

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА»  
(САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

## СИНТЕЗ ПИД-РЕГУЛЯТОРА В ИНТЕГРИРОВАННОЙ ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ MATLAB

Рекомендовано редакционно-издательским советом федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» в качестве методических указаний для студентов Самарского университета, обучающихся по основной образовательной программе высшего образования по направлению подготовки 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств

*Составитель Н.Г. Чернобровин*

САМАРА  
Издательство Самарского университета  
2020

УДК 004.9(075)

ББК 32.973я7

Составитель ***Н.Г. Чернобровин***

Рецензент д-р техн. наук, проф. А. И. Д а н и л и н

**Синтез ПИД-регулятора в интегрированной программной среде MATLAB:** методические указания / составитель *Н.Г. Чернобровин*. – Самара: Издательство Самарского университета, 2020. – 12 с.: ил.

Методические указания являются частью цикла лабораторных работ по курсу «Основы управления технологических систем».

В методических указаниях изложены краткие теоретические сведения и методика синтеза и исследования качества регуляторов в условиях неопределенности характеристик объекта управления с помощью интегрированной программной среды MATLAB.

Предназначены для подготовки бакалавров по направлению 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств.

Составлены на кафедре конструирования и технологии электронных систем и устройств.

УДК 004.9(075)

ББК 32.973я7

**Цель работы:** Знакомство с методами синтеза и исследования качества регуляторов в условиях неопределенности характеристик объекта управления с помощью интегрированной программной среды MATLAB.

## КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Точность модели реальной физической системы может быть недостаточной по следующим причинам:

- изменение параметров в силу тех или иных обстоятельств;
- динамические свойства, не учтенные в модели;
- не учтенное запаздывание по времени;
- изменение положения рабочей точки (положения равновесия);
- шум датчика;
- непредсказуемые внешние возмущения.

Целью синтеза регуляторов является обеспечение требуемого качества независимо от погрешностей и изменения параметров модели в условиях **существенной неопределенности характеристик объекта управления**.

Структура системы, включающая потенциальные неопределенности, изображена на рис. 1. Данная модель учитывает шум датчика  $N(s)$ , непредсказуемое возмущение  $D(s)$  и объект управления  $G(s)$  с неучтенной динамикой или параметрами, подверженными изменению.

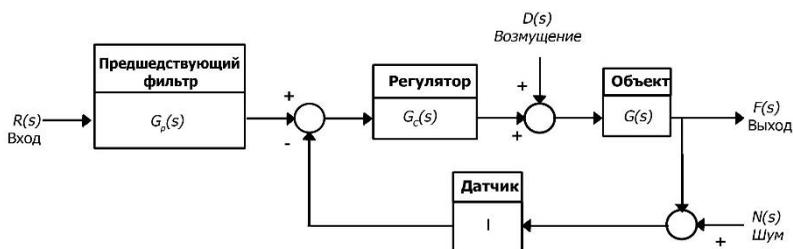


Рисунок 1 – Структурная схема замкнутой системы управления

Синтез систем высокой точности в условиях неопределенности является классической проблемой теории управления. От проектировщика требуется, чтобы создаваемая им система функционировала надлежащим образом в широком диапазоне изменения неопределенных параметров. Система должна обладать достаточной надежностью, грубостью и гибкостью.

От качественной системы требуется, чтобы она обладала низкой чувствительностью, сохраняла устойчивость и удовлетворяла требованиям, предъявляемым к ее качеству, в достаточно большом диапазоне изменения ее параметров. Очень важно снизить чувствительность системы к факторам, которые не учитывались на этапах анализа и синтеза – например, к возмущениям, шуму датчика и не отраженным в модели системы параметрам, влияющим на ее динамику. Система должна быть устойчивой к влиянию этих факторов при выполнении задач автоматического регулирования.

При малых изменениях параметров в качестве меры качества регулятора можно использовать дифференциальные чувствительности [1, 2].

## СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА С ПОМОЩЬЮ МАТЛАВ

Рассмотрим систему со структурой вида (рис. 1), в которой используется ПИД-регулятор с **предшествующим фильтром**  $G_p(s)$ . Функции такого фильтра рассмотрены в [2].

ПИД-регулятор имеет передаточную функцию

$$G_C(s) = \frac{K_3 s^2 + K_1 s + K_2}{s}. \quad (1)$$

Отметим, что это выражение не соответствует физически реализуемой рациональной функции (т.е. степень полинома в числителе выше, чем степень полинома в знаменателе). Целью синтеза является выбор таких параметров, как  $K_1$ ,  $K_2$  и  $K_3$ , которые удовлетворяли бы

требованиям к качеству системы регулирования. Однозначного ответа на вопрос, как именно должны быть выбраны параметры ПИД-регулятора, нет. Однако эти параметры можно подобрать методом итераций, а качество системы проверить путем имитационного моделирования в среде MATLAB, с помощью которого наиболее эффективно выполняются итерационные процедуры синтеза.

Рассмотрим систему, изображенную на рис. 1, в которой объект имеет передаточную функцию

$$G(s) = \frac{1}{(s + c_0)^2}, \quad (2)$$

Причем номинальное значение  $c_0 = 1$  и  $G_p(s) = 1$ . Проведем синтез регулятора при  $c_0 = 1$  и путем моделирования проверим робастность системы. Требования к качеству системы таковы:

1. Время установления (по критерию 2%)  $T_s \leq 0,5$  с.
2. При ступенчатом входном сигнале оценка качества ИВМО должна быть минимальной.

При синтезе мы не будем использовать предшествующий фильтр, с помощью которого обычно удовлетворяется требование 2. Вместо этого мы покажем, что приемлемое качество (в данном случае малое перерегулирование) можно обеспечить за счет введения в контур дополнительного усилителя.

Замкнутая система имеет передаточную функцию:

$$T(s) = \frac{K_3 s^2 + K_1 s + K_2}{s^3 + (2 + K_3)s^2 + (1 + K_1)s + K_2}. \quad (3)$$

Этой функции соответствует уравнение корневого годографа:

$$1 + \hat{K} \left( \frac{s^2 + as + b}{s^3} \right) = 0,$$

$$\text{где } \hat{K} = K_3 + 2, \quad a = \frac{1 + K_1}{2 + K_3}, \quad b = \frac{K_2}{2 + K_3}.$$

Требование к времени установления  $T_s \leq 0,5$  приводит нас к тому, что корни полинома  $(s^2 + as + b)$  должны находиться слева от линии  $s = -\zeta\omega_n = -8$ , как показано на рис. 2, для того чтобы корневой годограф был направлен в область желаемого качества. Выберем  $a = 16$  и  $b = 70$ , чтобы корневой годограф прошел влево через линию  $s = -8$ . Далее выберем на годографе желаемое положение корней в соответствующей области и с помощью функции `glocfind` найдем значения параметров  $\hat{K}$  и  $\omega_n$ . Для выбранного положения корней (рис. 2) имеем  $\hat{K} = 118$ . Затем, зная  $\hat{K}$ ,  $a$  и  $b$ , получим уравнения для определения коэффициентов ПИД-регулятора:

$$\begin{aligned} K_3 &= \hat{K} - 2 = 116; \\ K_1 &= a(2 + K_3) - 1 = 1\,187; \\ K_2 &= b(2 + K_3) = 8\,260. \end{aligned}$$

Чтобы удовлетворить требование, предъявляемое к перерегулированию, используем усилитель с коэффициентом  $K$ , включенный последовательно с ПИД-регулятором, а значение  $K$  найдем методом итераций с помощью функции `step`, как показано на рис. 3. При  $K = 5$  переходная характеристика имеет приемлемое перерегулирование, равное 2%. Передаточная функция ПИД-регулятора с учетом дополнительного коэффициента  $K = 5$  принимает окончательный вид:

$$\begin{aligned} G_c(s) &= K \cdot \frac{K_3 s^2 + K_1 s + K_2}{s} = \\ &= 5 \frac{116s^2 + 1\,187s + 8\,260}{s}. \end{aligned} \quad (4)$$

Напомним, что мы здесь для получения приемлемого вида переходной характеристики увеличили коэффициент усиления  $K$ . Теперь можно рассмотреть вопрос о чувствительности системы по отношению к изменению параметра объекта управления  $c_0$ .

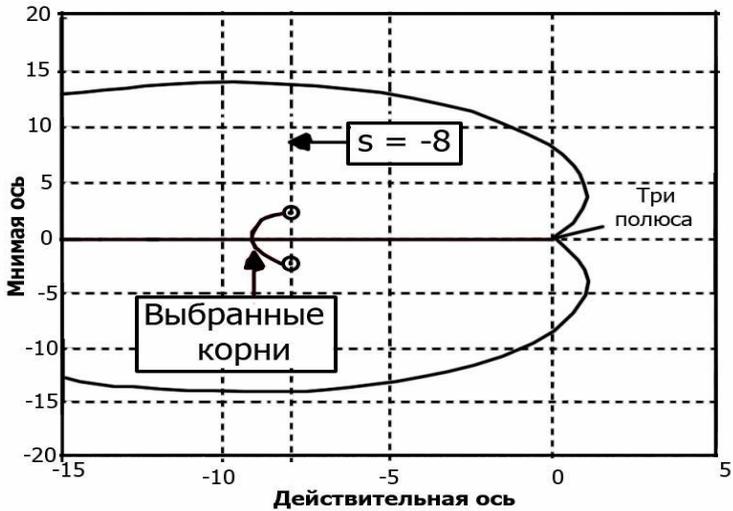


Рисунок 2 – Корневой годограф системы управления температурой с ПИД-регулятором в зависимости от  $K$

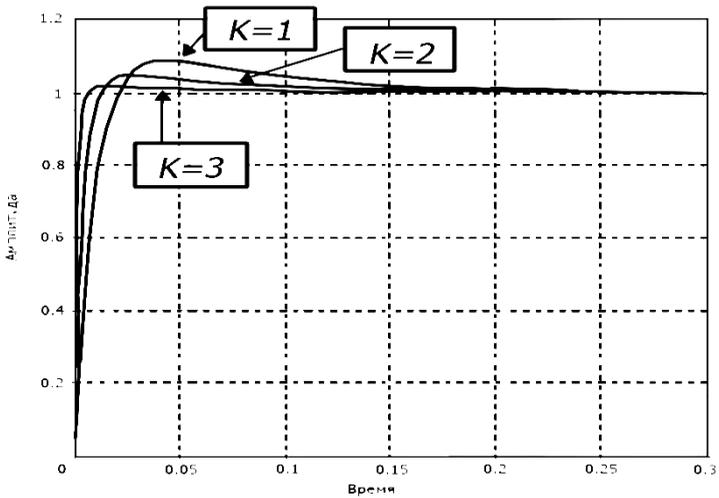


Рисунок 3 – Переходные характеристики системы управления температурой с ПИД-регулятором (см. также с. 8)

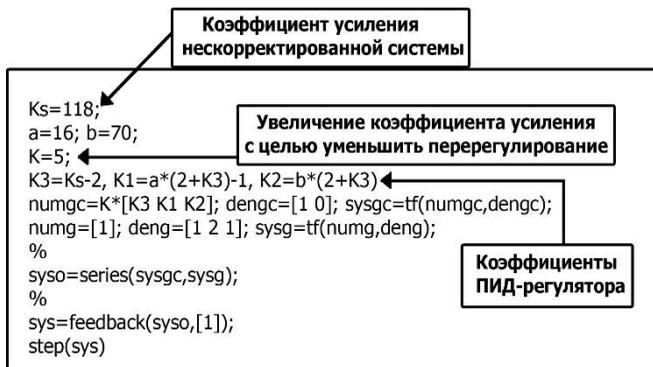


Рисунок 3 – Окончание

Анализ качества предполагает построение переходных характеристик системы с ПИД-регулятором при изменении параметра объекта в диапазоне  $0,1 \leq c_0 \leq 10$ . Результаты отображены на рис. 4. Программа написана для построения переходной характеристики при конкретном значении  $c_0$ . Чтобы сделать программу более интерактивной, можно было бы предусмотреть ввод значений  $c_0$  на уровне командной строки.

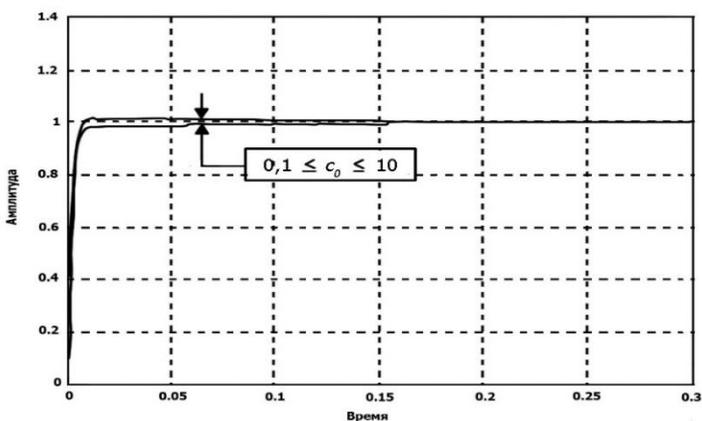


Рисунок 4 – Анализ влияния параметра на качество системы управления температурой с ПИД-регулятором

```
c0=10 ←
numg=[1]; deng=[1 2*c0 c0^2];
numgc=5*[116 1187 8260]; dengc=[1 0];
sysg=tf(numg,deng);
sysgc=tf(numgc,dengc);
%
syso=series(sysgc,sysg);
%
sys=feedback(syso.[1]);
%
step(sys)
```

Задание  
параметра  
объекта

Рисунок 4 – Окончание

Результаты моделирования показывают, что синтезированный ПИД-регулятор делает систему менее чувствительной по отношению к изменению параметра  $c_0$ . Отличия переходных характеристик при  $0,1 \leq c_0 \leq 10$ . на графике являются едва заметными. Если бы результаты получились иными, то процедуру синтеза можно было бы продолжить и методом итераций добиться приемлемого качества системы. MATLAB позволяет легко проверить качество системы путем имитационного моделирования.

## СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Структурная схема исследуемой системы управления.
2. Передаточная функция объекта управления.
3. Корневой годограф системы управления с ПИД-регулятором в зависимости от  $K$ .
4. Переходные характеристики системы управления с ПИД-регулятором.
5. Выводы по работе.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ерофеев, А.А. Теория автоматического управления: учебник для вузов: / А.А. Ерофеев. – 2-е изд., доп. и перераб. – Санкт-Петербург: Политехника, 2005. – 302 с.

2. Дорф. Р. Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп; перевод с английского Б.И. Копылова. – Москва: Лаборатория Базовых Знаний, 2002. – 832 с.

Методические материалы

**СИНТЕЗ ПИД-РЕГУЛЯТОРА  
В ИНТЕГРИРОВАННОЙ ПРОГРАММНОЙ  
СРЕДЕ MATLAB**

*Методические указания*

Составитель *Чернобровин Николай Григорьевич*

Редактор *А.С. Никитина*

Компьютерная верстка *А.С. Никитиной*

Подписано в печать 30.12.2020. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печ. л. 0,75.

Тираж 25 экз. Заказ . Арт. – 31(РЗМ)/2020.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА»  
(САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)  
443086, САМАРА, МОСКОВСКОЕ ШОССЕ, 34.

---

Издательство Самарского университета.  
443086, Самара, Московское шоссе, 34.

