В. А. ШАФРАНОВСКИЙ

СПРАВОЧНИК наладчика автоматики котельных установок

СИМФЕРОПОЛЬ «ТАВРИЯ» 1987

31.38
Ш30

Шафрановский В. А.

Ш30 Справочник наладчика автоматики котельных установок.— Симферополь: Таврия, 1987.— 176 с.

В справочнике рассмотрены вопросы, возникающие в процессе монтажа, наладки, обслуживания и ремонта систем автоматического регулирования котельных установок. Особое внимание уделено описанию параметров качества процесса регулирования.

Для слесарей, обслуживающих системы автоматического регулирования котельных установок.

Ш $\frac{2303040000\text{-}039}{M216(04)\text{-}87}$ 34-87 31.38

Рецензенты: *Н. П. Кузнецов; Ю. С. Федосенко, канд. физ.-мат. наук*

© Издательство «Таврия», 1987

Основой автоматизации многих технологических процессов являются системы автоматического регулирования (САР) важных энергетических параметров. Их широкое применение способствует повышению производительности труда, достижению стабильно высокого качества продукции и увеличению эффективности использования топливно-энергетических ресурсов. Так, автоматизация котельных установок позволяет экономить до 10% топлива.

Задача настройки САР состоит в том, чтобы, имея сведения об объекте управления и заданные требования ко всей системе, обеспечить наиболее полную их реализацию. Успешное включение и функционирование САР возможно только при условии высокой культуры технической эксплуатации устройств автоматики.

На данном уровне развития машиностроения, приборостроения и автоматизации производства профессиональное мастерство является важнейшим условием эффективности использования сложнейших средств автоматизации. При этом большая роль в обеспечении надежной и бесперебойной эксплуатации, ремонте и наладке элементов автоматики и систем в целом отводится специалистам по контрольно-измерительным приборам и автоматике — слесарям КИПиА. Они должны решать практические задачи, требующие хороших знаний и большого технического мастерства. Постоянное усложнение систем автоматики, внедрение промышленных роботов повышает требования к обслуживающему персоналу.

Существующие справочники доступны по своей сложности только для высококвалифицированных специалистов. Особенность данного справочника заключается в том, что сделана попытка создать справочник-учебник, который может быть использован слесарями КИПиА для изучения, наладки, эксплуатации и ремонта систем автоматического регулирования. В справочник входят основные сведения по теории автоматического регулирования, технические и конструктивные характеристики регулирующих приборов из новой серии «Контур» типа Р25, исполнительных механизмов, датчиков и регулирующих органов. Подробно описаны методы экспериментального определения характерис-

тик регулнрующнх органов, сочленення их с нсполнительными механизмами и порядок настройки каждого регулятора котельной с учетом технических и теплотехнических даиных объекта регулнрования.

Содержаиие справочника позволяет самостоятельно решать следующне задачи:

разобраться в структуре н взаимодействии элементов любой системы автоматнческого регулирования;

посредством доступного в эксплуатацин эксперимента получить данные для установления оптнмальных настроечных параметров средств автоматикн;

производить настройку САР, обеспечивающую наилучший режим работы автоматизированного оборудования;

оценнвать качество и надежность работы автоматнзированной системы, а в случае неисправности — установить место и причину прошедшего нарушення;

обеспечить грамотную эксплуатацию н надлежащее техническое обслуживанне средств автоматнзации.

СОКРАЩЕНИЯ И УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ТЕКСТЕ

САР	— система автоматического регулирования;
ОР	— объект регулнрования;
Д	— датчик;
ЭС	— элемент сравнення;
У	— усилитель;
ИМ	— исполнительный механизм;
РО	— регулирующий орган;
ИП	— источник питания;
СУ	— суммирующее устройство;
F	— возмущенне;
ОС	— обратная связь;
ТС	— термопреобразователь сопротивления;
ИУ	— исполнительное устройство;
ПТ	— переключатель топлива;
РУ	— редукционная установка;
РУп	— ручное управленне;
ПВУ	— переключатель вида управлення;
а	— автоматическое управление;
р	— ручное управление;
X	— значение регулируемой величины;
X_0	— заданное значение регулнруемой величины;
Δ (дельта)	— разность, перепад;

ΔX	— отклонеиие регулируемой величины от заданного его значения;
У	— выходная величина регулятора (регулирующее воздействие);
P (пэ)	— давленне, МПа, кгс/см^2;
H (аш)	— уровень, мм;
T	— время разгона объекта регулирования (время переходного процесса), с;
T_0	— постоянная временн объекта регулирования, с;
ε (эпснлон)	— скорость разгона объекта регулнрования;
ρ (ро)	— коэффнциент самовыравнивания;
K_0	— коэффициент усиления блока;
τ (тау)	— запаздыванне, с;
δ (дельта)	— статическая ошнбка;
Q (ку)	— объемный расход среды, м^3/ч;
G (ге)	— весовой расход среды, кг/ч; т/ч;
$K_р$ ($K_п$)	— коэффнцнент усилення (пропорциональностн) регулятора;
П	— пропорциональный регулятор;
И	— интегральный регулятор;
ПИ	— пропорцнонально-нитегральный (изодромный) регулятор;
$T_д$	— время демпфирования, с;
$T_и$	— время нзодрома, с;
$T_с$	— время полного хода нсполнительного механизма, с;
А	— амплнтуда автоколебаний;
$T_а$, $T_{пр}$	— период автоколебаний, с;
$1/T_с$	— скорость хода ИМ;
$K_р^{кр}$	— критический коэффициент усилення регулятора;
$K_р^{оп}$	— оптнмальный коэффнцнент усиления регулятора;
$K_{и.с.}$	— коэффициент передачи измерительной схемы;
$t_{имп}$	— длительность импульса;
$K_{п-63}$	— коэффициент пропорциональности при скорости ИМ, равной 63 с (для прнборов типа Р25);
K_v	— пропускная способность регулирующего органа, м^3/ч;
K_{vy}	— условная пропускная способность РО, м^3/ч;
K_{v_0}	— иулевая способность РО, м^3/ч;
$F_{ро}$	— площадь проходного сечення РО, мм^2;
S	— фактическнй ход РО, мм;
α (альфа)	— угол поворота РО, °;
β (бета)	— угол поворота ИМ, °;
φ (фн)	— зависимость;
f (эф)	— функция, зависимость;
σ (сигма)	— относительная пропускная способность РО;
l (эль)	— степень открытня РО;
a_t	— коэффнцнент расхода жндкости через РО;

q (же) — ускорение свободиого падения — 980 см/сек²;
μ (мю) — удельный вес, кг/см³;
r (эр) — длина рычага ИМ, мм;
R (эр) — длина рычага РО, мм;
L (эль) — длина соединительной штанги, мм;
$t°$ — температура, °С;
$t°_{н.в.}$ — температура наружного воздуха, °С;
$t°_{с.в.}$ — температура сетевой воды, °С.

Условные буквенные обозиачения, применяемые в фуикциональных схемах, приведены на стр. 104.

Соотношении единиц измереиия давлеиия.

1 Па=0,1 мм вод. ст.=0,1 кгс/м²;

10 Па=1 мм вод. ст.=1 кгс/м²;

1 кПа (киллопаскаль)=100 мм вод. ст.=100 кгс/м²;

0,1 МПа (мегапаскаль)=1 кгс/см²;

1 МПа=10 кгс/см².

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 стабилизиции** 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

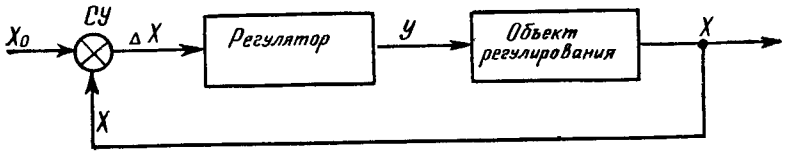


Рис. 1. Функциональная схема замкнутой системы регулирования.

(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 величной X_0, а регулирующее воздействие У 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 $КУ_i$, 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.

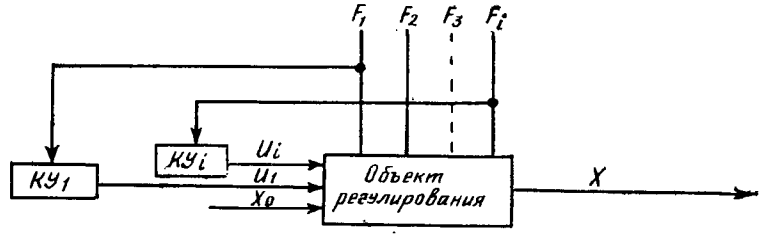


Рис. 2. Функциональная схема разомкнутой системы регулирования.

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 (барабан 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.

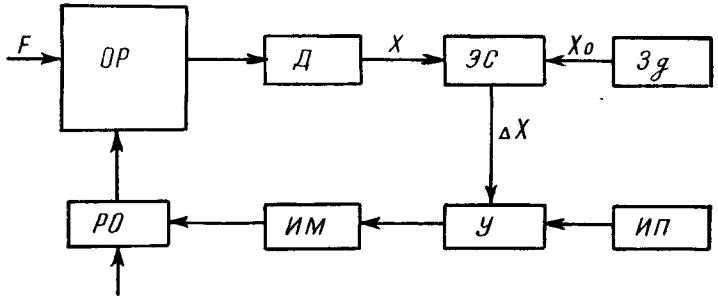


Рис. 3. Функциональная схема системы автоматического регулирования.

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 Xo, от задатчика Зд. При равенстве этих сигналов, т. е. их балансе ($\Delta X = 0$), сигнал на усилитель не поступает. При разбалансе сигналов, т. е. $X \neq Xo$, сигнал рассогласования $\pm\Delta X = X - Xo$ поступает на усилитель, а затем направляется на исполнительный механизм, 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

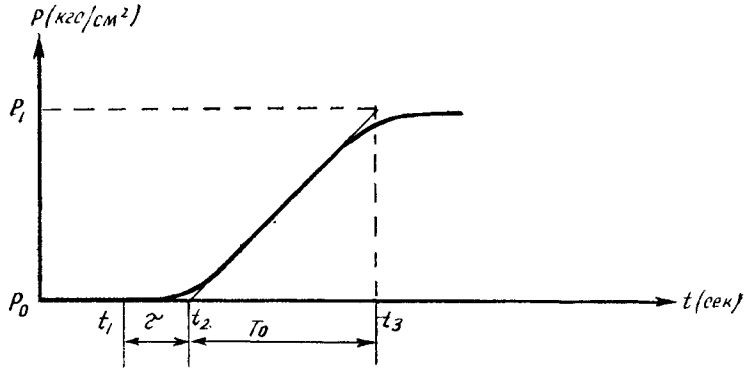


Рис. 4. Кривая разгона объекта с самовыравниванием (давление пара в барабане котла).

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:

$$\varepsilon = \frac{1}{T}\left(\frac{1}{\text{с}}\right)$$

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

к кривой разгона, отсекает на оси времени, относительно нового установившегося значения параметра, величину T_0. Для объекта без самовыравнивания значения времени разгона T и постоянной времени T_0 совпадают.

Коэффициент самовыравнивания ρ служит для количественной оценки явления. Он показывает, в какой степени отклонение параметра влияет на небаланс: $\rho = \frac{У}{X}$, где У — количественный показатель возмущения; X — количественный показатель регулируемой величины.

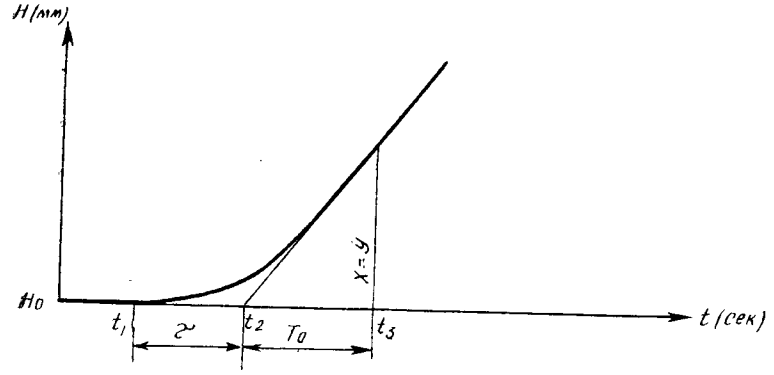


Рис. 5. Кривая разгона объекта без самовыравнивания (уровень воды в барабане котла).

Для объектов с самовыравниванием чаще пользуются величиной, обратной коэффициенту самовыравнивания, которая называется **коэффициентом усиления объекта** K_0:

$$K_0 = \frac{1}{\rho}.$$

В системах автоматического регулирования, после получения возмущающего воздействия (нарушен скачкообразно приток или расход), регулируемый параметр изменяется не мгновенно, а через некоторое время. Это время называется **запаздыванием** τ процесса в объекте. Различают емкостное и транспортное (передаточное) запаздывание.

Емкостное зависит от емкости объекта регулирования. Паровой котел по уровню воды в барабане, например, обладает емкостным запаздыванием.

Время между перемещением регулируемого органа в результате полученного сигнала и началом изменения регулируемого параметра называется **транспортным запаздыванием.** Например, чтобы увеличить давление пара в бара-

бане котла, переместим регулирующий орган подачи топлива в топку котла. Время запаздывания будет складываться из времени сжигания топлива, передачи тепла экранным трубам, парообразования в них, подъема пара в паровую часть барабана котла.

Время запаздывания определяется по величине отрезка от момента нанесения скачкообразного возмущения до точки пересечения касательной с осью времени (рис. 4, 5). Чем больше время полного запаздывания — тем труднее регулировать такой процесс. Из наиболее часто регулируемых параметров наибольшим запаздыванием обладают объекты, в которых регулируется температура, а наименьшим — объекты, в которых поддерживается расход жидкости.

Для определения динамических характеристик объекта регулирования — коэффициента усиления (передачи) объекта K_o, постоянной времени запаздывания τ на практике чаще пользуются экспериментальными методами, поскольку зависимость между входной и выходной величиной (кривую разгона) легче получить именно таким способом.

Для оценки регулируемости объекта применяется отношение τ/T_o — **степень трудности регулирования объекта.** Эта величина равняется переходному отклонению регулируемого параметра X в процентах от заданного значения X_o, когда величина внешнего регулирующего воздействия составляет 1% от диапазона регулирования.

Таблица 1

Диапазон величины степени трудности	Характеристика объекта
0—0,1	Очень хорошо регулируемый
0,1—0,2	Хорошо регулируемый
0,2—0,4	Еще регулируемый
0,4—0,8	Трудно регулируемый
0,8	Очень трудно регулируемый

Глава 3. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Большинство систем строятся на принципе регулирования по отклонению регулируемой величины от заданного значения. В данном случае действие регулирующего органа направлено так, чтобы ликвидировать это отклонение. Уравнение системы регулирования для ее равновесного состояния можно выразить формулой $X=X_0+\Delta X(F)$, где

X — регулируемая величина; X_o — постоянная, равная заданному значению регулируемой величины; $\Delta X(F)$ — отклонение регулируемой величины, зависящее от переменного параметра F.

Равновесное состояние регулируемого параметра характеризуется следующими условиями:

1) отклонение регулируемого параметра от заданного равно нулю или некоторому постоянному значению;

2) между притоком и расходом регулируемой среды устанавливается баланс;

3) исполнительный механизм и регулирующий орган находятся в покое.

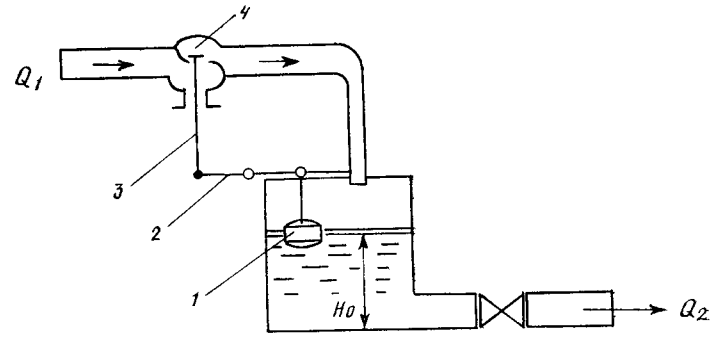


Рис. 6. Статический регулятор уровня.

$\Delta X(F)$ зависит от нагрузки объекта и определяет отклонение регулируемой величины от заданного значения в пределах зоны регулирования в равновесном состоянии и называется **статической ошибкой** — δ.

В системах регулирования различают статическое регулированиие ($\delta\neq0$) и астатическое ($\delta=0$).

Принцип статического объясняется на примере регулирования уровня в баке (рис. 6). На этой схеме поплавок 1 жестко связан с регулирующим органом 4. Если расход воды Q_2 постоянный, то уровень не меняется; положение клапана 4 и приток Q_1 также остаются неизменными — система находится в равновесии. Если расход Q_2 увеличить, то уровень понизится, вместе с уровнем опустится и поплавок 1, в результате этого клапан откроется. Количество воды, поступающее в бак, увеличится, что приведет к повышению уровня. Равновесие наступит тогда, когда следующий приток будет равен новому (увеличенному)

расходу. Однако в этом равновесии уровень не достигнет первоначального значения, т. к. большему расходу Q_2 соответствует большее открытие клапана (чтобы $Q_1 = Q_2$), т. к. он жестко связан с поплавком через тягу 3 и рычаг 2. Наибольший расход соответствует полностью открытому клапану, а наименьший — закрытому.

Следовательно, чем больше расход воды, тем больше открыт клапан, тем ниже в состоянии равновесия будет находиться поплавок и тем меньше будет регулируемый уровень. И наоборот: чем меньше расход, тем больше прикрыт клапан и тем выше регулируемый уровень, который в статической САР будет колебаться от наибольшего зна-

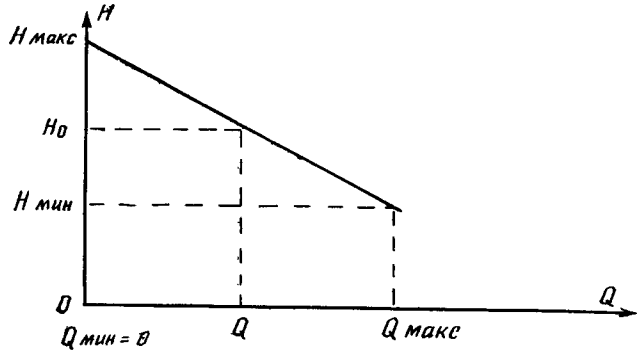


Рис. 7. Характеристика статического регулирования.

чения, при расходе равном нулю, до наименьшего, при расходе соответствующем полностью открытому клапану.

Итак, к характерным особенностям статического регулирования относятся следующие:

1) равновесие системы возможно при различных значениях регулируемой величины;

2) каждому значению регулируемой величины соответствует определенное положение регулирующего органа.

При **статическом регулировании** регулируемая величина (уровень), находящаяся под влиянием различных внешних воздействий (расход) на регулируемый объект по окончании переходного процесса, принимает неодинаковые значения, зависящие от величины воздействия.

Принцип астатического регулирования заключается в следующем. Пусть уровень воды измеряется поплавком, но он будет не жестко связан с клапаном, а воздействует на него электродвигателем, который включается электро-

контактами, управляемыми поплавком. При отклонении уровня от заданного поплавок замкнет один из двух контактов (уровень «больше» или «меньше»), электродвигатель будет вращаться в ту или другую сторону и открывать или закрывать клапан на питающей линии в бак до тех пор, пока уровень не вернется в заданное положение. Тогда контакты управления разомкнутся и регулирующий клапан займет новое положение.

Такая система регулирования называется **астатической** и характеризуется следующими особенностями:

1) равновесие системы возможно только при единственном значении регулируемой величины (например, уровня), причем это значение равно заданному;

2) регулирующий орган (например, клапан, заслонка) должен иметь возможность занимать различные положения при неизменном значении регулируемой величины.

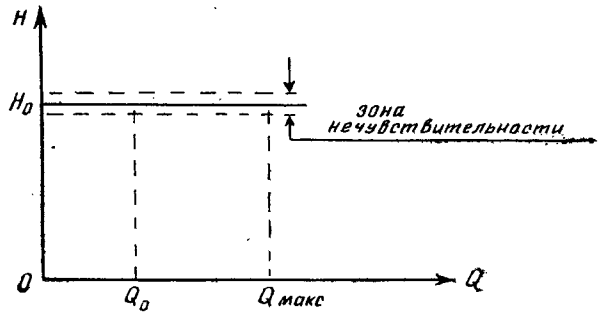


Рис. 8. Характеристика астатического регулирования.

Следовательно, при астатическом регулировании нет определенной связи между положением регулирующего органа и установившимся значением регулируемой величины.

При астатическом регулировании при различных по величине значениях внешнего возмущающего воздействия (нагрузки) на объект по окончании переходного процесса восстанавливается значение регулируемой величины.

У астатических регуляторов отсутствует статическая ошибка и регулируемая величина остается равной заданной с точностью, соответствующей нечувствительности регулятора для всех равновесных состояний системы.

Глава 4. ПРОМЫШЛЕННЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ НА БАЗЕ КОМПЛЕКСА ПРИБОРОВ «КОНТУР»

Вопрос о выборе регулятора решается на основании динамических характеристик объекта регулирования. Простейшим (приближенным) критерием оценки в этом случае является отношение времени запаздывания объекта τ к его постоянной времени T_0. Так, при $\tau/T_0<0{,}2$ применяется релейный регулятор, а при $\tau/T_0>0{,}2$ — регулятор непрерывного действия или импульсный.

Релейные (позиционные) регуляторы выдают сигнал, который обеспечивает перемещение регулирующего органа в одно из фиксированных положений (позиций). Их может быть два, три и более. По количеству позиций различают двух-, трех- и многопозиционные регуляторы. Процесс позиционного регулирования является автоколебательным,

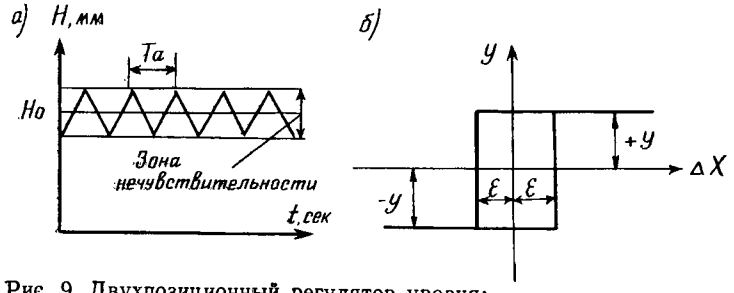


Рис. 9. Двухпозиционный регулятор уровня:
а) кривая изменения регулируемого параметра; б) статическая характеристика регулятора.

т. е. регулируемая величина как в переходном, так и в установившемся режиме периодически изменяется относительно заданного значения. Показателями автоколебательного режима являются амплитуды автоколебаний A и их период T_a.

Назначение **двухпозиционных регуляторов** состоит в том, чтобы прекращать или восстанавливать приток энергии к регулируемому объекту. Например, при регулировании уровня воды в баке двухпозиционный регулятор уровня включает и отключает питательный насос. Датчиком уровня является электрод сигнализатора уровня ЭРСУ-3. При нижнем уровне насос включается, при верхнем — отключается. Двухпозиционный регулятор работает по принципу «включено—отключено», «открыто—закрыто» и имеет следующую статическую характеристику (рис. 9). Срабатывание регулятора на включение и отключение регулирующего органа (насоса) происходит при различных значениях регулируемого параметра, несмотря на то, что настройка заданного значения регулируемой величины имеет одно значение (при $\Delta X=0$, где ΔX — отклонение регулируемой величины от задания). Знак регулирующего воздействия $\pm У$ определяется знаком отклонения регулируемой величины от ее заданного значения. Все двухпозиционные регуляторы обладают гистерезисной зоной 2ε, наличие которой объясняется разностью тока срабатывания и отпускания реле. Эта зона называется дифференциалом или зоной неравномерности и является единственным параметром настройки двухпозиционных регуляторов.

Принцип работы **трехпозиционного регулятора** рассмотрим на баке с водой, только с постоянно работающим насосом подкачки. Для обеспечения необходимого уровня в

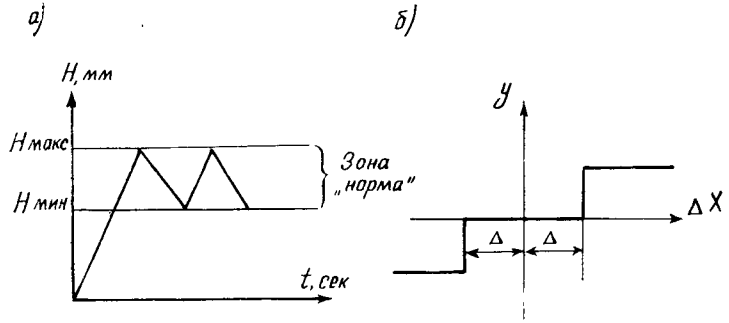


Рис. 10. Трехпозиционный регулятор уровня:
а) кривая изменения регулируемого параметра; б) статическая характеристика регулятора.

баке установим два электрода (нижнего и верхнего уровня) на нужном расстоянии друг от друга. На питательной линии после насоса установлен регулирующий клапан с электроприводом. При заданном уровне — «норма» — клапан находится в каком-то промежуточном положении. При уменьшении уровня ниже электрода «нижний уровень» включится электродвигатель, открывая клапан. При восстановлении уровня электродвигатель клапана остановится — уровень будет находиться в зоне «норма». Если уровень повысится до верхнего, то клапан закроется.

Регулятор работает по принципу «нижний уровень» — «норма» (средний уровень) — «верхний уровень». Здесь зона «норма» — зона нечувствительности регулятора. Величина зоны нечувствительности 2Δ является параметром настройки трехпозиционного регулятора (рис. 10). Увели-

чение зоны уменьшает точность регулирования и может привести к тому, что в процессе работы САР регулирующий орган будет без остановки перемещаться от одного крайнего положения к другому, т. е. не будет отличаться от двухпозиционного регулятора. К такому же результату приводит значительное увеличение скорости регулирующего органа.

Регуляторы, реализующие пропорциональный закон регулирования, называются **пропорциональными (статическими)**, сокращенно **П-регуляторами**, и применяются в тех САР, где необходима высокая точность регулирования или недопустим автоколебательный процесс. Их основными блоками являются датчик Д, усилитель У и исполнительный механизм ИМ.

В САР с П-регуляторами изменение положения ИМ и связанного с ним регулирующего органа РО пропорционально отклонению регулируемой величины от ее заданного значения: $V=-K_p\cdot\Delta X$, где: K_p — коэффициент пропорциональности (коэффициент усиления регулятора); знак минус означает, что регулирующее воздействие направлено в сторону, противоположную отклонению регулируемого параметра.

Особенностью П-регуляторов является наличие жесткой обратной связи, сигнал которой передается от датчика положения исполнительного механизма, суммируется с сигналом рассогласования и поступает на вход в регулирующее устройство. П-регуляторы строятся по следующей схеме (рис. 11). Обратная связь по положению ИМ предназначена для того, чтобы ИМ перемещался не непрерывно, а поворачивался только на определенный угол. Напряжение, пропорциональное углу поворота ИМ, поступает на вход регулятора и суммируется алгебраически с сигналом рассогласования ΔX. Если этот суммарный сигнал равен 0, то ИМ остановится в том положении, при котором количество подаваемой энергии к объекту через РО будет соответствовать данной нагрузке и будет пропорционально ΔX. Коэффициент пропорциональности показывает, сколько процентов должен пройти ИМ с РО при определенном, заданном отклонении регулируемого параметра.

Коэффициент пропорциональности K_p принято считать равным единице, если для изменения регулируемой величины X на 100% регулирующий орган должен пройти 100% своего хода. Максимальное значение K_p соответствует почти полному отсутствию обратной связи по положению регулирующего органа. Минимальное значение K_p

лимитировано и определяется максимально допустимой величиной обратной связи по положению РО, при котором П-регулятор работает без автоколебаний.

Величина, обратная K_p, выраженная в процентах, т. е. $1/K_p$, называется **статизмом или степенью обратной связи** δ. Статизм равен 100% при $K_p=1$. Эта величина характеризует максимальные отклонения регулируемого параметра от заданного значения при установившихся режимах САР. Разность между максимальным и минимальным значениями регулируемого параметра в установившемся режиме называют **остаточной неравномерностью** регулятора, определяемой его статизмом, т. е. **статической ошибкой** регулятора.

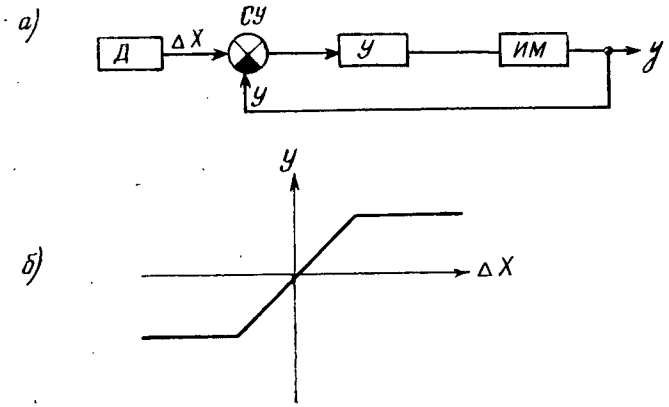


Рис. 11. П-регулятор:
а — структурная схема; б — статическая характеристика.

Интегральные регуляторы (И-регуляторы) предназначены для поддержания заданного значения регулируемой величины без статической погрешности, независящего от положения регулирующего органа РО.

Положение же РО зависит не от степени отклонения регулируемого параметра X от заданного значения X_0, а от продолжительности этого отклонения за зону нечувствительности автоматического регулятора 2δ.

Достоинством интегрального или астатического регулятора является то, что он поддерживает постоянным установившееся значение регулируемого параметра вне зависимости от нагрузки регулируемого объекта.

И-регуляторы управляют РО, скорость которого пропорциональна степени отключения регулируемого параметра X от заданного значения его X_0.

Характеристика идеализированного И-регулятора показывает, что увеличение отклонения вызывает увеличение скорости исполнительного механизма ИМ до бесконечности. Однако известно, что реальные исполнительные механизмы имеют конечную максимальную скорость.

Характеристика реального И-регулятора с ИМ переменной скоростью представлена на рис. 12 (кривая 2). Наиболее чаще применяются механизмы с постоянной скоростью перемещения регулирующих органов. Для И-регулятора с исполнительным механизмом ИМ постоянной скорости характеристика представлена кривой 3, где 2δ — зона нечувствительности регулятора, а T_c — время, в течение которого регулирующий орган делает полный ход (например, от открытия до закрытия).

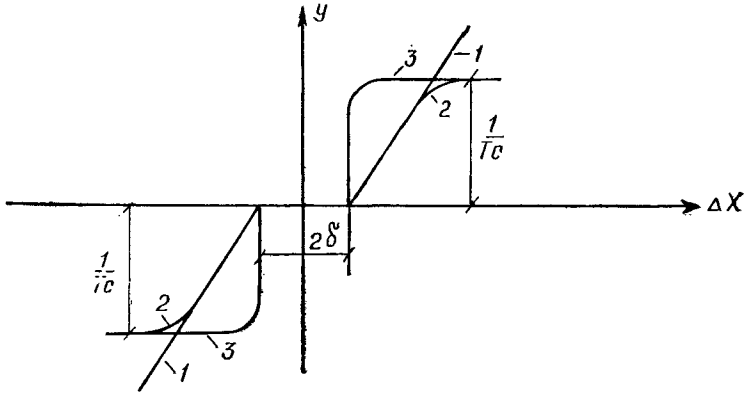


Рис. 12. Характеристика И-регулятора.

Скорость перестановки регулирующего органа $1/T_c$ и зона нечувствительности 2δ являются параметрами настройки регулятора постоянной скорости. Величина $1/T_c$ может изменяться ступенчато или путем смены шестерен редуктора, или подбором импульсного механизма. Зона нечувствительности изменяется плавно и в широких пределах. Увеличение зоны нечувствительности уменьшает точность регулирования и может привести к тому, что в процессе регулирования РО будет перемещаться без отключения от одного крайнего положения до другого, т. е. будет двухпозиционное регулирование. К такому же результату приводит значительное увеличение скорости РО.

Статическая ошибка САР с И-регулятором теоретически равна нулю. И-регуляторы применяются только для устойчивых объектов, т. е. объектов с самовыравниванием. Применение же их в объектах без самовыравнивания приводит к неустойчивым системам.

Анализируя характеристики П- и И-регуляторов, можно сделать вывод, что П-регуляторы обеспечивают лучший переходный процесс регулирования, т. е. имеют хорошие динамические свойства, а И-регуляторы не имеют статизма, т. е. имеют лучшие статические свойства.

Изодромные (пропорционально-интегральные) ПИ-регуляторы. Системы с интегральным регулятором характеризуются колебательным переходным процессом. В некоторых случаях И-закон регулирования может привести даже к незатухающим колебаниям регулируемой величины, т. е. сделать систему неустойчивой. Для улучшения качества

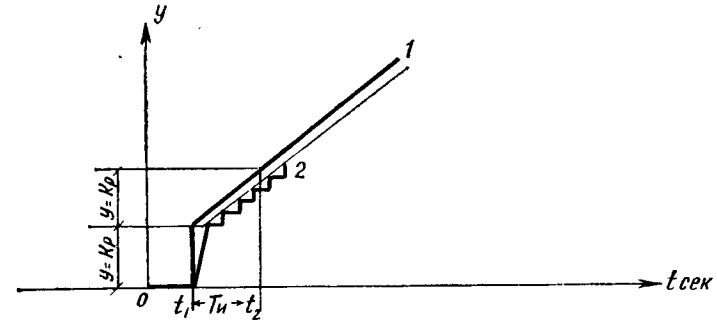


Рис. 13. Характеристика ПИ-регулятора:
1 — идеализированная характеристика; 2 — характеристика ПИ-регулятора с ИМ постоянной скорости, при единичном возмущении.

переходного процесса регулирования одновременно с введением скорости отклонения регулируемой величины сохраняют в законе регулирования и само отклонение регулируемой величины — такой закон регулирования называется **пропорционально-интегральным**, а регуляторы, осуществляющие его, **изодромными** (или регуляторами равной скорости — от греческих слов «износ»,— равный, «дромос» — скорость).

В изодромном регуляторе (рис. 13) воздействие регулятора на объект зависит как от величины отклонения ΔX, так и от значения интеграла во времени от этой величины. Другими словами, каждому значению отклонения ΔX соответствует определенная скорость изменения выходного сигнала регулятора (т. е. ИМ с РО) и выходной сигнал

регулятора будет изменяться, пока имеется вообще какое-либо отклонение. Если отклонение ΔX становится равным нулю, то воздействие прекращается.

ПИ-регулятор работает следующим образом. При отклонении регулируемой величины X от заданного значения X_0 регулятор сначала, действуя как пропорциональный, перемещает РО в зависимости от величины и знака $\Delta X = X - X_0$, а затем, действуя, как И-регулятор, перемещает РО в зависимости от скорости изменения ΔX и тем самым ликвидирует неравномерность (статизм).

Такое воздействие ПИ-регуляторов на РО объясняется наличием в них так называемой гибкой или упругой обратной связи (например, RC-цепочка), которая оказывает влияние не по величине регулирующего воздействия $У$, а по скорости его изменения. Упругая обратная связь по скорости перемещения ИМ воздействует на регулятор только во время переходного процесса регулирования, т. е. при наличии отклонения ΔX. В установившемся режиме эта обратная связь снимается и регулятор приводит параметр X к заданному значению X_0 без статической ошибки.

Таким образом, величина воздействия изодромного регулятора на объект является функцией времени. **Время изодрома (время удвоения)** $T_и$ — время, по истечении которого воздействие от скорости изменения ΔX станет равным пропорциональному воздействию регулятора. Или $T_и$ — время, в течение которого ИМ переместится на такую же величину, как и от пропорционального воздействия, т. е. $У = 2K_р$. Величина $T_и$ зависит от свойств объекта регулирования. Коэффициент передачи регулятора $K_р = У/\Delta X$ показывает, во сколько раз изменяется воздействие регулятора на объект при отклонении регулируемой величины X от заданного значения X_0 на величину ΔX.

Изодромные (ПИ) регуляторы имеют два настроечных параметра — коэффициент передачи регулятора $K_р$ и время изодрома $T_и$.

Изодромные регуляторы применяются для объектов с быстро и резко изменяющимися нагрузками (как с самовыравниванием, так и без него), а также для объектов регулирования с малой емкостью и со значительным временем полного запаздывания.

Глава 5. ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА РЕГУЛИРОВАНИЯ

Для того чтобы система автоматического регулирования отвечала своему назначению, она прежде всего должна быть устойчивой.

Под устойчивостью понимается свойство системы возвращаться к установившемуся состоянию после прекращения действия возмущения, которое вывело ее из этого состояния. Устойчивой является система регулирования с затухающим переходным процессом.

Устойчивость является необходимым, но недостаточным условием технической пригодности системы. Кроме устойчивости, к переходному процессу системы регулирования предъявляются требования, обусловливающие его качественные показатели:

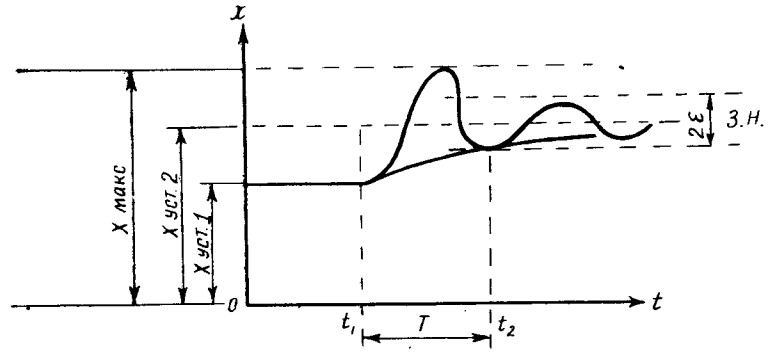


Рис. 14. График устойчивого переходиого процесса с показателями качества регулироваиия.

а) максимальное отклонение регулируемой величины;
б) величина перерегулирования;
в) погрешности регулирования;
г) время регулирования.

Максимальное отклонение от задания регулируемой величины может быть различным, но чем меньше максимальное отклонение, тем выше качество регулирования (рис. 14). В первоначальном установившемся состоянии системы регулируемой величиной было $X_{уст.1}$. Потом задание регулируемой величины было изменено до $X_{уст.2}$. Только после этого наступает переходный процесс, во время которого регулируемая величина принимает различные значения. Максимальное отклонение от задания регулируемой величины определяется ординатой $X_{макс}$.

Величина перерегулирования. При переходе из одного установившегося состояния в другое, т. е. в переходном процессе, могут быть два случая приближения регулируемой величины к новому значению:

1) приближение происходит только с одной стороны, не выходя за пределы, ограниченные новым и старым значениями задания;

2) регулируемая величина приближается к новому заданному значению, однако при этом ее отклонения являются двусторонними и выходят за указанный новый предел, т. е. происходит перерегулирование.

Величина перерегулирования не должна превышать максимально допустимого значения, которое определяется как $X_{макс.}—X_{утс.2}$. Чем больше перерегулирование, тем более колебательным и продолжительным будет процесс.

Для анализа качества работы САР нужно знать величину **погрешности регулирования** — отклонение регулируемой величины от заданного значения. Обычно погрешность регулирования разделяют на две составляющие — на переходную, или динамическую, и на статическую, или установившуюся.

Динамическая погрешность является дополнительной ошибкой регулирования и в переходном режиме она накладывается на статическую.

Статическая погрешность также складывается из двух составляющих. Первая обусловлена точностью выполнения отдельных звеньев системы регулирования и зависит от зазоров в кинематических парах и электрических контактах, от сил сухого трения, т. е. причин, вызывающих нечувствительность регулятора. Предел возможных отклонений регулируемого параметра в установившемся режиме называется **зоной нечувствительности регулятора.** В этой зоне колебания регулируемого параметра не вызывают включения регулятора в работу. Величина зоны нечувствительности задается техническими условиями для данной конкретной системы автоматического регулирования. Обычно зона нечувствительности не должна превышать $\pm 5\%$ от заданной регулируемой величины $X_{уст}$.

Вторая составляющая статической погрешности — это собственно статическая ошибка, зависящая от конструкции системы автоматического регулирования и ее нагрузки. Наибольшее отклонение регулируемой величины, возникающее из-за максимального изменения нагрузки и остающееся в САР после окончания переходного процесса, называется **статической ошибкой.** В астатической системе таких ошибок нет.

Время регулирования T — время переходного процесса от момента приложения воздействия t_1 (или изменения задания) к системе регулирования и до момента t_2, когда регулируемая величина входит в зону нечувствительности.

Для соблюдения требований, предъявляемых к переходному процессу, необходимо уменьшить статическую ошибку и улучшить качество переходных процессов.

Уменьшения статической ошибки можно достигнуть увеличением общего коэффициента усиления регулятора, что одновременно сокращает длительность переходного процесса. При большем коэффициенте усиления регулятора $K_р$ меньше инерционность объекта (т. е. инерционное запаздывание в передаче входного сигнала на выход) и, следовательно, тем быстрее будут затухать колебания в переходном процессе. Однако увеличение $K_р$ не устраняет, а только уменьшает статическую ошибку, а также может привести к неустойчивости системы. Поэтому для устранения статической ошибки изменяют схему регулятора, т. е. необходимы И- или ПИ-регуляторы.

Существует весьма удобный в практике способ определения коэффициента усиления П-регулятора. Он состоит в том, что, постепенно увеличивая $K_р$ на П-регуляторе, замкнутую САР выводят на границу устойчивости, характеризующуюся незатухающими колебаниями выходной величины, фиксируя при этом значение $K_р$, т. е. **критический коэффициент усиления** $K_р^{кр}$. Для П-регулятора **оптимальное значение** $K_р^{оп}$ связано с критическим соотношением: $K_р^{оп}=0{,}5K_р^{кр}$.

Правильный выбор $K_р$ при прочих равных условиях улучшает стабильность работы и увеличивает быстродействие САР (рис. 15). Уменьшение $K_р$ приводит к затягиванию переходного процесса, а завышение — к излишней колебательности. При $K_р^{оп}$ длительность переходного процесса T будет минимальной.

ПИ-регуляторы имеют два настроечных параметра: коэффициент усиления $K_р$ и время изодрома $T_и$. Для обеспечения качественного регулирования необходимо определить единственную пару оптимальных значений $K_р^{оп}$ и $T_и^{оп}$. Неправильный выбор одного из параметров настройки влияет на качество переходного процесса (рис. 16). При эксплуатации свойства конкретной системы регулирования оцениваются посредством эксперимента. Опыт состоит в том, что сначала в ПИ-регуляторе отключается устройство,

формирующее время изодрома, и тогда ПИ-регулятор превращается в П-регулятор, для которого, согласно вышеизложенному, определяется $K_p^{кр}$ и период автоколебаний T_a. Оптимальные настроечные параметры ПИ-регулятора определяются по этим двум величинам:

$K_p^{оп} = 0{,}45\ K_p^{кр}$;

$T_и^{оп} = T_a/1{,}2$.

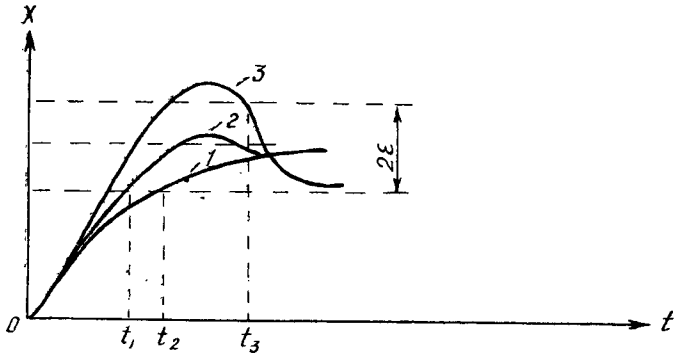


Рис. 15. Переходные процессы в САР с П-регулятором: 1 — кривая при заниженном Кр; 2 — —«— — при оптимальном Кр; 3— —«— — при завышеином Кр; $2\mathcal{E}$ — зона нечувствительности.

Последнее выражение показывает, что оптимальное время изодрома $T_и$ несколько меньше периода собственных колебаний системы на границе устойчивости. По сравне-

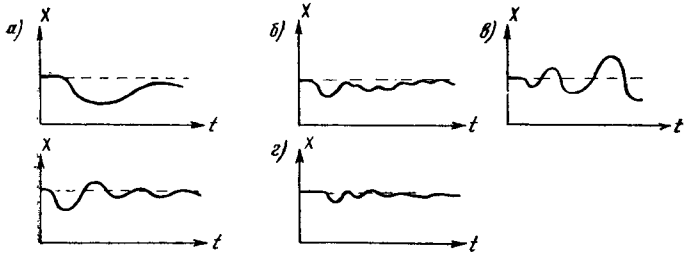


Рис. 16. Переходные процессы в САР с ПИ-регулятором при различных сочетаниях настроечных параметров: а — заниженное значение Кр при увеличении (верхняя кривая) и уменьшением Ти; б — завышеиное значение Кр и занижеиное Ти; в — иеустойчивость вследствие слишком малого Ти; г — оптимальные значения Кр и Ти.

нию с П-регуляторами значение K_p принимают заниженным, т. к. устойчивость САР из-за введения интегральной составляющей в закон регулирования понижается.

При наличии кривых разгона объекта (рис. 4, 5) определяются: время запаздывания τ, постоянная времени объекта T_o и коэффициент усиления объекта K_o. На основании значений этих параметров можно рассчитать оптимальные параметры настройки регуляторов по методике, разработанной ВТИ им. Ф. Э. Дзержинского.

а) П-регулятор:

1) для объекта без самовыравнивания и с самовыравниванием при $\tau/T_o < 0{,}2$

$$K_p^{п} = \frac{1}{K_o \cdot \tau/T_o};$$

2) для объекта с самовыравниванием при $0{,}2 < \tau/T_o < 1{,}5$ —

$$K_p^{п} = \frac{0{,}38\,(\tau/T_o + 0{,}6)}{K_o\,(\tau/T_o - 0{,}08)}$$

3) для объектов с самовыравниванием при $\tau/T_o > 1{,}5$ —

$$K_p^{п} = \frac{0{,}5}{K_o}$$

б) ПИ-регулятор. Для тех же объектов коэффициент усиления и время изодрома соответственно будут равны:

1) $$K_p^{пи} = \frac{0{,}91}{K_o \cdot \tau/T_o};$$

$T_и^{пи} = 3{,}3$;

2) $$K_p^{пи} = \frac{0{,}38 \cdot (\tau/T_o + 0{,}6)}{K_o \cdot (\tau/T_o - 0{,}08)};$$

$T_и^{пи} = 0{,}8\ T_o$;

3) $K_p^{пи} = 0{,}5/K_o$, $T_и^{пи} = 0{,}6\ \tau$.

Правильно определенные параметры настройки регуляторов обеспечивают качественное регулирование технологического процесса.

Раздел 2. ЭЛЕКТРОННЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ НА БАЗЕ БЛОКА Р25 КОМПЛЕКСА ПРИБОРОВ «КОНТУР»

Глава 6. НАЗНАЧЕНИЕ И СТРУКТУРА РЕГУЛЯТОРА

Для устранения статической ошибки регулирования необходимо изменить схему регулятора таким образом, чтобы она по самому принципу действия не имела статической

ошибки. Для этого в САР вводят специальные корректирующие устройства. Они могут быть различной конструкции: механические, электрические, электронные. Корректирующие устройства в САР включаются последовательно (интегрирующие звенья) или параллельно (обратные связи). **Обратной связью** называется такое устройство, посредством которого часть выходной величины звена передается ему на вход.

Основное назначение обратной связи — изменение свойств отдельного звена или их группы с целью улучшения качества регулирования и придания переходному процессу устойчивости, т. е. стабилизация системы регулирования. Обратные связи по методу их присоединения делятся на положительные и отрицательные. **Положительной** называется связь, сигнал которой вводится в звено с тем же знаком, что и поступающая по основной цепи входная величина, т. е. сигнал обратной связи складывается с входным сигналом. **Отрицательная** связь имеет знак противоположный знаку входной величины звена, т. е. сигнал обратной отрицательной связи вычитается из входного сигнала данного звена.

Положительная обратная связь вводится для увеличения коэффициента усиления звена, а отрицательная — для уменьшения инерционности звена, улучшения устойчивости, и подавления колебаний. Поэтому в технике автоматического регулирования более широко применяется отрицательная обратная связь.

Отрицательные обратные связи в САР делятся на жесткие и гибкие (или упругие).

Жесткая обратная отрицательная связь осуществляется по положению регулирующего органа РО. Она компенсирует в необходимой пропорции отклонение регулируемой величины ΔX и остается постоянной, пока не изменится ΔX. Такая обратная связь применяется в П-регуляторах. Сигнал обратной отрицательной связи, снимаемый с датчика положения ИМ, суммируется с сигналом отклонения регулируемой величины от ее заданного значения и поступает в усилитель. При их равенстве ИМ остановится и система регулирования будет находиться в равновесии, пока не изменится ΔX.

Если регулятор имеет **упругую обратную отрицательную связь,** то ее действие на управляющий элемент происходит не тогда, когда оканчивается основная перестановка регулирующего органа, а по истечении некоторого времени, что приведет к дополнительной перестановке РО. Регуляторы

с упругой обратной связью называются **изодромными или ПИ-регуляторами.** В изодромных регуляторах обратная связь осуществляется не по положению РО, а по скорости его перемещения. Благодаря этому выключающее действие обратной связи в переходном режиме проявляется полностью, а в установившемся режиме снимается. Поэтому регулятор не имеет остаточной неравномерности.

В регулирующих блоках Р25 есть корректирующее устройство, которое обеспечивает ПИ-(изодромный) закон регулирования. Структурная схема САР с блоком Р25 представлена на рис. 17. В данной системе применяется

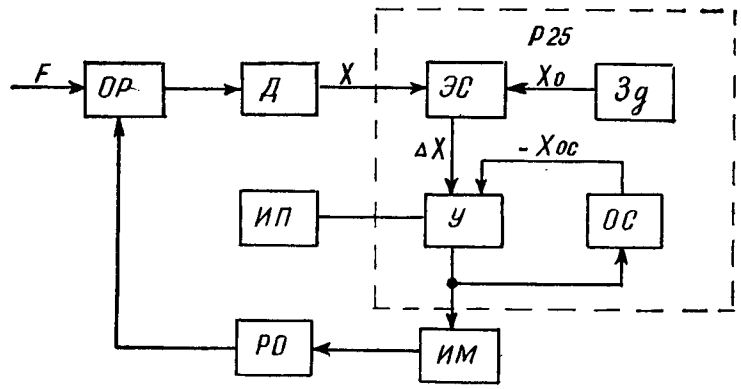


Рис. 17. Структуриая схема системы автоматического регулирования с регулирующим блоком Р25.

обратная отрицательная связь по выходному электрическому сигналу, хотя более характерной она будет по положению выходного вала ИМ и механически с ним соединенным РО, т. к. скорость перемещения ИМ по ряду причин со временем изменяется, а это учитывалось бы обратной связью по положению ИМ.

ПИ-регулятор с блоком Р25 действует следующим образом. При равенстве электросигналов с датчика D и задатчика $З_д$ сигнал с элемента сравнения ЭС, подаваемый на усилитель У, равен нулю, т. е. $\Delta X = X - X_o = 0$, при этом сигнал на выход усилителя отсутствует, а сигнал обратной связи $-X_{oc} = 0$.

Под воздействием каких-либо возмущений действительное значение регулируемого параметра X изменится и станет неравно его заданному значению X_o. Тогда сигнал рассогласования ΔX с ЭС поступит на усилитель У, а затем

усиленный,— на исполнительный механизм ИМ, который будет двигаться с постоянной скоростью непрерывно. Одновременно через устройство обратной связи на усилитель начнет поступать сигнал обратной связи со знаком, противоположным знаку сигнала рассогласования ΔX. В зависимости от выбранного коэффициента пропорциональности $K_р$ будет расти электросигнал обратной связи. Когда его величина станет равна сигналу рассогласования ($\Delta X - X_{ос}=0$), т. е. произойдет компенсация входного сигнала, выходной сигнал с усилителя снимется и исполнительный механизм остановится.

В этот момент заканчивается работа пропорциональной части ПИ-регулятора, т. е. отработала жесткая обратная отрицательная связь. Затем начинает действовать гибкая или изодромная часть ПИ-регулятора. В зависимости от выбранной величины времени изодрома $T_и$ сигнал обратной связи с определенной скоростью начинает сниматься. Когда разность между сигналом рассогласования ΔX и сигналом обратной связи $X_{ос}$ станет равна порогу чувствительности усилителя, на выходе усилителя вновь появится сигнал управления и ИМ начинает двигаться ступенчато, в зависимости от длительности импульса сигнала управления, выставляемого на усилителе. Одновременно снова увеличивается сигнал обратной связи на усилитель и при равенстве сигнала рассогласования ΔX, поступающего непрерывно на усилитель, и $-X_{ос}$, сигнала обратной отрицательной связи управляющий сигнал с усилителя будет отсутствовать. Затем цикл повторяется.

При неизменном значении сигнала рассогласования ΔX частота включения (скорость) ИМ будет постоянной. Если под влиянием регулирующего воздействия или внешних возмущений регулируемая величина X будет приближаться к ее заданной величине $X_о$, т. е. ΔX будет уменьшаться, то частота командных импульсов на ИМ будет тоже уменьшаться, значит, будет снижаться скорость перемещения ИМ и величина воздействия на регулируемую величину. При $\Delta X=0$ работа регулятора прекращается, система регулирования находится в покое, хотя в элементе сравнения ЭС непрерывно проходит процесс сравнивания регулируемой величины X и ее заданного значения $X_о$.

Если рассогласование ΔX будет увеличиваться, то будет увеличиваться частота командных импульсов с усилителя У на исполнительный механизм ИМ, т. е. будет увеличиваться скорость перемещения ИМ и степень воздействия регулирующего органа РО на объект регулирования.

Глава 7. РЕГУЛИРУЮЩИЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ Р25

Прибор типа Р25 предназначен для применения в схемах автоматического регулирования различных теплотехнических процессов. Прибор выполняет следующие функции:

а) суммирование сигналов от источников информации (датчиков первичных приборов); введение сигнала задания и усиление сигнала отклонения;

б) формирование ПИ-закона регулирования совместно с ИМ постоянной скорости;

в) формирование сигналов постоянного и переменного тока для управления ИМ постоянной скорости;

г) ручное управление ИМ;

д) преобразование сигналов от дифференциально-трансформаторного датчика положения ИМ в сигнал постоянного тока.

Регулирующие приборы имеют три группы цифр в обозначении. 1 — (Р25) — обозначает тип блока; 2—(1, 2, 3)— модификацию блока и 3 (1, 2) —исполнение. Например: Р25.1.1.

Прибор Р25 имеет такие модификации:

а) Р25.1.— подключение от 1 до 3-х дифференциально-трансформаторных датчиков (тягомеров ДТ-2, манометров электрических МЭД, ППД, дифманометров ДМ), имеющих выходной сигнал 0...0,5 В (0...10 мГн);

б) Р25.2.— для подключения 1 или 2-х термометров сопротивления градуировки 21 и 23 (при замене сопротивлений $R2$ и $R3$, рис. 24, можно подключать термометры сопротивления и других градуировок);

в) Р25.3.— для подключения термопары ХА, ХК, ПП.

Все модификации Р25 позволяют подавать на входы унифицированные сигналы 0...5мА; 0...20мА; 0...10В.

Приборы выпускаются:

а) Р25.1.1; Р25.2.1; Р25.3.1 — без встроенного индикатора положения ИМ;

б) Р25.1.2; Р25.2.2; Р25.3.2 — со встроенным индикатором положения ИМ.

Выходные цепи приборов Р25 позволяют управлять различной аппаратурой сигналами 24В постоянного тока и 220В переменного тока, а также управлять электродвигателями с симметричными обмотками без пусковой аппаратуры, например, исполнительные механизмы типа МЭО-73, ЕСПА-02-ПВ, ЕСПА-02-РГ и другими.

7.1. ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

1. Питание от однофазной сети переменного тока напряжением 220^{+22}_{-33} В, частотой 50±1 Гц.

2. Потребляемая мощность от сети, не более, Вт — 25.

3. Входное сопротивление приборов:

а) для 0...10В, не менее кОм — 10;

б) для 0...5 мА, не более, Ом — 200;

в) для 0...20 мА, не более, Ом — 50.

4. Выходные ключи прибора коммутируют переменный (частотой 50 Гц) и пульсирующий постоянный ток от 0,1 до 1А при напряжении не более 250В.

5. Активная составляющая нагрузка прибора при использовании внутреннего источника напряжения 24В постоянного тока, Ом — 110.

6. Диапазон изменения зоны нечувствительности от 0,5 до 5% от полного входного сигнала.

7. Диапазон изменения коэффициента пропорциональности для ИМ со временем рабочего хода, равном 63 с — Кп-63, с — 0,5÷20.

8. Диапазон изменения времени изодрома, с —5÷500.

9. Диапазон изменения постоянной времени демпфирования, с — 0—10.

10. Диапазон изменения длительности выходных импульсов, с —0,1÷1.

11. Зона корректора (внутреннего широкодиапазонного задатчика), выраженная в % от номинального входного сигнала:

Р25.1 — ±100%;

Р25.2 — ±50%;

Р25.3 — от 0 до 100%.

12. Диапазон изменения сигнала внутреннего оперативного задатчика, выраженный в % от номинального входного сигнала:

Р25.1 — ±20%;

Р25.2 — ±7,5%;

Р25.3 — от 0 до 20% (от 0 до 10 мВ).

7.2. КОНСТРУКЦИЯ

Конструктивно прибор Р25 состоит (рис. 18) из сварного каркаса 1 с передней панелью 2, объединяющего два субблока 3 и 4. На задней стенке каркаса размещена клеммная колодка с 20-ю коммутационными зажимами для подключения внешних электрических соединений.

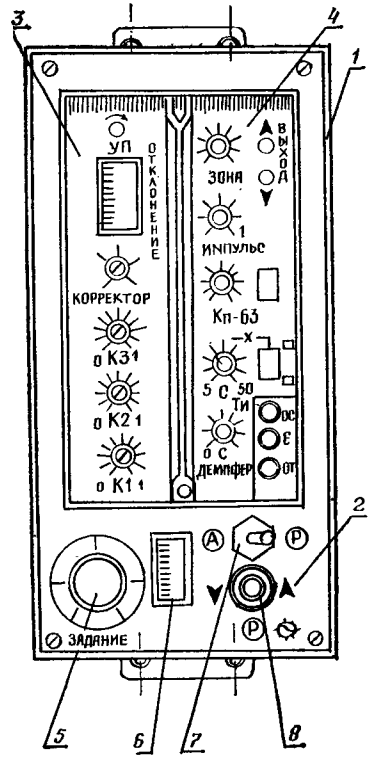


Рис. 18. Конструкция приборов Р25.

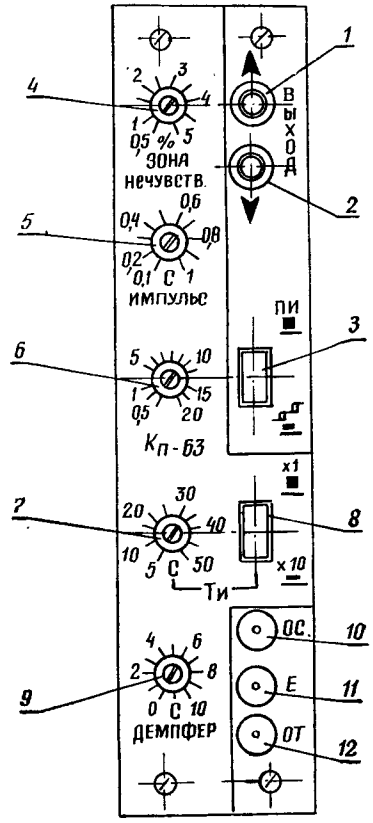


Рис. 19. Регулирующий субблок Р-011

Различные модификации прибора формируются с помощью 3-х типов субблоков (Р-011, Р-012, Р-013). В зависимости от модификаций приборы включают в себя следующие субблоки:

Р25.1 — субблоки — Р-011 и Р-012;

Р25.2 — субблоки — Р-011 и Р-012;

Р25.3 — субблоки — Р-011 и Р-013.

7.3. ОРГАНЫ УПРАВЛЕНИЯ И НАСТРОЙКИ

Станция управления прибора Р25, расположенная на передней панели каркаса (рис. 18), включает в себя:

а) ручной задатчик — 5;

б) индикатор положения ИМ (Р25.1.2; Р25.2.2; Р25.3.2) — 6;

в) переключатель вида управления — «ручное — автоматическое» — 7;

г) переключатель команды управления «больше» (↑)— «меньше» (↓) — 8.

На субблоке Р-011 (рис. 19) находятся:

а) два светодиода 1 и 2, которые указывают направление команд на ИМ, т. е. движения регулирующего органа с помощью ИМ (↑ — больше, ↓ — меньше или на открытие — на закрытие);

б) переключатель 3 закона регулирования прибора — ПИ — пропорционально-интегральный или трехпозиционный «ПОЗ»;

в) потенциометр 4 —«зона» нечувствительности прибора, с его помощью можно увеличивать зону измерения параметра, колебания которого в этой зоне не приведут к подаче команды управления на ИМ;

г) потенциометр 5 — «импульс» служит для изменения продолжительности выходного сигнала управления только при ПИ-законе регулирования — это позволяет изменять скорость ИМ;

д) потенциометр $K_{п-63}$ — для изменения коэффициента пропорциональности, т. е. сколько % должен пройти ИМ своего рабочего хода при определенном % отклонения регулируемого параметра от его заданного значения;

е) потенциометр и переключатель «$T_и$» 7 и 8 служат для изменения величины постоянной времени изодрома плавно (7) от 5 до 50 с, при отжатой кнопке переключателя множителя времени изодрома — x1(8) или от 50 до 500 с, при нажатой кнопке переключателя — x10;

ж) потенциометр «демпфер» позволяет создавать по времени задержку прохождения сигнала на входе субблока Р-011 от 0 до 10 с, что делает субблок нечувствительным к колебаниям измеряемого параметра в определенных пределах; другими словами — всякое изменение параметра субблоком воспринимается не мгновенно, а через выбранное время задержки — время демпфирования;

з) гнездо «ОС»(10) — для контроля сигнала обратной связи;

к) гнездо «Е»(11) — для контроля сигнала отклонения параметра — входного сигнала субблока;

л) гнездо «ОТ». (12) — общая точка субблока.

На субблоке Р-012 (рис. 20) находятся:

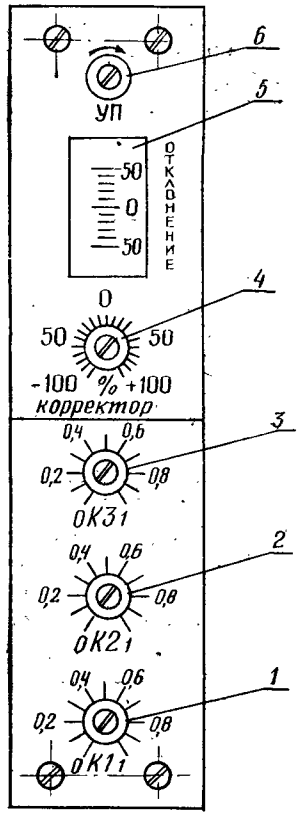


Рис. 20. Измерительный субблок Р-012.

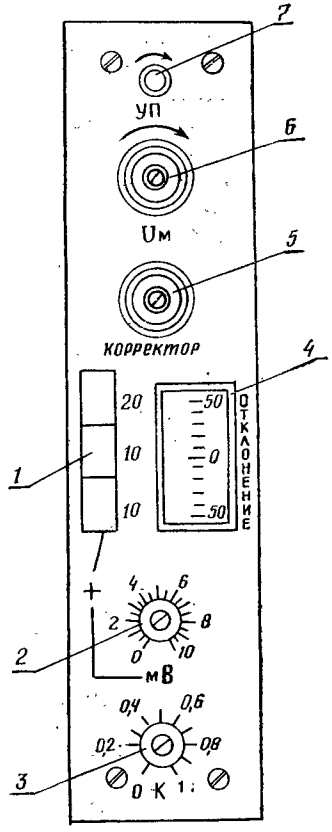


Рис. 21. Измерительный субблок Р-013.

а) три потенциометра К1(1), К2(2), К3(3) для изменения чувствительности по каждому из трех каналов, т. е. берется необходимая доля входного сигнала от сигнала датчика в пределах от 0 до максимума (0...1 делений шкал К1, К2, К3);

б) потенциометр 4 — «корректор» (внутренний широкодиапазонный задатчик), позволяющий сбалансировать субблок при любом заданном значении входного сигнала (регулируемого параметра);

в) индикатор 5 — «отклонение», указывающий величину и направление отклонения параметра от заданного его значения (только в Р25 исполнения 2);

г) потенциометр 6 — «УП» (указатель положения ИМ), для подстройки верхнего предела шкалы индикатора положения ИМ, который установлен на передней панели станции управления Р25 (только для исполнения 2).

На субблоке Р-013 (рис. 21) находится:

а) задатчик, состоящий из трех кнопок 1, позволяющих изменять напряжение задания дискретно, ступенями по 10 мВ в диапазоне 0...40 мВ, и потенциометра 2 — плавного изменения задания в пределах 0...10 мВ;

б) потенциометр К(3) для изменения чувствительности по каналу (для выбора доли сигнала датчика) унифицированных сигналов тока и напряжения (0...5мА, 0...20 мА и 0...10 В);

в) индикатора «отклонения» 4, показывающего величину и направление отклонения параметра от заданного значения (для Р25 исполнения 2);

г) два потенциометра 5 и 6, позволяющие осуществить перестройку прибора при смене градуировки термопары;

д) потенциометр «УП»-7, для подстройки верхнего предела шкалы указателя положения исполнительного механизма регулирующего органа, который расположен на лицевой панели станции управления (для исполнения 2) или может быть выносным (для исполнения 1).

Блок-схема регулирующих приборов Р25 всех типов показана на рис. 22. Каждый прибор содержит следующие основные узлы: 2 субблока — измерительный (Р-012 или Р-013) и регулирующий (Р-011); трансформатор питания; выпрямитель 24В; переключатель вида управления («автоматическое» или «ручное»); переключатель ручного управления (↓—«меньше» или ↑—«больше»); внутренний оперативный задатчик; индикатор положения ИП для ИМ (исполнение 2).

Во всех трех типах приборов применяется субблок Р-011, выполняющий функции формирования закона регулирования и коммутации выходных цепей.

Два других типа субблоков (Р-012 и Р-013), измерительные, суммируют сигналы, полученные от датчиков, вводят сигнал задания, преобразуют сигнал датчика положения ИМ в сигнал постоянного тока и стабилизируют постоянное напряжение питания.

Субблок Р-012 предназначен для суммирования электросигналов от дифференциально-трансформаторных датчиков (до 3-х) в приборе Р25.1 и для суммирования сигналов (с небольшим дополнением) от термометров сопротивления в приборах Р25.2.

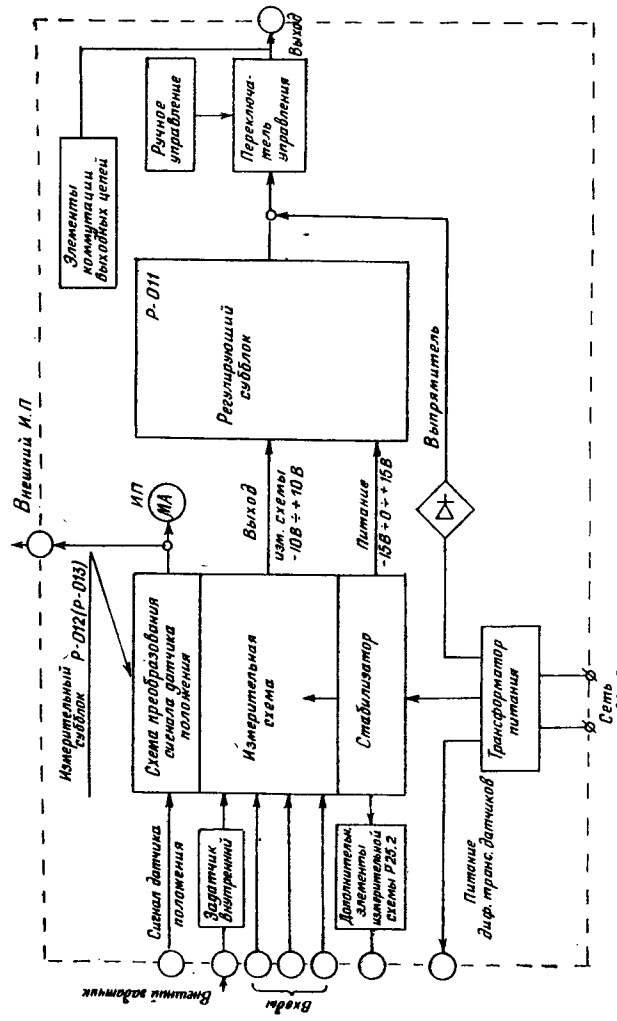


Рис. 22. Блок-схема регулирующих приборов Р25.

Субблок Р-013 используется в приборе Р25.3 и отличается от Р-012 измерительной схемой, предназначенной для введения сигнала от термопары и унифицированного сигнала тока и напряжения.

В пульсирующем режиме прибор Р25 совместно с исполнительным механизмом ИМ постоянной скорости реализует передаточную функцию ПИ-регулятора.

Коэффициент пропорциональности $K_р$ регулятора определяется выражением:

$$K_р = K_{и.с.} \cdot K_{п-63} \cdot \frac{63}{T_с}, \text{ где}$$

$K_{и.с.}$ — коэффициент передачи измерительной схемы по каналу датчика параметра;

$K_{п-63}$ — коэффициент пропорциональности при скорости ИМ, равной 63 с,— величина эта устанавливается органом настройки регулирующего субблока;

$T_с$ — время полного хода исполнительного механизма ИМ.

$$K_{и.с.} = \frac{И_{вых}}{И_{вых.\ ном.}} : \frac{\Delta X_{синг.}}{X_{синг.\ ном.}}, \text{ где}$$

$И_{вых.}$ и $И_{вых.ном.}$ — изменение выходного напряжения и номинальный диапазон изменения выходного напряжения измерительной схемы (10В);

$\Delta X_{сигн.}$ и $X_{сигн.ном.}$ — изменение входного сигнала и номинальный диапазон входного сигнала.

Связь между субблоками прибора Р25 осуществляется сигналом величиной 0...±10 В постоянного тока и может быть измерена между гнездами «Е» и «ОТ» вольтметром с внутренним сопротивлением 10 Ом.

Питание субблока Р-011 осуществляется стабилизированным напряжением 15 В±1,5 В постоянного тока.

7.4. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СХЕМЫ СУББЛОКОВ Р-012 И Р-013

Согласно измерительной схеме Р-012 прибора Р25.1 (рис. 23) первичные обмотки дифференциально-трансформаторных датчиков ДТ1, ДТ2 и ДТ3 соединяются последовательно и подключаются к клеммам 3 и 19 прибора. Со вторичных обмоток датчиков сигналы переменного тока подаются на делители напряжения К1, К2, К3, служащие для изменения коэффициента передачи по каналу каждого датчика от 0 до 1,0 (от 0 до 100%).

Наряду с сигналами от датчиков в схему вводится сигнал от моста переменного тока, содержащего переменные

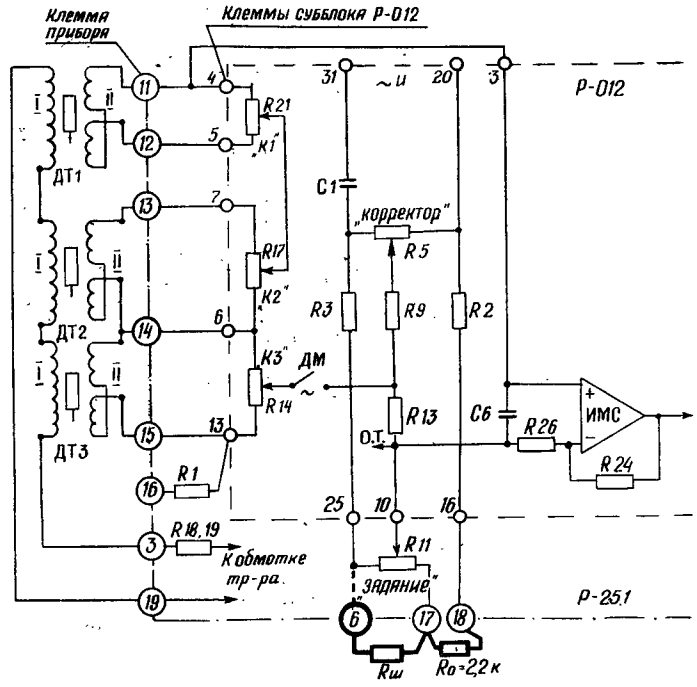


Рис. 23. Измерительная схема прибора Р25.1 (случай подключения 3-х дифференциально-трансформаторных датчиков)

резисторы — «корректор» (Р5), «задание» (Р11) и резисторы $R2$ и $R3$.

Преобразованное демодулятором ДМ переменное напряжение в постоянное, подается на вход интегральной микросхемы ИМС, которая со своими цепями образует операционный усилитель. Он обеспечивает нормирование выходного напряжения субблока.

Измерительная схема субблока Р-012 прибора Р25.2. (рис. 24) позволяет измерять температуру параметров с помощью термометров сопротивления ТС1 и ТС2. Каждый ТС подключается к своему измерительному мосту с самостоятельным питанием постоянного тока. Это касается и моста «задатчик» — «корректор». Баланс первого моста определяется как $R2$, соответствующий 100°С при использовании медного термометра сопротивления. Баланс второго моста ($R1$) происходит при 0°С. Напряжение разбаланса мостов суммируется и подается на вход усилителя— ИМС.

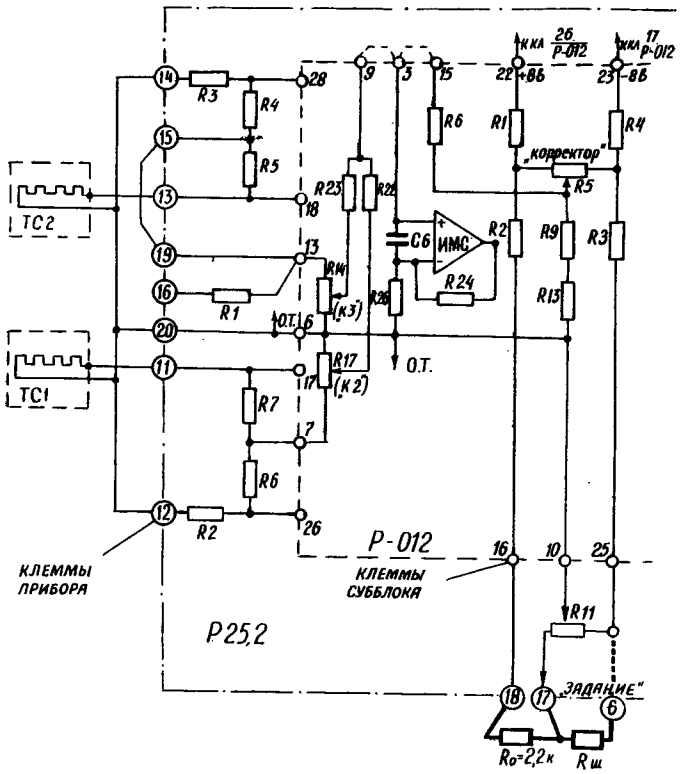


Рис. 24. Измерительная схема прибора Р25.2 (случай включения 2-х термометров сопротивления).

7.5. РЕГУЛИРУЮЩИЙ СУББЛОК Р-011

Основное назначение субблока — формирование закона регулирования: трехпозиционного или ПИ-закона. При подключении питания ±15В и входного сигнала постоянного тока 0...±10 В в субблоке (рис. 25) осуществляется:

а) демпфирование (сглаживание пульсации) входного сигнала;

б) формирование последовательности выходных импульсов;

в) реализация пропорционально-интегрального закона регулирования;

г) функции трехпозиционного релейного элемента;

д) гальваническое разделение входных и выходных цепей;

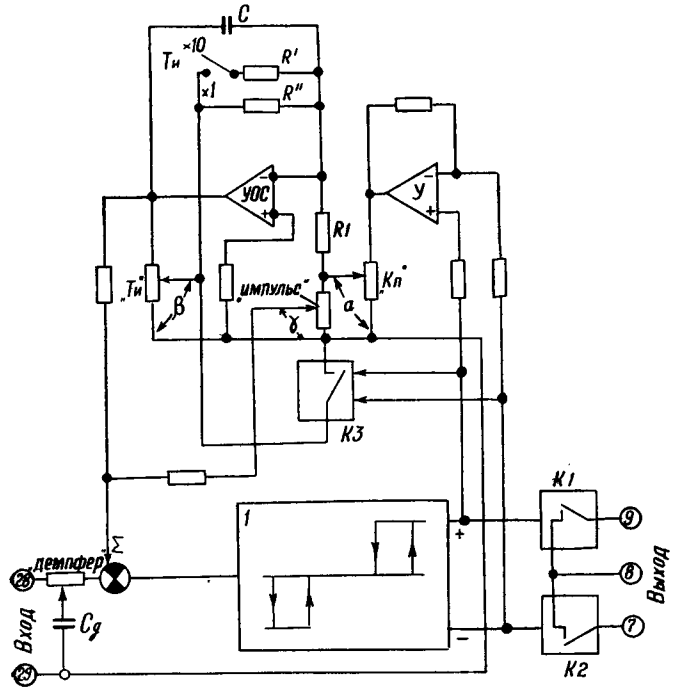


Рис. 25. Структурная схема регулирующего субблока Р-011.

е) сигнализация состояния выходов.

Основу структурной схемы регулирующего субблока Р-011 составляет трехпозиционный релейный элемент 1, охваченный отрицательной обратной связью в виде апериодического звена, выполненного на операционном усилителе — УОС.

В сумматоре Σ на входе реле входной сигнал, прошедший через демпфер, суммируется с сигналом главной отрицательной и дополнительной положительной обратных связей. Отклонение суммарного сигнала за пределы зоны нечувствительности трехпозиционного реле приводит к включению одного из каналов этого реле и тем самым вызывает изменение сигнала отрицательной обратной связи, возвращающее схему в состояние равновесия.

Включение канала реле вызывает включение соответствующего ключа К1 или К2, коммутирующего ток нагрузки прибора и ключа К3 — подачи отрицательной обратной

связи на вход усилителя обратной связи УОС. Величина обратной связи задается потенциометром «$К_п$».

Такая схема позволяет, например, при скачкообразном изменении входного сигнала изменять сигнал обратной связи линейно по величине во времени и длительность первого включения, определяемая Кп, будет пропорциональна величине скачка. Постоянная времени звена, определяемая величиной RC (R' и R''), обратно пропорциональна доле выходного сигнала усилителя УОС, которая пропорциональна положению движка потенциометра «$Т_и$» — времени изодрома.

Дополнительная положительная связь подается на вход трехпозиционного реле с движка потенциометра «импульс». Эта связь изменяет зону возврата релейного элемента так, что длительность включений в пульсирующем режиме определяется только положением движка «импульс» и не зависит от величины входного сигнала и коэффициента пропорциональности — $К_п$.

7.6. СХЕМЫ ВНЕШНИХ СОЕДИНЕНИЙ

Схемы внешних соединений прибора Р25 в зависимости от модификации представлены на рис. 26, 27, 28.

Согласно схеме прибора Р25.1 (рис. 26) питание первичных обмоток дифференциально-трансформаторных датчиков осуществляется последовательно с клемм 3 и 19.

Электрическая схема прибора позволяет использовать для управления пусковой аппаратуры (реле, пускателей), или напряжение 24 В от внутреннего источника питания, или напряжение переменного тока 220 В от внешнего источника (сети), при этом фаза напряжения сети подается на клемму 10 прибора, а нулевой провод подключается к средней точке катушек пускового устройства или обмоток симметричного электродвигателя (рис. 29).

При срабатывании прибора выходное управляющее напряжение постоянного тока 24 В возникает на клеммах 8—9 («больше») или клеммах 8—7 («меньше»), а в случае ~220 В фаза с клеммы 10 поступает через внутренние ключи на клеммы 7 или 9.

В обоих случаях индуктивные нагрузки (обмотки катушек, электродвигателей) следует шунтировать RC — цепями (рис. 29), которые позволяют уменьшить коммутационные перенапряжения прибора при индуктивном характере нагрузки. RC — цепочки поставляются в комплекте с прибором и должны устанавливаться в пусковых устройствах

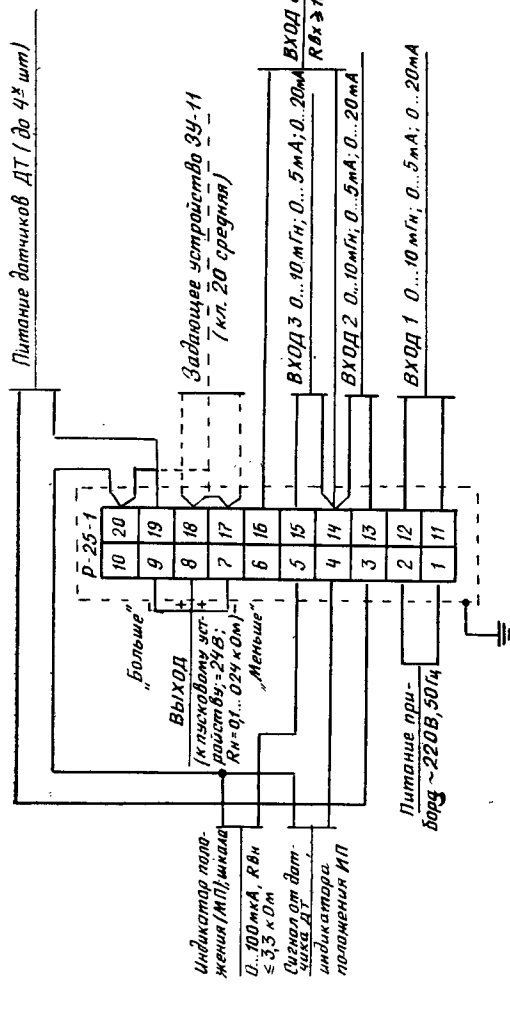


Рис. 26. Схема внешних соединений регулирующего прибора Р 25.1.

Примечания.

1. Подключение нагрузки, рассчитанной на 220 В к выходу прибора показано на рис. 29.
2. При подключении к клеммам 17—18—20 задающего устройства ЗУ-11 перемычка с клемм 17—18 снимается.
3. При подаче на входы 1, 2, 3 сигналов 0...5 мА соответствующие клеммы шунтируются сопротивлениями 78,7 Ом, а при подаче сигнала 0...20 мА — сопротивлениями 19,6 Ом.
4. При подаче сигналов 0...5 мА, 0...20 мА или 0...±10 В питание прибора должно осуществляться стабилизированным напряжением 220± 4 В.
5. Если входные сопротивления пускового устройства имеют индуктивную составляющую, оба его входа следует шунтировать прилагаемыми в комплекте с прибором цепями RC (см. рис. 29).

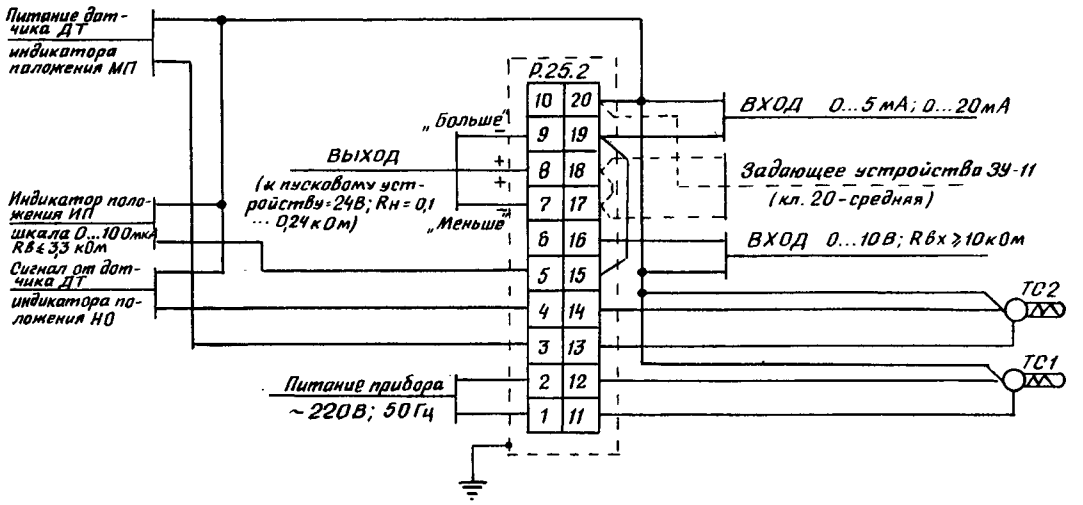


Рис. 27. Схема внешних соединеий регулирующего прибора Р25.1.

Примечания.

1. Подключение нагрузки, рассчитанной иа 220 В, к выходу прибора показано на рис. 29.
2. При подключении к клеммам 17—18—20 задающего устройства ЗУ-11 перемычка с клемм 17—18 снимается.
3. При подаче на входы 1, 2, 3 сигналов 0...5 мА или 0...20 мА вход шунтируется сопротивлеииями 56,2 Ом или 14,7 Ом.
4. Перемычка иа клеммы 15—19 устанавливается только при подключении второго термометра сопротивлеиия ТС2. При других сочетаниях источников сигиалов перемычка на клеммы 15—19 не ставится.
5. При подаче сигиалов 0...5 мА, 0...20 мА или 0...10 В питание прибора должно осуществляться стабилизированиым напряжеиием 220± 4 В.
6. Если входиые сопротивления пускового устройства имеют индуктивиую составлющую, оба его входа следует шуитировать прилагаемыми в комплекте с прибором цепями РС (рис. 29).

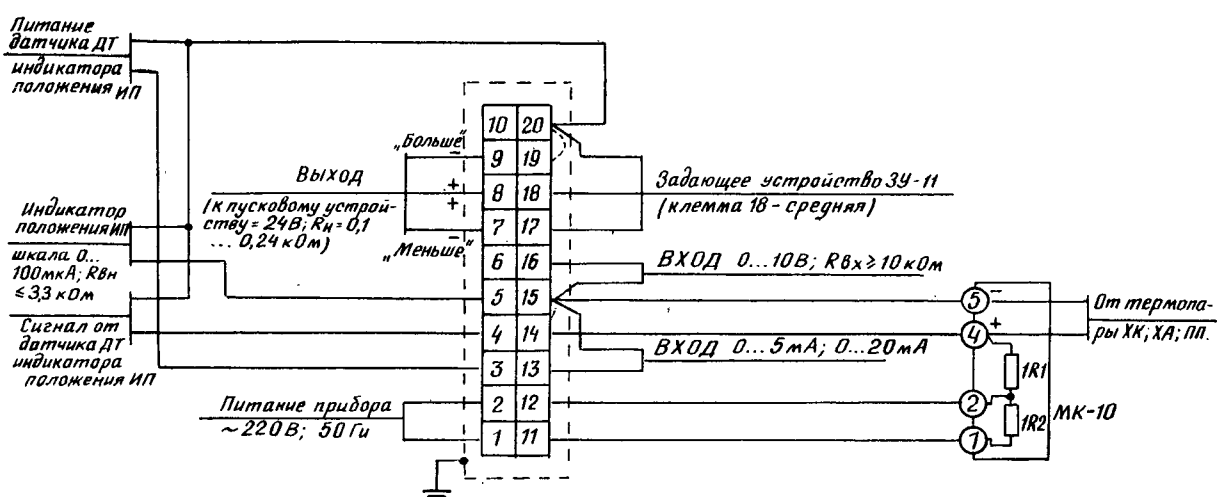


Рис. 28. Схема внешних соединений регулирующего прибора Р 25.3. Р 25.1.

Примечаиия.

1. Модуль компенсации МК-10 монтируется непосредственно на клеммнике прибора Р25.3.
2. Схема подключеиия иагрузки, рассчитаиной на 220 В, представлеиа иа рис. 29.
3. Перемычка на клеммы 19—20 ставится только при использовании термопар ХА и ПП.
4. Если входные сопротивления пускового устройства имеют индуктивную составляющую, оба е.. входа следует шунтировать прилагаемыми в комплекте с прибором цепями *R*—С (см. рис. 29).
5. При подаче сигнала 0...20 на клеммы 13—15 устанавливается сопротивление 3,4 Ом.

и подключаться непосредственно к катушкам. Если в схеме регулирования используются не все входы прибора, их клеммы остаются свободными.

При отсутствии внешнего задатчика на клеммы 17—18 устанавливается перемычка, при этом диапазон внутреннего задатчика («задание») составит ±20%. При подключении внешнего задатчика (ЗУ-11 на клеммы 17—20—18) перемычка с клемм снимается, и диапазоны обоих задатчиков тогда составят ±10%.

Измерительные и другие слаботочные цепи (клеммы 3, 4, 5, 11 ... 20) могут быть объединены в общий кабель.

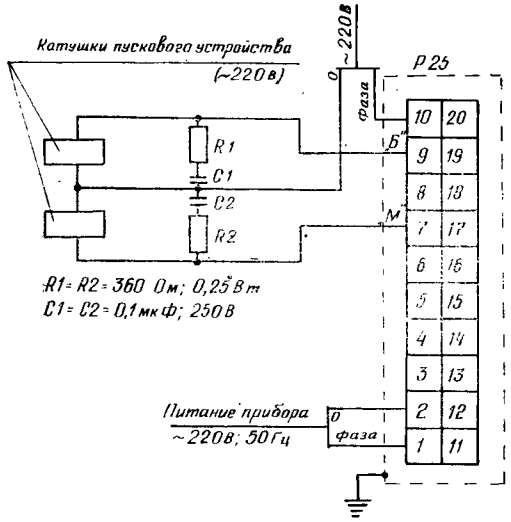


Рис. 29. Схема использования в приборах Р25 напряжения 220 В, 50 Гц для управления пусковыми устройствами, рассчитанными на 220 В.

Силовые цепи (клеммы 7 ... 10) должны выделяться в отдельный или несколько кабелей.

При монтаже прибора необходимо заземлять специальный винт, расположенный на корпусе.

7.7. ПОДГОТОВКА ПРИБОРА Р25 К РАБОТЕ

Эксплуатация показала некоторые недостатки в схеме прибора Р25, которые рекомендуется устранить перед проверкой и включением его в работу:

а) из-за большого диапазона «корректора» субблока Р-012 практически очень сложно с его помощью добиться баланса прибора. Для уменьшения диапазона необходимо зашунтировать потенциометр «корректор» сопротивлением 3÷4 кОм, 0,125÷0,5 Вт, которое припаивается к крайним точкам подключения потенциометра к печатной плате со стороны дорожек предварительно одев на резистор полихлорвиниловую трубку или другой изолятор;

б) диапазон задатчика ±20% от сигнала датчика в приборе Р25 и ±7,5% в приборе Р25.2 представляют довольно большую постоянную величину. Хотя для регуляторов, например, разрежения, зона задания изменяется в пределах ±5% сигнала задатчика, регулятора уровня ±3%, а регуляторов давления пара в барабане котла и соотношения «топливо — воздух» сигнал задатчика, согласно технологии, должен быть равен 0. Значит, при использовании прибора Р25 в различных системах регулирования необходимо или изменить диапазон задатчика или полностью его выключать.

Так как это не предусмотрено схемой прибора, то необходимо иметь возможность устанавливать сменный шунт (резистор $R_ш$) параллельно потенциометру «задание» на внешнем клеммнике прибора Р25. На внешний клеммник выведен только один конец потенциометра «задание» $R11$ (рис. 23, 24) на клемму 17. Второй конец $R11$ нужно вывести с клеммы 25 (Р-012) на клемму 6, предварительно отключив от клеммы 6 провод (+24 В), который не используется в схеме внешних соединений, и заизолировать его. Тогда на клеммы 6 и 17 можно устанавливать $R_ш$ величиной от 0 до ∞, мощность >0,125 Вт.

При отсутствии внешнего задатчика на клеммы 17—18 устанавливается перемычка. В данном случае, при наличии $R_ш$, возможен вариант полного закорачивания клемм 6—17—18, т. е. будет перегружен источник питания моста «корректор» — «задание». Для устранения перегрузки нужно установить вместо закоротки на клеммы 17—18 постоянный резистор R_0, величиной 2÷3 кОм, независимо от $R_ш$.

Подготовку прибора к работе необходимо проводить в следующем порядке.

1. Установить на клеммы 17—18 резистор $R_0 = 2 \div 3$ кОм, 0,125 Вт.

2. На выходные клеммы прибора (7—8 и 8—9) установить нагрузочные сопротивления 115 Ом, 10 Вт.

3. Переключатель управления рода работы на лицевой панели прибора установить в положение «А» — автоматическое.

4. Потенциометры К1, К2, К3 на лицевой панели измерительного субблока Р-012 установить в крайние левые положения «0».

5. Ручку потенциометра «корректор» поставить в среднее положение.

6. На регулирующем субблоке Р-011 ручки всех потенциометров поставить в крайние левые положения; кнопку переключателя режима работы (рис. 19, поз. 3) нажать, а кнопку «$T_и$» (рис. 19, поз. 8) — отжать.

7. Указатель потенциометра «задание» поставить в среднем положении — 0%.

8. Подключить шнур питания на клеммы 1, 2, причем фазу подключить на клемму 1.

7.8. ПРОВЕРКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПРИБОРА Р25.1

Проверка общей работоспособности позволяет убедиться в правильном функционировании основных узлов прибора и производится следующим образом.

1. Баланс прибора проверяется вращением на Р-012 ручки потенциометра «корректор» до погасания световых индикаторов «выход» на Р-011.

2. Проверка чувствительности прибора. Повернуть ручку «задание» вправо и влево на 0,7% шкалы от положения баланса, при этом соответственно должны включиться индикаторы «больше» или «меньше».

3. Проверка выходного напряжения управления производится на клеммах 8—9 («больше») или 7—8 («меньше») при включении соответствующего светового индикатора. При этом на клеммах должно быть напряжение 21÷27 В постоянного тока.

Вернуть ручку «задание» в положение баланса. При выключенных индикаторах напряжение на клеммах 7—8 и 8—9 не должно быть более 0,5 В.

4. Ручку потенциометра «зона» (изменение зоны нечувствительности) повернуть вправо до упора (5%). В этом случае включение световых индикаторов должно наблюдаться при повороте ручки «задание» приблизительно на 2,5% вправо и влево относительно положения баланса.

5. Вернуть ручку «зона» в левое положение, а ручку «задание» в положение баланса.

6. Отжать кнопку переключателя режима работы, т. е. установить ПИ-закон регулирования. Ручку потенциометра $K_п$ повернуть, например, на пять делений. Разбалансировать прибор, повернув ручку «задание» вправо или влево на 2—3%. Один из индикаторов должен при этом включиться на 7—12 с, затем погаснуть и в дальнейшем включаться периодически (импульсами). Если при этом поворачивать вправо ручку «импульс», то длительность периодических включений индикатора соответственно увеличится и одновременно увеличатся периоды времени между включениями.

7. Ручку «импульс» поставить в крайнее левое положение, а ручку потенциометра «$T_и$» повернуть вправо на несколько делений. При этом увеличатся периоды времени между включениями индикатора, длительность же самих включений (импульсов) должна оставаться прежней.

8. Нажать кнопку «$T_и$», тогда периоды времени между включениями должны увеличиться примерно в 10 раз.

9. Вернуть все ручки в исходное положение и сбалансировать прибор задатчиком (индикаторы не светятся).

10. Коэффициент пропорциональности Кп должен быть одинаков при отклонении входного сигнала субблока Р-011 на одинаковую величину в обе стороны от баланса. Иначе регулятор будет устойчиво работать при отклонении параметра от задания в одну сторону и неустойчиво при отклонении его в другую. Проверку можно проводить двумя способами.

А. При наличии вольтметра постоянного тока со шкалой 150 мВ и внутренним сопротивлением не менее 3 кОм. Переключатель режима работы на Р-011 нажать (положение «Поз.»). Ручки «Ти» и «зона» повернуть до упора вправо. Прибор балансируется задатчиком или корректором. К гнездам «О.С.» и «О.Т.» подключается вольтметр. В момент баланса вольтметр должен показывать не более 5 мВ.

В противном случае необходима балансировка усилителя обратной связи потенциометром *R*-14, который находится на плате субблока Р-011. Доступ к нему производится через отверстие в плате субблока *Р*-012.

Б. При наличии только тестера проверяется $K_п$ следующим образом. Необходимо установить все рукоятки прибора в исходное положение. Кнопка режима работы нажата, а кнопка «Ти» — отжата. К гнездам «Е» и «О.Т.» подключить тестер на постоянный ток для замера напряжения 2÷3 В.

Потом, разбалансировав прибор в любую сторону от баланса, нужно установить напряжение на тестере задатчиком, например, 1,5 В. Одновременно отжать кнопку

режима работы (ПИ-закон) и включить секундомер (или засечь время по секундной стрелке ручных часов). Необходимо замерить время непрерывного горения индикатора и при его выключении остановить секундомер.

Затем нужно также замерить время при разбалансе прибора в другую сторону, но по тестеру задатчиком выставляется та же величина напряжения, что и при первом замере.

В обоих случаях время непрерывного горения индикаторов должно быть одинаковым. Если оно не идентично, то необходима такая регулировка потенциометром $R14$ через отверстие в плате измерительного блока Р-012, при которой время действия коэффициента пропорциональности при разбалансе прибора в обе стороны на одинаковую величину было бы равное.

11. Перевести переключатель управления на передней панели прибора в положение «Р» — ручное. Переставляя ключ ручного управления в положение ↓ («меньше») или ↑ («больше») замерить напряжение на выходных клеммах 7—8 и 8—9, которое должно быть равно 22÷29 В.

7.9. ПРОВЕРКА ПРИБОРА Р25.2

Подключить к клеммам 11, 12 прибора магазин сопротивлений, установить перемычки между клеммами 11—20 и 17—18. Все ручки и кнопки должны находиться в положении «исходное». Включить напряжение на клеммы 1 и 2 прибора.

Сначала проверяют мост первого термометра (ТС1) (рис. 24). Для этого на магазине сопротивлений устанавливают 75,6 Ом, что соответствует сопротивлению термометра градуировки 23 при 100 °С. Вводят ручку потенциометра «К2» вправо до упора (1,0). Установив ручку «задание» в среднее положение, балансируют прибор, вращая ручку «корректор» субблока Р-012 (индикаторы выключены). При увеличении сопротивления магазина — включается индикатор «меньше», а уменьшении — индикатор «больше». Разность сопротивлений, при которых включаются световые индикаторы, не должна превышать 0,4 Ом.

Для проверки второго термометра (ТС2) магазин включают на клеммы 13 и 14, устанавливают перемычки на клеммы 14, 20 и 15, 19, сняв перемычку с клемм 12, 20. Устанавливают на магазине сопротивление 53,0 Ом, что соответствует сопротивлению термометра градуировки 23 при 0 °С. Ручку «К2» переводят в крайнее левое положение, а «К3» — в правое, до упора. Проверяют способом, аналогичным описанному выше.

Дальнейшая проверка прибора производится по изложенной выше методике проверки прибора Р25.1.

7.10. ПРОВЕРКА ПРИБОРА Р25.3

К клеммам 12, 14 прибора подключают резистор 10 Ом, соединяют перемычкой клеммы 14 и 15. Переключатель рода управления устанавливают в положение «А», а потенциометр «задание» в крайнее левое положение. Потенциометры «К» и плавного изменения задания устанавливают в крайнее левое положение, кнопки дискретного изменения задания отжимают, резистор Им устанавливают в положение настройки и зажимают контргайкой.

Все ручки на Р-011 необходимо установить в левое крайнее положение. Кнопку режима нажать, а кнопку «$T_и$» — отжать. Подать напряжение на прибор.

Вращая ручку «корректор» добиваются баланса (погасание световых индикаторов). Потенциометром «задание» подают сигнал, вызывающий полное перемещение (вниз) стрелки указателя отклонения 4 (рис. 21) до 50 мА. При этом значение сигнала «задание» должно находиться в пределах 9—11 мВ.

Дальнейшая проверка прибора производится по методике проверки Р25.1.

Глава 8. ДАТЧИКИ

Согласно техническим данным прибора Р25 к нему можно подключать датчики дифференциально-трансформаторной системы, термометры сопротивления и термопары.

8.1. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ТРАНСФОРМАТОРНЫЕ ДАТЧИКИ

Датчики состоят из двух частей — чувствительного элемента и дифференциально-трансформаторного преобразователя. Благодаря своим свойствам эти преобразователи получили наибольшее распространение для измерения неэлектрических величин. К числу положительных качеств следует отнести:

1) высокую чувствительность, которая обеспечивается за счет возможного выполнения вторичной обмотки с большим числом витков;

2) возможность измерения весьма малых перемещений. Это объясняется тем, что преобразователь имеет высокое сопротивление, которое хорошо согласуется с входным сопротивлением электронного усилителя. Применение последнего позволяет измерить незначительные перемещения (до нескольких микрон);

3) значительный линейный участок характеристики, что позволяет получать на выходе преобразователя электросигнал, пропорциональный перемещению плунжера преобразователя (рис. 31).

Устройство и работа дифтрансформаторного преобразователя. Принцип действия основан на свойствах взаимной индуктивности между первичной обмоткой возбуждения и вторичной обмоткой. Конструктивно преобразователь состоит из каркаса, на котором находится первичная и вторичная обмотки. Первичная расположена по всей длине каркаса; вторичная выполнена поверх нее в виде двух секций с одинаковым числом витков, причем включены эти секции навстречу друг другу. Внутри катушки расположен стальной плунжер (сердечник) из магнитомягкого железа, длина которого меньше длины катушки. Катушка с обмотками помещается в защитный экран. Питается первичная обмотка переменным током напряжения 12 В. Выходные параметры преобразователя гарантируются для тока питания 125 $^{+12,5}_{-18,75}$ мА, частотой 50±1 Гц.

Рассмотрим работу дифференциально-трансформаторного преобразователя. Если по первичной обмотке пропустить переменный ток, то во вторичной обмотке будет индуктироваться э.д.с. Индуктируемая в одной секции э.д.с. e_1, противоположна по фазе э.д.с. e_2, индуктируемой в другой секции. Величина э.д.с. будет зависеть от положения плунжера относительно секций вторичной обмотки преобразователя. Плунжер может находиться в трех положениях (рис. 30).

1) Плунжер находится в среднем нейтральном положении относительно секций вторичной обмотки (рис. 30 а), тогда индуктируемые в каждой секции э.д.с. равны, а поскольку они направлены навстречу друг другу, то между началами секций вторичных обмоток напряжения нет, т. е. $\Delta U = 0$.

2) Когда плунжер будет смещаться от среднего нейтрального положения вверх, то магнитный поток, пронизывающий секции, будет различным для каждой секции: для верхней секции он увеличивается, а для нижней — уменьшается, в связи с этим амплитуда (величина) e_1

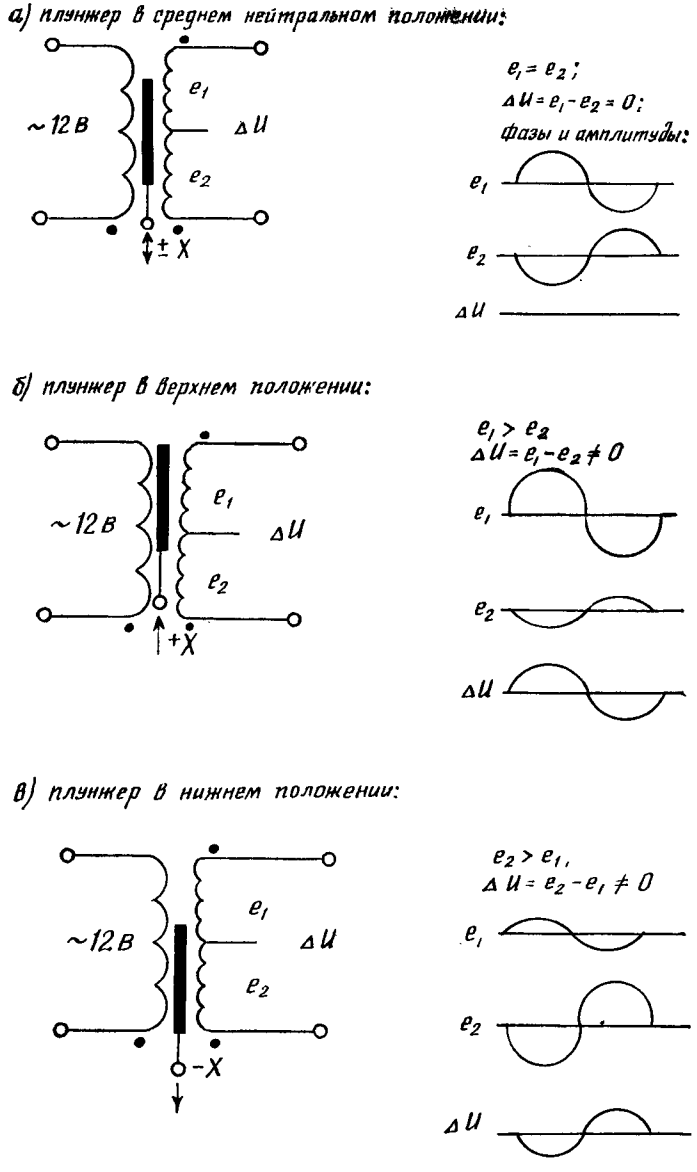


Рис. 30. Дифференциально-трансформаторный преобразователь: а) плунжер в среднем нейтральном положении; б) плунжер в верхнем положении; в) плунжер в нижнем положении.

будет увеличиваться, а e_2 — уменьшается и между началами этих секций появится напряжение $\Delta И = e_1 - e_2$. Величина ΔИ будет зависеть от величины перемещения плунжера вверх, а фаза ΔИ будет соответствовать фазе e_1.

3) Перемещение плунжера вниз от нейтрального положения вызовет перераспределение магнитного потока относительно секций вторичной обмотки преобразователя. Вследствие этого э.д.с. нижней секции e_2 будет увеличиваться, а э.д.с. верхней секции e_1 будет уменьшаться. Это повлечет увеличение напряжения на выходе вторичной обмотки преобразователя $\Delta И = e_2 - e_1$. В этом случае фаза ΔИ будет соответствовать фазе e_2.

Если проанализировать работу дифференциально-трансформаторного преобразователя, то можно сделать следующие выводы:

1) при отсутствии выходного напряжения $\Delta И = 0$, плунжер преобразователя находится в среднем нейтральном положении;

2) величина выходного напряжения преобразователя ΔИ зависит от величины отклонения плунжера от его нейтрального положения; увеличение отклонения плунжера от нейтрали вызывает увеличение выходного напряжения ΔИ вторичной обмотки;

3) фаза выходного напряжения ΔИ показывает направление перемещения плунжера.

Значит, **выходное напряжение преобразователя несет двойную информацию — величину и направление отклонения плунжера от нейтрали.** Величина ΔИ пропорциональна величине отклонения плунжера от нейтрали (рис. 31).

Так как ΔИ — разность двух величин e_1 и e_2 и она постоянно изменяется, то согласно математике переменная разность называется дифференциалом, поэтому и преобразователь называется дифференциальным.

ОБЗОР ДИФТРАНСФОРМАТОРНЫХ ДАТЧИКОВ

8.1.1. **Дифманометры мембранные** типа ППДМ моделей 23014, 23015, 23016 и ДМ — 3583М предназначены для измерения перепада (разности) давлений. Они состоят из мембранного блока и дифтрансформаторного преобразователя. Упругий мембранный блок состоит из двух мембранных коробок, разделенных диафрагмой и заключенных между двумя крышками. При этом образуются две камеры — плюсовая (нижняя) и минусовая (верхняя). Внутренние полости мембранных коробок соединены между собой через ниппель в диафрагме, герметичны и заполнены или дистиллированной водой, или водным раствором этиленгликоля. Под воздействием перепада давлений в камерах нижняя мембранная коробка сжимается, и жидкость из нее перетекает в верхнюю коробку, раздувая ее, что вызывает перемещение плунжера дифтрансформаторного преобразователя. Жесткость мембранных коробок зависит от измеряемого перепада.

Основные технические данные:

1. Предел верхнего измеряемого перепада давлений: 1,6; 2,5; 4,0; 6,3; 10; 16; 25 кПа (160, 250; 400; 630; 1000; 1600; 2500 мм вод. ст.), 40; 63; 100; 160; 250; 400; 630 кПа (0,4; 0,63; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,3 кгс/см²).

2. Предельно допускаемое дифманометром рабочее избыточное давление:

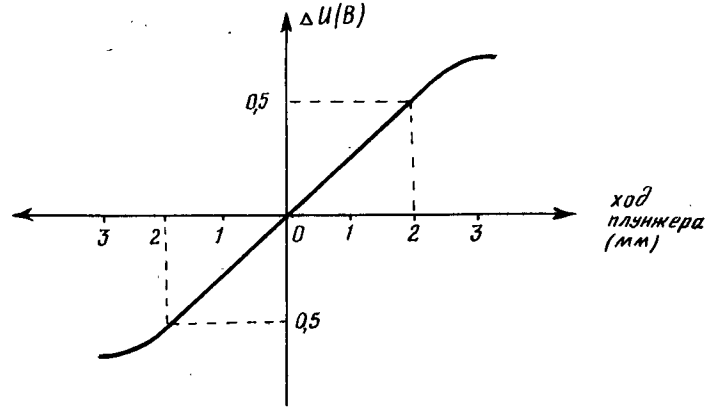


Рис. 31. Выходная характеристика дифтрансформаторного датчика.

ППДМ модели — 23014 — 6,3 МПа (63 кгс/см²)
» » — 23015 — 16,0 МПа (160 кгс/см²)
» » — 23016 — 25,0 МПа (250 кгс/см²).
ДМ — 3583М — 16,0 МПа (160 кгс/см²).

3. Допускается в процессе эксплуатации односторонняя перегрузка дифманометра со стороны плюсовой или минусовой камер давлением, в десять раз превышающем предельный перепад, но не более 1 МПа (10 кгс/см²).

4. Питание первичной обмотки преобразователя 12 В, током 125 $^{+12}_{-18}$ мА.

5. Выходной сигнал дифманометра прямопропорционален перепаду давления.

6. Предел изменения выходного сигнала при предельном номинальном перепаде давлений равен $0 \div 0{,}5^{+0{,}5}_{-0{,}1}$ В или 0÷10 мГ.

7. Зона нечувствительности преобразователя 0,4% от действительного значения выходного сигнала при предельном номинальном перепаде давлений.

8. Класс точности — 1,0 и 1,5.

9. Обмоточные данные дифтрансформаторных преобразователей:

а) марка провода — ПЭВ-1;

б) диаметр провода:

первичной обмотки — ∅0,2 мм;

вторичной » — ∅0,15 мм;

в) количество витков:

первичной обмотки — 1250×2;

вторичной » — 1800×2;

г) активное сопротивление:

первичной обмотки — 70±5 Ом;

вторичной » — 300±25 Ом;

10. Ход плунжера — $4^{+1,0}_{-2,2}$ мм.

8.1.2. **Дифманометры колокольные** типа ДКО модели 3702 предназначены для измерения перепада давлений и преобразования в электрический сигнал. Принцип действия основан на подъеме колокола в разделительной жидкости при воздействии на него давления изнутри и одновременном перемещении плунжера дифтрансформаторного преобразователя, жестко связанного с колоколом. Колокол, подвешенный на постоянно растянутой пружине, плавает в трансформаторном масле (ГОСТ-982-56), которое разделяет минусовую камеру (над колоколом) и плюсовую камеру (под колоколом). Разрешается одностороннее давление больше перепада. При этом повреждений не произойдет, так как конструкция предусматривает пропуск избыточного давления через разделительную жидкость.

Основные технические данные.

1. Верхнее значение номинального перепада: 10; 16; 25; 40; 60 и 100 мм вод. ст.

2. Измеряемая среда — газ.

3. Рабочее давление — 0,25 МПа (2,5 кгс/см²).

4. Ход плунжера преобразователя — 16±2 мм.

5. Класс точности 1,5.

6. Данные обмоток:

а) марка провода — ПЭВ-2;

б) диаметр провода — ∅0,27 мм, ∅0,25 мм;

в) количество витков: первичная обмотка — 1920×2; вторичная обмотка — 810×2.

7. Выходное напряжение — 1—0—1 В (10—0—10 мГ).

8. Питание переменным током 125 мА, частотой 50 Гц.

8.1.3. **Манометры электрические дистанционные.** Они выпускаются типа МЭД моделей 22364 и 22365 и типа ППД моделей 22012 и 22013. Предназначены для измерения избыточного или вакуумметрического давлений для работы со вторичными приборами дифтрансформаторной системы, машинами централизованного контроля, с регуляторами и другими приемниками информации. Они состоят из чувствительного элемента (одновитковая трубчатая манометрическая пружина или трубка Бурдона) и дифтрансформаторного преобразователя.

Технические данные.

1. Верхние пределы измерений избыточного и вакуумметрического давления и измеряемой среды приведены в табл. 2.

Таблица 2

Прибор	Модель	Верхний предел измерений МПа (10 кгс/см²)		Измеряемая среда
		избыточное давление	вакуум	
Манометр	22364 22012 22365 22013	0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,6; 1,6; 1,0; 1,6 2,5; 4,0; 6,6; 10,0; 16,0; 25,0 40,0; 60,0; 100,0; 160,0	—	Газ или жидкость
Вакуумметр	22364 22012	— 0,06; 0,15; 0,3		Газ
Мановакуумметр	22365 22013	0,5; 0,9; 1,5 2,4	0,1	Газ или жидкость

2. Питание первичной обмотки дифтрансформатора $125^{+12,5}_{-18,75}$ мА, частотой 50±1 Гц.

3. Выходной сигнал пропорционален давлению и при верхнем пределе равен $0{,}5^{+0,5}_{-0,05}$ В (10 мГ).

4. Зона нечувствительности 0,4% нормирующего значения.

Таблица 3

Наименование	Данные обмоток				
Тип датчика	МЭД			ППД	
Тип дифтрансформатора	1	2	3	22012	22013
Рабочий ход плунжера, мм	1,6±0,4	2,5±0,6	4±1	2,5±0,6	1,6±0,4
Марка провода первичная		ПЭВ-2			
Число витков обм. первичная		1250×2			
Число витков обм. вторичная	2000×2	1250×2	800×2	1250×2	1500×2
Диаметр провода мм первичная,			0,2		
Диаметр провода мм вторичная,	0,1	0,13	0,1	0,13	0,18
Активное сопрот. Ом первичная,			70,0±7		
Активное сопрот. Ом вторичная, Ом	600±60	220±22			140±14

5. Класс точности 1,0 и 1,5.

6. Данные обмоток дифтрансформаторного преобразователя приведены в табл. 3.

8.1.4. **Дифференциальный тягомер типа ДТ2.** Назначение — первичный прибор для работы в системах автоматического регулирования, реагирующий на отклонение малых давлений, разрежений или разности двух давлений неагрессивного газа или воздуха от заданного значения и преобразующий отклонение в электросигнал переменного тока частотой 50 Гц. Тягомер состоит из чувствительного элемента (мембранной коробки, заключенной в герметический корпус) и дифтрансформаторного преобразователя. Мембранная коробка соединена с плунжером преобразователя.

Технические данные.

1. Максимальный перепад давления (разрежения) — 0,5; 1,0; 2,0; ±2,0; 3,0 кПа (50, 100, 200, ±200 и 300 мм вод. ст.).

2. Рабочее давление — 0,05 МПа (0,5 кгс/см²).

3. Одностороннее давление не должно превышать максимальный перепад.

4. Питание первичной обмотки преобразователя $125^{+12,5}_{-18,75}$ мА, частотой 50±1 Гц.

5. Выходной сигнал пропорционален перепаду давлений и равен 0,5±0,05В (0÷10 мГ).

6. Класс точности 1,5.

7. Обмоточные данные дифтрансформатора:

а) марка провода — ПЭВ — 2;

б) число витков:

первичной обмотки — 1350×2;

вторичной » — 1400×2;

в) диаметр провода, мм — 0,27;

г) сопротивление:

первичной обмотки, Ом — 45,5±4;

вторичной » , Ом — 73,5±4.

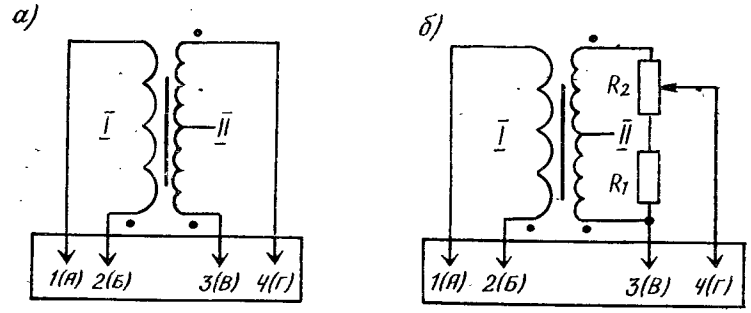


Рис. 32. Электрическая схема соединений дифтрансформаторных преобразователей:

а) для регулирующих блоков; б) для измерительных приборов, и может применяться для регулирующих блоков.

8.1.5. **Схемы электрических соединений.** Электрические схемы подключения дифтрансформаторных преобразователей выпускаются двух видов:

а) для работы со вторичными приборами используется схема (рис. 32 б), которая применяется в дифманометрах ДМ-3583М, МЭД-22364 и 22365. Вторичная обмотка зашунтирована постоянным сопротивлением R_1=360 Ом и переменным сопротивлением R_2 — потенциометром ППЗ-43-1000 Ом. Потенциометр служит для настройки пределов измерения выходных сигналов, согласования со вторичным прибором. Сопротивление R_1 — ограничительное. Однако эти датчики могут быть использованы и в системах автоматического регулирования, только необходимо потенциометр установить в положение, обеспечивающее максимальный выходной сигнал, т. е. ползунок потенциометра дол-

жен быть соединен с концом вторичной обмотки преобразователя;

б) для работы с приборами систем регулирования используются электросхемы (рис. 32а), которые применяются в датчиках типа ДМ-23014, 23015, 23016, ППД-22012, 220013 и ДТ2.

8.2. ТЕРМОПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ СОПРОТИВЛЕНИЯ — ТЕРМОМЕТРЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ

В основе термопреобразователей сопротивления (ТС) — принцип изменения электрического сопротивления тел с изменением их температуры.

Для изготовления проволочных терморезисторов применяют: медь (в интервале температур от —200 до 180 °С); платину (—200 до 1300 °С); никель (до 250 °С); железо (до 150 °С).

Промышленность выпускает два вида ТС, отличающихся материалом рабочей проволоки,— платиновые (ТСП) и медные (ТСМ). Зависимость сопротивления от температуры близка к линейной.

По конструкции и применению ТС делят: 1) по назначению — на погружные, поверхностные, комнатные; 2) по условиям эксплуатации — на стационарные и переносные; 3) по защищенности от воздействия внешней среды со стороны выводов — с обыкновенной и взрывоопасной головками, а также без головки (со специальной заделкой выводных концов); 4) по защищенности от воздействия измеряемой среды — на защищенные и незащищенные; 5) по устойчивости к механическим воздействиям — на обыкновенные, вибротряскоустойчивые, ударопрочные; 6) по использованию —предназначенные для работы в обычных либо в тропических условиях; 7) по точности — на эталонные, образцовые, 1—2- и 3-го разрядов и технические I, II, III, IV и V классов; 8) по инерционности — большой инерционности (БИ), средней (СИ) и малоинерционные (МИ); 9) по модификации — одинарные и двойные; (медные только одинарные).

Определяющие свойства ТС — инерционность и класс точности. Достоинством проволочных ТС является их взаимозаменяемость, т. е. возможность работы с одним и тем же измерительным прибором без подгонки шкал разных ТС одной градуировки.

Имеются также полупроводниковые термопреобразователи сопротивления, но они имеют существенный недостаток — неоднотипность градуировочных характеристик. Поэтому полупроводниковые ТС даже одного и того же типа не взаимозаменяемые и имеют индивидуальные градуировки.

Характеристики термопреобразователей сопротивления приведены в табл. 4.

Таблица 4

Тип термопреобразователя	Номинальное сопротивление при 0°С, Ом	Условное обозначение характеристики — градуировка	Диапазон измеряемых температур, °С
ТСП	1	1П	от —50 до +1100
	5	5П	от —100 до +1100
	10	10П	от —200 до +1000
	46	21	от —260 до +1000
	50	50П	от —260 до +1000
	100	100П	от —260 до +1000
	500	500П	от —260 до +300
ТСМ	10	10М	от —50 до +200
	50	50М	от —50 до +200
	53	23	от —50 до +180
	100	100М	от —200 до +200

До последнего времени термометрические чувствительные элементы (ТЧЭ) преобразователя сопротивления выпускались в виде слюдяной пластины размером 100×10 мм, на которую наматывалась платиновая проволока 0,05 ... 0,07 мм бифилярно, т. е. сложенная вдвое (би-два). Помещалась пластина в алюминиевую трубку. Теперь применяются керамические ТЧЭ, где в капиллярных трубках находятся платиновые спирали, которые помещаются в защитную трубку из нержавеющей стали. Медный ТЧЭ представляет собой бескаркасную безиндукционную (бифилярную) обмотку из медной проволоки ∅0,07 ... 0,08 мм, покрытую фторопластовой пленкой и помещенную в металлическую гильзу.

8.3. ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ — ТЕРМОПАРЫ

В основу создания термоэлектрического преобразователя (ТП) положен термоэлектрический эффект ЗЕЕБЕКА. Он заключается в том, что в замкнутой цепи, состоящей из двух различных проводников, спаи которых находятся

под воздействием различных температур, возникает электрический ток. Как правило, изменению подвергается не значение тока, а разность потенциалов (термо — э.д.с) между разомкнутыми холодными концами проводников или в разрыве между частями одного из термоэлектродов. Таким образом, термопреобразователь, действие которого основано на использовании зависимости термоэлектродвижущей силы термопары от температуры, называется термоэлектрическим преобразователем. Термопара является несложным преобразователем температуры в электрическую величину.

Спай термопары, помещенный в среду с измеряемой температурой, называется **рабочим концом термопары**, а спай, температура которого поддерживается постоянно,— **свободным или холодным.** Для обеспечения малой инерционности массу спая, а следовательно, и его теплоемкость можно сделать незначительной. Изготовленные из существующих материалов термопары позволяют измерять температуру в диапазоне 20 . . .3000 °К с точностью, не уступающей точности других методов. Последовательно соединенные термопары (термобатареи) дают возможность определять разность температуры в тысячные доли градуса. Зависимость э. д. с. термопары от температуры свободного конца называется **градуировкой термопары.**

Термопары подразделяются:

1) по назначению — на погружные и поверхностные, стационарные и переносные;

2) по наличию и материалу защитного чехла — на изготовляемые без него, со стальным (до 600 °С), с чехлом из специального жаростойкого сплава (до 1100 °С), с фарфоровым чехлом (до 1300 °С).

3) по материалу чувствительных элементов — на выполненные из благородных и неблагородных металлов;

4) по инерционности, числу зон контроля, устойчивости к механическим воздействиям, конструкции крепления, герметичности и т. д. Характеристики стандартных термопар приведены в табл. 5.

Чаще всего свободные (холодные) концы термопар значительно удалены от рабочего (горячего) спая. Прокладывать термоэлектродные провода на большие расстояния нерационально, особенно из благородных металлов. Поэтому для подключения термопар к измерительным приборам применяются удлинительные (компенсационные) провода, более дешевые, чем термоэлектродные, и имеющие меньшее сопротивление. Основное требование к ком-

Таблица 5

Тип термопары	Материал термоэлектродов	Условное обозначение характеристики	Верхний предел °С	
			длительно	кратковременно
ТВР	Вольфрамрений — вольфрамрений	ВР 5/20	1800	2500
ТПР	Платинородий — платинородий	ПР 30/6	1600	1800
ТПП	Платинородий — платина	ПП	1300	1600
ТХА	Хромель-алюмель	ХА	1000	1300
ТХК	Хромель копель	ХК	600	800

пенсационным проводам: они должны развивать в диапазоне температур 0—100 °С такую же термо-э.д.с., как и термоэлектродные. Характеристики компенсационных проводов для термопар приведены в табл. 6.

Таблица 6

Тип термопары	Обозначение компенсационного провода	Положительная жила		Отрицательная жила	
		Материал	Расцветка изоляции	Материал	Расцветка изоляции
ТПП	П	Медь	красная	Сплав ПП	зеленая
ТХА	ХА	Хромель	фиолетовая	Алюмель	черная
»	М	Медь	красная	Константан	коричневая
ТХК	ХК	Хромель	фиолетовая	Копель	желтая

При монтаже компенсационные провода должны быть тщательно экранированы, а экран заземлен.

8.4. СЧЕТЧИКИ РАСХОДА ТОПЛИВА

Счетчики газа ротационные типа РГ предназначены для учета объемного количества горючих газов. Рабочая температура от 0 °С до +50 °С, а давление не должно превышать 0,1 МПа (1 кгс/см²). Объемное измерение в счетчике осуществляется вследствие вращения за счет разности давлений на входе и выходе двух роторов восьмиричной формы.

Характеристика газовых счетчиков приведена в табл. 7.

Их недостатком является то, что они не имеют электронного преобразователя для дистанционной передачи показаний и их ввода в системы регулирования, вычислительную технику.

Таблица 7

Показатели	Размерность	РГ-40	РГ-100	РГ-250	РГ-400	РГ-600	РГ-1000
Номинальный расход	$м^3/ч$	40	100	250	400	600	1000
Наименьший расход	$м^3/ч$	4	10	25	40	60	100
Наибольший расход (не более 6 ч в сутки)	$м^3/ч$	48	120	300	480	720	1200
Порог чувствительности	$м^3/ч$	0,6	1,5	3,75	6,0	9,0	15
Погрешность при расходе:							
а) от 10 до 20	%	±3	±2	±2	±2	±2	±2
б) от 20 до 120	%	±1,6	±1,0	±1,0	±1,0	±1,0	±1,0

Счетчики мазута (табл. 8) выпускаются для различных давлений и вязкости, например, типа ШЖУ, СЖШ, ЛЖ, МП. Но для котельных подходит счетчик типа СМ2, выпускаемый Ивано-Франковским приборостроительным заводом п/о «Геофизприбор».

Счетчик-расходомер мазута типа СМ2 состоит из:

а) счетчика СМО, имеющего встроенный показывающий суммирующий цифровой механизм;

б) первичного преобразователя-счетчика СМ-1;

в) вторичного преобразователя, нормирующего ПН.

Таблица 8

Основные параметры счетчиков

Параметры		СМО-50 / СМ2-50	СМО-150 / СМ2-100	СМО-200 / СМ2-200	СМО-400 / СМ2-400	СМО-1000 / СМ2-1000	СМО-2000 / СМ2-2000	СМО-4000 / СМ2-4000
Диапазон измерения ($дм^3/ч$)	Миним. расход	7,5	15	30	60	150	300	600
	Максим. расход	50	100	200	400	1000	2000	4000
Класс точностн		2,0; 1,0 2,5; 2,0	2,0; 1,0 2,5; 2,0	1,5; 1,0 2,5; 2,0	1,5; 1,0 2,5; 2,0	1,0; 0,6 2,0; 1,5	1,0; 0,6 2,0; 1,5	1,0 ;0,6 2,0; 1,5

Технические данные.

Температура измеряемой среды от 10 до 120 °С.

Вязкость измеряемой среды от $0{,}2\times10^{-4}$ $м^2/с$ (20 сСт; 3 °ВУ).

Рабочее давление среды — 2,0 МПа.

Питание счетчика СМ1 — переменное, 10÷25 В, частотой 100 кГц от нормирующего ПН.

Выходной сигнал счетчика СМ1 — последовательность импульсов (частота 100±3 кГц) или импульс не менее 3 мс (для входа 1 — положительные, для входа 2 — отрицательные) амплитудой 3—10 В, частотой 0—45 Гц (поступление по двум каналам со сдвигом фаз 180°).

Длина линии связи между счетчиком СМ1 и преобразователем ПН — не более 100 м.

Выходной сигнал преобразователя 0—5 мА, 0—20 мА или 4—20 мА постоянного тока.

Глава 9. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

Исполнительными механизмами (ИМ) в системах автоматического регулирования (САР) и дистанционного управления (ДУ) называются устройства, осуществляющие перемещение регулирующего органа (РО) в соответствии с поступающими сигналами от управляющего устройства.

ИМ должен отвечать требованиям, выявленным при анализе принятого закона регулирования или управления системы и определяющим совместную работу с выбранным РО, т. е. должен удовлетворять требованиям заданных статических и динамических характеристик исполнительного устройства:

а) обеспечивать необходимую скорость регулирования, определяемую динамикой системы;

б) обеспечивать линейную ходовую характеристику — зависимость между перемещением выходного элемента и мощностью командного сигнала, чтобы не искажать выбранного закона регулирования;

в) иметь наименьший инерционный выбег (движение после снятия командного сигнала до полной остановки ИМ), который оказывает существенное влияние на качество процесса регулирования, особенно при сокращенном ходе;

г) иметь наименьшую величину люфта (свободного хода) элементов ИМ, влияющую на устойчивость и качество регулирования САР.

Классификация ИМ, выпускаемых промышленностью, приведена на рис. 33.

ИМ состоят из следующих элементов: 1) исполнительного двигателя — силового источника воздействия на РО; 2) передаточного или преобразовательного устройства, располагающегося между исполнительным двигателем и РО и предназначенного для получения определенной скорости, направления или характера перемещения РО; 3) конечных выключателей, служащих для ограничения перемещения РО и фиксации его положения в схемах управления и САР; 4) элементов управления (пускателей, реле, золотников, клапанов и т. д.), защиты (предохранительной и переливных клапанов, муфт ограничения крутящего момента и др.), сигнализации и контроля (дистанционных указателей положения и др.).

В котельных установках в качестве ИМ для САР используются гидравлические исполнительные механизмы ГИМы, механизмы электрические однооборотные типа МЭО и прямоходовые электрические типа ЕСПА-02-ПВ (производство БНР).

ГИМ состоит из гидравлического сервомотора (поршневой привод) и блока электрогидравлических реле. Электросигнал подается на катушки электромагнитов двух клапанов, которые управляют подачей воды и ее сливом из соответствующих полостей сервомотора. За счет этого достигается управление и реверсирование прямоходового ГИМа. При отсутствии электросигнала давление воды подается в обе полости цилиндра. Этим обеспечивается стабилизация положения сервомотора в промежуточном состоянии.

Наряду с достоинствами имеются и недостатки, которые ограничивают применение ГИМов:

1) отсутствие ручного управления;

2) необходимость монтажа подводящей магистрали воды, установки и обслуживания редукционного клапана, монтажа дренажных линий;

3) установка фильтров механической очистки воды;

4) большой расход воды — 100 л/ч;

5) быстрый выход из строя обрезиненных клапанов, электрогидрореле и сальников сервомотора, отсутствие запасных частей;

6) неизменная скорость ГИМа;

Эти недостатки, кроме п. 6, отсутствуют у электрических исполнительных механизмов, кроме типа ЕСПА-02-ПВ, имеющего комплект сменных шестерен, с помощью которых можно выбрать одну из четырех скоростей.

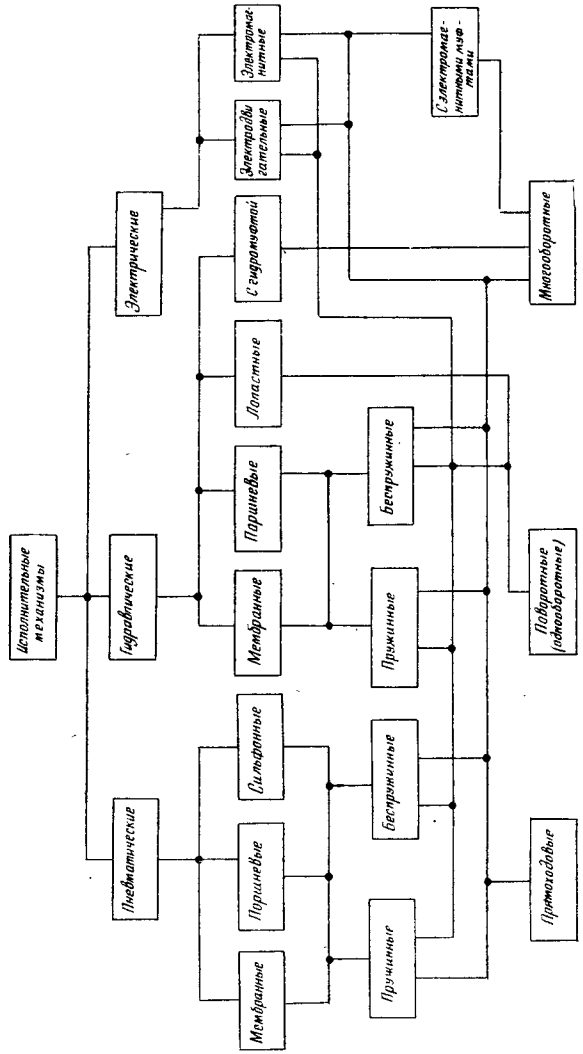


Рис. 33. Классификация исполнительных механизмов.

Электрический ИМ типа ЕСПА-02-ПВ предназначен в основном для совместной работы с регулирующими клапанами — двух- или трехходовыми, с ходом до 63 мм и максимальным усилием штока до 160 кГ. Однако на котлах до 6,5 т/ч он может применяться, как ИМ дымососа и вентилятора. В комплекте с клапаном этот ИМ дает возможность регулировать расход жидкости или газов, проходящих по трубопроводам. Выпускается ЕСПА в БНР.

Технические данные ЕСПА-02-ПВ:

Номинальное усилие	— 160 кГ.
Максимальный ход штока	— 63 мм (16,25).
Скорость перемещения штока	— 10, 16, 25, 40 мм/мин.
Пределы настройки ограничителей и блокировки	— от 0% до 100%.
Пределы настройки выключателей по усилию	— 350—600 кГ.
Коммутационная способность выключателей	— 1 А; 250 В; 50 Гц.
Дифференциальный ход ограничителей хода и блокировки	— 0,08 мм.
Пусковое усилие	— более 1,7 номинального.
Выбег при максимальной скорости 40 мм/мин.	— менее 0,08 мм.
Максимальный люфт штока	— менее 0,1 мм.
Электродвигатель симметричный асинхронный	— 40 Вт; 0,5 А; 220 В.
Конденсатор к нему	— 4 мкф $\pm$10%; 380 В.
Номинальные обороты	— 1300 об/мин.
Максимальное число включений	— 600 в час.
Сопротивление потенциометров	— 200$\pm$10 Ом.
Максимальная нагрузка потенциометров	— до 100 мА; 20 В.

Исполнительный механизм ЕСПА-02-ПВ состоит из: 1) электрического двигателя; 2) распределительной коробки; 3) редуктора; 4) стойки; 5) управляющей коробки; 6) ручного привода. Постоянное число оборотов электродвигателя уменьшается редуктором, и с помощью гайки и винта вращательное движение преобразуется в прямолинейно-поступательное. ЕСПА работают также с двухходовыми типа РГ и трехходовыми типа РИ регулирующими клапанами, рабочий ход которых, в зависимости от проходного сечения, составляет 16, 25, 40 мм. ИМ комплектуется реохордами различной длины. В котельных применяются двухходовые регулирующие клапаны с электроприводом типа ЕСПА-02-РГ.

Отечественная промышленность выпускает механизмы электрические однооборотные типа МЭО, МЭОБ, МЭК-К, МК-Б.

ИМ типа МЭО и МЭК-Б могут работать в системах бесконтактного управления (магнитные усилители или тиристоры) или в системах контактного управления (магнитные пускатели). Для приводов механизмов МЭО применяются двухфазные реверсивные электродвигатели типа ДАУ которые, благодаря малоинерционному ротору, обеспечивают хорошие динамические качества и допускают длительную работу в стопорном режиме при полном напряжении питания, т. е. на упоре. В ИМ типа МЭК-Б используется асинхронный конденсаторный электродвигатель типа АДП-362, а в МЭО-К и МЭК-К — трехфазные электродвигатели типа АОЛ на 380 В.

ИМ имеют следующие основные элементы: 1) электродвигатель; 2) редуктор, понижающий число оборотов; 3) выходное устройство для механического сочленения с регулирующим органом; 4) дополнительные устройства, обеспечивающие остановку механизма в крайних положениях, самоторможение при отключении электродвигателя, возможность ручного привода на случай выхода из строя системы автоматики, обратную связь для САР, дистанционного указателя положения и сигнализацию положения механизма.

Для контроля за положением ИМ и направлением его перемещения применяется дистанционный указатель положения типа ДУП-М. Указатель может работать в комплекте с электрическими ИМ, имеющими как индуктивный, так и реостатный датчики положения выходного вала.

Технические данные ДУП-М.

1. Источник питания — переменный ток, 220^{+22}_{-33} В, частотой 50$\pm$1 Гц.

2. Зависимость показаний прибора от положения выходного вала исполнительного механизма — линейная.

3. Сопротивление линии связи указателя с датчиком не должно превышать 10 Ом.

4. Потребляемая мощность 5 В. А.

Указатель состоит из узла питания и измерительного неуравновешенного моста. Плечи моста образуются переменным резистором $R3$ и сопротивлением датчика с резисторами $R4$ и $R6$, включенными последовательно с датчи-

ком. Измерительный прибор ИП находится в диагонали моста, его шкала выражена в процентах — от 0 до 100.

Резистор $R3$ служит для балансировки моста (установка нуля), а $R5$ — для установки диапазона измерения, шкалы прибора (установка 100%). Схема подключения— клеммы 1 и 2 — питание 220 В, клеммы 3, 4, 5 — для подключения датчика. Технические характеристики элементов электрической схемы указателя приведены в табл. 9.

Настройка ДУП-М производится в следующем порядке:

а) проверить схему внешних подключений и подать напряжение;

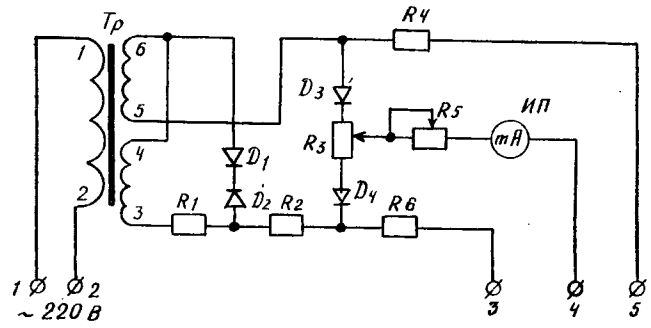


Рис. 34. Принципиальная электрическая схема указателя положения ДУП-М.

б) установить ИМ в начальное положение и вращением оси регулировочного резистора «О», на внешней панели прибора, установить стрелку на начало шкалы — «0%»;

в) установить ИМ в конечное положение и резистором «100» на внешней панели прибора установить стрелку на отметку шкалы — «100%».

Глава 10. РЕГУЛИРУЮЩИЕ ОРГАНЫ

Они используются для воздействия на технологический процесс с целью изменения расхода вещества или энергии. Функционально регулирующий орган представляет собой переменное гидравлическое сопротивление. РО работает в режиме, когда затвор может принимать любое промежуточное значение в диапазоне от максимального до минимального. Широчайший диапазон свойств, параметров и состояний регулируемой среды предопределяет большое количество исполнений, отличающихся конструкцией, раз-

Таблица 9

Обозначение по схеме	Наименование и тип	Величина
$R1$	Резистор МЛТ-2-820 Ом±10%	820 Ом
$R2$	» МЛТ-2-1 кОм±10%	1 кОм
$R3$	» СПО-0,5-100 Ом±20%	100 Ом
$R4$	» МЛТ-0,5-36 Ом±10%	36 Ом
$R5$	» СПО-0,5-5,6 кОм±10%	5,6 кОм
$R6$	» МЛТ-0,5-120 Ом±10%	120 Ом
Д1, Д2	Диод Д816Г	
Д3, Д4	» Д226Б	
ИП	Микроамперметр М4205.12; 0÷100МкА; шкала 0÷100%	

Тр	Трансформатор				
	Номер обмотки	Номера выводов	Число витков	Провод	
				Марка	Диаметр, мм
	I	1—2	7000	ПЭВ-2	0,08
	II	3—4	2000	»	0,13
	III	5—6	300	»	0,13

мером и материалом. Тип и размер РО определяет его гидравлические характеристики, важнейшими из которых являются условная пропускная способность, пропускная характеристика и негерметичность затвора, а также силовая характеристика.

Условная пропускная способность K_{vy} — основной параметр аттестации РО с точки зрения его гидравлических свойств. Определяется K_{vy} как расход несжимаемой жидкости (в м³/ч) с плотностью, равной 1000 кг/м³, проходящей через РО, при перепаде давления на нем (разность давлений до и после РО) в 1 кгс/см².

Пропускная характеристика выражает функциональную зависимость изменения пропускной способности РО от перемещения (или угла поворота) затвора: $K_v = \varphi(S)$. Пропускные характеристики РО могут быть равнопроцентными, линейными, специальными и двухпозиционными.

При **равнопроцентной** приращение пропускной способности по ходу затвора пропорционально текущему значению пропускной способности, а при **линейной** — приращение K_v пропорционально перемещению затвора.

Специальная пропускная характеристика может задаваться определенной математической зависимостью (для затворов со специальными профилями) или определяться конструкцией РО — шланговых, заслоночных и других.

При двухпозиционной пропускной характеристике проход полностью открыт или закрыт.

Пропускные характеристики стандартных РО, которые выражаются в виде зависимости относительной пропускной способности (σ) от степени открытия (l):

$\sigma=\varphi(l)$; $\sigma=\frac{Kv}{Kvy}$, представлены на рис. 35

По величине **допустимой негерметичности** РО могут быть регулирующими и запорно-регулирующими. В регу-

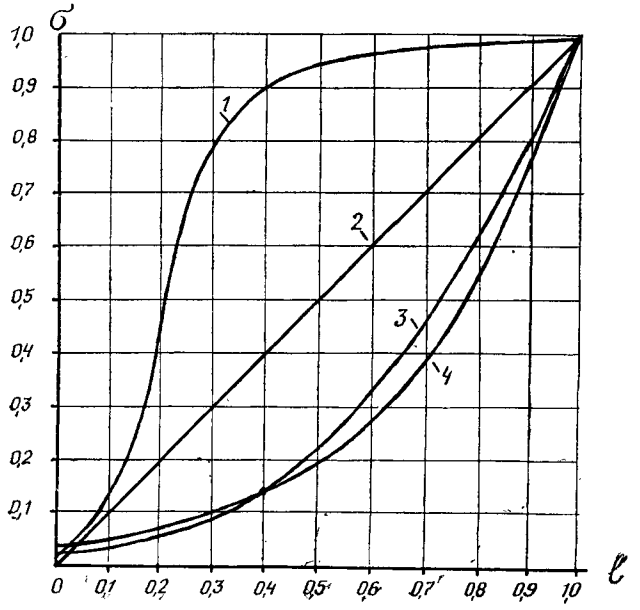


Рис. 35. Пропускные характеристики стандартных регулирующих органов:

1 — специальная (шланговый и диафрагмовый орган); 2 — линейная; 3 — спецнальная (заслоночный орган); 4 — равнопроцентная.

лирующих органах негерметичность затвора устанавливается в зависимости от конструкции. В двухседельном РО негерметичность затвора составляет доли процента от его условной пропускной способности, в заслоночном РО она обычно составляет 1—6% от условной пропускной способности в зависимости от условного прохода. В запорно-регулирующем пропуск среды недопустим.

Динамические свойства РО определяются усилием трения в сальнике и усилием статической и динамической незагруженности затвора, а это зависит от конструкции и размера РО.

Одним из основных параметров РО является **максимально допустимый перепад** регулируемой среды. Причины, ограничивающие величину в рабочих условиях, следующие:

1. Работа РО при высоких перепадах давлений вызывает ускоренную эрозию (износ) элементов.

2. Повышенный перепад вызывает шум и вибрацию, что сокращает срок нормальной эксплуатации РО.

3. Повышенный перепад на РО ведет к увеличению усилий статической и динамической неразгруженности затвора, что увеличивает перестановочное усилие, необходимое для управления РО.

4. Повышенный перепад на РО вызывает неустойчивую работу из-за неравномерности усилий по ходу затвора.

5. Дросселирование жидкости при повышенных перепадах может сопровождаться эффектом кавитации. Явление кавитации заключается в выделении из жидкости в процессе дросселирования газовой фазы (вскипание) с обратным переходом ее в жидкость — микровзрывы, которые вызывают быстрое разрушение элементов РО.

РО по принципу регулирующего воздействия на объект могут быть разделены на два основных вида: дросселирующие и дозирующие. Первые представляют собой переменное гидравлическое сопротивление в системе, воздействующее на расход вещества за счет изменения своего проходного сечения. Дозирующие регулирующие органы (агрегаты и механизмы) осуществляют заданное дозирование поступающего вещества или энергии или изменение расхода вещества за счет изменения производительности агрегатов.

Наиболее широко применяются в САР дросселирующие органы, хотя дозирующие более экономичны (рис. 36).

Конструктивные особенности РО определяются формой и направлением перемещения затвора относительно седла (рис. 37).

Для непрерывного регулирования в стандартных регулирующих устройствах используются дросселирующие регулирующие органы следующих типов (рис. 38):

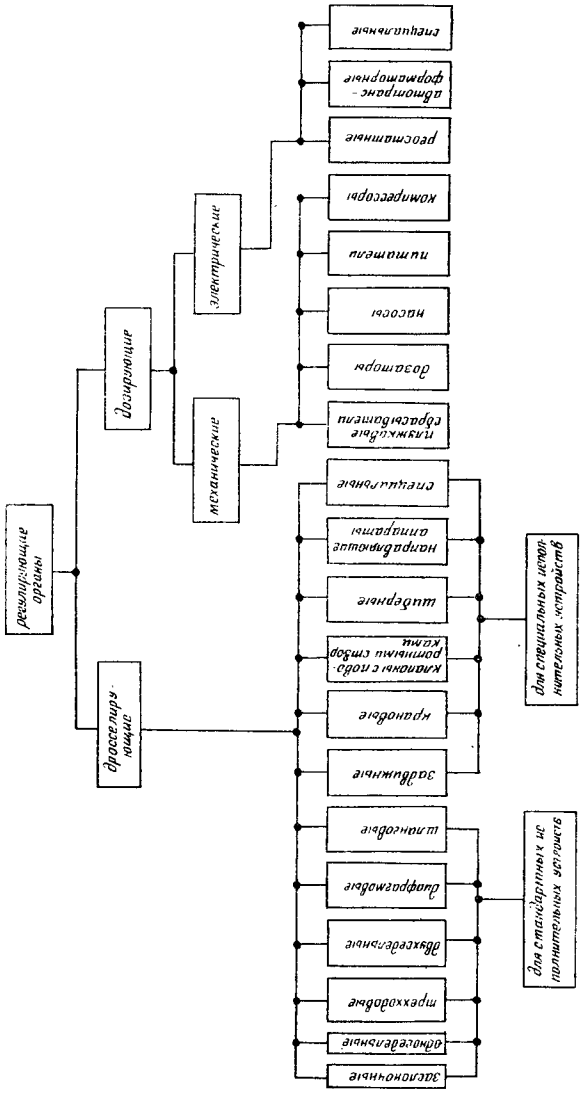


Рис. 36. Классификация регулирующих устройств.

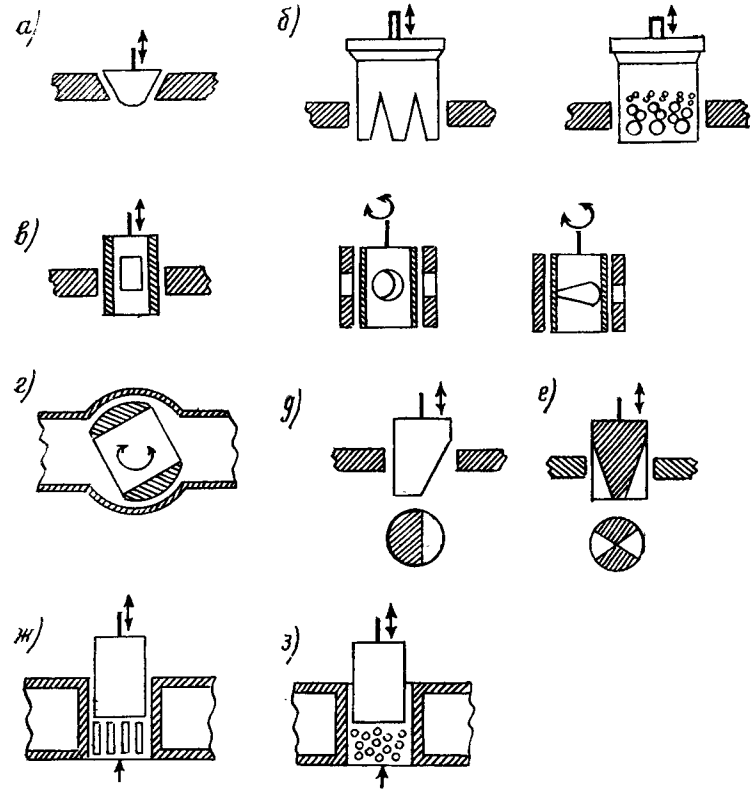


Рис. 37. Типы плунжеров (затворов):
а — пробочный или игольчатый; б — юбочный с профильными окнами и круглыми отверстиями; в — полые цилиндрическне; г — шаровой; д — сегментный; е — секторные; ж — клеточный с вертикальными антишумовыми прорезями; з — клеточный с круглыми антикавнтацнонными отверстиями.

а) многолопастные заслоночные, в которых изменение пропускной способности достигается поворотом одновременно всех восьми заслонок в воздуховоде; здесь один диск разделен на восемь частей, чтобы уменьшить парусность, а значит, уменьшится и перестановочное усилие (рис. 38а);

б) заслоночные, в которых пропускная способность изменяется поворотом заслонки (диска) в седле (рис. 38б);

в) двухседельные, в которых пропускная способность изменяется поступательным перемещением затвора вдоль оси проходов двух седел корпуса (рис. 38 в);

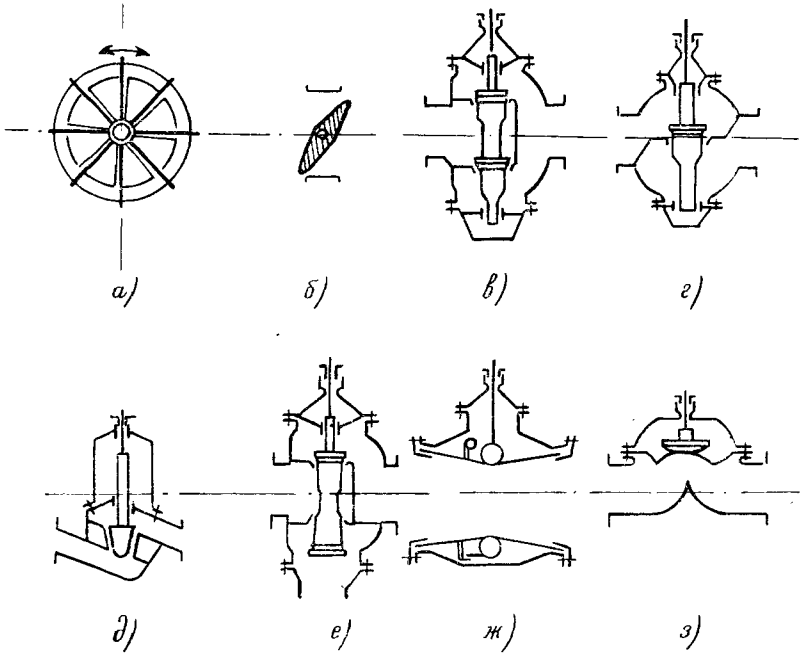


Рис. 38. Типы стандартных регулирующих органов:
а — многолопастная заслонка (направляющий аппарат); б — заслоика; в — двухседельный РО; г — односедельный; д — игольчатый; е — трехходовой; ж — шланговый; з — диафрагмовый РО.

г) односедельные, в которых пропускная способность изменяется поступательным перемещением затвора вдоль оси прохода седла корпуса (рис. 38 г);

д) игольчатый, как и в пункте «г» (рис. 38 д);

е) трехходовые, в которых пропускная способность изменяется при поступательном перемещении затвора вдоль оси проходов двух седел, а корпус при этом включает три присоединительных прохода, через которые один поток разделяется на два или два потока соединяются в один (рис. 38 е);

ж) шланговые, в которых пропускная способность достигается изменением проходного сечения упругого патрубка — отрезка шланга (рис. 38 ж);

з) диафрагмовые, в которых пропускная способность изменяется поступательным перемещением центра диафрагмы относительно седла, представляющего собой перегородку в корпусе (рис. 38 з).

Кроме перечисленных РО, применяются также задвижечные, крановые, клапаны с поворотными створками, шиберные и специальные РО. Для позиционного регулирования в основном используются задвижки, краны и вентили, а также перечисленные выше РО.

10.1. ВЫБОР И РАСЧЕТ РЕГУЛИРУЮЩИХ ОРГАНОВ

Функционально РО представляет собой переменное сопротивление в гидравлической цепи, изменение которого вызывает целенаправленное изменение расхода регулируемой среды. Способ дроссельного управления потоком зависит от характеристики источника напора. На рис. 39 при-

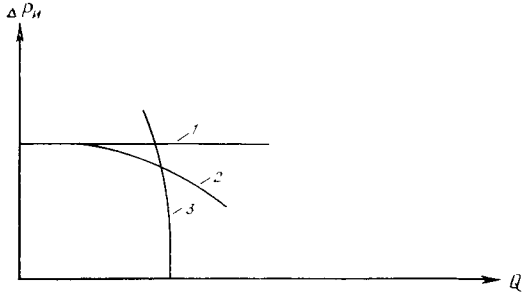


Рис. 39. Гидравлические характеристики источников напора, где:
1 — источник постоянного напора; 2 — центробежного иасоса; 3 — поршневого насоса.

ведены характеристики наиболее применяемых источников напора, где $\Delta P_и$ — перепад давлений, создаваемый источником напора, $Q_и$ — расход регулируемой среды. Общий перепад, создаваемый источниками напора $\Delta P_и$, тратится на преодоление сопротивления линии $\Delta P_л$ и регулирующего органа $\Delta P_{ро}$: $\Delta P_и = \Delta P_л + \Delta P_{ро}$.

Правильный расчет, выбор размера и вида расходной характеристики РО способствует обеспечению **устойчивости САР и качественного регулирования** при различных возмущениях технологического процесса. На расходную характеристику РО большое влияние оказывает сопротивление трубопроводной линии. Чтобы это влияние было менее заметным, необходим такой регулирующий орган, собственное сопротивление которого превышает сопротивление линии. Однако занижение размера РО приводит к уменьшению диапазона регулирования потока среды, а завышение — к ухудшению чувствительности РО (влияние на

изменение расхода). Если потери давления на РО меньше потерь давления в сети, то может наступить потеря регулируемости.

Расходная характеристика выражает зависимость изменения расхода от степени открытия РО.

Опыт наладки САР показывает, что для разомкнутых систем и дистанционного управления, а также при регулировании уровня воды в барабане котла лучше применять РО с равнопроцентной характеристикой, обеспечивающие регулирование расхода с одинаковым процентом точности во всем диапазоне измерения регулируемого параметра. Для замкнутых САР чаще применяются РО с линейной характеристикой.

Выбор размера РО обусловливается максимальным расходом через него, который определяется согласно техническим данным оборудования или режимных карт, снятых наладочной организацией.

Проходное сечение РО при известном количестве регулируемой среды (для несжимаемой жидкости) определяется по формуле:

$$F_{макс} = \frac{100 \cdot G_{макс}}{a_1 \cdot \sqrt{2q \cdot \mu \cdot \Delta P_{мин}}} \text{ (мм}^2\text{)}$$

где $F_{макс}$ — максимальное проходное сечение РО, необходимое для пропуска максимального расхода жидкости (мм²);

$G_{макс}$ — требуемый расход жидкости через РО (кг/с);

a_1 — коэффициент расхода, равный 0,5÷0,6;

q — ускорение свободного падения — 980 см/с²;

μ — удельный вес: вода — $1 \cdot 10^{-3}$ кг/см³;

мазут — $0{,}9 \cdot 10^{-3}$ кг/см³;

$\Delta P_{мин}$ — минимальный перепад на РО (кгс/см²), равный разности $P_1 - P_2$ при полном открытии;

P_1 — давление до РО (кгс/см²);

P_2 — давление после РО (кгс/см²).

Для устойчивости регулирования расхода минимальный перепад давлений $\Delta P_{мин}$ должен лежать в пределах 1÷2 кгс/см².

Если принять для мазута, что $\Delta P_{мин} = 2$ кгс/см², $\mu = 0{,}9 \cdot 10^{-3}$ кг/см³, $a_1 = 0{,}55$, то формула упростится:

$$F_{макс} = \frac{100 \cdot G_{макс}}{1{,}089} \text{ (мм}^2\text{)}$$

Исходя из технических данных котлов типа ДКВР и ДЕ, можно произвести расчеты максимальных проходных сечений РО по мазуту и питательной воде (табл. 10).

Таблица 10

Расчет проходных сечений регулирующих органов

Тип котла	Расход пара, в зависимости от вида топлива		Максимальный расход топлива $Q_{макс.}$			Расход питательной воды — 120% мощности котла		Максимальное проходное сечение $F_{макс.}$ (мм²)	
			мазут		газ				
	уголь	газ-мазут	кг/ч	кг/с	нм³/ч	т/ч	кг/с	мазут	питательная вода
ДКВР	2,5	3,75	265	0,074	280	4,5	1,25	7,1	114,0
	4	6	422	0,117	446	7,2	2,0	11,3	183,6
	6,5	9,75	684	0,19	721	11,7	3,25	18,4	298,4
	10	15	1045	0,29	1105	18,0	5,0	28,1	459,1
	20	28	1960	0,544	2060	33,6	9,33	52,7	856,7
ДЕ	—	4,0	287	0,079	306	4,8	1,33	7,6	122,1
	—	6,5	462	0,128	494	7,8	2,17	12,4	199,3
	—	10,0	705	0,196	754	12,0	3,33	19,0	305,8
	—	16,0	1151	0,32	1218	19,2	5,33	31,0	489,4
	—	25,0	1763	0,49	1877	30,0	8,33	47,4	764,9

Таблица 11

Проходное сечение задвижек

Диаметр	мм	15	25	32	40	50	80
F макс.	мм²	176	490	806	1256	1962	5024
F макс. (ЕСПА)	мм²	188	414	—	—	1400	4300

В качестве РО мазута на котлах применяют клапаны типа 9с-1, 9с-2, которые выпускает Барнаульский котельный завод, или типа В-924, 925 производства ЧЗЭМ. Однако у них имеется несколько недостатков:

а) наименьшее максимальное проходное сечение — 50 мм², что подходит только для котлов мощностью 20 т пара в час (табл. 11);

б) очень малый рабочий ход плунжера — 5—6 мм;

в) большие люфты в узлах сочленения.

Так как для РО мазута нужны клапаны с проходным

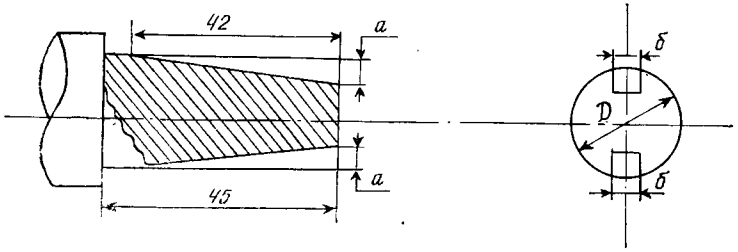
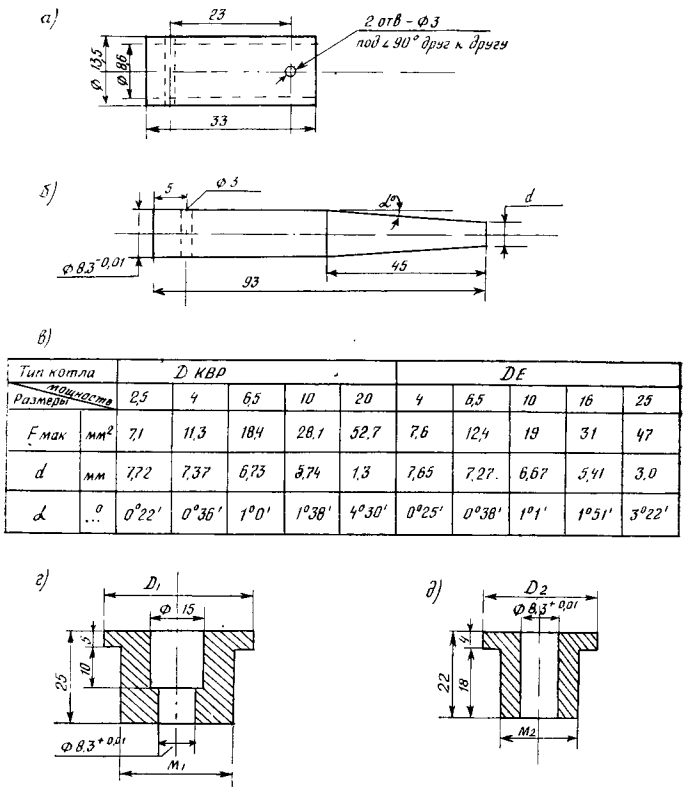


Рис. 40. Переделка регулирующей части игольчатых клапанов для мазута типа 9с—2 или В-924, В-925.

сечением менее 50 мм², то необходима переделка плунжера. Для этого вытачивается новый шток с регулирующей цилиндрической частью, в которой фрезеруются канавки с переменным сечением (секторный плунжер — рис. 37е). Максимальное проходное сечение $F_{макс}$ для данного котла определяется по табл. 10 и, согласно рис. 40, $F_{макс} = 2а \cdot б$. Рабочий ход увеличивается до 40 мм, что увеличивает точность регулирования. Для уменьшения люфтов необходимо в узлах сочленения заменить подшипники качения на шаровые типа ШР.

Вместо клапана типа 9с-1 (2) лучше использовать клапан с электроприводом типа ЕСПА-02-РГ, который переделывается с двухседельного РО на игольчатый, так как его проходное сечение значительно превышает необходимое. Эта замена позволяет значительно увеличить рабочий ход, уменьшить число узлов сочленения, т. е. люфтов. Наличие ручного привода, малая мощность электродвигателя, позволяющая управлять им через блок Р25 без пусковой аппаратуры, небольшие габариты, т. к. РО и ИМ находятся в одном узле, также оправдывают применение клапана с электроприводом типа ЕСПА-02-РГ.

Из корпуса электроклапана выкручиваются седла и заменяются новыми (рис. 41г); изготавливается регулирую-



Тип котла / Размеры / мощность		Д КВР					ДЕ				
		2,5	4	6,5	10	20	4	6,5	10	16	25
$F_{мак}$	мм²	7,1	11,3	18,4	28,1	52,7	7,6	12,4	19	31	47
d	мм	7,72	7,37	6,73	5,74	1,3	7,65	7,27	6,67	5,41	3,0
α	° ′	0°22′	0°36′	1°0′	1°38′	4°30′	0°25′	0°38′	1°1′	1°51′	3°22′

Рис. 41. Переделка электроклапаиа типа ЕСПА-02-РГ — 0,25 мм:
а — втулка соединительиая; б — конус; в — таблица размеров конуса в зависимости от типа и мощности котла; г — верхнее седло; д — нижиее седло (размеры D и М определить по заводским седлам, которые выкручиваются).

щий конус (рис. 41б), размеры которого выбираются согласно табл. 10 (рис. 41в); для сочленения конуса с выходным штоком изготавливается соединительная втулка (рис. 41а).

Котлы ДКВР и ДЕ для регулирования уровня воды в барабане котла комплектуются регулирующим клапаном типа ОРП-50, который изготавливается на заводе «Теплоприбор» г. Улан-Удэ, на условное давление от 4 до 40 кгс/см², с условным проходом Ду-50 мм и пропускной способностью при перепаде 1,5 кгс/см² в 2,5, 6, 8, 10,

12, 15, 19, 24 и 30 т/ч воды. Рабочий ход 12 мм, полный — 24.

Клапаны ОРП-50 имеют существенные недостатки:

а) пропускная способность в закрытом положении достигает 6% от максимальной, а если учесть, что в типовых проектах не предусматривается регулятор рециркуляции питательной воды (т. е. регулятор постоянного давления питательной воды), то пропуск в закрытом положении значительный, что приводит к уменьшению зоны регулирования, к еще большему увеличению нижнего предела регулирования, а в некоторых случаях и потере регулируемости;

б) плунжер в виде полого цилиндра с вертикальными окнами (рис. 37в) соединен с выходным валом системой рычагов, сочлененных посредством цилиндрических пальцев, т. е. имеется значительный люфт;

в) выходной вал на обоих концах имеет отфрезерованные шлицы, механическая прочность которых незначительна и часто в процессе эксплуатации происходит их срезка.

Вместо ОРП-50 желательно применять клапаны поворотного типа Т-33÷36б, выпускаемые таганрогским котельным заводом «Красный котельщик», которые в закрытом положении пропускают меньшее количество воды.

Однако эти клапаны необходимо соединять с ИМ системой рычагов, где также имеются люфты. В итоге люфты в РО, ИМ и сочленения приводят к тому, что в момент реверса хода ИМ сначала выбираются люфты во всех узлах, а за это время параметр продолжает уходить от задания, и только потом РО воздействует на расход регулируемой среды, т. е. происходит запаздывание между возмущением регулируемого параметра и воздействием на него. Это приводит к автоколебательным процессам, потере устойчивости и точности регулирования.

Вышеперечисленные недостатки можно устранить лишь частично. Для этого необходимо использовать электроклапан типа ЕСПА-02-РГ производства БНР: пропуск в закрытом положении — 0,3%; люфт незначительный, отсутствуют рычажные соединения, малые габариты и мощность электродвигателя, четыре ступени скорости перемещения. Проходные сечения ЕСПА перекрывают необходимые сечения для РО котлов ДКВР и ДЕ.

10.2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РО

Если РО установлен уже на объекте регулирования, то его расходная характеристика определяется опытным путем. Для этого РО устанавливают в положение «закрыто» и измеряют его «пропуск». Затем перемещают РО через каждые 10—15% хода или угла поворота и фиксируют расход, протекающий через РО, или косвенно измеряют расход через другой параметр (давление, разрежение, уровень и т. д.).

Если характеристика значительно отличается, например, от линейной, то ее исправляют профилированием РО или определенным видом его сочленения с ИМ.

Рассмотрим на конкретном объекте (рис. 54) практическое определение расходной характеристики направляющего аппарата дымососа, который должен поддерживать в топке котла разрежение — 30 Па (—3 мм вод. ст.) постоянным, независимо от нагрузки котла.

10.3. ПОДГОТОВКА ДЛЯ СНЯТИЯ РАСХОДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ

1. Проверить подключение импульсной линии по замеру разрежения в топке котла к показывающему щитовому прибору (мембранному тягонапоромеру типа ТНМП ±12,5 мм вод. ст.), к сигнализатору аварийного состояния разрежения (типа ДНТ-10÷+100 мм вод. ст.) и датчика регулятора разрежения (типа ДТ2-50 мм вод. ст.). Они должны все быть подключенными, т. к. импульсная линия и отбор разрежения для них общие. В противном случае незадействованные ответвления импульсной линии должны быть заглушены.

2. Подключить жидкостные манометры ТНЖ по месту на газоходах: а) до и после экономайзера для котлов ДКВР; б) на выходе из топки на фронте котла до и после экономайзера для котлов ДЕ.

3. Проверить «нули» приборов ТНМП, НМП и ТНЖ и при необходимости отрегулировать.

4. Рассоединить тягу между направляющим аппаратом (РО) дымососа и ИМ, т. к. перемещать РО необходимо вручную, используя отверстия на колесе РО и ручной фиксатор.

5. Проверить подключение импульсной линии к отбору давления воздуха после вентилятора и к приборам: пока-

зывающего на щите котла (например, типа НМП со шкалой 0÷160 мм вод. ст. для котлов ДКВР и 0÷400 мм вод. ст. для котлов ДЕ); сигнализатора автоматики безопасности (типа ДН-100 мм вод. ст.); датчика регулятора воздуха (типа ДТ2-200 или 300 мм вод. ст.).

6. Подключить жидкостные манометры ТНЖ для замера давления воздуха перед горелками.

7. Установить «нули» приборов НМП и ТНЖ.

8. Проверить работу РО вентилятора — РО должен открываться не менее чем на 70% своего хода с помощью ИМ, управляемого дистанционно (на расстоянии) ручным управлением со щита котла.

9. Все эти подготовительные работы можно производить, если выполнена ревизия механической части направляющего аппарата:

а) выбраны люфты колеса за счет направляющих роликов;

б) отрегулированы лопатки направляющего аппарата так, чтобы при их закрытом положении был бы минимальный «пропуск»;

в) детали аппарата должны двигаться без заеданий и больших усилий. Перечисленные работы должны выполняться механиками, но качество ревизии контролирует служба КИПиА, так как работа регулятора в большей степени зависит от регулирующего органа.

10.4. СНЯТИЕ РАСХОДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ РО

А. Направляющий аппарат дымососа

1. Полностью закрыть направляющие аппараты дымососа и вентилятора (первое отверстие ручного фиксатора на колесе).

2. Включить электродвигатель дымососа, а затем вентилятора.

3. Записать в таблицу величины следующих параметров:

а) разрежение в топке — по щитовому прибору;

б) разрежение до и после экономайзера в газоходах — по местным приборам ТНЖ;

в) давление воздуха за вентилятором — по щитовому прибору и на двух горелках — по местным приборам у котлов ДКВР (при полностью открытых ручных заслонках на каждой горелке) или на одной горелке у котлов ДЕ;

4. Установить направляющий аппарат дымососа на второе отверстие и застопорить ручным фиксатором.

5. Дистанционным управлением со щита котла увеличивать подачу воздуха, открывая направляющий аппарат вентилятора до тех пор, пока разрежение в топке не будет равно —30 Па (—3 мм вод. ст.), что определяют по прибору разрежения в топке на щите котла.

6. Записать в таблицу значения тех же параметров, что и в п. 3.

7. Устанавливая направляющий аппарат дымососа после снятия показаний с нужных приборов на 3-е, 4-е... отверстия ручного фиксатора, и каждый раз нагружая дымосос — увеличением подачи воздуха направляющим аппаратом вентилятора до величины разрежения — 30 Па (—3 мм вод. ст.) в топке котла (т. е. удерживая в топке разрежение постоянным, как и при работе котла) — снимают расходную характеристику направляющего аппарата дымососа на неработающем котле. При этом часто не хватает количества воздуха, подаваемого вентилятором в топку для того, чтобы нагрузить дымосос и выдержать разрежение в топке, равное — 30 Па (—3 мм вод. ст.). Тогда, при максимальном давлении воздуха по щитовому прибору (т. е. направляющий аппарат полностью открыт), смотровые люки, ведущие в топку, постепенно открывают, тем самым увеличивают величину засасываемого воздуха через эти люки до нужного количества, которое определяется постоянной величиной разрежения в топке (—3 мм вод. ст.), выдерживаемой при экспериментальном снятии характеристики РО дымососа.

8. Согласно полученным данным построить графики изменения измеренных параметров в зависимости от степени открытия направляющего аппарата дымососа. Пример построения характеристики РО дымососа приведен на рис. 42.

Анализируя полученную характеристику, можно сделать следующие выводы:

1) количество отсасываемого воздуха, в зависимости от степени открытия РО, увеличивается неравномерно;

2) имеются нерегулируемые зоны в начале и в конце характеристики;

3) регулируемая зона составляет примерно 60—70% общего хода;

4) разность величин разрежения до и после экономайзера, т. е. перепад разрежения ($\Delta P_{эк}$) на экономайзере говорит о величине его динамического сопротивления, т. е. его чистоте; увеличение $\Delta P_{эк}$ свидетельствует о загрязнении поверхности экономайзера, что может привести к

уменьшению снимаемого количества пара с котла, так как нельзя будет сжечь нужное количество топлива из-за невозможности полного удаления продуктов горения;

5) наличие разрежения при закрытом положении свидетельствует о негерметичности РО, а величина разрежения при этом определяет нижний предел регулирования.

Б. Направляющий аппарат (РО) вентилятора.

1. Закрыть РО дымососа и вентилятора.
2. Включить дымосос, затем вентилятор.
3. При наличии ручных заслонок на горелках необходимо провести следующие подготовительные работы:

а) открыть РО вентилятора на 50—70% его хода;

б) со щита котла РО дымососа создать разрежение в

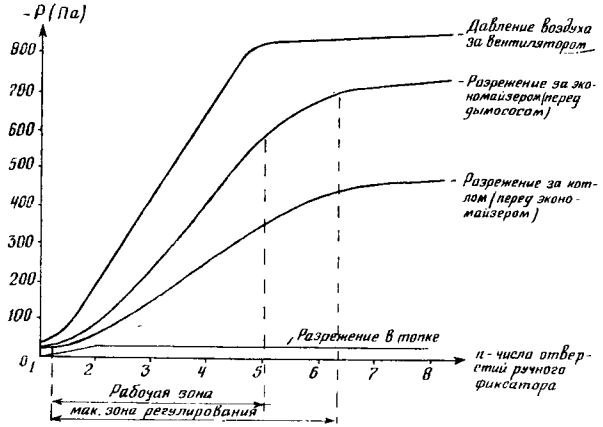


Рис. 42. Экспериментальная характеристика направляющего аппарата дымососа.

топке котла —30 Па (—3 мм вод. ст.) (по щитовому тягонапоромеру);

в) выбрать взаимное положение заслонок на каждой горелке, используя жидкостные манометры по месту и ручные фиксаторы так, чтобы величина давления воздуха после них непосредственно на воздуховодах горелок была бы одинаковой;

г) если имеется режимная карта работы котла, в которой указаны положения ручных заслонок на воздуховодах к каждой горелке, то необходимо их только выдержать перед снятием расходной характеристики;

д) закрыть направляющие аппараты дымососа и вентилятора.

4. Записать в таблицу величины следующих параметров:

а) давление воздуха за вентилятором — по щитовому прибору;

б) давление воздуха на горелках — по местным жидкостным манометрам;

в) разрежение в топке — по щитовому прибору.

5. Установить РО вентилятора на второе отверстие ручного фиксатора и застопорить.

6. Управляя РО дымососа со щита котла установить разрежение в топке, равное —30 Па (—3 мм вод. ст.) по щитовому прибору.

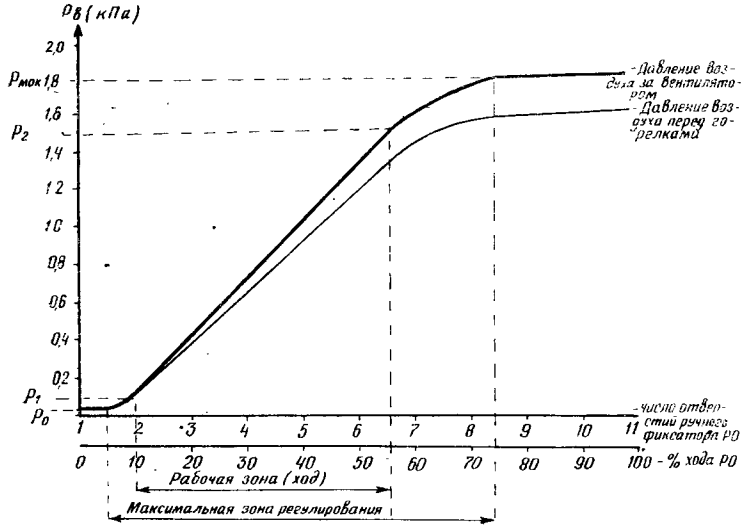


Рис. 43. Характеристика РО вентилятора — направляющего аппарата.

7. Записать величины параметров согласно п. 4 в таблицу.

8. Устанавливая направляющий аппарат вентилятора поочередно на 3-е, 4-е... отверстия ручного фиксатора и удерживая РО дымососа постоянное разрежение в топке —30 Па (—3 мм. вод. ст.), записать показания приборов в таблицу.

9. Исходя из полученных данных строим расходную характеристику, по которой определяем необходимые данные для настройки системы автоматического регулирования (рис. 43).

В. Регулирующий орган на питательной линии котла. При наличии расходомера на питательной линии котла снимается расходомерная характеристика РО по расходу; если расходомера нет, то характеристика РО снимается по давлению на РО. В обоих случаях давление перед РО выдерживается постоянным, на 0,2÷0,3 МПа (2÷3) кгс/см² больше, чем рабочее давление в котле, что обеспечивает максимальный расход воды через РО при его полном открытии, и устойчивость регулирования количеством воды, проходящей через него.

При наличии расходомера расходная характеристика РО снимается в мм, % линейного кода или в градусах угла поворота, данные заносятся в таблицу, по которой строится характеристика.

При отсутствии расходомера можно только определить начало и конец зоны регулирования. Для этого на работающем котле полностью открыть РО и отрегулировать на питательном насосе такое давление, чтобы его перепад на РО ($\Delta P_{ро}$) был бы равен 0,2 МПа (2 кгс/см²) (разность показаний манометров до и после РО). Затем медленно закрывать РО до тех пор, пока не начнет расти давление до РО — это будет верхний, максимальный предел регулирования. Отметить данную точку по месту РО. Продолжая закрывать РО, определяем по манометру до РО такое положение РО, при котором прекратится рост давления. Это будет положение, где прекращается воздействие РО на изменение расхода воды через него. Отметить по месту данную точку предельного закрытого положения РО. Найденные два крайних положения РО определяют зону регулирования, хотя еще в обе стороны может быть ход РО до упоров.

Рассмотренные методы снятия расходных характеристик позволяют определить их на смонтированной и действующей установке экспериментальным путем. В пунктах А и Б приводятся примеры определения расходных характеристик заслоночного типа по воздуху, дымовых газов, природного газа и др. В пункте В показана методика определения расходной характеристики РО для регулирования расходом жидкости, пара, газа.

Выбор рабочей зоны расходной характеристики РО. Как отмечалось ранее, расходная характеристика влияет на устойчивость работы САР и качество регулирования. Поэтому необходим анализ имеющейся расходной характеристики РО. На ней нужно определить нерегулируемые зоны, максимальную и рабочую зоны регулирования.

Нерегулируемые зоны РО искусственно создают запаздывание воздействия РО на регулируемый параметр. Так, при отклонении параметра от заданного его значения X_0 регулятор должен изменить расход вещества поступающего в объект регулирования с помощью РО, чтобы вернуть параметр на заданный уровень. Однако необходимо некоторое время, в течение которого регулирующий орган пройдет нерегулируемую зону, но за это время регулируемая величина параметра будет продолжать отклоняться в ту же сторону. Хотя РО затем и будет перемещаться по регулируемому участку характеристики, но для восстановления заданной величины X_0 надо большее (меньшее) изменение расхода вещества через РО, чем нужно, а это приведет к автоколебательному процессу или к искусственному увеличению зоны нечувствительности регулятора. Вывод: РО не должен заходить в нерегулируемые зоны расходной характеристики.

Максимальная зона регулирования определяет возможность воздействия РО на расход среды, протекающей через него. Наименьший «пропуск» в закрытом положении определяет нижний предел регулирования САР, а максимальный расход вещества показывает возможность РО в открытом положении обеспечить работу объекта регулирования.

Рабочая зона регулирования указывает пределы хода РО, которые определяются режимом работы объекта регулирования. Она может быть меньше, равна или больше максимальной зоны регулирования данного РО. Если рабочая зона незначительно меньше максимальной или равна ей, то это удовлетворяет требования к РО. Если же значительно меньше — то необходимо переделать плунжер РО или полностью заменить РО. Увеличение длины рычагов нежелательно, так как в результате на работу РО будут влиять люфты. Если рабочая зона получается больше максимальной, то нужно заменить регулирующий орган. После переделки РО или его замены снова снимается экспериментальная расходная характеристика нового РО.

Пример определения рабочей зоны регулирования РО рассмотрим на снятой характеристике направляющего аппарата вентилятора котла (рис. 43). Максимальная зона регулирования определяется величиной давления воздуха P_0 в положении РО, когда начинается подъем характеристики (между первым и вторым отверстиями ручного фиксатора или с 5% хода РО) и величиной $P_{мак}$ при положении РО, когда заканчивается изменение давления воз-

духа (8,5 отверстий ручного фиксатора или 75% хода РО). Величина найденной максимальной зоны регулирования наиболее характерна для всех РО и лежит обычно в пределах 50—70% его полного хода.

Для определения рабочего хода РО необходимо использовать режимную карту котла и график соотношения «топливо-воздух». Нижний предел рабочей зоны P_1 определяется величиной уставки защиты по минимальному давлению воздуха в автоматике безопасности котла. Чаще всего уставка лежит ниже 100 Па (10 мм вод. ст.), поэтому $P_1 \approx 100$ Па (10 мм вод. ст.). Верхний предел рабочей зоны P_2 определяется по графику соотношения «топливо-воздух» — для максимальной величины топлива необходимо определенное количество (давление) воздуха, которое и будет равно P_2. Например, $P_2 = 1500$ Па (150 мм вод. ст.). Тогда P_1 и P_2 по характеристике РО вентилятора определяют пределы рабочей зоны регулирования — от 2-го до 7-го отверстия ручного фиксатора или от 10 до 65% полного хода направляющего аппарата.

Если РО будет перемещаться только в пределах рабочей зоны, то тем самым будет обеспечена максимальная скорость изменения расхода через РО при отклонении регулируемого параметра X от его заданного значения X_0.

Если у дымососов и вентиляторов рабочая зона лежит в пределах 1—2-х отверстий ручного фиксатора (20—30% хода РО), т. е. значительно меньше максимальной зоны регулирования, то можно не менять направляющий аппарат, что очень сложно, а уменьшить количество его поворачивающихся лопаток. Это достигается тем, что лопатка отсоединяется от приводного колеса и фиксируется неподвижно, удобным способом, при закрытом положении направляющего аппарата. Количество отключаемых лопаток можно определить двумя способами.

1) Отключить одну лопатку направляющего аппарата в его закрытом положении. После этого снять новую характеристику РО. Затем вторую лопатку, третью и т. д., каждый раз снимая характеристику. Из полученного семейства характеристик выбирается та, максимальная зона регулирования которой равна или незначительно больше рабочей зоны.

2) Открыть полностью РО, например, вентилятора. Отсоединить одну лопатку от приводного колеса, повернуть ее в закрытое положение и застопорить. Удержать с помощью дымососа разрежение в топке — 30 Па (—30 мм вод. ст.). Определить по показывающему щитовому прибору давление воздуха. Если оно превышает максимально необходимое давление по графику соотношения «топливо-воздух», то необходимо отключать вторую, третью и т. д. лопатки до тех пор, пока не получится нужная величина давления воздуха. После этого снимается характеристика полученного РО и определяется максимальная и рабочая зоны регулирования.

Отключаемые лопатки должны располагаться напротив друг друга, чтобы не нарушать балансировку поворотного колеса направляющего аппарата.

Глава 11. СОЧЛЕНЕНИЕ РЕГУЛИРУЮЩЕГО ОРГАНА С ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМ МЕХАНИЗМОМ

В современных САР значительная часть исполнительных устройств (ИУ) собирается из отдельных блоков. От правильности расчета сочленения, тщательности изготовления его деталей и узлов во многом зависит качественная работа исполнительного устройства и, как следствие, всей системы автоматического регулирования.

В ИУ сочленение ИМ с РО должно отвечать следующим требованиям: быть свободным от люфтов; все элементы соединения, передающие перестановочные усилия от выходного элемента ИМ к РО, должны быть достаточно жесткими, чтобы их деформация не вносила погрешности в ходовую характеристику РО; сочленение должно быть удобным для сборки, обслуживания и настройки.

Соединение выходного элемента ИМ с входным элементом РО может быть непосредственным без промежуточных передач (ИМ типа ПР-1М, ЕСПА, АО, СВМ, СВФ и т. д.), при помощи жесткой рычажной передачи (ИМ типа МЭО, МЭОК, ГИМ и т. д.) или гибкой передачи — в виде троса или цепи, содержащих грузовое или пружинное натяжное устройство.

Предпочтительным видом исполнительных устройств являются сочлененные устройства с креплением выходного элемента ИМ непосредственно к РО. Такая конструкция исключает люфты в соединениях и обеспечивает минимальные габариты.

Способы сочленения РО и ИМ определяются в каждом конкретном случае типом и конструкцией РО и ИМ, их взаимным расположением, характером перемещения РО и другими местными условиями.

Наиболее приемлема для систем автоматического регулирования линейная характеристика РО. Однако на практике чаще имеется нелинейная характеристика РО. Расходную характеристику можно спрямить (линеаризировать) профилированием проходного отверстия или плунжера РО, однако в производственных условиях это связано с большими трудностями. Гораздо более простым решением является рациональное выполнение сочленения ИМ с РО, что позволяет использовать для САР регулирующие органы с неблагоприятной (нелинейной) характеристикой.

Линеаризацию характеристики РО можно выполнить, применяя принцип кривошипно-шатунного механизма, который имеет переменный коэффициент передачи, зависящий от угла поворота выходного элемента.

Для примера спрямления расходной характеристики РО и применения принципа кривошипно-шатунного механизма возьмем расходную характеристику направляющего аппарата вентилятора котла (рис. 43), имеющую крутой подъем, прямолинейный участок и пологую часть в регулируемой зоне характеристики. Сочленение производится с помощью рычага r у ИМа, рычага R у РО и соединительной штанги L. Взаимное положение рычагов в исходном состоянии (РО находится в начале рабочей зоны регулирования — 2-е отверстие ручного фиксатора смещено на 10% от упора «закрыто») зависит от расположения рычагов РО и ИМ относительно прямой, на которой лежат их оси.

Если рычаги находятся по одну сторону от прямой (рис. 44а), то угол между r — рычагом ИМ и соединительной штангой L—$Z \approx 170 \div 180°$, а угол между R — рычагом РО и соединительной штангой L должен быть примерно равен $\Psi \approx 60—90°$. Если r и R находятся по разные стороны прямой (рис. 44б), соединяющей оси РО и ИМ, то $Z \approx 5 \div 10°$, а $\Psi \approx 90 \div 100°$.

У ИМ угол поворота выходной оси $\beta = 90°$ (у большинства приводов), а угол α, угол поворота R у РО, определяется по расходной характеристике в градусах, %, числе отверстий ручного фиксатора. В нашем случае угол α соответствует (рис. 43) 4, 5° и отверстиями фиксатора или 45% всего хода направляющего аппарата вентилятора, начиная с 10% положения РО в исходном положении.

Перемещая рычаг ИМ (рис. 44) на равный угол, например, на 10°, и делая отметки положения рычага РО, можно заметить, что при начальном ходе ИМ будет мень-

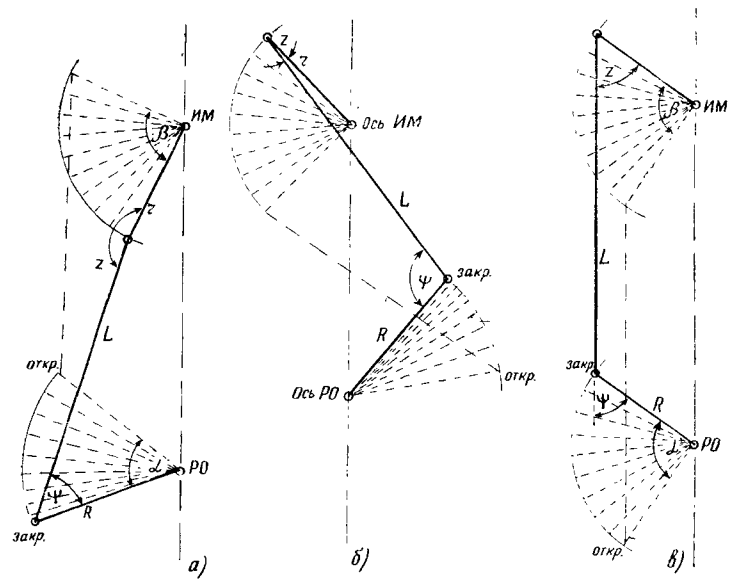


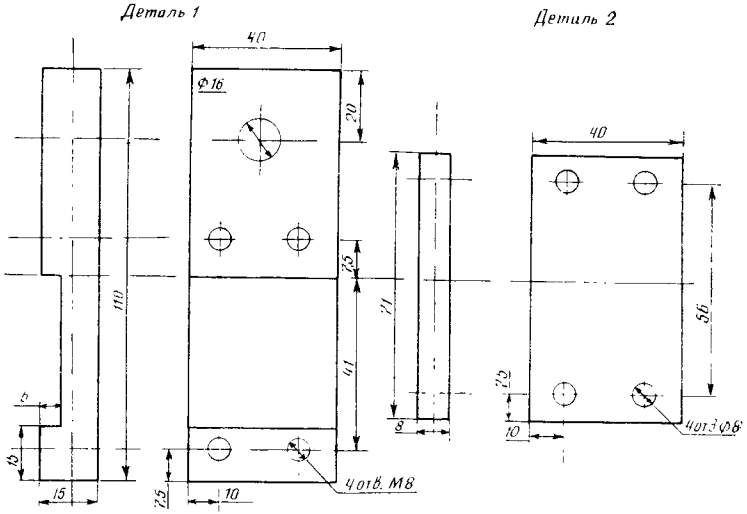
Рис. 44. Схема механизма сочленения при вращательном движении выходных устройств регулирующего органа и исполнительного механизма.

шее перемещение РО, а при конечном — большее, т. е. этим выравнивается величина добавки в начале и в конце рабочего хода РО и достигается поставленная задача — исключение причины искажения закона регулирования при нелинейной характеристике регулирующего органа.

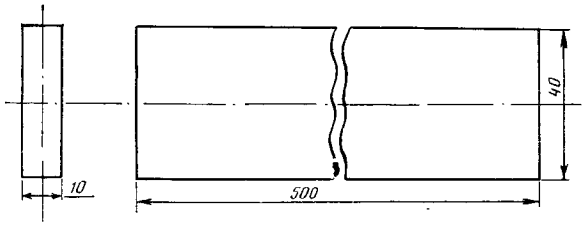
Другим примером исправления статической характеристики РО может служить кулачковый диск, укрепленный на ИМ (который рассчитан по требуемой и фактической расходным характеристикам) и обеспечивающий линеаризацию характеристики РО.

При линейной зависимости угол $Z = \Psi$, а углы β и α выбираются так же, как и в предыдущем случае.

Длину соединительной штанги можно определить тремя способами: расчетным, графическим, опытным. Для первых двух способов необходимо в масштабе построить взаимное положение осей РО и ИМ, их рычагов, углы поворота. Расчет сочленения сводится к определению по формулам длины рычага регулирующего органа R и длины соединительной тяги L. При графическом способе R и r определяются путем построения.



а) Хомут - сталь - 3



б) Рычаг - сталь - 3

Рис. 45. Детали сочленения.

Способ опытного определения длины R и L рассмотрим на примере с направляющим аппаратом вентилятора. Для этого применим схему сочленения на рис. 44а, развернув ее в горизонтальное положение. Установить поворотное колесо в среднее положение, согласно ручному фиксатору, и вертикально приварить к нему снизу рычаг (рис. 45а). Повернуть направляющий аппарат до положения начала рабочей зоны перемещения (2-е отверстие ручного фиксатора — рис. 43), установить рычаг ИМа так, чтобы угол Z зрительно был бы близок к 180°. Затем взять деревянную планку, отрезок трубы и т. д. для определения длины штанги L. Начало планки совместить с отверстием рычага

ИМ (r) и приложить ее к середине рычага R. В месте соприкосновения планки и рычага R сделать отметки на них.

Повернуть рычаг ИМа на его рабочий угол (90°), совместить начало планки с отверстием на рычаге r, а затем поворачивать рычаг R в сторону открытия РО до тех пор, пока отметки на планке и рычаге R не совпадут. Теперь необходимо по ручному фиксатору РО вентилятора определить степень его поворота — он должен повернуться, согласно рабочей зоне регулирования (рис. 43), на 6,5 отверстия, или 55% хода. Если получилось больше отверстий, то длину рычага R следует увеличить (тогда угол поворота уменьшится), т. е. точку соединения штанги (планки) и рычага необходимо перенести в сторону увеличения рычага. Это нужно сделать при исходном положении рычагов, а затем вышеописанную операцию повторять до тех пор, пока не определится нужная длина штанги. Она изготавливается из труб 3/4″ и комплекта шаровых шарнирных соединений типа ШР по ТУ.36.1140-70. Состоит комплект из 2-х отрезков труб 3/4″, имеющих приваренные гайки на конце с левой и правой резьбой, куда вкручивается шпилька, приваренная к обойме шаровых безлюфтовых подшипников, с углом отклонения ее от оси до ±15°, т. е. за счет этих свойств подшипников несоосность осей ИМ и РО может достигать 30°. На шпильках имеются фиксирующие контргайки.

Длина соединительной штанги, найденная расчетным, графическим или опытным путем, равна расстоянию между центрами шаровых подшипников. Для определения длины вставки из трубы между шарнирными соединениями нужно выкрутить шпильки на половину из отрезка трубы с гайкой: замерить расстояние между центром шарового подшипника и срезом трубки и из общей длины вычесть два полученных размера.

Для сочленения с рычагами через центр шаровых подшипников пропущены пальцы с резьбой, вставляемые в отверстия на рычагах. Так как длина рычага R переменная (может меняться в процессе эксплуатации), то для удобства на нем устанавливается специально изготовленный хомут (рис. 45б), который фиксируется в нужном положении.

Если необходима длина рычага R более 500 мм, то нужно уменьшить длину рычага r (ИМа), т. к. иначе резко уменьшится жесткость сочленения.

Левая и правая резьба на шпильках позволяет, не разбирая сочленение, изменять длину соединительной штанги, вращая ее в нужном направлении.

После установки штанги на место нужно снова подрегулировать ее длину, перемещая ИМ в пределах рабочего хода, а РО в рабочей зоне и затем контргайками на шпильках шаровых подшипников зафиксировать нужную длину штанги L.

Раздел 3. НАСТРОЙКА СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Целью настройки регуляторов является качественное удержание регулируемого параметра и обеспечение оптимального переходного процесса, когда наибольшее отклонение регулируемой величины и длительность переходного процесса минимальны, а затухание колебаний достаточно интенсивно. Для обеспечения нужного протекания процесса необходимо правильно производить статическую и динамическую настройку регуляторов, предварительно проведя определенный комплекс подготовительных работ.

Глава 12. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ

1. Изучение технологии объекта, функциоиальных и электрических схем САР.

Прежде чем приступить к настройке САР, необходимо изучить технологию работы, особенности и данные объекта регулирования, требования к качеству его работы.

После этого нужно рассмотреть схемы автоматизации, которые делятся на функциональные, принципиальные, монтажные и схемы внешних соединений, выполняемые без соблюдения масштаба.

Функциональная схема отражает функционально-блочную структуру отдельных узлов автоматического контроля, сигнализации, управления и регулирования, определяет оснащение объекта управления приборами и средствами автоматизации. Функциональные схемы — один из основных способов изображения принятых принципиальных решений автоматизации котельных установок. Составление схем позволяет квалифицированно передать смысловое решение вопроса автоматизации, а умение читать — определить, какие системы и устройства автоматизированы,

оценить правильность принятых решений и в случае необходимости внести соответствующие изменения и дополнения.

Функциональная схема представляет собой чертеж, на котором схематически условными обозначениями изображены: технологическое оборудование, трубопроводы, органы управления и средства автоматизации (приборы, регуляторы) с указанием связей между технологическим оборудованием и элементами автоматики, а также связей между отдельными частями автоматики. Вспомогательные

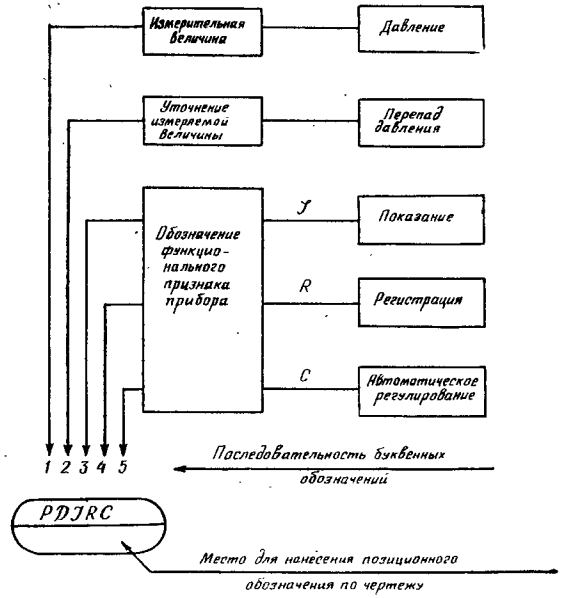


Рис. 46. Пример построения условного обозначения прибора для измерения, регистрации и автоматического регулирования перепада давления.

устройства, такие, как источники питания, реле, автоматы, предохранители, редукторы, фильтры и монтажные элементы, на функциональных схемах не указываются (рис. 46).

В схемах автоматизации приборы обычно изображались в соответствии с ГОСТом 3925-59. Однако срок действия этого ГОСТа закончился в 1979 г. и в настоящее время действует ГОСТ 21.404-85 «Обозначения условные в схемах автоматизации технологических процессов». Так как при монтаже и эксплуатации САР приходится пользоваться

чертежами, выполненными по ГОСТу, то рассмотрим наиболее часто встречающиеся условные обозначения.

По ГОСТу 3925-59 приняты следующие обозначения основных контролируемых и регулируемых величин: $t°$ — температура, P — давление, G — весовой расход среды, Q — объемный расход среды, H — уровень, m — влажность, n — частота вращения, v — линейная скорость, S — положение (перемещение) РО, Δ — разность двух величин (перепад).

Функциональные признаки приборов на схемах обозначены: П — показывающий, С — самопишущий, Сг — сигнализирующий, И — интегрирующий, См — суммирующий, Пз — позиционный, Из — изодромный, Сл — следящий, Пг — программный.

В качестве базовых изображений приборов приняты: круг с горизонтальной чертой — измерительный прибор; квадрат с горизонтальной чертой — регулирующий (сигнализирующий) прибор; круг, вписанный в квадрат,— измерительный и регулирующий прибор в одном корпусе.

Над горизонтальной чертой внутри изображения прибора (круга, квадрата) вписывается буквенное обозначение измеряемой или регулируемой величины, а под чертой — буквенное обозначение основных функций, выполняемых прибором. Например, если внутри круга над чертой написано Н, а под чертой — П, то нужно читать так: прибор для измерения уровня, показывающий.

ГОСТ 21.044-85, выпущенный взамен ГОСТ 3925-59, учитывает рекомендации по стандартизации СЭВ и международный проект стандартов.

Примечание к табл. 13.

1. Отборное устройство для всех постоянно подключенных приборов не имеет специального обозначения, а представляет собой тонкую сплошную линию, соединяющую датчик или прибор с трубопроводом или аппаратом.

2. При необходимости точно указать место отборного устройства на конце линии изображается окружность диаметром 2 мм.

3. Допускается изображать запорную и регулирующую арматуру (задвижки, шибера, заслонки, направляющие аппараты и т. д.) по соответствующим стандартам.

Буквенные условные обозначения, разделенные на две группы — измеряемая величина и функции выполняемые прибором, подразделяются еще и на подгруппы, хотя имеют одинаковые буквенные знаки. Смысловое значение

Таблица 12

Основные условные обозначения элементов схем автоматизации по ГОСТ 3925-59

Наименование	Условное обозначение
Измерительные и регулирующие приборы	
Прибор измерительный	
Прибор регулирующий (сигнализирующий)	
Прибор измерительный и регулирующий в одном корпусе	
Виды дистанционных передач	
Пневматическая передача	
Электрическая передача	
Гидравлическая передача	
Механическая передача	
Приемные устройства	
Термометр расширения стеклянный	
Термометр расширения стеклянный электроконтактный	
Термобаллон манометрического термометра	
Термометр сопротивления	
Термопара	
Термометр дилатометрический или биметаллический	
Отборное устройство давления, уровня, состава газа или жидкости	
Счетчик жидкости, газа	
Сужающее устройство измерения расхода по перепаду давления (острие - против потока)	
Приемное устройство измерителя потока	
Приемное устройство поплавковое	
Исполнительные механизмы и регулирующие органы	
Исполнительный механизм поршневой	
Исполнительный механизм мембранный	
Привод ручной	
Исполнительный механизм электромагнитный	
Электродвигатель переменного тока	
Электродвигатель постоянного тока	
Клапан регулирующий проходной	
Клапан регулирующий трехходовой	

Таблица 13

Основные условные обозначения элементов схем автоматизации по ГОСТ 21.044-85

Наименование	Условное обозначение
Первичный измерительный преобразователь (датчик, прибор устанавливаемый по месту: на технологическом трубопроводе, аппарате, стене, полу, колонне)	
Прибор, устанавливаемый на щите, пульте	
Отборное устройство без постоянно подключенного прибора (для наладки, контроля)	
Исполнительный механизм. Общее обозначение. Положение регулирующего органа при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала не регламентируется	
Исполнительный механизм, открывающий регулирующий орган при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала	
Исполнительный механизм, который при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала оставляет регулирующий орган в неизменном положении	
Исполнительный механизм с дополнительным ручным приводом	
Регулирующий орган	

условных буквенных обозначений зависит от места положения буквы в шифре прибора (рис. 46).

Измеряемая величина.

1. Основное значение (первая буква в шифре буквенного условного обозначения): Д — плотность; Е — любая электрическая величина; *F* — расход; *G* — размер, положение, перемещение; *H* — ручное воздействие; К — время, временная программа; *L* — уровень; М — влажность; *P* — давление, вакуум; *Q* — величина, характеризующая качество, состав, концентрацию и т. д.; *R* — радиоактивность; *S* — скорость, частота; *T* — температура; И — несколько разнородных измеряемых величин; *V* — вязкость; *W* — масса.

2. Дополнительное значение, уточняющее значение первой буквы (вторая буква в шифре): *D* — разность, перепад; *F* — соотношение, доля, дробь; *Q* — интегрирование, суммирование во времени; У — автоматическое переключение.

Функции, выполняемые прибором.

1. Отображение информации: А — сигнализация; *R* — регистрация.

2. Формирование выходного сигнала: С — регулирование, управление; *S* — включение, отключение, переключение.

3. Дополнительное значение: *H* — верхний предел измеряемой величины; *L* — нижний предел измеряемой величины.

Для обозначения величин, не предусмотренных настоящим ОСТом, могут быть использованы буквы *B*, *N*, *O*, *У*, *Z*, *X*. При этом указанные буквенные обозначения должны быть расшифрованы на схеме.

Дополнительные буквенные обозначения, отражающие функциональные признаки приборов: Е — первичный преобразователь (чувствительный элемент); Т — промежуточное преобразование (дистанционная передача); К — станция управления; У — преобразование, вычислительные функции.

Порядок построения условных обозначений с применением дополнительных букв следующий: первой ставится буква, обозначающая измеряемую величину, второй — одна из дополнительных букв: Е, Т, К или У.

Для расшифрования вида преобразования или операции, выполняемой преобразователем, наносятся справа от графического обозначения прибора вспомогательные надписи: а) род энергии сигнала: *E* — электрический, *P* — пневматический, *G* — гидравлический; б) виды форм сигнала: А — аналоговый; Д — дискретный; в) операции вычислительные: Σ — суммирование, n — возведение в степень, *lg* — логарифмирование и т. д.; г) связь с вычислительным комплексом; B_i — передача сигнала на ЭВМ, B_0 — вывод информации с ЭВМ.

Согласно ГОСТ 21.404—85 схемы могут быть технологические (упрощенные), функциональные, принципиальные, монтажные и схемы внешних соединений (развернутые). Пример схем технологической и функциональной приведен на рис. 47, где рассмотрен регулятор уровня в емкости. Расшифровка: *LRC* — прибор для измерения уровня, регистрирующий, регулирующий, установлен на щите; *LE* — первичный преобразователь уровня поплавковый; комплект *LRK* — измерение уровня, регистрация, со станцией управления и *LC* — регулятор уровня.

На **принципиальной схеме** определен полный состав элементов, модулей, вспомогательной аппаратуры и связей между ними. Она служит основанием для производства наладочных работ, для разработки схем внешних соеди-

Таблицы 14

Примеры построения условных обозначений

Нанменование	Условное обозначение
Первичный измернтельный преобразователь (чувствнтельиый элемент) для измерения температуры, установленный по месту. Например, термометр сопротнвления, термопара, датчик пирометра н т. д.	TE
Прнбор для измерения температуры показывающий, установленный по месту. Например, термометр ртутный, манометрическнй н т. д.	TI
Прибор для измерення температуры показывающий, установлениый на щите. Например, милнвольтметр, логометр, потенциометр, мост автоматический	TI
Прнбор для измерения температуры бесшкальный с дистанционной передачей показаний, установленный по месту. Напрнмер, термометр манометрический (илн другого типа), бесшкальный с пневмо- нли электропередачей	TT
Прибор для измерения температуры с автоматическим обегающим устройством, регистрнрующий, установленный на щите. Напрнмер, многоточечный самопишущий мост и т. п.	TYR
Регулятор температуры бесшкальный, устанавливаемый по месту. Например, дилатометрический регулятор температуры	TC
Комплект для измерения температуры регистрирующий регулирующий, снабженный станцией управления, установленный на щите. Напрнмер, вторичный прибор и регулирующий блок системы «Старт»	TRK TE
Прибор для измерения температуры бесшкальный с контактным устройством, установленный по месту. Например, реле температурное	TS
Переключатель электрических цепей измерения (управленне), переключатель для газовых (воздушных) линий, установленный на щите	HS

Нанменование	Условное обозначение
Прибор для измерения давления (разрежение) показывающий, с контактным устройством, установленный по месту. Напрнмер: электроконтактный манометр	PIS
Прнбор для нзмерения расхода бесшкальный с дистанционной передачей показаний, устаиовленный по месту. Например: дифманометр (ротаметр) бесшкальный с пневмо- нли электропередачей показаннй	FT
Прибор для измерения уровня с контактным устройством, установленный по месту. Напрнмер, реле уровня	LSA
Прибор для измерення уровня показывающий, с контактным устройством, на щите. Например, вторичный показывающий прнбор с снгнальиым устройством. Буквы Н и *L* означают снгналнзацию верхнего и ннжнего уровня	LIA H L
Прнбор для управлення процессом по временной программе, установленный на щите. Например: командный электропневматический аппарат (КЭП), многоцепное реле временн (ВЭЛ)	KS
Аппаратура ручного управления на щите. Напрнмер, кнопка, ключ управления, задатчик	H

нений электрических и трубных проводок, общих видов и монтажных схем щитов и пультов автоматизации.

Монтажная схема щитов отражает соединения электрических и трубных проводок в пределах комплектных устройств (щитов, пультов и т. п.).

Схема соединений отражает внешние электрические и трубные связи между измерительными устройствами и средствами получения первичной информации, с одной стороны, щитами и пультами автоматизации, с другой.

Общая монтажиая схема электрических и трубных разводок между средствами автоматизации на местах и щитами (пультами) строится при соблюдении их действительного пространственного расположения, без соблюдения масштаба.

2. Согласно монтажным схемам по плану расположения оборудования определяется правильность расстановки регулирующих органов, датчиков, исполнительных устройств.

3. По схеме внешних соединений и монтажным схемам необходимо проверить правильность выбора мест установки отборных устройств, расходомерных узлов. Согласно техническим условиям проверяется правильность монтажа отборных устройств, расходомерных узлов, кондеисационных и уравнительных сосудов и импульсных трубопроводных линий. Качество монтажа влияет иа работу всех устройств и САР в целом.

4. Технические данные смонтированных приборов и средств автоматизации должны соответствовать проекту.

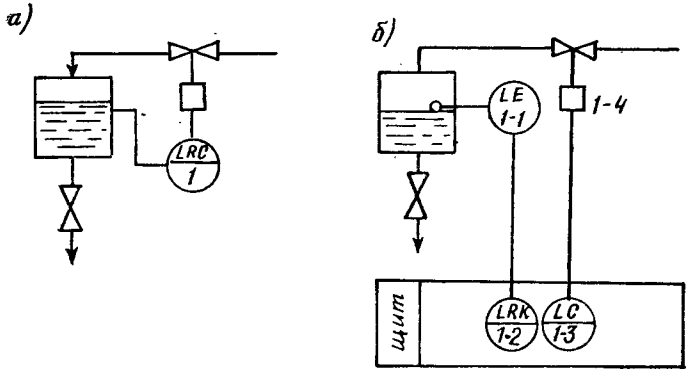


Рис. 47. Примеры построения схем регулятора уровня:
а) технологическая; б) функциональная.

Проверку нужно проводить с учетом требований САР и технологических данных объекта регулирования — рабочая величина регулируемого параметра должна приходиться на вторую треть диапазона измерения датчика, прибора.

5. Неисправность механической части регулирующих органов значительно влияет на качество работы САР. Необходимо проверить плавность хода РО (без заеданий, рывков); люфты в сочленениях (должны быть минимальны); полный ход РО (должен быть в пределах механических упоров); направление потока регулируемой среды (согласно устройству и требованиям к РО); усилие перемещения (оно должно отвечать возможности соответствующего исполиительного механизма). При выявлении любой из вышеперечисленных неисправностей необходимо потребовать их устранения механической службой котельной.

6. Для снятия экспериментальных характеристик регулирующих органов и для управления ими при ходовых

испытаниях котла необходимо проверить сочленение РО с ИМ (если оно было смонтировано) или выполнить сочленение согласно требованиям, изложенным в разделе 3, глава 6, принимая для этого предварительного сочленения за рабочую зону — полный ход РО.

7. Отрегулировать конечные выключатели исполнительных механизмов (с помощью ручного управления) омметром, «прозвонкой» или иа видимый разрыв (МЭОК с головкой БИОС), используя полный угол поворота ИМ.

8. Прежде чем приступать к проверке электрических схем смонтированных элементов САР, необходимо провести стеидовую проверку в лаборатории показывающих приборов и регулирующих блоков. Все показывающие приборы должны пройти Госповерку и иметь штампы поверок, действительные на момент их включения в работу.

Методика подготовки и проверки регулирующих блоков типа Р25 изложены в разделе 2, глава 2-я.

Проверку показывающих приборов нужно проводить согласно заводским инструкциям с помощью необходимого набора образцовых мер и приборов. После стендовой проверки регулирующие блоки и показывающие приборы устанавливаются на место работы и к ним подключаются провода или шланги.

9. Проверку правильности моитажа электрических схем измерения, управления и сигнализации приборов и устройств САР необходимо производить по принципиальным электрическим и фуикциональным схемам, приведенным в проекте. Но при этом обязательно нужно контролировать правильность построения проектных электрических схем по инструкциям на приборы и устройства, так как они со временем модериизируются или полностью заменяются другими. Иногда имеются ошибки и в проекте.

Электрические схемы следует проверять до подачи напряжения с помощью омметра, так называемой «прозвонки» (батарейки с лампочкой) или пробником типа УП-71 Московского опытного завода Минмонтажспецстроя СССР. При большой длине кабельных линий удобно работать телефонным гарнитуром.

При проверке подключения датчиков к регулирующему блоку Р25.1. необходимо отключить по одному проводу с клеммы-блока 3 или 19 (первичная обмотка датчиков дифтрансформаторной системы) и с клеммы 11 или 12, 13 или 14 (вторичные обмотки датчиков) и замерить

сопротивление первичной и вторичной обмоток датчика: к клеммам 3 и 19 должна подключаться первичная обмотка — меньшее сопротивление, а к клеммам 11 и 12 — с большим — вторичная.

При проверке электросхем нужно нулевые провода, которые подключены к одной клемме, скрутить между собой. Это дает возможность при работе всех приборов и блоков на щите котла снимать любой регулирующий блок без разрыва нулевого провода, т. е. без отключения других регулирующих блоков.

10. По окончании проверки монтажа можно подавать электропитание в схемы регулирования. На регулирующих блоках ключи вида управления ИМ установить в положение «Р» — ручное. Включить питание и проверить: фазировку ИМ, работу конечных выключателей и дистанционного указателя положения.

Фазировка ИМ — проверка соответствия направления хода ИМ команде с блока Р25. Порядок фазировки: ручным приводом установить ИМ в среднее положение; с регулирующего блока подать команду определенного направления и визуально определить, что ход ИМ соответствует команде. Это можно выполнить несколькими путями.

Если ИМ типа МЭОК или ЕСПА, то после его установки вручную в среднее положение, штурвал ручного привода нужно оставить в положении «ручное управление» — тогда электропривод будет отсоединен от выходного вала. На блоке Р25 при светящемся выходном любом сигнале ключ выбора режима управления ИМ установить в положение «А» (автоматическое) и, хотя при этом заработает его электродвигатель, выходной вал будет находиться в покое. Теперь, подойдя к ИМ и переведя штурвал ручного управления в положение «дистанционное управление», можно точно сравнить характер команды регулирующего блока с направлением хода ИМ.

Если ИМ не имеет фиксированного положения штурвала ручного привода в положении «ручное управление» (например, типа МЭО) или не имеется ручного управления (например, ГИМ), то, установив МЭО вручную примерно в среднем положении, а если ГИМ — в любом положении, дать кратковременно с блока Р25 ключом «больше» (↑) — «меньше» (↓) командный сигнал на проверяемый ИМ. Например, «больше», и по месту определить соответствует ли направление отклонения выходного вала ИМ от предварительного положения в сторону открытия регулирующего органа. Если не соответствует, то проще

поменять местами провода на выходных клеммах 7 и 9 регулирующего блока Р25.

Если между блоком Р25 и ИМ расстояние значительное, то необходимо фазировку ИМ производить вдвоем, используя телефонную связь для оперативности ее выполнения.

Для проверки работы конечных выключателей ИМ с блока Р25 подать команду «меньше», т. е. на закрытие РО, и через некоторое время, достаточное для того, чтобы ИМ пришел в крайнее положение, на месте убедиться в том, находится ли РО в закрытом положении. Для проверки работы конечного выключателя в открытом положении РО подается команда «больше».

При наличии дистанционного указателя положения ИМ типа ДУП-М, его начинают настраивать при закрытом положении РО. С помощью переменного резистора $R3$ (рис. 34) на внешней панели ДУПа устанавливаем стрелку показывающего прибора на начало шкалы — 0%. Затем дистанционным управлением с регулирующего блока подают команду на ИМ и перемещают РО в открытое положение, что определяется по стреле ДУПа до ее полной остановки и примерно по времени работы ИМ. Ориентироваться по времени необходимо, т. к. стрелка ДУПа может зашкаливать. Теперь переменным резистором $R5$ (рис. 34) устанавливают стрелку на отметку 100%, т. е. «открыто». После этого необходимо прогнать ИМ несколько раз и, если необходимо, подрегулировать показания стрелочного прибора ДУПа. Возможные неисправности.

Датчик положения — реохорд. При движении ИМ происходит срыв показаний стрелочного прибора ДУПа. Причины: грязный реохорд (протереть его бензином или спиртом) или при крайних положениях привода вследствие неправильной настройки подвижный контакт заходит за ограничения реохорда (перестроить положение тяги, соединенной с подвижным контактом).

Датчик положения — индуктивный (ИМ типа МЭО). Причиной скачкообразного перемещения стрелки ДУПа являются механические задания плунжера индуктивного датчика (отрегулировать работу плунжера). Если стрелка указателя положения правильно движется, например, в сторону открытия, но, доходя до какого-либо положения, останавливается и начинает двигаться обратно, хотя ИМ продолжает перемещаться в том же направлении, то причина или в том, что угол поворота ИМ более 90° и лекало, воздействующее на плунжер, прошло свой максимум; или

неправильно выставлено лекало-задатчик в точке 0%, т. е. в закрытом положении РО; или не отрегулировано положение плунжера относительно катушки индуктивности при правильном положении лекала.

Датчик положения — дифференциально-трансформаторная катушка с плунжером, скользящим по рычагу, соединенным с тягой выходного вала (ИМ типа МЭОК). Его можно подключать к регулирующему блоку типа Р25.1.2, Р25.2.2 или Р25.3.2, имеющему на лицевой панели указатель положения. Если он не работает, то: нет питания блока; неисправен усилитель указателя положения (УП); потенциометр чувствительности усилителя УП стоит в крайнем левом положении; неисправен стрелочный прибор, катушка датчика или линии связи; соскочил плунжер с рычага. Стрелка УП движется скачкообразно — механические заедания плунжера датчика положения при скольжении по рычагу или внутри катушки. Стрелка УП изменяет направление своего движения при неизменном направлении движения ИМ — не выставлен плунжер в нулевое положение при закрытом положении РО.

11. При готовности электрической и механической частей дымососа и вентилятора и наличия разрешения электрической и механической служб необходимо произвести экспериментальное снятие расходных характеристик направляющих аппаратов дымососа и вентилятора согласно методике, приведенной в разделе 2, глава 5.

12. По окончании работ по подготовке элементов автоматики регулирования, полной готовности автоматики безопасности, механической и теплотехнической частей котлоагрегата проводятся ходовые испытания котла. После этого выполняется режимная наладка котла, в ходе которой определяются оптимальные величины параметров для получения к.п.д. котла, близкого к расчетному. Найденные параметры качественной работы котла заносятся в режимную карту. Для настройки автоматики безопасности и систем автоматического регулирования наладочной организацией или начальником котельной на основе режимной карты заполняется таблица.

При получении режимной карты котла необходимо сравнить величины параметров автоматики безопасности и регулирования. Значения параметров настройки регуляторов не должны быть равны, а тем более, быть меньше (или больше) величин настроек автоматики безопасности, иначе регуляторы смогут создавать аварийные ситуации,

Таблица 15

Параметры настройки автоматики безопасности и САР

Параметры	Величина	Единица измерения
Автоматика безопасности		
1. Минимальное давление топлива перед котлом:		
газ	1,0 (100)	кПа (мм вод. ст.)
мазут	0,5 (5,0)	МПа (кгс/см²)
2. Минимальное разрежение в топке	+10 (+1,0)	Па (мм вод. ст.)
3. Минимальное давление воздуха	100 (10)	Па (мм вод. ст.)
4. Максимальное давление пара	1,2 (12)	МПа (кгс/см²)
5. Аварийные уровни	±90	мм
6. Выдержка времени на отсечку топлива	20	с
Система автоматического регулирования		
1. Рабочее давление топлива перед котлом:		
газ	4,0 (400)	кПа (мм вод. ст.)
мазут	2,2 (22,0)	МПа (кгс/см²)
2. Максимальное давление топлива на горелках:		
газ	3,6 (360)	кПа (мм вод. ст.)
мазут	2,0 (20)	МПа (кгс/см²)
3. Минимальное давление топлива на горелках:		
газ	0,4 (40)	кПа (мм вод. ст.)
мазут	0,15 (1,5)	МПа (кгс/см²)
4. Рабочее давление пара	1,0 (10)	МПа (кгс/см²)
5. Разрежение в топке:		
при растопке	—10 (—1,0)	Па (мм вод. ст.)
рабочее	—25 (—2,5)	Па (мм вод. ст.)
при вентиляции	—50 (5,0)	Па (мм вод. ст.)
6. Ход направляющего аппарата дымососа по ручному фиксатору при максимальной нагрузке работающего котла	5 (70 мм)	
7. Давление воздуха:		
минимальное	0,15 (15,0)	кПа (мм вод. ст.)
максимальное	1,2 (120)	кПа (мм вод. ст.)
8. Число отверстий ручных фиксаторов заслонок воздуховодов перед горелками:		
левая	6	
правая	5	
9. Давление питательной воды перед котлом	1,3 (13)	МПа (кгс/см²)
10. Диапазон задатчика уровня	ср. ур.+40 мм	
11. Температура мазута перед котлом	110	°С

Окончание табл. 15

Параметры	Величина	Единица измерения
12. Диаметр мазутного распылителя	2,8	мм
13. Графики соотношения:		
«газ—воздух»	выдан	
«мазут—воздух»	выдан	
14. Точность регулирования:		
давления пара	±0,05 (0,5)	МПа (кгс/см^2)
давления воздуха	±50 (5,0)	Па (мм вод. ст.)
разрежения в топке	±10 (1,0)	Па (мм вод. ст.)
уровня в барабане	±5,0	мм

Примечание. Числовые данные приведены ориентировочно.

при которых работа котла будет прекращена автоматикой безопасности. Например, давление воздуха аварийное 100 Па (10 мм вод. ст.) (табл. 15), а для регулирования минимальное давление воздуха 150 Па (15 мм вод. ст.), т. е. в данном случае величины для автоматики безопасности и регулирования выбраны правильно. В другом случае вопрос соответствия параметров настроек нужно решать с технологами.

Глава 13. СТАТИЧЕСКАЯ НАСТРОЙКА РЕГУЛЯТОРОВ

Под ней понимается настройка измерительной схемы блока на заданное значение регулируемого параметра; выбор и установка диапазона действия задатчика; определение и установление зоны нечувствительности.

Задача статической настройки состоит в выборе в соответствии с режимной картой необходимого угла поворота регулирующего органа, обеспечивающего нужное изменение расхода среды, а также в подборе таких соотношений между сигналами задания (ручка «задание») и первичных приборов (ручкой «чувствительность» по каналу датчика), чтобы сигнал рассогласования при номинальных значениях регулируемых параметров был бы равен нулю.

Например, при статической настройке регулятора питания водой барабана котла необходимо, чтобы он отрабатывал импульсы по сигналу датчика по уровню воды в одну сторону, а по сигналу задатчика — в другую. Это

достигается фазировкой сигнала датчика относительно сигнала задатчика.

Статическую настройку регулятора можно производить разными способами.

Расчетный путь. Для этого необходимо снять выходные характеристики датчиков дифференциально-трансформаторной системы, градуировочные задатчика, рукояток «чувствительность» входных сигналов по каждому каналу, потенциометров «зона нечувствительности» и «демпфер». С помощью специальной аппаратуры нужно определить их на все имеющиеся блоки Р25, т. к. они в процессе эксплуатации могут меняться. При этом необходимые расчеты нужно производить после каждого изменения, затем связать числовые значения регулируемого параметра с величинами электрических сигналов датчика и органов настройки регуляторов и расчетным путем определить положения органов настройки регулирующего блока и величину шунта задатчика. Вышеперечисленное вызывает определенные трудности при настройке регулятора.

Стендовая настройка. Для этого в лаборатории собирается стенд, позволяющий создавать разрежение, давление, перепад давлений на датчиках, которые соединены с блоком Р25 (либо с каким-либо другим регулирующим блоком), и, контролируя показывающими приборами величины, измеряемые датчиками, имитировать регулируемый параметр, выбирая необходимые положения входных органов настройки блока и шунта задатчика. Однако этот путь предпочтительнее при массовой настройке регуляторов.

В практике получил распространение **метод настройки регуляторов непосредственно на действующем объекте.** Создавая ручным или дистанционным управлением необходимые величины регулируемого параметра (при этом сам регулирующий блок используется как нуль-индикатор для настройки датчиков, а рабочие показывающие приборы как контрольные), производится как первичная настройка регулятора, так и повторные, вызванные изменением режимных карт, заменой или ремонтом элемента САР, подстройкой в процессе эксплуатации.

В данной книге рассматривается практический метод настройки регулятора с помощью действующего оборудования котельной.

Последовательность настройки.

1. **Настройка сочленения исполнительного механизма с регулирующим органом** производится согласно расходной характеристике РО и режимной карте котла. Из режим-

ной карты определяется рабочая зона РО, в которой должен перемещаться РО при полном ходе ИМ, а характер изменения характеристики РО в этой зоне определит характер сочленения ИМ с РО. Выбор рабочей зоны РО был рассмотрен в разделе 2, глава 5. Правило выбора вида сочленения приводится в главе 6 того же раздела.

2. **Проверка работоспособности датчиков, линий связи, отборных устройств, импульсных трубопроводов.** Для этого на регулирующем блоке вводится канал данного датчика (устанавливается «чувствительность» 0,4÷0,6); при данной величине параметра, воздействующего на датчик, балансируется усилитель (оба световых сигнала блока не светятся), если это сделать нельзя, то чувствительность нужно уменьшить. После этого ручным или дистанционным управлением отклонить регулируемый параметр в любую сторону на небольшую величину, чтобы проконтролировать его изменения по показывающим приборам. Если при этом включится один из световых сигналов на блоке, то проверка работоспособности датчика окончена. Если нет, то необходимо подетально проверить канал измерения: электрическую схему, целостность импульсных линий (особенно резиновых шлангов), положение вентилей на отборах, удалить транспортные заглушки, которые при монтаже часто не удаляются (с обоих вводов датчика), правильность подключения импульсных линий к датчику и т. д.

3. **Демпфирование регулируемого параметра.** Довольно часто регулируемый параметр колеблется с такой величиной и частотой, что это затрудняет пользование показывающими приборами, настройку регуляторов и снижает точность работы САР. Особенно подвержены колебаниям давление воздуха после вентилятора и на горелках, а также разрежение в топке и газоходах. Главные причины заключаются в вибрации тягодутьевых установок, в люфтах поворотных направляющих аппаратов, в геометрии воздуховодов и газоходов, в качестве их монтажа. К отборам разрежения и давления воздуха подключаются по три прибора одновременно: показывающий мембранный тягонапоромер на щите котла, датчик-сигнализатор автоматики безопасности и датчик регулятора разрежения или воздуха. Для уменьшения колебаний необходимо улучшить настройку механической части тягодутьевых установок, установить стягивающие попарно пружины на лопатки направляющих аппаратов, скруглить прямые углы поворотов воздуховодов и газоходов, а также установить на

отборных устройствах постоянные дросселя в виде шайбы с малым отверстием, диаметром 0,5÷1,0 мм. Необходимый диаметр отверстия шайбы выбирается практическим путем по месту ее установки. Сделать его сначала минимальным, а затем постепенно увеличивать до тех пор, пока стрелка показывающего прибора на щите котла не станет колебаться в пределах 1—2-х делений. Диаметр отверстия дросселя подбирается на работающем котле.

На регулирующем блоке Р25 имеется свой демпфер, представляющий электрическую *RC*-цепочку, с перемеиным сопротивлением *R*. Демпфер позволяет создавать временную (от 0 до 10 с) задержку прохождения электрического сигнала датчика. Другими словами, изменение сигнала датчика будет воспринято блоком через время, определенное положением рукоятки «демпфер» на субблоке Р-011.

Сглаживание колебаний параметра позволяет усреднить сигналы датчиков, приборов и уменьшить частоту срабатывания исполнительных механизмов, т. е. увеличить срок их службы.

4. **Фазировка сигнала датчика.** Согласно схеме блоков Р25 его световой сигнал соответствует направлению команды с блока на ИМ, а в итоге — сигнализации направления движения РО. Так как электросигнал с датчика несет двойную информацию — величину отклонения параметра от заданного значения и направление этого отклонения (фаза сигнала),— то сразу сигнал с датчика нужно логически связать с выходным сигналом блока и сигналом задатчика.

Для этого на действующем котле при любой величине регулируемого параметра нужно сбалансировать блок «корректором» (оба световых сигиала не работают), а затем дистанционным или ручным управлением отклонить этот параметр в любую сторону до включения светового сигнала на регулирующем блоке. Если вид работающего светового индикатора не соответствует логической операции воздействия иа РО, то необходимо поменять местами концы вторичной обмотки датчика иа входном клеммиике (клеммы 11 и 12, 13 и 14 на Р25.1.). Например, при балансе блока регулятора разрежения на 20 Па (2 мм вод. ст.) дистанционным управлением увеличим разрежение в топке до 30÷40 Па (3—4 мм вод. ст.), при этом должен включиться световой сигнал «меньше» (↓), т. к. разрежеиие увеличилось и сигнал говорит, что нужно прикрыть РО дымососа. Если световой сигнал будет другой, то нужно поменять местами концы вторичной обмотки

датчика на блоке Р25 и снова проверить его фазировку.

5. **Настройка датчиков.** Ее смысл заключается в том, чтобы при заданном значении регулируемого параметра сигнал с датчика, измеряющего этот параметр, должен быть равен нулю. Для этого параметр выводят в заданное значение и, используя световые сигналы регулирующего блока, добиваются баланса усилителя (отсутствие световых сигналов). Это выполняется перемещением катушки датчика относительно плунжера, или наоборот, в зависимости от конструкции дифференциально-трансформаторного преобразователя. На блоке Р25 его баланса можно добиться компенсацией сигнала датчика «корректором» при одном определенном положении «чувствительности» по каналу данного датчика. Однако такой метод настройки датчика не всегда себя оправдывает, так как любое изменение положения рукоятки «чувствительность» потребует снова настройки баланса усилителя. При настройке же катушкой датчика баланс блока не зависит от положения ручки «чувствительности». Балансировка блока «корректором» оправдывает себя при одной постоянной величине параметра и выключенном задатчике, так как значительно уменьшает время настройки.

6. **Настройка диапазона действия задатчика.** Для удобства эксплуатации и невозможности задать, даже случайно, аварийные величины регулируемых параметров диапазон действия задатчика должен соответствовать только требуемой величине изменения задания. Если величина регулируемого параметра одна, то задатчик должен быть отключен, т. е. сигнал с него должен быть равен 0 мВ. Блок Р25 не имеет возможности изменять диапазон действия задатчика, поэтому в разделе 2, глава 2 предложено дополнение к схеме задатчика с целью установления шунта.

Настройка диапазона задатчика начинается с минимальной величины задания (положение: —20%), при которой сигналы с датчика (с помощью его катушки) и с задатчика (с помощью корректора блока) должны быть равны нулю. Имеется два пути выбора шунта диапазона задатчика.

1. На клеммы 6 и 17 блока Р25 подключается магазин сопротивлений, на клеммы 17 и 18 устанавливается постоянное сопротивление 2,2 кОм; 0,5 Вт. При выбранной чувствительности по каналу датчика (обычно 0,4÷0,6) задатчик устанавливают в крайнее правое максимальное положение (+20%), измеряемый параметр выводов в точку максимума необходимого диапазона его действия согласно режимной карте и переключателями магазина сопротивлений добиваются баланса блока. Затем по данным магазина сопротивления изготавливают постоянное сопротивление и устанавливают его на клеммы 6 и 17 блока Р25. Однако при замене блока (характеристики задатчиков не одинаковы и, согласно установленному переменному резистору — потенциометру типа ППЗ-40-2,2 кОм, имеется разброс его сопротивления ±10%) или при изменении величины чувствительности по каналу датчика необходима подстройка диапазона задатчика.

2. На клеммы 6 и 17 устанавливается постоянное сопротивление $R_ш$ (например, для регулятора разрежения в топке котла 100÷200 Ом, а уровня воды в барабане котла 400÷500 Ом, что определено на практике), на клеммы 17 и 18 постоянное сопротивление 2,2÷2,5 кОм. При выключенных чувствительностях по каналам датчиков К1, К2, К3 задатчик устанавливается в крайнее левое положение (—20%), начало диапазона и блок балансируется «корректором» по светодиодам (сигнал задатчика равен 0 мВ). Затем чувствительность по каналу датчика устанавливают 0,6÷0,8 делений, регулируемый параметр выводят в точку, соответствующую минимальному значению задания и балансируют датчик катушкой, чтобы его выходной сигнал был равен 0 мВ, (согласно светодиодам блока Р25). То есть значение задания и действительное значение параметра равны, а значит, сигналы задатчика и датчика тоже равны (0 мВ).

Теперь устанавливаем задатчик в его крайнее правое положение (+20%), регулируемый параметр выводим, согласно режимной карте, в точку, соответствующую максимуму задания, и потенциометром чувствительности по каналу датчика (К1, К2, К3) добиваемся баланса блока Р25 (светодиоды не горят). На этом настройка диапазона действия задатчика заканчивается и, перемещая задатчик в пределах механических упоров (±20%), задается любая величина регулируемого параметра в только требуемой зоне.

7. **Настройка зоны нечувствительности регулятора.**

Назначение — установление такой зоны нечувствительности регулятора, которая соответствует точности удержания регулируемого параметра, что определяется по режимной карте. Например, по давлению пара в барабане котла ±0,05 МПа (±0,5 кгс/см²). Это значит, что как бы ни

менялось давление пара в пределах ±0,05 МПа (±0,5 кгс/см²) около задания, регулятор не должен реагировать на эти изменения, т. е. находится в покое.

При выбранной чувствительности по каналу датчика и балансе блока на заданном значении регулируемого параметра отклоняем параметр на величину половины зоны нечувствительности (0,5 кгс/см²) в любую сторону и потенциометром «зона» добиваемся отключения светодиодов (баланс блока).

При подключении нескольких датчиков зона нечувствительности регулятора настраивается по главному из них.

8. **Настройка постоянной времени демпфирования.**

Назначение — создать искусственным путем необходимую величину запаздывания прохождения колебаний входного сигнала датчика регулируемого параметра, чтобы уменьшить частоту и количество включений пусковой аппаратуры и ИМ. Для этого на субблоке Р-011 (рис. 19) имеется потенциометр *R*5 «демпфер», с помощью которого изменяется постоянная времени апериодического звена (*R*5, С1). Это значит, что если изменение входного сигнала датчика удерживается по времени более, чем постоянная времени демпфирования, выбранная при настройке в пределах 0÷10 с, то регулятор должен включиться в работу.

Выбор времени демпфирования производится при условии, что механический демпфер, устанавливаемый на отборе (п. 3), недостаточно эффективен для регулятора, но оправдан для других приборов.

Производить настройку демпфирования регулятора нужно тогда, когда пульсация измеряемого параметра вызывает постоянное переключение светодиодов, что затрудняет потом статическую настройку регулятора. Однако необходимо учитывать это время при дальнейших этапах настройки.

Величина демпфирования выбирается поворотом потенциометра «демпфер» от нуля до тех пор, пока автоколебания измеряемого параметра, вызывающие переключение светодиодов, а это значит (при положении переключателя вида управления «автоматическое»), и переключение ИМ, не будут восприниматься блоком, т. е. светодиоды не должны работать.

Глава 14. ДИНАМИЧЕСКАЯ НАСТРОЙКА РЕГУЛЯТОРОВ

Динамические свойства объекта регулирования определяют выбор оптимальных параметров динамической настройки регулятора и установки органов настройки (коэффициента усиления $K_р$, времени изодрома $T_и$, длительности импульса $t_{имп}$) в положение, обеспечивающее требуемое качество работы САР в процессе ее эксплуатации.

Динамическую настройку регуляторов можно разделить на пять этапов.

1. Главный оптимальный параметр качества регулирования выбирается на основании требований технологического регламента, т. е. в зависимости от технологических особенностей объекта регулирования в конкретном случае: время регулирования (время возвращения параметра в заданное значение), величина отклонения, интенсивность затухания переходного процесса. С экономической точки зрения наиболее целесообразно выдержать все требования одновременно. Однако в реальных условиях это невозможно. Поэтому динамическая настройка автоматических регуляторов выполняется при условии оптимизации только одного, заранее выбранного в качестве критерия оптимальности, показателя качества регулирования.

2. На втором этапе определяются динамические характеристики объекта. И только экспериментально, т. к. в этом случае учитываются возможные отклонения реальных характеристик регулятора от расчетных. Метод снятия экспериментальных характеристик объектов заключается в определении параметров объекта по его временной характеристике — кривой разгона: зависимость регулируемой величины (сигнала на выходе объекта) по времени при скачкообразном возмущении (сигнал на входе объекта) и отключенном регуляторе. Нагрузка на объект при этом стабилизируется, т. е. удерживается постоянной.

Рассмотрим порядок снятия кривой разгона по давлению пара в барабане котла. Вначале добиваются постоянного расхода пара и постоянной подпитки котла, поскольку при этом стабилизируется давление пара. Убедившись в установившемся состоянии объекта, скачком, например, на 20%, увеличим подачу мазута (газа) на форсунки. С этого момента необходимо через равные промежутки времени фиксировать изменения давления пара с помощью самопишущего прибора или записывать данные показывающего прибора в таблицу через 3—5 секунд. По полу-

ченным величинам строится разгонная характеристика, из которой определяют время запаздывания и постоянную времени T_o (раздел 1, глава 3 и рис. 4). Оптимальные параметры настройки регуляторов находятся по методике, изложенной в разделе 1, глава 5.

Экспериментальное определение динамической характеристики системы регулирования можно производить также методом вывода системы в автоколебательный режим, описание которого приводится ниже.

3. Третий этап — непосредственный расчет оптимальных значений параметров настройки регулятора на основе данных, полученных в результате определения динамических характеристик объекта.

4. Полученные по расчету данные необходимо реализовать на реальной аппаратуре, т. е. установить органы настройки регулятора на отметки, соответствующие их оптимальным значениям.

5. Завершающим этапом данного цикла работ является уточнение настройки регулятора в процессе пробной эксплуатации САР. Его необходимость продиктована тем, что каждый из упрощенных методов расчета настроек основан на ряде допущений, которые приводят к некоторому отклонению качественных показателей полученного переходного процесса от расчетного.

При уточнении нужно руководствоваться следующими правилами: 1) если действие регулятора приводит к незатухающим колебаниям со значительной амплитудой регулируемого параметра, то рукоятку «зона» нечувствительности следует поворачивать в сторону увеличения, достаточного для исчезновения незатухающих колебаний вокруг задания, и наоборот;

2) для процесса с незначительными или кратковременными изменениями нагрузки настройка требует большего участия пропорционального воздействия и меньшего — астатического;

3) при процессах с глубокими и длительными возмущениями такая настройка приводит к определенной статической ошибке, и где она недопустима, увеличивают долю воздействия астатической части, что ведет к исчезновению указанной ошибки, тем быстрее, чем меньше время изодрома. Однако при этом повышается склонность регулятора к автоколебаниям, амплитуда которых тем больше, чем меньше время изодрома, поэтому его стараются выбрать максимально возможным.

Виды переходных процессов, при различных сочетаниях настроечных параметров, приведены на рис. 15, 16.

14.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ НАСТРОЙКИ

А. Коэффициент усиления регулятора $K_р$ или коэффициент пропорциональности $K_п$.

Определение $K_п$ по методу вывода регулятора на границу устойчивости, характеризующуюся незатухающими колебаниями выходной величины, производится на блоках Р25 в следующем порядке при установившемся режиме:

а) на субблоке Р-011 нажать кнопку переключателя режима работы (положение «Поз.») и отжать кнопку «$T_и$» при положении «Р» (ручное) переключателя управления;

б) чувствительность по каналу датчика, например «К1», установить 0,4—0,6;

в) все остальные ручки потенциометров установить в нулевое положение;

г) «корректором» сбалансировать усилитель по световым индикаторам при каком-то рабочем значении регулирующего параметра, например, средний уровень воды в барабане котла;

д) отжать кнопку переключателя режима работы в положении «ПИ»;

е) ключом ручного управления переместить ИМ в любую сторону от установившегося положения;

ж) перевести переключатель управления в положение «А» (автоматическое);

з) постепенно поворачивая ручку потенциометра «$K_п$», добиться незатухающих колебаний измеряемого параметра, что удобно заметить при наличии самопишущего прибора, а при его отсутствии — визуально и записать;

и) по полученной записи незатухающих колебаний (рис. 15) определить период колебаний $T_{пр}$ и засечь количество делений потенциометра $K_п$;

к) для пропорционального регулятора оптимальное значение $K_п^{опт} = 0{,}5\ K_п^{кр}$, где $K_п^{кр}$ — полученное число делений потенциометра $K_п$;

л) для изодромного, ПИ — регулятора, оптимальные значения $K_п^{опт} = 0{,}45\ K_п^{кр}$.

Б. Время интегрирования или время изодрома $T_и$.

При использовании экспериментального метода незатухающих колебаний оптимальное значение времени изодрома $T_и^{опт}$ определяется из выражения: $T_и^{опт} = T_{пр}/1{,}2$.

При наличии разгонной характеристики объекта регулирования определяют (рис. 4, 5) время запаздывания τ,

постоянную времени объекта T_0 и коэффициент усиления объекта K_0 (раздел 1, глава 2). Согласно формулам, приведенным в разделе 1, глава 5, определяется время изодрома $T_и$ в зависимости от характера объекта.

Выставляя $T_и$ на субблоке Р-011 нужно помнить, что потенциометр «$T_и$» служит для плавного изменения постоянной времени интегрирования, а переключатель — для дискретного изменения $T_и$. При его нажатом положении цена деления потенциометра увеличивается в 10 раз (до 500 с), а при отжатом — шкала потенциометра равна 50 с.

В. Длительность импульса сигнала управления.

Скорость исполнительного механизма влияет на быстродействие регулятора, поэтому она должна быть оптимальной. Однако при подходе параметра к заданному значению скорость ИМ не должна быть значительной, т. к. это приведет к перерегулированию, т. е. к автоколебательному процессу. Чтобы исключить это, подбирают длительность импульса на практике. Например, при времени полного хода МЭО (90°) 25 с длительность импульса должна быть равна 0,2—0,3 с.

Длительность импульса остается неизменной при разных величинах отклонения регулируемого параметра, однако частота импульсов увеличивается при увеличении отклонения ΔX от заданного значения параметра X_0 и наоборот, т. е. частота импульса зависит от величины отклонения ΔX.

Так как градуировку органов настройки блоков мы не производили, то для реализации рассчитанных настроек применяется итерациональный метод (метод последовательного приближения). Связано это прежде всего с тем, что характеристика реального регулятора отличается от характеристики идеального наличием нелинейностей и, кроме того, завод-изготовитель, как правило, допускает довольно большие отклонения действительных значений параметров настройки от указанных на шкале диска настройки.

После установления полученных настроек и включения регулятора в работу необходимо провести уточнение их по рекомендациям, данным в главе 6, раздел 1, п. 5, и по пояснениям к графикам переходных процессов на рис. 15 и 16.

Рассмотренные рекомендации по проверке и настройке приборов и средств автоматизации можно представить в виде программ.

14.2. ПРОГРАММА НАСТРОЙКИ САР

I. Подготовительные работы.

1. Изучение технологии объекта регулирования, функциональных, принципиальных, электрических и монтажных схем.
2. Определение соответствия месторасположения РО, ИМ и датчиков монтажным схемам.
3. То же, отборных устройств и расходомерных узлов.
4. Проверка соответствия технических данных смонтированных приборов и устройств автоматики проекту.
5. Контроль исправности механический части РО.
6. Сочленение ИМ с РО.
7. Регулировка конечных выключателей ИМ.
8. Стендовая проверка элементов САР.
9. Проверка монтажа электрических схем.
10. Опробование схем под напряжением, фазировка ИМ, конечных выключателей, настройка дистанционного указателя положения ИМ-ДУПа.
11. Снятие расходных характеристик направляющих аппаратов дымососа и вентилятора.
12. Ходовые и режимные испытания котлоагрегата.

II. Статическая настройка.

1. Выбор рабочей зоны РО и настройка сочленения ИМ с РО, согласно режимной карте котла.
2. Проверка работоспособности датчиков, отборных устройств и импульсных линий.
3. Демпфирование регулируемого параметра.
4. Фазировка сигнала датчика.
5. Настройка датчиков.
6. Настройка диапазона задатчика.
7. Настройка зоны нечувствительности.
8. Настройка постоянной времени демпфирования.

III. Динамическая настройка.

1. Выбор критерия оптимальности регулирования.
2. Определение динамической характеристики объекта.
3. Теоретический расчет оптимальных значений параметров настройки.
4. Практическое определение коэффициента пропорциональности, времени изодрома и длительности импульса выходного сигнала управления.
5. Реализация полученных данных настройки.
6. Опробование регуляторов и уточнение данных настройки по качеству регулирования.

Данные, полученные при статической и динамической настройках заносятся в табл. «Уставки регулятора» (пример приведен в табл. 16).

Раздел 4. АВТОМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ КОТЛОАГРЕГАТА

Глава 15. КОТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ

Котельными установками называется комплекс оборудования, предназначенный для превращения химической энергии топлива в тепловую с целью получения горячей воды или пара заданных параметров.

Котельные установки различаются:

1) по производимому теплоносителю — на водогрейные и паровые;

2) по характеру теплоносителя — отопительные, производственные и отопительно-производственные;

3) по роду основного вида сжигаемого топлива — угольные, газовые, мазутные;

4) по размерам обслуживания — индивидуальные, групповые и районные.

Котельные установки состоят из котлоагрегата и вспомогательного оборудования. Котельных агрегатов бывает не менее 2-х, а вспомогательное оборудование общее для всей котельной. Основное оборудование котельной установки представлено на рис. 48.

Котлоагрегат включает топочное устройство, трубную систему с барабанами, пароперегреватель, водяной экономайзер, воздухонагреватель, дымосос, вентилятор, запорно-регулировочную арматуру, контрольно-измерительные приборы и регуляторы.

К вспомогательному оборудованию относятся редукционная установка, фильтры химической обработки воды, деаэратор, насосы сырой воды и питательные насосы, мазутное хозяйство, газорегуляторная станция, арматура, контрольно-измерительные приборы и регуляторы.

Сырая вода, давление более 0,15 МПа (1,5 кгс/см²), подается в фильтры химочистки. Если ее давление меньше, то включаются насосы сырой воды. В фильтрах производится очистка воды от механических примесей и растворен-

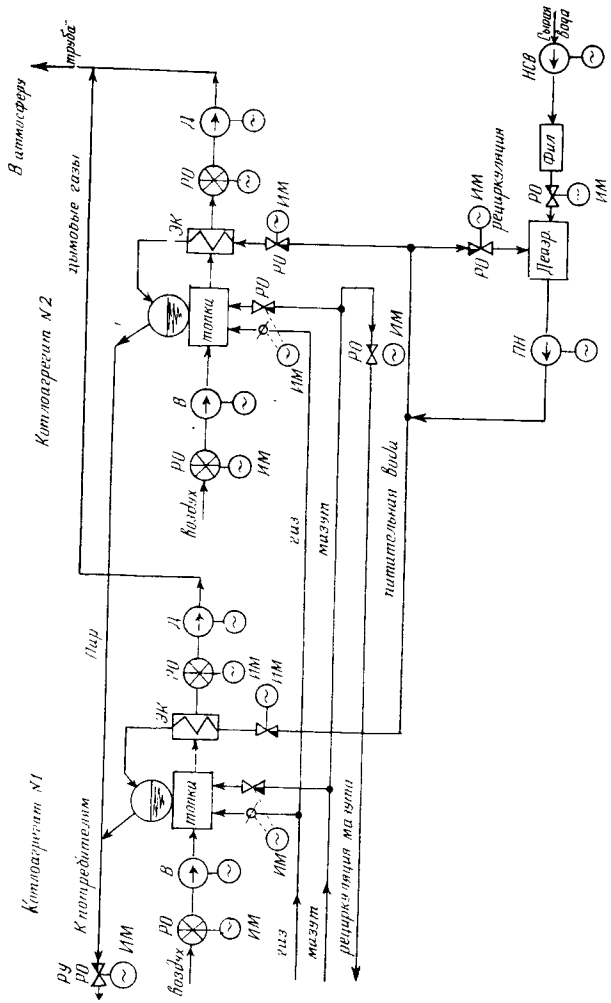


Рис. 48. Технологическая схема котельной установки.
В — вентилятор; Д — дымосос; ЭК — экономайзер; Фил. — фильтры химической обработки воды; Деаэр — деаэратор; Пн — питательный насос; НСВ — насос сырой воды; РО — регулирующий орган; ИМ — исполнительный механизм; РУ — редукционная установка.

ных в ней накипеобразующих солей. Из них химически очищенная вода (ХОВ) поступает в деаэратор. Деаэратор совмещает функции аппарата для удаления кислорода и других растворенных газов в воде, подогревателя питательной воды и емкости с запасом деаэрированной воды.

Из деаэратора питательными насосами вода подается через экономайзер, где она подогревается дымовыми газами, в барабан котла. Питательные насосы предназначены для поднятия давления воды с 0,02 МПа (0,2 кгс/см^2), находящейся в деаэраторе, до давления, превышающего давление пара в барабане котла, поэтому их конструкция многоступенчатая. Вода из деаэратора подается на питательные насосы при температуре, близкой к температуре кипения, что обусловливает жесткие требования к их конструкции.

В топку подается топливо (газ или мазут) и вентилятором — воздух. Продукты сгорания (дымовые газы) через экономайзер дымососом удаляются в атмосферу. Полученный пар одной величины давления редукционной установкой понижается до нужного давления и поступает к потребителям. Пар, отдавший тепло, превращается в конденсат, который направляется в деаэратор.

Глава 16. КОТЛОАГРЕГАТ КАК ОБЪЕКТ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Котельные агрегаты типа ДКВР и ДЕ предназначены для получения пара для производственных целей, отопления и горячего водоснабжения. Получение пара из воды слагается из трех физических процессов: а) подогрева воды до температуры кипения; б) кипение воды, когда жидкая фаза переходит в насыщенный пар; в) перегрева пара до заданной температуры (при наличии пароперегревателя).

Необходимое для этого тепло выделяется при сгорании топлива в топочной камере. Передача тепла от продуктов сгорания к поверхностям нагрева происходит в результате всех видов теплообмена: радиационного, конвективного и теплопроводности.

Подогрев воды происходит в экономайзере, парообразование — в экранах, перегрев пара — в пароперегревателях. Каждый из этих конструктивных элементов котлоагрегата участвует в превращении теплоты сгорания топлива в тепловую энергию водяного пара. Теплообмен во всех этих элементах происходит при высоких температурах стенок поверхностей нагрева, находящихся одновременно и под воздействием давления воды или пара. Отсюда и особые

требования к поддержанию температуры металла стенок труб в пределах допустимых величин по условиям прочности. Это достигается путем создания устойчивого движения воды и пара внутри трубной системы котлоагрегата за счет разности удельных весов данных компонентов.

Процесс получения пара протекает в следующем порядке. Центробежными или паровыми насосами питательная вода непрерывно подается в барабан котла. Ее давление выше давления вырабатываемого пара. Прежде чем попасть в барабан котла, питательная вода проходит через экономайзер, подогреваясь до температуры на 40° ниже, чем температура насыщенного пара в котле, а при наличии автоматических устройств, регулирующих температуру подогрева воды, на 20° ниже. Барабан котла служит распределителем котловой воды и сборником образующего пара. С помощью опускных (необогреваемых) труб вода из барабана поступает в нижние коллекторы (сборники или распределители), к которым присоединяются трубы экранов, вертикально установленные по внутренним стенкам топочной камеры. Другим концом экранные трубы присоединяются к барабану котла. Как говорилось, экранные трубы представляют поверхность нагрева котла и предназначены для получения пара, кроме того, они защищают стенки топочной камеры от температуры. В результате радиационного (лучевого) нагрева экранных труб находящаяся в них вода закипает, образовавшиеся пузырьки пара стремятся вверх, увлекая за собой еще не вскипевшую воду. По направлению к барабану котла в трубах экрана образуется поток пароводяной смеси. Так как гидростатическое давление пароводяной смеси (эмульсии) в экранных трубах меньше, чем вес столба воды в опускных трубах, то в замкнутой гидравлической системе (барабан котла — опускные трубы — нижние коллекторы — экранные трубы — барабан котла) образуется устойчивое движение (естественная циркуляция).

Продукты сгорания сначала охлаждаются в топочной камере, отдавая тепло радиационным способом экранным трубам, затем охлаждаются за счет конвекции, проходя пароперегреватель и экономайзер. Дымовые газы (продукты сгорания) из топки отсасываются дымососом и выбрасываются через дымовую трубу в атмосферу. Для обеспечения нормального режима горения топлива в топку вентилятором подается воздух.

Таким образом в топку котла подаются топливо и воздух, а отсасываются дымовые газы; в барабан котла пода-

ется питательная вода, а отбирается водяной пар. Регулирование процессов горения и питания паровых котлов сводится к управлению подачей топлива, воздуха, тяги и воды. Способ регулирования процесса горения определяется в первую очередь способом сжигания топлива и конструкцией топочного устройства.

Подача топлива в топку регулируется так, чтобы в каждый момент времени в ней сгорало столько топлива, сколько его необходимо для покрытия расхода пара при неизменном давлении пара в барабане котла. Иначе говоря, давление пара в котле сохраняется постоянным при наличии баланса между подводом тепла в топку и отводом его с отбираемым паром.

Если при сгорании топлива выделяется больше тепла, чем это необходимо для производства потребляемого количества пара, то излишнее тепло аккумулируется в котле, что приводит к росту давления. Наоборот, если топлива подается мало, то потребность в паре покрывается за счет тепла, аккумулированного в котловой воде, что приводит к падению давления.

Учитывая, что калорийность топлива (газа или мазута), теплосодержание пара и воды и к. п. д. котла в процессе эксплуатации практически не меняются, то изменение давления пара будет в основном зависеть от количества подаваемого в топку топлива и расхода пара. Из сказанного можно сделать вывод, что изменение давления пара в барабане котла можно использовать в качестве импульса для регулирования количества топлива.

Опыт автоматизации промышленных котельных свидетельствует о том, что регулирование процесса горения и питание котлов дает до 8% экономии топлива, увеличивает к. п. д. котла на 7—8%, обеспечивает работу топки с избытками воздуха, близкими к оптимальным, сокращает расходы электроэнергии на дутье и тягу, уменьшает объем ремонтных работ и повышает культуру обслуживания. Теперь проанализируем динамические свойства котла как объекта регулирования давления пара. Рассматривая физические процессы получения пара, было отмечено, что котел состоит из топки и барабана с экранными трубами (собственно котла). В топку подается топливо и воздух и отсасываются продукты сгорания, в барабан подается вода и отбирается пар определенного давления. Связь между топкой и его барабаном осуществляется посредством теплопередачи от продуктов сгорания. Таким образом, котел можно рассматривать как сложный объект регулирования,

состоящий из двух последовательных звеньев или емкостей: топки и барабана.

Регулируемым параметром является давление пара в барабане, регулирующим воздействием — изменение подачи топлива и воздуха в топку котла, а внешним возмущением — изменение потребления пара. При изменении подачи топлива и воздуха в топку котла (1 звено) меняется количество тепла, воспринятого экранами и барабаном (2 звено), т. е. меняется воздействие первого звена на второе, обратного же воздействия первого звена на второе не происходит. Необходимо отметить также, что на величину давления пара, кроме расхода пара, оказывает влияние и подача питательной воды, т. е. изменение ее уровня в барабане котла.

Динамические свойства котлов определяются по кривым разгона, снятым экспериментальным методом, более удобным на практике. Разгонные кривые снимают по давлению пара и уровню в барабане при изменении подачи топлива и воды в установившемся режиме. Как отмечалось ранее, по этим двум параметрам (Р и Н) в переходных режимах имеет место запаздывание τ, характеризующее влияние инерционности топки и емкости барабана котла.

Система автоматического регулирования котла включает в себя четыре регулятора и разделяется на две части: регуляторы процесса горения и регулятор уровня воды в барабане котла. Процессом горения управляют три регулятора: давления пара, соотношения «топливо-воздух» и разрежения в топке. Регулирование процесса горения — это процесс связанного регулирования, т. к. изменение нагрузки котла влечет изменение расхода топлива, воздуха и отсасываемых продуктов сгорания. Указанная система регулирования должна реагировать на внешние и внутренние возмущения. К внешним относятся возмущения, связанные с расходом пара с котла, к внутренним — с изменением подачи топлива, износом РО и другие.

Глава 17. РЕГУЛЯТОР ДАВЛЕНИЯ ПАРА В БАРАБАНЕ КОТЛА

Назначение — удерживать постоянной заданную величину давления пара в пределах точности регулирования путем изменения подачи топлива при колебаниях расхода пара с котла от 20 до 120% его мощности.

Нижний предел (20%) определяется началом диапазона регулирования горелок ГМГм и ГМГ-П, которыми обо-

рудуются котлы ДКВР и ДЕ (выпускаются горелки заводом «Ильмарине», г. Таллии). Верхний предел (120%) определяется тем, что кратковременно разрешается перегрузка котла, при этом нужно учесть, что паспортная мощность котлов ДКВР указана для угольного топлива, а при использовании газового или мазутного она увеличивается на 40%.

Котлы типа ДЕ предназначены для использования газа или мазута, поэтому паспортная мощность котла не изменяется.

Согласно проектам, импульс по давлению пара ($P_п$) для регулятора поступает из барабаиа котла. В данной ситуации регулятор стремится поддерживать постоянным давление пара в барабане; он также участвует и в регулировании общей нагрузки котельной. Но в этом случае давление в общей паровой магистрали не может быть выдержано с высокой точностью, так как зависимость между сопротивлением паропровода и расходом пара квадратичная. Поэтому, хотя регулятор и восстановит заданное давление пара в барабане котла, но в главной магистрали благодаря возросшим потерям оно будет меньше. Еще больше будет разница давления на котле и в главной магистрали при наличии пароперегревателя. Чтобы избежать значительных колебаний в главной паровой магистрали, нужно перенести отбор импульса давления с барабана котла на главный паропровод или применить после котлов редукционную установку.

Настроечные технологические данные параметров определяются по режимной карте и табл. 15. Например, согласно таблице давление пара в барабане котла имеет только одно значение 1,0 МПа (10 кгс/см²). Значит, задатчик данного регулятора должен быть отключен. Точность удержания давления пара ± 0,5 кгс/см².

Рассмотрим структурную схему регулятора, представленную на рис. 49. Регулируемое давление пара непрерывно измеряется датчиком давления (МЭД, ППД), преобразуется в электросигнал и посылается на усилитель, где он сравнивается с сигналом задатчика. Если оба сигнала равны, т. е. равны заданная величина давления пара X_0 и действительная его величина X, то рассогласование $\Delta X = X - X_0$ равно иулю и система регулирования находится в покое (рис. 49).

Если действительное значение давления пара X отклонится в какую-либо сторону от задания X_0, то сигнал рассогласования ΔX поступает на вход усилителя. Когда ΔX

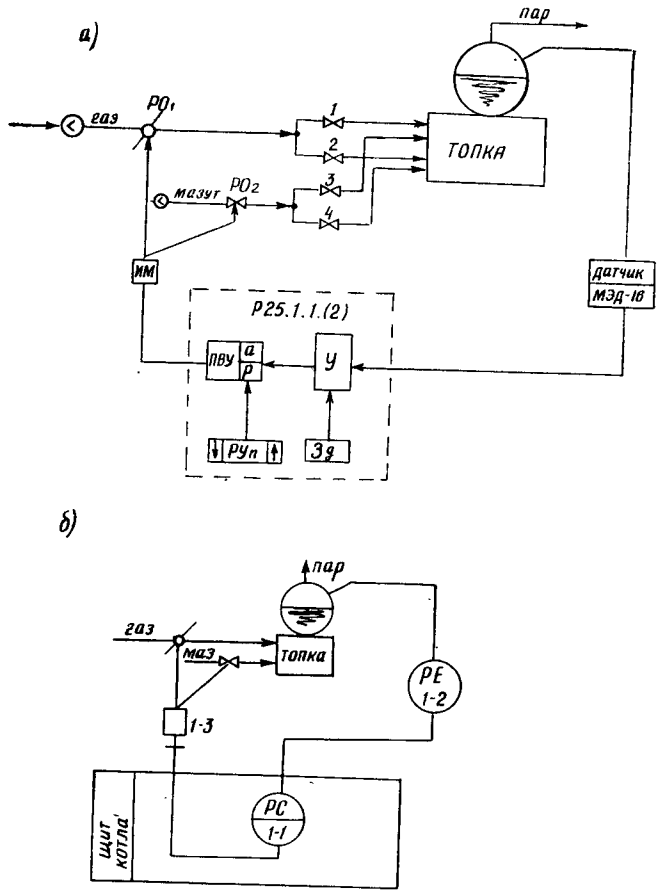


Рис. 49. Регулятор давления пара в барабане котла:
а) технологическая схема; б) функциональная схема.

станет больше зоны нечувствительности усилителя, то с него подается командный сигнал на ИМ. Регулирующий орган РО будет перемещаться ИМ в направлении, необходимом для ликвидации сигнала рассогласования.

Настройка регулятора.

Настройка регулятора состоит, как уже отмечалось, из 3-х этапов: подготовительные работы, статическая и динамическая настройка.

Подготовительные работы необходимо произвести согласно разделу 3, глава 12, и только затем приступать к

следующим этапам. Здесь и далее будем рассматривать только статическую и динамическую настройку регулятора.

Статическая настройка начинается при наличии заполненной табл. 15 «Параметры настройки САР».

1. **Настройка сочленения ИМ с РО** производится при известной рабочей зоне РО и его расходной характеристике, из которой определяются пределы перемещения РО и форма характеристики.

Например, согласно табл. 15, имеем:

а) топливо — газ:

постоянное рабочее давление перед котлом — 4,0 кПа (400 мм. вод. ст.);

минимальное давление на горелках — 0,4 кПа (40 мм вод. ст.);

максимальное давление на горелках — 3,6 кПа (360 мм вод. ст.); т. е. рабочая зона газовой заслонки (РО) лежит в пределах от 0,4 кПа до 3,6 кПа по давлению газа;

б) топливо — мазут: постоянное давление перед котлом — 2,2 МПа (22,0 кгс/см^2); минимальное давление на форсунках — 0,15 МПа (1,5 кгс/см^2);

максимальное давление на форсунках — 2,0 МПа (20 кгс/см^2), т. е. рабочая зона мазутного РО лежит в пределах от 0,15 МПа до 2,0 МПа по давлению мазута, при давлении его перед котлом 2,2 МПа (22 кгс/см^2).

Для определения рабочего хода РО и формы характеристики необходимо на данном этапе экспериментально их определить. Так как определение расходной характеристики на стенде в котельной практически очень сложно, то характеристику снимают на действующем котле. Обязательными требованиями при проведении этой операции являются: эксперимент проводить с письменного разрешения руководителя котельной; все перемещения РО должны выполняться машинистами котлов, которые контролируют безаварийную работу котла; необходимые данные с показывающих приборов можно записывать только после уведомления машинистами котлов об установившемся режиме.

Перед экспериментальным определением характеристики РО проводятся следующие мероприятия.

1) Ручные запорные вентили на горелках и форсунках нужно полностью открыть. Они не должны создавать дополнительно сопротивление движению газа или мазута, особенно это важно, если на топливных линиях к котлу нет расходомерных узлов.

2) Давление топлива перед котлом должно поддерживаться постоянным, т. е. не зависеть от степени открытия

РО. Например, для газа 4 кПа (400 мм вод. ст.) или для мазута 2,2 МПа (22,0 кгс/см^2).

3) При наличии на газопроводе расходомерного узла установить U-образный жидкостной манометр со шкалой, превышающей перепад на сужающем устройстве. Данный манометр не предусмотрен проектом, но его необходимо установить постоянно и включить параллельно датчику расхода газа типа ДКО или ДТ2. Он необходим не только при снятии расходной характеристики РО, но и для контроля и перестройки в процессе эксплуатации.

4) При наличии расходомерного узла на мазутопроводе к котлу должен быть показывающий прибор.

5) Если на мазутопроводе установлен счетчик расхода мазута, то необходимо пользоваться механическим цифровым указателем расхода. Некоторые счетчики имеют и электронные преобразователи для ввода их сигнала в системы регулирования, в АСУ ТП и на показывающие приборы. Например, счетчик типа СМ2, выпускаемый приборостроительным заводом п/о «Геофизприбор», г. Ивано-Франковск.

6) Подготовить регулирующий орган к эксперименту. На газопроводе может быть установлена регулирующая заслонка типа ЗМС, а на мазутопроводе чаще клапан типа 9с, у которых выходной рычаг поворачивается на некоторый угол α. Для снятия характеристики РО необходимо изготовить сектор, равный углу поворота α, и разбить его на равные участки. Теперь, поворачивая рычаг РО на равные углы, определяют его расходную характеристику.

Изготовление, установка и крепление сектора угла поворота РО вызывает некоторые трудности. Поэтому для определения равных участков поворота R — рычага РО необходимо использовать другой способ. Для этого принимаем длину рычага R постоянной и изготавливаем из планки мерительную линейку для замера высоты положения конца рычага относительно, например, пола котельной (рис. 50). Весь диапазон перемещения регулирующего органа разбивают на равные участки, например, по 30 мм. Установив рычаг R в начальное положение (РО закрыт), делают замер высоты положения конца рычага и величины регулируемого параметра. Данные заносятся в таблицу. Затем перемещают рычаг так, чтобы его конец поднялся на 30 мм и снова заносят новую величину регулируемого параметра в таблицу и т. д.

Так как режимные карты показывают величину давления топлива на горелочных устройствах, то при снятии

расходной характеристики РО производят замеры давления на горелках и одновременно перепада на газовой расходомерной шайбе или величины расхода по показывающему прибору или счетчику на мазутопроводе.

При наличии на газопроводе и мазутопроводе РО типа ЕСПА-02-РГ расходную характеристику снимают, разбив линейный ход штока клапана на равные участки. Перемещая РО, заносят в таблицу величины давления на горелках, перепад на газовой шайбе или данные счетчика, соответствующие каждому положению РО.

По полученным данным строится характеристика РО, согласно которой определяют регулирующую зону и, в со-

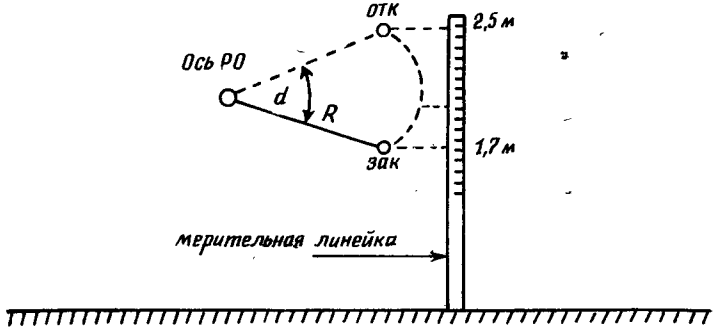


Рис. 50. Схема снятия расходной характеристики РО.

ответствии с режимной картой, рабочую зону, а также характер кривой в рабочей зоне для выбора вида сочленения ИМ с РО. Пример построения расходной характеристики заслонки на газопроводе котла приведен на рис. 51. Согласно параметрам настройки САР котла (табл. 15), рабочая зона, как говорилось ранее, определяется давлением газа P_2 от 0,4 кПа (40 мм вод. ст.) до 3,6 кПа (360 мм вод ст.), что соответствует ходу РО от 172 мм до 228 мм, а по перепаду P_2 на газовой расходомерной шайбе от 50 Па (5 мм вод. ст.) до 720 Па (72 мм вод. ст.).

Значит, сочленение ИМ с РО должно быть выполнено так, чтобы при полном ходе ИМ РО перемещался только в пределах рабочей зоны своей расходной характеристики.

Форма расходной характеристики отличается от линейной, поэтому кинематика сочленения ИМ с РО должна быть выполнена с учетом ее спрямления (раздел 2, глава 11).

2. **Проверку работоспособности датчика давления пара** в барабане котла, его импульсной линии и линии связи с регулирующим блоком Р25 можно совместить с **фазировкой сигнала датчика** на работающем котла. Для этого необходимо:

а) нажать кнопку выбора закона регулирования — положение «Поз» на субблоке Р-111;

б) установить все рукоятки потенциометров на 0;

в) чувствительность по каналу датчика давления, например К1, установить 0,4 деления;

г) корректором и задатчиком сбалансировать блок по световым индикаторам;

д) дистанционно или вручную изменить давление топлива на горелках, например, увеличить;

е) при целостности всех элементов канала измерения

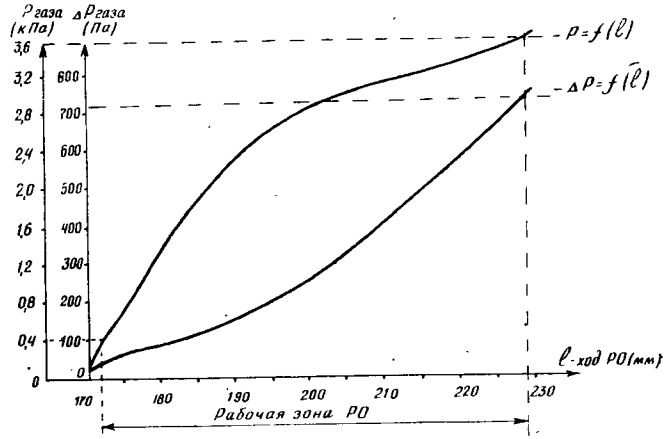


Рис. 51. Экспериментальная расходная характеристика регулирующего органа — заслонки на газопроводе.

давления пара через некоторый период времени должен включиться один из светоиндикаторов;

ж) при включении индикатора нужно также проверить соответствие его работы изменению давления пара, т. е. фазировку датчика (давление контролируется по котловому манометру). В данном примере давление пара с увеличением давления топлива вырастет, поэтому должен сработать светоиндикатор ↓ (меньше), т. к. световая сигнализация указывает направление команды с блока на ИМ для уменьшения подачи топлива с помощью РО.

3. Давление пара в барабане котла не подвержено пульсации, поэтому **демпфирование сигнала** не требуется.

4. Так как величина давления пара постоянна, то **датчик давления пара настраивается** корректором, при этом

диапазон задатчика должен быть равен нулю, т. е. его необходимо отключить.

Порядок настройки следующий:

а) кнопку закона регулирования нажать («Поз.»);

б) на внешнем клеммнике блока Р25 установить перемычку на клеммы 6 и 17 (если блок переделан согласно вышеизложенной рекомендации); при этом задатчик будет отключен и может находиться в любом положении;

в) установить чувствительность по каналу датчика $K1 \approx 0{,}4$;

г) вручную или дистанционно изменять подачу топлива и добиться установления заданного давления пара в барабане котла (в нашем примере, согласно режимной карте, 1,0 МПа или 10 кгс/см^2);

д) при достижении заданного давления пара корректором на субблоке Р-012 сбалансировать усилитель по световым индикаторам — они не должны светиться;

е) на этом настройка датчика на заданное значение давления пара закончена, т. е. мы добились, что в данный момент с датчика (с помощью корректора) и с задатчика (с помощью закоротки) на элемент сравнения поступают сигналы, равные 0 — система регулирования будет находиться в покое, и теперь всякое отклонение параметра вызовет работу регулятора.

5. **Зона нечувствительности** регулятора определяется из таблицы параметров настройки САР, например, ±0,05 МПа (±0,5 кгс/см^2). Порядок настройки следующий:

а) положения ручек настройки, полученных в п. 4, не меняются;

б) давление пара на котле — заданное, и блок сбалансирован;

в) изменяем подачу топлива в любую сторону;

г) при отклонении давления пара от заданного значения включится один из светоиндикаторов;

д) при достижении отклонения 0,05 МПа (0,5 кгс/см^2) ручкой «зона» нечувствительности на субблоке Р-011 добиться отключения светоиндикатора, т. е. баланса усилителя;

е) после этого проверить включение светоиндикатора в другую сторону и, если нужно, откорректировать положение ручки «зона».

На этом статическая настройка регулятора заканчивается.

Динамическая настройка регулятора изложена в разделе 3, глава 14. Согласно полученным данным или уже имеющимся, после проведения специализированной организацией пусконаладочных работ, на субблоке Р-011 устанавливаем коэффициент пропорциональности $K_п$ и время изодрома $T_и$, при отжатой кнопке — положение «ПИ».

Как уже отмечалось, длительность импульса выходного сигнала управления ИМ нужно выбрать такой, чтобы при подходе к точке баланса за время импульса не произошло перерегулирование, иначе регулятор попадет в автоколебательный режим (постоянное переключение светоиндикаторов).

Такой режим может возникнуть, если длительность импульса больше или равна коэффициенту пропорциональности $K_п$. Это можно проверить путем отключения ИМ от блока (переключатель вида управления ПВУ поставить в положение «Р» — ручное). Колебательный процесс может прекратиться (светоиндикаторы не переключаются), тогда причина заключается в большой скорости ИМ. Для устранения колебаний системы в автоматическом режиме нужно длительность импульса уменьшить или увеличить зону нечувствительности. Если автоколебательный процесс продолжается и после отключения ИМ от сигнала управления блока, то необходимо увеличить зону нечувствительности или время демпфирования.

Заключительный этап настройки — опробование регулятора в работе, проверка качества регулирования и уточнение настроечных данных согласно выбранному показателю качества регулирования. Для этого можно пользоваться рекомендациями, приведенными в разделе 1, глава 5, п. 5 и графиками переходных процессов на рис. 16.

После уточнения данных настроек регулятора они заносятся в табл. 16. Числовые данные приведены в ней в качестве примера.

Таблица 16

Уставки регуляторов

Наименование	Единицы измерения	Регуляторы			
		разрежения	воздуха	давления пара	уровня
1. Угол поворота ИМ — α макс. (l)	° мм	90°	90°	40 мм	25 мм
2. Время хода ИМ — Тим	с	25	25	90	60
3. Величина регулируемого параметра при $-\alpha(l) = 0\%$	мм вод. ст.	—1,0	15	40	—
	кгс/см^2	—	—	1,5	10,0
4. То же, при $-\alpha$ (l) = 100% хода ИМ.	мм вод. ст.	70	120	360	—
	кгс/см^2	—	—	20	13,0

Окончание табл. 16

Наименование		Единицы измерения	Регуляторы			
			разрежения	воздуха	давления пара	уровня
5. Добавочное сопротивление задатчика	$R_о$ (кл. 17—18)	Ом	2200	2200	2200	2200
	$R_ш$ (кл. 6—17)	Ом	120	—	—	360
6. Баланс задатчика	положение задатчика	%	—20	любое	любое	—20
	величина параметра	мм вод. ст.	—1,0	—	—	ср. ур.
		кгс/см²	—	—	—	—
7. Диапазон действия задатчика	0% (—20%)	мм вод. ст.	—1,0	—	—	ср. ур.
		кгс/см²	—	—	—	—
	100% (+20%)	мм вод. ст.	—5,0	—	—	+40 мм
		кгс/см²	—	—	—	—
8. Величина параметра при настройке датчиков регуляторов на ОмВ	Разрежение	мм вод. ст.	—1,0	—	—	—
	Воздух	мм вод. ст.	—	25	—	—
	Уровень	мм	—	—	—	средний
	Р газа на горелках	мм вод. ст.	—	265	—	—
	ΔР газа на шайбе	мм вод. ст.	—	25,5	—	—
	Р мазута	кгс/см²	—	3,3	—	—
	Р пара	кгс/см²	—	—	10,0	—
9. Чувствительность по каналу	K_1	дел	0,4	0,3 (газ)	0,5	0,45
	K_2	дел	—	0,5 (воз)	—	—
	K_2	дел	—	0,45 (маз)	—	—
10. Зона нечувствительности регуляторов	Н	%	1,0	2,0	2,5	1,0
	параметр	мм вод. ст.	±1,0	±5,0	—	±5
		кгс/см²	—	—	±0,5	—
11. Длительность импульса $t_{имп}$		с	0,3	0,2	1	0,8
12. Коэффициент пропорциональности — $K_п$		%	8	5,5	12	10
13. Время изодрома — $T_и$		с	5	10	130	180
14. Демпфер — $T_д$		с	2	2	—	—
15. Номинальные постоянные величины основных параметров котельной	Р пара	кгс/см²	—	—	10	—
	Р газа	мм вод. ст.	—	400	400	—
	Р воды	кгс/см²	—	—	—	13,0
	Р мазута	кгс/см²	—	22,0	22,0	

Примечание. 1) числовые данные приведены ориентировочно; 2) данную форму можно применять и для регуляторов вспомогательного оборудования.

Глава 18. РЕГУЛЯТОР СООТНОШЕНИЯ «ТОПЛИВО — ВОЗДУХ»

Назначение — поддерживать заданное соотношение между количеством топлива и воздуха во всем диапазоне изменения подачи топлива, которое определяется по графику. Необходимые данные получают при теплотехнической наладке котла и выдаются службе КИПиА за подписью начальника котельной.

Для полного сжигания топлива используются несколько технологических зависимостей между топливом и воздухом. Исходя из этого, строятся и схемы автоматического регулирования: «расход (давление) топлива — расход (давление) воздуха» (сокращенно «топливо — воздух»); «расход пара — расход (давление) воздуха»; «положение РО топлива — расход (давление) воздуха» и «количество кислорода O_2 в уходящих газах — количество воздуха».

Оптимальное количество воздуха будет выдерживаться, когда измеряется не только расход топлива, но и его качественные показатели: состав, температура, влажность и т. д. Наиболее точно это учитывается САР подачи воздуха, удерживающей избыток (1,0÷1,5%) кислорода O_2 в уходящих газах. Однако из-за сложности измерения кислорода наиболее часто применяется схема регулирования соотношения «топливо — воздух».

Количество топлива можно определить двумя методами: прямым измерением и косвенным.

Прямое измерение осуществляется с помощью установленного расходомерного узла или счетчика на газо- и мазутопроводах к котлу. Наиболее чаще по проектам устанавливается расходомерная шайба на газопроводе с подключением к ней дифманометра колокольного типа ДКО с дифференциально-трансформаторным преобразователем. Но более удобен в эксплуатации дифтягомер типа ДТ2, не требующий заливки масла, периодического контроля его уровня и занимающий значительно меньше места.

Косвенное измерение количества топлива заключается в измерении давления непосредственно на мазутной форсунке или на газовой горелке при постоянном сечении их выходных отверстий. Такой метод измерения предусматривает и режимная карта котла. Поэтому при испытании котла и наличии расходомерных узлов наладчикам необходимо одновременно записывать как давление топлива, так и его расход (при наличии показывающего расходо-

мера) или перепад на расходомерной шайбе (по временному или установленному постоянно дополнительному U-образному манометру на газе).

Для системы регулирования способ измерения количества топлива не имеет большого значения. Но от этого значительно зависит качество сжигания топлива. Причин, влияющих на нормальную работу регулятора соотношения «топливо — воздух» (в дальнейшем — регулятор воздуха), при измерении давления топлива, а не расхода, несколько.

Во-первых, выходное сопло распылителя мазута газомазутных горелок типа ГМГм, которыми оборудуются котлы ДКВР, и типа ГМГ-П, предназначенных для котлов ДЕ, рассчитано до 2000 часов работы при нормальной фильтрации топлива и режиме работы сопла. Если эти требования не выдерживаются, то сопло увеличивается и при том же давлении через него проходит больше мазута. В этом случае воздуха нужно больше, но так как САР контролирует только давление, то количество воздуха не изменится, что приведет к неполному сгоранию топлива.

Во-вторых, сопла форсунок и газовые отверстия забиваются, что ведет к росту давления на них. Но одновременно уменьшается количество топлива, а регулятор будет держать воздуха больше необходимого, согласно давлению, что приведет к охлаждению топки и снижению паропроизводительности котла, т. е. к.п.д. котла.

В-третьих, у котлов ДКВР устанавливаются по 2-е горелки, а у ДКВР-20 — 3, и контролировать давление топлива для регулятора воздуха можно только на коллекторе (на общем трубопроводе топлива) после РО. При полностью открытых ручных вентилях давление топлива на коллекторе и на горелках будет одинаковое. Если один из вентилей будет открыт не полностью, то давление топлива за ним будет меньше, а значит, и расход топлива меньше, и воздуха надо меньше, но при этом давление на коллекторе будет больше, и тогда регулятор воздуха будет не уменьшать подачу воздуха, что необходимо, а увеличивать.

Контролировать правильность работы регулятора воздуха можно (при замере давления топлива) по графику оптимального соотношения «топливо — воздух», но качество сжигания топлива при таком косвенном замере расхода топлива не гарантируется, да и проконтролировать его без газоанализаторов дымовых газов, которые не предусмотрены проектами, сложно.

Следовательно, более качественное сжигание топлива

гарантировано при измерении его расхода. Причем не только при изменении расхода с помощью РО системы регулирования, но и ручными вентилями, а также при изменении состояния любого элемента тракта подачи топлива.

Количество воздуха, подаваемого в топку, обычно измеряется по давлению воздуха в воздуховоде перед котлом. Если на воздуховоде к котлам ДЕ нет ручных заслонок, т. к. горелка одна, то у котлов ДКВР горелок две или три, и из общего воздуховода имеются ответвления к каждой горелке с ручными заслонками для перераспределения количества воздуха. Поэтому можно измерять количество воздуха по величине давления в общем воздуховоде к котлам ДЕ, а к котлам ДКВР нужно знать точное и постоянное положение ручных заслонок, иначе всякое их отклонение от заданного положения изменит соответствие между давлением воздуха и его количеством. Например, если прикрыть ручные заслонки на горелках, то давление воздуха в общем воздухопроводе возрастет, что как бы свидетельствует об увеличении количества воздуха от первоначального положения ручных заслонок и регулятор будет прикрывать направляющий аппарат вентилятора, хотя на горелки идет меньше воздуха и нужно наоборот увеличивать подачу воздуха.

Точное положение ручных заслонок на воздуховодах к горелкам (если они имеются) должно быть отражено в табл. 15 «Параметры настройки САР», п. 8. Эти положения нужно выдерживать как при наладке, так и при эксплуатации, и любое изменение положения ручных заслонок требует проведения нового испытания котла на качество сжигания топлива и настройку регулятора воздуха.

Чтобы исключить влияние ручных заслонок на изменение динамического сопротивления воздуховода и горелки, необходимо измерять расход воздуха. Однако формы сечения воздуховодов и их размеры удорожают и усложняют изготовление и установку измерительных диафрагм. Для систем автоматического регулирования был рассчитан ранее и заложен в типовые проекты измеритель расхода воздуха, дымовых и доменных газов — мультипликатор «ОРГРЭСа», основанный на использовании двухступенчатых труб Вентури. Получаемый при этом перепад давления соизмерим с перепадом давления нормальных диафрагм, но значительно выше, чем у трубок Пито (устройства, состоящего из двух трубок для замера статического и динамического давления в воздуховоде).

Прежде чем приступать к настройке регулятора воздуха, нужно выполнить полностью все подготовительные работы (см. программу настройки САР — стр. 125), иметь параметры настройки, характеристику (график) РО вентилятора (направляющего аппарата) и, главное, график соотношения «топливо— воздух».

Рассмотрим работу регулятора воздуха, представленного на рис. 52. Регулятор предусмотрен для поддержания соотношения «газ — воздух» или «мазут — воздух», что определяется переключателем, который устанавливается оператором котла в положение, соответствующее виду используемого в данный момент топлива. Переключатель топлива одновременно подключает к схеме регулирования определенный датчик топлива, а к схеме автоматики безопасности котла датчик — сигнализатор вида топлива и клапан-отсекатель на газо- или мазутопроводе. Если же в регуляторе давления пара используется два исполнительных механизма, то рабочий также выбирается переключателем топлива.

Работу регулятора рассмотрим на примере «газ — воздух». График этого соотношения (рис. 53), выданный после окончания режимной наладки котла, предусматривает одно соотношение между количеством газа и воздуха, поэтому задатчик должен быть выключен. Датчик расхода газа преобразует измеряемый перепад давления на диафрагме в электрический сигнал и посылает на усилитель, где он сравнивается с электросигналом датчика давления (расхода) воздуха.

Настройкой добиваются, чтобы при данном расходе газа в топку подавалось определенное количество воздуха согласно графику. При этом сигналы датчиков должны быть равны, но противоположны по фазе — тогда на входе усилителя суммарный сигнал равен нулю и САР находится в покое. Всякое изменение расхода газа вызовет изменение электросигнала датчика расхода, и регулятор должен восстановить вновь соотношение сигналов датчиков, т. е. соотношение «газ — воздух».

Из рассмотренного видно, что расход газа является задающим параметром для регулятора воздуха, изменяющего подачу воздуха вслед за изменением расхода газа (мазута). Значит, регулятор воздуха является следящим.

Рассмотрим графики соотношений «газ — воздух» и «мазут — воздух». Во-первых, выражены должны быть графики в тех зависимостях, которые измеряются датчи-

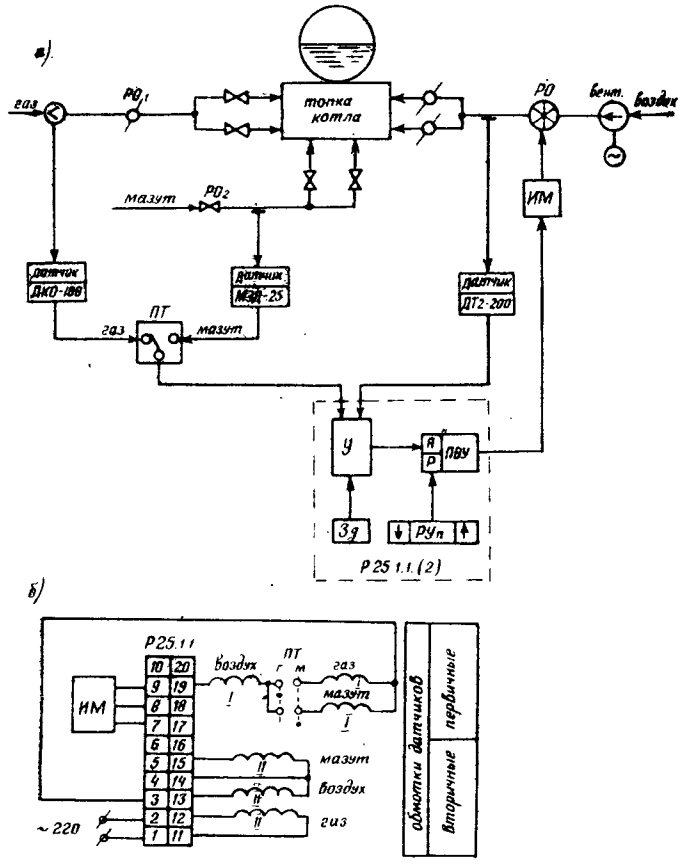


Рис. 52. Регулятор соотношения «топлнво — воздух»:
а) технологическая схема; б) электрическая схема.

ками. Например, по режимной карте воздух зависит от давлеиия газа, а в САР измеряется расход газа. Значит, или при снятии режимной карты сразу фиксировать и перепад на измерительном узле, или, воспользовавшись расходной характеристикой газовой заслонки (рис. 51), произвести переход с измерения давления на измерение расхода.

Во-вторых, графики соотношения должны быть пропорциональные, линейные, т. к. криволинейную зависимость без дополнительных приспособлений рассматриваемая

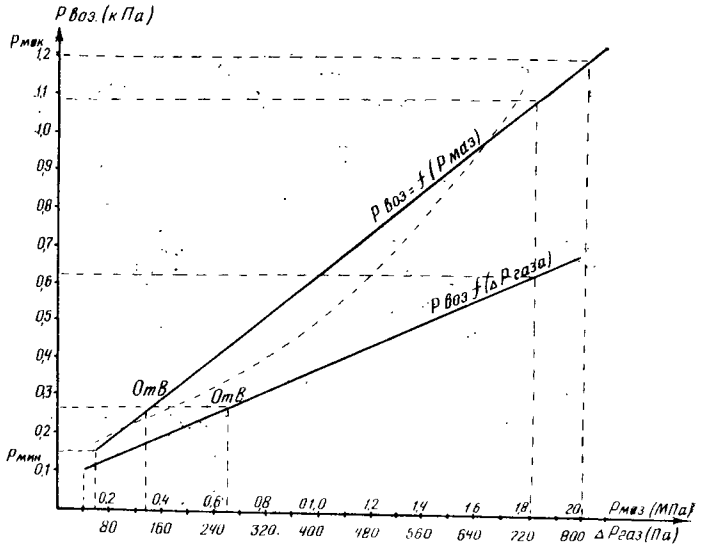


Рис. 53. Графики соотношения «топливо — воздух».

САР выдержать не может (пунктирная линия на рис. 53). Поэтому технологи должны спрямить, линеаризировать графики и выбрать оптимальный вариант с учетом наиболее чаще встречающихся нагрузок котла.

Статическая настройка регулятора.

1. Для окончательной **настройки сочленения ИМ с РО** (направляющего аппарата) вентилятора необходимы расходная характеристика РО и параметры настройки САР. Из табл. 15 определяем рабочую зону РО вентилятора:

минимальное давление перед котлом — 0,15 кПа (15,0 мм вод. ст.);

максимальное давление перед котлом — 1,2 кПа (120 мм вод. ст.).

По форме характеристики направляющего аппарата вентилятора выбираем нужный вид кинематики сочленения его с ИМ, чтобы спрямить характеристику (рис. 44 а, б).

Кинематическую схему сочленения выполняем в пределах рабочей зоны РО вентилятора, которую определяем из расходной характеристики РО (раздел 2, глава 10), снятой при производстве подготовительных работ. При этом нужно помнить, что ИМ должен проходить 100% своего хода, а РО — только в пределах рабочей зоны.

2. **Проверку работоспособности датчиков, линий связи, отборных устройств, импульсных трубопроводов** производим на действующем котле, используя регулирующий блок Р25 как нуль-индикатор (прибор, показывающий состояния баланса или отклонение от него в одну из сторон).

Подготовим блок Р25 к работе: установим на внешнем клеммнике сопротивление 2,2 кОм (клеммы 17 и 18) и закоротку задатчику (клеммы 6 и 17); нажать кнопку закона регулирования «Поз», ручки все установить на 0.

Так как у нас используется 3 датчика (воздуха, газа и мазута), хотя могут и быть два при одном виде топлива, то проверять работоспособность датчиков нужно поочередно.

Датчик расхода газа — чувствительность K_1 устанавливаем 0,4 ... 0,6; при данном расходе газа балансируем блок корректором (если не получается — уменьшаем K_1); вручную или дистанционным управлением изменяем расход газа в любую сторону на небольшую величину. Контролируем процесс по изменению давления газа на горелках. При исправности цепи измерения должен включиться один из светоиндикаторов, в противном случае необходимо подетально проверять измерительную цепь.

Датчики давления воздуха и мазута проверяются таким же образом, только вводится чувствительность проверяемого датчика, а другие должны быть установлены на нуль.

3. **Демпфирование** измеряемого параметра. В регуляторе «топливо — воздух» давление воздуха перед котлом колеблется с частотой и величиной, затрудняющими пользование показывающими приборами и светоиндикаторами блока. Для уменьшения влияния колебаний необходимо произвести работы, изложенные в разделе 3, глава 13, п. 3.

4. **Фазировка сигналов датчиков** контролируется по светоиндикаторам блока Р25. Перед этим нужно мысленно связать изменение параметра, контролируемого датчиком, с включением определенного светоиндикатора, который указывает направление выходного сигнала на ИМ.

С увеличением подачи топлива, например, нужно увеличить подачу воздуха. Значит, с увеличением топлива от сигналов их датчиков на блоке Р25 при условии баланса должен включиться светодиод «больше» (↑) — выходной сигнал через ИМ будет открывать РО вентилятора.

Фазировку датчиков топлива производим следующим образом:

а) кнопку закоиа регулирования нажать — положение «Поз»;

б) все ручки настройки установить на 0;

в) чувствительность по каналу проверяемого датчика установить 0,3 ... 0,5 делений;

г) при действующей величине проверяемого параметра и полностью открытых ручных вентилях после РО топлива корректором сбалансировать усилитель;

д) с помощью оператора котла увеличить, например, подачу топлива, при этом на блоке регулятора воздуха должен включиться световой сигнал «больше» (↑) (увеличить подачу воздуха), что говорит о правильной фазировке сигнала датчика топлива;

е) если включится светоиндикатор «меньше» (↓), что не соответствует требованиям технологии сжигания топлива, то необходимо на заднем, внешнем клеммнике блока Р25 поменять местами концы вторичной обмотки проверяемого датчика и затем вновь повторить проверку;

ж) в том же порядке проверить и фазировку сигнала датчика другого вида топлива.

При фазировке сигнала датчика давления воздуха нужно руководствоваться следующими соображениями: сигнал с датчика воздуха должен быть в противофазе сигнала датчика топлива, иначе невозможио достичь баланса при соответствии количества топлива и воздуха. При балансе топлива и воздуха увеличение давления воздуха, например, должно вызвать работу регулятора воздуха на уменьшение подачи воздуха, на величину, превышающую необходимую.

Порядок проверки фазировки такой же, как и для датчиков топлива, только при увеличении давления воздуха, что определяется по щитовому напоромеру, должен включиться световой сигнал «меньше» (↓), иначе концы вторичной обмотки датчика на внешнем клеммнике блока Р25 нужно поменять местами и опять проверить фазировку, т. к. возможна случайная ошибка при переключении концов обмотки датчика.

5. **Настройка датчиков.** Основой для настройки датчика регулятора воздуха являются графики соотношения «газ — воздух» и «мазут — воздух» (рис. 53). Для того чтобы регулятор выдерживал нужную зависимость между топливом и воздухом, сигналы от датчиков должны находиться в определенной пропорции (соотношение), что определяется настройкой датчиков и выбором положения ручек чувствительности (делителя напряжения сигнала вторичиой обмотки датчнка). Через две точки можно провести только одну прямую. Руководствуясь этим, на графике определим две точки настройки.

Первая — настройка датчика на его выходной сигнал, равный 0 мВ. Так как воздух — параметр для обоих видов топлива общий, то и первая точка настройки датчика воздуха должна быть одна. Она должна находиться на графике между минимальными и средними значениями параметров. Для этого, например, на ординате воздуха возьмем давление, равное 0,25 кПа (25 мм вод. ст.) и проведем горизонтально пунктирную линию до пересечения ее с графиками. Точки пересечения определяют величины параметров, при которых с датчиков топлива должны поступать сигналы, равные 0 мВ. Так как в качестве прибора настройки датчиков мы будем использовать блок Р25, то точность настройки датчика определится его чувствительностью.

Первая точка настройки (на 0 мВ) имеет следующие координаты для нашего примера:

давление воздуха — 0,25 кПа (25 мм вод. ст.);

перепад газа на диафрагме — 255 Па (25,5 мм вод. ст.).

Порядок настройки датчика на 0 мВ рассмотрим на примере датчика воздуха:

а) ручки настроек установить на 0;

б) кнопку закона регулирования нажать — положение «Поз»;

в) корректором сбалансировать блок — определить по светоиндикаторам;

г) установить с блока Р25 давление воздуха, равное 0,25 кПа (25 мм вод. ст.), что проконтролировать по щитовому прибору;

д) чувствительность по каналу датчика воздуха установить больше 0,5;

е) не изменяя нничего на блоке и контролируя постоянство давления воздуха, перемещать катушку датчика до тех пор, пока сигнал не станет близкий к 0 мВ, что определяется по балансу блока — оба световых сигнала не работают;

ж) иногда при подходе к балансу блок попадает в автоколебательный процесс, что не позволяет точно настроить датчик на 0 мВ, тогда нужно ввести постоянную времени демпфирования ручкой «демпфер» и продолжить настройку датчнка.

На этом настройка датчика воздуха окончена, все ручки необходимо вернуть в исходное нулевое положение.

Настройка датчиков топлива производится в том же порядке: устанавливается нужная величина параметра для каждого датчика в отдельности и выбирается определенное положение переключателя топлива ПТ.

Вторую точку графиков желательно выбирать ближе к концу рабочей зоны. На графике $P_{воз}=f\ (P_{маз})$ (зависимость давления воздуха от давления мазута) возьмем вторую точку настройки с координатами: $P_{маз}=1{,}8$ МПа (18 кгс/см^2) и $P_{воз}=1{,}12$ кПа (112 мм вод. ст.). Порядок настройки следующий:

а) исходное положение всех ручек настройки — на 0;

б) кнопки нажать;

в) корректором сбалансировать блок;

г) ручку чувствительности по каналу датчика воздуха установить, например, на отметку 0,5;

д) по щитовому напоромеру проконтролировать давление воздуха и сделать равным 1,12 кПа;

е) ключ ПТ установить в положение «мазут».

ж) давление мазута поднять до 1,8 МПа, при полностью открытых ручных вентилях на форсунках;

з) теперь ручку чувствительности по каналу датчика мазута постепенно поворачивать вправо до баланса блока, например, 0,45.

Рассмотрим полученные данные.

1) Найденные положения ручек чувствительности по каналу воздуха 0,5 и по каналу мазута 0,45 говорят о том, что при этих положениях ручек и выбранных координатах параметров точки соотношения, доли сигналов от каждого датчика равны (это видно из состояния баланса блока).

2) После произведенной настройки между давлениями мазута и воздуха будет выдерживаться постоянное соотношение (пропорциональность) как в выбранной точке настройки, так и в любой другой точке характеристики, например, $P_{воз}=0{,}63$ кПа (63 мм вод. ст.) и $P_{маз}=1{,}0$ МПа (10 кгс/см^2) (рис. 53).

Продолжим настройку регулятора воздуха для топлива — газ. Возьмем вторую точку настройки (первая отмечена на графике — 0 мВ), например, $\Delta P_{газа}=720$ Па (72 мм вод. ст.), при этом $P_{воз}=0{,}62$ кПа (62 мм вод. ст.). Порядок настройки регулятора соотношения «газ — воздух» следующий:

а) все ручки настройки остаются в том же положении, что найдены при работе с мазутом;

б) переключатель вида топлива ПТ поставить в положение «газ». При этом в питании первичных обмоток датчиков произойдет переключение: последовательно с первичной обмоткой датчика давления воздуха вместо датчика давления мазута включится первичная обмотка датчика расхода газа (рис. 52 б);

в) дистанционным управлением с блока установить по щитовому напоромеру давление воздуха, равное второй точке настройки графика — $P_{воз}=0{,}62$ кПа (62 мм вод. ст.);

г) заслонкой на газопроводе или ручными вентилями на горелках установить по U-образному жидкостному манометру перепад на газовой диафрагме $P_{газа}=720$ Па (72 мм вод. ст.);

д) поворачивать вправо от нуля ручку чувствительности по каналу датчика расхода газа до тех пор, пока не будет баланса блока,— тогда будет найдено такое положение делителя сигнала, при котором величины сигналов датчика воздуха и газа при данных величинах параметров будут равны, а т. к. они находятся (согласно нашей фазировке) в противофазе, то они будут взаимоуничтожаться, и с элемента сравнения на усилитель сигнал поступать не будет. То есть таким образом достигается состояние баланса и оба светоиндикатора не работают.

Статическая настройка датчиков, согласно графикам соотношения «топливо — воздух», дала следующие положения ручек чувствительности по каналам датчиков в нашем примере: K_1(газ) $=0{,}3$; K_2(воз.) $=0{,}5$; K_3(маз.) $=0{,}45$.

6. Для настройки зоны нечувствительности регулятора воздуха обратимся к заданию по настройке регуляторов (табл. 15), из которой имеем: давление воздуха должно выдерживаться с точностью ± 50 Па (± 5 мм вод. ст.). Настройка производится следующим образом:

а) положения ручек настроек, полученные ранее,— не менять;

б) при любом виде топлива установить нужное, согласно графику, давление воздуха (должен быть баланс блока);

в) отклонить давление воздуха на 50 Па (5 мм вод. ст.);

г) при включении светоиндикатора ручку «зона» нечувствительности поворачивать вправо, пока не отключится световой сигнал, т. е. пока снова не будет баланса блока;

д) проверить величину отклонения давления воздуха в другую сторону и, если нужно, провести корректировку положения ручки «зона»;

е) если при отклонении от баланса давления воздуха светоиндикатор не включится, значит, нужно увеличивать чувствительность по каналу датчика давления воздуха, что вызовет, в свою очередь, перестройку датчиков топлива.

7. Выбор постоянной **времени демпфирования** регулятора производится в том случае, если механический демпфер, устанавливаемый на отборе давления воздуха (раздел 3, глава 2, п. 3) достаточен для показывающего прибора — напоромера на щите котла — и недостаточен для регулятора. То есть при полученных положениях ручек «зона» и чувствительности по каналу измерения давления воздуха происходит постоянное переключение световых сигналов блока. Тогда ручку «демпфер» поворачивать вправо от 0с до тех пор, пока блок перестанет чувствовать колебания давления воздуха.

8. Для **проверки качества настройки** нужно в автоматическом режиме регулятора воздуха задать ему 3—4 точки параметров топлива по графикам соотношения и проверить точность исполнения.

Однако на качество сжигания топлива влияет не только точность выдерживания нужного давления воздуха, но и чувствительность регулятора воздуха на изменение количества (давления) топлива, о чем в режимных картах котлов не говорится. Поэтому при неудовлетворительном качестве сжигания топлива с технологической службой нужно уточнить вопрос чувствительности регулятора воздуха, т. е. определить зоны отклонения топлива по всей протяженности графиков соотношения «топливо-воздух», выход из которых должен вызывать изменение количества воздуха. В таком случае может возникнуть необходимость в увеличении чувствительности по одному или обоим каналам датчиков топлива, что потребует снова выполнить статическую настройку регулятора.

При работе на одном виде топлива переключатель топлива ПТ установить в нужное положение постоянно и произвести статическую настройку регулятора по примеру соотношения «мазут — воздух».

Динамическая настройка регулятора

По динамическим свойствам тракт подачи воздуха в топку котла является объектом с малым запаздыванием, малоинерционным. Поэтому можно использовать интегральный И-регулятор (астатический). Недостатком этого закона регулирования является затягивание процесса и ухудшение качества регулирования в динамике.

При взаимодействии И-регулятора и объекта регулирования необходимо согласовать скорость перемещения РО (равна или меньше) со скоростью изменения регулируемой величины. Это соотношение выдерживается, например, для гидравлического исполнительного механизма типа ГИМ, у которого время полного хода 40 с при угле поворота рычага 60°. В противном случае ИМ достигнет крайнего положения раньше, чем исчезнет отклонение регулируемой величины ΔX, и станет перемещаться из одного крайнего положения в другое, раскачивая систему. Это происходит при использовании электрических ИМ типа МЭО с углом поворота 90° и временем полного хода 25 с.

Если есть возможность снять разгонную характеристику объекта по давлению воздуха и определить постоянную T_o, характеризующую инерционность объекта, то можно определить оптимальное значение постоянной времени интегрирования ($T_и$) : $T_и^{опт} = 0{,}19\ T_o$, которое является единственным настроечным параметром И-регулятора.

Регулирующие блоки Р25 могут быть использованы как И-регуляторы с постоянным значением $T_и$, определяющим скорость ИМ, если $T_и \leqslant T_п^{опт}$, что на практике выдерживается при ИМ типа ГИМ или других, имеющих скорость менее 0,6 с/град. Для управления более скоростными ИМ используется блок Р25 с ПИ-законом регулирования, который требует знания коэффициента пропорциональности $K_п$ и времени изодрома $T_и$. Определение их изложено в разделе 1, глава 5 и в разделе 3, глава 14.

В практике настройки таких регуляторов применяется итерациональный метод (метод последовательного приближения). Для этого выполняют следующие операции, например, на работающем котле.

1. При полученных положениях ручек после статической настройки ручки $K_п$, $T_и$ и $t_{имп}$ установить в крайнее левое положение, кнопку $T_и$ — отжать.

2. Добиться состояния баланса при любом виде топлива, изменяя подачу воздуха вручную с блока регулирования.

3. Ручным управлением с блока регулятора воздуха постепенно увеличивать, например, подачу воздуха до тех пор, пока не включится светоиндикатор.

4. Перевести кнопку закона регулирования в положение «ПИ», при этом светоиндикатор должен работать в импульсном режиме (0,1 с). Если происходит переброс светового сигнала, то нужно увеличить $K_п$ до прекращения переключения световых сигналов.

5. Переключатель вида управления ПВУ установить в положение «А» (автоматическое). После этого ИМ начнет импульсами двигаться. Если регулятор не войдет в автоколебательный режим, то длительность импульса нужно увеличивать, а затем окончательно уменьшить в два раза. Если при минимальной длительности импульса $t_{имп}=0{,}1$ с происходит переброс светосигналов, значит, нужно уменьшить частоту импульсов, что достигается за счет увеличения времени изодрома $T_и$. Быстродействие системы регулирования зависит от $K_п$.

Общее качество работы регулятора в переходном процессе будет зависеть от взаимных влияний $K_п$, $T_и$ и $t_{имп}$. Эти настроечные параметры можно определять и на неработающем котле при включенных дымососе и вентиляторе, добиваясь баланса корректором и повторяя все операции в той же последовательности, только по окончании динамической настройки корректор должен быть возвращен в исходное положение (баланс блока при исходных положениях ручек его настроек).

Экспериментально определенные значения настроек котла ДЕ-25/14 приведены в табл. 16: $K_п=5{,}5$%; $t_{имп}=0{,}2$ с; $T_и=10$ с.

Настройка регулятора воздуха заканчивается его проверкой на всех режимах нагрузки котла на любом виде топлива. При этом проверяется качество регулирования и уточняются настроечные данные, согласно точности подачи воздуха, используя графики соотношения «топливо — воздух», рекомендации в разделе 1, глава 5 и пояснения к графикам переходных процессов на рис. 16.

Окончательные данные настройки регулятора заносятся в табл. 16 «Уставки регуляторов».

Глава 19. РЕГУЛЯТОР РАЗРЕЖЕНИЯ В ТОПКЕ КОТЛА

Назначение — полное удаление продуктов сгорания независимо от величины нагрузки котла. Этого можно достичь при соответствии производительности дымососа в каждый момент производительности вентилятора и количеству топлива. Показателем такого соответствия является разрежение в топочной камере котла.

Избыточное давление в топке приводит к выбиванию газов и пламени из топки в помещение котельной. С увеличением же разрежения в топке резко возрастают присосы воздуха, снижающие экономичность работы котла за счет потерь с уходящими газами и увеличение расхода электроэнергии на тягу.

На регулятор разрежения возлагается задача поддержания постоянного разрежения — 30 Па (—3 мм вод. ст). с высокой точностью ±5 Па (±0,5 мм вод. ст.). Конкретная величина разрежения зависит от конструкции топки и места отбора импульса. Дело в том, что в различных по высоте зонах топки разрежение неодинаково. Согласно заводской инструкции на котлы ДКВР место отбора разрежения в топке должно быть на боковой стенке топки, располагающейся дальше от выходного окна, и находится на расстоянии $^1/_3$ ширины стенки от задней стены топки и $^1/_3$ высоты боковой стены от потолка топки. Для топок котлов типа ДЕ место отбора разрежения располагается с фронта котла в верхней части топки над горелкой (стр. 9 заводской инструкции на котел).

Основное требование к регулятору — максимально возможное быстродействие, так как топка как объект регулирования разрежения практически безынерционна.

При увеличении количества воздуха, подаваемого в топку, разрежение в топке уменьшится, одновременно снижается поступление воздуха через неплотности обмуровки. Это говорит о значительном самовыравнивании топки как объекта регулирования разрежения.

Из сказанного следует, что регулятор не должен иметь остаточной неравномерности и может быть простым по закону регулирования. Как правило, для котлов типа ДКВР и ДЕ ставят интегральный одноимпульсный регулятор разрежения.

Импульс разрежения подается из топки на дифтягомер ДТ2-50, где преобразуется в электросигнал и поступает на вход усилителя, где сравнивается с электросигналом задатчика $З_д$. Если действительная величина разрежения X равна заданной X_0, то отклонение, рассогласование $\Delta X=0$ и система регулирования находятся в установившемся режиме. При наличии рассогласования ΔX больше величины чувствительности усилителя, он подает команду на ИМ (в автоматическом режиме работы), который перемещает направляющий аппарат дымососа в определенном направлении, стремясь свести рассогласование к нулю.

Настройка регулятора.

Подготовительные работы нужно провести по программе раздела 3, глава 1. Необходимые данные для

качественной настройки регулятора содержатся в режимной карте, параметрах настройки САР и характеристике направляющего аппарата дымососа. Согласно табл. 15:

1) разрежение в топке—на растопку — —10 Па (—1 мм вод. ст.);

— рабочее — —25 Па (—2,5 мм вод. ст.);

— на вентиляцию — —50 Па (5,0 мм вод. ст.);

2) точность регулирования разрежения — ±10 Па (±1,0 мм вод. ст.);

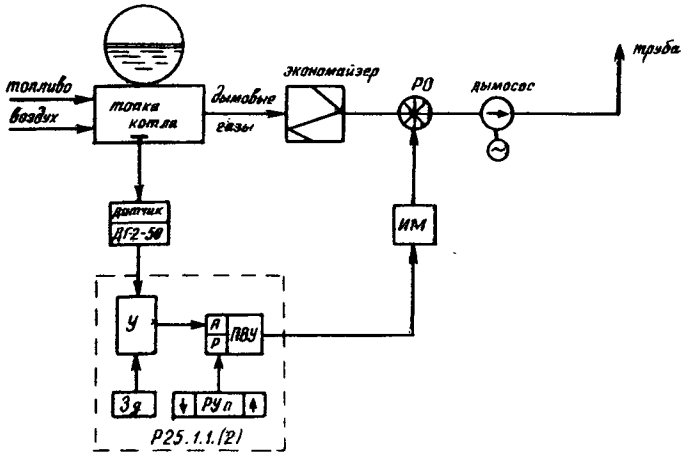


Рис. 54. Регулятор разрежения в топке котла.

3) ход РО дымососа по ручному фиксатору при максимальной нагрузке на котел — 70 мм (5 отверстий).

Использование хода направляющего аппарата, вместо максимального разрежения за экономайзером, отмеченного на его характеристике, объясняется тем, что характеристика РО снимается на холодном котле, а при его работе дымовые газы имеют меньшую плотность. И для создания тех же 30 Па разрежения в топке на работающем котле нужно открыть направляющий аппарат дымососа на большую величину, чем на неработающем. Настройку же сочленения ИМ с РО можно производить только на неработающем котле.

Статическая настройка регулятора.

По окончании подготовительных работ можно приступать к дальнейшей наладке регулятора.

1. Для правильного **сочленения РО** (направляющего

аппарата) дымососа с **ИМ** имеем форму характеристики и его рабочую зону:

а) минимальное разрежение в топке (закрытое положение РО) при давлении воздуха за вентилятором 0,15 кПа (15 мм вод. ст.) равно —10 Па (—1 мм вод. ст.);

б) максимальный ход РО дымососа по ручному фиксатору равно 70 мм (5 отверстий).

Обратимся для нашего примера к характеристике РО (рис. 42). Его рабочая зона располагается между 1-м и 5-м отверстиями ручного фиксатора на колесе направляющего аппарата дымососа. Значит, ИМ должен пройти 100% своего хода, а РО только 57% своего хода.

Из-за нелинейности формы характеристики РО необходимо применить виды сочленения согласно рис. 44а, б, чтобы спрямить по возможности характеристику.

2. **Проверка работоспособности датчика** разрежения в топке производится с помощью блока Р25 и состоит из двух этапов.

Сначала проверяется подключение всех приборов измерения разрежения к импульсной линии (сигнализатора разрежения автоматики безопасности, датчика регулятора и тягонапоромера на щите котла), а также подключение импульсной трубы к отбору в топке котла.

Затем необходимо:

а) установить на внешнем клеммнике сопротивление 2,2 кОм на клеммы 17 и 18 (если блок не переделан, можно установить перемычку);

б) все ручки поставить в исходное положение — на 0 или влево до упора;

в) при включенном дымососе установить ручку чувствительности по каналу датчика разрежения на отметку 0,4...0,6;

г) корректором и задатчиком сбалансировать блок согласно светоиндикаторам;

д) управлением с блока регулятора изменить разрежение в топке. Значение проконтролировать по тягонапоромеру на щите — оно должно измениться на 2—3 деления шкалы прибора;

е) если включился любой светоиндикатор блока, то значит, что датчик, линии связи, отборы и импульсные линии работоспособны, но желательно повторить проверку еще раз.

3. Разрежение в топке колеблется, величина и частота колебаний в значительной мере мешает снимать показания приборов, настраивать датчики и регуляторы. Причин не-

сколько: импульсное, неравномерное горение топлива, турбулентное движение дымовых газов по тракту удаления, влияние погодных условий и т. д.

Для уменьшения влияния колебаний разрежения в топке на средства и приборы автоматики нужно в месте отбора установить механический фильтр — дроссель в виде шайбы с отверстием диаметром примерно 1,0 мм. При работающем котле качество демпфирования определяется по показывающему прибору — напоромеру. Колебание стрелки должно быть в пределах ±1 деления шкалы прибора. Если колебаний нет или они меньше одного деления, то необходимо отверстие постепенно увеличивать, так как в противном случае появится искусственно созданное транспортное запаздывание в канале измерения (это значительно повлияет на измерение и регулирование) и потребуется его компенсация.

4. Для **фазировки датчика** нужно решить, что должен делать регулятор, если разрежение в топке отклонится от заданного значения. Если, например, разрежение стало больше, то регулятор должен прикрывать РО дымососа. На блоке при этом включится световой сигнал «меньше» (↓). Порядок фазировки следующий:

а) фазировку можно проводить на работающем котле с помощью оператора или на перерабатывающем при включенных вентиляторе и дымососе;

б) все ручки находятся в исходном положении, кнопки нажаты;

в) чувствительность по каналу датчика разрежения, например K_1, установить на отметку 0,5...0,8;

г) создать разрежение в топке — 10 Па...—50Па (—1...—5 мм вод. ст.);

д) сбалансировать корректором и задатчиком блок;

е) увеличить, например, разрежение в топке. При этом должен включиться светоиндикатор «меньше» (↓).

ж) для точности повторить операции еще раз на другой величине разрежения, но желательно в ту же сторону выполнить отклонение; при повторении того же сигнала управления с блока фазировка окончена.

5. Согласно режиму работы регулятора разрежение может задаваться от —10 Па (—1 мм вод. ст.) до —50 Па (—5 мм вод. ст.).

Возьмем величину разрежения для **настройки датчика** —10 Па (—1 мм вод. ст.). Выходной его сигнал тогда должен быть равен 0 мВ. Для этого следует выполнить следующее:

а) установить разрежение в топке по показывающему щитовому прибору равное —10 Па (—1 мм вод. ст.);

б) задатчик установить в крайне левое положение (—20%);

в) все ручки находятся в исходном положении, кнопки нажаты;

г) корректором сбалансировать усилитель, сигнал с задатчика получится равным 0 мВ;

д) чувствительность по каналу датчика установить 0,5;

е) теперь, перемещая катушку датчика ДТ2-50, добиться баланса блока — датчик настроен на выходной сигнал 0 мВ при разрежении в топке —10 Па (—1 мм вод. ст.).

6. Согласно параметрам настройки имеется три рабочие точки регулятора. Поэтому его задатчик должен работать. Разрежение, равное —10 Па (—1 мм вод. ст.), обеспечивает отсутствие отрыва пламени при растопке. Величина —50 Па (—5 мм вод. ст.) необходима перед розжигом для хорошей вентиляции топки.

Значит, диапазон задатчика должен быть в этих пределах, т. е. при движении от одного упора (—20%) до другого (+20%) задатчик должен задавать разрежение только требуемых величин.

Как отмечалось ранее, изменять диапазон задатчика заводом не предусмотрено, что не всегда отвечает требованиям технологии. После переделки блока есть возможность с помощью сменных резисторов подбирать нужный диапазон задатчика или подключать магазин сопротивлений и изготавливать подобранное на нем сопротивление. На практике удобней пользоваться готовым резистором величиной 100—120 Ом, мощностью 0,125 Вт.

Для **настройки диапазона задатчика** требуется выполнить следующее:

а) выставить все ручки настройки в исходное положение, кнопки нажать;

б) на внешнем клеммнике переделанного блока установить шунт-резистор, например, 120 Ом (клеммы 6 и 17) и 2,2 кОм (17 и 18);

в) задатчик установить влево на упор (—20%);

г) корректором сбалансировать блок по светоиндикаторам;

д) повернуть задатчик вправо до упора (+20%), соответствующего максимальному заданию —50 Па (—5 мм вод. ст.);

е) установить по щитовому тягонапоромеру разрежение в топке, равное —50 Па (—5 мм вод. ст.).

ж) постепенно поворачнвать ручку чувствнтельности по каналу датчика до баланса блока;

з) если чувствительность получится менее 0,2, то нужно шунт задатчика увеличить, так как максимальный сигнал с задатчика по величине мал и поэтому взята малая (0,2) доля сигнала датчика. Это может привести к тому, что чувствительность регулятора будет перекрывать требуемую по заданию зону нечувствительности, т. е. не будет выдерживаться при такой чувствительности точность поддержания регулируемого параметра;

и) если чувствительиость получится более 0,9, то шунт задатчика нужно уменьшить, так как может не хватить велнчины регулируемой зоны нечувствительности и придется значительно увеличивать постоянную времени демпфирования, иначе будут сильио сказываться колебания разрежения;

к) при замене шунта задатчика настройку его зоны необходимо провести снова.

Настроенный в нужном диапазоне задатчик позволяет оградить регулятор от случайного или «экспериментального» такого задания, при котором он создаст аварийную ситуацню, и тогда автоматика безопасности остановит работу котла.

7. **Зоиа нечувствительиости**, определяемая по заданию на настройку САР и равная ±10 Па (±1,0 мм вод. ст.), настраивается следующим образом:

а) ручкн настройки должны находиться в том положении, которое получилось после настройки диапазона задатчика;

б) установить разрежение в топке, например, —20 Па (—2 мм вод. ст.);

в) сбалансировать блок задатчиком;

г) отклонить разрежение в любую сторону на величину точности поддержания его — на 10 Па (1 мм вод. ст.);

д) если включился однн из световых сигналов на блоке, то ручкой «зона» добнться баланса блока;

е) если ни один из светоиндикаторов не включился, то это означает, что величина измененного сигнала датчика, при изменении разрежения на 10 Па и данной величине чувствительности по каналу датчика, ниже чувствительности блока, нужно увеличить чувствительность, но при этом требуется увеличить шунт задатчика и произвести настройку диапазона задатчика снова, а тогда приступать к настройке зоны нечувствительности регулятора вновь.

Полученное значение зоны нечувствительности желательно проверить при отклонениях в обе стороны от состояния баланса блока для выбора оптимальной величины.

8. Если демпфирования импульса по разрежению с помощью механического дросселя для регулятора будет недостаточио и при этом будет происходнть переключение светоиндикаторов, то необходимо ввести электроиную **постоянную времени демпфироваиия** с помощью ручки «демпфер» иа субблоке Р-011 (поворачивать вправо до прекращения включения световых сигналов блока регулятора).

Все данные статической настройки заносятся в табл. 16 «Уставка регуляторов».

Динамическая настройка регулятора производится так же, как и регулятора воздуха, но необходимо, чтобы быстродействие регулятора разрежения было больше, чем регулятора воздуха, т. е. опережать его. Это значит, что при одинаковых ИМ время изодрома регулятора разрежения должно быть меньше, а $K_п$ — больше, чем у регулятора воздуха.

Настройка регулятора считается законченной при проверке его работоспособностн во всем диапазоне нагрузок котла.

Глава 20. РЕГУЛЯТОР УРОВНЯ ВОДЫ В БАРАБАНЕ КОТЛА

Назначеиие — поддерживать уровень воды в барабане постоянным с точностью ±5 мм при изменении расхода пара с котла от 10 до 120%.

Уровень воды в барабане является одним из основных регулируемых параметров паровых котлов. В равновесном состоянии участок питания котла характеризуется равенством между количеством поступающей воды и расходом пара с котла. Если это условие выдерживается, то уровень воды будет неизменным. Отклонение уровня происходит по следующим причинам: изменение подачи воды, расхода пара, теплонапряжения топки и давления пара в барабане. Отклонения уровня от среднего положения при его регулировании не должны превышать ±20—30 мм, так как в случае отказа регулятора достаточно 3—4 мин до упуска воды из барабана или его перепитки. Упуск воды приводит к разрыву экранных труб и выходу котла из строя;

перепитка барабана котла приводит к повышению давления пара, к забросу воды в паропровод, гидравлическим ударам и возможным разрывам паропроводов.

В то же время барабанный котел обладает рядом свойств, затрудняющих поддержание уровня в переходных режимах. При нанесении возмущения процесс изменения уровня характеризуется запаздыванием, «набуханием» и отсутствием самовыравнивания. В барабане котла регулируется уровень смеси пара и воды (эмульсии), удельный вес которой меньше удельного веса воды. Поэтому в котлах типа ДКВР и ДЕ, работающих на газе и мазуте, в случае резкого изменения нагрузки происходит изменение и уровня в ту же сторону, в чем и заключается явление «набухания». Иначе говоря, при повышении нагрузки увеличивается количество пара в экранных трубках, поэтому увеличивается и количество воды, вытесненной паром в барабан котла, что приводит к повышению уровня. «Набухание» тем больше, чем сильнее экранирован котел и меньше давление пара.

«Набухание» вредно сказывается на процессе регулирования. Так, при сбросе нагрузки подачу воды следует уменьшить, но уровень при этом понижается, и регулятор воздействует на увеличение подачи воды. К тому же поступление порции воды, имеющей низкую температуру, приводит к дополнительному снижению уровня. Первоначальное изменение уровня в сторону, противоположную знаку возмущения, приводит к запаздыванию регулирования.

Таким образом, задача регулирования уровня из-за отсутствия самовыравнивания, наличия «набухания» и запаздывания значительно усложняется.

Известны четыре схемы регулирования питания котлов, нашедших практическое применение: 1) одноимпульсный регулятор с жесткой обратной связью (пропорциональной), действующий по отклонению уровня в барабане котла; 2) двухимпульсный регулятор с импульсами по уровню воды и расходу пара, действующий по изменению и уровня, и расхода пара; 3) трехимпульсный регулятор с импульсами по уровню воды, расходу пара и поступлению воды, действующий по изменению уровня воды и расхода пара и воды; 4) одноимпульсный изодромный регулятор, действующий по отклонению уровня топлива в барабане котла.

Для котлов ДКВР и ДЕ производительностью до 25 т/ч и давлением 1,4 МПа (14 кгс/см^2) практически применяется одноимпульсный изодромный регулятор питания водой барабана котла. Схема такого регулятора представлена на рис. 55.

Питательная вода из деаэратора с давлением 0,02 МПа (0,2 кгс/см^2) подается на питательный насос, который поднимает давление воды до 1,5...2,0 МПа (15...20 кгс/см^2), чтобы преодолеть давление пара в барабане котла. Затем вода через регулирующий орган поступает в экономайзер, где она нагревается до температуры на 20...30°С меньше, чем температура котловой воды. Оттуда питательная вода поступает в барабан котла.

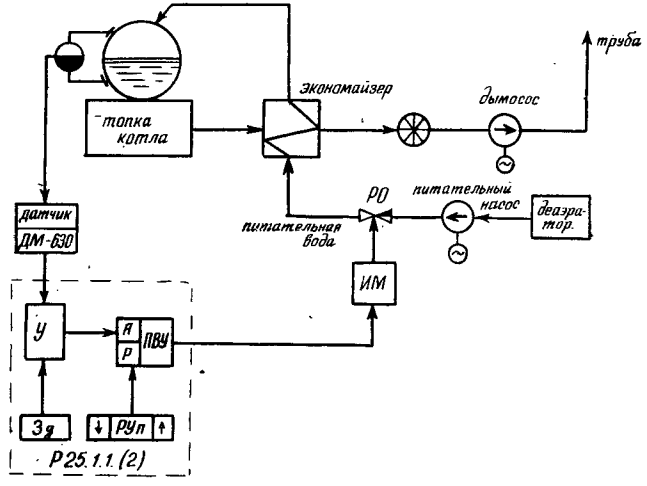


Рис. 55. Регулятор уровня воды в барабане котла.

Датчик уровня, дифманометр с перепадом 6,3 кПа (630 мм вод. ст.), подключается через уравнительный сосуд к барабану котла. В качестве регулирующего органа может использоваться регулирующий клапан ОРП-50, КРП-50-1 с исполнительными механизмами типа ГИМ, МЭО, МЭОК и др. Однако лучше использовать регулирующий клапан в комплекте с электроприводом типа ЕСПА-02-РГ, преимущества которого разбирались ранее.

Регулятор работает следующим образом. Датчик измеряет уровень топлива в барабане котла, преобразует его в электрический сигнал и посылает на усилитель, где он сравнивается с сигналом задатчика. При равенстве сигналов система регулирования находится в установившемся состоянии. При появлении сигнала рассогласования

$\Delta X = X - X_0$ регулятор, воздействуя на количество питательной воды, протекающей через РО, по ПИ-закону, восстанавливает равновесие системы.

Настройка регулятора

Настройка производится после окончания подготовительных работ и на работающем котле. Необходимые данные для настройки определим из табл. 15 «Параметры настройки САР». Диапазон регулирования уровня от среднего до +40 мм; точность ±5 мм; давление питательной воды перед РО — 1,3 МПа (13 кгс/см²).

Статическая настройка регулятора.

1. **Настройка сочленения ИМ с РО** производится, если применяется любой РО, кроме электроклапана типа ЕСПА-02-РГ. Сочленение можно производить при наличии расходной характеристики, но снять ее практически невозможно, так как отсутствуют расходомеры питательной воды. Поэтому на практике необходимо просчитать необходимое сечение РО и на работающем котле определить его регулировочную зону. Для этого закрыть полностью РО и заметить давление питательной воды по манометру до РО, а затем медленно перемещать его в сторону открытия и, как только давление на манометре начнет падать, сделать замер положения РО — это будет нижний предел регулирования. Перемещая дальше РО в сторону открытия, заметить по манометру до РО момент, когда давление перестанет падать. Это будет максимальная степень открытия РО. Используя полученные крайние положения РО, произвести сочленение ИМ с РО при условии, что ИМ проходит весь свой рабочий ход, а РО только в пределах, полученных при эксперименте. Пропуск воды в закрытом положении определит наименьшую нагрузку котла, при которой регулятор еще работоспособен. Степень максимального открытия РО необходимо уточнить при нагрузке на котел, составляющей 120% его мощности, и тогда провести корректировку сочленения ИМ с РО.

При наличии расходной характеристики РО выбирается рабочая зона для сочленения с ИМ, исходя из 120% нагрузки котла по расходу пара. Если в качестве РО используется регулирующий электроклапан типа ЕСПА-02-РГ, то конечные выключатели регулируются следующим образом: закрытое положение — после отключения электродвигателя путевым конечником должно быть еще 0,5 оборота хода ручного привода до упора, но можно плотность закрытия выполнить с помощью моментного выключателя; открытое положение клапана регулируется согласно величине рабочего хода, указанной на табличке корпуса клапана.

2. **Проверку работоспособности датчика** нужно начинать с уравнительного сосуда и импульсных линий к дифманометру. При открытых вентилях на дифманометре и закрытых продувочных вентилях через заливочную пробку уравнительного сосуда заполнить водой импульсные линии и уравнительный сосуд (дифманометр должен быть заранее заполнен по заводской инструкции), простучать трубки, чтобы удалить из них пузырьки воздуха и закрутить пробку. Открыть паровой (верхний) вентиль, соединяющий уравнительный сосуд с барабаном котла, а затем нижний водяной вентиль.

Теперь проверку датчика измерения уровня производить в следующем порядке:

а) установить ручки настройки влево на упор, кнопки нажать;

б) чувствительность установить по каналу датчика 0,5...0,7;

в) при данном уровне корректором и задатчиком сбалансировать блок;

г) при помощи операторов котлов изменить подачу воды в котел;

д) по водоуказательным стеклам котла определить изменение уровня. При этом должен включиться любой из светонидикаторов — значит, цепь измерения уровня работает нормально.

Если при этой проверке заметить направление изменения уровня по водоуказательному стеклу, то можно одновременно провести и **фазировку датчика** — при уменьшении уровня, например, должен включиться светоиндикатор «больше» (↑). Фазировку нужно провести в ту же сторону еще раз, так как уровень подвержен колебаниям и возможна при фазировке ошибка.

3. **Настройку датчика** нужно начинать с выбора величины параметра, при которой с датчика снимается сигнал, равный нулю. Согласно технологическому заданию минимальный уровень для задания регулятора — средний. На него и нужно настраивать датчик;

а) ручки настройки установить в исходное положение, кнопки нажать;

б) установить и удерживать средний уровень по водоуказательным стеклам;

в) задатчик установить на отметку — 0% и корректором сбалансировать блок;

г) чувствительность по каналу датчика установить 0,5...0,7;

д) перемещая катушку дифманометра, сбалансировать блок и законтрогаить положение катушки. Датчик настроен.

4. **Диапазон задатчика** согласно параметрам настройки равен 40 мм, начиная от среднего. Это значит, что положение задатчика —20% должно соответствовать среднему уровню, а положение +20% увеличит задание регулятору на 40 мм больше среднего уровня.

В этом случае необходимо подобрать определенный шунт задатчика; если же задана одна величина уровня, тогда задатчик нужно закоротить. Без рекомендуемой переделки в блоке в одном случае для нужного диапазона будет использоваться не вся шкала задатчика, а это значит, что можно будет задать и аварийные уровни; в другом (одна величина задания) задатчик нельзя будет трогать вообще, что маловероятно на практике, да и переходное сопротивление переменного резистора меняется со временем, что изменит сигнал задания.

Настройку диапазона выполним с помощью установки шунта задатчика в виде постоянного резистора и подбором определенной чувствительности по каналу датчика уровня:

а) ручки настройки установить в исходное положение, кнопки нажать;

б) подключить к клеммам 17 и 18 резистор 2,2 кОм, а к клеммам 6 и 17, например, 360 Ом — шунт задатчика;

в) задатчик поставить на отметку —20% (средний уровень);

г) корректором сбалансировать блок;

д) уровень в барабане котла поднять на 40 мм выше среднего и удерживать его постоянным;

е) задатчик перевести в крайнее правое положение (+20%);

ж) постепенно поворачивая ручку чувствительности по каналу датчика уровня, добиться баланса блока по светоиндикаторам (оба не горят);

з) если чувствительность получится меньше 0,2, то шунт задатчика нужно увеличить, если более 0,9 — уменьшить, но при этом необходимо вновь настроить диапазон задатчика.

5. **Точность удержания уровня** в барабане котла согласно заданию равна ±5 мм, т. е. зона нечувствительности регулятора должна соответствовать этому значению:

а) ручки настройки оставить в положениях, полученных при определении зоны работы задатчика;

б) при нормальном уровне воды в барабане котла задатчиком сбалансировать блок;

в) отклонить уровень в любую сторону на 5 мм по водоуказательному стеклу;

г) если один из светоиндикаторов включится, то ручкой «зона» увеличить постепенно нечувствительность регулирующего блока до его баланса;

д) если нет световой индикации при отклонении уровня от заданного (баланс блока) на 5 мм, то нужно увеличить чувствительность по каналу датчика, так как увеличение сигнала датчика при данной чувствительности меньше чувствительности блока. Однако при этом требуется увеличить шунт задатчика, вновь произвести настройку диапазона задатчика, а затем можно приступать снова к настройке зоны нечувствительности регулятора.

Для уточнения правильности выбора положения ручки «зона» нечувствительности нужно сделать отклонение 5 мм от баланса в другую сторону, чем первоначально.

На этом статическая настройка регулятора заканчивается, и все данные заносятся в табл. 16.

Динамическая настройка производится так же, как и у регулятора давления пара в барабане котла (раздел 4, глава 17), используя или кривую разгона объекта регулирования по уровню, или метод вывода регулятора за границы устойчивости (раздел 3, глава 14).

После выставления полученных значений коэффициент пропорциональности $K_п$, времени изодрома $T_и$ и длительности нмпульса $t_{имп}$ отпустить кнопку закона регулирования (положение «ПИ»), вывести уровень в заданный диапазон работы, включить регулятор на автоматический режим и проверить качество работы регулятора по рекомендациям, приведенным в разделе 1, глава 5, пункт 5 и графикам переходных процессов на рис. 16.

После уточнения данных настроек, они заносятся в таблицу «Уставки регуляторов».

Глава 21. ПОРЯДОК ВКЛЮЧЕНИЯ РЕГУЛЯТОРОВ И САР КОТЛА

От кого, когда и при каких условиях включен регулятор в автоматический режим, зависит его нормальная работа и безаварийность оборудования.

Например, после растопки котла, если регулятор топлива поставить в автоматический режим при давлении пара равном 0, он за короткое время откроет полностью РО на мазутопроводе. Значит, топочная камера и котел получат сразу максимальное тепловое напряжение, что приведет к нарушению кладки, резкому неравномерному тепловому расширению металла, и тем самым можно вывести котел из строя. Поэтому имеется временной режимный растопочный график подъема давления пара, который не предусмотрено выполнять системой регулирования. По различным технологическим причинам выполнение требований на включение касается почти всех регуляторов.

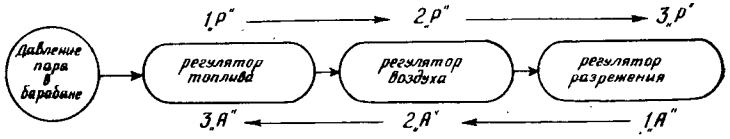


Рис. 56. Последовательность включения регуляторов горения котла в автоматический режим работы и перевод их на ручное управление.

Для включения регуляторов в автоматический режим есть общее правило — при полностью открытых ручных вентилях и при определенном положении ручных заслонок после РО ручным дистанционным управлением с регулирующего блока добиться заданной величины регулируемого параметра. Это определяется по показывающим приборам или световым сигналам блока (они должны длительное время не работать). В этот момент переключатель вида управления ПВУ на блоке перевести с ручного («Р») управления на автоматическое («А»), при этом блок совместно с датчиком, задатчиком и ИМ с РО будет самостоятельно поддерживать заданное значение регулируемого параметра.

Одиако в системах связанного регулирования, например, регуляторов горения (топлива, воздуха и разрежения) нужно учитывать их технологическую зависимость, которая представлена на рис. 56.

Давление пара в барабане котла воздействует на регулятор подачи топлива; изменение топлива контролируется регулятором воздуха, который выдерживает соотношение «топливо — воздух»; продукты сгорания топлива влияют на разрежение в топке, а значит, и на регулятор разрежения.

Последовательность включения регуляторов в автоматический режим следующая: сиачала включается регулятор разрежения, затем воздуха, потом регулятор топлива. При этом нужно учитывать порядок включения самого регулятора в автоматический режим работы.

Если включить в автоматический режим первым, например, регулятор топлива, то при его увеличении будет не хватать воздуха, т. е. произойдет недожог топлива, а при умеиьшении топлива будет охлаждаться топка и может произойти отрыв факела, что приведет к остановке котла.

Если регулятор воздуха включить в автоматический режим раньше регулятора разрежения в топке, то регулятор воздуха будет следить за давлением топлива, которое может меняться вручную или с помощью РО регулятора топлива. В случае возникновеиия при этом аварийных ситуаций работа котла будет остановлена автоматикой безопасиости. Увеличение подачи воздуха приведет к уменьшению разрежения в топке, и при достижении аварийной величины отключится подача топлива на горелки. Уменьшение подачи воздуха вызовет увеличение разрежения в топке, что может привести к отрыву пламени и снова к остаиовке котла.

Вывод — включение регуляторов в автоматический режим работы и перевод их на ручное управлеиие ИМ должно выполияться в определеиной последовательности, которая отражена иа рис. 56, ииаче может произойти аварийиая остановка котла. Конечио, не обязательно включать все три регулятора сразу; могут в автоматическом режиме работать, например, два регулятора — разрежения и воздуха, а топливо меняться вручиую, или только один — регулятор разрежения, но последовательиость включения их в автоматический режим должна сохраияться.

Включение системы автоматического регулирования котла требует определенной последовательности в действиях оператора. Это должио отражаться в инструкции операторов, которая утверждается начальником котельной, а также является руководством для слесарей службы КИП и А.

* * *

Как отмечалось ранее (глава 15), в состав котельной устаиовки входит кроме котлоагрегатов и вспомогательное оборудование: химводоочистка, деаэрациоино-питательная и редукциоиная установки, мазутиое хозяйство и газорегуляторная станция.

Правильная эксплуатация вспомогательного оборудования влияет на качество работы и длительность эксплуатации котлоагрегатов. Для улучшения его работы применяются 8 регуляторов.

1. **Регулятор давления пара в деаэраторе.** Назначение — поддерживать в деаэраторе избыточное давление величиной 0,02 МПа (0,2 кгс/см²) с точностью ±0,002 МПа (±0,02 кгс/см²) для подогрева воды до температуры 104 °С, при изменении расхода воды из деаэратора на питание котлов.

Технологический процесс приготовления воды для питания паровых котлов заключается в удалении из нее кислорода и других газов. Даже незначительная концентрация растворенного в воде кислорода приводит к образованию свищей в металлических трубах котлов и экономайзеров.

Из назначения регулятора видно, что давление пара в деаэраторе является основным регулируемым параметром, постоянство которого обеспечивает прежде всего качественное деаэрирование питательной воды, а также стабильность давления на входе питательных насосов котлов.

Регулятор состоит из датчика измерения давления пара типа МЭД, ППД или ДМ, регулирующего блока Р25.1.1, исполнительного механизма типа ГИМ, МЭО, ЕСПА и регулирующего органа на линии подачи пара в деаэратор.

2. **Регулятор уровня воды в деаэраторе.** Назначение — обеспечение постоянства рабочей величины уровня при изменении нагрузки на котельную, с учетом возврата конденсатора в деаэратор. Рабочая величина уровня соответствует $^2/_3$ высоты (диаметра) деаэратора. Уровень должен выдерживаться с точностью ±20 мм и его максимальное отклонение не должно превышать ±150 мм.

При упуске воды в деаэраторе для восстановления ее уровня приходится сразу вбрасывать много холодной воды, что приведет к уменьшению давления пара и температуры питательной воды. Так, при снижении температуры на 1°С в воде может содержаться кислород в количествах, превышающих допустимые нормы.

3. **Регулятор давления питательной воды.** Назначение — независимо от количества работающих котлов и их нагрузок удерживать заданную величину давления в питательной магистрали к ним.

Питательная вода центробежным многоступенчатым насосом подается в магистраль и обеспечивает питание общего количества одновременно работающих котлов. Основным

регулируемым параметром в этом случае является разность давлений между напором в питательной магистрали и давлением пара в барабане котла. Для устойчивости регулирующего воздействия РО на питательную воду величина разности давлений на РО должна составить 0,1—0,2 МПа (1,0—2,0 кгс/см²).

РО регулятора располагается на питательной магистрали после котлов, при этом давление в ней будет постоянным перед любым котлом.

4. **Регулятор давления мазута перед котлами.** Назначение — удерживать заданную величину давления мазута перед котлами с определенной точностью для возможности максимального использования мощности котлов, при качественном распыле топлива, что влияет на полноту его сгорания.

Регулирующий орган регулятора устанавливается на рециркуляционном мазутопроводе. Такой регулятор называется «до себя» или регулятор подпора, обеспечивающий необходимое постоянное давление мазута перед котлами.

При использовании горелок, например, завода «Ильмарине» типа ГМГ, давление в мазутной магистрали необходимо выдерживать 2,2 МПа (22 кгс/см²) с точностью ±0,05 МПа (0,5 кгс/см²).

5. **Регулятор давления пара за редукционной установкой.**

Редукционные установки (РУ) предназначены для понижения давления пара с котлов до необходимой потребителям величины. В соответствии с этим САР редукционной установки должна выдерживать в заданных пределах давление пара после нее.

Согласно типовым проектам котельных давление пара за РУ принимается равное 0,6 МПа (6,0 кгс/см²). Отклонение давления пара выбирается в зависимости от потребителя: теплового или производственного. Например, для тепловых потребителей (отопление и горячее водоснабжение) допустимые предельные отклонения редуцированного пара не должны превышать примерно ±3% номинального.

Регулирующий прибор типа Р25.1.1. измеряет давление пара за РУ с помощью датчика типа МЭД или ППД и управляет РО установки.

6. **Регулятор постоянной температуры сетевой воды.** Назначение — удерживать постоянной температуру прямой сетевой воды на выходе из котельной независимо от величины отбора количества тепла потребителем.

Это необходимо при условии, что у потребителей тепла имеются свои регуляторы, выдерживающие нужную температуру в отапливаемых помещениях, т. е. при закрытой или иезависимой системе отопления.

Регулирование температуры прямой сетевой воды осуществляется путем подмешивания обратной сетевой воды с более низкой температурой в прямую сетевую воду.

7. **Регулятор соотношения температур «наружный воздух — прямая сетевая вода».** Назначение — выдерживать температурный график в открытой (зависимой) системе отопления. Температура сетевой воды в прямом (подающем) трубопроводе на выходе из котельной должна меняться в зависимости от температуры наружного воздуха.

Отопительный график строится исходя из климатических данных населенных пунктов согласно расчетной температуре данной местности.

Структура регулятора соотношения состоит из двух датчиков — термометров сопротивления — наружного воздуха и прямой сетевой воды, регулирующего блока Р25.1.1., исполнительного механизма и регулирующего органа на линии подмешивания обратной сетевой воды в прямую.

8. **Регулятор давления обратной сетевой воды.**

Для поддержания давления в обратном трубопроводе используются подпиточные насосы. Их иазначение — компеисировать потери в системе теплоснабжения. Питательная вода из деаэратора насосами подается в обратный трубопровод сетевой установки.

При иезначительных утечках подпиточиые иасосы включаются периодически. При постоянных с переменным расходом необходимо применять САР при постоянно работающих подпиточных насосах. Ее назначение — удержать постоянным давление обратной сетевой воды в заданных пределах путем сброса части подпиточной воды по линии рециркуляции обратно в деаэратор. При этом производительность подпиточного насоса перераспределяется между подачей в обратиый трубопровод сети отопления и в линию рециркуляции с помощью регулятора, который построен по принципу «до себя».

В заключение сделаи только обзор регуляторов вспомогательного оборудования. Одиако сложности и тонкости технологических процессов в каждой устаиовке требуют значительно большего и более подробного объяснения. В свою очередь это потребует и расширенного рассмотрения работы САР и ее настройки, особенно регуляторов температуры сетевой воды в системах теплосиабжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Автоматические приборы, регуляторы и вычислительные системы: Справ. пособие / Под ред. Б. Д. Кошарского.— 3-е изд., перераб. и доп.— Л.: Машиностроение, 1976.— 488 с.

Арзумов Э. С. Расчет и выбор регулирующих органов автоматических систем.— М.: Энергия, 1971.— 111 с.

Автоматизация технологических процессов. Обозначения условных приборов и средств автоматизации в схемах: ГОСТ 21.404—85.— М.: Изд-во стандартов, 1985.—16 с.

Волковский Е. Г., Шустер А. Г. Экономия топлива в котельных установках.— М.: Энергия, 1973.— 303 с.

Давыдов Ю. С., Нефедов С. В. Новые системы автоматизации отопительных устройств.— М.: Стройиздат, 1980.— 255 с.

Емельянов А. М., Емельянов В. А. Исполнительные устройства промышленных регуляторов.— М.: Машиностроение, 1975.— 223 с.

Копелович А. П. Инженерные методы расчета при выборе автоматических регуляторов.— М.: Металлургия, 1960.— 120 с.

Казинер Ю. Я., Сболодкин М. С. Арматура систем автоматического управления.— М.: Машиностроение, 1977.— 135 с.

Киселев Н. А. Котельные установки.— М.: Высш. шк., 1979.— 270 с.

Либерман Н. Б., Няиковская М. Т. Справочник про проектированию котельных установок систем центральиого теплоснабжения.— М.: Энергия, 1979.—224 с.

Приборы для измерения температуры контактным способом: Справ. / Под ред. Р. В. Бычковского.— Львов: Вищ. шк., 1978.— 208 с.

Слуцкий Л. А. Топливные регулирующие органы.— Л.: Недра, 1970.— 96 с.

Справочник по наладке автоматических устройств контроля и регулирования.— 2-е. изд., испр. и доп.— К.: Наук. думка, 1981.— 940 с.

Трубопроводная арматура с автоматическим управлением: Справ. / Под ред. С. И. Косых.— Л.: Машиностроение, 1982.— 314 с.

Ширакс З. Э. Теплосиабжение.— М.: Энергия, 1979.— 255 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Раздел 1. **Основные сведения из теории автоматического регулирования** 7
Глава 1. Система автоматического регулирования . . 8
Глава 2. Свойства объектов регулирования 13
Глава 3. Основные законы регулирования 16
Глава 4. Промышленные регуляторы на базе комплекса приборов «Контур» 20
Глава 5. Показатели качества процесса регулирования 27
Раздел 2. **Электронные регуляторы на базе блока Р25 комплекса приборов «Контур»** . . 31
Глава 6. Назначение и структура регулятора . . . 31
Глава 7. Регулирующие электронные приборы Р25 . 35
7.1. Технические данные 36
7.2. Конструкция 36
7.3. Органы управления и настройки . . . 37
7.4. Измерительные схемы субблоков Р-012 и Р-013 42
7.5. Регулирующий субблок Р-011 44
7.6. Схемы внешних соединений 46
7.7. Подготовка прибора Р25 к работе . . 50
7.8. Проверка работоспособности прибора Р25.1 52
7.9. Проверка прибора Р25.2 54
7.10. Проверка прибора Р25.3 55
Глава 8. Датчики 55
8.1. Дифференциально-трансформаторные датчики 55
8.1.1. Дифманометры мембранные 58
8.1.2. Дифманометры колокольные 60
8.1.3. Манометры электрическне дистанционные 61
8.1.4. Дифференциальный тягомер типа ДТ2 62
8.1.5. Схемы электрическнх соединений . . 63
8.2. Термопреобразователи сопротивления — термометры сопротивления 64
8.3 Термоэлектрические преобразователи — термопары 65
8.4. Счетчики расхода топлива 67
Глава 9. Исполнительные механизмы 69
Глава 10. Регулирующие органы 74
10.1. Выбор и расчет регулирующих органов 81
10.2. Экспериментальное определение расходных характеристик РО 87
10.3. Подготовка для снятия расходной характеристики 87
10.4 Снятие расходной характеристики РО 88
Глава 11. Сочленение регулирующего органа с исполнительным механизмом 95
Раздел 3. **Настройка систем автоматического регулирования** 100
Глава 12. Подготовительные работы 100
Глава 13. Статическая настройка регуляторов . . . 114
Глава 14. Динамическая настройка регуляторов . . 121
14.1. Определение параметров настройки . 123
14.2. Программа настройки САР 125
Раздел 4. **Автоматические системы регулирования котлоагрегата** 126
Глава 15. Котельные установки 126
Глава 16. Котлоагрегат как объект регулирования . 128
Глава 17. Регулятор давления пара в барабане котла 131
Глава 18. Регулятор соотношения «топливо — воздух» 141
Глава 19. Регулятор разрежения в топке котла . . 154
Глава 20. Регулятор уровня воды в барабане котла . 161
Глава 21. Порядок включения регуляторов и САР котла 167
Список литературы 173