

Министерство образования Российской Федерации

Владимирский государственный университет

Кафедра технологии переработки пластмасс

УДК 66.01-52

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторной работе

«Исследование влияния запаздывания на устойчивость
и показатели качества регулирования»

по дисциплине «Системы управления ХТП»

Составители:

к.т.н., доцент Барабанов Н.Н.

к.т.н., доцент Земскова В.Т.

Владимир 2002 г.

Лабораторная работа

Исследование влияния запаздывания на устойчивость и показатели качества регулирования

Цель работы:

1. Освоить методику составления S-диаграмм средствами Simulink.
2. По составленным S-диаграммам рассчитать:
 - параметры настройки регулятора на заданный запас устойчивости по фазе;
 - предельное время запаздывания, при котором АСР выходит на колебательную границу устойчивости ($\tau_{зп}^{пр}$);
 - переходные процессы с рассчитанными параметрами настройки регулятора при различных временах запаздывания в диапазоне $\tau_{зп}^{зад} \leq \tau_{зп} \leq \tau_{зп}^{пр}$ не менее 5-ти процессов.
3. По кривым переходных процессов определить показатели качества регулирования.
4. Найти аналитические зависимости показателей качества регулирования от времени запаздывания, используя стандартную функцию программы Matlab – polytool.

Краткое теоретическое введение

Передача и формирование управляющего воздействия в элементах АСР осуществляется не мгновенно, а в течение некоторого времени.

Различают три понятия этого времени: время запаздывания процесса, время запаздывания регулятора и транспортное запаздывание (чистое время запаздывания).

Время запаздывания процесса характеризуется промежутком времени между моментами образования возмущения и начала соответствующего ему изменения регулируемой переменной в месте установки датчика АСР и зависит от внутренних свойств регулируемого объекта. Например, при увеличении теплоотдачи каким-либо телом, находящимся в установившемся тепловом режиме до нанесения возмущения, снижение температуры в месте установки датчика начинается с опозданием и с пониженной скоростью. Значение этого времени запаздывания процесса будет определяться запасом тепла, сконцентрированного в теле, теплоемкостью тела и тепловым сопротивлением, имеющим место по пути следования к месту установки датчика.

Время запаздывания регулятора определяется временем между моментами начала изменения регулируемого параметра и срабатывания регулирующего органа.

Очевидно, что интервал времени между моментом нанесения возмущения и началом срабатывания регулирующего органа равен сумме запаздывания процесса и регулятора. В обычных случаях время запаздывания процесса во много раз больше времени запаздывания регулятора, поэтому время запаздывания регулятора, в большинстве случаев, в расчет не берется.

Транспортное запаздывание характеризуется промежутком времени между моментом срабатывания регулирующего органа и действительного начала изменения регулируемого параметра. Например, изменение положения клапана, установленного на линии подачи пара в теплообменник, не сразу скажется на изменении температуры трубок теплообменника, т.к. пар должен пройти определенный путь. Скорость пара будет зависеть от нагрузки объекта: с ее увеличением скорость пара возрастет. Поэтому, в отличие от запаздывания процесса и регулятора, транспортное запаздывание зависит от нагрузки объекта и с ее увеличением оно уменьшается.

Часто сумму времен запаздывания процесса и регулятора называют переходным временем запаздывания, а транспортное – чистым временем запаздывания.

Общая передаточная функция разомкнутой АСР при наличии чистого запаздывания имеет вид:

$$W^{\tau}_{\text{раз}}(p) = W_p(p)W_{\text{экв}}(p)\exp(-p\tau_{\text{зп}}) = W_o(p)\exp(-p\tau_{\text{зп}}), \quad (1)$$

в соответствии с которой структурная схема АСР будет иметь следующий вид (см. рис.1)

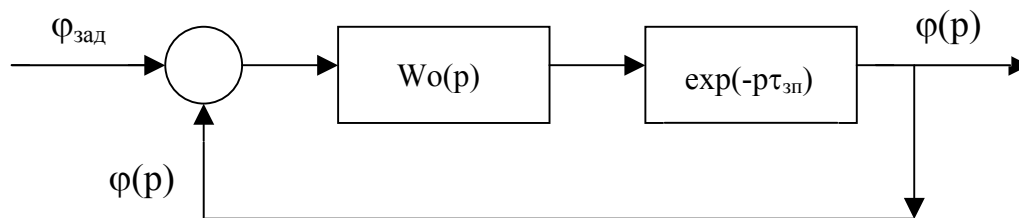


Рис. 1. Структурная схема АСР с запаздыванием: $W_o(p)$ – передаточная функция части системы без запаздывания; $\exp(-p\tau_{\text{зп}})$ – передаточная функция звена запаздывания

Из выражения (1) следует, что амплитудно-фазовая характеристика системы с запаздыванием может быть получена путем построения амплитудно-фазовой характеристики системы без запаздывания, каждый вектор которой затем без изменения модуля повернут на угол $\tau_{зп}\omega$. При возрастании частоты ω этот угол сдвига будет быстро расти, а так как при больших значениях ω модуль стремится к нулю, то годограф с запаздыванием закручивается вокруг начала координат.

В соответствии с критерием устойчивости Найквиста, для того чтобы замкнутая АСР с запаздыванием $\tau_{зп}$ была устойчива, необходимо и достаточно, чтобы годограф разомкнутой АСР с запаздыванием не охватывал точку с координатами $(-1; i0)$.

Значение предельного времени запаздывания $\tau_{зп}^{пр}$, при котором годограф разомкнутой АСР пройдет через точку $(-1; i0)$, т.е. система выйдет на колебательную границу устойчивости, можно определить исходя из следующих соотношений.

Частотные характеристики разомкнутой системы с запаздыванием при заданном запасе устойчивости по фазе γ_0 будут иметь следующий вид:

$$A_{раз}(\omega) = 1, \quad (2)$$

$$\theta_{раз}(\omega) = -\pi + \gamma_0. \quad (3)$$

Из уравнения (3) находится частота ω_0 , при которой модуль частотной характеристики примет значение 1. Из уравнения (2) при ω_0 находится коэффициент усиления регулятора, обеспечивающий заданный запас устойчивости по фазе γ_0 . Далее записать уравнение (3) для предельного времени запаздывания $\tau_{зп}^{пр}$ в виде:

$$\theta_{раз}(\omega) = -\pi. \quad (4)$$

Из уравнений (3) и (4) находится предельное время запаздывания:

$$\tau_{зп}^{пр} = \frac{\gamma_0}{\omega_0} + \tau_{зп}, \quad (5)$$

где γ_0 – запас устойчивости по фазе при исходном времени запаздывания $\tau_{зп}$; ω_0 – круговая частота, при которой значение АЧХ равно 1 при рассчитанных параметрах настройки регулятора.

Пример расчета.

Рассмотрим влияние времени запаздывания $\tau_{зп}$ на устойчивость и показатели качества регулирования, если передаточная функция объекта регулирования имеет вид:

$$W_{экр}(p) = \frac{\kappa_0 e^{-p\tau_{зп}}}{T_0 p + 1}.$$

В качестве регулятора используем ПИ-регулятор с передаточной функцией :

$$W_p(p) = k_p \left(1 + \frac{1}{T_i p}\right).$$

Передаточная функция разомкнутой АСР будет иметь вид:

$$W_{\text{раз}}(p) = \frac{k_o e^{-p\tau_{\text{зп}}} k_p \left(1 + \frac{1}{T_i p}\right)}{T_o p + 1}.$$

В полученном уравнении оператор Лапласа p заменим на $i\omega$ и найдем выражения для АЧХ и ФЧХ разомкнутой системы:

$$A_{\text{раз}}(\omega) = \frac{k_o k_p \sqrt{1 + \left(\frac{1}{T_i \omega}\right)^2}}{\sqrt{1 + (\omega T_o)^2}}; \quad (6)$$

$$\theta_{\text{раз}}(\omega) = -\arctg\left(\frac{1}{T_i \omega}\right) - \arctg(\omega T_o) - \omega \tau_{\text{зп}}. \quad (7)$$

Для расчета параметров настройки ПИ-регулятора на заданный запас устойчивости по фазе γ_o и предельного времени запаздывания необходимо решить уравнение (3) с учетом (7) при заданном времени изодрома T_i , т.е. найти частоту ω_o . Найденное значение ω_o подставить в уравнение (6), приравняв его к 1, таким образом находится коэффициент усиления регулятора k_p . По уравнению (5) находится предельное время запаздывания. S-диаграмма для решения этих задач средствами Simulink приведена на рис. 2, на котором приведены численные результаты расчета при следующих входных данных:

- заданный запас устойчивости по фазе $\gamma_o = \pi/4$;
- постоянная времени объекта $T_o = 10$ мин;
- полное время запаздывания $\tau_{\text{зп}} = 5$ мин;
- время изодрома ПИ-регулятора $T_i = 10$ мин;
- коэффициент усиления объекта $k_o = 1$.

Расчетные значения:

- частота $\omega_o = 0,1571$ рад/с;
- коэффициент усиления ПИ-регулятора $k_p = 1,571$;
- предельное время запаздывания $\tau_{\text{зп}}^{\text{пр}} = 10$ мин.

Для исследования влияния времени запаздывания на показатели качества регулирования ($\tau_p, \delta_{\text{max}}, \psi$) составляется S-диаграмма для расчета переходных процессов в замкнутой АСР, представленная на рис. 3. Рассчитаны 2 переходных процесса при времени запаздывания 5 мин и 9 мин. Полученные расчетные данные приведены на рис. 4.

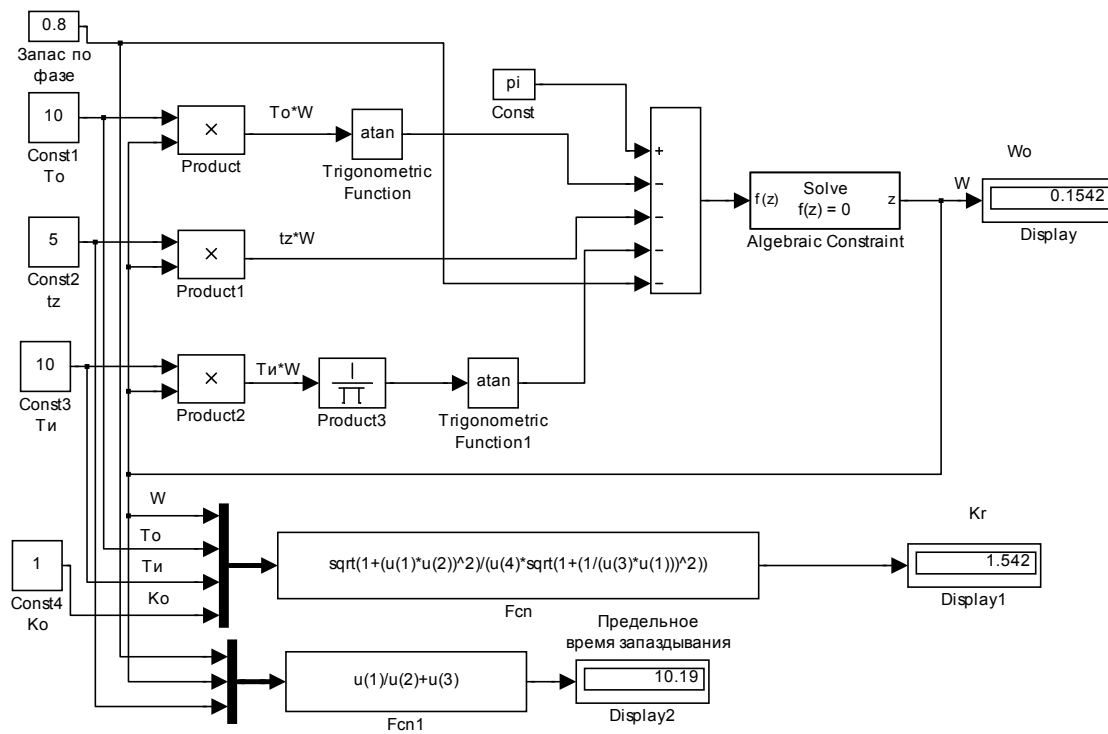


Рис. 2. S-диаграмма для расчета параметров настройки ПИ-регулятора на заданный запас устойчивости по фазе и определения предельного времени запаздывания

S-диаграмма АСР с запаздыванием

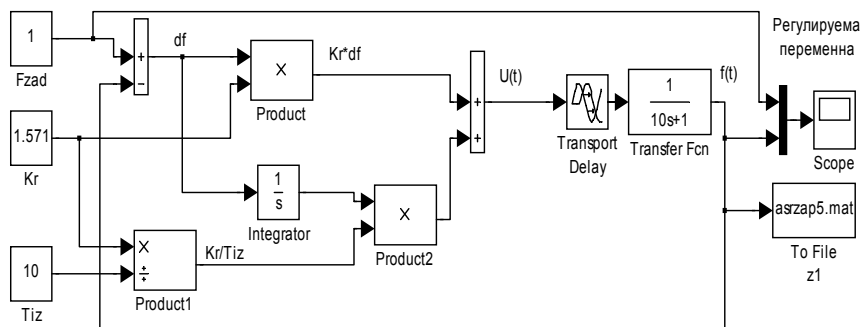


Рис. 3. S-диаграмма АСР с запаздыванием для расчета переходных процессов

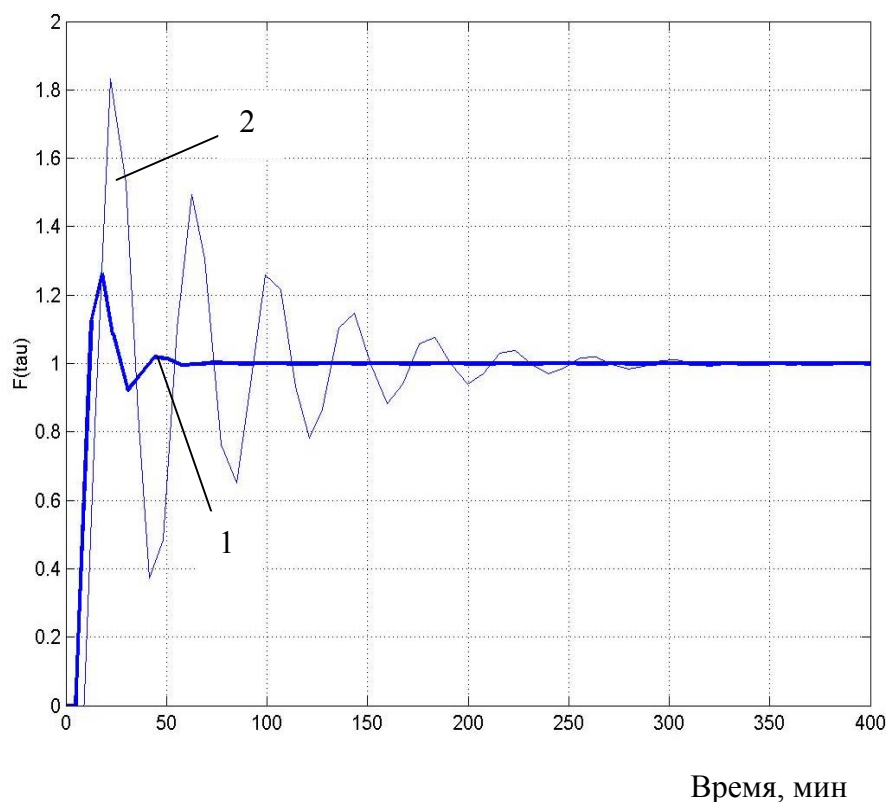


Рис.4. Кривые переходного процесса в замкнутой АСР при временах запаздывания: 1 – 5 мин; 2 – 9 мин

По данным рис. 4 найдены следующие показатели качества регулирования:

- время регулирования $\tau_{p1} = 50$ мин, $\tau_{p2} = 330$ мин;
- максимальная динамическая ошибка регулирования $\delta_{\max1} = 0,3$, $\delta_{\max2} = 0,82$;
- степень затухания $\psi1 = 0,93$, $\psi2 = 0,36$.

Из полученных расчетных данных следует, что время запаздывания ухудшает все показатели качества регулирования.

Варианты заданий для выполнения лабораторной работы

При выполнении работы каждая бригада группы получает задание для проведения расчетов. Варианты заданий приведены в таблице.

Варианты	Объект управления с запаздыванием	Регулятор	Запас устойчивости γ_0
1	$W_o(p) = \frac{k_o e^{-p\tau_{zn}}}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)},$ $\kappa_o = 1; \tau_{zn} = 10\text{с};$ $T_1 = T_2 = 20\text{с}$	П-регулятор, $W_p(p) = k_p$	$\pi/4$
2	$W_o(p) = \frac{k_o e^{-p\tau_{zn}}}{(T_o p + 1)},$ $\kappa_o = 1; \tau_{zn} = 8\text{с}; T_o = 20\text{с}$	ПД-регулятор, $W_p(p) = k_p (1 + T_d p)$	$\pi/4$
3	$W_o(p) = \frac{k_o e^{-p\tau_{zn}}}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)},$ $\kappa_o = 1; \tau_{zn} = 10\text{с}; T_1 = 10\text{с};$ $T_2 = 20\text{с}$	ПИ-регулятор, $W_p(p) = k_p \left(1 + \frac{1}{T_i p}\right)$	$\pi/6$

Контрольные вопросы

1. Что такое запаздывание? Время запаздывания процесса, регулятора и транспортное запаздывание.
2. Как запаздывание влияет на частотные характеристики АСР?
3. Что такое предельное время запаздывания и как его определить?
4. Алгоритм расчета параметров настройки регулятора на заданный запас устойчивости по фазе.
5. Что является показателями качества регулирования и как их определить?
6. Как запаздывание влияет на показатели качества регулирования?

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткое теоретическое введение.
3. Экспериментальная часть:
 - S-диаграмма для расчета параметров настройки регулятора и предельного времени запаздывания $\tau_{zn}^{пр}$;
 - S-диаграмма для расчета переходных процессов в замкнутой АСР ;
 - таблица рассчитанных показателей качества регулирования в зависимости от времени запаздывания;
 - программа для вывода аналитической зависимости показателей качества регулирования от времени запаздывания и полученные зависимости.
4. Выводы.