

Гончар Д.Ю.

студент

2 курса магистратуры,

факультет «Интеллектуальных систем и программирования»

Донецкий национальный технический университет

Россия, ДНР, г. Донецк

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ С ПИД-РЕГУЛЯТОРОМ

Аннотация: Статья посвящена численному моделированию переходного процесса замкнутой системы автоматического регулирования с ПИД-регулятором и разработке программного комплекса, реализующего данное моделирование. Приводится структурная схема системы, дифференциальные уравнения объекта регулирования и закон управления ПИД-регулятора. Проведена апробация комплекса на модельном объекте первого порядка: получен переходный процесс с определением показателей качества регулирования — перерегулирования и времени регулирования, — показано их соответствие ожидаемому поведению системы при выбранных настройках регулятора.

Ключевые слова: технические науки, автоматическое управление, ПИД-регулятор, переходный процесс, качество регулирования, программный комплекс.

Gonchar D.Yu.

Student

2nd year of magistracy,

Faculty of Intelligent Systems and Programming

Donetsk National Technical University

Russia, DPR, Donetsk

MODELING OF THE TRANSIENT PROCESS OF AN AUTOMATIC CONTROL SYSTEM WITH A PID REGULATOR

Annotation: The article deals with numerical simulation of the transient response of a closed-loop automatic control system with a PID controller, and the development of a software package implementing this simulation. The system block diagram, the differential equations of the controlled plant, and the PID control law are presented. The package is tested on a model first-order plant: the transient response is obtained along with control quality indicators — overshoot and settling time — showing agreement with the expected system behavior for the chosen controller settings.

Key words: technical sciences, automatic control, PID controller, transient response, control quality, software package.

ПИД-регуляторы остаются наиболее распространённым инструментом промышленной автоматизации благодаря простоте настройки и высокой эффективности для широкого класса объектов управления. Правильный выбор коэффициентов регулятора определяет качество переходного процесса — быстродействие, перерегулирование и статическую точность «Цитата» [1, с. 156]. Целью настоящей работы является построение математической модели замкнутой системы с ПИД-регулятором, разработка программного комплекса для её моделирования и апробация на модельном объекте.

Математическая модель системы регулирования

Рассматривается объект первого порядка $\tau \cdot \frac{dy}{dt} = -y + K \cdot u$, где y — регулируемая величина, u — управляющее воздействие, K и τ — коэффициент передачи и постоянная времени объекта. Закон управления ПИД-регулятора имеет вид

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \cdot \int e(t)dt + K_d \cdot \frac{de(t)}{dt}, \quad e(t) = y_{\text{зад}} - y(t),$$

где K_p, K_i, K_d — коэффициенты пропорциональной, интегральной и дифференциальной составляющих. Совместное численное интегрирование уравнения объекта и закона управления даёт переходный процесс $y(t)$ при ступенчатом изменении задания «Цитата» [2, с. 203]. Качество процесса оценивается по перерегулированию $\sigma = (y_{\max} - y_{\text{зад}})/y_{\text{зад}} \cdot 100\%$ и времени регулирования $t_{\text{рег}}$ — моменту выхода в 2%-ную зону уставки.

Описание программного комплекса

Разработанный программный комплекс включает модуль задания параметров объекта и настроек регулятора, модуль численного моделирования замкнутой системы и модуль автоматического определения показателей качества переходного процесса с построением графика отклика системы.

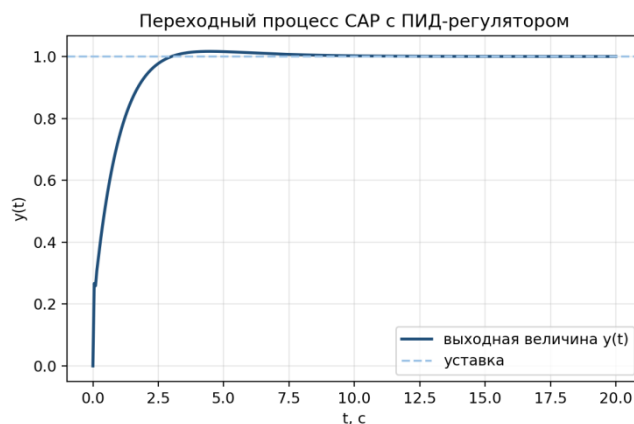


Рисунок 1. Переходный процесс системы автоматического регулирования с ПИД-регулятором

На рисунке 1 показан переходный процесс регулируемой величины при ступенчатом изменении уставки. Небольшое превышение уставки с последующим быстрым затуханием колебаний свидетельствует о хорошо настроенном регуляторе, обеспечивающем компромисс между быстродействием и перерегулированием.

Апробация на модельном объекте

Моделирование проводилось для объекта первого порядка с $K = 2$, $\tau = 3$ с при настройках регулятора $K_p = 2,0$, $K_i = 0,8$, $K_d = 0,3$ и уставке $y_{\text{зад}} =$

1,0. Результаты переходного процесса для отдельных моментов времени приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Переходный процесс системы регулирования

t, с	y(t)	Отклонение от уставки, %
1	0,738	-26,2
2	0,936	-6,4
3	1,000	0,0
5	1,016	+1,6
8	1,005	+0,5
12	1,001	+0,1

Из таблицы 1 и рисунка 1 видно, что переходный процесс носит слабо колебательный характер: перерегулирование составило около 1,65%, а время регулирования — около 2,5 с. Значительная интегральная составляющая обеспечивает нулевую статическую ошибку в установившемся режиме, а умеренная дифференциальная составляющая сдерживает перерегулирование без чрезмерного затягивания процесса «Цитата» [3, с. 178].

Методы настройки коэффициентов регулятора

Значения коэффициентов K_p , K_i и K_d , использованные в модельном расчёте, были подобраны эмпирическим путём для получения приемлемых показателей качества. На практике для настройки ПИД-регуляторов широко применяются формализованные методики, наиболее известной из которых является метод Циглера-Николса, определяющий начальные значения коэффициентов по результатам эксперимента на границе устойчивости замкнутой системы с чисто пропорциональным регулятором «Цитата» [1, с. 172]. Существуют также аналитические методы настройки, основанные на желаемом расположении полюсов замкнутой системы, и методы, основанные на минимизации интегральных критериев качества, таких как интеграл от квадрата ошибки регулирования. Полученные этими методами настройки, как правило, служат лишь отправной точкой, которая затем уточняется путём

моделирования либо натурного эксперимента с учётом специфики конкретного объекта регулирования.

Разработанный в рамках настоящей работы программный комплекс, позволяющий быстро получать переходный процесс для произвольного набора коэффициентов регулятора, может использоваться как инструмент интерактивной настройки: пользователь варьирует коэффициенты и сразу видит изменение показателей качества переходного процесса, что существенно ускоряет процесс подбора настроек по сравнению с натурным экспериментом на реальном объекте.

Ограничения линейной модели объекта

Рассмотренная в работе модель объекта первого порядка является существенным упрощением, справедливым лишь для сравнительно простых технологических процессов с одной доминирующей постоянной времени. Реальные объекты управления часто описываются моделями более высокого порядка, содержат звенья транспортного запаздывания (например, из-за конечной скорости движения материального потока в трубопроводе) и могут проявлять нелинейные свойства при значительных отклонениях от рабочей точки «Цитата» [2, с. 211]. Наличие запаздывания особенно существенно осложняет настройку ПИД-регулятора, поскольку запаздывание вносит дополнительный фазовый сдвиг в контур регулирования, снижающий запас устойчивости системы и вынуждающий использовать более консервативные (менее агрессивные) настройки регулятора по сравнению со случаем объекта без запаздывания. Учёт подобных эффектов при последующем развитии разработанного программного комплекса потребует расширения модели объекта регулирования звеном транспортного запаздывания и, возможно, элементами нелинейной динамики.

Заключение

В работе построена математическая модель замкнутой системы автоматического регулирования с ПИД-регулятором, разработан программный комплекс для её численного моделирования и определения

показателей качества переходного процесса, проведена апробация на модельном объекте первого порядка. Получены значения перерегулирования и времени регулирования, характеризующие качество настройки регулятора. Дальнейшее развитие работы связано с реализацией автоматической настройки коэффициентов регулятора по заданным показателям качества.

Использованные источники:

1. Бесекерский, В. А. Теория систем автоматического управления / В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. — 4-е изд., перераб. и доп. — СПб.: Профессия, 2003. — 752 с.
2. Ротач, В. Я. Теория автоматического управления : учебник для вузов / В. Я. Ротач. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Изд-во МЭИ, 2008. — 396 с.
3. Денисенко, В. В. ПИД-регуляторы: вопросы реализации / В. В. Денисенко // Современные технологии автоматизации. — 2007. — № 4. — С. 86–97.