

## РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ РОБАСТНОГО ПИД-РЕГУЛЯТОРА НА ОСНОВЕ МЕТОДА ЛОКАЛИЗАЦИИ\*

*Н.С. Земцов, Г.А. Французова*

Рассмотрена задача управления объектом второго порядка с нестационарными параметрами и действующими возмущениями с помощью типового регулятора. Предложена процедура расчета параметров робастного ПИД-регулятора, основанная на методе локализации. Полученная система обладает требуемым качеством переходных процессов и обеспечивает достаточно быструю отработку возмущающего воздействия. Приведены математические соотношения, описывающие предлагаемый метод, алгоритм синтеза ПИД-регулятора и результаты моделирования, демонстрирующие полученные результаты.

*Ключевые слова:* робастный ПИД-регулятор, метод локализации, линейная система 2-го порядка, расчет параметров ПИД-регулятора.

### Введение

Одними из первых промышленных регуляторов являются ПИД-регуляторы, которые до настоящего времени широко используются в различных технических системах автоматического регулирования. Такие регуляторы позволяют добиться приемлемых результатов в случае управления объектами невысокого порядка.

Несмотря на большее число существующих способов настройки и расчета параметров типовых регуляторов [1], универсальной методики их синтеза пока не предложено. В случае управления нестационарным объектом типовые регуляторы не всегда обеспечивают требуемое качество переходного процесса.

В работе представлен вариант расчета параметров ПИД-регулятора, основанный на методе локализации, который разработан на кафедре «Автоматика» Новосибирского государственного технического университета (НГТУ) [2].

### 1. Постановка задачи

Будем рассматривать задачу управления объектом 2-го порядка, передаточная функция которого имеет вид

$$W_{\text{ОУ}}(p) = \frac{y}{u} = \frac{K_{\text{ОУ}}}{p^2 + a_1 p + a_2}, \quad (1)$$

где  $y$  – выходная переменная;  $u$  – управление;  $K_{\text{ОУ}}$  – коэффициент передачи объекта;  $a_1$  и  $a_2$  – номинальные значения параметров, которые могут изменяться произвольным образом в ограниченном диапазоне.

Передаточная функция ПИД-регулятора, связывающая ошибку управления  $\Delta$  и управляющее воздействие  $u$  следующая:

$$W_{\text{ПИД}}(p) = \frac{u}{\Delta} = K_{\text{П}} + \frac{K_{\text{И}}}{p} + \frac{K_{\text{Д}} p}{\tau_1 p + 1}, \quad (2)$$

где  $\tau_1$  – инерционность реального дифференцирующего звена.

Требования к качеству переходных процессов в системе заданы в виде желаемой передаточной функции:

$$W_{\text{Ж}}(p) = \frac{y}{v} = \frac{c_2}{p^2 + c_1 p + c_2}. \quad (3)$$

Здесь  $v$  – входное воздействие на систему регулирования.

\* Работа выполнена в рамках Государственного задания Министерства образования и науки РФ, проект № 7.559.2011.

Необходимо определить параметры регулятора, обеспечивающего в системе свойства, соответствующие желаемой передаточной функции (3) и независимость от нестационарных параметров объекта.

## 2. Свойства системы с ПИД-регулятором

Преобразуем передаточную функцию ПИД-регулятора (2) к виду

$$W_{\text{ПИД}}(p) = \frac{(K_{\text{д}} + \tau_1 K_{\text{п}})p^2 + (K_{\text{п}} + \tau_1 K_{\text{и}})p + K_{\text{и}}}{p(\tau_1 p + 1)}$$

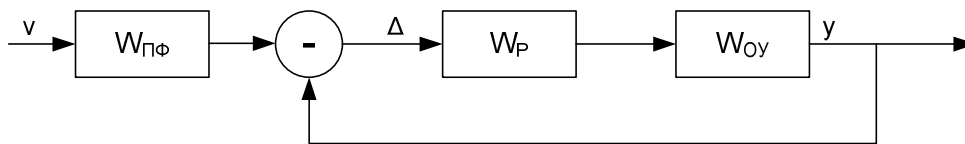
и введем следующие обозначения:

$$K = K_{\text{д}} + \tau_1 K_{\text{п}}, \quad c_1 = \frac{K_{\text{п}} + \tau_1 K_{\text{и}}}{K_{\text{д}} + \tau_1 K_{\text{п}}}, \quad c_2 = \frac{K_{\text{и}}}{K_{\text{д}} + \tau_1 K_{\text{п}}}, \quad (4)$$

где  $c_1$  и  $c_2$  – параметры желаемой передаточной функции (3). С учетом (4) передаточная функция регулятора принимает вид

$$W_{\text{р}}(p) = \frac{K(p^2 + c_1 p + c_2)}{p(\tau_1 p + 1)}. \quad (5)$$

Рассмотрим систему регулирования, схема которой изображена на рис. 1.



**Рис. 1. Схема системы с ПИД-регулятором**

Предварительный фильтр  $W_{\text{ПФ}}$  введен в систему для устранения «нулей» передаточной функции и улучшения качества переходного процесса [3]. Его передаточная функция имеет вид

$$W_{\text{ПФ}}(p) = \frac{c_2}{p^2 + c_1 p + c_2}. \quad (6)$$

Запишем передаточную функцию системы, изображенной на рис. 1,

$$W_{\text{сис}}(p) = \frac{W_{\text{ПФ}}(p)W_{\text{р}}(p)W_{\text{ОУ}}(p)}{1 + W_{\text{р}}(p)W_{\text{ОУ}}(p)}. \quad (7)$$

Подставив в выражение (7) соответствующие значения (1), (5) и (6), для случая идеального дифференцирования ( $\tau_1 = 0$ ), получим

$$W_{\text{сис}}(p) = \frac{c_2 K K_{\text{ОУ}}}{(p^2 + a_1 p + a_2) + K K_{\text{ОУ}}(p^2 + c_1 p + c_2)}.$$

Исследуем свойства системы при увеличении коэффициента усиления регулятора  $K$  и рассмотрим предельный случай, когда  $K \approx \infty$ . Передаточная функция системы вырождается в следующую:

$$W_{\text{сис}}(p) = \frac{c_2}{p^2 + c_1 p + c_2}. \quad (8)$$

Как видно, в пределе передаточная функция системы (8) соответствует желаемой функции (3) и не зависит от изменяющихся параметров объекта. При этом структура системы (см. рис. 1) соответствует интерпретации метода локализации на линейный случай [2].

## 3. Процедура расчета ПИД-регулятора

Учитывая, что точность обеспечения желаемой передаточной функции в замкнутой системе зависит от значения коэффициента усиления регулятора, предлагается следующая процедура расчета ПИД-регулятора.

1. На основе требований к качеству переходного процесса формируется желаемая передаточная функция системы (3).
2. Исходя из требований к точности регулирования, рассчитывается коэффициент усиления  $K$  по соотношению  $KK_{Oy} \geq (20 \dots 100)$ , что соответствует статической ошибке  $\delta^0 \leq (0,05 \dots 0,01)$  [2].
3. Выбирается численное значение постоянной времени дифференцирующего звена  $\tau$  на порядок меньше постоянной времени желаемой передаточной функции.
4. Значения параметров регулятора рассчитываются на основе соотношений (5) в виде:
 
$$K_I = Kc_2, \quad K_{II} = Kc_1 - \tau K_I, \quad K_D = K - \tau K_{II}. \quad (9)$$
5. С целью улучшения качества переходного процесса в замкнутой системе на вход добавляется предварительный фильтр (4).

#### 4. Пример

Для объекта с моделью вида  $W_{Oy}(p) = \frac{10}{p^2 + a_1 p + 10}$  необходимо рассчитать ПИД-регулятор, обеспечивающий в системе переходный процесс со свойствами:  $t \leq 1$  с,  $\sigma = 0\%$ . Ему соответствует желаемая передаточная функция  $W_{Ж}(p) = \frac{100}{p^2 + 20p + 100}$ . Исходное значение  $a_1 = 3$ .

Параметры регулятора при выбранном значении  $K = 20$  и  $\tau = 0,01$  равны:  $K_{II} = 380$ ,  $K_I = 2000$  и  $K_D = 16,2$ . Входное воздействие подается через предварительный фильтр (4).

Результаты моделирования процесса на выходе объекта, желаемого переходного процесса и процесса на выходе замкнутой системы с регулятором представлены на рис. 2.

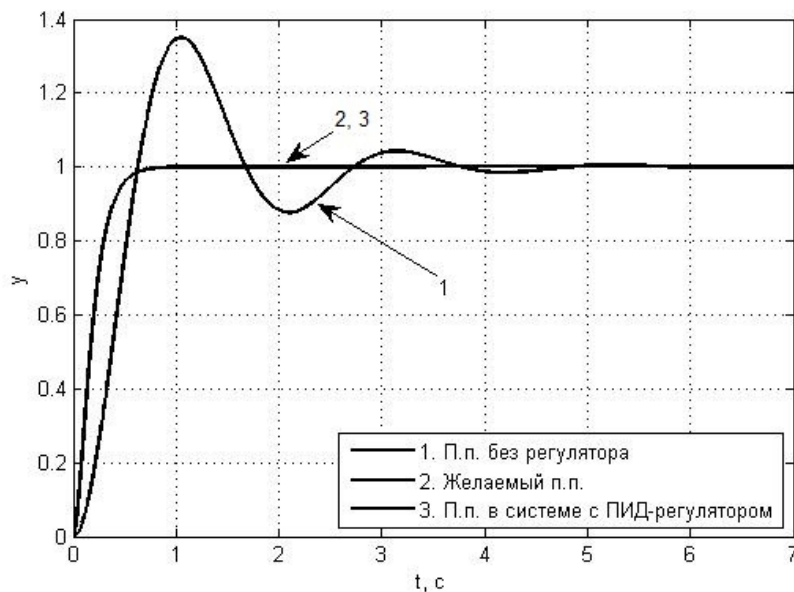


Рис. 2. Переходные процессы

Как следует из рис. 2, желаемый переходный процесс и переходный процесс в системе с ПИД-регулятором полностью совпали.

На рис. 3 представлены результаты влияния параметра объекта  $a_1$ , который изменяется скачкообразно в процессе функционирования, на качество переходного процесса системы. Видно, что изменение параметров объекта не влияет на качество переходного процесса в системе, поскольку достаточно быстро отрабатываются регулятором, который имеет эквивалентный достаточно большой для системы коэффициент усиления.

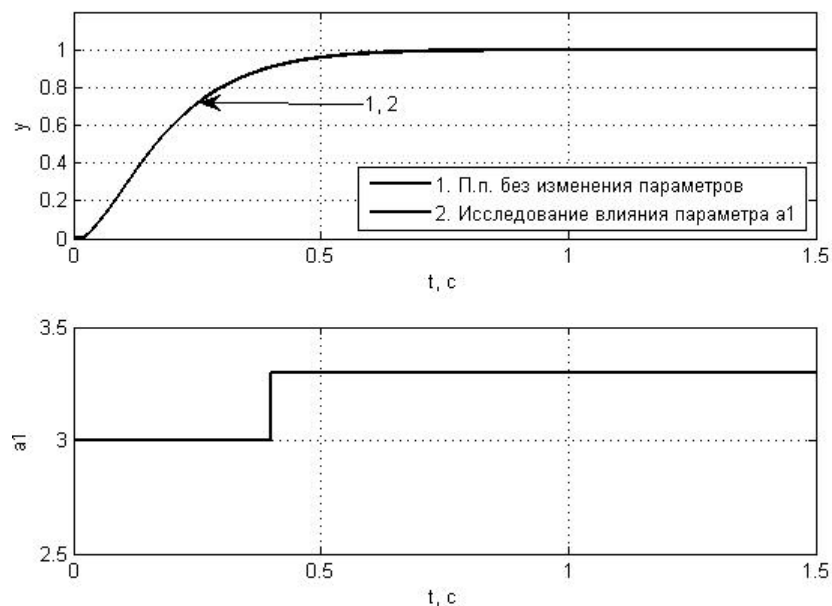


Рис. 3. Иллюстрация влияния параметра  $a_1$

### Заключение

Проведенное исследование показывает, что расчет ПИД-регуляторов для объектов второго порядка можно осуществлять на основе метода локализации по процедуре, представленной в работе. Это позволяет получить робастную систему с требуемым качеством переходных процессов независимо от нестационарных параметров объекта и действия внешних возмущений.

### Литература

1. Никулин, Е.Ф. Основы теории автоматического управления. Частотные методы анализа и синтеза систем: учеб. пособие для вузов / Е.Ф. Никулин. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 601 с.
2. Востриков, А.С. Синтез систем регулирования методом локализации: Монография / А.С. Востриков. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007. – 252 с.
3. Дорф, Р. Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2002. – 832 с.

**Земцов Никита Сергеевич**, магистрант кафедры автоматике, Новосибирский государственный технический университет (г. Новосибирск); z-nik@ya.ru.

**Французова Галина Александровна**, д-р техн. наук, профессор кафедры автоматике, Новосибирский государственный технический университет (г. Новосибирск); gal-fr@mail.ru.

## THE CALCULATION OF THE ROBUST PID-CONTROLLER PARAMETERS BASED ON THE LOCALIZATION METHOD

**N.C. Zemtsov**, *Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russian Federation,*  
z-nik@ya.ru

**G.A. Francuzova**, *Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russian Federation,*  
gal-fr@mail.ru

The problem of calculating the PID-controllers parameters for system with unsteady parameters and active disturbances has been considered. The decision based on localization method is offered in paper. The presented methods don't require accurate knowledge about object parameters, that is why it can be used to solve such problem. The obtained system provide desired properties for linear second-order systems. The object parameters don't influence on transient quality and external disturbance is quickly eliminated. The mathematical relationships of methods, the synthesis algorithm of PID-controller parameters and the result of modeling are showed in the paper.

*Keywords: robust PID-controller, localization method, linear second-order system, calculating PID-controller parameters.*

### References

1. Nikulin E.F. *Osnovy teorii avtomaticheskogo upravleniya. Chastotnye metody analiza i sinteza sistem. Uchebnoe posobie dlya vuzov.* [The Theory of Automatic Control. Frequency Methods of Analysis and Synthesis Systems. A Manual for Schools]. SPb, BHV-Peterburg, 2004. 601 p.
2. Vostrikov A.S. *Sintez sistem regulirovaniya metodom lokalizacii: Monografiya* [The Synthesis of Control Systems by Localization: Monograph]. Novosibirsk, NSTU, 2007. 252 p.
3. Dorf R., Bishop R., *Sovremennye sistemy upravleniya* [Modern Control Systems]. Moscow, Laboratory of Basic Knowledge, 2002. 832 p.

*Поступила в редакцию 16 июля 2013 г.*