

Дисциплина  
«КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ,  
КОМПЛЕКСОВ И СИСТЕМ»

Лектор:  
К.т.н., доцент ОЭЭ ИШЭ ТПУ  
Воронина Наталья Алексеевна

## Методы оценки качества систем управления

К процессам систем автоматического управления предъявляются три основные группы требований:

1. Требования по точности в установившихся режимах.
2. Требования к устойчивости.
3. Требования к качеству переходных процессов.

Кроме этих к системам на практике так же предъявляются требования технико-экономического характера, связанные со спецификой объекта управления или технологического процесса.

В промышленных установках с системами автоматического управления можно выделить две большие группы:

1. Установки, в которых время переходного процесса пренебрежимо мало по сравнению с установившимся режимом. В этих случаях динамические режимы не оказывают существенного влияния ни на качество продукции, ни на производительность оборудования, на пример, насосы, вентиляторы, транспортеры и т. д.
2. Установки, в которых время переходного процесса соизмеримо с временем установившихся режимов, или, такие, в которых отклонение регулируемой переменной в динамике существенно влияет на качество продукции, на пример, станки, роботы, следящие системы и т. д.

Устойчивость, то есть способность к затуханию переходных процессов, является необходимым, но далеко не достаточным условием практической пригодности систем. Этот критерий позволяет очень грубо оценить переходные процессы. Рассмотрим, как выглядят переходные характеристики для трех основных режимов с точки зрения устойчивости.

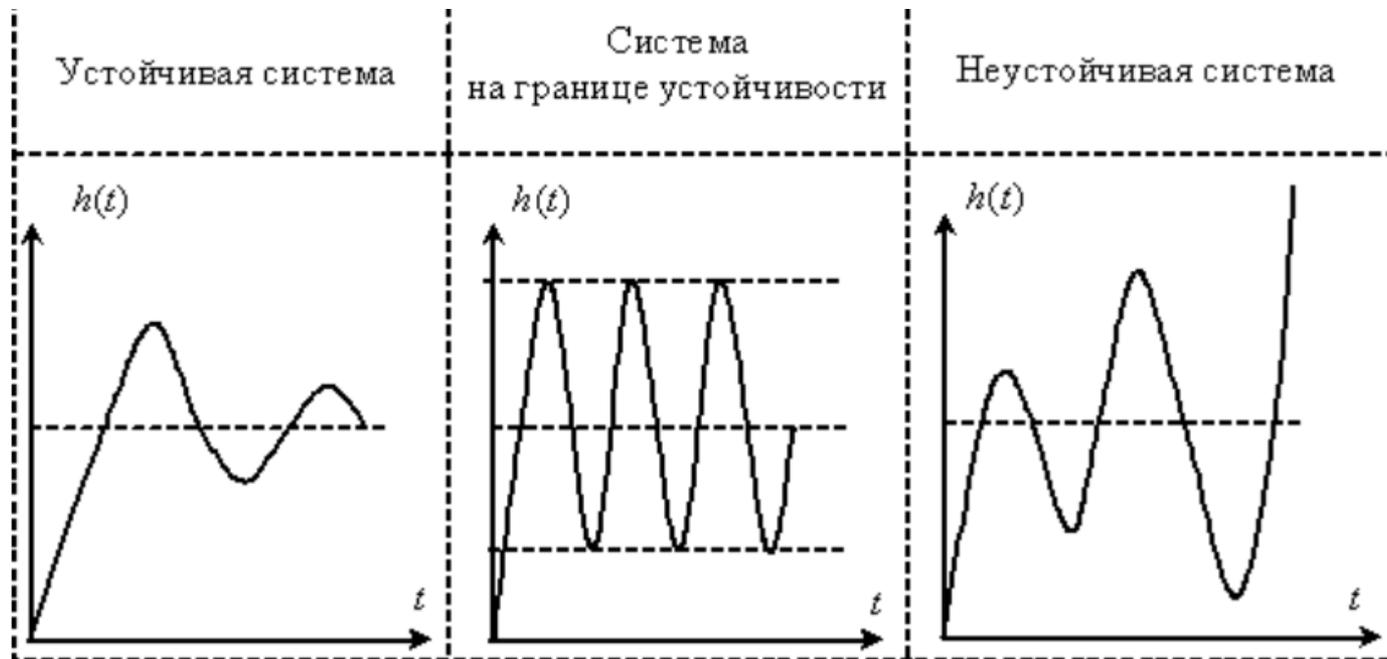


Рис. 1

Используя, как показано на рис. 1, критерий устойчивости по виду переходной характеристики (переходного процесса), мы можем сказать, что система устойчива, если переходный процесс затухает. Однако система может быть устойчивой, но ее переходные процессы, в зависимости от изменения параметров, будут сильно различаться, как это показано на рис. 2.

## Переходные процессы устойчивой системы

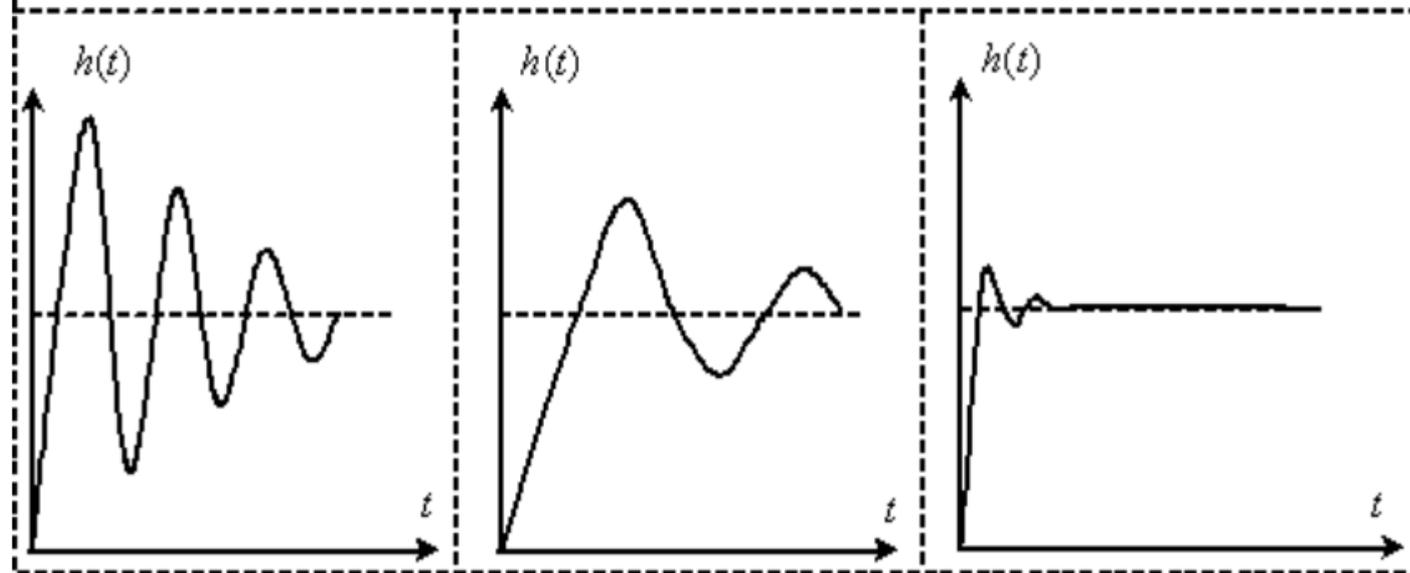


Рис. 2

Мы видим, что эти процессы существенно отличаются по виду, имеют разные частоту колебаний, время завершения, амплитуду отклонения от заданной величины. В связи с этим возникает необходимость сравнения, оценки устойчивых временных характеристик систем.

Следует отметить, что специалистов интересует не только переходные процессы при изменении управляющих воздействий, но и переходные процессы при изменении возмущающих воздействий.

Таким образом, важным понятие для систем управления является понятие качества переходных процессов, то есть становится важным сам характер протекания процессов, особенно такие факторы, как длительность, колебательность и динамическое отклонение регулируемой переменной от заданной величины.

Для оценки качества переходных процессов требуются характеристики, критерии или показатели качества, которые могут быть выражены численно.

Критерии качества имеют следующие области применения:

1. Сравнительный анализ систем автоматического управления при изменении параметров объекта управления, или при сравнении систем разного вида для одного и того же объекта управления.
2. Синтез, выбор параметров систем автоматического управления, обеспечивающих заданные критерии качества переходных процессов, требованиям технического задания на разработку системы.

Известно, что переходный процесс в системе управления зависит не только от свойств самой системы, но и от характера (вида) входного воздействия. Поэтому поведение системы при оценке качества переходных процессов рассматривают при типовых внешних воздействиях. В качестве таких типовых воздействий чаще всего используют:

- единичную ступенчатую функцию, реже, линейно нарастающий сигнал,
- воздействие гармонической функцией.

Оценки качества делятся на две группы:

1. Прямые показатели качества переходных процессов. Они характеризуют непосредственно сам переходный процесс, реакцию системы на типовое воздействие, чаще всего, на единичную ступенчатую функцию.
2. Косвенные показатели (критерии) качества. Они оценивают качество переходных процессов по другим характеристикам системы, таким как частотные характеристики, характер и расположение корней характеристического уравнения (полюсов передаточной функции), интегралы временной функции переходного процесса.

## Оценка качества переходного процесса при воздействии ступенчатой функции

Прямые оценки качества определяют по графику переходной характеристики системы управления  $h(t)$ , то есть при воздействии на систему единичной ступенчатой функции —

$$1(t) = \begin{cases} 1 \leftarrow t > 0, \\ 0 \leftarrow t \leq 0, \end{cases}$$

и при нулевых начальных условиях, или по кривой переходного процесса регулируемой переменной  $X(t)$  при воздействии на вход ступенчатой функции с амплитудой, соответствующей номинальному или иному определенному значению регулируемой переменной.

- Рассмотрим систему управления с единичной отрицательной обратной связью, структурная схема которой показана на рис. 2.

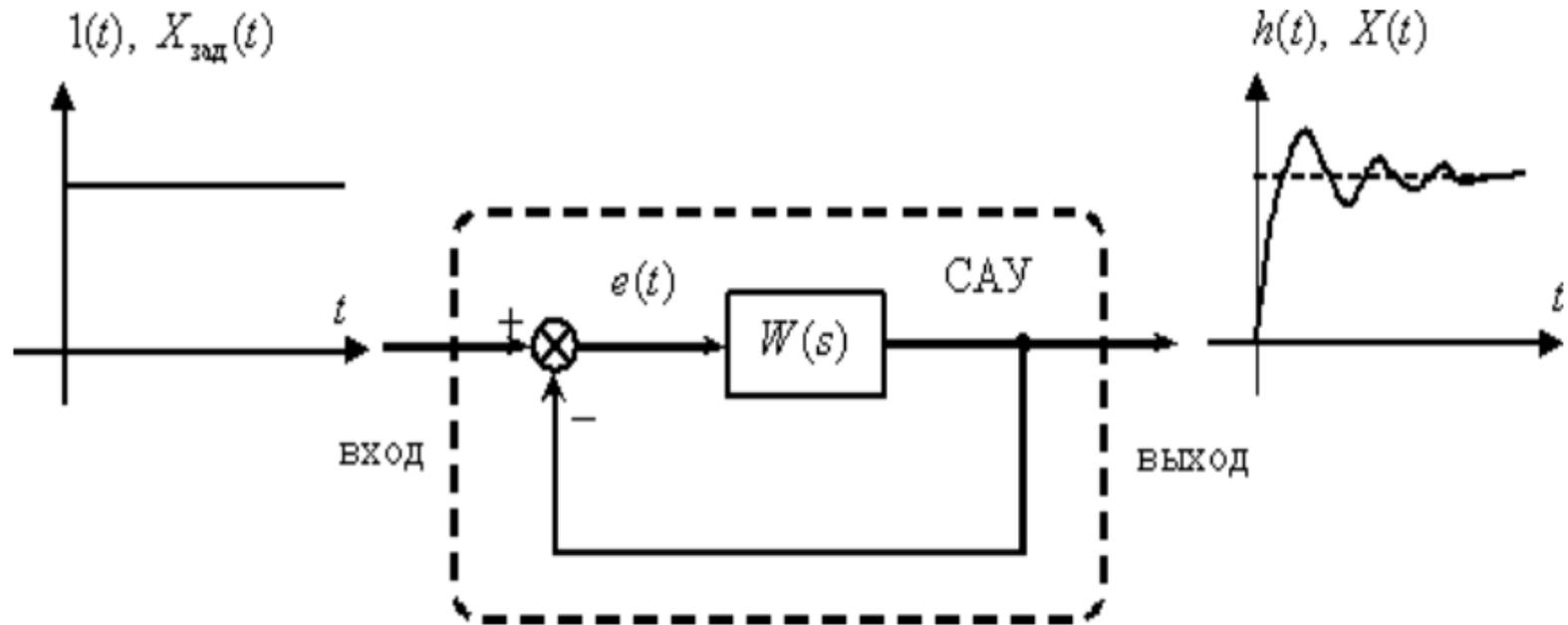


Рис. 3

На вход системы поступает ступенчатый сигнал, на выходе можно наблюдать реакцию системы, кроме того, в качестве переходного процесса может рассматриваться изменение ошибки регулирования –

$$e(t) = X_{зад}(t) - X(t).$$

Примерные графики изменения сигнала на выходе и ошибки регулирования показаны соответственно на рис. 4 и 5.

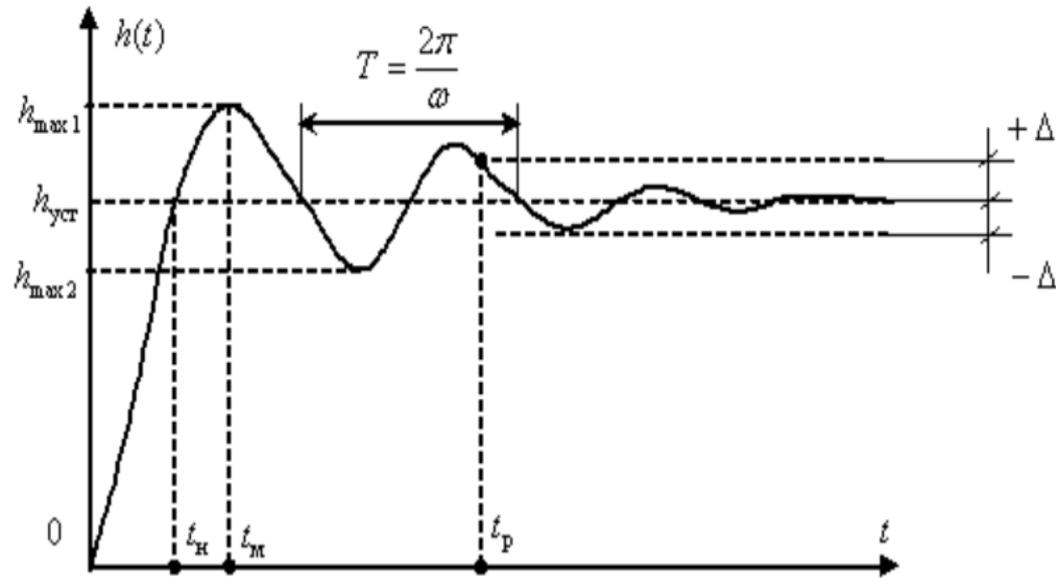


Рис. 4

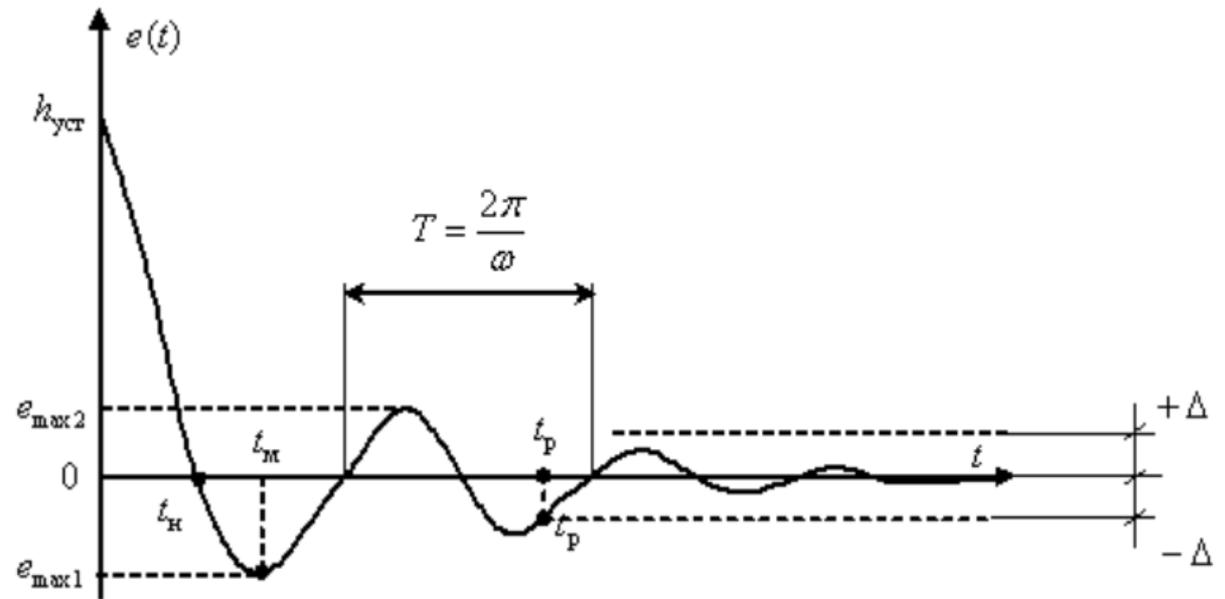


Рис. 5

Рассмотрим прямые оценки качества переходных процессов, показанные на рис. 4 и 5:

1.  $t_p$  – минимальное время, по истечении которого регулируемая величина будет оставаться близкой к установившемуся значению с заданной точностью –

$$|h(t) - h_{уст}| \leq \Delta, \quad \Delta = const.$$

$\Delta$  предварительно задается в процентах от установившегося значения  $h_{уст}$ , где нет определенных требований – принимают  $\Delta\% = 5\%$ .

2.  $\sigma$  – перегулирование – максимальное отклонение от установившегося значения, выраженное в относительных единицах или процентах –

$$\sigma = \frac{h_{max1} - h_{уст}}{h_{уст}} 100\% \quad \text{или} \quad \sigma = \frac{|e_{max1}|}{e(0)} 100\% = \frac{|e_{max1}|}{h_{уст}} 100\%.$$

Обычно требования по перегулированию составляют  $\sigma \approx 10 \div 30\%$ , иногда к качеству процессов может быть предъявлено требование  $\sigma = 0\%$ , на пример в системах позиционирования манипуляторов промышленных роботов.

3.  $\omega$  – частота колебаний –

$$\omega = \frac{2\pi}{T},$$

где  $T$  – период колебаний для колебательных процессов.

4.  $N$  – это число полных колебаний, которое имеет  $h(t)$  или  $e(t)$  за время регулирования  $t_p$ , обычные требования по числу колебаний  $N \approx 1 \div 2$ , в некоторых системах накладывают ограничение на колебательность  $N = 0$ , на пример, в системах с существенным люфтом в механических передачах.

5.  $t_m$  – время достижения первого максимума.

6.  $t_x$  – время нарастания переходного процесса, время от начала переходного процесса до момента первого пересечения графиком линии установившегося значения.

7.  $\kappa$  – декремент затухания, равный отношению модулей двух смежных переуправлений –

$$\kappa = \frac{|h_{\max 1} - h_{уст}|}{|h_{\max 2} - h_{уст}|}.$$

Перечисленные выше показатели могут быть дополнены и другими, если этого требуют специфические технические задания на разработку или исследование систем управления.

Устойчивые переходные процессы, возникающие при ступенчатом воздействии, принято делить на три группы:

1. Монотонные процессы. Такие процессы, где первая производная выходной величины по времени не меняет знак.
2. Аперiodические процессы. Здесь производная меняет знак не более одного раза.
3. Колебательные процессы. Производная меняет свой знак периодически

На рис. 6 показан примерный вид колебательного, аperiodического и монотонного процессов.

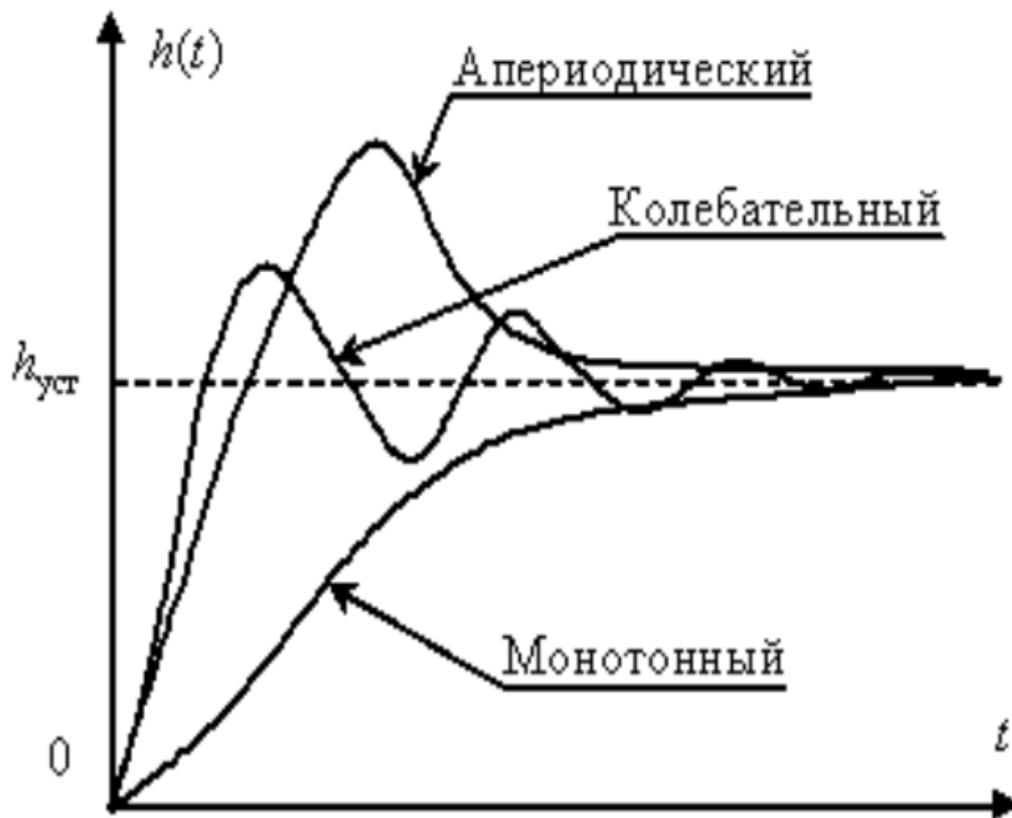


Рис. 6

Требования к качеству переходного процесса могут быть представлены графически. Они сводятся к требованию, чтобы отклонение регулируемой величины при ступенчатом воздействии не выходило за границы некоторой области, изображенной на диаграмме качества процесса. Простейшая диаграмма показана на рис. 7.

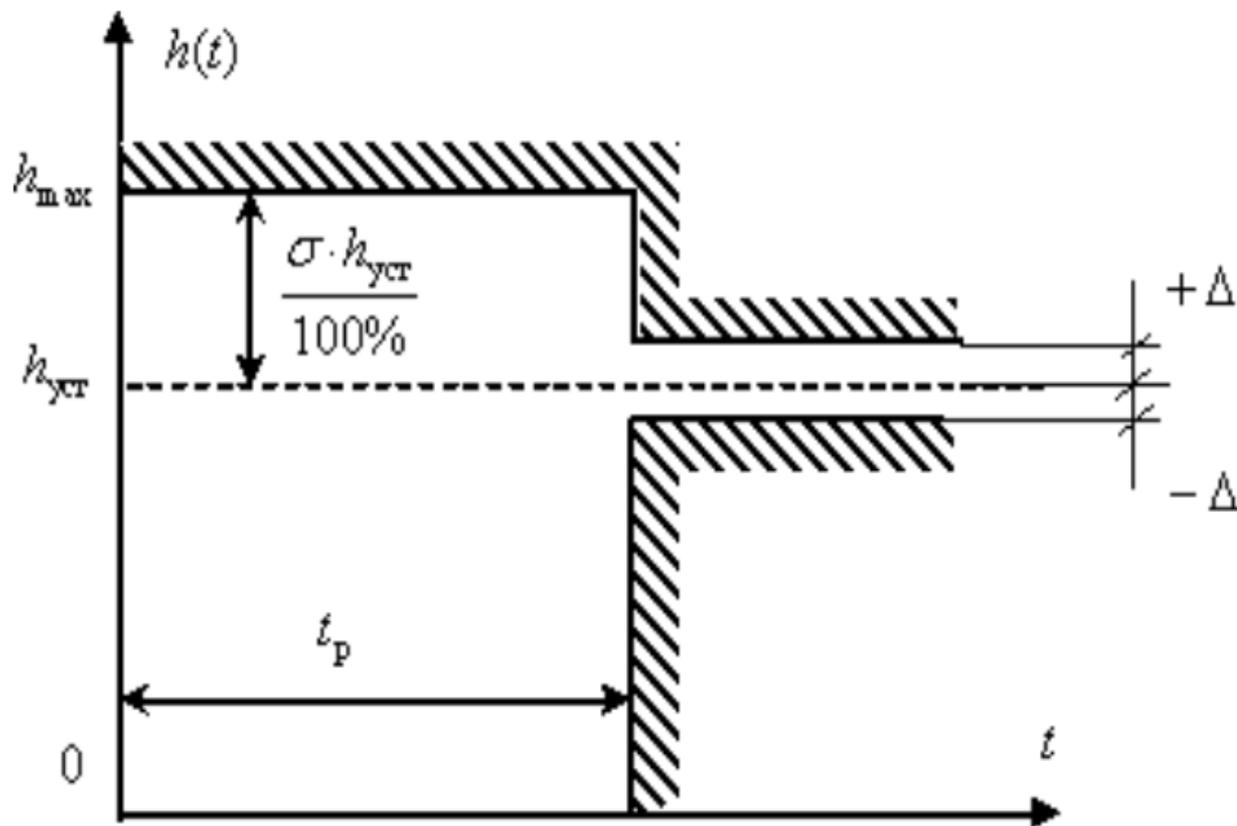


Рис. 7

Уточненная диаграмма, в которой накладываются ограничения на скорость нарастания сигнала, показана на рис. 8. На уточненной диаграмме  $t_3$  обозначает время запаздывания, равное отрезку времени, заключенному между моментами приложения скачкообразного сигнала ( $t = 0$ ) и моментом времени, при котором выходная величина достигает половины установленного значения.

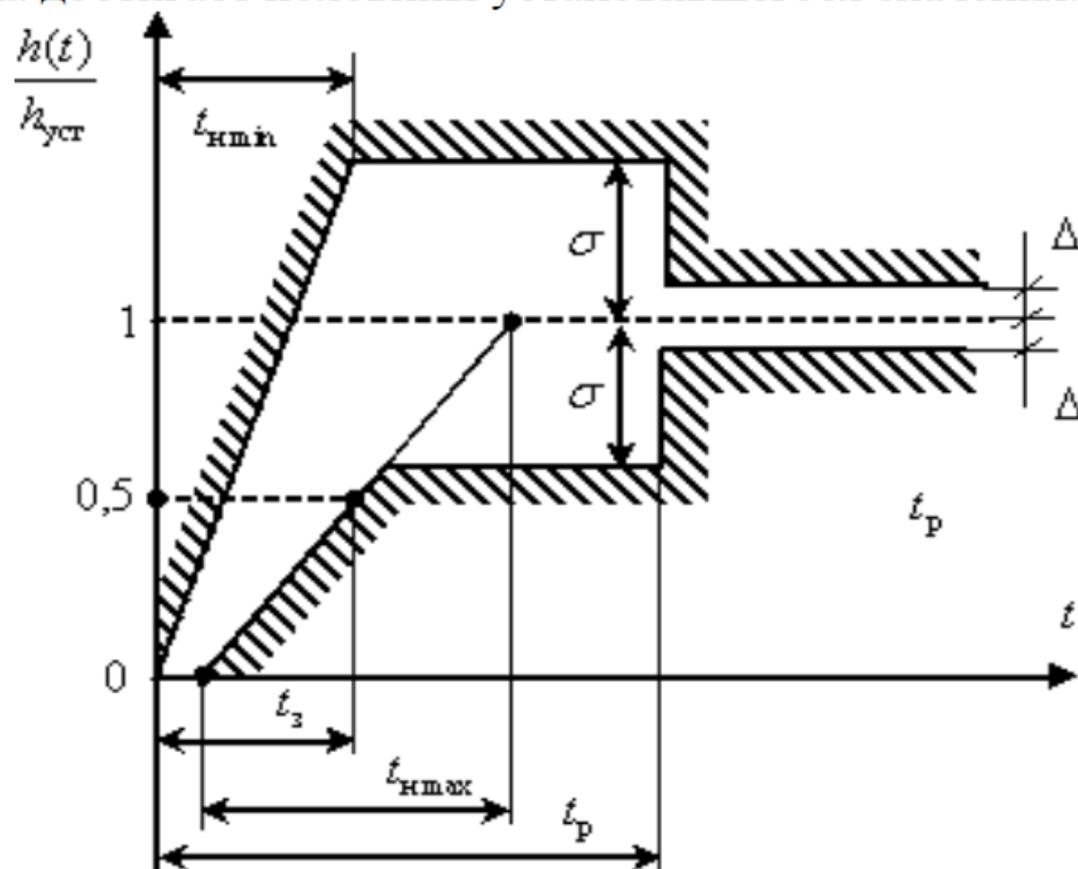


Рис. 8

## Контрольные вопросы и задачи

1. В каких системах автоматического управления важен характер и параметры протекания переходных процессов?
2. Перечислите основные области применения критериев качества.
3. Какие показатели качества относят к прямым показателям?
4. Какие показатели (критерии) качества относят к косвенным критериям?
5. Как определить время регулирования по графику переходного процесса?
6. Как определить переуправление по графику переходного процесса?
7. Как определить время нарастания по графику переходного процесса?
8. Какие переходные процессы относят к аperiodическим процессам?
9. Какие переходные процессы относят к монотонным процессам?

Спасибо за внимание!