

# «АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ, ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА»

*Фрагменты курса, ч. 1*

Журнал «Мир климата» начинает публикацию фрагментов новой учебной программы дополнительного профессионального образования Учебно-консультационного центра «Университет климата» под названием «Автоматизация систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха».

Программа рассчитана на инженеров-проектировщиков систем автоматизации, инженеров-разработчиков комплексных систем управления, инженеров по диспетчеризации и иных специалистов, чья деятельность связана с решением задач автоматизации инженерного оборудования.

При разработке теоретической и практической составляющих курса сделан акцент на прикладных аспектах разработки и эксплуатации современных систем автоматизации инженерного оборудования. В ходе обучения рассматриваются следующие вопросы:

- Пропорциональный, интегральный и дифференциальный принципы управления, а также их сочетания;
- Датчики параметров среды и исполнительные устройства;
- Свободно программируемые и параметрические контроллеры;
- Методы и инструменты разработки приложений для свободно программируемых контроллеров;
- Аппаратные и программные средства диспетчеризации.

Перед слушателями последовательно выстраивается целостная картина принципов работы систем автоматизации и способов их практического воплощения с использованием наиболее продвинутых современных технологий.

Такой подход обеспечивает максимальное вовлечение аудитории в учебный процесс, так как основная масса участников обучения — сотрудники служб эксплуатации девелоперских и инжиниринговых компаний, представители сервисных организаций, которых, прежде всего, интересует возможность практического применения полученных знаний и опыта.

## **Основные понятия и определения**

Система — совокупность связанных между собой элементов, объектов или процессов, взаимодействующих

друг с другом и с окружающей средой по определенным законам.

В приведенном определении необходимо обратить внимание на слова «взаимодействие с окружающей средой». Любая система не может существовать сама по себе, и всегда подвержена влиянию извне, что необходимо учитывать при ее изучении или создании.

Управление — совокупность действий, обеспечивающих поддержание или изменение протекающих технологических процессов в соответствии с заданной программой.

Система управления — совокупность объекта управления (управляемого технологического процесса) и управляющих устройств, взаимодействие которых обеспечивает протекание процесса в соответствии с заданной программой.

Возмущающие воздействия — факторы, изменение которых большей частью носит случайный, трудно прогнозируемый характер. К таким факторам относятся, например, температура наружного воздуха, колебания напряжения в электросети.

Управляющие воздействия — воздействия на объект управления, осуществляемые специальными техническими средствами или оператором с целью компенсации влияния возмущающих воздействий или изменения режимов работы объекта управления.

## **Состав и характеристики системы управления**

Ключевым элементом системы управления является контроллер. Принцип действия контроллера можно сформулировать в виде следующего алгоритма:

- Получение информации от системы;
- Сравнение полученных данных с желаемым значением (уставкой);
- Направление сигнала управления системе с тем, чтобы значение выходного сигнала приблизилось к желаемому значению;
- Через определенный период времени ( $\Delta t$ ) цикл повторяется.



Существует правило: величина  $\Delta t$  должна быть как минимум в 5 раз меньше, чем инерционность системы.

Время цикла  $\Delta t$  определяется продолжительностью выполнения операций:

- Считывание значения выходного сигнала;
- Сравнение полученного значения с желаемым;
- Вычисление требуемого сигнала управления;
- Отправка сигнала управления для корректировки выходного сигнала системы.

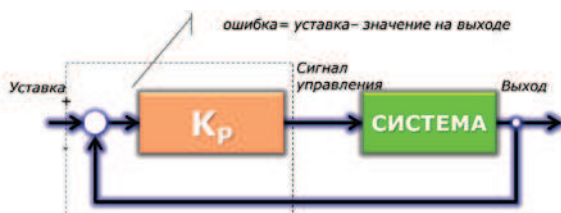


Для определения способа формирования управляющего воздействия системы управления, воспользуемся простой идеей: **Ошибка = Желаемое значение — Выходной сигнал**

Концепция:

- Управляющее воздействие должно быть тем больше, чем существеннее сигнал на выходе отличается от заданного (желаемого) значения;
- Когда сигнал на выходе отличается незначительно, сигнал управления может быть меньше.

### Принцип регулирования P



Умножим ошибку на константу для получения сигнала управления:

**Сигнал управления =  $K_p \times$  (Желаемое значение — Выходной сигнал).**

Сигнал управления пропорционален ошибке, но с обратным знаком:

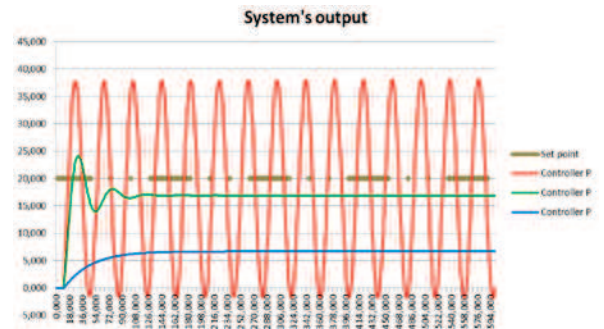
- Если выходной сигнал **больше желаемого значения**, то сигнал управления **имеет знак минус**, сигнал на выходе снижается;
- Если выходной сигнал **меньше желаемого значения**, то сигнал управления **имеет знак плюс**, сигнал на выходе увеличивается.

Когда выходной сигнал увеличивается и начинает превышать желаемое значение, сигнал управле-

ния становится отрицательным для снижения выходного сигнала.

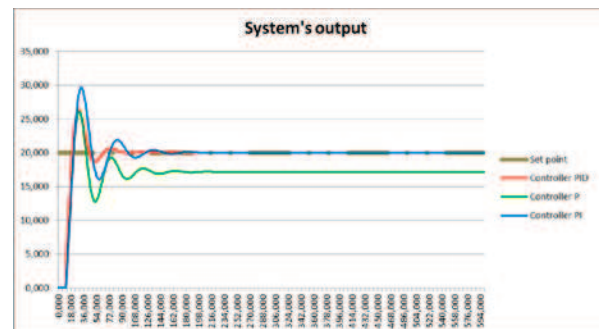
Когда выходной сигнал снижается и становится ниже желаемого значения, сигнал управления становится положительным для увеличения выходного сигнала.

Таким образом, пропорциональный принцип регулирования поддерживает выходной сигнал вблизи желаемого значения.

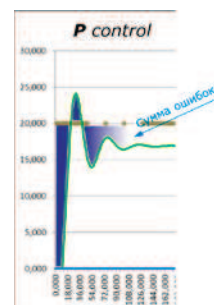


Однако:

- Если  $K_p$  **СЛИШКОМ ВЕЛИК**, знак и величина сигнала управления будут меняться слишком сильно и слишком быстро, в результате получаем **НЕСТАБИЛЬНОСТЬ** регулирования;
- Если  $K_p$  **слишком мал**, знак и величина сигнала управления будут меняться слишком слабо и слишком медленно, в результате **выходной сигнал будет сильно отставать от желаемого значения.**



- Из-за неидеальности исполнительных механизмов, каналов измерения, а также инерционности величина ошибки может быть равна 0, даже когда желаемое значение не достигнуто. Управляющий сигнал при этом тоже будет равен 0. Таким образом, **даже если  $K_p$  не слишком велик и не слишком мал, выходной сигнал стабилен и близок к желаемому значению, но не равен ему.**



### Принцип регулирования I

Для устранения отклонения, возникающего при регулировании пропорциональным методом, воспользуемся интегральным методом.

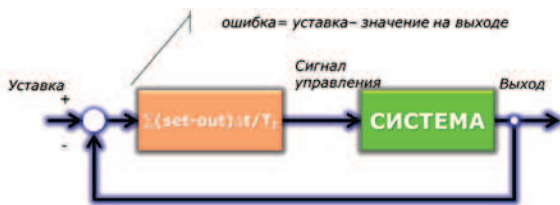
Будем **непрерывно суммировать значения ошибки**, делить сумму на константу и подавать результат в систему.

**Сигнал управления =  $\Delta t / T_I \times \Sigma$  (Желаемое значение — Выходной сигнал)**

Сумма никогда не будет равна нулю благодаря начальным значениям ошибки, она будет приближать выходной сигнал системы к желаемому значению благодаря последующим значениям ошибки.

Сумма не будет равна нулю, даже когда желаемое значение совпадет с выходным сигналом.

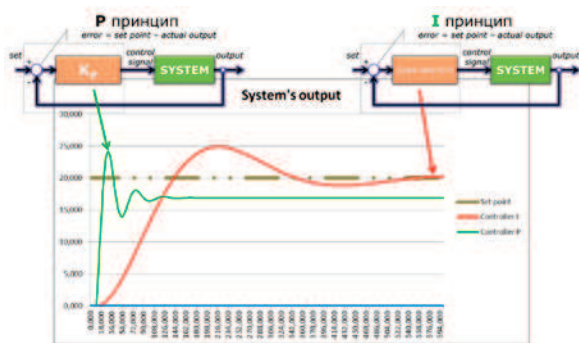
Таким образом, выходной сигнал системы постоянно будет поддерживаться на уровне желаемого значения.



При использовании интегрального метода регулирования сигнал управления **пропорционален сумме предыдущих ошибок**.

$T_I$  — время интегрирования;  $\Delta t$  — время цикла контроллера.

Сравнение пропорционального и интегрального методов регулирования показывает:



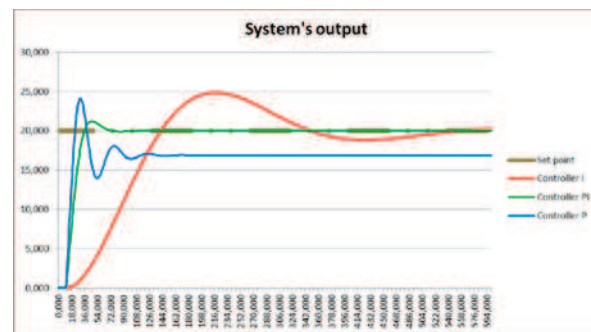
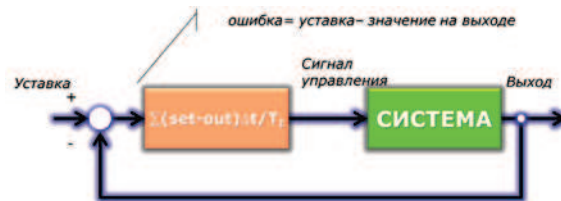
	I	P
Желаемое значение достигается?	ДА	НЕТ
Стабильность	Да, при корректном $T_I$	Да, при корректном $K_p$
Колебания	Длительные	Короткие

- **Интегральный принцип регулирования позволяет достичь желаемого значения**, в то время как пропорциональный принцип — нет;
- Однако интегральный принцип приводит к колебаниям, которые могут продолжаться дольше,

чем в случае использования пропорционального принципа.

### Принцип регулирования PI

Решение: **совместить пропорциональный и интегральный методы вместе** для достижения желаемого значения (I) и сокращения времени колебаний (P).



При регулировании пропорционально-интегральным методом, сигнал управления пропорционален текущей ошибке и сумме предыдущих отклонений.

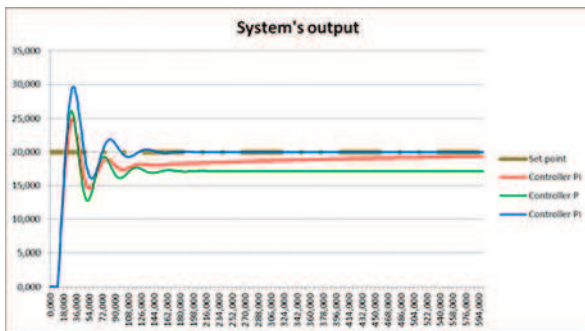
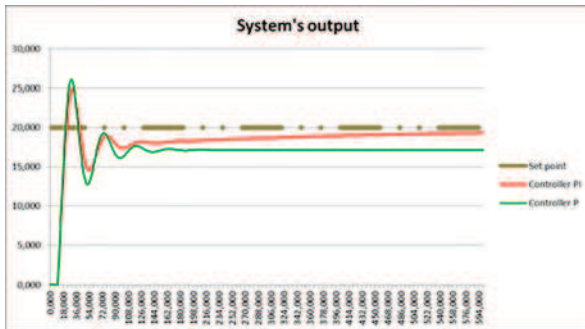
Сравнение поведения систем управления, использующих **пропорциональный, интегральный и пропорционально-интегральный методы управления**:

	PI	I	P
Желаемое значение достигается?	ДА	ДА	НЕТ
Стабилен если	Корректные $K_p$ & $T_I$	Корректный $T_I$	Корректный $K_p$
Колебания	Короткие	Более долгие	Более короткие

Подведем итоги:



- **P**: стабилен, но не при любых значениях параметров;

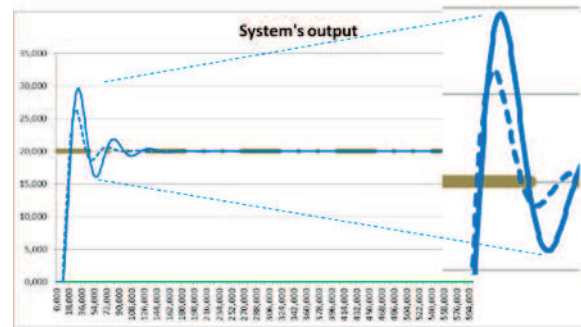


- **PI**: обеспечивает достижение желаемого значения, но медленный;
- **PI с меньшим значением  $T_I$** : быстрее достигает желаемого значения, но колебания выходного сигнала более длительные и имеют большую амплитуду. Таким образом:
- **PI** позволяет поддерживать стабильный выходной сигнал, при условии правильного выбора констант  $K_p$  и  $T_I$ .
- **ВНИМАНИЕ!** Колебания достигают максимальных величин и в итоге приближаются к желаемому значению, **вызывая новые колебания**;
- Чтобы сделать **PI** более эффективным, необходим метод замедления колебаний заранее, чтобы пики колебаний стали меньше.
- Предлагается **использовать скорость нарастания ошибки**, чтобы сделать колебания меньше.

### Принцип регулирования D



Дальнейшее улучшение характеристик регулирования возможно в случае применения дифференциального метода, суть которого состоит в снижении скорости изменения управляющего воздействия пропорционально скорости роста ошибки.



Сигнал управления пропорционален скорости роста ошибки.

$T_D$  — время дифференцирования;  $\Delta t$  — время цикла контроллера.

При использовании дифференциального принципа следует иметь в виду следующее:

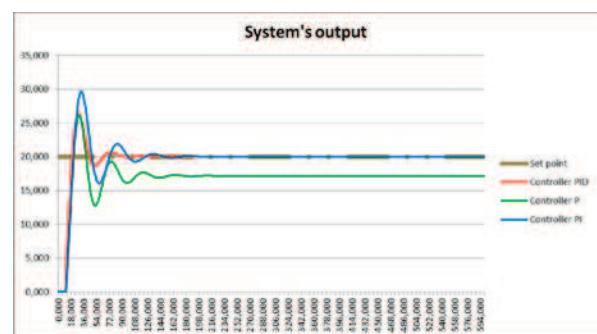
- Дифференциальный принцип использует значение скорости нарастания ошибки;
- В некоторых случаях скорость нарастания может быть велика сама по себе, что может привести к очень большому значению составляющей D сигнала управления, то есть, к нестабильности;
- Постоянная времени  $T_D$  должна выбираться тщательно (то есть, быть настолько малой, насколько возможно) для предотвращения нестабильности;
- **Пропорциональный и пропорционально-интегральный принципы**, наоборот, не используют скорость нарастания, поэтому они проще и «безопаснее» в использовании.

### Принцип регулирования PID

Наиболее универсальным методом, сочетающим в себе достоинства всех вышеперечисленных, является пропорционально-интегрально-дифференциальный.



В указанном методе сигнал управления пропорционален текущей ошибке, сумме предыдущих ошибок и скорости нарастания ошибки



	P	PI	PID
Желаемое значение достигается?	НЕТ	ДА	ДА
Стабилен если	Корректный $K_p$	Корректные $K_p, T_I$	Корректные $K_p, T_I, T_D$
Колебания	Короткие	Несколько более долгие	Короткие

Сравнение различных методов приведено на графике и в таблице.

### Выбор коэффициентов регулирования $K_p, T_I, T_D$

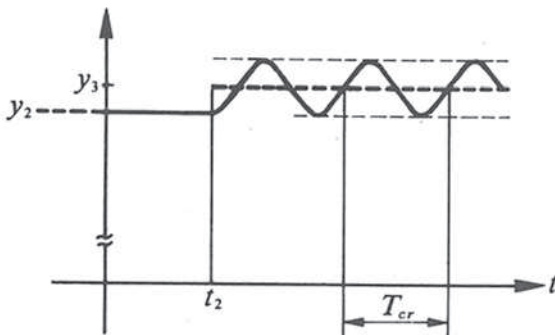
Коэффициенты пропорционального  $K_p$ , интегрального  $T_I$  и дифференциального  $T_D$  регуляторов должны выбираться из соображений стабильности системы.

Это означает, что указанные параметры зависят от характеристик системы.

Рассмотрим эмпирические методы оценки  $K_p, T_I, T_D$ , авторами которых являются **Ziegler и Nichols**.

Эти методы позволяют получить *начальные значения* для  $K_p, T_I, T_D$ , которые в итоге уточняются эмпирическим методом.

Метод 1: использование так называемого критического значения  $K_p$  системы:



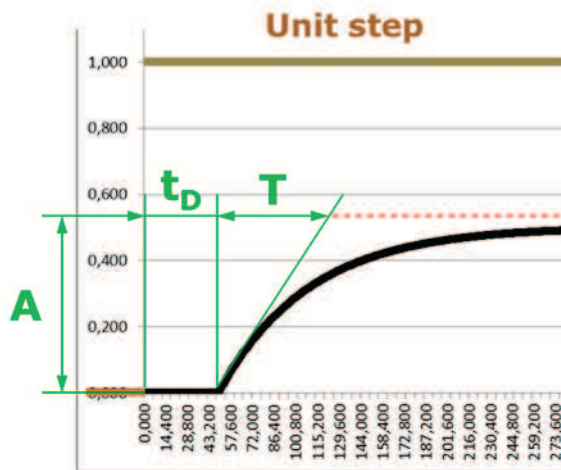
- Увеличиваем  $K_p$  до появления колебаний системы;
- Полученное значение  $K_p$  — критическое:  $K_{p_{cr}}$ ;
- Период колебаний — так называемый «критический период»:  $T_{cr}$ ;
- Рассчитываем коэффициенты регуляторов по формулам из таблицы:

	$K_p$	$T_I$	$T_D$
<b>P</b>	$0.5 \times K_{p_{cr}}$	-	-
<b>PI</b>	$0.45 \times K_{p_{cr}}$	$0.85 \times T_{cr}$	-
<b>PID</b>	$0.6 \times K_{p_{cr}}$	$0.5 \times T_{cr}$	$0.12 \times T_{cr}$

Замечания:

- Колебательный режим работы системы не всегда желателен или возможен;
- Что касается климатических систем, то колебания температуры в помещениях не всегда допустимы. Кроме того, измерить параметры таких колебаний бывает затруднительно.

**Метод 2:** использование временных характеристик реакции системы на импульсное воздействие — лучше подходит для реальных систем вентиляции и кондиционирования.



• Подаем **единичный скачок** в качестве сигнала управления на вход системы и фиксируем выходной сигнал;

• Большинство реальных систем реагируют на единичный скачок выходным сигналом с амплитудой  $A$ , временем нарастания  $T$  и задержкой  $t_D$ ;

• Рассчитываем коэффициенты регуляторов по формулам из таблицы:

	$K_p$	$T_I$	$T_D$
<b>P</b>	$\frac{1}{A} \times \frac{T}{t_D}$	-	-
<b>PI</b>	$\frac{0.9}{A} \times \frac{T}{t_D}$	$3.3 \times t_D$	-
<b>PID</b>	$\frac{1.2}{A} \times \frac{T}{t_D}$	$2 \times t_D$	$0.5 \times t_D$

Второй метод, очевидно, больше подходит для климатических систем, так как не требует ввода системы в колебательный режим, кроме того, параметры реакции на единичный скачок могут быть заранее известны или легко измерены.

Следует отметить, что после расчета коэффициентов по приведенным формулам может потребоваться корректировка полученных значений по результатам наблюдения за поведением системы.

Однако в любом случае использование методов Ziegler и Nichols позволяет сократить трудозатраты на пуско-наладку оборудования.

*В следующем номере мы продолжим публиковать фрагменты учебной программы «Автоматизация систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха» Учебно-консультационного центра «Университет климата».*

**Дмитрий Смелов,**  
директор по развитию ООО «КАРЕЛ РУС»