}{T_c} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{R_{я\ я} T_{я}} & -\frac{1}{R T_{я\ я}} & -\frac{c_k}{R T_{я\ я}} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{c_k}{J_1} & 0 & -\frac{1}{J_1} & 0 \\ 0 & 0 & C_{12} & 0 & -C_{12} \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{J_2} & 0 \end{bmatrix}$$

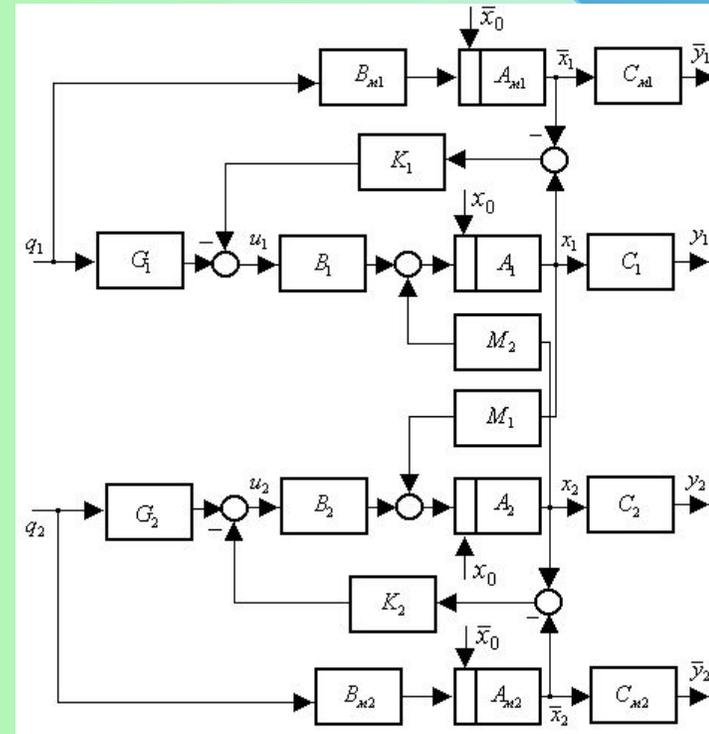
$$B = \begin{bmatrix} \frac{K_c}{T_c} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{J_2} \end{bmatrix}$$

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u \\ I_{я} \\ \omega_1 \\ M_y \\ \omega_2 \end{bmatrix}$$

$$U = \begin{bmatrix} g \\ M_c \end{bmatrix}$$



Структурная схема ЭМС одного канала



Результаты синтеза

$$G(p) = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & G_{23} & G_{24} \\ 0 & 0 & 2 & 0 \\ G_{41} & G_{42} & 0 & 2 \end{bmatrix}$$

$$G_{23} = \frac{-0.0055}{0.0005164p^4 + 0.007433p^3 + 0.066153p^2 + 0.36404p + 1}$$

$$G_{24} = 0.0028 \frac{0.0018408p^3 + 0.025666p^2 + 0.21188p + 1}{0.0005164p^4 + 0.007433p^3 + 0.066153p^2 + 0.36404p + 1}$$

$$G_{41} = \frac{0.0055}{0.00079691p^4 + 0.014185p^3 + 0.12625p^2 + 0.5618p + 1}$$

$$G_{42} = 0.0039 \frac{0.0020p^3 + 0.035728p^2 + 0.29676p + 1}{0.014185p^3 + 0.12625p^2 + 0.5618p + 1}$$

$$K = \begin{bmatrix} 0.00143 & 0.00286 & 0.00428 & 0.00571 & 0.00714 & 0.00143 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.1 & -0.15 & -0.2 & -0.25 & 0 & 0 & -0.05 & 0 & 0 & 0 \\ 0.00428 & 0.00571 & 0.00714 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.00143 & 0 & 0 \\ -0.2 & -0.25 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.05 & 0 \end{bmatrix}$$



Рис. 3. Автономный вертолет Yamaha R-MAX и структура его системы управления