

Основы автоматизации и автоматизация производственных процессов (ОА и АПП)

1. Принципы построения систем управления

Управление техническим объектом (процессом) состоит в выработке команд, реализация которых обеспечивает целенаправленное изменение состояния этого объекта при соблюдении заранее обусловленных требований и ограничений.

Общая задача управления: максимизация (минимизация) некоторого критерия (себестоимости, энергозатрат, прибыли и др.) при выполнении ограничений на технологические параметры, накладываемых регламентом.

Частный случай управления – сохранение некоторого желаемого состояния объекта в условиях, когда он получает непредвиденные воздействия со стороны внешней среды, нарушающее это состояние.

С точки зрения автоматического управления объект исследования удобно представлять в виде кибернетической системы («чёрный ящик») – рисунок 1.1.

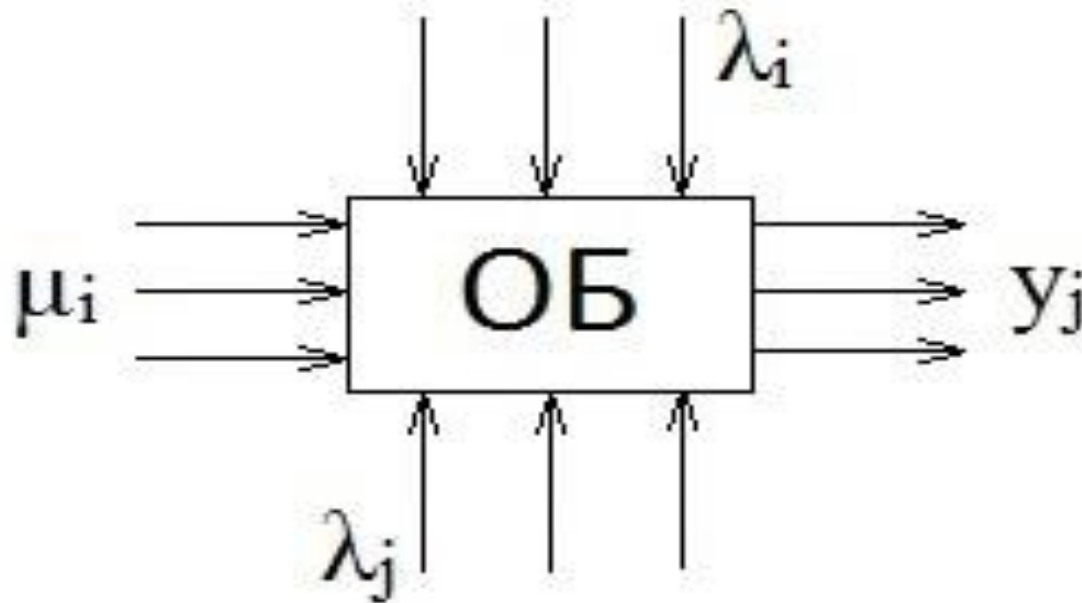


Рисунок 1.1 - Объект управления, как «чёрный ящик»

$y(t)$ - отображает численные характеристики целей управления и называется управляемой или выходной величиной.

Изменение управляемых или выходных величин в соответствии с целью управления осуществляется подачей на объект специально организуемых **управляющих воздействий (M_i)**.

Для реализации этих управляющих воздействий всякий объект снабжается специальными **управляющими органами**.

Воздействия, получаемые объектом со стороны внешней среды и приводящие к нежелательным отклонениям управляемых величин, называются возмущающими воздействиями или возмущениями (L_i, L_j). **Все воздействия – факторы.**

Возмущающие воздействия или возмущения подразделяются на возмущения контролируемые управляемые, контролируемые неуправляемые и возмущения неконтролируемые неуправляемые.

В процессе работы **контроллер** получает информацию о цели управления и текущую информацию о состоянии объекта и в соответствие с этой информацией (которая называется рабочей) **формирует управляющее воздействие на объект так, чтобы была достигнута цель управления.**

Схематическое изображение отдельных элементов системы и воздействий их друг на друга, а также воздействий, получаемых системой из внешней среды её функционирования, называется **структурной схемой системы**.

В отношении выполняемых элементами системы функций всякая система управления в наиболее укрупнённом виде должна состоять из двух элементов: управляющего объекта и контроллера – рисунок 1.2.

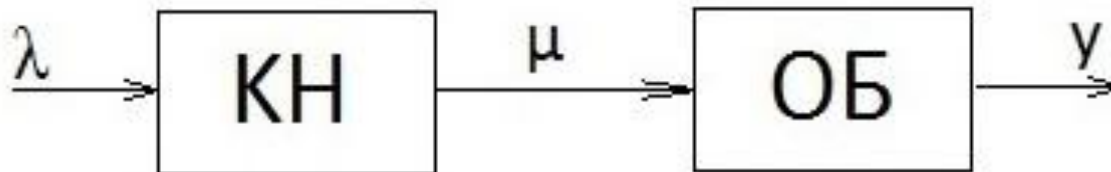


Рисунок 1.2 - Простейшая структурная схема системы управления (Разомкнутая САУ).

Здесь контроллер КН, получая информацию о цели управления в виде меняющегося во времени сигнала задания $X(t)$, формирует управляющее воздействие $m(t)$, на объект (ОБ) таким образом, чтобы управляемая величина $Y(t)$ менялась в соответствии с изменением $X(t)$, то есть так, чтобы достигалась цель управления.

$$Y(t) = X(t). \quad (1.1)$$

Подобная система управления может реально функционировать только тогда, когда между изменением $Y(t)$ и вызвавшим его изменением $m(t)$ в объекте существует однозначное соответствие. Его определение осуществляется посредством идентификации объекта.

Идентификацией называется «определение параметров и структуры математической модели, обеспечивающих наилучшее совпадение выходных координат модели и процесса при одинаковых входных процессах».

Результатом идентификации является математическая модель процесса или объекта, представляющая собой или график переходного процесса, или передаточную функцию или дифференциальное уравнение (как первое приближение - статическая модель в виде уравнений материального и теплового балансов).

Полученная математическая модель объекта может быть использована для определения алгоритма функционирования контроллера (алгоритма управления).

Алгоритм определяет, как следует изменить управляющее воздействие $m(t)$ в зависимости от изменения $X(t)$ для того, чтобы была достигнута цель управления (1.1).

Практически рассмотренная структура управления может функционировать только при выполнении следующих условий:

- на объект управления не действуют никакие возмущения;
- математическая модель объекта известна для любого момента времени с достаточно высокой точностью;
- требуемый алгоритм управления может быть реализован в контроллере с достаточно высокой точностью.

Нарушение хотя бы одного из этих условий приведёт к появлению неконтролируемого самопроизвольного отклонения выходной величины.

Для исключения этого в систему управления вводится добавочный канал, по которому контроллер получает информацию о действительном значении управляемой величины в каждый момент времени.

Это позволяет контроллеру при появлении отклонения от желаемого значения осуществить добавочное изменение управляющего воздействия на объект так, чтобы это отклонение было ликвидировано.

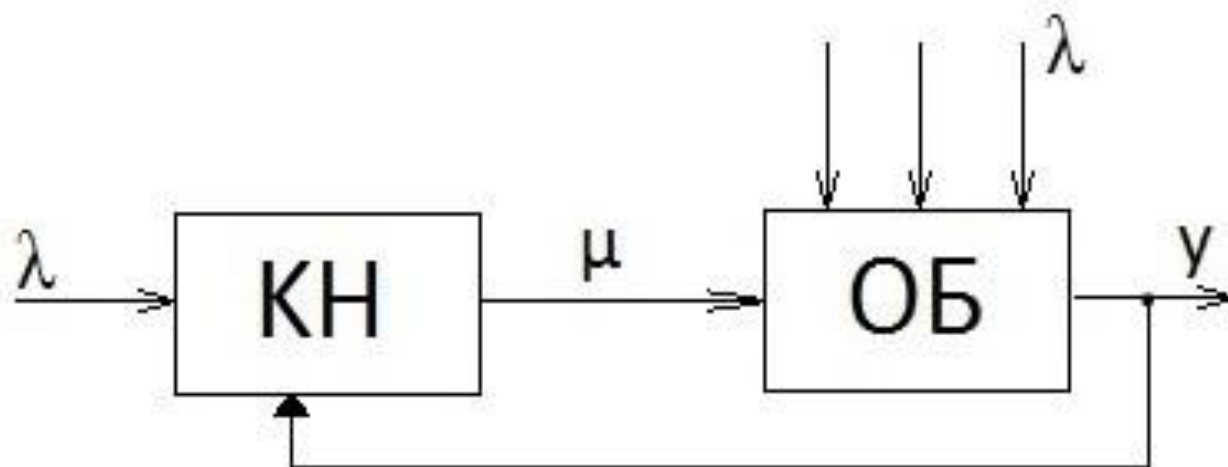


Рисунок 1.3 - Простейшая структурная схема замкнутой системы управления.

В зависимости от характера изменения сигнала задания (задающего воздействия) системы управления принято разделять на три вида:

- **стабилизации**, если задающее воздействие не меняется во времени;
- **программного управления**, если задающее воздействие является известной (детерминированной) функцией времени или другого параметра;
- **зависимого управления или следящей**, если задающее воздействие является неопределённой в будущем функцией времени.

Управление называется **непрерывным**, если осуществляемое контроллером изменение управляющего воздействия происходит в непрерывной зависимости от изменения задающего воздействия и управляемой величины.

В случае **дискретного управления** управляющее воздействие принимает какое то одно из 2-х возможных значений либо формируется в дискретные моменты времени.

Решение задачи оптимизации для всего технологического процесса объекта, в целом, трудоемко, или практически невозможно ввиду большого числа факторов, влияющих на ход процесса.

На практике задача управления расчленяется на ряд самостоятельных задач, что приводит и к расчленению системы управления на более мелкие подсистемы.

Подобное скоординированное между собой расчленение задач и систем управления получило название декомпозиции задач и систем управления.

Из общей задачи управления выделяется задача устранения вредного влияния на достижение цели управления действующих на объект неконтролируемых возмущений, а также неконтролируемых погрешностей в задании модели объекта.

Эта задача управления получила название **регулирования объекта**. А часть системы управления, выполняющая эту задачу, - **подсистемы регулирования**.

В результате контроллер расчленяется на два соподчинённых блока: регулирующий (обычно называют автоматическим регулятором или просто регулятором) и командный, вырабатывающий командное воздействие таким образом, чтобы была достигнута цель управления.

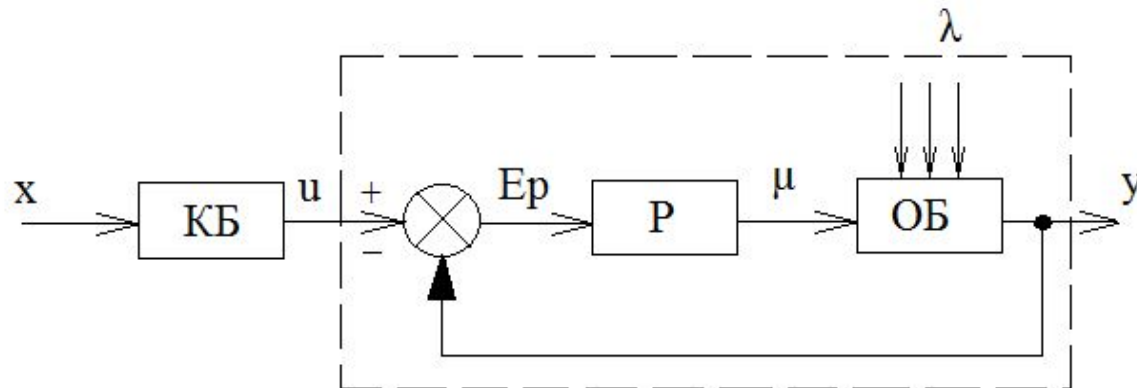


Рисунок 1.4 – Структурная схема системы управления

Командное воздействие $u(t)$, вырабатываемое командным блоком, подаётся на вход подсистемы регулирования (штриховая линия), где на основании выявления отклонения управляемой величины от командного воздействия $E_p(t) = u(t) - y(t)$, регулятор формирует управляющее воздействие $\mu(t)$. Выявление отклонения $E_p(t)$ происходит в сумматоре (кружок).

Такую систему управления можно рассматривать как систему управления объектом без возмущения (рисунок 1.2), функции которого теперь выполняет подсистема регулирования в целом.

Рассмотренная система управления является **двухуровневой**: первый (нижний) уровень образует подсистема регулирования, второй – система управления со структурой, представленной на рисунке 1.2, в которой в качестве контроллера КН выступает командный блок КБ, а в качестве объекта ОБ – подсистема регулирования.

Такого рода двухуровневые (а в общем случае и многоуровневые) структуры систем управления, в которых верхний уровень выполняет командные функции по отношению к нижестоящему уровню, получили название **иерархических структур систем управления**.

В реальных системах управления технологическими процессами цель управления, определяемая формулой (1.1), практически никогда не выполняется точно.

Качество управления, в первую очередь, определяется значением **ошибки управления**:

$$e(t) = x(t) - y(t). \quad (1.2)$$

Возможные **причины погрешностей** управления:

- инерция и запаздывание, с которыми управляемая величина реагирует на управляющее воздействие;
- неточное задание модели объекта, на основании которой проводится проектирование системы управления;
- неполнота получаемой регулятором рабочей информации о текущем состоянии объекта управления и др.

Физически неполнота рабочей информации о состоянии объекта обусловлена тем, что регулятор контролирует лишь конечный эффект действия возмущений на объект — вызванное этими возмущениями нежелательное отклонение управляемой величины.

В течение промежутка времени между появлением какого — либо возмущения и началом вызванного этим возмущением отклонения управляемой величины регулятор бездействует несмотря на то, что фактическое состояние объекта уже меняется.

Неполнота рабочей информации о текущем состоянии объекта может быть в значительной степени устранена если осуществлять непосредственный оперативный контроль возмущений с вводом информации в контроллер.

Система (рисунок 1.5), где регулятор получает информацию об изменении возмущения $L_k(t)$, соответствующим образом преобразованную в блоке компенсации возмущения KB , получила название **системы регулирования с компенсацией возмущений**.

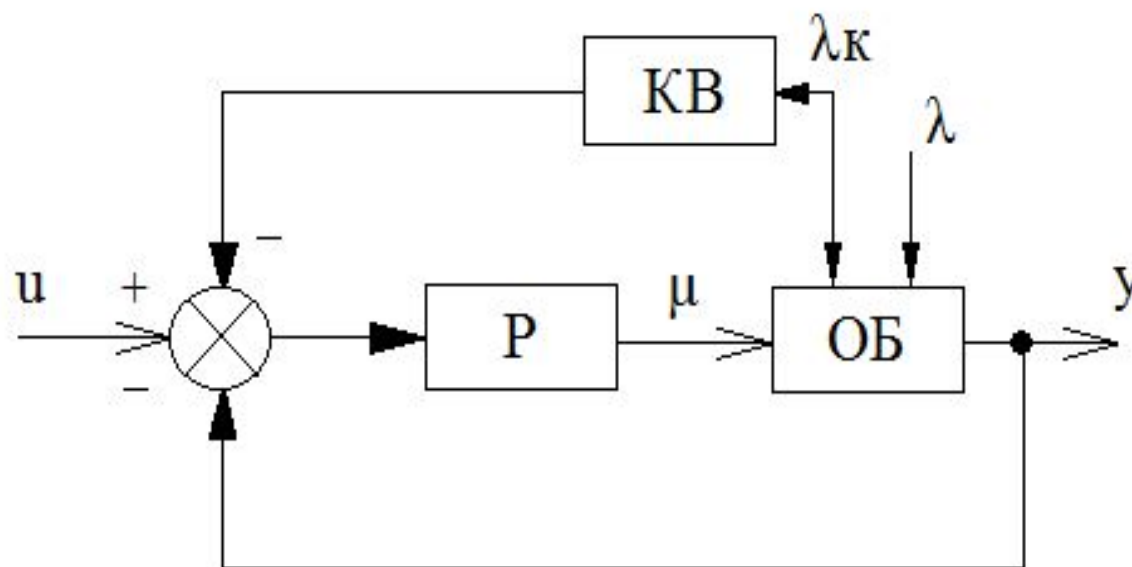


Рисунок 1.5 - Структурная схема системы регулирования с компенсацией возмущения.

Контроль и управление с компенсацией каждого возмущения приводит к необходимости введения дополнительного контролирующего контура.

Контролируемые неуправляемые возмущения — это возмущения, которые можно измерить, но не возможно или недопустимо стабилизировать.

Неконтролируемые возмущения — это возмущения, которые невозможно или нецелесообразно измерять непосредственно.

В этих случаях вместо непосредственного контроля возмущений можно осуществлять контроль соответствующим образом подобранных вспомогательных величин, характеризующих текущее изменение состояние объекта, вызванное действием этих возмущений.

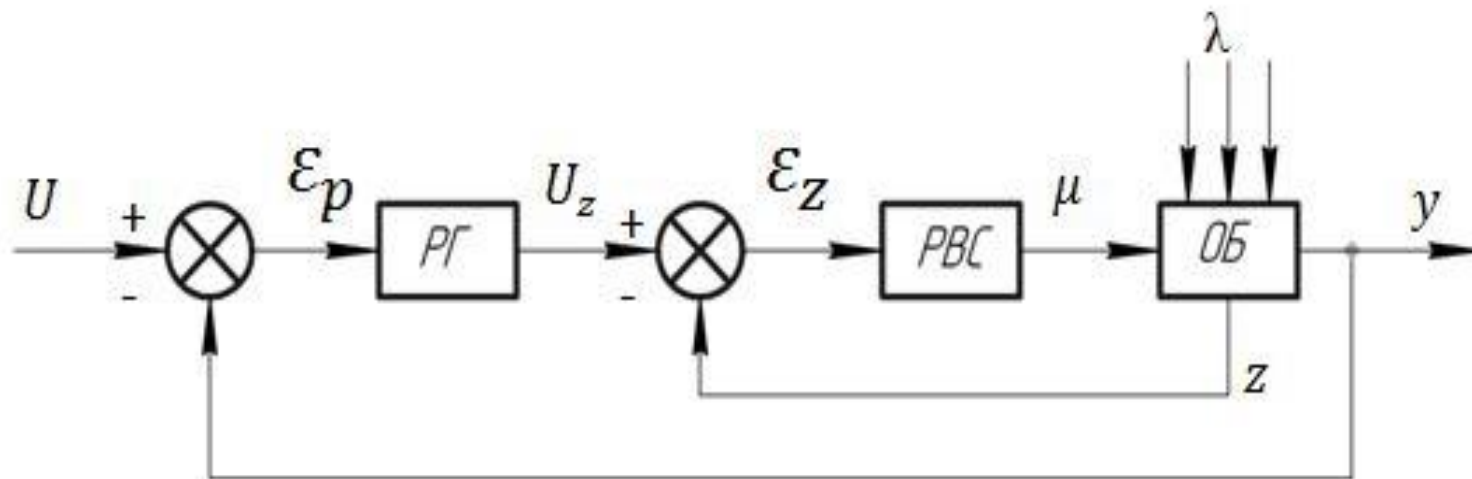


Рисунок 1.6 – Структурная схема каскадной системы регулирования с двумя регуляторами

В каскадной схеме регулирование осуществляется двумя соподчинёнными регуляторами – главным $РГ$ и вспомогательным $РВС$.

Первый регулятор, контролируя основную регулируемую величину $y(t)$, формирует командное воздействие $uz(t)$ для второго, который на основании контроля отклонения вспомогательной регулируемой величины объекта $z(t)$ от $uz(t)$ вырабатывает регулирующее воздействие $\mu(t)$.

Используется и другой вариант, когда регулирование осуществляется одним регулятором, на вход которого, помимо отклонения основной регулируемой величины $y(t)$, подаётся сигнал от изменения вспомогательной регулируемой величины $z(t)$, предварительно надлежащим образом сформированный в формирующем блоке БФ – рисунок 1.7.

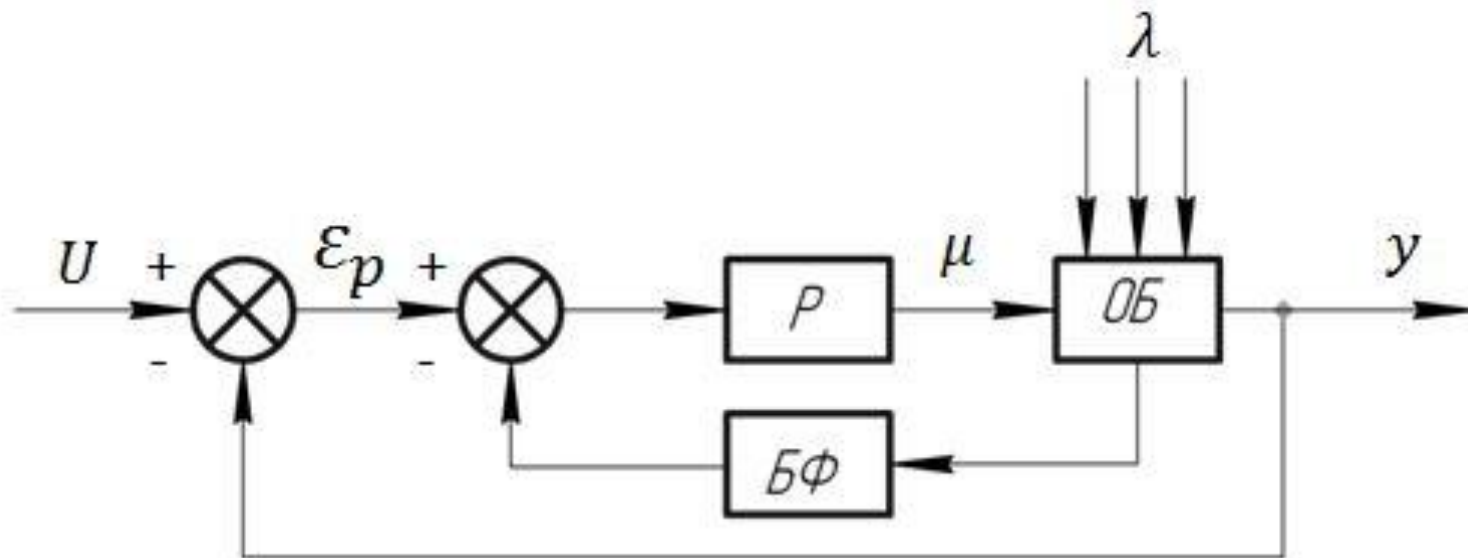


Рисунок 1.7 – Структурная схема каскадной системы регулирования с формирующим блоком для вспомогательной регулируемой величины.

Контроль каждой вспомогательной регулируемой величины объекта приводит к созданию дополнительного контура регулирования. **Системы с несколькими замкнутыми контурами называются многоконтурными.**

В каждом конкретном случае имеется своё целесообразное число уровней структуры систем управления. В частности, может оказаться, что необходимое качество управления достигается и при отсутствии командного блока, т.е. при $x(t) = u(t)$ (см. рисунок 1.4).

2. Структурная схема САР

Задачей системы автоматического регулирования (САР) является поддержание регулируемого параметра на заданном уровне.

Технологическими параметрами процессов в нефтяной и газовой промышленности являются: температура T , давление p , расход F , уровень L , показатель качества Q (плотность, вязкость и т.п.). Заданные значения параметров имеют индекс «0».

Таким образом, задача стабилизации технологических параметров в системе может быть представлена как:

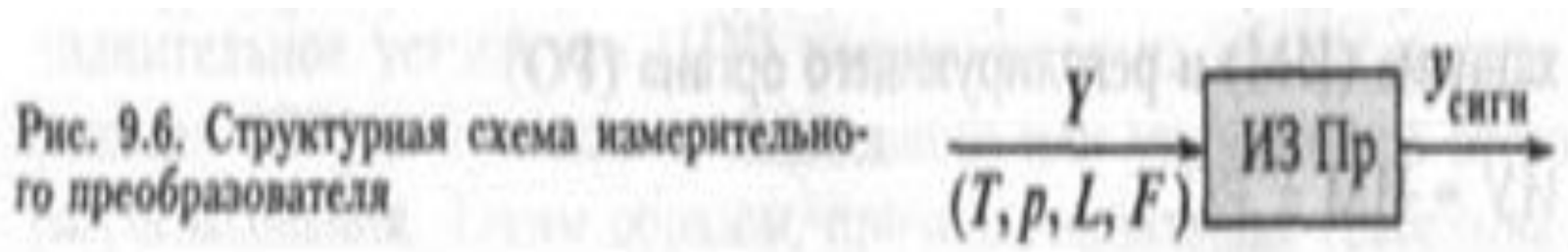
$$T = T_0; p = p_0; F = F_0; L = L_0, Q = Q_0.$$

Основными элементами САР являются: **измерительный преобразователь, нормирующий преобразователь, датчик, контроллер или автоматический регулятор, исполнительное устройство.**

Измерительный преобразователь предназначен для измерения параметра и преобразования его в сигнал в форме, удобной для передачи.

Измерительная информация представляется преобразователями обычно в виде сигналов постоянного или переменного тока или напряжения, или давления сжатого воздуха.

Примером измерительного преобразователя может служить термопара. Входным параметром термопары является температура в градусах Цельсия ($^{\circ}\text{C}$), а на выходе мы имеем термоэлектродвижущую силу - ТЭДС в милливольтках (мВ).



Нормирующий преобразователь предназначен для получения стандартного (унифицированного) сигнала.

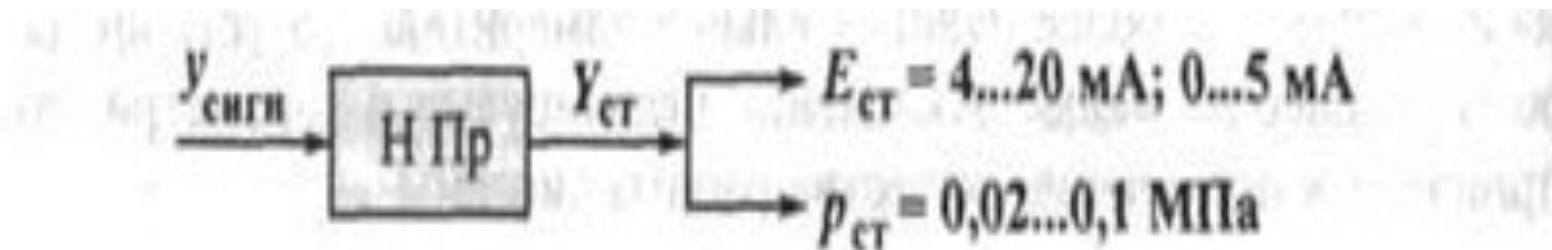


Рис. 9.7. Структурная схема нормирующего преобразователя

В нормирующих преобразователях для преобразования используются дополнительные источники энергии: электричество или давление сжатого воздуха.

- **Датчик** (рис. 9.8) преобразует регулируемый параметр в стандартный сигнал. Датчик включает в себя измерительный преобразователь и нормирующий преобразователь.

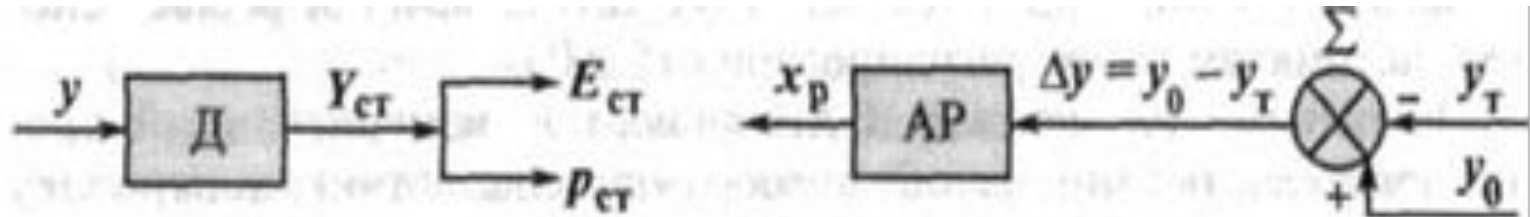


Рис. 9.8. Структурная схема датчика

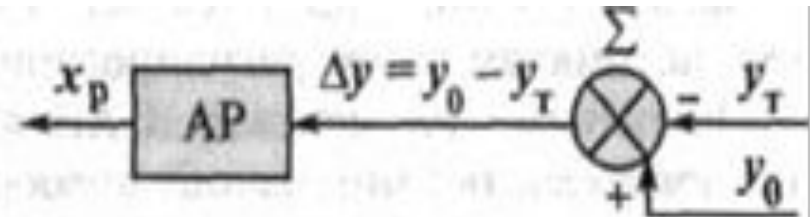


Рис. 9.9. Структурная схема автоматического регулятора

Автоматический регулятор (рис. 9.9) предназначен для выработки регулирующего воздействия x_p .



На автоматический регулятор поступают два сигнала - текущее значение регулируемого параметра y_T и заданное значение регулируемого параметра y_0 , установленное оператором.

Автоматический регулятор сравнивает эти два значения, определяет отклонение текущего значения y_T от заданного y_0 и, в случае наличия рассогласования

$$\Delta y = y_0 - y_T,$$

вырабатывает регулирующее воздействие x_p , направленное на устранение данного рассогласования.



3. Статические и динамические характеристики элементов САР

Свойства систем автоматического регулирования определяются статическими и динамическими характеристиками элементов, входящих в систему, а также связями между элементами.

Статической характеристикой элемента называется зависимость его выходной величины y от входной x в равновесных состояниях, т.е. $y = f(x)$.

Статическая характеристика может быть представлена уравнением, графиком или таблицей. Обычно уравнения статики являются алгебраическими.

- Статическая характеристика может быть линейной (рис. 9.12, а) или нелинейной (рис. 9.12, б).



Уравнение линейной статической характеристики имеет вид: $y = k \cdot x$,

где $k = tg \alpha$ - коэффициент усиления.

Коэффициент усиления имеет размерность.

Динамической характеристикой элемента называют функцию $y(t)$ - изменение во времени выходной величины y при скачкообразном изменении входа x (так называемый переходный режим).

Динамическая характеристика элемента может быть получена:

или аналитическим методом путём составления дифференциального уравнения на основании принципов и физических законов, положенных в основу действия элемента;
или практически в виде графика кривой - реакции элемента на скачкообразное изменение входной величины.

- Реакцию элемента на скачкообразное изменение входной величины называют *временной или переходной характеристикой* (в среде специалистов – *кривой разгона*).



Рис. 9.13. График скачкообразного изменения входной величины

До момента времени t_0 входная величина равна x_0 . В момент t_0 она скачкообразно изменяется на величину Δx , т.е.

$$\begin{cases} x = x_0 \text{ при } t < t_0; \\ x = x_1 \text{ при } t > t_0. \end{cases}$$

По кривой разгона, посредством её аппроксимации, получается дифференциальное уравнение, которое является математической моделью элемента.

В практике работы в области автоматизации в качестве математической модели элементов и объектов, в целом, чаще используется передаточная функция.

Передаточная функция – это отношение изображения по Лапласу выходной величины к изображению по Лапласу входной величины.

4. Устойчивость и качество САР

4.1 Типовые динамические звенья

Для исследования различных по природе и конструкции систем регулирования с помощью единого математического аппарата их представляют в виде структурных схем. Такие **схемы содержат динамические звенья и различные способы их соединения.**

В основу классификации звеньев положены соответствующие уравнения динамики.

Под динамическим звеном понимают уравнение динамики, которым можно представить различные по физической природе и конструкции элементы САР.

Динамические звенья называют элементарными, так как они не могут быть разложены на более простые. А так как каждое из них (в зависимости от его динамических свойств) может быть отнесено к тому или иному типу, их называют также типовыми.

Динамические звенья называют типовыми, если изменение проходящего через них сигнала описывается алгебраическим или дифференциальным уравнением не выше второго порядка, имеют одну входную и одну выходную величину.

Типовыми звеньями являются: усилительное, апериодическое, колебательное, интегрирующее, дифференцирующее, запаздывающее.

- **Усилительное** это звено, у которого выходная величина y изменяется во времени по тому же закону, что и входная величина x . Это значит, что в любой момент времени между входом и выходом сохраняется **пропорциональная зависимость**, определяемая коэффициентом усиления k , т.е. $\Delta y = k \cdot \Delta x$.



Рис. 10.1. Временная характеристика усилительного звена

- **Апериодическое это звено**, которое описывается дифференциальным уравнением первого порядка вида

$$T \frac{d\Delta y}{dt} + \Delta y = k \cdot \Delta x ,$$

где T - постоянная времени звена, k - коэффициент усиления.

Решение уравнения при скачкообразном изменении входной величины имеет вид:

$$\Delta y = k \cdot \Delta x (1 - e^{-\frac{t}{T}}) .$$

Временная характеристика апериодического звена, построенная по данному выражению , представлена является экспонентой.

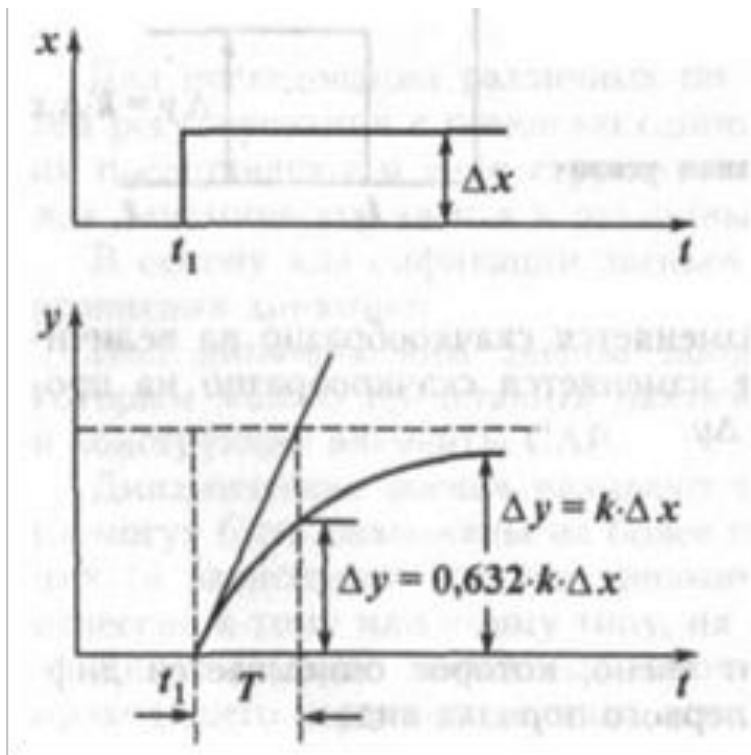


Рис. 10.2. Временная характеристика апериодического звена

Переходный процесс заканчивается за время, в течение которого отклонение y достигает 95 % от максимального отклонения, соответствующего новому состоянию равновесия звена. Это время, равное обычно $3T$, называют временем разгона.

Постоянную времени T звена можно определить из временной характеристики. Если провести касательную до пересечения с прямой, характеризующей новое установившееся значение выходной величины, то проекция этой касательной на ось времени и будет величиной T .

Время T - отклонение выходной величины под действием скачкообразного изменения входной величины достигает 63,2% от максимального отклонения.

- **Колебательное это звено, у которого после скачкообразного изменения входной величины x изменение выходной y имеет форму затухающих колебаний.**

Динамические свойства такого звена выражаются дифференциальным уравнением вида:

$$T_2^2 \frac{d^2(\Delta y)}{dt^2} + T_1 \frac{d\Delta y}{dt} + \Delta y = k \cdot \Delta x .$$

Решение этого уравнения определяет временную характеристику колебательного звена.

При решении уравнения корни характеристического уравнения получаются в виде комплексных или действительных чисел.

Выходная величина y изменяется по закону колебательного затухающего процесса, если корни комплексные.

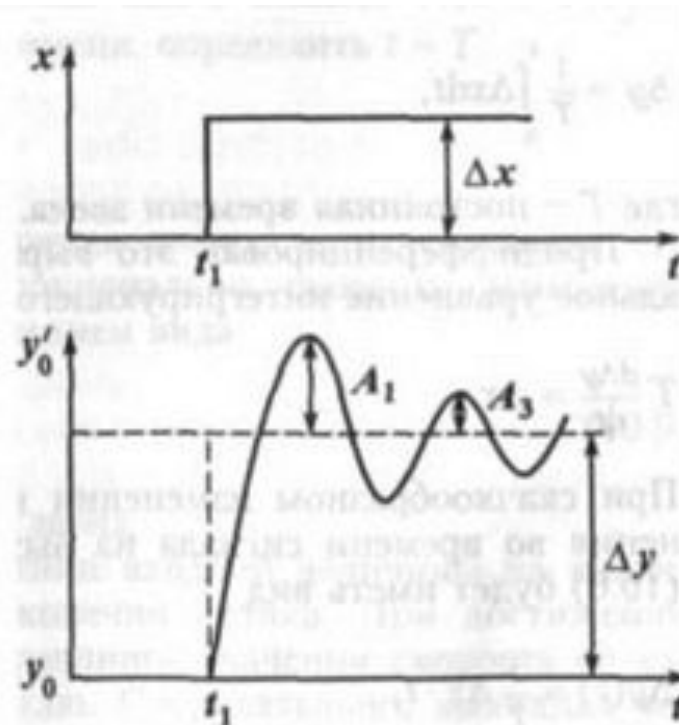


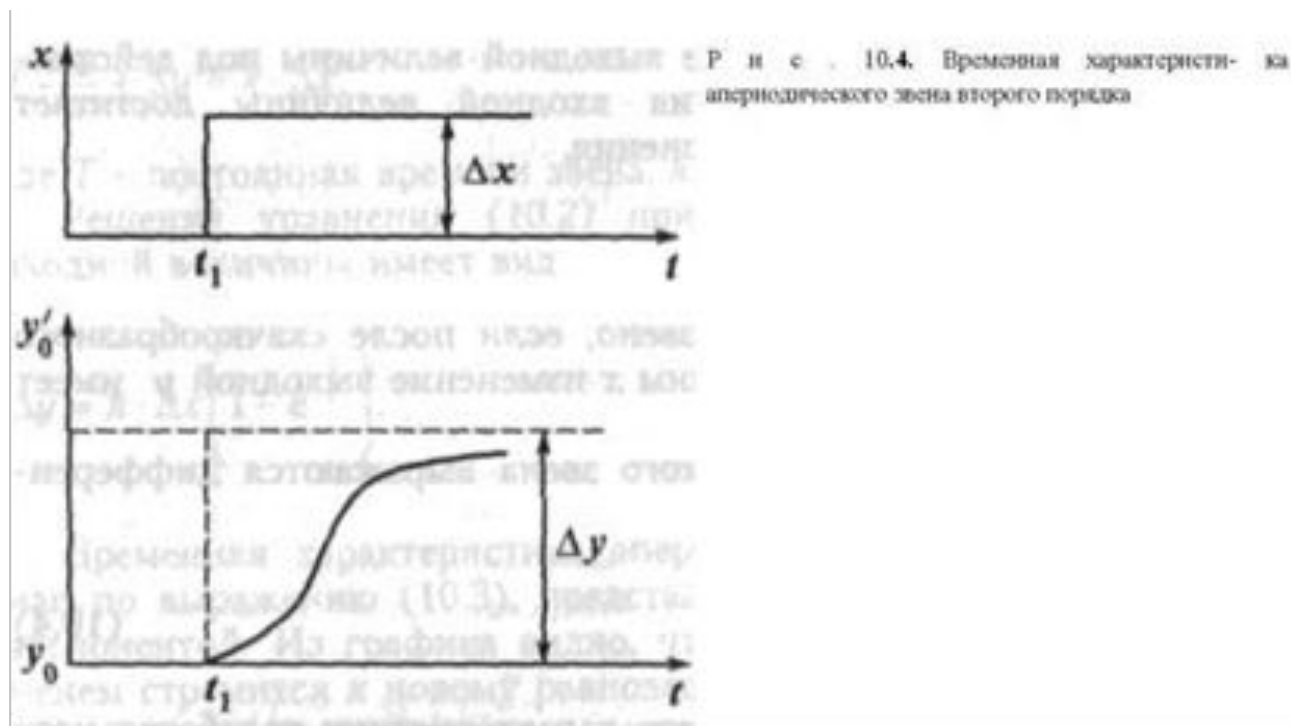
Рис. 10.3. Временная характеристика колебательного звена

- Затухание колебаний выходной величины колебательного звена характеризуют степенью затухания.

$$\Psi = \frac{A_1 - A_3}{A_1},$$

где A_1 и A_3 - амплитуды колебаний.

В случае действительных корней колебания на выходе звена отсутствуют. Это **апериодическое звено второго порядка**.



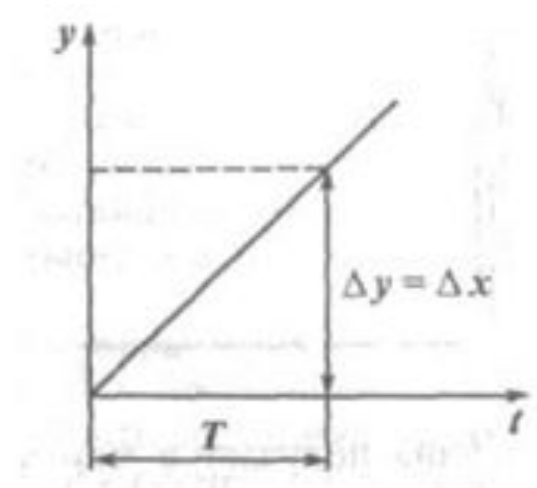
- **Интегрирующее это звено**, у которого выходная величина y пропорционален интегралу по времени от входной величины x , т.е.

$$\Delta y = \frac{1}{T} \int_0^t \Delta x dt,$$

где T - постоянная времени звена.

Временная характеристика интегрирующего звена:

Рис. 10.5. Временная характеристика интегрирующего звена



•

При скачкообразном изменении входной величины сигнал на выходе звена будет иметь вид

$$\Delta y(t) = \frac{1}{T} \Delta x \cdot t.$$

Постоянную времени можно определить из временной характеристики звена. Для этого достаточно по оси ординат отложить значение Δy , численно равное Δx , и по точке пересечения временной характеристики с прямой, соответствующей Δx и параллельной оси времени, определить $t = T$.

- **Дифференцирующее это звено**, у которого изменение выходной величины y пропорционально скорости изменения входной x и описывается уравнением вида:

$$\Delta y = k \frac{d(\Delta x)}{dt},$$

где k - коэффициент усиления звена.

Выходная величина получает в момент изменения мгновенный импульс, величина которого изменяется от нуля до бесконечности и снова возвращается к нулю.

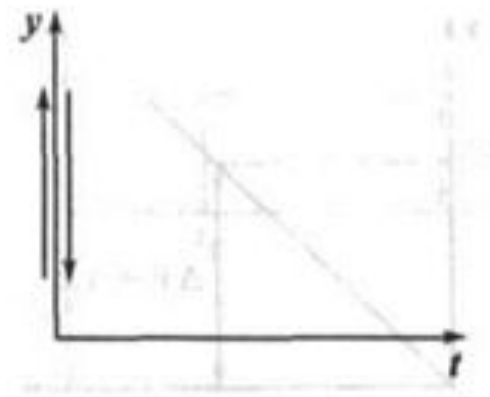


Рис. 10.6. Временная характеристика идеального дифференцирующего звена

- На практике ни одно реальное звено не может в точности удовлетворить ему, так как в реальных условиях невозможны мгновенные процессы. Для **реального дифференцирующего звена** зависимость между изменениями входной и выходной величин определяется уравнением

$$T \frac{d(\Delta y)}{dt} + \Delta y = kT \frac{d(\Delta x)}{dt},$$

где T - постоянная времени звена.

Такое звено представляет собой сочетание (последовательное соединение) апериодического и идеального дифференцирующего звеньев.

- Решение дифференциального уравнения имеет вид

$$\Delta y = k \cdot \Delta x e^{-\frac{t}{T}}.$$

Временная характеристика при скачкообразном изменении x :

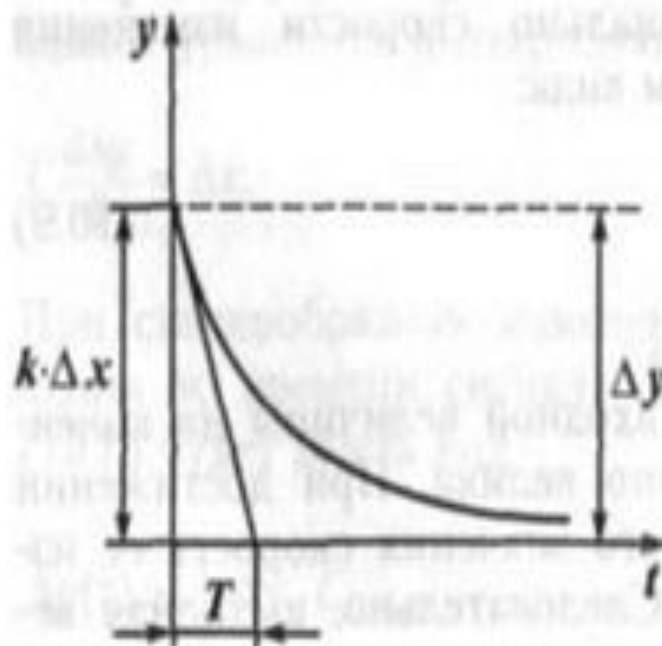


Рис. 10.7. Временная характеристика реального дифференцирующего звена



В момент изменения x выходная величина возрастает до значения, пропорционального коэффициенту усиления k , а затем убывает по экспоненте. При $t \rightarrow \infty$ величина $\Delta y \rightarrow 0$.

Реальное дифференцирующее звено характеризуется двумя параметрами: коэффициентом усиления k и постоянной времени T . Зная значения k , T и Δx , можно построить временную характеристику.

С другой стороны, по имеющейся временной характеристике можно определить k и T , как показано на рисунке.

- **Звено запаздывания.** В системах автоматического регулирования некоторые объекты передают воздействие с входа на выход с некоторым запаздыванием.

Интервал времени между моментом изменения входного сигнала и началом изменения выходной величины называется **временем запаздывания** и **обозначается τ** .

Для характеристики таких объектов введено понятие **эвена запаздывания**.

Уравнение звена запаздывания записывается в виде

$$y(t) = x(t - \tau),$$

где τ - время чистого запаздывания.

- ## 5. Законы регулирования

В промышленных системах находят применение три основных аналоговых закона регулирования: пропорциональный (П), пропорционально-интегральный (ПИ) и пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) законы регулирования.

Пропорциональные - это регуляторы, у которых регулирующее воздействие x_p изменяется пропорционально изменению входной величины - рассогласованию Δy .

$$x_p = k\Delta y,$$

где k - коэффициент пропорциональности регулятора, являющийся его настроечным параметром.

При возмущающих воздействиях П - регулятор приводит объект в равновесное состояние, но со статической ошибкой.

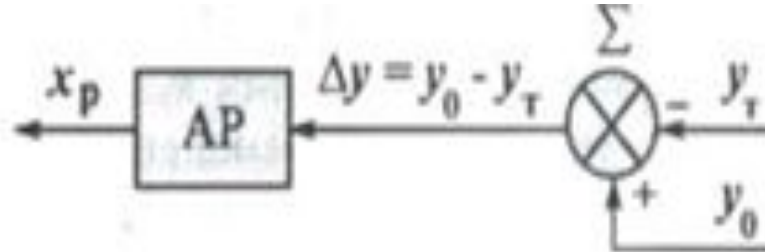


Рис. 11.4. Структурная схема автоматического регулятора

Основным достоинством П-регуляторов является наличие пропорциональной зависимости между скоростью перемещения регулирующего органа и скоростью изменения регулируемого параметра

•

Пропорционально-интегральными называются регуляторы, у которых изменение выходной величины x_p пропорционально как изменению входной величины Δy , так и интегралу её изменения:

$$x_p = k\Delta y + \frac{1}{T_{\text{и}}} \int_0^t \Delta y dt,$$

где k - коэффициент усиления регулятора, $T_{\text{и}}$ - время интегрирования, настроечные параметрами регулятора.

Выходная величина складывается из двух составляющих: пропорциональной – П и интегральной – И, которая отрабатывает статическую погрешность П – регулятора.

● **Пропорционально-интегрально-дифференциальные регуляторы** (ПИД-регуляторы) имеют вид

$$x_p = k\Delta y + \frac{1}{T_{\text{и}}} \int_0^t \Delta y dt + T_{\text{д}} \frac{dy}{dt},$$

где k - коэффициент усиления; $T_{\text{и}}$ - время интегрирования; $T_{\text{д}}$ - время дифференцирования, которые являются настроечными параметрами регулятора.

При наличии Д-составляющей выходная величина регулятора x_p изменяется с некоторым опережением относительно входной величины, пропорциональным скорости её изменения dy/dt .

ПИД-регулятор можно рассматривать как систему, состоящую из параллельно соединенных усилительного, интегрирующего и идеального дифференцирующего звеньев.

- **6. Выбор типа автоматического регулятора.**

Тип автоматического регулятора (закон регулирования) выбирается с учётом свойств объекта регулирования и заданных показателей качества переходного процесса: перерегулирование (не более 20%), статическая ошибка (не более 5%), время регулирования (не более 3- T).

При выборе закона регулирования учитывается величина отношения постоянной времени объекта T к времени запаздывания x , т.е. T/τ :

$T/\tau > 1,0$ - П-регулятор;

$10 > T/\tau > 7,5$ - ПИ-регулятор;

$7,5 > T/\tau > 3$ - ПИД-регулятор.

- **7. Влияние параметров настройки на показатели качества регулирования**

Влияние параметров настройки регулятора на форму переходного процесса рассмотрим на примере САР с ПИД-регулятором:

$$x_p = k\Delta y + \frac{1}{T_{\text{и}}} \int_0^t \Delta y dt + T_{\text{д}} \frac{dy}{dt}.$$

7.1. Влияние изменения коэффициента усиления k .

Рассмотрим два вида переходных процессов для различных значений коэффициентов усиления.

Переходные процессы:

1 - коэффициент усиления k_1 ;

2 - коэффициент усиления $k_2 > k_1$.

- Вывод: увеличение коэффициента усиления приводит к увеличению динамической ошибки (увеличивается $y_{\text{дин } 2} > y_{\text{дин } 1}$) и уменьшению времени регулирования $t_{p2} < t_{p1}$.

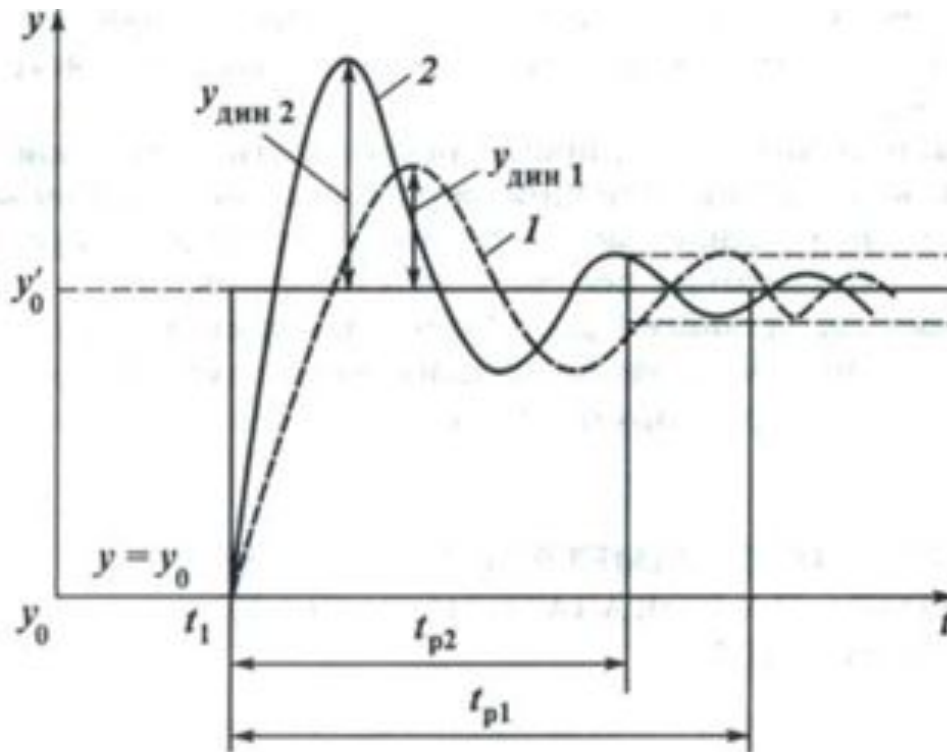


Рис. 11.5. Влияние коэффициента усиления k на показатели качества переходных процессов

- 7.2. Влияние изменения времени интегрирования $T_{\text{и}}$.

Время интегрирования переходного процесса $1 - T_{\text{и}1}$ и переходного процесса $2 - T_{\text{и}2}$; $T_{\text{и}2} > T_{\text{и}1}$.



- Увеличение времени интегрирования уменьшает воздействие регулятора на объект регулирования и, как следствие, приводит к изменению показателей качества регулирования:

$$u_{\text{дин } 2} < u_{\text{дин } 1}; t_{p 2} > t_{p 1},$$

т.е. увеличение времени интегрирования $T_{\text{и}}$ затягивает продолжительность переходного процесса.

При этом, устраняется статическая погрешность в обоих случаях.

• 7.3 Влияние изменения времени дифференцирования.

Переходный процесс 1 получен для T_d , переходный процесс 2 - для $T_{d2} > T_{d1}$. Результат: динамическая ошибка увеличивается $y_{дин 2} > y_{дин 1}$, время регулирования уменьшается $t_{p2} < t_{p1}$.

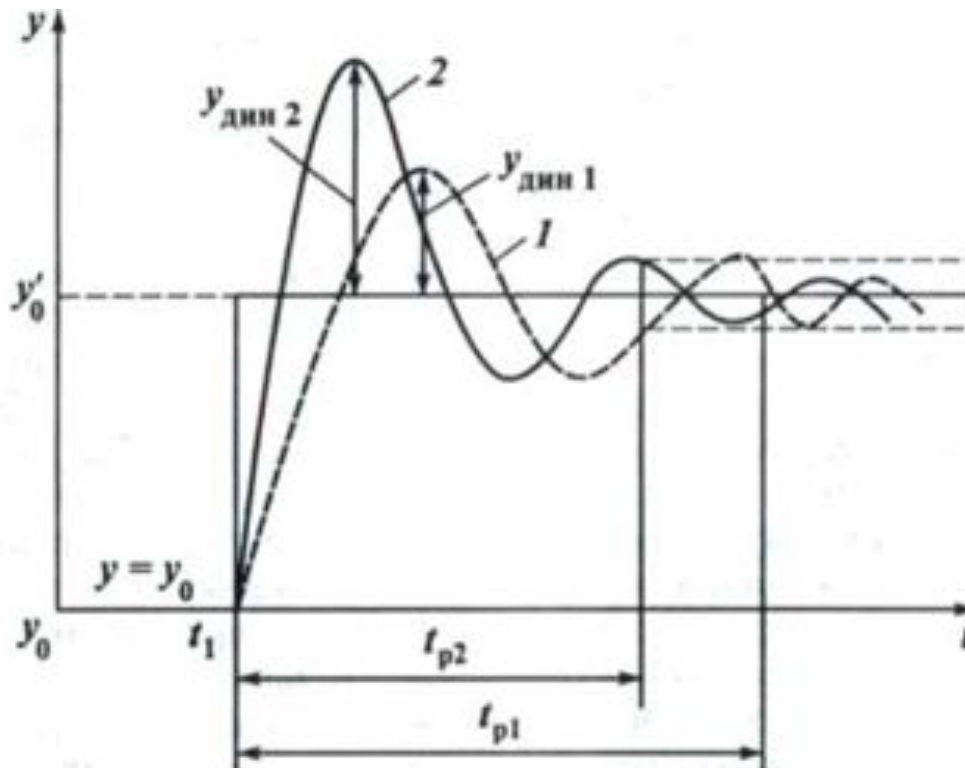


Рис. 11.7. Влияние времени дифференцирования T_d на показатели качества переходных процессов

Меняя настроечные параметры регулятора, можно получить желаемые показатели качества регулирования: время регулирования, динамическую и статическую ошибки.

Развитие автоматизации технологических процессов – основа перехода на новый технологический уклад экономики России.