УДК 662.642:621.926.7

И.В.Матвеичев (5 курс, каф. МПУ), Л.М.Яковис, д.т.н., проф.

РОБАСТНАЯ НАСТРОЙКА ТИПОВЫХ РЕГУЛЯТОРОВ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ИНЕРЦИОННЫМИ ОБЪЕКТАМИ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ

Тема данной работы связана с актуальной проблемой управления широким классом квазистационарных технологических процессов, характеристики которых могут неконтролируемым образом изменяться в широком диапазоне, что эквивалентно изменению параметров их динамических моделей. Подобная же ситуация управления в условиях неопределенности возникает при постоянных, но в большой мере неизвестных параметрах модели объекта, что характерно для проектирования систем автоматики в сжатые сроки.

Более конкретно, задача заключается в создании методики робастной настройки пропорционально-интегрального регулятора (ПИ-регулятора) по интервальным оценкам параметров модели объекта управления, представляющей собой последовательное соединение инерционного звена первого порядка со звеном запаздывания. Суть методики состоит в определении параметров регулятора, гарантирующих наилучшее достижимое качество управления во всей области возможных значений параметров объекта. Ввиду отсутствия методов аналитического решения поставленной задачи необходимо разработать приближенные методы численной оптимизации параметров регулятора, а для оценки качества переходных процессов при тех или иных настройках использовать метод имитационного моделирования замкнутых систем управления.

Пусть уравнения системы “объект — регулятор” в отклонениях имеют вид

$$y = H(p)\, u + n, \qquad u = -\, W(p)\, y. \tag{1}$$

Рассматривается распространенная ситуация, когда динамика объекта описывается динамической моделью инерционного звена первого порядка с запаздыванием, а для управления с обратной связью по отклонению от задания используется ПИ-регулятор, то есть

$$H(p) = \frac{Ke^{-p\tau}}{Tp+1}, \qquad W(p) = k_n + k_u \,/\, p\,. \tag{2}$$

Пусть также задан критерий, количественно оценивающий качество стабилизации на нулевом уровне выходной переменной $y(t)$ в условиях действия возмущений $n(t)$

$$J = f(K, T, \tau, k_n, k_u)\,, \tag{3}$$

причем качество управления тем лучше, чем меньше значение данного показателя.

Поставим задачу определения оптимальных робастных настроек параметров регулятора, то есть задачу нахождения такой пары $\tilde{k}_n, \tilde{k}_u$, которая гарантирует наилучшее качество управления при всех значениях параметров объекта K, T, τ, принадлежащих заданным интервалам. Эта задача может быть решена путем реализации двухэтапной «минимаксной» процедуры. На первом этапе для каждой пары настроек регулятора определяется наиболее сложный для управления из возможных объектов, то есть определяется тройка значений K, T, τ, максимизирующих показатель J. В результате формируется функция

$$\varphi(k_n, k_u) = \max\{f(K, T, \tau, k_n, k_n \;|\, K^{\min} \le K \le K^{\max}, T^{\min} \le T \le T^{\max}, \tau^{\min} \le \tau \le \tau^{\max}\}$$

На втором этапе путем минимизации этой функции определяются искомые оптимальные робастные настройки ПИ-регулятора

$$(\tilde{k}_n, \tilde{k}_u) = \mathrm{Arg}\min \varphi(k_n, k_u)\ . \tag{4}$$

Полученные таким образом значения $\widetilde{k}_n, \widetilde{k}_u$ обеспечивают наименьшее гарантированное значение критерия качества управления J в условиях интервальной неопределенности параметров объекта.

Реализация рассмотренной минимаксной процедуры представляет определенные сложности, так как требует весьма значительного по объему перебора вариантов. Так, если использовать метод простого перебора, то при разбиении каждого из интервалов параметров объекта на l частей, а каждого из интервалов возможных значений параметров регулятора на m частей, необходимо сравнить между собой $l^3 \times m^2$ вариантов, причем для получения показателя качества управления J для каждого варианта необходимо промоделировать переходный процесс в замкнутой системе (1), (2). Например, в типичном случае, когда l=10, а m=100, необходимо сравнить между собой 10 миллионов вариантов.

Оказывается, приближенное решение, при котором многократно сокращается перебор, может быть получено, если принять гипотезу, что, управляя объектом с запаздыванием в условиях неопределенности модели объекта, для гарантии приемлемого качества управления следует выбирать наиболее слабые настройки регулятора, обеспечивая при этом максимальную осторожность при выработке управляющих воздействий. Если рассмотреть формулы для настройки параметров ПИ-регулятора компенсационным методом [1]

$$K_n = \frac{aT}{K\tau}, \qquad K_u = \frac{a}{K\tau}, \tag{5}$$

то можно заметить, что наименьшие значения коэффициентов регулятора в допустимой области значений параметров объекта достигаются при

$$K = K^{\max}, \quad T = T^{\min}, \quad \tau = \tau^{\max}. \tag{6}$$

Определив оптимальные по критерию J параметры ПИ-регулятора для объекта (6), то есть решив для него задачу (4), получим приближенно оптимальные робастные настройки для всего множества интервальных объектов. При этом объем перебора вариантов сокращается до m^2.

Наконец, можно еще больше упростить процедуру определения робастных настроек, сведя ее к расчету по нескольким простейшим формулам. Для этого достаточно, не занимаясь поиском оптимального варианта настроек для объекта (6), найти для него эти настройки по формулам (5) компенсационного метода. При этом робастные настройки для всего ансамбля объектов можно будет рассчитать по формулам

$$K_n = \frac{aT^{\min}}{K^{\max}\tau^{\max}}, \qquad K_u = \frac{a}{K^{\max}\tau^{\max}} \;. \tag{7}$$

Предложенные упрощенные схемы носят эвристический характер, поэтому они проверялись путем компьютерного имитационного моделирования замкнутой системы управления в среде Matlab - Simulink. Одновременно находилось и «минимаксное» решение (4). Использовался интегральный квадратический показатель и ступенчатые возмущающие воздействия. По результатам большого объема имитационных экспериментов для разных соотношений T/τ и разной зоны неопределенности модели объекта можно сделать вывод, что предложенные приближенные методы, обеспечивая примерно равное гарантированное качество управления, уступают минимаксному не более, чем на 25%.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Кондрат А.С., Яковис Л.М. XXXII Неделя науки СПбГПУ: Ч. IV. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2004, с.27-28.