

УДК 681.51

Л.А. Краснодубец, профессор, д-р техн. наук,

Л.Л. Беляева, ст. преподаватель;

Севастопольский национальный технический университет, г. Севастополь

Г.В. Нотченко, инженер 1 кат.

Институт современных технологий и инноваций СевНТУ, г. Севастополь

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ПИД-РЕГУЛЯТОРОВ ФИРМЫ FESTO НА ОСНОВЕ ПОСТРОЕНИЯ ОБЛАСТЕЙ УСТОЙЧИВОСТИ И КАЧЕСТВА

Предложен метод по выбору параметров настройки ПИД-регуляторов, представляющий модификацию стандартного метода Зиглера-Никольса. По разработанной программе и методике проведены экспериментальные исследования по настройке параметров ПЛК FEC FC620, работающего в режиме ПИД-регулятора пневматической системы автоматического регулирования давления на элементной базе фирмы FESTO.

Постановка задачи. Широкое распространение на практике в силу их простоты имеют экспериментальные методы настройки параметров ПИД-регуляторов. Наиболее популярным из их числа является метод Зиглера–Никольса [1]. Согласно этому методу, расчетные значения параметров настройки ПИД-регулятора K_p, T_I, T_D

определяются по соотношениям, приведенным в таблице 1. На основе этого метода фирмой FESTO разработана методика для настройки своих изделий. Однако, как показала практика, применение экспериментальных методов может быть ограничено по техническим причинам. Вместе с тем данная методика требует знания критического значения коэффициента пропорциональной составляющей $K_{Ркрит}$.

Типичным примером является настройка параметров регулятора в замкнутой системе регулирования давления с пропорциональным пневматическим клапаном. При экспериментальной настройке параметров регулятора методом Зиглера–Никольса достичь значения коэффициента пропорциональности, при котором возникают незатухающие колебания в системе, не удастся. Это объясняется тем, что уровень входного напряжения клапана ограничен.

Развитие теоретических методов синтеза, в частности, методов выделения областей устойчивости и заданного качества, использующих математическое описание объектов управления, позволяет разработать метод настройки, использующий основные идеи метода Зиглера-Никольса.

Суть метода. Предложенный метод использует вместо физического объекта управления его паспортное описание – амплитудные частотные характеристики. Как правило, все изделия фирмы FESTO сопровождаются частотными характеристиками [2], на основе которых можно определить их передаточные функции [3, 4]. При этом задача определения критического коэффициента будет сведена к построению области устойчивости (ОУ) и выделению ее границы. Далее можно использовать соотношения метода Зиглера-Никольса. Для обеспечения требований к качеству регулирования предложено выполнять уточнение рассчитанных значений параметров по областям качества (ОК). Построение ОУК в пространстве параметров настройки ПИД-регулятора выполняется на основе метода Д-разбиения [5]. Выбор параметров ПИД-регулятора с использованием предложенного метода выполняется по блок-схеме, изображенной на рисунке 1.

Целью работы является экспериментальное подтверждение корректности предложенного метода по выбору параметров настройки промышленных ПИД-регуляторов.

Описание экспериментальной установки. По разработанной программе и методике проведены экспериментальные исследования по настройке параметров ПИД-регуляторов с использованием материальной базы Института современных технологий и инноваций (ИСТИ) Севастопольского национального технического университета. На элементной базе фирмы FESTO собрана система автоматического регулирования давления. Объект управления – регулируемый пневматический клапан. Экспериментальная установка, показанная на рисунке 2, включает следующее: 1– программируемый логический контроллер серии FEC FC620, работающий в режиме ПИД-регулирования; 2 – пропорциональный клапан типа МРУЕ-5-1/8-HS-010-B; 3 – датчик давления типа SDE-10-10V/20мА; 4 – панель ввода данных FED50; 5 – датчики давления типа SDE1-D10-G2. Нагрузкой в системе является пневматический привод (пневмоось) типа DGP.

Таблица 1 – Расчет параметров настройки регуляторов методом Зиглера-Никольса

Регулятор	K_p	T_I	T_D
П	$0,5K_{Ркрит}$	—	—
ПИ	$0,45K_{Ркрит}$	$0,83T_{Скрит}$	—
ПИД	$0,6K_{Ркрит}$	$0,5T_{Скрит}$	$0,125T_{Скрит}$



Рисунок 1 – Блок–схема метода настройки параметров ПИД-регуляторов

Ход эксперимента. По ЛАФЧХ, прилагаемой фирмой FESTO в техническом описании определена передаточная функция клапана

$$W_{KL}(s) = \frac{U_{KL}(s)}{P_{KL}(s)} = \frac{K_{KL}}{T_{KL}^2 s^2 + 2\xi_{KL} T_{KL} s + 1}, \quad (1)$$

где $K_{KL} = 1$ – коэффициент передачи клапана; $T_{KL} = 0,012$ – постоянная времени клапана, с; $\xi_{KL} = 0,612$ – коэффициент демпфирования клапана.

Согласно техническим требованиям [6], предъявляемым к ПЛК FEC FC620, работающему по программе ПИД-регулирования, значение периода квантования равно $T_0 = 0,014$ с.

После z-преобразования функции (1) с учетом экстраполятора нулевого порядка приведенная непрерывная часть системы записывается в виде

$$W_{ПНЧС}(z) = \frac{K_{KL} e^{-\alpha T_0} \sin(\beta T_0) (z - 1)}{T_{KL}^2 (z^2 - 2e^{-\alpha T_0} \cos(\beta T_0) z + e^{-2\alpha T_0})}, \quad (2)$$

где $\alpha = \frac{\xi_{KL}}{T_{KL}}, \beta = \frac{\sqrt{\xi_{KL}^2 - 1}}{T_{KL}}$.

Передаточная функция датчика давления с учетом того, что его постоянная времени мала, $W_{ДД}(s) = 1$.

Функциональная схема системы изображена на рисунке 3.

В системах регулирования давления, расхода дифференциальная составляющая способствует усилению влияния помех. Поэтому рекомендуют T_D принимать равной нулю [3]. Вследствие этого, математическая модель исследуемой системы определена с учетом ПИ-регулятора. Передаточная функция цифрового ПИ-регулятора определяется как

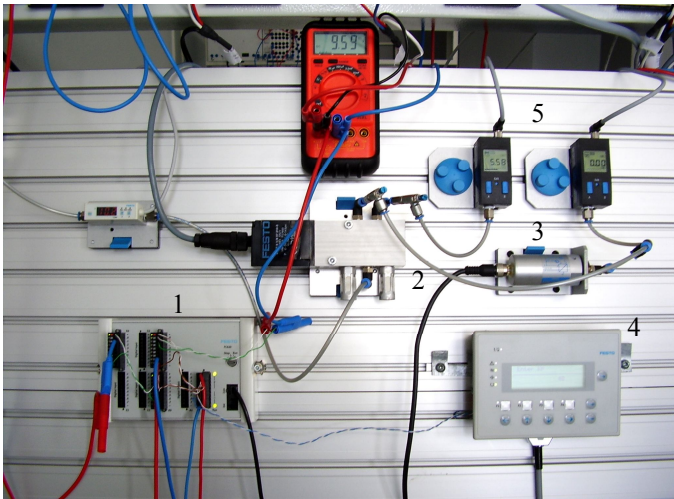


Рисунок 2 – Экспериментальная установка

$$W_{P_PI}(z) = \frac{U_{P_PI}(z)}{U_s(z) - U_{ДД}(z)} = \frac{a_1 - b_1 z^{-1}}{1 - z^{-1}}, \quad (3)$$

где $a_1 = K_P + K_I$; $b_1 = K_P$, $K_I = \frac{T_0}{T_I}$.

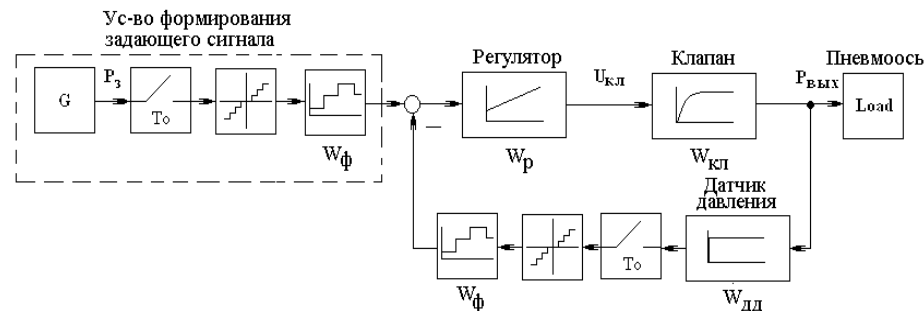


Рисунок 3 – Функциональная схема системы

Передаточная функция замкнутой системы имеет вид:

$$\Phi(z) = \frac{p_{вых}(s)}{p_s(s)} = \frac{K_{кл} e^{-\alpha T_0 \sin(\beta T_0)} [(K_P + K_I)z - K_P]}{T_{кл}^2 z^2 + [K_{кл} e^{-\alpha T_0 \sin(\beta T_0)} (K_P + K_I) - 2T_{кл}^2 e^{-\alpha T_0 \cos(\beta T_0)}]z - [K_{кл} e^{-\alpha T_0 \sin(\beta T_0)} K_P + T_{кл}^2 e^{-\alpha T_0}]}. \quad (4)$$

На основании уравнений границ областей устойчивости и качества, полученных для цифровых САУ в [5] и с учетом (4), построены области устойчивости, заданных запасов устойчивости по амплитуде и по фазе. При построении ОК учтены следующие требования к качеству регулирования: запас по амплитуде должен быть не менее 20 дБ, а запас по фазе – не менее 30 градусов. ОУК в пространстве параметров $K_I = f(K_P)$ показаны на рисунке 4, а. Критический коэффициент усиления, взятый на границе области устойчивости при $K_I = 0$ равен $K_{P_{крит}} = 3,087$. Период колебаний составил $T_{C_{крит}} = 3,3$ такта или $T_{C_{крит}(с)} = 0,046$ с. Параметры настройки регулятора, рассчитаны по таблице 1 и

равны соответственно: $K_P = 0,45K_{P_{крит}} = 1,389$, $K_I = \frac{T_0}{T_I} = \frac{T_0}{0,83T_{C_{крит}(с)}} = 0,367$. Значения

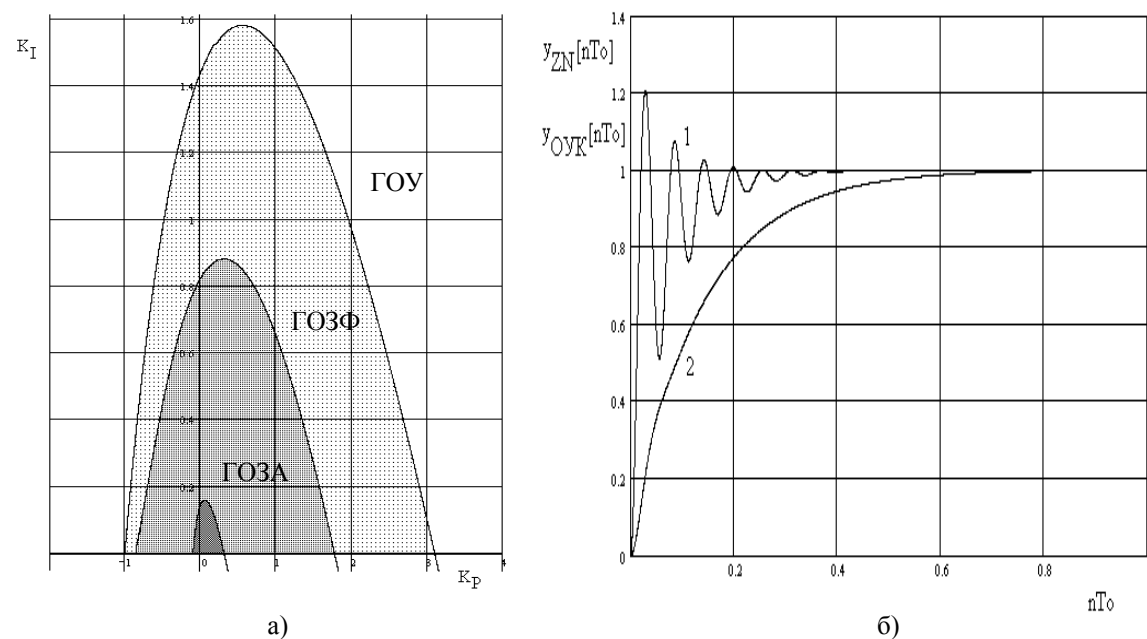
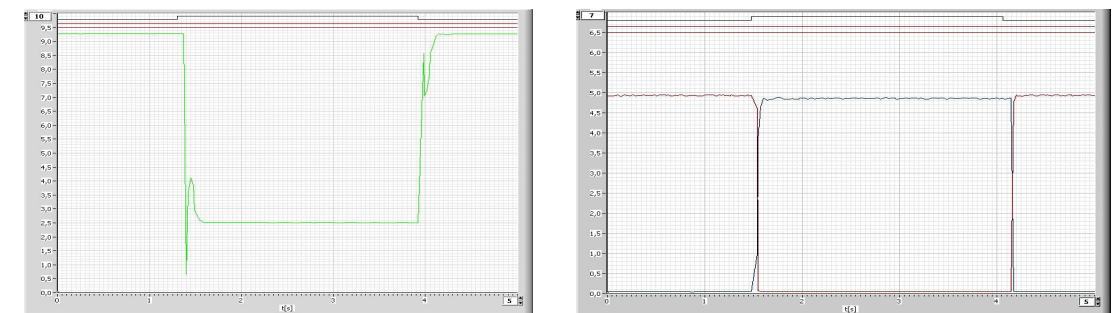


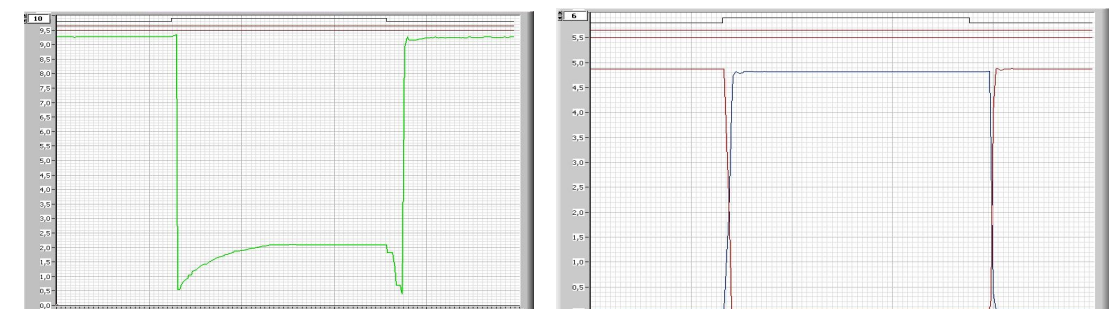
Рисунок 4 – ОУК и расчетные переходные процессы в системе

параметров настройки регулятора, определенные по ОУК, следующие: $K_P = 0,1$, $K_I = 0,1$. Расчетные переходные процессы представлены на рисунке 4, б: кривая 1 – при значениях параметров настройки регулятора, рассчитанных по методу Зиглера-Никольса; кривая 2 – при значениях, уточненных с помощью областей качества.

На основании полученного теоретического расчета выполнена экспериментальная настройка параметров цифрового регулятора. Для реализации ПИД-регулятора на базе ПЛК FEC FC620 разработано программное обеспечение в среде программы FST4.10 на алгоритмическом языке STL [6]. В программном проекте выполняется реализация алгоритма дискретного ПИД-регулятора и загрузка исходных данных, в том числе и значений параметров настройки ПИД-регулятора и периода квантования (K_P, T_I, T_D, T_0).



а)



б)

Рисунок 5 – Осциллограммы сигнала управления и давления в системе

а) – $K_P = 1,38; K_I = 0,4$ (рассчитаны по методу Зиглера-Никольса);

б) – $K_P = 0,1; K_I = 0,1$ (определены по ОУК)

Для экспериментального снятия переходных процессов в системе было использовано специальное программное обеспечение для ПЭВМ Festo Didactic – FluidLab-Pv1.0. Эта программа позволяет выполнять компьютерное осциллографирование переходных процессов, а также снимать статические и регулировочные характеристики пневматических и гидравлических устройств и систем. Обмен данными между ПЭВМ и системой осуществляется посредством устройства EasyPort.

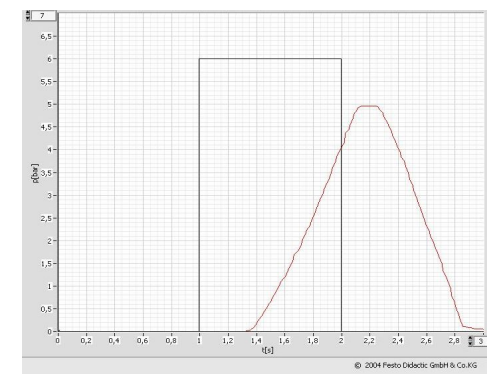


Рисунок 6 – Изменение давления пневмооси при ПИ-регулировании

На рисунке 5, а изображены осциллограммы сигнала управления (напряжение), формируемого контроллером, и давления в системе управления (на выходе регулируемого клапана) при настройке параметров ПИД-регулятора по правилам Зиглера-Никольса. Переходные процессы давления в камерах клапана являются колебательными, с перерегулированием. При задании параметров настройки ПИД-регулятора, выбранных по ОУК (рисунок 5, б), перерегулирование отсутствует и в камерах клапана происходит плавное

нарастание давления. Таким образом, предложенная методика позволяет выполнять настройку параметров ПИД-регуляторов, обеспечивающих требуемое качество регулирования в системе.

На рисунке 6 изображена характеристика изменения давления воздуха пневмооси при ПИ-регулировании. Верхний участок характеристики соответствует подходу движка к крайнему положению. По краям оси установлены демпферы (гасители удара). При «жестком» подходе движка возникает сильный удар о демпфер, а на графике этот процесс соответствует остроугольному пику. При ПИ-регулировании давления верхний участок плавный, что соответствует «мягкому» подходу движка к демпферу. Такой режим, к примеру, необходим при упаковке продукции на конвейерных линиях [2].

Выводы. Полученные осциллограммы переходных процессов в системе, определенные по предложенному методу, показали, что параметры качества переходных процессов отвечают найденным областям. Разработанная методика настройки параметров ПИД-регуляторов утверждена руководством фирмы FESTO и рекомендована для использования. Перспективой дальнейших исследований является усовершенствование предложенной методики путем разработки программного комплекса для расчета параметров настройки промышленных регуляторов.

Библиографический список

1. Изерман Р. Цифровые системы управления / Р. Изерман. — М.: Мир, 1984. — 541 с.
2. Closed-Loop Pneumatics. Workbook TP. Festo Didactic. — GmbH&Co, 2001. — 450 p.
3. Сыромятников В.Ф. Наладка автоматики судовых энергетических установок: Справочник / В.Ф. Сыромятников. — Л.: Судостроение, 1989. — 350 с.
4. Оллсон Г. Цифровые системы автоматизации и управления / Г. Оллсон, Д. Пиани. — СПб: Изд-во «Невский Диалект», 2001. — 557 с.
5. Беляева Л.Л. Цифровые ПИД-регуляторы в промышленных системах автоматического управления / Л.Л. Беляева // Вестник СевГТУ. Автоматизация процессов и управления: Сб. науч. тр. — Севастополь, 2004. — Вып. 57. — С. 180–186.
6. Automating with FST. Testbook. Festo Ag&Co. KG. — Germany, 2004. — 300 p.

Поступила в редакцию 10.04.2007 г.