

НАСТРОЙКА ПИД-РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ СИСТЕМЫ С НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКОЙ

Гринюк Д. А., Олиферович Н. М., Сухорукова И. Г., Оробей И. О.
 Кафедра автоматизации производственных процессов и электротехники,
 Белорусский государственный технологический университет
 Минск, Республика Беларусь
 E-mail: hryniukda@gmail.com

Рассмотрено решение по моделированию объектов с нелинейной динамикой. Целью исследования являются системы регулирования с параметрической зависимостью динамических характеристик. В качестве примера выбран объект управления второго порядка с линейной зависимостью постоянной времени от выходного параметра. Идентификация объекта с целью получения линейной модели при различных направлениях отклонения приводит к различным результатам. Для настройки ПИД-регулятора использован интегральный критерий качества.

ВВЕДЕНИЕ

Нелинейные свойства проявляются у большинства объектов управления технологическими процессами. Обычно проблему решают с помощью линеаризации, выбор которой зависит от задач и свойств объекта. В некоторых случаях такой подход не позволяет качественно решить задачу настройки системы. Вариантом решения проблемы может быть перенастраивание системы применяя нелинейное управление. Например, нечеткие, нейронные, гибридные подходы, варианты математического моделирования с формированием целевой функции и поиском ее экстремума.

Ряд технологических объектов имеет динамику, зависящую от параметра, который непосредственно регулируется. К таким объектам можно отнести, например, стабилизацию уровня L . Постоянная времени обычно определяется как

$$T = \frac{LS}{F}, \quad (1)$$

где S – площадь сосуда, танка; F – расход.

Вариант, при котором физический параметр является одновременно управляющим воздействием и используется для определения постоянной времени, характерен и для тепловых процессов.

$$T = \frac{WC}{Q}(\Theta - \Theta_w), \quad (2)$$

где W – масса теплообменной стенки; C – теплоемкость; Q – количество тепла, которое участвует в теплообмене; Θ – температура теплоносителя; Θ_w – температура стенки.

I. МОДЕЛИРОВАНИЕ

В случае, если при определении постоянных времени нельзя использовать значение у стационарной точки (например, постоянные времени, рассчитанные по формулам (1)–(2), изменяются в широком диапазоне), может быть предложена структура моделирования как на рис.1., где $x(s)$ – вход; $y(s)$ – выход; k_1, k_2 – коэффициенты

настройки диапазона изменения постоянной времени. Коэффициент k_2 , в первую очередь, определяет начальное значение постоянной времени; k_1 – диапазон изменения. Предложенная структура демонстрирует линейную зависимость постоянной времени от выходного параметра. При необходимости можно использовать и нелинейные функции при моделировании динамики.

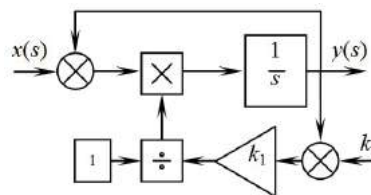


Рис. 1 – Структура для моделирования динамики объекта, которая зависит от выходного параметра

На базе структуры рис.1 было произведено моделирование объекта управления второго порядка с различным диапазоном изменения параметров k_1 и k_2 . Результаты моделирования аппроксимировались звеном второго порядка с постоянными коэффициентами. Отличие между моделированием линейной (аппроксимированной) и нелинейной (исходной) системы можно видеть на рис.2. Диапазон изменений постоянной времени исходной структуры $TV_1 = 60-200$ и $TV_2 = 30-50$.

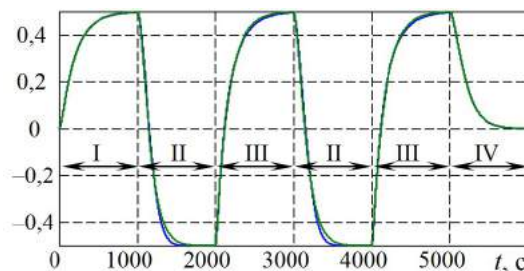


Рис. 2 – Переходный процесс объекта с переменной динамикой и результат его аппроксимации

Идентификация производилась путем аппроксимации тренда переходным процессом звена второго порядка с постоянными времени TC_1

и TC_2 и минимизацией среднеквадратичного отклонения. Коэффициенты получались отдельно, для каждого из тактов I–IV (рис. 2). Для выбранных вариантов оценивалось интегральное значение среднеквадратичного отклонения (ISD). Чтобы облегчить анализ, для каждого из вариантов определялось относительное отклонение RISD по отношению к минимальному значению ISD. Были рассмотрены 6 исходных вариантов значений параметров модели рис. 1: $[TV_1 = 80-160 TV_2 = 30-50]$; $[TV_1 = 60-200 TV_2 = 30-50]$; $[TV_1 = 100-120 TV_2 = 30-50]$; $[TV_1 = 80-160 TV_2 = 35-45]$; $[TV_1 = 80-160 TV_2 = 15-65]$; $[TV_1 = 100-120 TV_2 = 15-65]$.

Результаты аппроксимировались хуже всего при несовпадении направления воздействия на объект и градиента зависимости динамики (II). В этом случае, для улучшения аппроксимации необходимо увеличивать порядок передаточной функции. Интегральное значение среднеквадратичного отклонения отличалось от диапазона и направления отклонения (табл. 1). Чем меньше отклонение, тем лучше качество аппроксимации. Полученные результаты хорошо коррелируются с результатами прикладных экспериментов с тепловыми объектами [1, 2].

Таблица 1 – Минимальное значение среднеквадратичного отклонения ISD

Эксперимент	Значение ISD
$TV_1 = 80-160$ и $TV_2 = 30-50$	0,000220
$TV_1 = 60-200$ и $TV_2 = 30-50$	0,00447
$TV_1 = 100-120$ и $TV_2 = 30-50$	0,000269
$TV_1 = 80-160$ и $TV_2 = 35-45$	0,000219
$TV_1 = 80-160$ и $TV_2 = 15-65$	0,000326
$TV_1 = 100-120$ и $TV_2 = 15-65$	0,000272

II. ПОИСК НАСТРОЕК ПИД-РЕГУЛЯТОРА

Настройку систем управления для объектов с переменной динамикой можно производить из разных позиций. Самым простым является нахождение таких настроек, при которых система будет устойчива и обеспечит приемлемое качество управления в диапазоне изменяющейся динамики. Исходя из полученных результатов, видим, что подход хорош при небольшом диапазоне отклонений выходной величины. В противоположном случае встает более сложный вопрос, так как динамика вверх и вниз может иметь существенные отличия.

В современных условиях задача поиска настроек регулятора часто решается использованием адаптивных методов, нечетких алгоритмов, нейронных систем и т.д. Однако в случае детерминированного диапазона изменения динамики, использование фиксированных настроек или варианта табличных настроек будет предпочтительным.

В качестве примера был выбран вариант, при котором $TV_1 = 80-160$ и $TV_2 = 30-50$. Настройка проводилась для нелинейной модели в

том же диапазоне изменения выходной величины, что и при идентификации по интегральному критерию [3–4]:

$$\int_0^{tf} t^2 |e(t)| dt \rightarrow \min; \quad (3)$$

где $e(t)$ – невязка между сигналом задания и выходной переменной; tf – время от изменения сигнала задания до окончания переходного процесса.

Поиск настроек осуществлялся для структуры на рис.2. Передаточная функция с постоянной времени 10 выполняла роль датчика. Настройки, которые были найдены путем минимизации критерия (3) на базе нелинейной модели и результатов идентификации показали различные результаты (Таблица. 2). Использование нелинейной модели при поиске настроек позволяет получить более универсальные настройки.

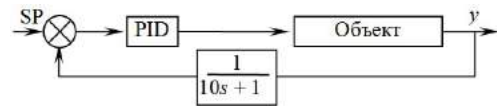


Рис. 3 – Структура системы

Таблица 2 – Результаты настройки ПИД-регулятора

Объект	k_p	T_I	T_D
Идентификация по II	6,75	23,90	106,5
Идентификация по III	14,41	11,26	587,9
Нелинейная структура	2,67	58,05	60,07

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современные системы моделирования предоставляют широкие возможности по настройке систем управления наилучшим образом с учетом реальных свойств объектов управления. Предложенная структура моделирования может быть использована для широко класса объектов с нелинейными свойствами в диапазоне управления.

1. Marozava, M. Experimental study of the variation dynamic's for air heat exchanger /M. Marozava, D. Hryniuk // Mokslas – Lietuvos ateitis / Science – Future of Lithuania. 2017. Vol. 9, no. 3. P. 297–301.
2. Гринюк Д. А. Оценка динамики изменения температуры по длине металлического стержня / Д. А. Гринюк [и др.] // Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования: материалы XIII Междунар. на-уч.-техн. конф. – Вологда: ВоГУ, 2018. С.85–88.
3. Hryniuk D., Non-linear PID controller and methods of its setting / D. Hryniuk, I. Suhorukova, I. Orobei // Open Conference Electrical, Electronic and Information Sciences (eStream). Vilnius, 2017. P. 1–4. DOI: 10.1109/eStream.2017.7950327.
4. Сухорукова, И. Г. Применение в ПИД-законе регулирования нелинейных функций преобразования ошибки /И. Г. Сухорукова, Д. А. Гринюк, И. О. Ороев // Труды БГТУ. 2013. № 6: Физ.-мат. науки и информатика. С. 95–98.