РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
АВТОМЕТРИЯ
№ 3 1998

УДК 007 : 159.955.681.3.06

С. В. Жукова, Ю. Н. Золотухин
(Новосибирск)

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕГУЛЯТОРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКИХ ОЦЕНОК И ГЕНЕТИЧЕСКОГО ПОДХОДА

Предложен метод выбора коэффициентов регулятора, обеспечивающих заданный вид переходной кривой замкнутой системы управления. Использованы нечеткие оценки параметров переходной кривой и генетический алгоритм для поиска эффективных решений. Приведен численный пример, демонстрирующий работоспособность метода.

1. В практике автоматического управления известны различные методы настройки параметров регулятора, например методика Циглера – Никольса [1]. Однако, обеспечивая устойчивость системы и удовлетворительное качество переходного процесса, эти методы не позволяют вести целенаправленный подбор параметров регулятора для получения переходной кривой заданного вида.

В данной работе рассмотрена задача получения заданной переходной характеристики путем направленного перебора параметров регулятора.

Типичная система регулирования имеет вид, представленный на рис. 1, здесь Р – регулятор, О – объект, а сигнал ошибки (рассогласования), являющийся входным для регулятора, определяется как разность уставки $z(t)$ и

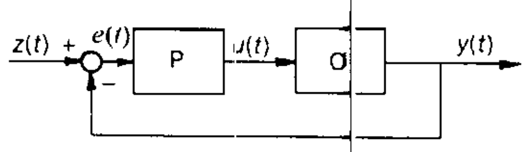


Рис. 1. Замкнутая система регулирования

выходного сигнала объекта $y(t)$:

$$e(t) = z(t) - y(t). \qquad (1)$$

Для часто используемого ПИД(пропорционально-интегрально-дифференциального)-регулятора управляющее воздействие определяется как

$$u(t) = K_P\, e(t) + K_I \int_0^t e(\tau)d\tau + K_D \frac{de(t)}{dt}, \qquad (2)$$

где K_P, K_I, K_D – параметры. Их значения определяют характеристики замкнутой системы регулирования.

2. Рассмотрим модель замкнутой системы с объектом третьего порядка и ПИД-регулятором. Она описывается дифференциальным уравнением

$$\alpha_1 y + \alpha_2 y + \alpha_3 y = K_P(u - y) + K_I \int (u - y) + K_D(u - y)', \qquad (3)$$

решение которого при единичном скачке на входе определяет кривую переходного процесса в системе.

Для оценки качества переходного процесса в инженерной практике нередко используются следующие параметры (рис. 2): $t_н$ – «Время нарастания», т. е. время, за которое переменная $y(t)$ возрастает с 0,1 до 0,9 установившегося значения; S – «Выброс» (максимальное превышение сигналом $y(t)$ единичного уровня); $t_з$ – «Время затухания» переходного процесса (время между моментом первого достижения сигналом $y(t)$ единичного уровня и моментом, начиная с которого значения $y(t)$ остаются внутри интервала $[1 \pm \varepsilon]$, ε – некоторая постоянная).

3. Оценка переходной кривой по упомянутым выше параметрам ($t_н$, S, $t_з$) представляет собой многокритериальную задачу. Для ее решения воспользуемся предложенным Р. Беллманом и Л. Заде методом слияния целей и ограничений [2].

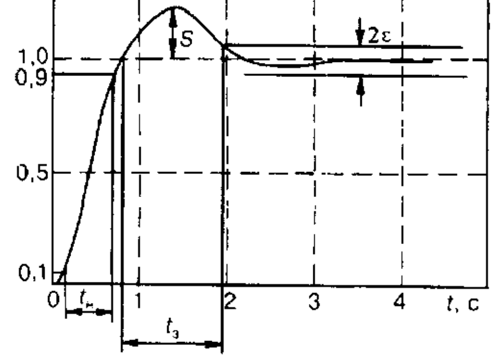


Рис. 2. Переходная характеристика системы

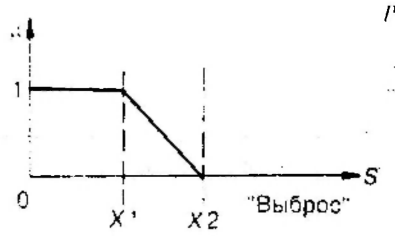


Рис. 3. Функция принадлежности для терма «Приемлемое значение» лингвистической переменной «Выброс»

Введем лингвистические переменные: «Время нарастания», «Время затухания», «Выброс» – и определим на каждой из них терм «Приемлемое значение» как нечеткое множество с функцией принадлежности $\mu(x)$ трапецеидального вида. Пример функции принадлежности для терма «Приемлемое значение» лингвистической переменной «Выброс» приведен на рис. 3.

Конкретные значения параметров переходной кривой $(t_н, S, t_з)$ могут быть охарактеризованы степенью принадлежности $\mu(x)$ каждого из параметров к терму «Приемлемое значение» соответствующей лингвистической переменной.

В рассматриваемом нами случае представляется естественным принять в качестве оценки переходной кривой функцию

$$f = \min(\mu(t_н), \mu(S), \mu(t_з)). \qquad (4)$$

4. С учетом изложенного схема поиска приемлемой кривой переходного процесса может выглядеть следующим образом:

а) эксперт задает функции принадлежности терма «Приемлемое значение» для трех рассматриваемых параметров;

б) одним из известных методов вычисляются начальные величины коэффициентов регулятора K_P^0, K_I^0, K_D^0;

в) вводятся случайные значения поправок к начальным величинам коэффициентов ΔK_P, ΔK_I, ΔK_D;

г) вычисляются новые значения коэффициентов $K_P = K_P^0 + \Delta K_P$, $K_I = K_I^0 + \Delta K_I$, $K_D = K_D^0 + \Delta K_D$;

д) производится расчет переходной характеристики путем решения уравнения (3) с коэффициентами, полученными в п. «г»;

е) вычисляются значения параметров $t_н, S, t_з$;

ж) вычисляется степень принадлежности $\mu(x)$ для каждого из параметров к нечеткому множеству «Приемлемое значение» соответствующей лингвистической переменной;

з) вычисляется общая оценка переходной кривой по выражению (4).

Затем процедура повторяется при новых значениях поправок.

5. В качестве метода эффективного нахождения следующих значений коэффициентов регулятора выбран генетический подход.

Генетические алгоритмы (ГА) – это поисковая техника, имитирующая законы природной селекции и генетики [3].

Структура простого генетического алгоритма выглядит следующим образом. На протяжении k-й итерации ГА сохраняет популяцию потенциальных решений (хромосом) $P(k) = \{x_1^k, \ldots, x_n^k\}$. Каждое решение x_i^k оценивается некоторой мерой пригодности. Затем формируется новое поколение ($(k+1)$-итерация) путем селекции решений в соответствии с мерой пригод-

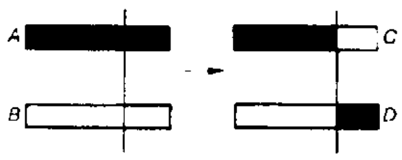


Рис. 4. Кроссовер

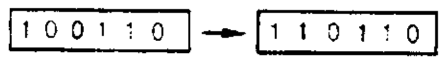


Рис. 5. Мутация

ности. Вероятность быть отобранным в следующее поколение выражается в виде

$$p_i = \frac{\text{пригодность}_i}{\sum\limits_i \text{пригодность}_i}. \qquad (5)$$

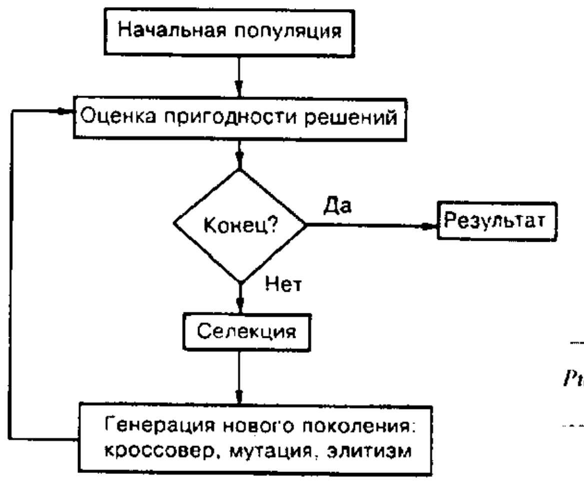
Некоторые решения из следующего поколения подвергаются действию генетических операторов (кроссовера и мутации) для образования новых решений [4]. Оператор кроссовера (рис. 4) воздействует на каждую пару решений A и B для получения двух решений-потомков (C и D) путем взаимного обмена сегментами родительских хромосом. Мутация произвольно изменяет один или несколько генов в выбранной хромосоме (рис. 5).

Алгоритм завершает работу при достижении заданных значений пригодности либо числа поколений.

Структурная схема работы генетического алгоритма представлена на рис. 6.

6. Для оценки эффективности предложенного метода проведен подбор коэффициентов ПИД-регулятора в системе с объектом третьего порядка ($T_1 = 0{,}1$ с; $T_2 = 0{,}2$ с; $T_3 = 0{,}7$ с). Приняты трапецеидальные функции принадлежности терма «Приемлемое значение», характерные значения которых $X1$ и $X2$ (см. рис. 3) для параметров $t_н, S, t_с$ приведены в таблице.

В эксперименте использован генетический алгоритм со следующими параметрами: размер популяции 10, число поколений 20, вероятность кроссовера 0,9, вероятность мутации 0,001, точность вычислений 0,0001.



Параметры	X1	X2
$t_н$	0.4	0.8
S	0.3	0.6
$t_с$	1.5	2.0

Рис. 6. Структурная схема работы генетического алгоритма

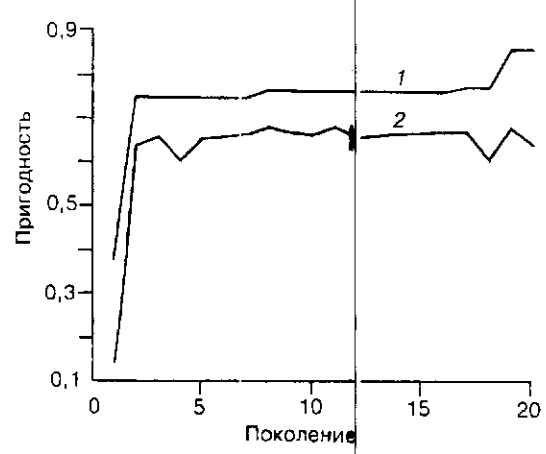


Рис. 7. Графики значений пригодности лучшего решения (*1*) и средней пригодности (*2*) в каждом поколении

Использовано представление возможного решения в виде хромосомы с тремя генами, соответствующими $\Delta K_P, \Delta K_I$ и ΔK_D.

В отличие от простого генетического алгоритма [5] в эксперименте использовано свойство элитизма, обеспечивающее обязательное сохранение в следующем поколении лучшего решения из текущего поколения.

На рис. 7 представлены графики значений пригодности лучшего решения и средней пригодности в каждом поколении, на рис. 8 приведены исходная и достигнутая переходные кривые исследуемой системы.

7. Таким образом, продемонстрирована методика целенаправленного поиска значений коэффициентов регуляторы, обеспечивающих заданный вид отклика замкнутой системы управления на единичный скачок уставки. Использование сочетания нечетких оценок параметров и генетического метода поиска позволило построить эффективную процедуру подбора. Численный пример с объектом третьего порядка и ПИД-регулятором продемонстрировал эффективность метода.

Данный подход применим к достаточно широкому классу задач.

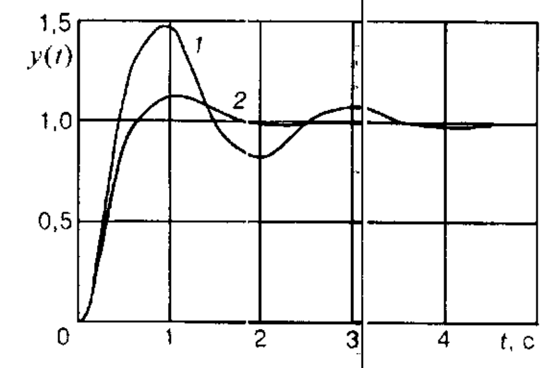


Рис. 8. Исходная (*1*) и достигнутая (*2*) переходные кривые

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Кондратьев В. В., Мазуров В. М.** Быстродействующий адаптивный ПИД-регулятор с настройкой параметров по методу Циглера – Никольса // Теплоэнергетика. 1994. № 10. С. 60.
2. **Munda G.** Multicriteria Evaluation in a Fuzzy Environment. Physica-Verlag, 1995.
3. **Karr Ch.** Genetic algorithms for fuzzy controllers // AI Expert. February 1991. P. 25.
4. **Kim Chwee Ng, Yun Li.** Design of sophisticated fuzzy logic controller using genetic algorithms // Proc. 3rd IEEE Int. Conf. on Fuzzy Systems. Orlando. FL. 1994. 3. P. 1708.
5. **Goldberg D. E.** Genetic Algorithms in Search. Optimization and Machine Learning. Addison-Wesley, 1989.

Поступила в редакцию 20 апреля 1998 г.