

М.У.

№2139

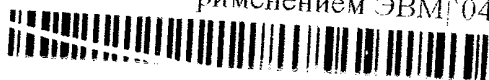
03-11545

Монахов О.И.

уч.3

Анализ и синтез САУ с п

рименением ЭВМ 04



Я РОССИЙСКОЙ

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ (МИИТ)

Кафедра «Управление и информатика в технических
системах»

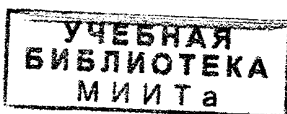
О.И. Монахов

Утверждено
редакционно-издательским
советом университета

АНАЛИЗ И СИНТЕЗ САУ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭВМ

Методические указания к курсовому проекту по
дисциплине «Автоматизация проектирования систем и
средств управления» для студентов специальности
«Управление и информатика в технических системах»

Москва -2004



УДК 658.512.22

М-77

Монахов О.И. Анализ и синтез САУ с применением ЭВМ: Методические указания к курсовому проекту. – М.: МИИТ. 2004. – 28с.

В методических указаниях излагается методика применения ЭВМ для анализа устойчивости и качества систем автоматического управления (САУ). Рассматриваются вопросы использования методов нелинейного программирования для синтеза корректирующих устройств САУ.

© Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ), 2004.

Подписано в печать - *21.12.04.*

тираж 100 экз.

Усл. печ. л. 1,75

Формат 60×84/16

Изд №120-04

Заказ - *832.*

Цена 12 руб. 00 коп.

127994, Москва, ул. Образцова, 15
Типография МИИТа

Введение

Цель курсового проектирования – закрепить знания, полученные при изучении теоретических разделов дисциплины, усвоить методы и приемы автоматизированного расчета САУ, научиться пользоваться программным обеспечением современных ПЭВМ. Целью данного курсового проекта является определение наилучших параметров корректирующего устройства следящей системы, обеспечивающих устойчивость системы и выполнение требований технического задания к динамике САУ по перерегулированию и времени регулирования. Структура корректирующего устройства задается.

Курсовой проект оформляется в виде расчетно-пояснительной записки, объем которой 20-30 страниц текста, иллюстрированный необходимыми рисунками, таблицами с результатами расчетов, графиками, схемами и др. Содержание расчетно-пояснительной записки определяется основными пунктами задания, уточненными преподавателем применительно к конкретному варианту и дополненные введением, выводами по работе и списком использованной литературы, описанием использованных программных средств.

Краткие методические указания.

Под синтезом в научных исследованиях и проектировании САУ понимают решение задач, связанных с определением структуры и параметров САУ в соответствии с заданными критериями качества и условиями функционирования [1].

Задачи проектирования САУ являются важнейшими и в тоже время наиболее трудоемкими, связанными с анализом сотен и тысяч вариантов корректирующих звеньев САУ. При синтезе структуры и параметров САУ не учитываются конструкторские и технологические особенности реализации отдельных устройств и элементов САУ и стыковки их между собой [1]. Например, корректирующее звено с передаточной функцией

$$\frac{T_1^2 p^2 + T_2 p + 1}{(T_3 p + 1)(T_4 p + 1)},$$

полученное методами традиционного синтеза, может оказаться нереализуемым (в частности, на активных или пассивных фильтрах), если не удастся обеспечить требуемого соотношения между постоянными времени T_1, T_2, T_3, T_4 в условиях конструктивных и технологических ограничений [1].

Определяющим условием правильной постановки задачи синтеза и построения соответствующего алгоритма и программы расчетов является формализация целей критериев и ограничений. Критерии и ограничения при проектировании САУ многочисленны и противоречивы, существенно зависят от типа САУ и условий их эксплуатации [1].

Техническое задание на проектирование САУ содержит ряд требований, предъявляемых к системе: заданный запас устойчивости, перерегулирование, время регулирования, динамическая и статическая ошибки и т.д. Задача обеспечения требуемого качества переходных процессов в проектируемой САУ формируется как задача

нелинейного программирования (НЛП) [2], т.е. при заданном математическом описании объекта в виде передаточных функций либо дифференциальных уравнений определить параметры x_i корректирующего устройства заданной структуры, обеспечивающих минимум критерия оптимальности, который может быть сформирован, например, в виде

$$Q(x_1, \dots, x_n) = \alpha_1 (\sigma^* - \sigma(x_1, \dots, x_n))^2 + \alpha_2 (t_p^* - t_p(x_1, \dots, x_n))^2, \quad (1)$$

где α_1, α_2 - весовые коэффициенты;

σ^*, t_p^* - требуемые показатели качества динамики САУ;

$\sigma(x_1, \dots, x_n), t_p(x_1, \dots, x_n)$ - значение тех же показателей, получаемых в результате вариации параметров корректирующего устройства x_i .

Объектом управления в курсовом проекте является линейная следящая система, структурная схема которой изображена на рис. 1.

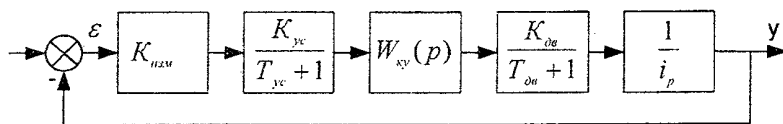


Рис.1. Структурная схема проектируемой САУ.

Исходные данные по системе приведены в табл. 1.

Следящая система содержит следующие функционально необходимые элементы:

– сельсинная пара (СД-СП), работающие в трансформаторном режиме и обладающие статическим коэффициентом усиления $K_{изм}$;

– усилитель с передаточной функцией $K_{yc} / (T_{yc} p + 1)$;

– корректирующее устройство с передаточной функцией $W_{кy}(p)$;

Таблица №1.

Номер задания	$\varepsilon \cdot 10^{-2}$		ω	$K_{изм}$	$K_{ус}$	$T_{ус} \cdot 10^{-3}$	$K_{обс}$	$T_{обс}$	i_p	t_p	σ
	рад	$\frac{рад}{с}$									
1	1,0	1,5	0,9	2	50	20	0,09	20	0,4	15	
2	1,0	2,0	0,9	10	8	5	0,06	30	0,8	25	
3	1,0	0,6	1,0	5	60	5	0,017	40	0,5	40	
4	0,9	1,5	1,0	7	10	20	0,14	60	0,4	30	
5	0,8	1,0	0,9	8	90	5	0,03	80	0,6	25	
6	1,1	1,2	1,0	7	50	20	0,12	100	0,7	20	
7	0,8	2,5	1,1	4	70	20	0,04	120	0,5	15	
8	0,9	1,9	0,9	6	60	5	0,05	140	0,6	20	
9	1,1	0,7	0,8	8	9	20	0,3	160	1,5	30	
10	1,0	1,5	1,0	10	10	5	0,06	200	1,0	25	
11	1,0	2,0	0,9	7	50	5	0,1	180	0,8	20	
12	0,9	1,6	1,0	2	70	20	0,18	150	1,2	15	
13	0,8	1,7	1,0	4	80	5	0,12	120	1,0	20	
14	1,1	1,8	0,9	10	50	20	0,15	100	0,8	25	
15	0,9	2,0	0,8	6	60	20	0,1	160	0,6	30	
16	1,0	1,2	0,9	7	50	0,6	0,09	180	0,4	35	
17	2,0	1,4	0,9	10	80	1,0	0,06	140	0,6	40	

18	1,0	1,6	0,9	8	90	0,5	0,14	120	0,8	20
19	2,0	1,8	0,9	5	20	0,7	0,03	80	1,0	30
20	1,0	2,0	1,1	7	30	7	0,12	30	1,2	15
21	2,0	2,0	1,1	6	10	2	0,04	50	1,5	20
22	1,0	1,8	1,1	9	30	10	0,05	150	1,0	30
23	2,0	1,6	1,1	10	70	8	0,3	40	0,8	35
24	1,0	1,4	0,9	7	60	3	0,06	200	0,6	25
25	2,0	1,2	0,9	8	40	6	0,1	160	0,4	20
26	1,0	1,0	0,9	5	50	15	0,2	140	1,2	35
27	2,0	1,2	0,9	6	70	4	0,15	50	1,5	40
28	1,0	1,4	1,1	3	20	9	0,16	160	1,0	20
29	2,0	1,6	1,1	4	30	7	0,12	130	0,8	25
30	1,0	1,8	1,1	5	80	8	0,4	120	0,4	30

– двигатель с передаточной функцией $K_{ос} / (T_{ос} p + 1) p$;

– редуктор с передаточным отношением i_p .

Проектирование начинается с определения необходимого коэффициента предварительного безынерционного усилителя $K_{пр.ус.}$, который обеспечивал бы заданную кинетическую ошибку ε при воздействии типа $\omega t \cdot 1(t)$:

$$K_{пр.ус.} = \frac{\omega \cdot i_p}{K_{узм} \cdot K_{ус} \cdot K_{ос}}.$$

Далее производится анализ устойчивости нескорректированной САУ одним из известных в теории методом [3-5]. Делается вывод о работоспособности нескорректированной системы.

Далее, выбирая корректирующее устройство в виде передаточной функции $W_{ку} = \frac{(\tau_1 p + 1)}{(T_1 p + 1)}$, определяем параметры τ_1, T_1 из условия минимума (1). Исходными τ_1, T_1 являются те, которые обеспечивают устойчивость исследуемой САУ. Далее производится моделирование исходной САУ на ЭВМ с использованием одного из численных методов интегрирования дифференциальных уравнений [1], получаемых из передаточной функции скорректированной САУ путем замены комплексной переменной p на оператор дифференцирования $p \equiv \frac{d}{dt}$, подобно тому, как это сделано, например в [4, приложение 20].

Для получения передаточной функции замкнутой скорректированной САУ в виде дробно-рационального выражения

$$\Phi_{ck}(p) = \frac{b_0 p^m + b_1 p^{m-1} + \dots + b_m}{a_0 p^l + a_1 p^{l-1} + \dots + a_l}; m \leq l \quad (2)$$

на ЭВМ необходимо выполнить следующие операции: перемножение полинома на полином, приведение подобных членов и др.

Для нахождения переходного процесса в САУ при действии на нее единичного ступенчатого воздействия $1(t)$ производится численное интегрирование системы дифференциальных уравнений, записанных в форме Коши, соответствующих замкнутой скорректированной САУ: $W_{ck}(p)/(1+W_{ck}(p))$,

$$\text{где } W_{ck}(p) = W_{нск}(p) \cdot W_{кы}(p),$$

$$W_{нск}(p) = K / (p(T_{об}p + 1)(T_{ус}p + 1)),$$

$$K = K_{нр.ус.} \cdot K_{ус.} \cdot K_{изм.} \cdot K_{об.} / i_p.$$

Так как задающее воздействие является ступенчатым, можно исключить из правой части дифференциальных уравнений

$$(a_0 p^l + \dots + a_l)y(t) = (b_0 p^m + \dots + b_m)g(t) \quad (3)$$

операторы дифференцирования путем введения эквивалентных начальных условий. Поэтому вместо решения уравнения (3) с нулевыми начальными условиями: $y_{-0} = 0, y'_{-0} = 0, y''_{-0} = 0$ и т.д.

решается уравнение

$$(a_0 p^l + \dots + a_l)y(t) = b_m g(t)$$

с эквивалентными начальными условиями $y_{+0}, y'_{+0}, y''_{+0}$ и т.д., которые определяются в соответствии с приложением 10 [4], как это сделано, например, в задаче 189 [4].

После расчета переходного процесса в скорректированной системе оценивают

перерегулирование σ и время регулирования t_p и сравнивают их с заданными в Т.З. В случае, если текущие значения указанных показателей больше заданных, производится изменение параметров корректирующего устройства в соответствии с выбранным численным методом оптимизации критерия (1) [2]. Изменение параметров корректирующего устройства (с последующим анализом устойчивости скорректированной САУ и построением переходного процесса в ней в случае устойчивости) производится до исчерпания ресурса шагов оптимизации N или до выполнения условий достижения минимума $Q(x_1, \dots, x_n)$, т.е. выполнение K раз подряд следующих условий

$$\begin{aligned} Q^{(N)}(x_1, \dots, x_n) - Q^{(N-1)}(x_1, \dots, x_n) &\leq \varepsilon_Q, \\ X_i^{(N)} - X_i^{(N-1)} &\leq \varepsilon_X, i = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (4)$$

где $\varepsilon_Q, \varepsilon_X$ - точности достижения минимального значения критерия (1) $Q(x_1, \dots, x_n)$ и соответствующих ему значений независимых переменных;

N - номер шага оптимизации.

K - число, выбираемое эмпирически, $K = 5 \div 10$.

В том случае, если за N шагов оптимизации не удалось достичь требуемых показателей качества динамики проектируемой САУ при первоначально выбранной структуре корректирующего устройства, производится изменение (усложнение) структуры $W_{ky}(p)$,

$$\text{т.е. } W_{ky}(p) = \frac{(\tau_1 p + 1)(\tau_2 p + 1)}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)} \quad (5)$$

и описанный выше цикл вычислений повторяется.

Изменение структуры $W_{\text{кв}}(p)$ заканчивается на

$$\text{варианте } W_{\text{кв}}(p) = \frac{\prod_{j=1}^3 (\tau_j p + 1)}{\prod_{j=1}^3 (T_j p + 1)}. \quad (6)$$

Укрупненная блок-схема алгоритма синтеза корректирующих устройств САУ с применением методов НЛП приведена на рис. 2.

Следует отметить, что использование в качестве критерия оптимальности, характеризующего динамику САУ, квадратичных интегральных оценок вида [1, 3]

$$I_2 = \int_0^{\infty} [y(t) - y(\infty)]^2 dt \quad (7)$$

позволяет вычислять последние с использованием коэффициентов a_i, b_j передаточной функции замкнутой скорректированной системы (2). При этом не требуется интегрирование системы дифференциальных уравнений (3), а решение задачи НЛП сводится к поиску параметров τ_i, T_j корректирующего устройства из условия минимума критерия (7), значение которого на каждом шаге оптимизации вычисляется по формулам приложения 32 [4].

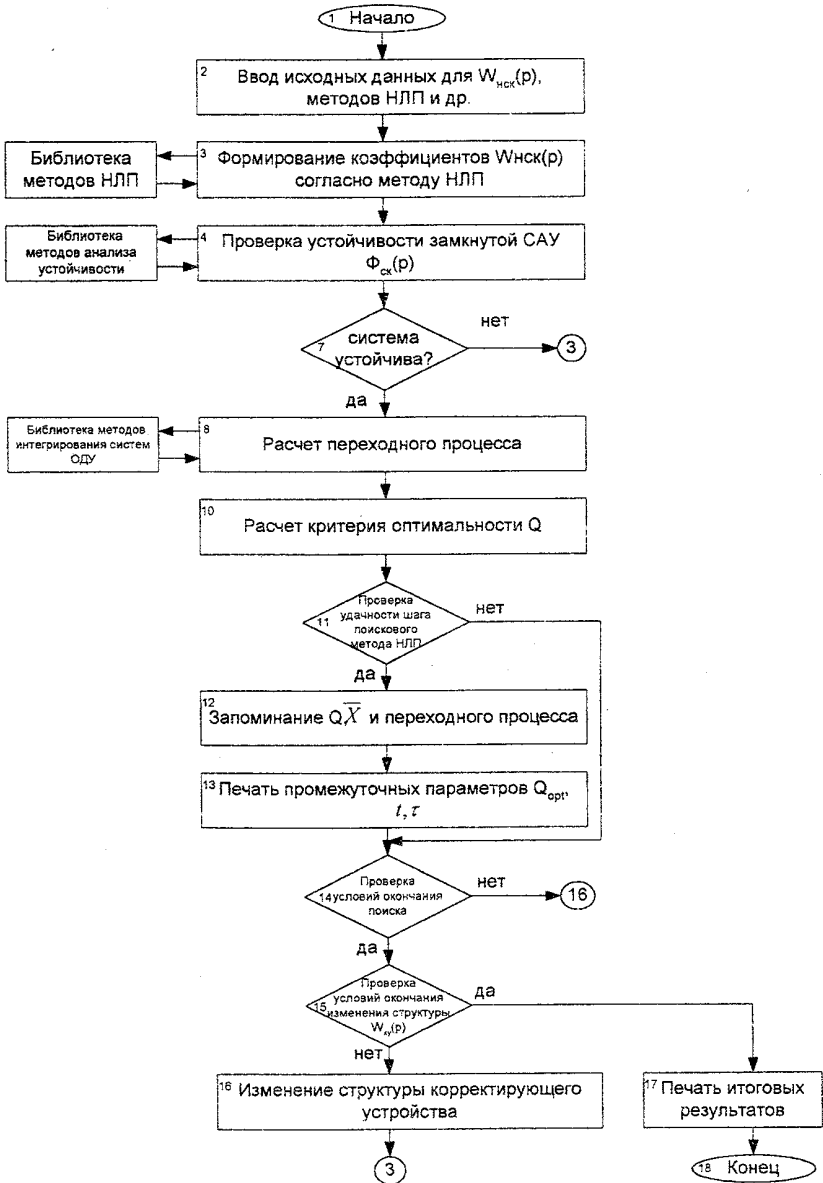


Рис. 2. Блок-схема алгоритма синтеза корректирующих устройств САУ с применением методов НЛП.

2. Теоретическая часть

В настоящее время имеется много книг, посвященных изложению численных методов анализа и синтеза САУ, разработке алгоритмов и программ моделирования и оптимизации, например [1, 2, 6-9].

Автором была проделана определенная работа по анализу литературных данных, посвященных автоматизации проектирования САУ и в настоящих методических указаниях дается подробная информация о литературных источниках, в которых описываются соответствующие алгоритмы и программы анализа и синтеза САУ на ЭВМ:

- расчет частотных характеристик [1, с.209-215], [4, с. 71-85], [8, с. 18-20], [12, с.54-67];
- алгебраические критерии устойчивости [1, с.199-209], [7, с.10-17], [10, с.13-18], [10, с.88-112];
- критерии Найквиста [8, с.18-24], [10, с.21-22], [12, с.134-156], [7, с.19-24];
- построение областей устойчивости [1, с.248-250], [7, с.26-31], [12, с.124-134];
- построение переходных процессов в линейных САУ [1, с.172-186], [4, с.144-161], [9, с.72-90], [10, с.29-33], [12, с.217-230], [13];

- расчет интегральных оценок [4, с.181-184], [10, с.33-36];
- расчет корректирующих устройств [4, с.234-237];
- алгоритмы оптимизации параметров САУ [2], [7, с.151-192], [14, с.183-202], [9, с.162-198].

Особо следует отметить работу [15], в которой помимо алгоритмов расчета линейных САУ на ЭВМ, приведены примеры оптимизации следящей системы, примеры составления программ, список литературы по методам оптимизации.

В последнее время появилось значительное количество книг, учебных пособий, посвященных описанию программных систем компьютерной математики (в частности, [16]), в которых рассматривается решение задач интегрирования дифференциальных уравнений, поиска экстремумов, нелинейного программирования и др. Далее приводится описание некоторых методов анализа устойчивости и качества САУ, оптимизации, используемых при синтезе корректирующих устройств на ЭВМ.

2.1. Методы анализа устойчивости

Оценку устойчивости линеаризованной САУ можно осуществлять, например, алгебраическими методами [1, 3].

Алгебраические методы позволяют по коэффициентам характеристического уравнения (знаменателю выражения (2))

$$a_0 p^l + a_1 p^{l-1} + \dots + a_l = 0 \quad (8)$$

определить необходимые и достаточные условия нахождения действительных частей корней в левой полуплоскости комплексной переменной p .

Критерий А. Гурвица сводится к установлению положительности главных миноров определителя вида

$$\Delta_l = \begin{vmatrix} a_1 & a_0 & 0 & \dots & 0 \\ a_3 & a_2 & a_1 & \dots & 0 \\ a_5 & a_4 & a_3 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & a_l \end{vmatrix},$$

$$\Delta_1 > 0, \Delta_2 > 0, \dots, \Delta_l > 0$$

При условии, что $a_0 > 0$ для реализации критерия Гурвица требуется вычисление $l-2$ определителей, что при $l > 10$ приводит к весьма значительному расходу машинного времени [11].

Более удобен при машинной реализации критерий, который строится по определителю Гурвица и требует оценок:

$$a_i > 0, i = \overline{1, l}$$

$$\Delta_1 > 0, \Delta_3 > 0, \dots, \Delta_{l-1} > 0, \text{ если } l \text{ четно;}$$

$$\Delta_2 > 0, \Delta_4 > 0, \dots, \Delta_{l-1} > 0, \text{ если } l \text{ нечетно.}$$

Число вычислительных операций в этом случае значительно уменьшается [1].

В некоторых случаях целесообразно для машинной реализации воспользоваться предложенным К. Ланцошем критерием. Для его применения в характеристическом уравнении (8) производится замена переменной $p = (1 - \rho)/(1 + \rho)$. Тогда вместо (8) получим $c_0 \rho^l + c_1 \rho^{l-1} + \dots + c_l = 0$.

При $Re(p) < 0$ преобразование $p = (1 - \rho)/(1 + \rho)$ отображает полуплоскость p внутрь круга единичного радиуса плоскости ρ . Поэтому необходимым и достаточным условием устойчивости будет

$$|\rho_i| < 1, i = \overline{1, l}$$

Машинная реализация этого неравенства сводится к проверке условий

$$\frac{b_1}{b_0} < 1, \frac{b_2}{b_1} < 1, \dots, \frac{b_l}{b_{l-1}} < 1$$

что с вычислительной точки зрения является более экономичным, чем вычисление определителя Гурвица [1].

Наиболее эффективным с вычислительной точки зрения является алгоритм Э. Рауса, вычисления по которому поясняются таблицей 2. Число строк таблицы Рауса равно $l+1$. В общем случае, коэффициенты k -го столбца i -ой строки таблицы Рауса вычисляются по формуле

$$c_{k,i} = c_{k+1,i-2} - r_i c_{k+1,i-1}$$

Необходимым и достаточным условием устойчивости является при $a_0 > 0$ положительность коэффициентов первого столбца таблицы Рауса

$$c_{11} > 0, c_{12} > 0, \dots, c_{1,l+1} > 0$$

2.2. Численные методы моделирования

Процесс моделирования строится на основе решения задачи Коши, т.е. интегрирования дифференциального уравнения

$$\dot{y} = f(y, t) \quad (9)$$

Таблица Рауса

таблица 2

Коэффициенты	Номер строки	Номер столбца		
		1	2	3
r_1	1	$c_{11} = a_1$	$c_{21} = a_3$	$c_{31} = a_5$
	2	$c_{12} = a_2$	$c_{22} = a_4$	$c_{32} = a_6$
$r_3 = a_1 / a_2$	3	$c_{13} = c_{21} - r_3 c_{22}$	$c_{23} = c_{31} - r_3 c_{32}$	$c_{33} = c_{41} - r_3 c_{42}$
$r_4 = a_2 / c_{13}$	4	$c_{14} = c_{22} - r_4 c_{23}$	$c_{24} = c_{32} - r_4 c_{33}$	$c_{34} = c_{42} - r_4 c_{43}$
$r_5 = c_{13} / c_{14}$	5	$c_{15} = c_{23} - r_5 c_{24}$	$c_{25} = c_{33} - r_5 c_{34}$	$c_{35} = c_{43} - r_5 c_{44}$
...
$r_i = \frac{c_{1,i-2}}{c_{1,i-1}}$	i	$c_{1,i} = c_{2,i-2} - r_i c_{2,i-1}$	$c_{2,i} = c_{3,i-2} - r_i c_{3,i-1}$	$c_{3,i} = c_{4,i-2} - r_i c_{4,i-1}$
...

Численным решением уравнения (9) является таблица, которая на каждом k шаге интегрирования h дает числовые значения переменной $\bar{y}(k, h)$ достаточно близкие к истинным значениям $y(k, h)$ [1].

Ниже приведены известные формулы численного интегрирования Рунге и Кутты разного порядка точности:

первого порядка (метод Эйлера)

$$\bar{y}_{j+1} = \bar{y}_j + k_1(h), k_1(h) = hf(\bar{y}_j, t_j); \quad (10)$$

второго порядка (метод Эйлера-Коши)

$$\bar{y}_{j+1} = \bar{y}_j + \frac{1}{2}[k_1(h) + k_2(h)], k_2(h) = hf(\bar{y}_j + k_1(h), t_j + h); \quad (11)$$

усовершенствованный метод Эйлера

$$\bar{y}_{j+1} = \bar{y}_j + k_2\left(\frac{h}{2}\right), \quad k_2\left(\frac{h}{2}\right) = hf\left(y_j + \frac{1}{2}k_1(h), t_j + \frac{h}{2}\right); \quad (12)$$

четвертого порядка

$$\begin{aligned} \bar{y}_{j+1} &= \bar{y}_j + \frac{1}{6}\left(k_1(h) + 2k_2\left(\frac{h}{2}\right) + 2k_3\left(\frac{h}{2}\right) + k_4(h)\right); \\ k_3\left(\frac{h}{2}\right) &= hf\left(y_j + \frac{1}{2}k_2(h), t_j + \frac{h}{2}\right); \\ k_4(h) &= hf(y_j + k_3(h), t_j + h). \end{aligned} \quad (13)$$

Применимость методов (10)-(13) к моделированию САУ тесно связана с выбором шага h в формулах численного интегрирования из условия обеспечения

устойчивости вычислительного протеста. Рекомендации по выбору h даются, например, в [1], [9].

2.3. Методы нелинейного программирования (НЛП)

Следующим этапом после формирования структуры и начальных параметров корректирующего устройства, определения устойчивости и качества переходных процессов в САУ является параметрическая оптимизация, являющаяся в общем случае задачей НЛП и осуществляется различными поисковыми алгоритмами на ЭВМ.

Перечислим специфические свойства, присущие целевым функциям в процедурах поиска при оптимизации параметров САУ: характеристики качества, даже для линейных систем, зависят от параметров поиска нелинейно; целевая функция (критерий оптимальности) – неявная функция параметров системы имеет локальные экстремумы, «гребни» и овраги и т.д. Отсюда следует невозможность выбора какого-либо метода поиска, справляющегося со всеми вышеперечисленными трудностями [1].

Ниже приведено описание некоторых методов случайного поиска [17], которые хорошо зарекомендовали

себя при определении как локального, как и глобального экстремума. Часто локальный случайный поиск хорошо дополняет детерминированные методы поиска (градиентный, метод координатного спуска и др.), ускоряя их на начальных этапах.

2.3.1. Локальный случайный поиск с возвратом [17]

В данном методе первоначально производится фиксированный шаг в случайно выбранном направлении. Если значение критерия оптимальности в новом состоянии $Q(\bar{X}_1 + \Delta\bar{X})$ превышает исходное значение $Q(\bar{X}_1)$ или остается неизменным, т.е. шаг оказался неудачным, то происходит возврат в исходное состояние \bar{X}_1 , откуда осуществляется случайный шаг в новом направлении. Если значение $Q(\bar{X}_1 + \Delta\bar{X})$ уменьшилось, то следующий случайный шаг делается уже из точки $(\bar{X}_1 + \Delta\bar{X})$ [17].

Алгоритм поиска можно записать в следующем рекуррентном виде:

$$\begin{aligned} \bar{X}_{i+1} &= \bar{X}_i + \Delta\bar{X}_{i+1} \\ \Delta\bar{X}_{i+1} &= \begin{cases} a\bar{E}_{i+1}, & \text{при } Q(\bar{X}_{i+1}) < Q(\bar{X}_i) \\ 0, & \text{при } Q(\bar{X}_{i+1}) \geq Q(\bar{X}_i) \end{cases}, \end{aligned} \quad (14)$$

где a - рабочий шаг поиска, $\bar{E} = \{e_1, \dots, e_n\}$ - случайный вектор, равномерно распределенный на отрезке $[-1;1]$.

Алгоритм может быть дополнен элементами адаптации шага:

$$a_{i+1} = \begin{cases} \gamma_1 a_i, & \text{при } Q(\bar{X}_{i+1}) < Q(\bar{X}_i) \\ \gamma_2 a_i, & \text{при } Q(\bar{X}_{i+1}) \geq Q(\bar{X}_i) \end{cases} \quad (15)$$

где $0 < \gamma_2 < 1 < \gamma_1$ - эмпирические коэффициенты, значения которых подбираются в диапазонах:

$$\begin{aligned} \gamma_1 &= 1,1 \div 1,5 \\ \gamma_2 &= 0,8 \div 0,9 \end{aligned}$$

Алгоритм эффективен даже в случае нестационарных функций, изменяющихся во времени по тем или иным причинам.

2.3.2. Локальный случайный поиск с пересчетом. [17]

Этот метод поиска отличается от предыдущего тем, что система не возвращается при неудачном шаге назад в исходное состояние, а делает «пересчитанный» случайный шаг в новое состояние, при котором учитывается исходное состояние.

Алгоритм поиска записывается в виде следующей рекуррентной формулы:

$$\Delta \bar{X}_{i+1} = \begin{cases} a\bar{E}_{i+1} & , \text{ при } Q(\bar{X}_{i+1}) < Q^*(\bar{X}_i) \\ -\Delta \bar{X}_i + a\bar{E}_{i+1} & , \text{ при } Q(\bar{X}_{i+1}) \geq Q^*(\bar{X}_i) \end{cases}, \quad (16)$$

где $Q_{i-1}^* = \min_{j=1,2,\dots,j} Q(\bar{X}_j)$ - наименьшее значение критерия оптимальности за i предыдущих шагов поиска.

Этот алгоритм используется для случаев стационарной функции качества, сокращая при этом объем вычислений.

2.3.3. Случайный поиск со смешанной тактикой

В процессе случайного поиска необходимо менять шаг поиска, иначе эффективность вблизи экстремума падает. Одним из способов вариации является смена тактики поиска.

Априори определяется некоторое значение Q^1 , до достижения которого ведется поиск типа (1) (стадия I)

$$\Delta \bar{X}_{i+1} = \begin{cases} a\bar{E}_{i+1}, & \text{при } Q(\bar{X}_i) < Q(\bar{X}_{i-1}) \Leftarrow R^+ \\ -\Delta \bar{X}_i, & \text{при } Q(\bar{X}_i) \geq Q(\bar{X}_{i-1}) \Leftarrow R^- \end{cases} \quad (17)$$

Как только система нашла меньшие границы значений Q^1 , считается, что она находится в зоне притяжения экстремума и соответственно переходим к стадии II:

- 1) резко уменьшаем шаг поиска a (в 10÷30 раз);
- 2) переходим к алгоритму с линейной тактикой (удачный шаг повторяется)

$$\Delta \bar{X}_{i+1} = \begin{cases} \Delta \bar{X}_i, & \text{при } R^+ \\ a \bar{E}_{i+1}, & \text{при } R^- \end{cases} \quad (18)$$

В случае, если определенное число шагов не привело к выполнению условия окончания поиска, делается большой случайный шаг и осуществляется переход к стадии I (17). При достижении границ смены тактики Q^1 - переход к (18) и т.д. Алгоритм может быть дополнен элементами адаптации шага. В примере при оптимизации тестовой функции $Q(\bar{X}) = \sum_{i=1}^8 (x_i - i)^2$, при $\bar{X}_1 = 100$, $Q(\bar{X}_1) = 73004$, $a_1 = 0,7$, $\gamma_1 = 1,5$, $\gamma_2 = 0,8$.

Через 100 шагов поиска, из которых было 33 удачных и 67 неудачных, функция качества достигла значения $Q_{100} = 18,136$, $a_{100} = 0,014$. Для решения вышеописанной задачи синтеза корректирующих устройств линейных САУ

на ЭВМ могут использоваться программные средства, разработанные на кафедре «Управление и информатика в технических системах» МИИТа преподавателем А.И.Сеславиным. Программы разработаны с использованием языка «БЭЙСИК». Программа PERENOD1 осуществляет расчет переходной характеристики линейной САУ, задаваемой своей передаточной функцией замкнутой системы. Эта программа автоматически учитывает наличие в числителе передаточной функции операторов дифференцирования и пересчитывает эквивалентные начальные условия. Эта программа, дополненная программами анализа устойчивости и оптимизации, а также программой формирования передаточной функции замкнутой системы с учетом коррекции, позволяет производить моделирование линейной САУ с вариациями структур корректирующих устройств при оптимизации выбранного критерия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сольницыев Р.И. Автоматизация проектирования систем автоматического управления: Учебник для вузов по специальности «Автоматика и управление в технических системах», М.: Высшая школа, 1991.-335 с.: ил.
2. Банди Б. Методы оптимизации. Вводный курс. – М.: Радио и связь, 1988. – 128 с.
3. Теория автоматического управления. Под ред. А.В.Нетушила. Ч. I, М.: Высшая школа, 1967. – 424с.
4. Сборник задач по теории автоматического регулирования и управления. Под ред. В.А.Бесекерского, М.: Наука, 1978. – 512 с.
5. Теория автоматического управления. Под ред. А.В.Нетушила. Ч.II, М.: Высшая школа, 1972. – 432 с.
6. Мелса Дж.Л., Джонс Ст.К. Программы в помощь изучающим теорию линейных систем управления, м.: Машиностроение, 1981. – 200 с.
7. Болнокин В.Е., Чинаев П.И. Анализ и синтез систем автоматического управления на ЭВМ. Алгоритмы и программы, М.: Радио и связь, 1986. – 248с.
8. Дидук Г.А. Машинные методы исследования автоматических систем, Л.: Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1983. – 176с.

9. Шуп Т. Решение инженерных задач на ЭВМ. Практическое руководство, М.: Мир, 1982. – 238 с.
10. Курбатов Г.М., Монахов О.И. Алгоритмы расчета линейных систем автоматического управления с применением ЭВМ, М.: МИИТ, 1982. – 49 с.
11. Монахов О.И. Методические указания к проведению практических занятий по ТАУ с использованием СКП «БЭЙСИК», М.: МИИТ, 1987. – 60 с.
12. Белова Д.А., Кузин Р.Е. Применение ЭВМ для анализа и синтеза автоматических систем управления., М.: Энергия, 1976. – 264 с.
13. Горбачев А.Д., Мадорский Л.С., Николаев А.В., Павлова А.В. Методическое пособие к курсовой работе по курсу «Теория автоматического управления». Минский радиотехнический институт. Минск, 1977. – 59 с.
14. Пашкеев С.Д., Минязов Р.И., Могилевский В.Д. Машинные методы оптимизации в технике связи. Под ред. С.Д. Пашнева., М.: Связь, 1976, - 272 с.
15. Монахов О.И. Решение задач линейного и нелинейного программирования на ЭВМ с помощью пакетов прикладных программ., М.: МИИТ, 1988. – 44 с.
16. Ивановский Р.И. Компьютерные технологии в науке и образовании. Практика применения систем MathCAD Pro, М.: - Высшая школа, 1977. – 288 с.

17. Теория автоматического управления. Ч II, Под ред.
А.А. Воронова., М.: Высшая школа, 1977. – 288 с.