

В.А. Шафрановский

**Справочник наладчика
автоматики котельных
установок**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 528
ББК 38.2
В11

В11 **В.А. Шафрановский**
Справочник наладчика автоматики котельных установок / В.А. Шафранов-
ский – М.: Книга по Требованию, 2024. – 174 с.

ISBN 978-5-458-39028-6

ISBN 978-5-458-39028-6

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2024

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2024

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

ΔX	— отклонение регулируемой величины от заданного его значения;
$У$	— выходная величина регулятора (регулирующее воздействие);
P (пэ)	— давление, МПа, кгс/см ² ;
H (аш)	— уровень, мм;
T	— время разгона объекта регулирования (время переходного процесса), с;
T_0	— постоянная времени объекта регулирования, с;
ε (эпсилон)	— скорость разгона объекта регулирования;
ρ (ро)	— коэффициент самовыравнивания;
K_0	— коэффициент усиления блока;
τ (тау)	— запаздывание, с;
δ (дельта)	— статическая ошибка;
Q (ку)	— объемный расход среды, м ³ /ч;
G (ге)	— весовой расход среды, кг/ч; т/ч;
K_p (K_p)	— коэффициент усиления (пропорциональности) регулятора;
P	— пропорциональный регулятор;
I	— интегральный регулятор;
$ПИ$	— пропорционально-интегральный (изодромный) регулятор;
T_d	— время демпфирования, с;
T_n	— время изодрома, с;
T_c	— время полного хода исполнительного механизма, с;
A	— амплитуда автоколебаний;
$T_a, T_{пр}$	— период автоколебаний, с;
$1/T_c$	— скорость хода ИМ;
$K_p^{кр}$	— критический коэффициент усиления регулятора;
$K_p^{оп}$	— оптимальный коэффициент усиления регулятора;
$K_{п.с.}$	— коэффициент передачи измерительной схемы;
$t_{имп}$	— длительность импульса;
$K_{п-63}$	— коэффициент пропорциональности при скорости ИМ, равной 63 с (для приборов типа Р25);
K_v	— пропускная способность регулирующего органа, м ³ /ч;
K_{vy}	— условная пропускная способность РО, м ³ /ч;
K_{v_0}	— нулевая способность РО, м ³ /ч;
$F_{ро}$	— площадь проходного сечения РО, мм ² ;
S	— фактический ход РО, мм;
α (альфа)	— угол поворота РО, °;
β (бета)	— угол поворота ИМ, °;
Φ (фи)	— зависимость;
f (эф)	— функция, зависимость;
σ (сигма)	— относительная пропускная способность РО;
l (эль)	— степень открытия РО;
a_i	— коэффициент расхода жидкости через РО;

q (же)	— ускорение свободного падения — 980 см/сек^2 ;
μ (мю)	— удельный вес, кг/см^3 ;
r (эр)	— длина рычага ИМ, мм;
R (эр)	— длина рычага РО, мм;
L (эль)	— длина соединительной штанги, мм;
t°	— температура, $^\circ\text{C}$;
$t^\circ_{\text{н.в.}}$	— температура наружного воздуха, $^\circ\text{C}$;
$t^\circ_{\text{с.в.}}$	— температура сетевой воды, $^\circ\text{C}$.

Условные буквенные обозначения, применяемые в функциональных схемах, приведены на стр. 104.

Соотношения единиц измерения давления.

$1 \text{ Па} = 0,1 \text{ мм вод. ст.} = 0,1 \text{ кгс/м}^2$;

$10 \text{ Па} = 1 \text{ мм вод. ст.} = 1 \text{ кгс/м}^2$;

$1 \text{ кПа (килопаскаль)} = 100 \text{ мм вод. ст.} = 100 \text{ кгс/м}^2$;

$0,1 \text{ МПа (мегапаскаль)} = 1 \text{ кгс/см}^2$;

$1 \text{ МПа} = 10 \text{ кгс/см}^2$.

Раздел 1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Автоматика — раздел науки и техники, охватывающий теорию автоматического регулирования и совокупность технических средств, освобождающих человека от непосредственного управления производственными процессами.

В понятие автоматика входит:

автоматический контроль, к которому относятся все виды измерений с помощью контрольно-измерительных приборов (КИП) — местные, дистанционные и автоматические с регистрацией контролируемых параметров;

местное, дистанционное и автоматическое управление, включающее все виды управления производственными механизмами и приводами рабочих органов, участвующих в процессе регулирования;

технологическая и защитная блокировка, исключающая ошибочные, неправильные действия обслуживающего персонала и обеспечивающая защиту технологического оборудования от аварий;

световая и звуковая сигнализация, информирующая обслуживающий персонал о состоянии технологического оборудования, возникновении аварий;

автоматическое регулирование; позволяющее осуществлять технологический процесс на заданном уровне или по заданному закону без непосредственного участия человека.

Глава 1. СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Автоматическим регулированием называется процесс автоматического (без участия человека) поддержания заданных значений какой-либо физической величины в заранее установленных условиях. Автоматическое регулирование состоит из контроля параметров и управления приводом. Параметром называется величина, характеризующая условия технологического процесса (давление, уровень, температура и т. д.).

Величина, которую необходимо поддерживать постоянной или изменять по заданной программе, называется регулируемой.

Система автоматического регулирования (САР) должна поддерживать на заданном уровне X_0 значение регулируемой величины X , т. е. должно обеспечиваться равенство: $X=X_0$; она может быть постоянной величиной (системы автоматической стабилизации), изменяться во времени по заданной программе (системы программного управления) или заранее неизвестным образом (следящие системы).

Отклонение $\Delta X = X - X_0$ регулируемых величин X от их установленных значений X_0 вызывается факторами, которые называются **возмущениями** и обозначаются F . Регулируемые величины X , задаваемые X_0 , и возмущения F могут быть различны по своей физической природе. Однако задачей любой системы является обеспечение равенства значений регулируемой и заданной величин, поэтому и принципы построения автоматических систем являются общими при регулировании давления, уровня, температуры и других параметров различных объектов.

По назначению различают следующие виды САР:

- 1) автоматической стабилизации;
- 2) программного регулирования;
- 2) следящие;
- 3) экстремального регулирования.

В системе автоматической стабилизации задача автоматического регулятора состоит в том, чтобы стабилизировать процесс, т. е. поддерживать постоянное значение регулируемой величины в достаточно узких пределах, допустимых для эксплуатации.

Например, уровень воды в барабане котла должен быть средний (отклонения при его регулировании ± 20 мм). Это необходимо для удержания максимальной площади испарения (зеркала испарения) и для безопасной работы

котла, так как в случае отказа регулятора достаточно 3—4-х минут до спуска воды из барабана или его перепитки.

В системах программного регулирования регулируемая величина поддерживается на значении, которое изменяется по заданному закону (по программе) в зависимости от времени. Пример: системы, автоматически уменьшающие температуру теплоносителя, подаваемого на отопление зданий в ночной период.

Следящая система регулирования поддерживает регулируемую величину в заданных значениях, изменяющихся под влиянием процессов вне рассматриваемой системы и заранее неизвестных. Задача системы регулирования в этом случае состоит в том, чтобы изменения регулируемой величины следили за изменениями другого параметра. Например, регулируемая температура теплоносителя, подаваемого в систему отопления зданий, зависит от колебаний температуры наружного воздуха.

В системе экстремального регулирования регулятор поддерживает оптимальное для изменяющихся условий значение регулируемой величины. Примером экстремального (от «экстремум», объединяющего понятия «максимум» и «минимум») регулирования является котел, где каждому расходу топлива соответствует некоторое определенное значение расхода воздуха, при котором температура в топочном пространстве будет максимальной. Если уменьшить количество воздуха, подаваемого в топку котла, в сравнении с оптимальным значением, то температура понизится из-за увеличения недожога топлива. Увеличение расхода воздуха также вызывает понижение температуры. Система экстремального регулирования поддерживает такие значения расхода воздуха, при которых значение температуры при данной подаче топлива является максимальным.

Если в качестве регулируемого параметра принять к.п.д. котла, то задача экстремального регулятора заключалась бы в обеспечении максимальной экономичности процесса горения (т. е. наивысшее значение к.п.д.) посредством соответствующего управления величиной расхода топлива и воздуха.

По принципу действия различают следующие виды САР:

а) с воздействием по отклонению регулируемого параметра;

б) с воздействием по возмущению — принцип компенсации;

в) комбинированные.

Принцип управления по отклонению заключается в поддержании регулируемой величины X на заданном уровне X_0 по величине отклонения ΔX , т. е. непосредственная связь с возмущениями, действующими на объект, отсутствует. Этот принцип управления (принцип обратных связей) предложен И. И. Ползуновым в 1766 г. и Джеймсом Уаттом в 1784 г.

Для построения системы управления по отклонению необходимо только одно управляющее устройство — регулятор, который имеет следующий алгоритм работы: если отклонение $\Delta X > 0$, он соответственно увеличивает выходную величину объекта X , а если $\Delta X < 0$, он уменьшает X .

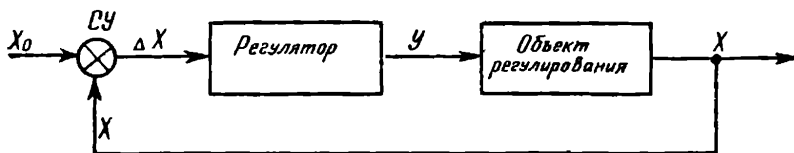


Рис. 1. Функциональная схема замкнутой системы регулирования.

(где $\Delta X = X - X_0$). Наличие отклонения называют рассогласованием системы. Таким образом, регулятор сводит рассогласование ΔX к минимуму, т. е. приближает действительное значение регулируемой величины к заданному.

Система управления, построенная по такому признаку, называется замкнутой системой с отрицательной обратной связью. Здесь значение выходной величины объекта X , поданное на вход суммирующего устройства СУ регулятора, сравнивается с заданной величиной X_0 , а регулирующее воздействие U направлено в сторону уменьшения отклонения до нуля (рис. 1).

Эта система не требует знания всех характеристик объекта и действующих на него возмущений. Ее работа отличается высокой точностью. К недостаткам следует отнести затруднения, возникающие при разработке быстродействующих систем управления, особенно для сложных инерционных объектов. Повышение быстродействия такой системы приводит к потере ее устойчивости.

Принцип компенсации возмущений называют еще принципом разомкнутого управления. Согласно ему управление заключается в измерении возмущений и их последующей компенсации на выходе объекта (рис. 2).

САР работает следующим образом: действующие возмущения F_i измеряются и посылаются на вход устройств

управления компенсирующих устройств КУ₁, которые вырабатывают управляющие воздействия на органы управления объекта. Значит, воздействие регулятора на объект регулирования начинается еще до начала отклонения регулируемой величины от заданного значения. Комбинированные САР используют оба принципа.

В зависимости от источника энергии, за счет которой перемещается регулирующий орган, различают системы прямого и непрямого регулирования.

Регуляторы, в которых чувствительный элемент непосредственно воздействует на регулирующий орган, называются регуляторами (системами) прямого действия. Они используют энергию самого регулируемого объекта, передаваемую через чувствительный элемент.

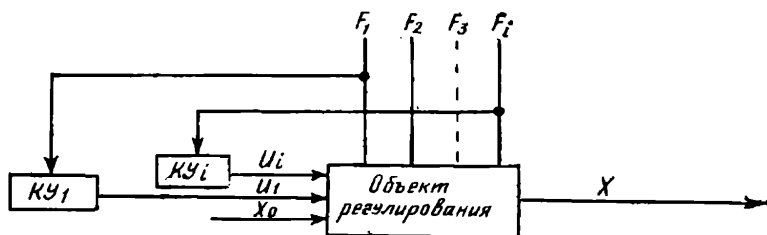


Рис. 2. Функциональная схема разомкнутой системы регулирования.

Регуляторы, воздействующие на регулирующий орган через усилительное устройство и исполнительный механизм, питаемый от добавочного внешнего источника энергии, называются регуляторами (системами) непрямого действия.

Функциональная схема системы автоматического регулирования показывает взаимосвязь основных элементов и направление их действия (рис. 3), где ОР — объект регулирования (барaban котла, топка);

D — датчик — чувствительный элемент, предназначенный для измерения физических величин и преобразования их в величину другого вида, более удобную для усиления, передачи на расстояние и воздействия на исполнительный механизм.

Зд — задатчик — устройство, используемое для изменения задания, которое должен поддерживать регулятор. Они бывают ручные, программные, пружинные, реостатные, пневматические и др.

ЭС — элемент сравнения, в котором сопоставляется требуемое значение параметра X_0 (поступающего от

задатчика) с действительным его значением X (поступающим от воспринимающего элемента — датчика). Если значения сигналов с датчика X и задатчика X_0 не одинаковы, то в результате их сопоставления (сравнения) в элементе сравнения ЭС вырабатывается воздействие, вызванное рассогласованием ΔX .

У — усилитель. Обычно рассогласование ΔX слабое по величине. Поэтому оно поступает на усилитель У, где усиливается за счет постороннего источника питания ИП и направляется на исполнительный механизм ИМ.

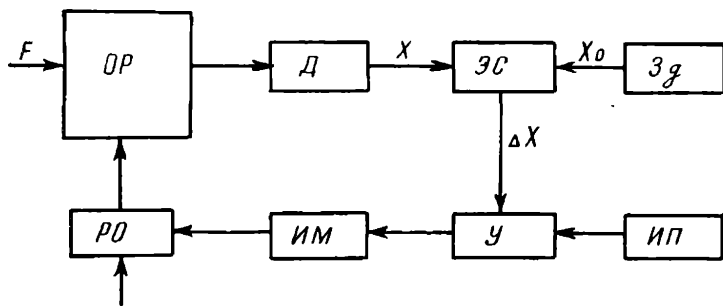


Рис. 3. Функциональная схема системы автоматического регулирования.

ИМ — исполнительный механизм — устройство, в котором электрический, гидравлический, пневматический сигнал с усилителя преобразуется в механическую передачу, воздействующую на регулирующий орган РО.

РО — регулирующий орган, который, изменяя проходное сечение, влияет на расход какого-либо вещества (воды, воздуха, топлива, дымовых газов и т. д.), проходящего через него.

F — внешние возмущения.

Система автоматического регулирования работает следующим образом: сигнал X от объекта регулирования ОР поступает на чувствительный элемент датчика D , преобразуется и поступает на элемент сравнения ЭС, на который так же поступает сигнал X_0 , от задатчика Зд. При равенстве этих сигналов, т. е. их балансе ($\Delta X = 0$), сигнал на усилитель не поступает. При разбалансе сигналов, т. е. $X \neq X_0$, сигнал рассогласования $\pm \Delta X = X - X_0$ поступает на усилитель, а затем направляется на исполнительный меха-

низм, который, в зависимости от знака рассогласования, воздействует на регулирующий орган РО, перемещая его в определенном направлении. Изменение положения РО вызывает изменение его проходного сечения, что влияет на количество вещества, поступающего в объект регулирования, т. е. оказывает влияние на регулируемый параметр. Этим замыкается основная цепь воздействий автоматической системы регулирования. В более сложных регуляторах к усилителю подключается дополнительно устройство, вырабатывающее определенный закон регулирования.

Глава 2. СВОЙСТВА ОБЪЕКТОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ

На процесс регулирования оказывают влияние как свойства регулирующей части системы, так и самого объекта регулирования.

В промышленной энергетике свойства объектов регулирования определяют чаще на основании кривых разгона, снятых экспериментальным путем, а не аналитическим методом — совместным решением дифференциальных уравнений материального и энергетического баланса.

Основными свойствами объектов регулирования являются: 1) емкость объекта; 2) самовыравнивание; 3) время разгона объекта; 4) запаздывание.

Объекты регулирования обладают способностью запасать рабочую среду, аккумулировать ее внутри объема. Запас накопленной объектом энергии или вещества называется **емкостью объекта**. Физически она проявляется в виде теплоемкости, геометрической емкости резервуара, инерционности движущихся масс и т. п. Например, емкость бака с водой зависит от его размеров. Чем больше бак, тем медленнее будет изменяться уровень при нарушении соответствия между притоком и расходом.

Под выравниванием процесса регулирования понимают действия (человека или регулятора), направленные на достижение равенства между подачей и потреблением, притоком и расходом. **Самовыравниванием** процесса регулирования называется свойство регулируемого объекта после нарушения равновесия между притоком и расходом вернуться к этому состоянию самостоятельно, без участия человека или регулятора. Самовыравнивание способствует более быстрой стабилизации регулируемой величины и, следовательно, облегчает работу регулятора. Пример: давление пара в барабане котла (рис. 4).

В установившемся режиме при определенной подаче топлива давление пара в барабане котла было P_0 . При увеличении подачи топлива оно увеличилось, стало равно P_1 , т. е. снова был достигнут установившийся режим, но уже на новом уровне. Это новое положение равновесия после возмущения в определенных пределах может быть достигнуто без регулятора.

К объекту без самовыравнивания относится уровень воды в барабане котла. При резком увеличении подачи

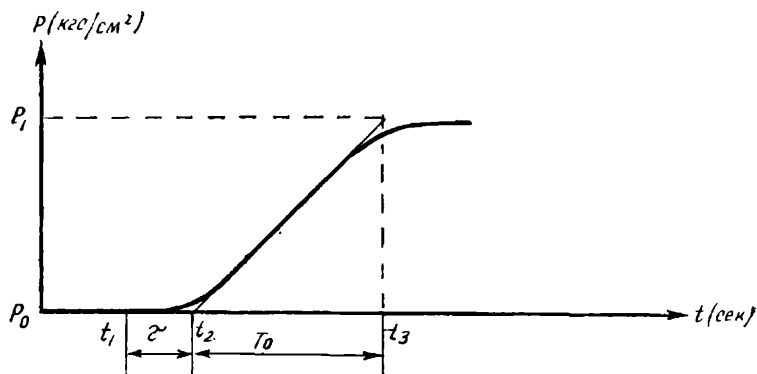


Рис. 4. Кривая разгона объекта с самовыравниванием (давление пара в барабане котла).

питательной воды в барабан котла уровень ее в барабане растет (рис. 5).

Расход пара с котла остался прежним, а приток воды продолжается, поэтому уровень H все время растет.

Из сказанного можно сделать выводы — при наличии самовыравнивания работа регуляторов облегчается, а при отсутствии устойчивое функционирование системы без регулятора невозможно.

Мерой емкости объекта без самовыравнивания является время разгона объекта T , под которым понимается время, в течение которого значение регулируемого параметра изменится от нуля до номинального при наибольшем небалансе между притоком и расходом среды. Величина, обратная времени разгона, называется скоростью разгона объекта:

$$\mathcal{E} = \frac{1}{T} \left(\frac{1}{c} \right)$$

Мерой емкости объекта с самовыравниванием является постоянная времени разгона T_0 . Касательная, проведенная