

XIV Международная научно-практическая конференция студентов аспирантов и молодых учёных  
«Молодёжь и современные информационные технологии»

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА РЧХ ДЛЯ НАСТРОЙКИ ПИД-РЕГУЛЯТОРА

Михеева О.В., Миронова Е.В., Сидорова А.А.

Национальный Исследовательский Томский Политехнический Университет

e-mail: miheevaov2016@gmail.com

В современном мире тяжело представить производство без использования систем автоматизации и промышленных регуляторов. В настоящее время на технологическом производствечаше встречается пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор (ПИД-регулятор), однако, до сих пор отсутствует какая-либо систематизация методов настройки (например, какой метод обеспечивает лучшие показатели качества переходного процесса для определенного класса объектов управления). Рассмотрим несколько методов и проведем сравнительный анализ данных методов.

На рисунке 1 представлена типовая структурная схема системы автоматического регулирования, где  $u(t)$  – входной сигнал,  $y(t)$  – выходной сигнал,  $e(t)$  – ошибка регулирования,  $f(t)$  – возмущающее воздействие.

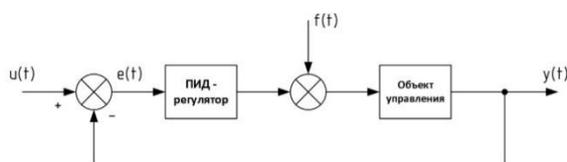


Рис. 7. Структурная схема САР

Рассмотрим в качестве объекта управления – объекты управления четвертого порядка с большим разбросом постоянных времени инерционных звеньев. Передаточная функция ОУ имеет вид:

$$W_{Oy}(s) = \frac{170}{(6s+1)^3(400s+1)}. \quad (1)$$

Для проверки устойчивости ОУ составим матрицу Гурвица из коэффициентов характеристического полинома передаточной функции, найдем определитель самой матрицы и ее миноров. Все определители миноров матрицы больше нуля  $\Delta_1 = 4.342 \cdot 10^4$ ,  $\Delta_2 = 2.812 \cdot 10^8$ ,  $\Delta_3 = 1.156 \cdot 10^{11}$ ,  $\Delta_4 = 1.156 \cdot 10^{11}$ , следовательно, система является устойчивой.

На рисунке 2 представлен устойчивый переходный процесс на выходе ОУ, моделируемый в SimulinkMatlab.

Исходя из параметров передаточной функции  $k_0, T_1, T_2, n$ , воспользовавшись ПО MathCad, рассчитаем параметры настройки ПИД-регулятора по методу Шубладзе [1]. Результаты расчетов представлены в таблице 1. Переходный процесс САР с ПИД-регулятором, рассчитанным по методу Шубладзе, изображен на рисунке 3.

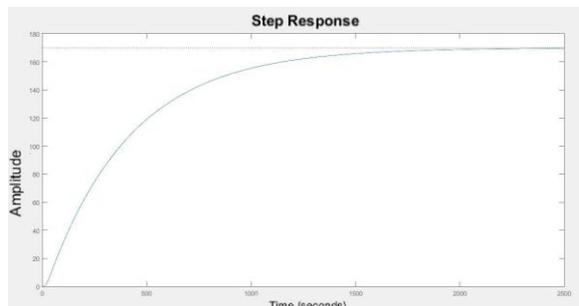


Рис. 8. Переходный процесс ОУ

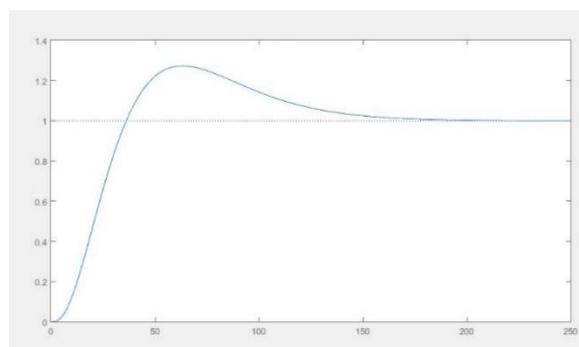


Рис. 9. Переходный процесс САР с ПИД-регулятором

Таблица 1. Настройка по методу Шубладзе

$k_p$	$k_d$	$k_i$
0.116	0.86	0.001727

Данный метод эффективен (обеспечивается незначительное переуправление и время переходного процесса на выходе САР) только для объектов заданной структуры (1), если класс объекта отличается от заданного, настройка не дает положительных результатов.

Проанализировав показатели качества, получили следующие результаты: время переходного процесса – 133 с., ошибка  $e_{\infty}$  равна нулю, перерегулирование – 27%.

Помимо метода Шубладзе, существует множество других методов расчета коэффициентов ПИД-регулятора (метод Циглера-Никольса, метод Куна – «правило Т-суммы», метод Шеделя) и др.[1].

Воспользуемся методом расширенных частотных характеристик (РЧХ). Для этого необходимо выбрать степень затухания переходного процесса  $\Psi = 0.82$ .

Исходя из значения степени затухания, определим степень колебательности по следующей формуле:

$$m = \frac{\ln(1-\Psi)}{-2\pi} = 0.273. \quad (2)$$

Метод РЧХ основан на амплитудно-фазовых частотных характеристиках (АЧФХ) ОУ и регулятора. Заменяя оператор Лапласа  $s$  оператором  $(j-m)\omega$ , определяем зависимость передаточной функции от частоты, после чего находим значения расширенных частотных характеристик ПИД-регулятора, зависящие от комплексных чисел. Избавляясь от комплексности, получим параметрическую систему уравнений, зависящую от частоты [2]:

$$\begin{cases} k_p = R - mI + 2k_d m\omega; \\ k_i = -I(m^2 + 1)\omega + k_d(m+1)\omega^2. \end{cases} \quad (3)$$

В системе (3)  $R$  – вещественная часть,  $I$  – мнимая часть передаточной функции ПИД-регулятора.

С помощью ПО Matlab была написана программа для вычисления коэффициентов ПИД-регулятора (фрагмент программы представлен на рисунке 4) и построена линия равного затухания (ЛРЗ), представленная на рисунке 5. ЛРЗ показывает зависимость между  $k_p$  и  $k_i$  при постоянном  $k_d = 0.86$ .

```
>> w=0.01:0.001:0.270;
>> m=0.270;
>> Wo=(K) ./ (T4* ((j-m) .* w).^4 + T3* ((j-m) .* w).^3 + T2* ((j-m) .* w).^2 + T1* ((j-m) .* w) + 1);
>> Wr=1 ./ Wo;
>> R=real(Wr);
>> J=imag(Wr);
>> Kp=m .* J - R + 2*m .* w .* 1.5;
>> Ki=w .* (m.^2 + 1) .* (J + w .* 1.5);
>> plot(Kp, Ki); xlabel('axis Kp'); ylabel('axis Ki')
..
```

Рис. 10. Фрагмент программы в ПО Matlab

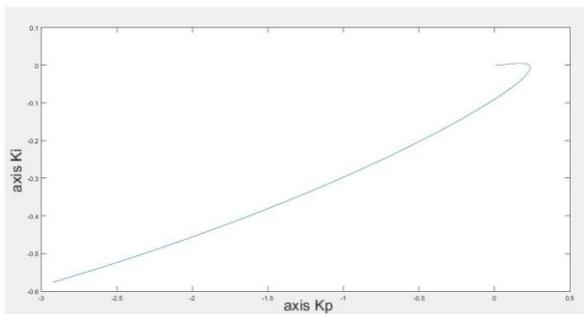


Рис. 11. Линия равного затухания

Оптимальные параметры регулятора определяются точкой экстремума ЛРЗ, а точнее несколько правее точки экстремума. На ЛРЗ выбрана точка с координатами (0.2183; 0.00248). Значение коэффициентов ПИД-регулятора, рассчитанных по методу РЧХ, представлены в таблице 2. Переходный процесс САР с ПИД-регулятором, рассчитанный методом расширенных частотных характеристик, представлен на рисунке 6.

Таблица 2. Настройка по методу РЧХ

$k_p$	$k_d$	$k_i$
0.2183	0.86	0.002486

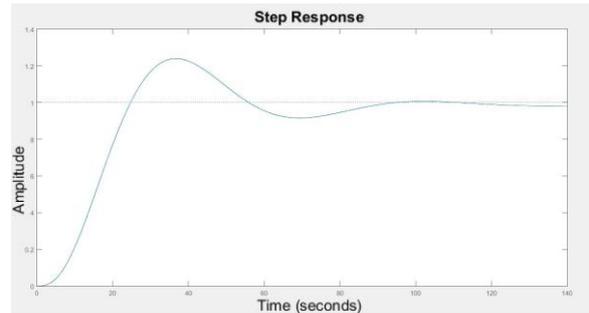


Рис. 12. Переходный процесс САР с ПИД-регулятором

Проанализировав показатели качества переходного процесса, полученного на выходе САР, настроенной по методу РЧХ (время переходного процесса – 81 с., ошибка  $e_\infty$  равна нулю, перерегулирование – 24%), можно сделать вывод о том, что данный метод обеспечивает чуть лучшие показатели качества, однако, перерегулирование остается неприемлемо большим.

Главным недостатком метода является требование к степени колебательности – не больше двух, что накладывает ограничения на использование данного метода.

#### Вывод

Исследовав методы Шубладзе и расширенных частотных характеристик, выяснилось, что переходный процесс с ПИД-регулятором рассчитанным при помощи метода РЧХ имеет колебательный характер нежели переходный процесс по методу Шубладзе. Расчет показал, что показатели оценки качества переходного процесса по методу РЧХ меньше, чем рассчитанные показатели по методу Шубладзе, что лучше сказывается на работоспособности системы.

#### Список использованных источников

1. Сидорова А.А, Малышенко А.М. Анализ эффективности алгоритмов автоматической настройки адаптивных промышленных ПИД-регуляторов // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – № 5. С. 110–115.
2. Марголис Б.И, Мешков И.С. Синтез настроек регуляторов в системах автоматического управления методом расширенных частотных характеристик // Вестник Костромского государственного университета имени Н.А. Некрасова. – 2014. – № 2. С. 31–33.
3. Елисеева А.А., Малышенко А. М. Исследование метода автоматической настройки промышленного ПИД-регулятора // VI Всероссийская научно-практическая конференция «Технологии Microsoft в теории и практике программирования» г. Томск, 17-18 марта 2009 г. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – С. 22-24.