

Управление промышленными мехатронными системами

Объем занятий:

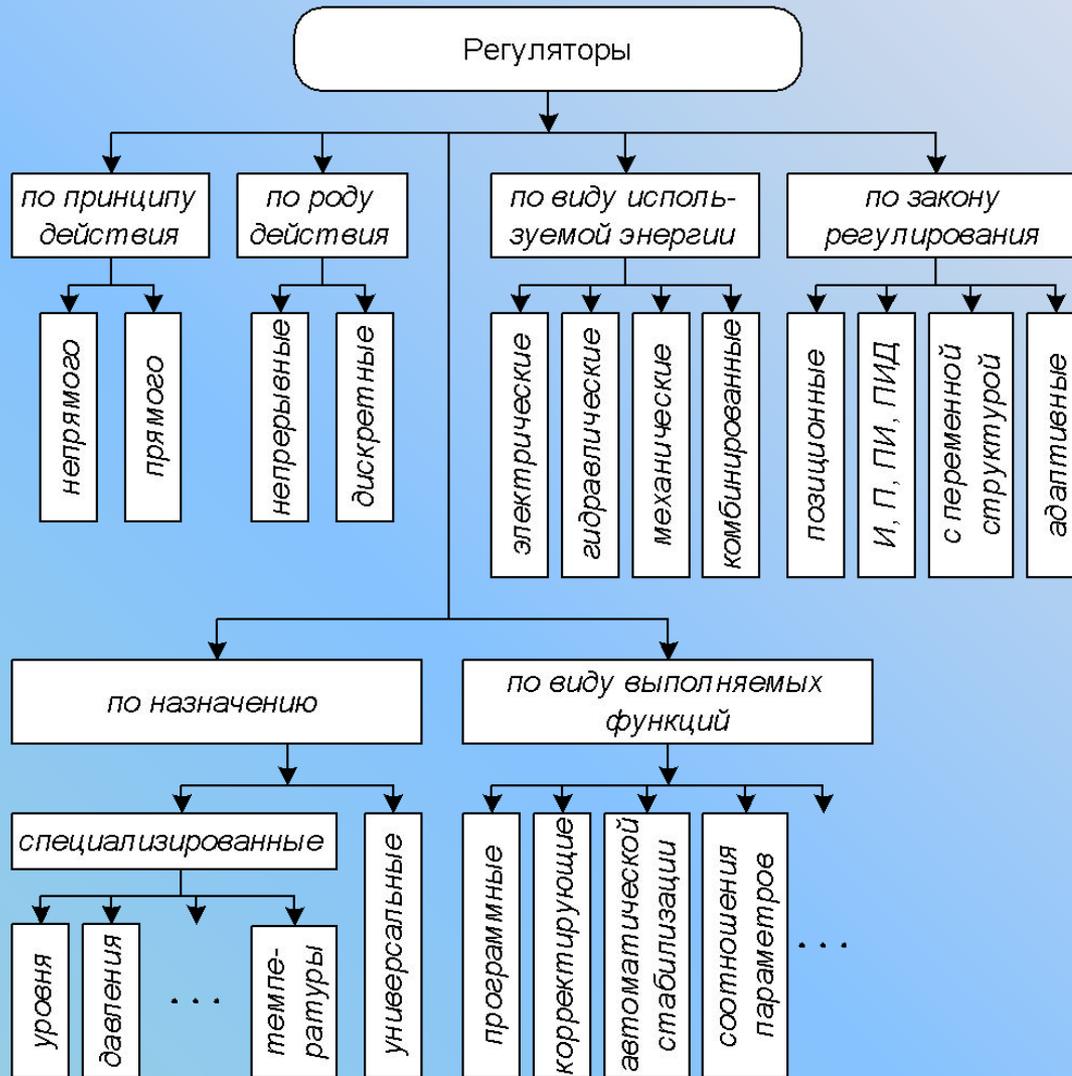
18 часов лекций,
54 часов практических занятия,
экзамен.

Храмшин Вадим Рифхатович

8. РЕГУЛЯТОРЫ В МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

8. РЕГУЛЯТОРЫ В МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Классификация регуляторов



8. РЕГУЛЯТОРЫ В МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Выбор типа регулятора

Для выбора типа регулятора и определения его настройки необходимо знать:

- статические и динамические характеристики объекта регулирования;
- требования к качеству процесса регулирования;
- характер возмущающих воздействий, действующих на объект регулирования.

Минимальное время регулирования

Закон регулирования	П	ПИ	ПИД
$T_{рег} / \tau$	6,5	12	7

ПИ регулятор, обладает следующими достоинствами:

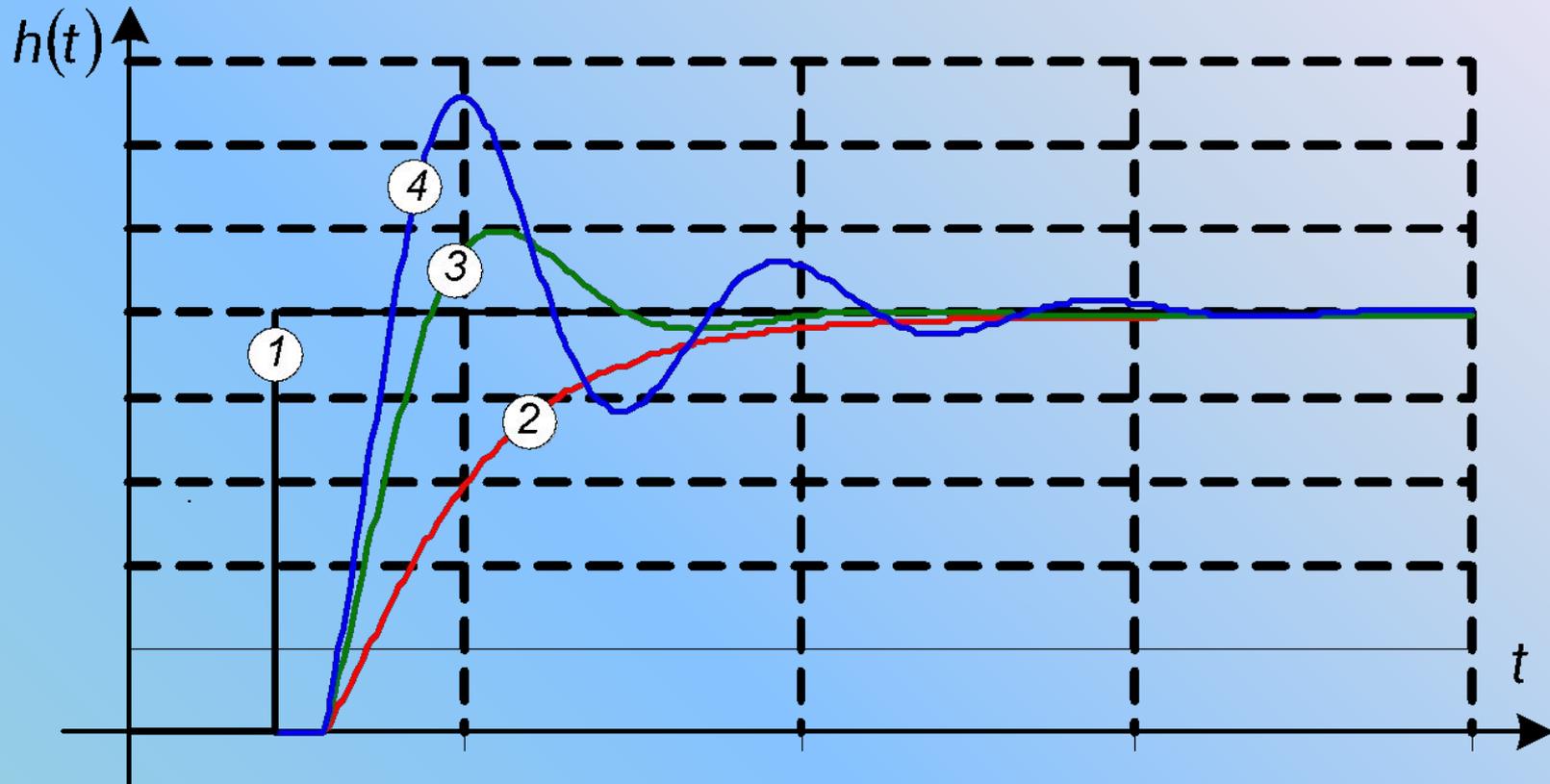
- обеспечивает нулевую статическую ошибку регулирования;
- сравнительно прост в настройке, так как настраиваются только два параметра – коэффициент усиления k и постоянная интегрирования T_I ;
- в регуляторе имеется возможность оптимизации $k/T_I \rightarrow \max$, что обеспечивает управление с минимально возможной среднеквадратичной ошибкой регулирования;
- малая чувствительность к шумам в канале измерения (в отличие от ПИД регулятора).

8. РЕГУЛЯТОРЫ В МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Тип регулятора	Типовой процесс регулирования		
	апериодический	с 20 % перерегулированием	минимум интегрального критерия качества*
Статический объект регулирования			
П	$K_{\text{П}} = \frac{0,3 \cdot T}{k \cdot \tau}$	$K_{\text{П}} = \frac{0,7 \cdot T}{k \cdot \tau}$	$K_{\text{П}} = \frac{0,9 \cdot T}{k \cdot \tau}$
ПИ	$K_{\text{П}} = \frac{0,6 \cdot T}{k \cdot \tau}$, $T_{\text{И}} = 0,6 \cdot T$	$K_{\text{П}} = \frac{0,7 \cdot T}{k \cdot \tau}$, $T_{\text{И}} = 0,7 \cdot T$	$K_{\text{П}} = \frac{T}{k \cdot \tau}$, $T_{\text{И}} = T$
ПИД	$K_{\text{П}} = \frac{0,95 \cdot T}{k \cdot \tau}$, $T_{\text{И}} = 2,4 \cdot \tau$, $T_{\text{Д}} = 4,4 \cdot \tau$	$K_{\text{П}} = \frac{1,2 \cdot T}{k \cdot \tau}$, $T_{\text{И}} = 2 \cdot \tau$, $T_{\text{Д}} = 0,4 \cdot \tau$	$K_{\text{П}} = \frac{1,4 \cdot T}{k \cdot \tau}$, $T_{\text{И}} = 1,3 \cdot \tau$, $T_{\text{Д}} = 0,5 \cdot \tau$
Астатический объект регулирования			
П	$K_{\text{П}} = \frac{0,4 \cdot T}{\tau}$	$K_{\text{П}} = \frac{0,7 \cdot T}{\tau}$	-
ПИ	$K_{\text{П}} = \frac{0,4 \cdot T}{\tau}$, $T_{\text{И}} = 6 \cdot T$	$K_{\text{П}} = \frac{0,7 \cdot T}{\tau}$, $T_{\text{И}} = 3 \cdot T$	$K_{\text{П}} = \frac{T}{\tau}$, $T_{\text{И}} = 4 \cdot T$
ПИД	$K_{\text{П}} = \frac{0,6 \cdot T}{\tau}$, $T_{\text{И}} = 5 \cdot \tau$, $T_{\text{Д}} = 0,2 \cdot \tau$	$K_{\text{П}} = \frac{1,1 \cdot T}{\tau}$, $T_{\text{И}} = 2 \cdot \tau$, $T_{\text{Д}} = 0,4 \cdot \tau$	$K_{\text{П}} = \frac{1,4 \cdot T}{\tau}$, $T_{\text{И}} = 1,6 \cdot \tau$, $T_{\text{Д}} = 0,5 \cdot \tau$

Определение параметров регуляторов для различных типовых процессов регулирования

8. РЕГУЛЯТОРЫ В МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

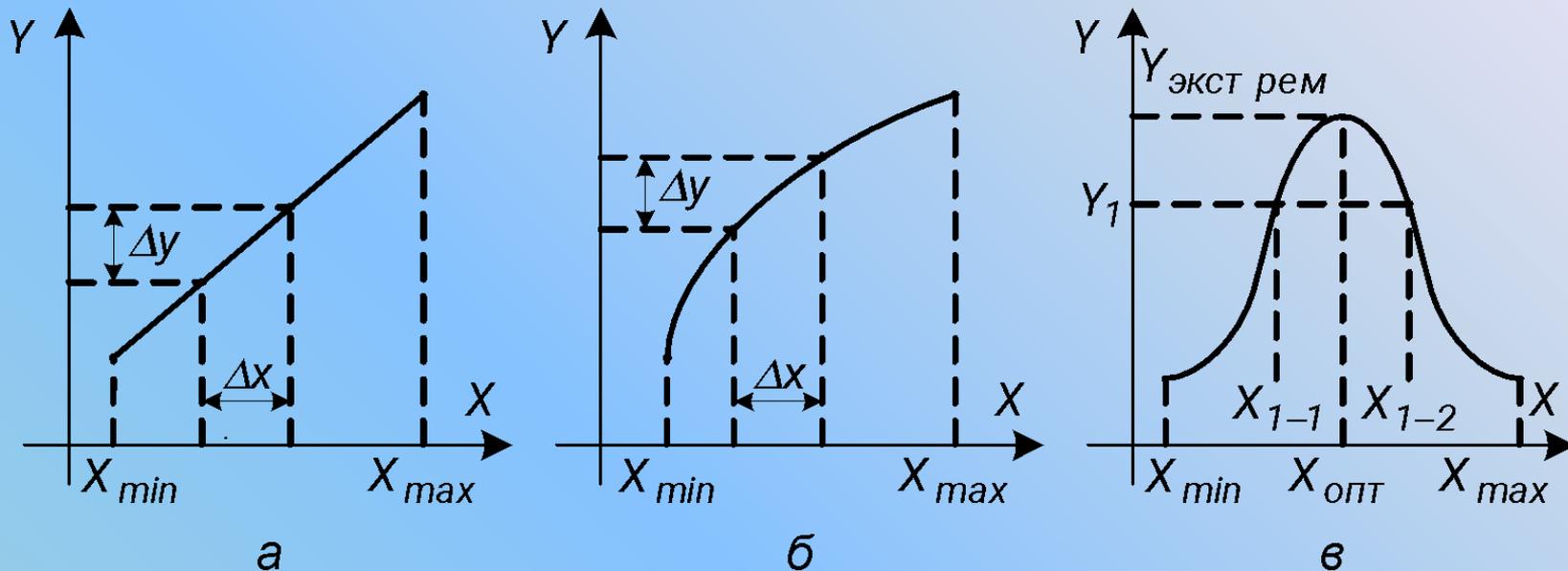


Графики типовых переходных процессов

8. РЕГУЛЯТОРЫ В МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Идентификация элементов мехатронных систем

Статические характеристики объекта управления



Вид статических характеристик объектов управления

$$\frac{\Delta y}{\Delta x} = k = \text{const}$$

$$Y = Y_0 + k \cdot \Delta x$$

$$\frac{\Delta y}{\Delta x} = k = f(X)$$

8. РЕГУЛЯТОРЫ В МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Линеаризация нелинейной зависимости $Y = f(X)$ в ряд Тейлора для точки исходного состояния X_0

$$Y = f(X_0) + \Delta x \cdot \frac{f'(X_0)}{1} + \Delta x^2 \cdot \frac{f''(X_0)}{2} + \dots + \Delta x^n \cdot \frac{f^{(n)}(X_0)}{n!}$$

Для большинства промышленных объектов $Y = f(X_0) + \Delta x \cdot \frac{f'(X_0)}{1}$

Поскольку $f'(X_0) = Y_0 \cdot f'(X_0) = \frac{dy}{dx}$

то $f'(X_0) = k \cdot \Delta x$ $Y = Y_0 + k \cdot \Delta x$

Экстремальные статические характеристики можно отнести к существенно нелинейным характеристикам, коэффициент передачи которых меняет свой знак при изменении входного параметра в допустимых пределах.

$$Y_1 = f(X_{1-1}) = f(X_{1-2})$$

8. РЕГУЛЯТОРЫ В МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Линия регрессии $Y'(X) = a + b \cdot X + c \cdot X^2 + \dots + q \cdot X^n$

Близость каждой экспериментальной точки к линии регрессии $Y / (X)$ измеряется отрезком ординаты

$$\Delta Y_i = Y_i - Y'(X_i)$$

Расчет коэффициентов линии регрессии методом наименьших квадратов основан на соблюдении условия

$$\sum_{i=1}^n [Y_i - Y'(X_i)]^2 \rightarrow \min$$

Для линии регрессии линейной зависимости $Y / (X) = a + b \cdot X$ это выражение приводится к виду

$$S(a, b) = \sum_{i=1}^n [Y_i - Y'(X_i)]^2 = \sum_{i=1}^n [Y_i - (a + b \cdot X_i)]^2 \rightarrow \min$$

Величины коэффициентов a и b уравнения, удовлетворяющие условиям минимума функции $S(a, b)$ могут быть определены из уравнений

$$\frac{dS(a, b)}{da} = 0 \quad \frac{dS(a, b)}{db} = 0$$

8. РЕГУЛЯТОРЫ В МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

$$S(a,b) = \sum_{i=1}^n Y_i^2 - 2 \cdot a \cdot Y_i - 2 \cdot b \cdot Y_i \cdot X_i + a^2 + 2 \cdot a \cdot b \cdot X_i + b^2 \cdot X_i^2$$

$$\frac{dS(a,b)}{da} = \sum_{i=1}^n (-2 \cdot Y_i) + \sum_{i=1}^n 2 \cdot a + \sum_{i=1}^n 2 \cdot b \cdot X_i = 0$$

$$\frac{dS(a,b)}{db} = \sum_{i=1}^n (-2 \cdot Y_i \cdot X_i) + \sum_{i=1}^n 2 \cdot a \cdot X_i + \sum_{i=1}^n 2 \cdot b \cdot X_i^2 = 0$$

Тогда для нахождения значений коэффициентов a и b регрессии линейной зависимости можно записать систему уравнений

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^n Y_i &= n \cdot a + b \cdot \sum_{i=1}^n X_i \\ \sum_{i=1}^n Y_i \cdot X_i &= a \cdot \sum_{i=1}^n X_i + b \cdot \sum_{i=1}^n X_i^2 \end{aligned} \right\}$$

8. РЕГУЛЯТОРЫ В МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Пример 1.

Для изготовления пластиковых емкостей на автоматическом формующем прессе существует обратная пропорциональная зависимость между давлением сжатого воздуха в магистрали и толщиной стенки формуемого изделия. При построении АСУ ТП такого пресса возникают вопросы:

- какая будет толщина стенок формуемого изделия при постоянном давлении воздуха;

- каким должно быть давление воздуха для привода формующего пресса, чтобы получить заданную толщину стенки?

№	Давление, P_i	Толщина, h_i	$P_i \cdot h_i$	P_i^2
1	8,0	4,62	36,96	64,00
2	8,5	4,12	35,02	72,25
3	9,0	3,21	28,29	81,00
4	9,5	2,86	27,17	90,25
5	10,0	1,83	18,30	100,0
6	8,0	4,5	36,00	64,0
7	8,5	3,88	32,98	72,25
8	9,0	3,05	27,45	81,00
9	9,5	2,53	24,04	90,25
10	10,0	2,02	20,20	100,0
11	8,0	4,43	35,44	64,0
12	8,5	4,01	34,09	72,25
13	9,0	3,16	28,44	81,0
14	9,5	2,71	25,74	90,25
15	10,0	2,24	22,40	100,0
16	8,0	4,81	38,48	64,00
17	8,5	3,67	31,20	72,25
18	9,0	3,30	31,50	81,00
19	9,5	2,62	24,89	90,25
20	10,0	1,95	19,50	100,0
Σ	180	65,52	576,88	1630

8. РЕГУЛЯТОРЫ В МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Учитывая, что $P_i = X_i$, $h_i = Y_i$ и подставив их значения из табл. в систему для определения коэффициентов a и b получим

$$\left. \begin{aligned} 65,52 &= 20 \cdot a + 180 \cdot b \\ 576,88 &= 180 \cdot a + 1630 \cdot b \end{aligned} \right\}.$$

Откуда $b = -1,28$, $a = 14,796$.

В итоге искомая зависимость будет иметь вид
 $h = 14,796 - 1,28 \cdot P$.

Для линии регрессии $Y / (X) = a + b \cdot X + c \cdot X^2$

$$S(a, b, c) = \sum_{i=1}^n \left[Y_i - (a + b \cdot X_i + c \cdot X_i^2) \right]^2 \rightarrow \min$$

По аналогии с предыдущим случаем коэффициенты a , b и c могут быть определены из уравнений

$$\frac{dS(a, b, c)}{da} = 0, \quad \frac{dS(a, b, c)}{db} = 0, \quad \frac{dS(a, b, c)}{dc} = 0$$

8. РЕГУЛЯТОРЫ В МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

$$S(a,b,c) = \sum_{i=1}^n Y_i^2 - 2 \cdot a \cdot Y_i - 2 \cdot b \cdot Y_i \cdot X_i - 2 \cdot c \cdot Y_i \cdot X_i^2 + a^2 + 2 \cdot a \cdot b \cdot X_i + \\ + 2 \cdot a \cdot c \cdot X_i^2 + b^2 \cdot X_i^2 + 2 \cdot b \cdot c \cdot X_i^3 + c^2 \cdot X_i^4$$

$$\frac{dS(a,b,c)}{da} = \sum_{i=1}^n (-2 \cdot Y_i) + \sum_{i=1}^n 2 \cdot a + \sum_{i=1}^n 2 \cdot b \cdot X_i + \sum_{i=1}^n 2 \cdot c \cdot X_i^2 = 0 ;$$

$$\frac{dS(a,b,c)}{db} = \sum_{i=1}^n (-2 \cdot Y_i \cdot X_i) + \sum_{i=1}^n 2 \cdot a \cdot X_i + \sum_{i=1}^n 2 \cdot b \cdot X_i^2 + \sum_{i=1}^n 2 \cdot c \cdot X_i^3 = 0 ;$$

$$\frac{dS(a,b,c)}{dc} = \sum_{i=1}^n (-2 \cdot Y_i \cdot X_i^2) + \sum_{i=1}^n 2 \cdot a \cdot X_i^2 + \sum_{i=1}^n 2 \cdot b \cdot X_i^3 + \sum_{i=1}^n 2 \cdot c \cdot X_i^4 = 0 ,$$

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^n Y_i &= n \cdot a + b \cdot \sum_{i=1}^n X_i + c \cdot \sum_{i=1}^n X_i^2 \\ \sum_{i=1}^n Y_i \cdot X_i &= a \cdot \sum_{i=1}^n X_i + b \cdot \sum_{i=1}^n X_i^2 + c \cdot \sum_{i=1}^n X_i^3 \\ \sum_{i=1}^n Y_i \cdot X_i^2 &= a \cdot \sum_{i=1}^n X_i^2 + b \cdot \sum_{i=1}^n X_i^3 + c \cdot \sum_{i=1}^n X_i^4 \end{aligned} \right\}$$

8. РЕГУЛЯТОРЫ В МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Совместный анализ выражений, используемых для расчета коэффициентов линий регрессии 1-го и 2-го порядка, позволяет выявить аналогию и составить системы и для уравнений более высоких порядков. Так для уравнения $Y / (X) = a + b \cdot X + c \cdot X^2 + d \cdot X^3$ коэффициенты могут быть определены из системы

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^n Y_i &= n \cdot a + b \cdot \sum_{i=1}^n X_i + c \cdot \sum_{i=1}^n X_i^2 + d \cdot \sum_{i=1}^n X_i^3 \\ \sum_{i=1}^n Y_i \cdot X_i &= a \cdot \sum_{i=1}^n X_i + b \cdot \sum_{i=1}^n X_i^2 + c \cdot \sum_{i=1}^n X_i^3 + d \cdot \sum_{i=1}^n X_i^4 \\ \sum_{i=1}^n Y_i \cdot X_i^2 &= a \cdot \sum_{i=1}^n X_i^2 + b \cdot \sum_{i=1}^n X_i^3 + c \cdot \sum_{i=1}^n X_i^4 + d \cdot \sum_{i=1}^n X_i^5 \\ \sum_{i=1}^n Y_i \cdot X_i^3 &= a \cdot \sum_{i=1}^n X_i^3 + b \cdot \sum_{i=1}^n X_i^4 + c \cdot \sum_{i=1}^n X_i^5 + d \cdot \sum_{i=1}^n X_i^6 \end{aligned} \right\}$$

8. РЕГУЛЯТОРЫ В МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Пример 2. Рассчитать уравнение регрессии статической характеристики технологического агрегата с постоянным притоком тепла и регулированием температуры рабочего пространства путем вдувания атмосферного воздуха.

Экспериментально были получены следующие значения температур рабочего пространства при различной степени открытия поворотного клапана, регулирующего подачу охлаждающего воздуха температурой 20°C в рабочее пространство.

8. РЕГУЛЯТОРЫ В МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

№	Угол поворота вала X_i , %	Температура, Y_i , °C	X_i^2	X_i^3	X_i^4	$X_i \cdot Y_i$	$X_i^2 \cdot Y_i$
1	0	700					
2	10	580	100	1000	100000	5800	58000
3	20	510	400	8000	16000	10200	204000
4	30	460	900	27000	810000	13800	414000
5	40	410	1600	64000	250000	16400	656000
6	50	370	2500	125000	6250000	18500	925000
7	60	330	3600	216000	12960000	19800	1188000
8	70	300	4900	343000	24010000	21000	1450000
9	80	290	6400	512000	40960000	23200	1856000
10	90	280	8100	729000	65610000	25200	2268000
11	100	ход механизма ограничен диапазоном 0...90%					
Σ	450	4230	28500	2025000	153330000	153900	9039000

8. РЕГУЛЯТОРЫ В МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Получим систему уравнений

$$\left. \begin{aligned} 4230 &= 10 \cdot a + 450 \cdot b + 28500 \cdot c \\ 153900 &= 450 \cdot a + 28500 \cdot b + 2025000 \cdot c \\ 9039000 &= 28500 \cdot a + 2025000 \cdot b + 153330000 \cdot c \end{aligned} \right\},$$

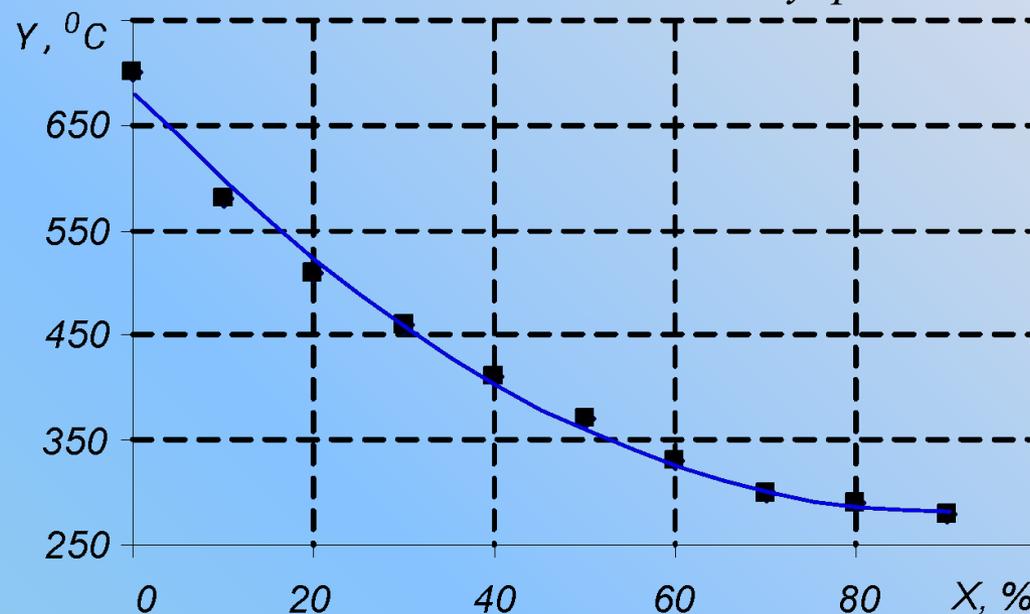
решение которой дает значения коэффициентов

$$a = 681,5, \quad b = -8,92, \quad c = 0,05.$$

Тогда искомое уравнение будет

$$Y(X) = 681,5 - 8,92 \cdot X + 0,05 \cdot X^2.$$

Статическая характеристика объекта управления



8. РЕГУЛЯТОРЫ В МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Динамические характеристики объекта управления

$$\begin{aligned}
 & a_n \cdot \frac{d^n Y}{dt^n} + a_{n-1} \cdot \frac{d^{n-1} Y}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \cdot \frac{dY}{dt} + a_0 = \\
 & = b_m \cdot \frac{d^m X}{dt^m} + b_{m-1} \cdot \frac{d^{m-1} X}{dt^{m-1}} + \dots + b_1 \cdot \frac{dX}{dt} + b_0,
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & (a_n \cdot p^n + a_{n-1} \cdot p^{n-1} + \dots + a_1 \cdot p + a_0) \cdot Y = \\
 & = (b_m \cdot p^m + b_{m-1} \cdot p^{m-1} + \dots + b_1 \cdot p + b_0) \cdot X
 \end{aligned}$$

Тогда передаточная функция объекта управления принимает вид

$$W_{об}(p) = \frac{Y}{X} = \frac{a_n \cdot p^n + a_{n-1} \cdot p^{n-1} + \dots + a_1 \cdot p + a_0}{b_m \cdot p^m + b_{m-1} \cdot p^{m-1} + \dots + b_1 \cdot p + b_0}$$

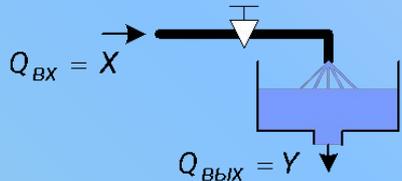
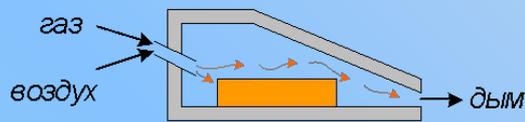
8. РЕГУЛЯТОРЫ В МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Различают следующие динамические характеристики:

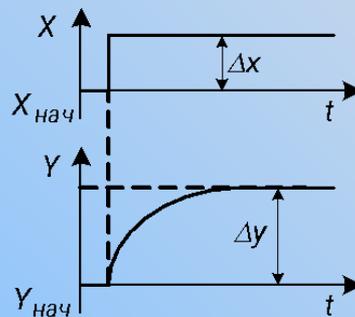
- кривая разгона (переходная функция), представляющая собой реакцию объекта на однократное скачкообразное управляющее воздействие;
- импульсная характеристика, являющаяся реакцией объекта на воздействие в форме импульса;
- частотные характеристики, представляющие собой реакцию объекта на гармонический входной сигнал постоянной амплитуды и различной частоты.

По виду кривой разгона все реальные объекты управления можно разделить на три вида: статические (с самовыравниванием), астатические (без самовыравнивания) и с запаздыванием.

8. РЕГУЛЯТОРЫ В МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

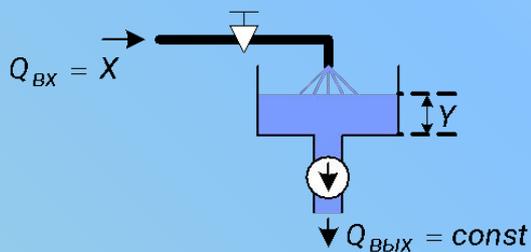


а

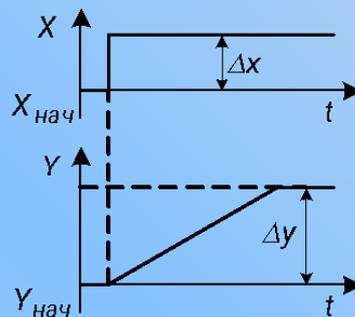


Примеры объектов управления различного вида и соответствующие им траектории кривых разгона:

а – статический объект с самовыравниванием;

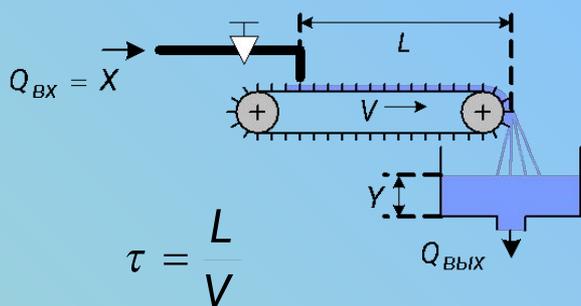


б



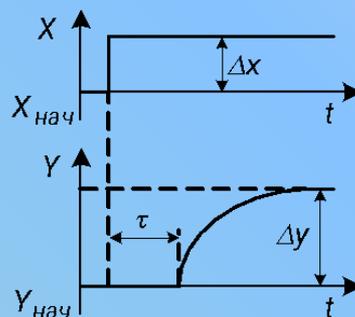
б – астатический объект без самовыравнивания;

в – статический объект с запаздыванием и с самовыравниванием



$$\tau = \frac{L}{V}$$

в



8. РЕГУЛЯТОРЫ В МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Объекты первого порядка

$$W_{об}(p) = \frac{k}{T \cdot p + 1}$$

$$k = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

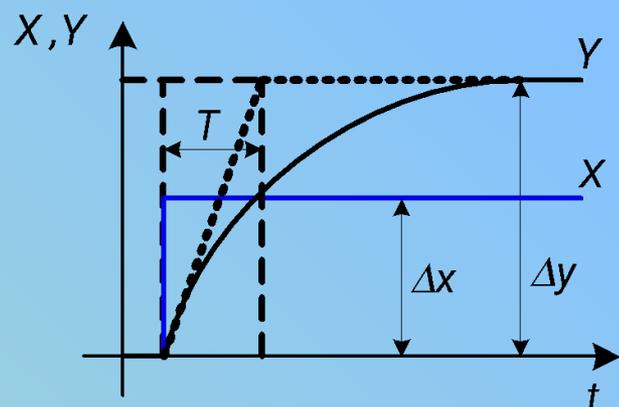
Объекты второго порядка

$$W_{об}(p) = \frac{k}{T_2 \cdot p^2 + T_1 \cdot p + 1} \quad k = \frac{Y}{X} \Big|_{t \rightarrow \infty}$$

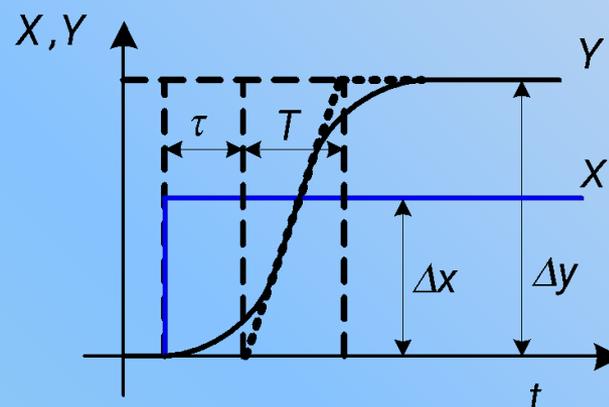
$$T_1 = \frac{1}{Y(\infty)} \cdot \int_{t=0}^{\infty} [Y(\infty) - Y(t)] \cdot dt = \frac{1}{Y(\infty)} \cdot J_1$$

$$T_2 = \frac{1}{Y(\infty)} \cdot \left\{ T_1 \cdot \int_{t=0}^{\infty} [Y(\infty) - Y(t)] \cdot dt - \int_{t=0}^{\infty} \int_{t=0}^{\infty} [Y(\infty) - Y(t)] \cdot dt^2 \right\} =$$

$$= \frac{1}{Y(\infty)} \cdot (T_1 \cdot J_1 - J_2)$$



а



б

Кривые разгона статических объектов с самовыравниванием первого (а) и второго (б) рода

8. РЕГУЛЯТОРЫ В МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Пример 3. Необходимо определить коэффициенты передаточной функции объекта управления по экспериментальной переходной характеристике температуры поверхности металла во второй сварочной зоне четырехзонной методической печи, заданной таблично. Температура поверхности (точнее слоя окалины) измерялась пирометром полного излучения, способным фиксировать всплески тепловой радиации факела. Заданы $\tau = 4 \text{ с}$, $T = 19 \text{ с}$ и $k = 0,87 \text{ }^\circ\text{C}/\%$

Время, с	Интервал времени разбиения Δt , с	Выходная величина Y	$Y(\infty) - Y(t)$	$\{[Y(\infty) - Y(t_i)] + [Y(\infty) - Y(t_{i+1})]\} / 2 * \Delta t_i$
1	2	3	4	5
4	7,5	0,00	0,89	4,95
11,5	9,5	0,46	0,43	3,18
20	10	0,65	0,24	1,85
30	10	0,76	0,13	0,9
40	10	0,84	0,05	0,35
50	10	0,87	0,02	0,15
60	20	0,88	0,01	0,1
80	-	0,89	0	0

8. РЕГУЛЯТОРЫ В МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Время, с	$J_1 = \sum 5i, i=k...m$	$[J_{1(i)} + J_{1(i+1)}] / 2 * \Delta t_i$	$J_2 = \sum 7i, i=k...m$
1	6	7	8
4	11,78	69,79	165,84
11,5	6,83	49,78	96,05
20	3,65	27,25	48,25
30	1,8	12,00	19,
40	0,6	4,25	7
50	0,25	1,75	2,75
60	0,1	1,0	1,0
80	0	0	0

Таким образом, значения коэффициентов передаточной функции определяется:

$$k = \frac{Y(\infty)}{X(\infty)} = \frac{0,89}{1} = 0,89,$$

$$T_1 = \frac{1}{Y(\infty)} \cdot J_1 = \frac{1}{0,89} \cdot 11,78 = 13,23,$$

$$T_2 = \frac{1}{Y(\infty)} \cdot (T_1 \cdot J_1 - J_2) = \frac{1}{0,89} \cdot (11,78 \cdot 13,23 - 165,84) = 11,14,$$

а передаточная функция будет иметь вид

$$W_{об}(p) = \frac{0,89}{11,14 \cdot p^2 + 13,23 \cdot p + 1}.$$

8. РЕГУЛЯТОРЫ В МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Экспериментальные методы настройки регуляторов

Метод незатухающих колебаний (выведение системы на границу колебательной устойчивости)

- для П регулятора

$$K = 0,55 \cdot K_{кр} ;$$

- для ПИ регулятора

$$K = 0,45 \cdot K_{кр} , T_{И} = \frac{T_{кр}}{1,2} ;$$

- для ПИД регулятора

$$K = 0,6 \cdot K_{кр} , T_{И} = \frac{T_{кр}}{2} , T_{Д} = \frac{T_{кр}}{8} .$$

Метод затухающих колебаний (с декрементом затухания $\varepsilon = \frac{1}{4}$)

- для ПИ регулятора

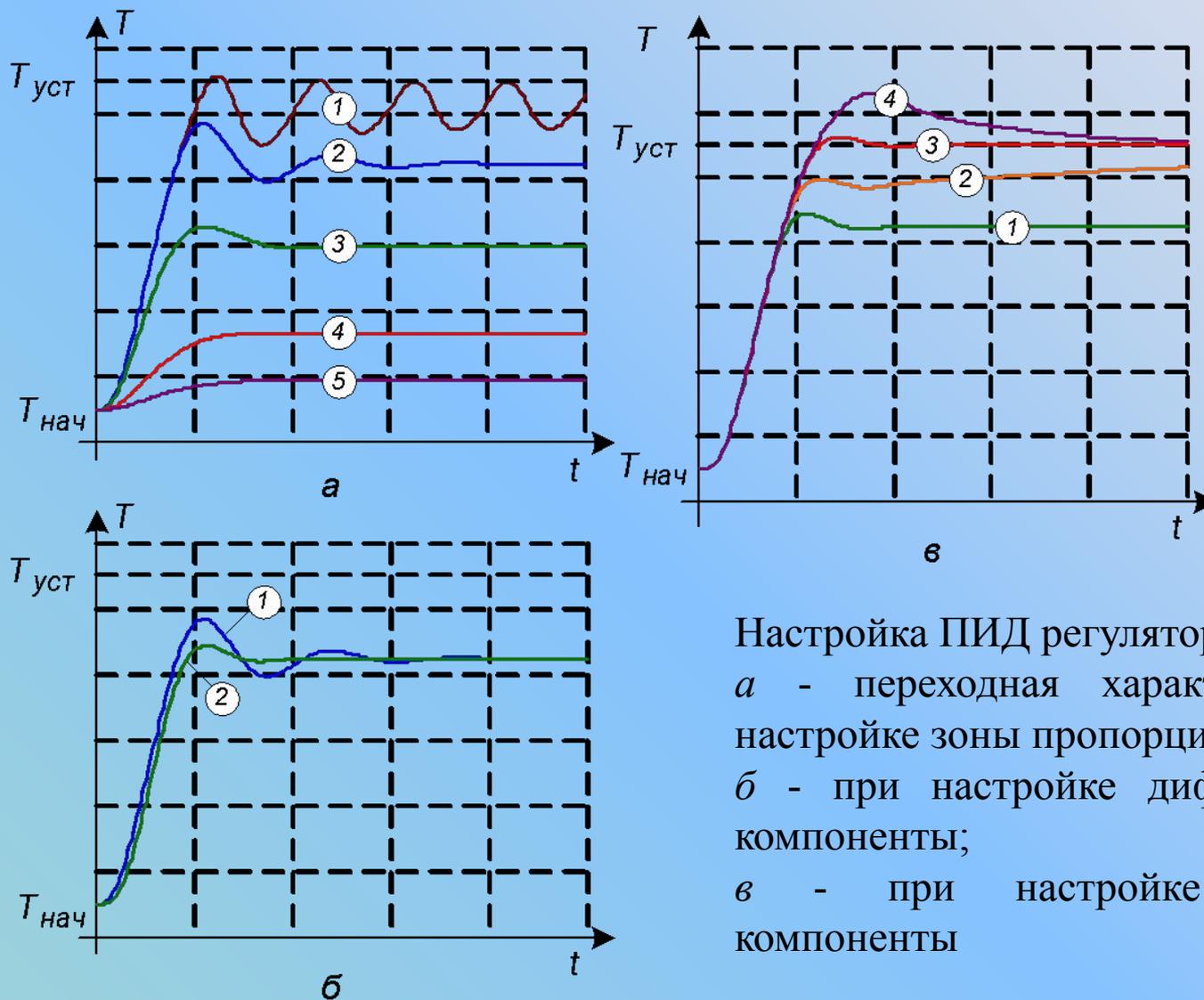
$$T_{И} = \frac{T_{к}}{6} ;$$

- для ПИД регулятора

$$T_{И} = \frac{T_{к}}{6} , T_{Д} = \frac{T_{к}}{1,5} ;$$

8. РЕГУЛЯТОРЫ В МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

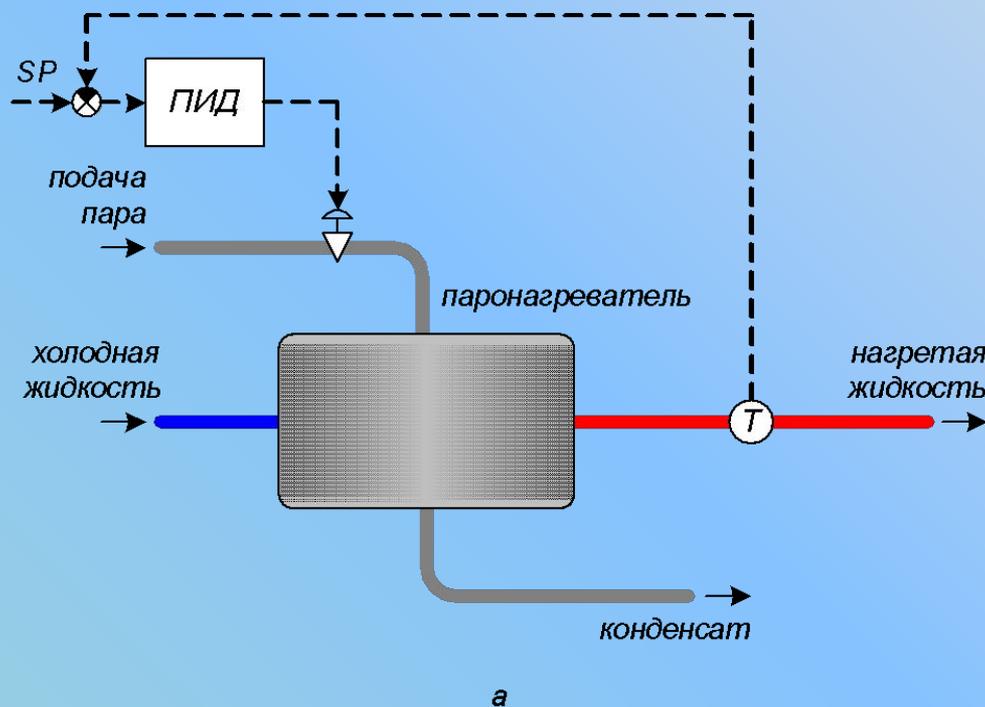
Пример настройки ПИД регулятора температуры



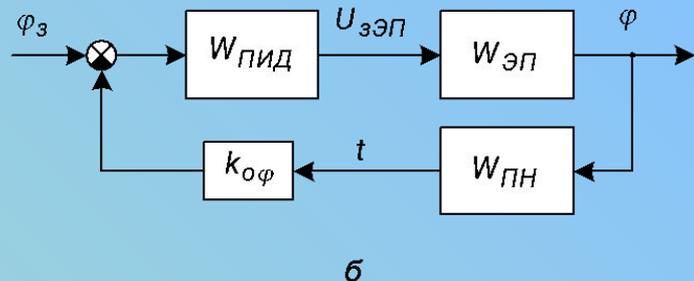
Настройка ПИД регулятора температуры:
а - переходная характеристика при настройке зоны пропорциональности;
б - при настройке дифференциальной компоненты;
в - при настройке интегральной компоненты

8. РЕГУЛЯТОРЫ В МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Функциональная схема (а) паронагревателя с ПИД регулятором и структурная схема контура регулирования угла поворота шарового сегмента клапана (б)



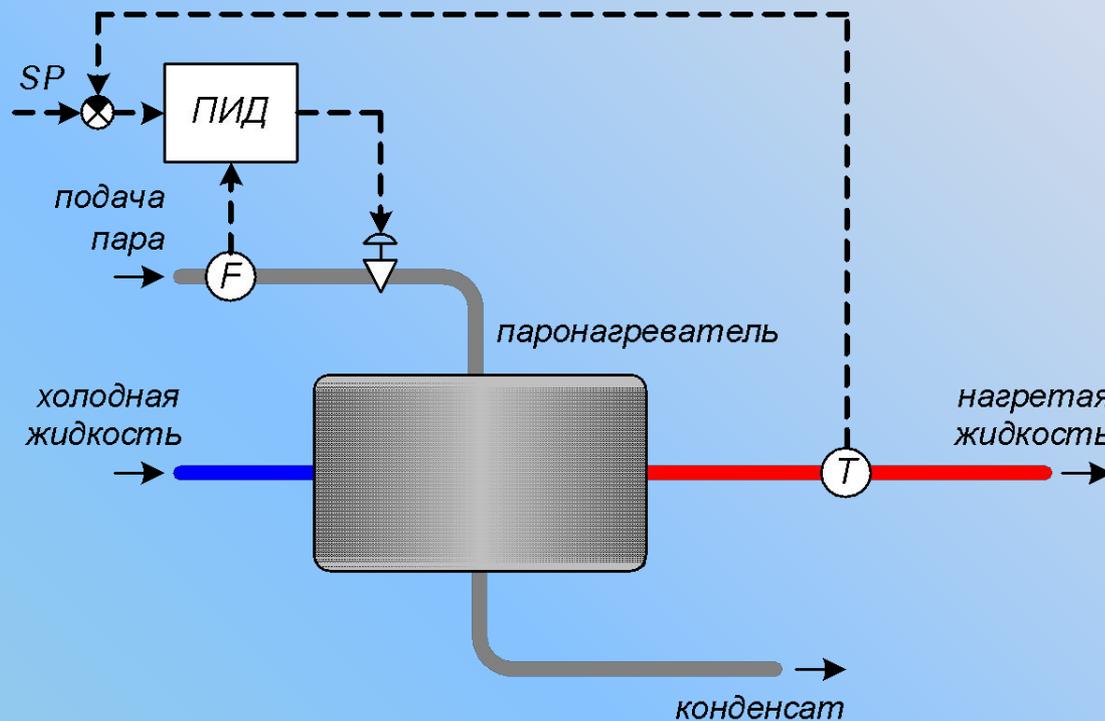
φ_3 – уставка положения клапана, формируемая в зависимости от требуемой температуры жидкости в соответствии со статической характеристикой паронагревателя $W_{ПН}$;
 $W_{ПИД}$ – передаточная функция ПИД регулятора;
 $W_{ЭП}$ – передаточная функция электропривода поворотного клапана;
 $U_{зЭП}$ – сигнал задания на электропривод (управляющее воздействие регулятора);
 $k_{оф}$ – коэффициент обратной связи по углу поворота;
 φ – угол поворота клапана;
 t – температура нагреваемой жидкости.



$$W(p) = \frac{W_{ПИД}(p) \cdot W_{ЭП}(p)}{1 + W_{ПИД}(p) \cdot W_{ЭП}(p) \cdot W_{ПН}(p) \cdot k_{оф}}$$

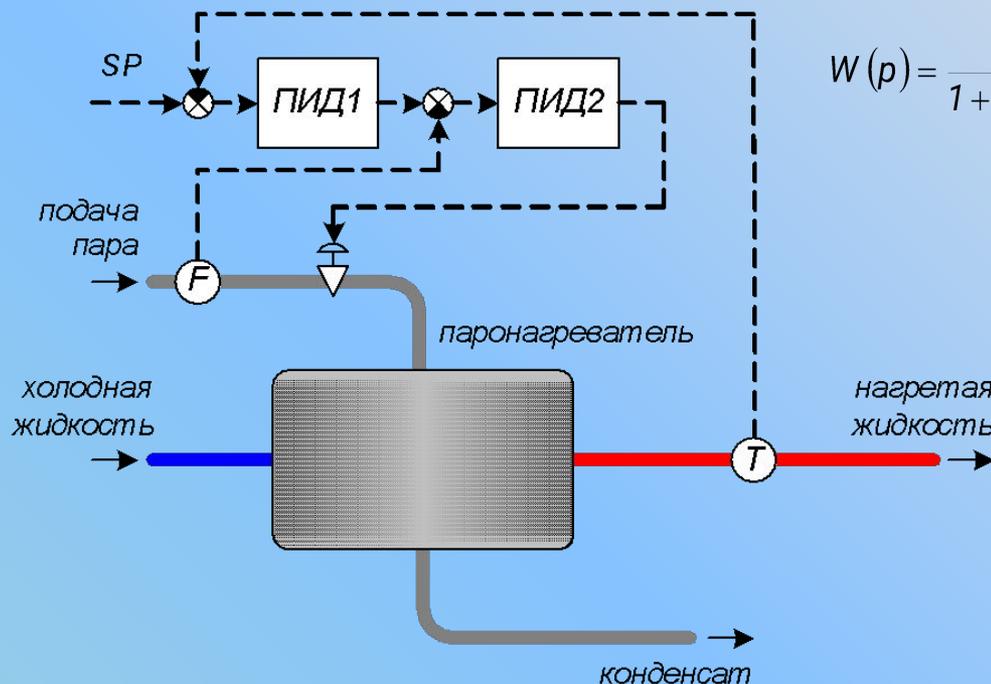
8. РЕГУЛЯТОРЫ В МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Функциональная схема паронагревателя с ПИД регулятором и упреждающей коррекцией



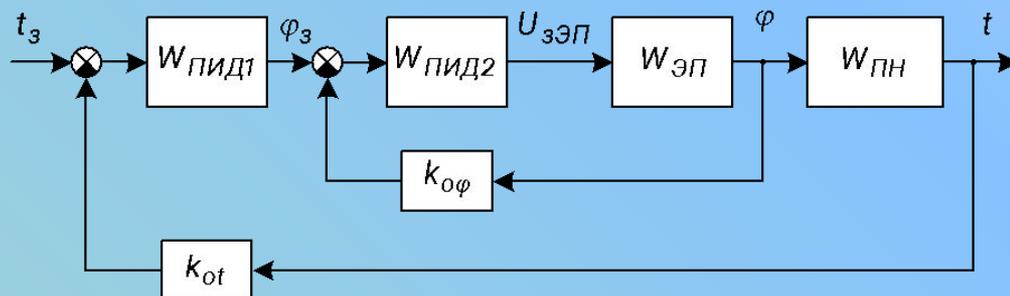
$$U_{зэп} = [\varphi_3 - \varphi \cdot k_{оф} \cdot W_{пн}(p)] \cdot W_{пид}(p) + F(p)$$

8. РЕГУЛЯТОРЫ В МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ



$$W(p) = \frac{W_{\text{ПИД1}} \cdot W_{\text{ПИД2}} \cdot W_{\text{ЭП}} \cdot W_{\text{ПН}}}{1 + W_{\text{ПИД2}} \cdot W_{\text{ЭП}} \cdot k_{0\phi} + W_{\text{ПИД1}} \cdot W_{\text{ПИД2}} \cdot W_{\text{ЭП}} \cdot W_{\text{ПН}} \cdot k_{ot}}$$

а



б

Функциональная схема (а)
каскадного управления
паронагревателем и
структурная ее схема (б)