

1. Общее понятие устойчивости САР
2. Переходные процессы САР
3. Качество процесса регулирования

### 1. ОБЩЕЕ ПОНЯТИЕ УСТОЙЧИВОСТИ САР

В реальных условиях АСР не может все время оставаться в установившемся режиме, потому что на неё все время действуют внешние возмущения, которые стремятся изменить значение регулируемой параметра. Поэтому автоматический регулятор в свою очередь также стремится привести значение регулируемого параметра к заданному. В результате наличия инерционных масс и емкостей переход автоматического регулятора, т. е. всей системы в целом, осуществляется не мгновенно, а спустя некоторое время. Таким образом, в системе возникают переходные процессы, которые зависят от ее параметров.

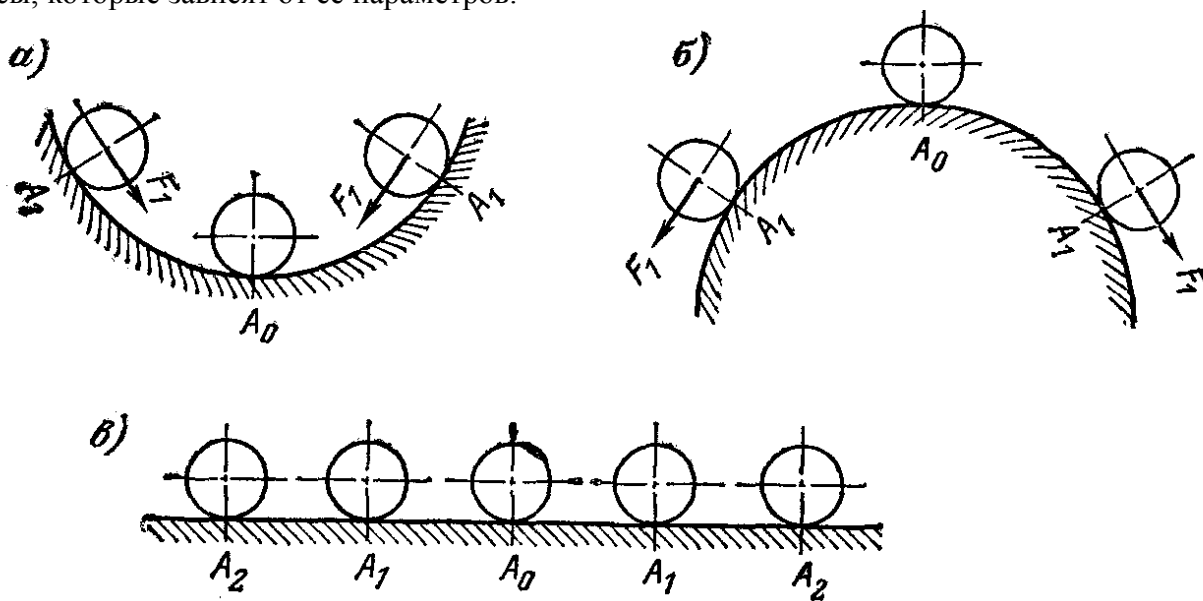


Рис. 7-11. К пояснению равновесного состояния.

$a$  — устойчивое;  $б$  — неустойчивое;  $в$  — безразличное.

Следует заметить, что исследование установившегося режима дает возможность решить вопрос о пригодности АСР для проведения какого-либо процесса с заданной точностью. Однако для практического использования этого недостаточно. Система должна быть также устойчивой по отношению к внешним возмущениям.

Пригодность любой АСР в первую очередь определяется **устойчивостью и приемлемым качеством процесса регулирования**.

**Устойчивостью** называется способность системы возвращаться к заданному установившемуся состоянию после приложения или снятия внешнего возмущения.

Известно, что каждый из установившихся режимов работы САР представляет собой равновесное состояние. Для решения вопроса, устойчиво ли равновесие какой-либо статической системы, необходимо изучить поведение этой системы при небольших отклонениях от положения равновесия. Различают три вида равновесных состояний: **устойчивое, неустойчивое и безразличное**.

На рис. 1,  $a$  приведен пример устойчивого равновесного состояния. При любом малом отклонении шарика от исходного положения  $A_0$  влево или вправо в положение  $A_1$  появляется сила  $F_1$ , которая стремится вернуть шарик в исходное положение.

Пример неустойчивого равновесного состояния приведен на рис. 1,  $б$ . Предположим, что шарик лежит на возвышении. После отклонения его от равновесного состояния  $A_0$  шарик не вернется в исходное положение, так как возникающая сила  $F_1$  стремится еще больше отклонить его от положения равновесия.

На рис. 1, в приведен пример безразличного равновесного состояния. Предположим, что шарик находится на плоскости. После отклонения его от равновесного состояния  $A_0$  шарик займет одно из новых равновесных состояний ( $A_1, A_2, \dots, A_n$ ). В этом случае шарик может иметь бесчисленное множество равновесных состояний.

Рассмотренные равновесные состояния можно распространить и на САР.

В САР применяются автоматические регуляторы, которые обладают устойчивыми установившимися режимами работы. Установившийся режим работы САР является устойчивым, если система, будучи выведенная из состояния равновесия, после снятия возмущения вновь возвращается в устойчивое равновесное состояние. Установившиеся режимы необходимо рассматривать при постоянной нагрузке и настройке.

## 2. ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ САР

В общем случае значение регулируемого параметра в неустановившемся режиме в каждый момент времени

$$y = y_{уст} + u_{пер} \quad (1)$$

где  $y_{уст}$  — установившееся значение регулируемого параметра;

$u_{пер}$  — переходная составляющая изменения регулируемого параметра, изменяющаяся по времени в течение переходного процесса.

При переходе системы из одного установившегося режима работы в другой она может оказаться либо *устойчивой*, либо *неустойчивой*. Чтобы определить это, необходимо произвести исследование динамики процесса регулирования, т. е. определить закон изменения регулируемого параметра в функции времени при воздействии на САР возмущающих факторов.

Если  $u_{пер}$  стремится к нулю хотя бы и за неограниченно большой отрезок времени, то САР будет устойчивой. Если с течением времени  $u_{пер}$  не стремится к нулю, то САР будет неустойчивой.

Рассмотрим несколько примеров переходных процессов.

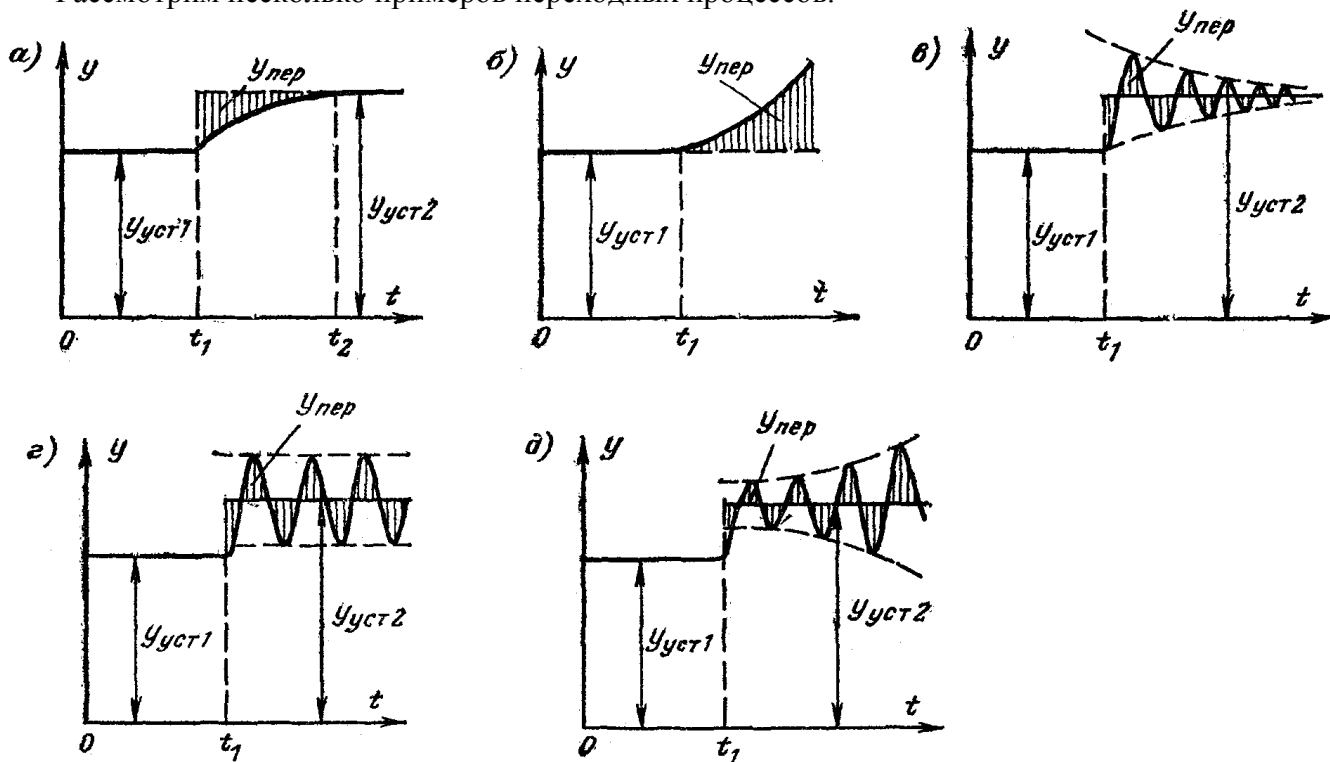


Рис. 2. Виды переходных процессов

**Пример 1.** Автоматическая система регулирования переходит из одного установившегося состояния в другое (рис. 2, а).

Регулируемый параметр  $y$  монотонно приближается к новому установившемуся значению  $y_{уст2}$ . В течение переходного процесса  $u_{ПЕР} \rightarrow 0$ , т. е. происходит уменьшение ординаты  $u_{ПЕР}$ . В этом случае переходный процесс имеет затухающий характер, а сама САР является устойчивой.

**Пример 2.** Предположим, что в САР начался переходный процесс в момент  $t = t_1$  (рис. 2,б). Переходный процесс имеет расходящийся характер, потому что с течением времени  $u_{ПЕР}$  не стремится к нулю, а возрастает монотонно и САР в переходном процессе неустойчива. Монотонные переходные процессы в двух рассмотренных примерах называются также аperiodическими переходными процессами.

**Пример 3.** Переходный процесс протекает, как показано на рис. 2,в. Система, совершив несколько колебаний около нового установившегося значения регулируемого параметра  $y_{уст2}$ , приходит к установившемуся режиму работы. В этом случае  $u_{ПЕР}$  изменяется как по абсолютному значению, так и по знаку. Автоматическая система регулирования является устойчивой, потому что с течением времени  $u_{ПЕР} \rightarrow 0$ .

**Пример 4.** Предположим, что САР совершает незатухающие колебания около нового установившегося значения регулируемого параметра  $y_{уст2}$  (рис. 2,г). Система является нейтрально устойчивой или находящейся на границе устойчивости.

**Пример 5.** Предположим, что САР, выведенная из установившегося режима, совершает расходящиеся колебательные движения около нового значения регулируемого параметра  $y_{уст2}$  (рис. 2,д). При этом амплитуда  $u_{ПЕР}$  все время возрастает. Система неустойчива, так как  $u_{ПЕР}$  не стремится к нулю. Переходные процессы на рис. 2,в—д являются колебательными.

### 3. КАЧЕСТВО ПРОЦЕССА РЕГУЛИРОВАНИЯ

Устойчивость или неустойчивость характеризует только факт наличия или отсутствия затухания переходного процесса в САР. Устойчивость САР является основным, но недостаточным условием, потому что не всякую устойчивую САР можно применить на практике. Так, затухание переходного процесса в САР может происходить быстро или медленно, с большими или малыми отклонениями регулируемого параметра от заданного значения; кроме того, переходный процесс может быть аperiodическим или колебательным. Для исследования САР введено понятие **качества процесса регулирования**.

Первой стороной качества процесса регулирования является степень поддержания регулируемого параметра, когда на САР не воздействуют внешние возмущающие факторы.

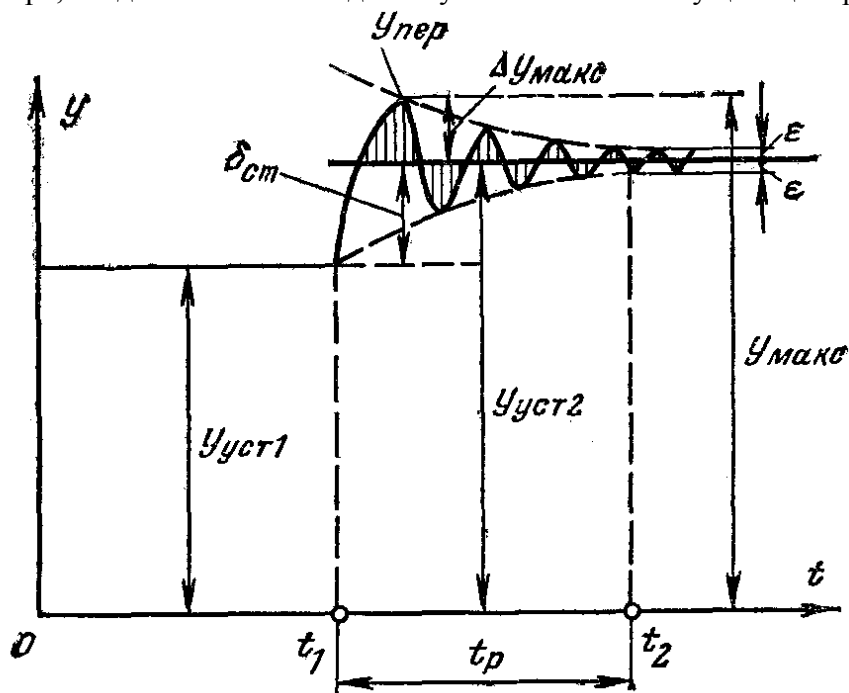


Рис. 3. Показатели качества процесса регулирования

Второй стороной качества процесса регулирования является вид переходных процессов, которые возникают при воздействии внешних возмущающих факторов.

Качество процесса регулирования характеризуют следующие основные показатели:

1) Статическая ошибка  $b_{СТ}$  — отклонение регулируемого параметра от заданного значения после окончания переходного процесса.

Значение статической ошибки можно найти из графика, который иллюстрирует процесс регулирования при воздействии на САР единичного воздействия (рис. 3). При этом система переходит из одного установившегося состояния  $y_{УСТ1}$  в другое  $y_{УСТ2}$ .

Статическая ошибка определяется:

$$\delta_{СТ} = y_{УСТ2} - y_{УСТ1} \quad (2)$$

2) Перерегулирование (выброс) — максимальное отклонение регулируемого параметра от установившегося значения:

$$\Delta y_{МАКС} = y_{МАКС} - y_{УСТ2} \quad (3)$$

Обычно перерегулирование выражается в процентах, и значение его для современных САР колеблется от 2 до 10%.

3) Время регулирования  $t_P$  — продолжительность переходного процесса. Переходный процесс теоретически считается законченным, если  $y_{ПЕР}(t)$  становится меньше  $\varepsilon = 3 - 5 \%$  нового установившегося значения регулируемого параметра  $y_{УСТ2}$ .

Параметр  $\varepsilon$  это длительно допустимое отклонение регулируемого параметра от нормы.

Время регулирования характеризует быстроедействие САР, которое зависит от вида, числа и характера включения элементов.

4) Число колебаний регулируемого параметра в течение времени переходного процесса  $t_P$ .