

ЛЕКЦИЯ 4

Тема: Автоматические регуляторы и исполнительные устройства

Вопросы:

1. Законы управления.
2. Регуляторы. Релейные регуляторы и позиционное регулирование. Реализация сложных законов управления.
3. Особенности управления непрерывными, периодическими и дискретными процессами.
5. Исполнительные механизмы. Регулирующие органы

4.1. Законы управления

Законы управления представляют собой установленные теоретическим или эмпирическим способом и логически обоснованные зависимости между целями управленческой деятельности и методами их достижения.

Согласно сложившейся практике законы управления принято делить на три основные группы: К первой группе относятся **общие (объективные) законы управления**. Объективными законами управления принято считать законы, свойственные управлению в целом и выражающие зависимости, формирующиеся независимо от воли отдельных субъектов.

Во вторую группу входят **частные, или субъективные, законы управления**, посредством применения которых можно в значительной степени повысить эффективность функционирования системы управления в целом, а также ее отдельных элементов и звеньев. К числу субъективных законов управления относятся закон изменения функций управления, закон сокращения числа ступеней управления, закон распространенности контроля.

И, наконец, к третьей группе целесообразно отнести законы, не связанные непосредственно с управлением, но способные оказать значительное влияние на результаты деятельности организации. К законам третьей группы относятся экономические, юридические, социальные и иные законы. Такие законы можно обозначить термином "**специальные**".

К общим законам управления относятся:

- Закон соответствия социального содержания управления форме осуществления деятельности являющейся объектом управления.
- Закон преимущественной эффективности сознательного и планомерного управления.
- Закон единства системы управления.

- Закон соотносительности управляющей и управляемой систем.
- Закон соответствия содержания и форм прямой и обратной связи в системе управления, экономической природе отношений между ее подсистемами.
- Закон единства действий законов управления.

Среди **частных законов управления** можно выделить законы, относящиеся к управляющей подсистеме, законы организации (т.е. управляемой подсистемы) и др.

К частным законам, касающимся управляющей подсистемы относятся:

- Закон изменения функций управления.
- Закон сокращения числа ступеней управления.
- Закон концентрации функций управления.
- Закон распространения и контроля.

Специальные законы являются служебными законами управления. Они неразрывно связаны со спецификой деятельности организации. Например, для организаций, работающих в сфере тяжелого машиностроения, большое значение имеют законы механики, на которых основывается порядок проектирования и изготовления машин и оборудования. Для предприятий пищевой и фармацевтической промышленности особенно важны законы химии, без применения которых невозможна разработка и осуществление технологических процессов в этой области.

Однако среди специальных законов управления есть и такие, которые могут или должны применяться на любых предприятиях независимо от специфики их деятельности или организационно-правовой формы. Это экономические законы, регламентирующие порядок осуществления любой коммерческой деятельности, и юридические законы, регулирующие взаимоотношения хозяйствующих субъектов друг с другом и с органами государственной власти.

4.2. Регуляторы. Релейные регуляторы и позиционное регулирование.

Реализация сложных законов управления

В соответствии с реализуемым законом регулирования регуляторы делятся на:

- пропорциональные;
- интегральные;
- пропорционально-интегральные;
- пропорционально-дифференциальные;

- пропорционально-интегрально-дифференциальные;
- релейные двух- и трехпозиционные и релейные с механизмами постоянной скорости.

По способности изменять свою структуру различают регуляторы:

- с фиксированной структурой - не изменяют свою структуру при изменении характеристик объектов регулирования;
- с переменной структурой – у них структура изменяется при изменении свойств объекта.

По характеру математической связи между выходной и входной координатами регуляторы подразделяются на:

- линейные;
- нелинейные.

В зависимости от конструктивного исполнения имеются регуляторы:

- приборного типа - в системе регулирования включается последовательно со вторичным прибором, в котором формируется сигнал ошибки;
- аппаратного типа - сами формируют сигнал ошибки и обычно включаются параллельно вторичному прибору;
- агрегатного типа – в них используется агрегатный принцип построения используется при стандартных сигналах на выходе датчиков. Такой принцип рекомендован ГСП и позволяет подключать любой стандартизованный датчик непосредственно к унифицированному входу регулятора.

В соответствии с числом регулируемых величин регуляторы подразделяются на:

- одномерные;
- многомерные.

Регуляторы классифицируются также **по классу систем и фирмам-изготовителям.**

Линейные регуляторы – это регуляторы, которые позволяют реализовать теоретические (стандартные) законы регулирования, называются идеальными. В этих регуляторах операции интегрирования, дифференцирования, суммирования и умножения на постоянный коэффициент выполняются абсолютно точно. Рассмотрим динамические характеристики регуляторов с различными стандартными законами регулирования.

Пропорциональные (П) регуляторы.

Закон регулирования П-регулятора выражается уравнением:

$$y = k_p x$$

где k_p - коэффициент пропорциональности, являющийся параметром настройки П-регулятора.

У пропорциональных регуляторов отклонение регулируемой величины X от ее заданного значения X_0 вызывает перемещение регулирующего органа на величину, пропорциональную этому отклонению $x = X_0 - X$.

Передаточная функция П-регулятора имеет вид:

$$W_n(p) = k_p$$

Переходная характеристика П-регулятора показана на рис.3.2, а.

Величину, обратную коэффициенту пропорциональности регулятора, т.е. $\delta_p = 1/k_p$, называют статизмом, или коэффициентом неравномерности регулятора, а величину $(1/k_p)$ 100%-диапазоном дросселирования.

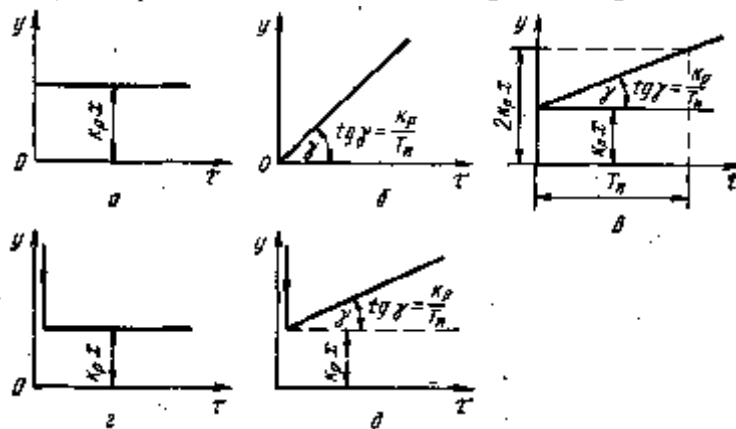


Рисунок 4.1 – Переходные характеристики линейных идеальных регуляторов

Особенностью систем регулирования с П-регулятором является изменение регулируемой величины при различных нагрузках регулируемого объекта. Объясняется это тем, что перемещение регулирующего органа в новое положение, соответствующее новой нагрузке, может быть произведено только за счет отклонения регулируемой величины. Разность между максимальным и минимальным установившимися значениями регулируемой величины $x_{\text{шах}}$ называют остаточной неравномерностью П-регулятора, ее величина определяется выражением $x_{\text{шах}} = 1/k_p$.

Интегральные (И) регуляторы.

Процесс регулирования И-регулятором происходит по закону, который описывается уравнением:

$$y = \frac{1}{T_i} \int_0^t x d\tau$$

где T_i - постоянная времени интегрирования, являющаяся параметром настройки И-регулятора.

Интегральные регуляторы производят перемещение регулирующего органа пропорционально интегралу отклонения регулируемой величины до тех пор, пока не восстановится ее заданное значение.

Передаточная функция И-регулятора имеет вид:

$$W_{\text{и}}(p) = 1/T_{\text{и}}p$$

Переходная характеристика И-регулятора показана на рис.3.2, б. Интегральный регулятор не обладает остаточной неравномерностью, что является его положительной особенностью.

Пропорционально-интегральные (ПИ) регуляторы.

Закон регулирования ПИ-регулятора выражается уравнением:

$$y = k_p \left(x + \frac{1}{T_i} \int_0^t x \, dt \right)$$

где T_i — время интегрирования регулятора, или время изодрома. Коэффициент пропорциональности k_p и постоянная времени T_i являются параметрами настройки ПИ-регулятора.

Уравнение закона регулирования ПИ-регулятора состоит из двух составляющих регулирующего воздействия: $k_p x$ - пропорциональной

и $\left(k_p \cdot \frac{1}{T_i} \right) \int_0^t x \, dt$ - интегральной. Передаточная функция ПИ-регулятора имеет вид:

$$W_{\text{пи}}(p) = k_p(T_i p + 1)/T_i p$$

В динамическом отношении ПИ-регулятор представляет собой систему из двух параллельно включенных регуляторов: пропорционального и интегрального. При увеличении времени изодрома до бесконечности ПИ-регулятор превращается в П-регулятор. Если k_p и T_i стремятся к нулю, но их отношение остается постоянным, то получим И-регулятор. Пропорционально-интегральные, как и интегральные, регуляторы не обладают остаточной неравномерностью. Переходная характеристика ПИ-регулятора показана на рис.4.1, в.

Пропорционально-дифференциальные(ПД) регулятор.

Закон регулирования ПД-регулятора выражается следующим уравнением:

$$y = k_p \left(x + T_d \frac{dx}{dt} \right)$$

где T_d - время дифференцирования, или время предварения регулятора, характеризующее степень влияния воздействия по производной на величину

регулирующего воздействия. Коэффициент пропорциональности k_p и постоянная времени T_D ПД-регулятора являются параметрами его настройки.

Передаточная функция ПД-регулятора:

$$W_{ПД}(p) = k_p(1 + T_D p)$$

Пропорционально-дифференциальный, как и пропорциональный, регулятор обладает остаточной неравномерностью, величина которой определяется выражением $x_{\text{шах}} = 1/k_p$.

Однако дополнительное воздействие по скорости отклонения регулируемой величины от заданного значения положительно влияет на процесс регулирования. Это является преимуществом ПД-регуляторов по сравнению с П-регуляторами. Переходная характеристика ПД-регулятора показана на рис.3.2, з.

Пропорционально-интегрально-дифференциальные (ПИД) регуляторы.

Закон регулирования ПИД-регулятора определяется уравнением:

$$y = k_p \left(x + \frac{1}{T_I} \int_0^t x d\tau + T_D \frac{dx}{dt} \right)$$

Параметрами настройки ПИД-регулятора служат коэффициент пропорциональности k_p и постоянные времени T_I и T_D .

Передаточная функция имеет вид:

$$W_{ПИД}(p) = k_p(T_D T_I p + T_I p + 1)/T_I p$$

В динамическом отношении эти регуляторы представляют собой систему из трех параллельно включенных звеньев: безынерционного, интегрирующего и идеального дифференцирующего. При $T_D = 0$ ПИД-регулятор превращается в ПИ-регулятор. ПИД-регуляторы не обладают остаточной неравномерностью. Переходная характеристика ПИД-регулятора показана на рис.3.2, д

Промышленные регуляторы состоят из реальных элементов, поэтому их динамические характеристики отличаются от динамических характеристик, определяемых уравнениями идеальных регуляторов.

Для оценки расхождения характеристик идеального и реального регуляторов передаточную функцию $W_p(p)$ реального регулятора представляют в виде произведения передаточной функции $W_{ид}(p)$ идеального регулятора и передаточной функции $W_б(p)$ некоторого балластного звена:

$$W_p(p) = W_{ид}(p)W_б(p)$$

Балластное звено не имеет заранее известной передаточной функции. Разные регуляторы имеют балластные звенья с различными передаточными функциями. С помощью понятия «балластное звено» удобно оценить степень отличия реального и соответствующего идеального регуляторов. В ряде

случаев, анализируя балластное звено, можно найти способы приблизить реальный регулятор к идеальному, усовершенствуя его схему или конструкцию. Исследование динамики балластного звена позволяет сделать вывод об особенностях структурной схемы и настройки того или иного реального регулятора.

Если регулятор идеальный, то передаточная функция балластного звена $W_6(p) \equiv 1$, его модуль $W_6(\omega) \equiv 1$, а фаза $\varphi_6(\omega) \equiv 0$. Чем больше передаточная функция балластного звена отличается от единицы, тем значительно отличается качество регулирования в системах с идеальными и реальными регуляторами. Степень отличия реального регулятора от идеального для одного и того же типа прибора может быть различной, так как она зависит не только от структурной схемы и конструкции, но и от динамических настроек регулятора. Для регуляторов с нелинейными элементами частотные характеристики балластного звена зависят также от амплитуды входного сигнала.

Область в пространстве амплитуд, частот входного сигнала и параметров настройки регулятора, в пределах которой частотные характеристики идеального и реального регуляторов отличаются на величину, не превышающую некоторое наперед установленное значение, называют областью нормальной работы (ОНР) регулятора.

Частотные характеристики идеального и реального регуляторов согласно установленным нормам могут отличаться по модулю на $\pm 10\%$ и по фазе на $\pm 15\%$. В пределах этих отклонений различием в динамических характеристиках можно пренебречь, а в расчетах использовать уравнения идеальных регуляторов.

Сопоставление по величине ОНР является удобным и наглядным методом оценки регуляторов, отрабатывающих одинаковый закон регулирования. Обычно оно проводится при одних и тех же заранее выбранных значениях, амплитуды и частоты входного сигнала в координатах параметров настройки регуляторов.

При оценке регулятора обычно исходят из того, что его применение целесообразно, если оптимальные значения параметров настройки, лежащие внутри ОНР, соответствуют динамическим характеристикам объектов управления. Из двух однотипных регуляторов, имеющих большую ОНР лучше, так как он в большей мере удовлетворяет требованиям универсальности, поскольку может быть использован на более широком классе объектов.

Если в результате расчета параметров настроек регулятора будут получены данные, не попадающие в ОНР, то нужно выбрать либо другой закон

регулирования, либо применить регулятор другого типа, имеющий более широкую область допустимых настроек.

Автоматические регуляторы, формирующие один и тот же закон регулирования, могут быть построены по различным структурным схемам. Каждая из таких структурных схем обладает рядом достоинств и недостатков, которые необходимо учитывать при разработке регуляторов и при их эксплуатации. Анализ структурных схем позволяет не только оценить, насколько характеристики реального регулятора отличаются от характеристик идеального, но и установить причины этих отклонений. Рассмотрим некоторые структурные схемы.

1. П-регуляторы. Типичная структурная схема пропорционального регулятора (рис.3.3, а) состоит из усилительного и интегрирующего звеньев, охваченных жесткой отрицательной обратной связью. Интегрирующим звеном является исполнительный механизм, который служит для преобразования выходного сигнала регулирующего блока в механическое перемещение.

Если усилитель k_1 считать безынерционным с конечным значением коэффициента усиления, а исполнительный механизм - идеальным интегрирующим звеном, то передаточная функция регулятора запишется в виде:

$$W_2(p) = \frac{1}{\delta_p} \frac{1}{(pT_{им} / \delta_p k_1) + 1}$$

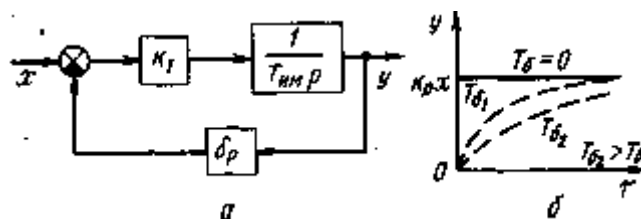


Рисунок 4.2 - Структурная схема и переходные характеристики реального линейного П-регулятора

где $T_{им}$ - постоянная времени исполнительного механизма. Обозначим $T_6 = T_{им} / \delta_p k_1$ тогда передаточная функция балластного звена:

$$W_6(p) = 1 / (T_6 p + 1)$$

Таким образом, реальный регулятор, для которого справедливы названные допущения, можно представить в виде последовательного соединения идеального П-регулятора с коэффициентом усиления k_p и балластного звена с передаточной функцией $W_6(p)$.

Балластное звено в этом случае будет представлять собой апериодическое звено первого порядка с постоянной времени T_6 , величина которой растет с увеличением постоянной времени исполнительного механизма $T_{им}$ и коэффициента пропорциональности регулятора k_p .

Наличие балластного звена в П-регуляторе объясняется конечным значением коэффициента усиления k_1 . Действительно, если $k_1 \rightarrow \infty$, то $T_6 \rightarrow 0$, а $W_p(p) = k_p = W_{\Pi}(p)$, т.е. рассматриваемый регулятор становится идеальным. На рис. 88, б приведены переходные характеристики П-регулятора с балластным звеном при различных значениях T_6 .

2. ПИ-регуляторы. Имеется несколько разновидностей схем ПИ-регуляторов. Наиболее часто используемая схема изображена на рис.3.4, а. Она представляет собой последовательное соединение усилительного и интегрирующего звеньев, причем первое охвачено отрицательной обратной связью с апериодическим звеном. По такой структурной схеме выполнены регуляторы электронной агрегатной унифицированной системы. Передаточная функция такого регулятора имеет следующий вид:

$$W_p(p) = \frac{k_p (T_z p + 1)}{T_z p} \frac{1}{(s+1) \left(\frac{T_z s p}{s+1} + 1 \right)}$$

где $k_p = T_{\Pi}/\delta_p T_{\text{ИМ}}$; $s = 1/k_1 \delta_p = T_{\text{ИМ}} k_p / T_{\text{И}} k_1$. Обозначим через $k_\delta = 1/(s+1)$ и $T_6 = s T_{\text{И}} / (s+1)$.

С учетом этих обозначений получим передаточную функцию балластного звена в виде:

$$W_6(p) = k_\delta / (T_6 p + 1)$$

В этом случае балластное звено представляет собой апериодическое звено с коэффициентом усиления k_6 и постоянной времени.

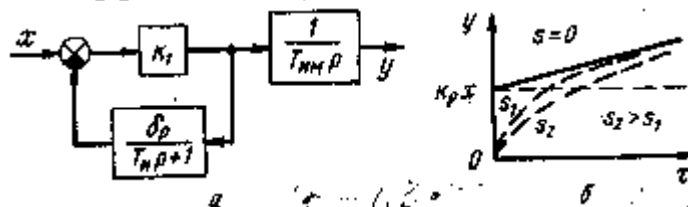


Рисунок 4.3 - Структурная схема и переходные характеристики реального линейного ПИ-регулятора

Для данной структурной схемы коэффициент усиления регулятора зависит от постоянной времени $T_{\text{ИМ}}$ интегрирующего звена, т.е. от времени полного хода исполнительного механизма. Известно, что постоянная времени исполнительного механизма в свою очередь зависит от нагрузки, поэтому от нагрузки зависит и k_p . В таких регуляторах наблюдается взаимосвязь обоих настроечных параметров - коэффициента усиления k_p и времени интегрирования $T_{\text{И}}$.

Переходные характеристики регулятора со структурной схемой, изображенной на рис. 4.3, а, приведены на рис.4.3, б.

Видно, что при $s=0$ регулятор становится идеальным. Чем больше значение s , тем сильнее отклонение характеристики реального регулятора от характеристики идеального.

3. ПИД-регуляторы. Эти регуляторы также могут быть построены по различным структурным схемам. Одна из типичных структурных схем изображена на рис.4.4, а. Она позволяет строить ПИД-регуляторы из унифицированных блоков. Для формирования, пропорционально-интегральной составляющей сигнала регулирования используется блок, схема которого показана на рис.4.4, а. Дифференцирующий блок 1 конструктивно может выполняться отдельно от других блоков.

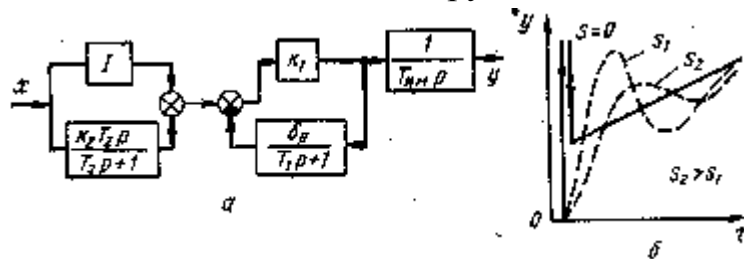


Рисунок 4.4 – Структурная схема и переходные характеристики реального линейного ПИД-регулятора

Передаточная функция регулятора с такой структурной схемой может быть записана в виде:

$$W_{\Sigma}(p) = k_{\Sigma} \frac{\dot{Q}_1 \dot{Q}_2 s^2 + \dot{Q}_2 s + 1}{\dot{Q}_2 s} \frac{1/(s+1)}{\left(\frac{s \dot{Q}_2}{\alpha(s+1)} p + 1 \right) (s_2 T_i s + 1)}$$

где $k_{\Sigma} = \dot{Q}_1 / \dot{Q}_2$; $\dot{Q}_1 = \dot{Q}_1 a$; $\dot{Q}_2 = \dot{Q}_2 (k_2 + 1) / a$; $a = 1 + \frac{T_2}{T_1} (k_2 + 1)$; $s = T_{EI} k_p / k_i T_E$; $s_2 = T_2 / T_{II}$

В этом случае передаточная функция балластного звена имеет вид:

$$W_{\Sigma}(s) = \frac{s/(s+1)}{\left(\frac{s T_2}{\alpha(s+1)} p + 1 \right) (s_2 T_i s + 1)}$$

Это - передаточная функция апериодического звена второго порядка. Максимальное отношение $T_d/T_{II} = 0,25$. Оно достигается при $a = 2$ или $(T_2/T_1) (k_2 + 1) = 1$. Это обстоятельство может рассматриваться как недостаток подобных схем, поскольку ограничивает область применения ПИД-регуляторов. Переходные характеристики регуляторов приведены на рис.3.5, б. При $\begin{cases} s = 0 \\ s_2 = 0 \end{cases}$ регулятор становится идеальным.

4.3. Особенности управления непрерывными, периодическими и дискретными процессами

Развитие технологических процессов, а также их важнейшие технико – экономические показатели и построение технических систем происходит в соответствии с определенными закономерностями, которые будут рассматриваться в данной работе, невзирая на скудность информационного поля, вызванного недостаточной степенью изученности данной проблематики.

По характеру протекания **технологические процессы** делятся на непрерывные, периодические и дискретные.

Непрерывным называется такой процесс, в котором конечный продукт вырабатывается до тех пор, пока подводится сырье, энергия, катализаторы, управляющие воздействия. К таким процессам можно отнести, например, процессы переработки нефти.

Периодическим является **технологический процесс**, в котором за сравнительно небольшой промежуток времени (часы или дни) вырабатывается определенное, ограниченное количество конечного продукта. При этом в течение отведенного промежутка времени периодический процесс является непрерывным. Примером периодического процесса может быть технологический процесс плавки металла в доменной печи.

Дискретным называется технологический процесс, в котором конечный продукт вырабатывается за определенные промежутки времени, и этот процесс можно остановить, а также продолжить с любой технологической операции без снижения заданного уровня качества. Можно назвать такие примеры, как: процесс сборки изделий на конвейере, испытание готовых изделий и т.п.

Большинство технологических процессов требуют четкого управления ими. В общем случае, необходимость управления технологическими процессами диктуется следующими факторами:

- необходимость поддержания состава и количества входных компонентов на заданном уровне для обеспечения необходимого качества готового продукта;
- непрерывное изменение (подстройка) параметров технологического процесса, что связано с постоянным износом орудий труда и переменным составом сырья;
- пуск и остановка некоторых технологических процессов требует выполнения специфических точно синхронизированных операций и др.

Предметом изучения в данном курсе являются проблемы автоматизации основных химических производств. Основные химические производства и

составляющие их технологические процессы мы и рассматриваем в данном курсе как объекты управления. Таким образом, мы далее рассмотрим **химико-технологические объекты управления (ТОУ)**.

Определение ТОУ:

- ТОУ - это совокупность совместно функционирующих технологического оборудования и реализованного на нем технологического процесса.
- К ТОУ относят как отдельные технологические агрегаты и установки, реализующие локальный технологический процесс, так и целые производства (участки, цехи). Существуют «супер-ТОУ» - установки, включающие сотни технологических аппаратов (на нефтеперерабатывающих заводах).

Требования к ТОУ.

- Оборудование ТОУ должно быть полностью механизировано и должно безотказно работать в межремонтный период.
- ТОУ должен быть управляем, т.е. разделен на определенные зоны с возможностью воздействия на технологический режим в каждой из них изменением материальных и энергетических потоков.
 - Возможность воздействия на характеристики оборудования.
 - Возможность доступа обслуживающего персонала к местам установки датчиков, исполнительных механизмов, регулирующих органов.
 - Число возмущающих воздействий должно быть сведено к минимуму, что возможно в результате установки: ресиверов; емкостей с мешалками; теплообменников, уменьшающих амплитуду и частоту изменения таких параметров, как давление, состав, температура.

4.4. Исполнительные механизмы. Регулирующие органы

Исполнительные механизмы и устройства (ИМ, ИУ) промышленных систем автоматики входят в четвертую функциональную группу изделий ГСП в соответствии с ГОСТ 12997-84 — группу устройств использования командной информации в целях воздействия на процесс и для связи с оператором (сюда же входят рассматриваемые в следующей главе устройства сбора, регистрации, передачи и отображения информации). Термины «исполнительное устройство» и «исполнительный механизм» иногда употребляются как синонимы. В дальнейшем будем преимущественно использовать термин «исполнительное устройство», понимая под этим силовое устройство, назначение которого состоит в изменении регулирующего воздействия на объект управления в соответствии с сигналом (командной

информацией), подаваемым на его вход от командного устройства (регулятора, ручного дистанционного задатчика, УВМ).

К основным блокам ИУ относятся исполнительные механизмы (ИМ) и регулирующие органы (РО), которые конструктивно могут быть объединены в едином изделии или собираются из индивидуально выпускаемых блоков. В некоторых случаях ИУ может состоять из одного блока, выполняющего функции исполнительного механизма. Под *исполнительным механизмом* в общем случае подразумевают блок ИУ, преобразующий входной управляющий сигнал от регулирующего устройства в сигнал, который через соответствующую связь осуществляет воздействие на регулирующий орган или непосредственно на объект регулирования. *Регулирующим органом* называют блок ИУ, с помощью которого производится регулирующее воздействие на объект регулирования.

Одной из основных характеристик ИУ является *величина перестановочного усилия (момента)*, передаваемого выходным органом исполнительного механизма на регулирующий орган. Эта величина обычно указывается в паспорте и является основной при энергетическом расчете и выборе ИУ.

По виду энергии, создающей перестановочное усилие, ИМ подразделяются на *пневматические, гидравлические и электрические*. Существуют ИМ, в которых используются одновременно два вида энергии: *электронпневматические, электрогидравлические и пневмогидравлические*. Наиболее распространенными из них являются *электрогидравлические ИМ*.

В *пневматических ИМ* перестановочное усилие создается за счет действия давления сжатого воздуха на мембрану, поршень или сильфон. В соответствии с этим пневматические подразделяются на мембранные, поршневые и сильфонные. Давление сжатого воздуха в пневматических ИУ обычно не превышает 10^3 кПа.

В *гидравлических ИМ* перестановочное усилие создается за счет действия давления жидкости на мембрану, поршень или лопасть. В соответствии с этим различают мембранные, поршневые и лопастные гидравлические ИМ. Давление жидкости в них обычно находится в пределах $(2,5-20) \cdot 10^3$ кПа. Отдельный подкласс гидравлических ИУ составляют ИУ с гидромуфтами. Пневматические и гидравлические мембранные и поршневые ИМ подразделяются на пружинные и беспружинные. В пружинных ИМ перестановочное усилие в одном направлении создается давлением в рабочей полости ИМ, а в обратном направлении — силой упругости сжатой пружины.

В беспружинных ИМ перестановочное усилие в обоих направлениях создается перепадом давления на рабочем органе механизма.

Электрические ИМ по принципу действия подразделяются на электродвигательные и электромагнитные; по характеру движения выходного элемента — на прямоходные с поступательным движением выходного элемента, поворотные с вращательным движением до 360° (однооборотные) и с вращательным движением на угол более 360° (многооборотные).

Как было отмечено ранее, вторым основным блоком исполнительного устройства является регулирующий орган (РО). Различные РО по виду воздействия на объект подразделяются на два основных типа: дросселирующие и *дозирующие*. В табл.4.1 приведена классификация регулирующих органов.

Таблица 4.1 – Классификация регулирующих органов

I. Дросселирующие	II. Дозирующие
1. Для стандартных исполнительных устройств:	2. Механические:
<i>заслоночные односедельные трехходовые двухседельные диафрагмовые шланговые</i>	<i>плужковые сбрасыватели дозаторы насосы питатели компрессоры</i>
2. Для специальных исполнительных устройств:	2. Электрические:
<i>задвижные крановые клапаны с поворотными створками шиберные направляющие аппараты специальные</i>	<i>реостатные автотрансформаторы специальные</i>

Дросселирующие регулирующие органы изменяют гидравлическое сопротивление в системе, воздействующее на расход вещества путем изменения своего проходного сечения. В дозирующих регулирующих органах осуществляется заданное дозирование поступающего вещества или энергии или изменение расхода вещества путем изменения производительности агрегатов. В настоящее время широкое распространение в АСУ ТП получили дросселирующие РО, хотя применение дозирующих РО экономически более оправдано.

К *вспомогательным блокам* исполнительных устройств относят блоки, расширяющие область применения ИУ и обеспечивающие выполнение ряда дополнительных функций. К вспомогательным блокам относятся блок ручного управления для механического (ручного) управления регулирующим органом, блок сигнализации конечных положений для выдачи информации о положении выходного элемента исполнительного механизма или затвора регулирующего органа, фиксаторы положения для фиксации положения

выходного элемента исполнительного механизма или затвора регулирующего органа, блок дистанционного управления, блок обратной связи для улучшения статических и динамических характеристик ИУ или всей замкнутой системы регулирования.