

Информация по установкам регулятора

2

Что включено в данную главу?

В данной главе представлена информация об установках для ПИД-регулятора с импульсными сигналами управления на выходе, принятых в соответствии с предыдущим опытом (на производстве пластмасс).

Раздел	Описание	Стр.
2.1	Характеристики процесса	2-2
2.2	Тип регулятора (регуляторы с двухуровневым выходом, регуляторы с трехуровневым выходом)	2-4
2.3	Переходные характеристики для различных структур обратной связи	2-7
2.4	Выбор структуры регулятора для отдельного процесса	2-15
2.5	Установка значений параметров регулятора (оптимизация)	2-16
2.6	Определение параметров процесса для регуляторов с двухуровневым выходом, с трехуровневым выходом	2-18
2.7	Определение параметров процесса для регуляторов в системах охлаждения	2-21
2.8	Определение параметров опытным путем	2-23

2.1 Характеристики процесса

Время отклика процесса может быть определено с помощью временных характеристик управляемой переменной (переменной процесса) x после резкого изменения значения управляющей переменной y от 0 до 100%.

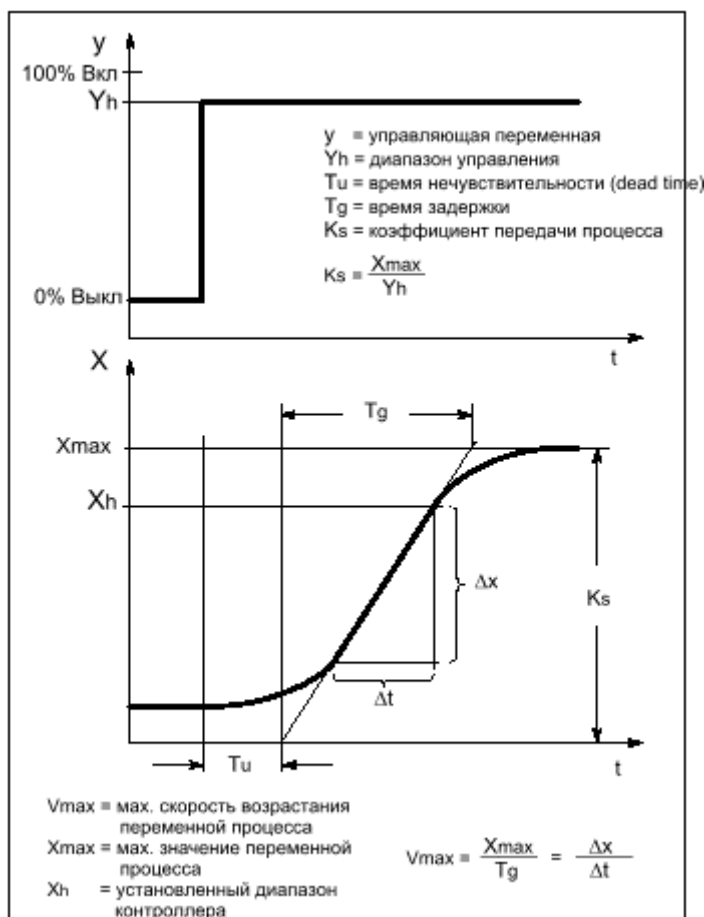


Рис. 2-1 Переходная характеристика процесса

Большинство процессов являются так называемыми процессами с компенсацией (см. рис. 2-1). Время отклика может быть оценено с помощью трех переменных: времени нечувствительности (Dead time) T_u , времени задержки T_g и значения переменной процесса X_{\max} . Эти переменные могут быть определены при приложении касательных к максимальному значению переменной процесса и к точке перегиба переходной характеристики. Во многих случаях невозможно проследить передаточную функцию вплоть до максимума значения, так как переменная процесса может не достигать конечного значения. Поэтому для исследования процесса используется скорость нарастания переменной процесса v_{\max}

Следующие отношения $\frac{T_u}{T_g}$ или $\frac{T_u \times v_{\max}}{X_{\max}}$

могут использоваться для оценки управляемости процесса.

Приняты следующие критерии:

$\frac{T_u}{T_g}$	Управляемость процесса
<0.1	хорошая
0.1 ... 0.3	удовлетворительная
>0.3	плохая

Процессы могут быть оценены в соответствии со значениями:

$T_u < 0.5$ мин, $T_g < 5$ мин = быстрый процесс
 $T_u > 0.5$ мин, $T_g > 5$ мин = медленный процесс.

Величины временных параметров важнейших термических процессов

Переменная процесса	Тип процесса	Время нечувствительности, T_u	Время задержки, T_g	Скорость нарастания переменной процесса, v_{\max}
Температура	Небольшая электропечь	0.5 ... 1 мин	5 ... 15 мин	до 60 К/мин
	Большая электропечь для отжига	1 ... 5 мин	10 ... 20 мин	до 20 К/мин
	Большая газовая печь для отжига	0.2 ... 5 мин	3 ... 60 мин	1 ... 30 К/мин
	Автоклавы	0.5 ... 0.7 мин	10 ... 20 мин	
	Автоклавы высокого давления	12 ... 15 мин	200 ... 300 мин	
	Инжекционные литьевые машины	0.5 ... 3 мин	3 ... 30 мин	5 ... 20 К/мин
	Экструдеры	1 ... 6 мин	5 ... 60 мин	
	Упаковочные машины	0.5 ... 4 мин	3 ... 40 мин	2 ... 35 К/мин

2.2 Типы регуляторов (с 2-хуровневым, с 3-хуровневым выходом)

Регуляторы с 2-хуровневым выходом без обратной связи

Регуляторы с 2-хуровневым выходом имеют два состояния: "Вкл" и "Выкл" ("ON" и "OFF") как функции переключения. Это соответствует 100 % и 0 % воздействию. Такой тип регулятора определяет постоянные колебания переменной процесса x вокруг заданного значения w . Амплитуда и продолжительность таких колебаний увеличиваются с ростом отношения времени нечувствительности T_u ко времени задержки T_g процесса. Такие регуляторы используются, главным образом, в простых системах управления температурой (напр., для управления нагревом электропечи) или в системах предупреждения превышения уровня параметра.

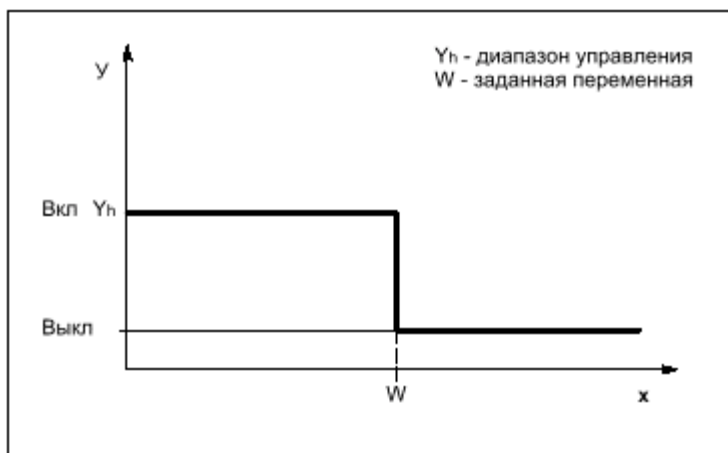


Рис. 2-2 Характеристика регулятора с 2-хуровневым выходом

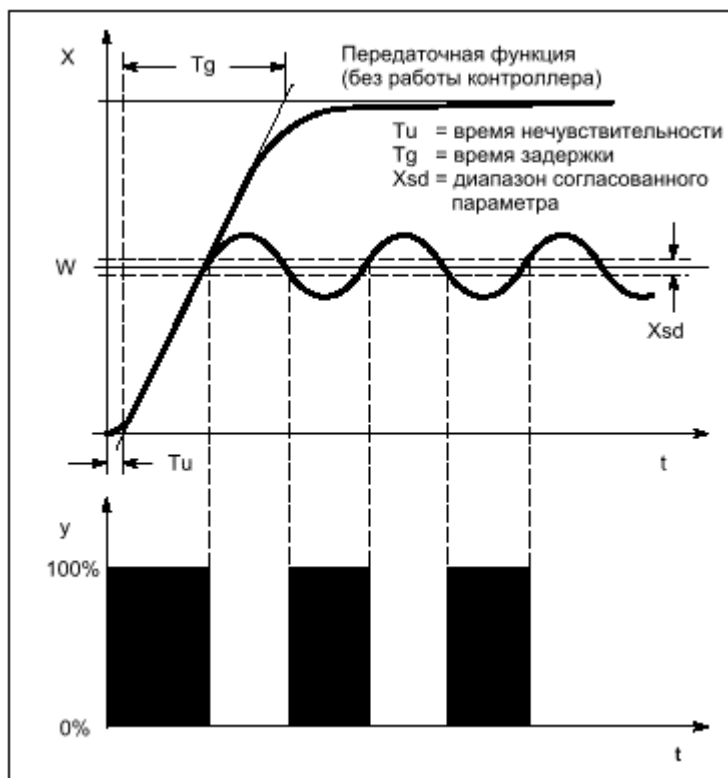


Рис. 2-3 Функция управления регулятора с 2-х уровневвым выходом без обратной связи

Регулятор с 2-х уровневвым выходом с обратной связью

Эффективность работы регулятора с 2-х уровневвым выходом в технологических процессах с высокими значениями времени нечувствительности, например, в печах, зона нагрева которых отделена от нагревателя, может быть улучшена при использовании электроники в цепях обратной связи.

Обратная связь используется для увеличения скорости переключения регулятора, что ведет к уменьшению амплитуды колебаний переменной процесса. Вдобавок, могут быть значительно улучшены динамические характеристики управления. Граничное значение скорости переключения определяется выходным модулем. Оно не должно превышать значений 1...5 переключений в минуту для механического оконечного переключающего элемента типа реле и контакторов. Высокие скорости переключения, лежащие далеко за критической частотой процесса, могут выбираться в случае использования для управления таких выходных ключевых элементов как тиристор (триак).

Так как в этом случае импульс коммутации не может быть определен в выходной характеристике процесса, результаты управления становятся сравнимы с результатами для регуляторов непрерывного действия.

В отличие от регуляторов непрерывного действия, управляющая переменная на выходе которых представляет собой амплитуду выходного сигнала, управляющая переменная на выходе регулятора с 2-хуровневым выходом с обратной связью формируется с использованием широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Регуляторы с 2-хуровневым выходом с обратной связью используются для управления температурой нагрева в печах, термопластавтоматах, текстильной, бумажной промышленности, в производстве каучуков, пищевых продуктов, а также в системах отопления и охлаждения.

Регуляторы с 3-хуровневым выходом

Регуляторы с 3-хуровневым выходом используются в системах отопления/охлаждения. Эти регуляторы имеют на выходе 2 точки переключения. Работа такого регулятора оптимизируется посредством электроники в цепях обратной связи. Такие регуляторы используются в системах обогрева, охлаждения, в климатических камерах, в нагревательных приборах оборудования для изготовления пластмассовых изделий.

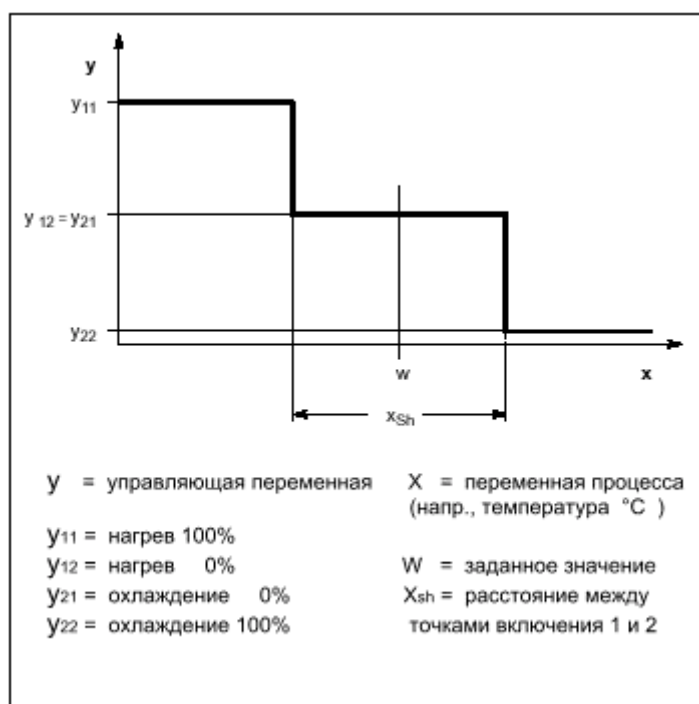


Рис. 2-4 Характеристика регулятора с 3-хуровневым выходом

2.3 Характеристики управления для различных структур обратной связи

Работа регулятора должна учитывать передаточную характеристику процесса для того, чтобы достигнуть требуемой точности системы управления и оптимальной коррекции помех. Этим целям служат схемы обратной связи (ОС). В зависимости от структуры ОС схемы обратной связи делятся на "пропорционального действия" ("proportional action" или P), "пропорционально-дифференциального действия" ("proportional-plus-derivative action" или PD), "пропорционально-интегрального действия" ("proportional-plus-integral action" или PI), "пропорционально-дифференциально-интегрального действия" ("proportional-plus-integral-plus-derivate action" или PID). Допустим, что при приложении ступенчатой функции ко входам регуляторов переходные характеристики имеют пренебрежительно малые значения времени нечувствительности и что на отклик процесса регуляторы могут реагировать очень быстро (см. рис. 2-5...2-9).

П-регулятор (P Controller)

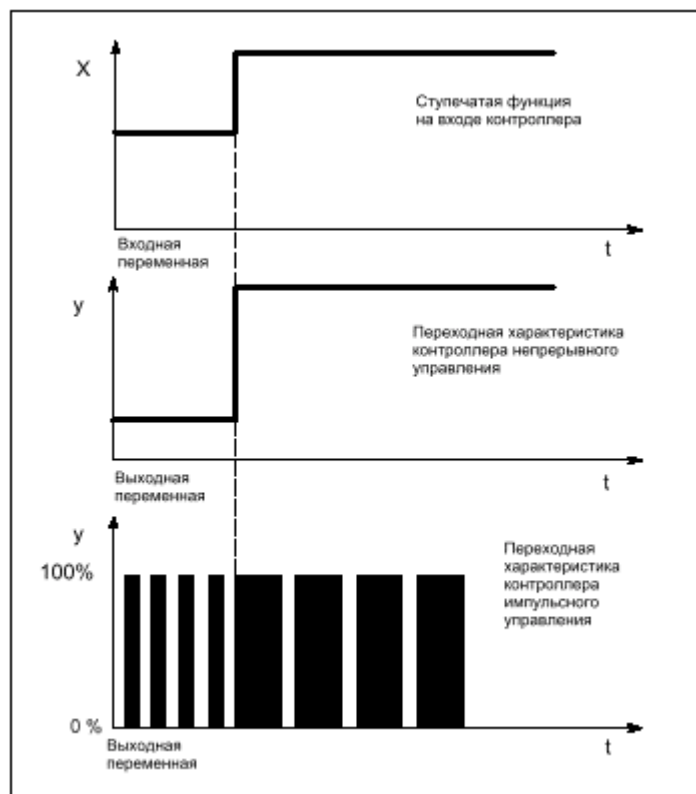


Рис. 2-5 Переходная характеристика П-регулятора (P Controller)

Уравнение для П-регулятора (P Controller)

Выходная переменная прямо пропорциональна входной переменной.

Это означает:

Изменение **вых.** переменной = Коэффициент пропорциональности \times Изменение **вх.** переменной
или:

$$y = K_{\text{пропорционального усиления}} \times x_w$$

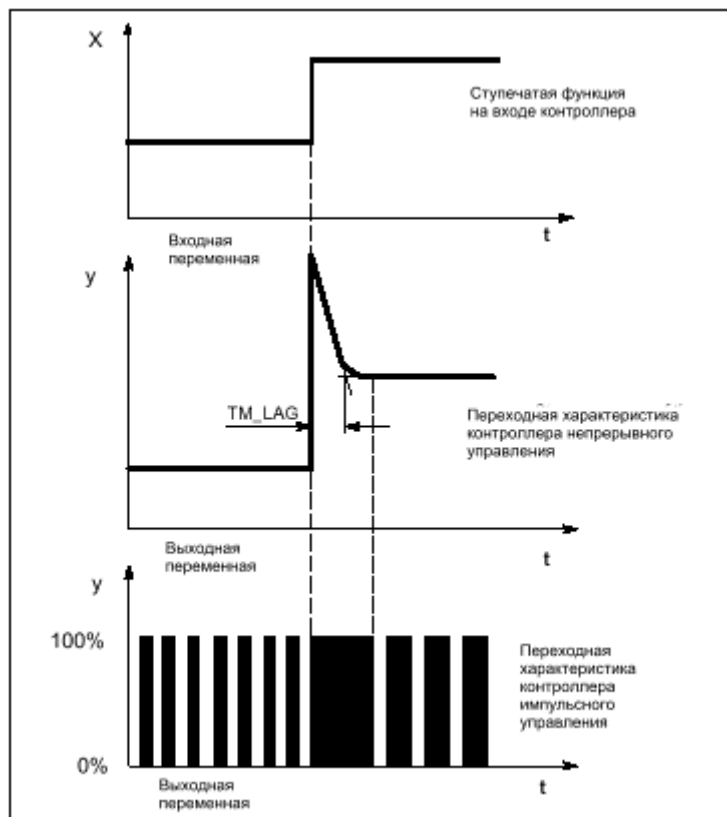
ПД-регулятор (PD Controller)

Рис. 2-6 Переходная характеристика ПД-регулятора (PD Controller)

D-элементы регулятора, взятые в отдельности, не подходят для управления, так как они не инициируют команду управления, после того как входная переменная возвращается к постоянной величине. Но в комбинации с P-элементами "дифференциальный компонент" используется для генерации соответствующего управляющего импульса, зависящего от скорости изменения переменной процесса. Если колебания переменной z влияют на процесс, ПД-регулятор отрегулирует отклонения в системе с помощью изменяемого сигнала управления. Колебания, однако, не компенсируются полностью, поэтому предпочтительны регуляторы с хорошими динамическими характеристиками. Если регулятор обладает такими характеристиками, то может быть достигнута хорошо сглаженная переходная характеристика без колебаний и во время запуска и при изменении задаваемых параметров процесса. Регулятор с "дифференциальным компонентом", однако, не подходит для процессов, в которых имеют место колеблющиеся измеряемые переменные, например, в случае систем управления давлением или систем управления движением потока.

Уравнение для ПД-регулятора (PD Controller)

Переходная характеристика ПД-регулятора во временном промежутке может быть представлена как:

$$y = \text{GAIN} \times x_w \times \left(1 + \frac{\text{TD}}{\text{TM_LAG}} \times e^{-\frac{t}{\text{TM_LAG}}} \right)$$

где t = время, прошедшее с момента включения ступенчатой функции на входе регулятора;
 $\text{GAIN} = K_{\text{усиления}}$

ПИ-регулятор (PI Controller)

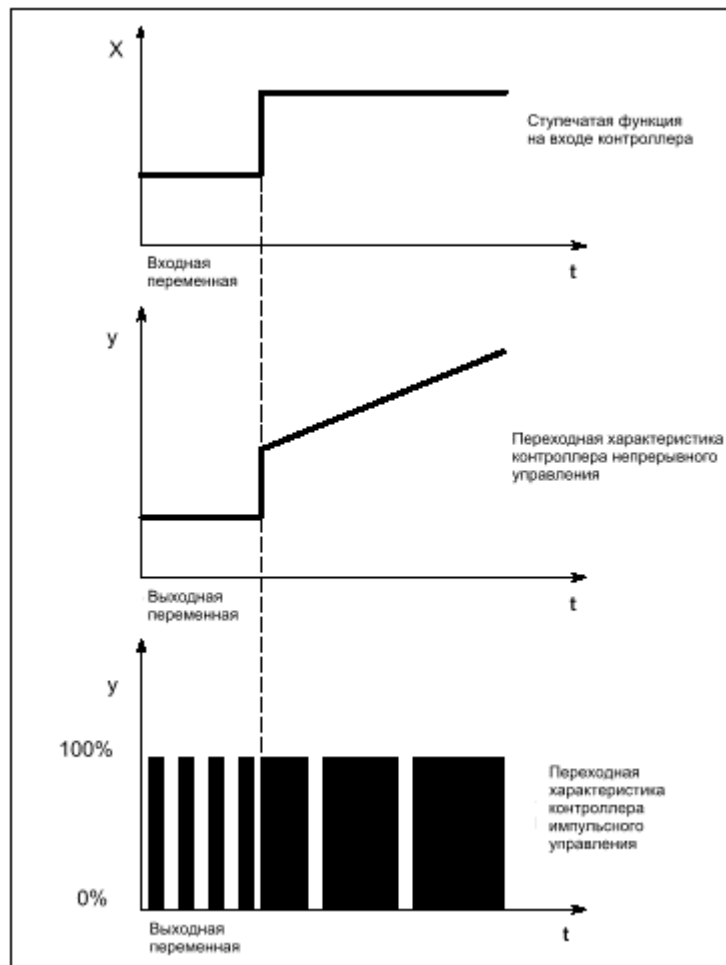


Рис. 2-7 Переходная характеристика ПИ-регулятора (PI Controller)

I –компонент регулятора представляет выходную переменную как интеграл входной переменной в рассматриваемом промежутке времени. Это значит, что регулятор суммирует отклонения от заданного значения во времени, то есть, корректирующий (управляющий) сигнал регулятора корректируется до тех пор, пока не будет достигнуто заданное значение переменной процесса. В действительности, идеальным был бы случай комбинирования разных таймеров в соответствии с требованиями, предъявляемыми к отклику управления. Временные характеристики отдельных компонентов могут быть описаны параметрами управления: $K_{\text{усиления}}$ (GAIN), временем интегрирования (integral–action time TI) (интегральный компонент) и временем дифференцирования (derivative–action time TD) (дифференциальный компонент).

Уравнение для ПИ-регулятора (PI Controller)

Переходная характеристика ПИ-регулятора во временном промежутке может быть представлена как:

$$y = \text{GAIN} \times x_w \times \left(1 + \frac{1}{\text{TI} \times t} \right)$$

где t = время, прошедшее с момента включения ступенчатой функции на входе регулятора;
 $\text{GAIN} = K_{\text{усиления}}$

ПИД-регулятор (PID Controller)

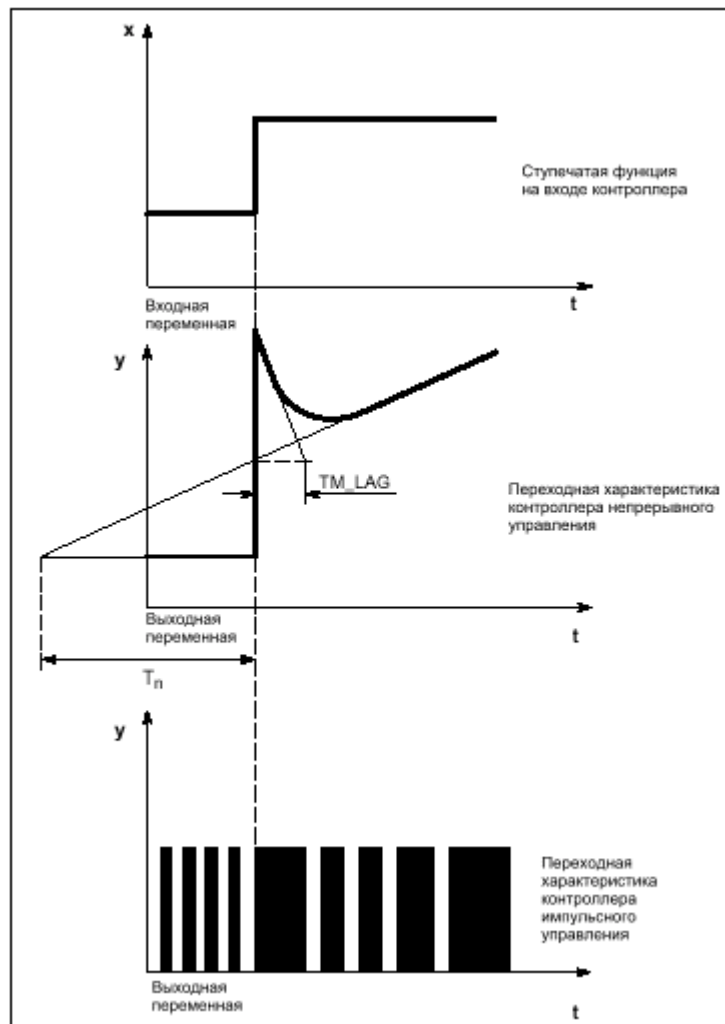


Рис. 2-8 Переходная характеристика ПИД-регулятора (PID Controller)

Большинство систем управления процессами могут использовать регуляторы с ПИ-управлением. В случаях же с большими значениями времени нечувствительности, например, в системах терморегулирования, эффективность управления может быть улучшена с помощью регуляторов с ПИД-управлением.

Переходные характеристики при различных законах управления

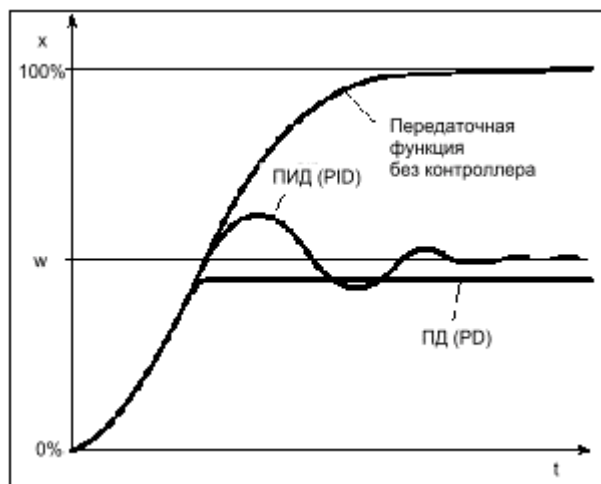


Рис. 2-9 Переходные характеристики при различных законах управления

Регуляторы с ПИ и ПИД законами управления имеют преимущество, заключающееся в том, что переменная процесса не дает отклонения от величины заданного значения управляемого параметра по окончании переходного процесса. Переменная процесса колеблется относительно величины заданного значения только во время запуска.

Уравнение для ПИД-регулятора (PID Controller)

Переходная характеристика ПИД-регулятора во временном промежутке может быть представлена как:

$$y = \text{GAIN} \times x_w \times \left(1 + \frac{1}{\text{TI} \times t} + \frac{\text{TD}}{\text{TM_LAG}} \times e^{\frac{-t}{\text{TM_LAG}}} \right)$$

где t = время, прошедшее с момента включения ступенчатой функции на входе регулятора;
 $\text{GAIN} = K_{\text{усиления}}$

2.4 Выбор структуры управления для отдельных процессов

Каждый технологический процесс имеет свою специфику с точки зрения управления. Требования к системе управления всегда определены технологией процесса и не могут быть изменены в последствии. Оптимальное управление процессом может быть достигнуто выбором подходящего регулятора, который может быть приспособлен под условия процесса в заданных пределах.

Выбор подходящей структуры управления для отдельных процессов

Процесс	Структура регулятора			
	П (P)	ПД (PD)	ПИ (PI)	ПИД (PID)
 Учитывается только время нечувствительности	Не подходит	Не подходит	Управление +помехи	Не подходит
 Учитываются: время нечувствит. и время задержки 1-го порядка	Не подходит	Не подходит	Несколько хуже, чем ПИД	Управление +помехи
 Учитываются: время нечувствит. и время задержки 2-го порядка	Не подходит	Хуже	Хуже, чем ПИД	Управление +помехи
 Время задержки 1-го порядка и очень малое время нечувствит.	Управление	Управление в период нечувствит.	Помехи	Помехи в период нечувствит.
 Время задержки высших порядков	Не подходит	Не подходит	Несколько хуже, чем ПИД	Управление +помехи
 Без компенсации	Управление (без задержки)	Управление (с задержкой)	Помехи (без задержки)	Помехи (с задержкой)

Типы регуляторов для наиболее важных параметров процесса

Пара- метры процесса	Регулятор			
	П (P)	ПД (PD)	ПИ (PI)	ПИД (PID)
	Стабильные отклонения		Нестабильные отклонения	
Температура	Для невысоких требований и для П-процессов с: $\frac{T_d}{T_i} < 0.1$	Хорошо подходит	Наиболее подходящие типы управления для сложных требований (исключая специфически включаемые специальные регуляторы)	
Давление	Подходит, если незначит. время нечувствит.	Не подходит	Наиболее подходящие типы управления для сложных требований (исключая специфически включаемые специальные регуляторы)	
Поток	Подходит меньше, т.к., требует диапазон усиления (очень большого)	Не подходит	Подходит, но часто отдельный И-регулятор подходит больше	Жесткие требования к переменным процесса

2.5 Установка параметров регуляторов (оптимизация)

Правила для установок параметров

Структура регулятора	Установки параметров	
P	GAIN	$\approx v_{\max} \times T_u [^{\circ}\text{C}]$
PI	GAIN	$\approx 1.2 \times v_{\max} \times T_u [^{\circ}\text{C}]$
PD	GAIN	$\approx 0.83 \times v_{\max} \times T_u [^{\circ}\text{C}]$
	TD	$\approx 0.25 \times v_{\max} \times T_u [\text{min}]$
	TM_LAG	$\approx 0.5 \times TD [\text{min}]$
PID	GAIN	$\approx 0.83 \times v_{\max} \times T_u [^{\circ}\text{C}]$
	TI	$\approx 2 \times T_u [\text{min}]$
	TD	$\approx 0.4 \times T_u [\text{min}]$
	TM_LAG	$\approx 0.5 \times TD [\text{min}]$
PD/PID	GAIN	$\approx 0.4 \times v_{\max} \times T_u [^{\circ}\text{C}]$
	TI	$\approx 2 \times T_u [\text{min}]$
	TD	$\approx 0.4 \times T_u [\text{min}]$
	TM_LAG	$\approx 0.5 \times TD [\text{min}]$

Вместо $V_{\max} = D_x/D_t$ можно использовать X_{\max}/T_g .

В случае регуляторов PID структуры время интегрирования и время дифференцирования обычно связаны друг с другом.

Величина отношения TI/TD лежит между 4 и 5 и это оптимально для большинства процессов. Несоблюдение значения TD не критично для PD-регуляторов.

Для случаев PI- или PID-регуляторов возможны колебания управления, если значение TI было выбрано слишком малым (по крайней мере, в два раза меньше, чем надо).

Если время TI слишком велико – будет запаздывание коррекции колебаний.

Нереально ожидать, что система автоматического управления будет работать "оптимально" после инициализации первых же установок параметров.

Опыт показывает, что всегда необходима настройка, особенно в условиях "трудно управляемого" процесса с $T_u/T_g > 0.3$.

Параметры обратной связи для отдельных видов процесса

Переменная процесса	Тип процесса	T_u или T_t ¹⁾	T_g или T_s ²⁾	$V_{\max} = \Delta x / \Delta t$
Температура	Небольшая электропечь	0.5 ... 1 мин	5 ... 15 мин	1 °C/c
	Большая электропечь для отжига	1 ... 5 мин	10 ... 60 мин	0.3 °C/c
	Большая печь для отжига на газовом топливе	0.2 ... 5 мин	3 ... 60 мин	0.1 ... 0.5 °C/c
	Перегонный куб (дистиллятор)	1 ... 7 мин	40 ... 60 мин	
	Автоклав (2.5 м ³)	0.5 ... 0.7 мин	10 ... 20 мин	
	Автоклав высокого давления (1000 °C, 40 Бар)	12 ... 15 мин	200 ... 230 мин	2 °C/c
	Паровой котел	30 с ... 2.5 мин	1 ... 4 мин	
	Комнатный обогреватель	1 ... 5 мин	10 ... 60 мин	1 °C/мин
Поток	Газопровод	0 ... 5 с	0.2 ... 10 с	—
	Трубопровод для жидкости	0	0	—
Давление	Газопровод	0	0.1 с	—
	Печь барабанного типа на газовом или нефтяном топливе	0	150 с	—
	Печь барабанного типа с дробилкой	1 ... 2 мин	2 ... 5 мин	—
Уровень	Печь барабанного типа	0.6 ... 1 мин	—	0.1 ... 0.3 см/с
Скорость работы	Маломощный электропривод	0	0.2 ... 10 с	—
	Мощный электропривод	0	5 ... 40 с	—
	Паровая турбина	0	—	50 мин ⁻¹
Напряжение	Маломощные генераторы	0	1 ... 5 с	—
	Мощные генераторы	0	5 ... 10 с	—

1) T_t = время нечувствительности2) T_s = постоянная процесса

2.6 Определение параметров процесса для регуляторов с двух- и трехуровневым выходом

Можно использовать записывающее устройство (Recorder) для записи процесса нагревания и охлаждения в термическом процессе (см. рис. 2-10).

Для этого выполните следующее:

1. Введите значение "0" для управляющей переменной в PG с помощью утилиты Loop Display.
2. Сконфигурируйте регулятор как PI-регулятор.
3. Используйте интерфейс назначения параметров или PID_FM FB для ввода не критических параметров управления:
 GAIN = 1.0
 TI, TD = 0.0
4. Загрузите параметры в модуль.
5. Переключите регулятор на управляющую переменную с помощью Loop Display.
6. Задайте значение температуры (1).
 --> Модуль включится на нагрев.
7. Ожидайте, пока переменная процесса "колеблется" (2).
 Примечание: заданное значение температуры не должно быть достигнуто.
8. Задайте значение температуры 0 °C (3).
 --> Модуль включится на охлаждение.

Примечание: пункты 7 и 8 требуются только для регуляторов с 3-хуровневым выходом.

Из графиков могут быть определены следующие параметры:

- T_u = Время нечувствительности (с)
 S_K = Максимальная скорость охлаждения (°C/с)
 S_H = Максимальная скорость нагревания (°C/с)

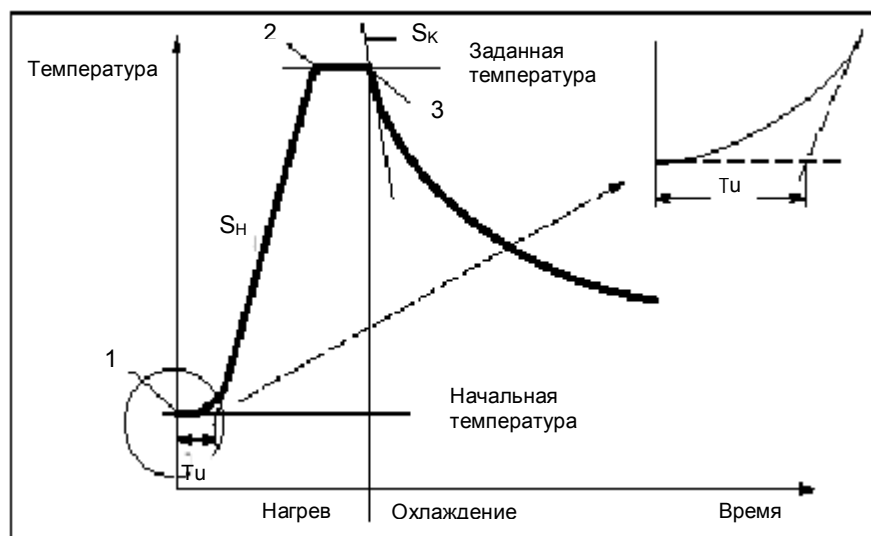


Рис. 2-10 Графики нагрева и охлаждения

Определение параметров регулятора

- (a) T_A [мс] = Время опроса
 T_A определяется временем преобразования FM 355 (п.3.7)
 T_A может быть считано в **Tools > Module Parameters**
 (меню интерфейса назначения параметров).

$$(b) \text{ GAIN} = \frac{230 \text{ [}^\circ\text{C]}}{S_H \left[\frac{^\circ\text{C}}{\text{c}} \right] \times \left(T_U [\text{c}] + \frac{T_A [\text{мс}]}{2000 \left[\frac{\text{мс}}{\text{c}} \right]} \right)}$$

$$(c) \text{ TI} [\text{c}] = \left(T_U [\text{c}] + \frac{T_A [\text{мс}]}{1000 \left[\frac{\text{мс}}{\text{c}} \right]} \right) \times 6.66 \left[\frac{\text{c}}{\text{c}} \right]$$

$$(d) \text{ TD} [\text{c}] = \left(T_U [\text{c}] + \frac{T_A [\text{мс}]}{1000 \left[\frac{\text{мс}}{\text{c}} \right]} \right) \times 0.6$$

Дополнительно для контроллеров
 с 3-хуровневым выходом:

$$(e) \text{ LMN_LLM} = \frac{S_K \left[\frac{^\circ\text{C}}{\text{c}} \right]}{S_H \left[\frac{^\circ\text{C}}{\text{c}} \right]} \times (-100 [\%])$$

LMN_LLM - это параметр PID_FM FB, определяющий нижнюю границу для регулятора.
 Вы можете ввести это значение в параметр "Lower" ("Нижний") в маску **Limit Manipulated Value Controller (Граница значений управляющих переменных)**.

Вы должны установить такое же значение в "Start of Range Input Signal" ("Начало диапазона входного сигнала") задаваемой величины В в маску **Split-range Controller (Управление с разбивкой диапазона)**.

Эти две установки должны быть согласованы так, чтобы для "split-range" режима регулятора ("Управление с разбивкой диапазона") можно было использовать значения из полностью определенного диапазона для "split-range" функции.

Пример:

Управляющая переменная в диапазоне: 0%...100% - нагрев

Управляющая переменная в диапазоне: -100%...0% - охлаждение

Установите параметры "split-range" функции согласно примеру:

- Управляющая переменная А (Manipulated value A):
 - Начало диапазона входного сигнала (Start of range Input signal) = 0
 - Конец диапазона входного сигнала (End of range Input signal) = 100
 - Начало диапазона выходного сигнала (Start of range Output signal) = 0
 - Конец диапазона выходного сигнала (End of range Output signal) = 100
- Управляющая переменная В (Manipulated value B):
 - Начало диапазона входного сигнала (Start of range Input signal) = 100
 - Конец диапазона входного сигнала (End of range Input signal) = 0
 - Начало диапазона выходного сигнала (Start of range Output signal) = 100
 - Конец диапазона выходного сигнала (End of range Output signal) = 0

2.7 Определение параметров процесса для отдельного регулятора в системе охлаждения

Для протоколирования процесса охлаждения используется записывающее средство (Recorder) (рис. 2-11).

Для этого:

1. Введите не критические параметры управления:
 $GAIN = 1.0$
 $TI, TD = 0.0$
2. Установите ручной режим для управляющих переменных.
3. Установите значение 0 для управляющей переменной с помощью Loop Display.
3. Приведите значение температуры зоны нагрева к номинальному значению посредством приложения внешнего тепла (например, из смежной зоны нагрева).
5. Задайте значение температуры $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ с помощью утилиты Loop Display (1).
6. Установите управляющее значение для автоматического регулирования.
 → Модуль включится на охлаждение.

Примечание

Во время процесса охлаждения параметры приложенного внешнего источника тепла должны оставаться неизменными – для смежной зоны нагрева управляющая переменная должна сохраняться постоянной.

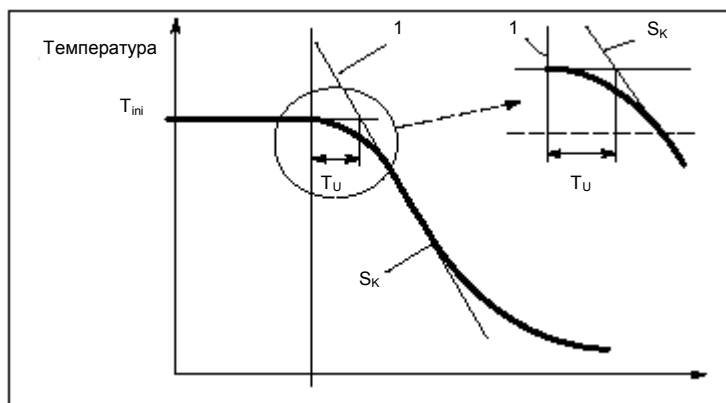


Рис. 2-11 Определение характеристик охлаждения

- Из графика (Рис. 2-11) могут быть определены следующие параметры:
 T_U = Время нечувствительности (с)
 S_K = Максимальная скорость охлаждения ($^{\circ}\text{C}/\text{с}$)
 T_{ini} = Начальная температура ($^{\circ}\text{C}/\text{с}$)
- Дополнительно должна быть определена температура T_{cool} ($^{\circ}\text{C}$) зоны охлаждения.

Определение параметров регулятора

- (a) T_A [мс] = T_A определяется временем преобразования FM 355 (п.3.7)
 T_A может быть считано в **Tools > Module Parameters**
 (меню интерфейса назначения параметров).

$$(b) \text{ GAIN}_{c\ 200\ ^{\circ}\text{C}} = \frac{230\ [^{\circ}\text{C}]}{S_K\ \left[\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{с}}\right] \times \frac{200\ [^{\circ}\text{C}] - T_{cool}\ [^{\circ}\text{C}]}{T_{ini}\ [^{\circ}\text{C}] - T_{cool}\ [^{\circ}\text{C}]} \times \left(T_U\ [\text{с}] + \frac{T_A\ [\text{мс}]}{2000\ \left[\frac{\text{мс}}{\text{с}}\right]} \right)}$$

$$(c) \text{ TI} [\text{с}] = \left(T_U\ [\text{с}] + \frac{T_A\ [\text{мс}]}{1000\ \left[\frac{\text{мс}}{\text{с}}\right]} \right) \times 6.66\ \left[\frac{\text{с}}{\text{с}}\right]$$

$$(d) \text{ TD} [\text{с}] = \left(T_U\ [\text{с}] + \frac{T_A\ [\text{мс}]}{1000\ \left[\frac{\text{мс}}{\text{с}}\right]} \right) \times 0.6$$

2.8 Определение параметров опытным путем

При определении параметров помимо расчета Вы можете найти отдельные значения опытным путем (см. рис. 2-12).

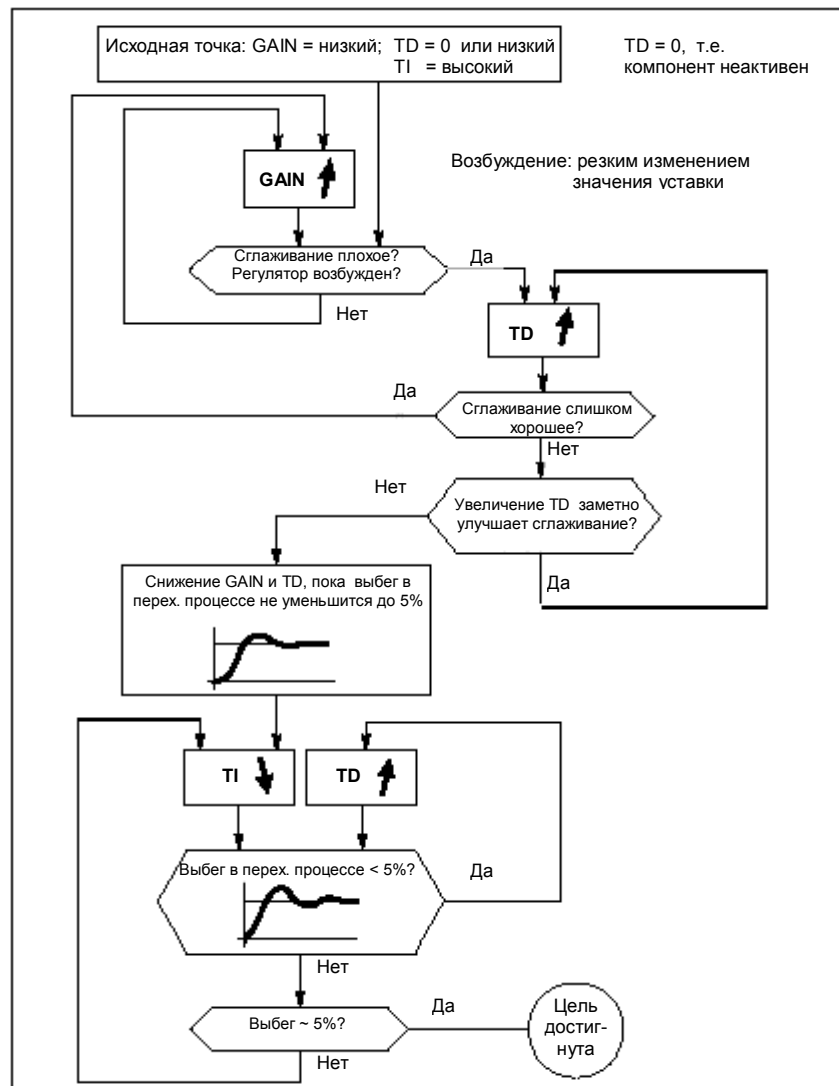


Рис. 2-12 Алгоритм определения отдельных параметров регулятора опытным путем

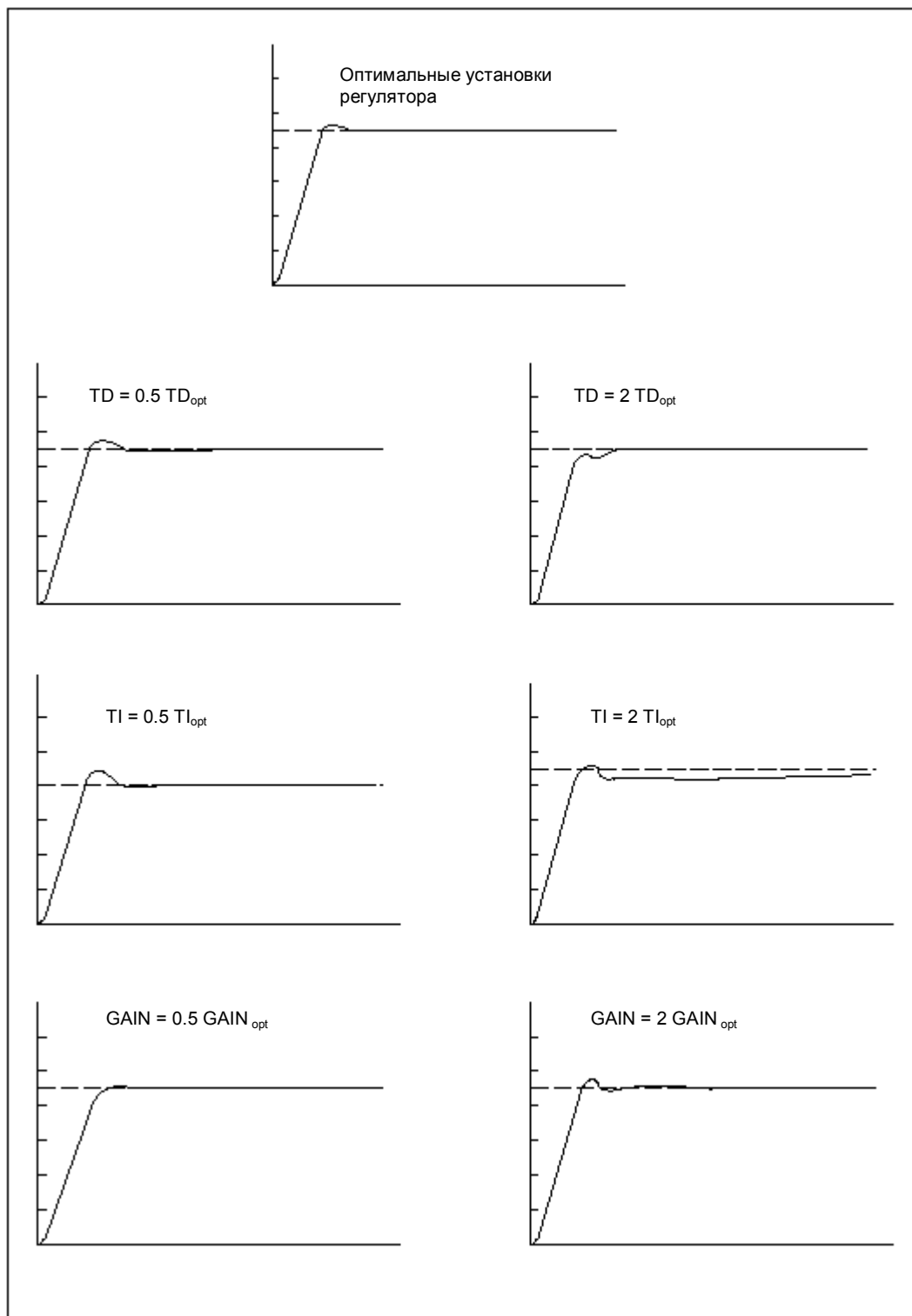


Рис. 2-13 Влияние ухода параметров регулятора от оптимальных значений на его выходные характеристики