

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ АСР ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Центральной проблемой расчета и проектирования систем автоматического управления является обеспечение высокого качества их функционирования, включая оптимизацию по тем или иным критериям. В практике важное значение имеет автоматизация процесса оптимальной настройки параметров регулятора на стадии проектирования и во время эксплуатации промышленных АСР. Последнее обусловлено тем, что фиксированные параметры настройки не всегда обеспечивают заданные качественные показатели ведения технологического процесса вследствие изменений режимов работы машин и аппаратов, их характеристик и параметров, приводящих соответственно к изменению статических и динамических свойств АСР. Указанная задача решается автоматическими системами оптимизации и адаптации [1, 2].

В данной статье рассматривается один из способов построения автоматических систем оптимизации. Способ основан на использовании оптимизации метода нулевого порядка для реализации процесса настройки.

Такие системы могут быть применены для многовариантного анализа при разработке АСР, начальной настройки промышленных регуляторов при вводе их в действие, а также в контурах регулирования квазистационарных объектов для периодической подстройки регулятора. Его достоинство заключается в том, что принципиально возможно решение как линейных, так и нелинейных задач оптимизации АСР.

Особенностью используемого алгоритма является применение идеальной эталонной модели [3], что снимает задачу её структурного и параметрического синтеза, а значит существенно упрощает реализацию автоматических систем оптимизации и адаптации.

Математическая постановка задачи может быть представлена в следующем виде:

- объект управления с одним входом и выходом:

$$a_n \cdot y^{(n)}(t) + a_{n-1} \cdot y^{(n-1)}(t) + \dots + a_1 \cdot y = \\ = b_m \cdot u^{(m)}(t - \tau) + b_{m-1} \cdot u^{(m-1)}(t - \tau) + \dots$$

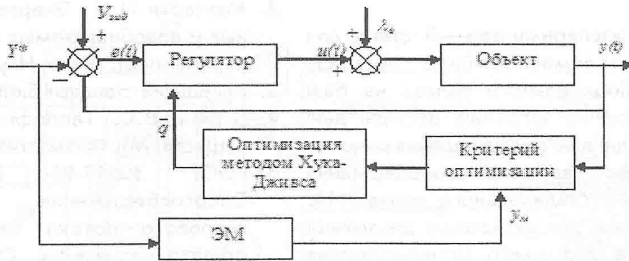


Рис.1. Структурная схема системы параметрической оптимизации с эталонной моделью

$$+b_1 \cdot u(t - \tau), \quad (1)$$

где $n > m$;

- уравнение регулятора:

$$u(t) = f(e(t), \bar{q}), \quad (2)$$

где $e(t) = y_{зад}(t) - y(t)$ - рассогласование регулируемой величины;

- общий вид критерия качества:

$$I = \int_{t_n}^{t_k} f(\bar{\alpha}, y_m(t), y(t), y'(t), u(t), t) \cdot dt \rightarrow \min_{\bar{q}}, \quad (3)$$

где y , y_m - соответственно выход объекта и эталонной модели;

\bar{q} - вектор параметров регулятора;

$\bar{\alpha}$ - вектор параметров критерия оптимальности.

Структурная схема системы параметрической оптимизации показана на рис.1.

С целью упрощения решения задачи предложено использовать идеальную ЭМ [3]. Недостатком использования идеальной эталонной модели с интегральным критерием качества является то, что она не ставит жёстких ограничений на длительность переходного процесса. Поэтому результат будет чаще всего неудовлетворительным по длительности переходного процесса, хотя динамическая ошибка будет меньше по сравнению с ошибкой, которую даёт оптимизация с обычной эталонной моделью. Для получения требуемых показателей качества можно использовать интегральный критерий качества с акцентуирующими функциями.

В данной статье будем рассматривать такие критерии качества:

$$I_1 = \int_{t_n}^{t_k} e^2 \cdot t^\alpha \cdot dt, \quad (4)$$

$$I_2 = \int_{t_n}^{t_k} |e| \cdot t^\alpha \cdot dt, \quad (5)$$

$$I_3 = \int_{t_n}^{t_k} |e| \cdot t^{\alpha \cdot t} \cdot dt. \quad (6)$$

Сравнительные исследования критериев (4-6) при различных значениях α проведём для объекта с передаточной функцией:

$$W(p) = \frac{6}{75p + 1} \cdot e^{-30p}, \quad (7)$$

и пропорционально-интегрального (ПИ) регулятора:

$$u(t) = K_p \cdot \left[1 + \frac{1}{T_u} \int_{t_n}^{t_k} e(t) \cdot dt \right]. \quad (8)$$

Ступенчатое воздействие будем подавать на вход объекта $\Delta\lambda_b = 1$. Полученные в результате оптимизации графики переходных процессов для критерия (4) представлены на рис.2.

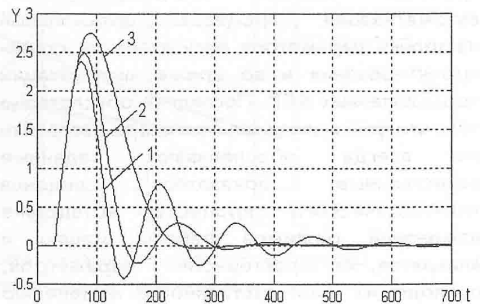


Рис.2. Переходные процессы при оптимизации по критерию (4):

1 - переходный процесс в случае оптимизации при $\alpha=0$;

2 - при $\alpha=5$;

3 - при $\alpha=10$.

Из графиков видно, что с помощью

параметра α можно в определённых пределах задавать вид переходного процесса, получаемого при найденных оптимальных параметрах. Наименьшая динамическая ошибка получена при $\alpha=0$, но при этом получаем наибольшую колебательность процесса. При $\alpha=10$ получаем наибольшую динамическую ошибку при наименьшем времени регулирования.

Проведём оптимизацию, используя критерий (5). Полученные в результате оптимизации графики переходных процессов представлены на рис.3. Главное отличие оптимизации с использованием критерия (5) - меньшая колебательность полученных переходных процессов при $\alpha>0$, а также по сравнению с критерием (4).

Графики, полученные в результате оптимизации с использованием критерия (6), представлены на рис.4. Из графиков видно, что при малых α получаемые переходные процессы практически совпадают с графиками, полученными при использовании критерия (5). Однако с увеличением α резко возрастает динамическая ошибка и время

регулирования.

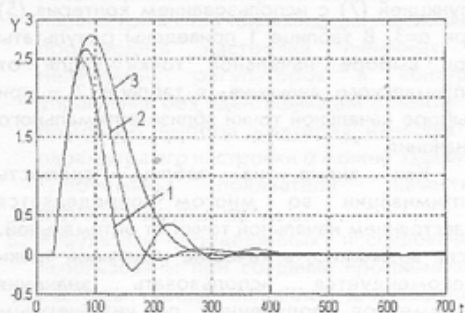


Рис.3. Переходные процессы при оптимизации по критерию (5):

1 - переходный процесс в случае оптимизации при $\alpha=0$; 2 - при $\alpha=3$; 3 - при $\alpha=10$.

Наилучшее качество переходного процесса получаем с использованием критериев (5) при величине параметра $\alpha=3$ и (6) при $\alpha=0,01$.

Теперь исследуем влияние величины начального шага алгоритма Хука-Дживса на скорость процесса оптимизации. Для этого проведем оптимизацию настройки ПИ-

Таблица 1

Результаты при выборе начальной точки вдали от оптимального значения

Начальная точка		Начальный шаг		Количество шагов	Оптимальное значение	
K_p	T_i	h_1	h_2		K_p	T_i
10	100	1	10	110	0,26	61
		2	20	109		
		3	30	66		
		4	40	76		
		5	50	69		
		6	60	83		
		7	70	102		

Таблица 2

Результаты при выборе начальной точки вблизи оптимального значения

Начальная точка		Начальный шаг		Количество шагов	Оптимальное значение	
K_p	T_i	h_1	h_2		K_p	T_i
0,1	50	0,01	10	36	0,26	61
		0,03	17	33		
		0,05	30	41		
		0,06	30	35		
		0,08	35	45		
		0,09	40	50		

регулятора для объекта с передаточной функцией (7) с использованием критерия (5) при $\alpha=3$. В таблице 1 приведены результаты при выборе начальной точки вдали от оптимального значения, в таблице 2 – при выборе начальной точки вблизи оптимального значения.

Как видно из таблиц, скорость оптимизации во многом определяется расстоянием начальной точки от оптимальной. Если возможно, в качестве начальной точки рекомендуется использовать значения параметров, полученных по инженерным методикам расчета регуляторов. При небольшом количестве оптимизируемых параметров наибольшая скорость оптимизации достигается при начальном значении шага в пределах 30...50% от значения параметра в начальной точке. При большем количестве оптимизируемых параметров для увеличения скорости оптимизации необходимо уменьшать начальный шаг. Это связано с тем, что с увеличением размера шага чаще возникает необходимость поиска направления. Количество шагов, выполняемых при поиске направления, возрастает с увеличением числа параметров.

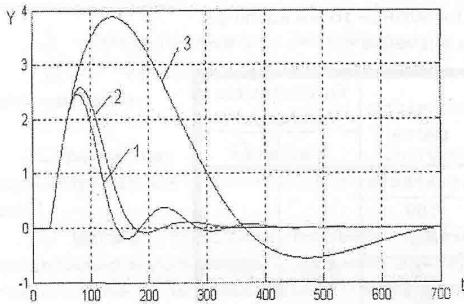


Рис.4. Переходные процессы при оптимизации по критерию (6):
 1- переходный процесс в случае оптимизации при $\alpha=0$;
 2 - при $\alpha=0,01$;
 3 - при $\alpha=0,2$.

При расчете переходного процесса важно правильно выбирать период дискретизации, чтобы, с одной стороны, уменьшить время расчета, а с другой – достаточную точность модели. На рис. 5 представлены переходные процессы, полученные в результате оптимизации при разных периодах дискретизации. При $T_d=5$ для достижения заданной точности потребовалось

44 шагов, при $T_d=15...46$ шагов, при $T_d=30...31$ шаг. Как видно из рис.5 качество полученных переходных процессов практически одинаковое, в то время как время их расчета отличается в 2...5 раз.

Рекомендуемым значением периода дискретизации является значение $0,4 \cdot T_{об}$.

Для определения достижения заданной точности в данной работе использовался критерий

$$\|\bar{h}\| < \varepsilon, \tag{9}$$

где \bar{h} - вектор шагов алгоритма Хука-Дживса;
 ε - параметр, с помощью которого задается точность оптимизации.

На рис. 6 показаны переходные процессы, полученные при разных значениях ε . Переходный процесс 1 получен при $\varepsilon=7$ за 9 шагов, 2 - при $\varepsilon=5$ за 26 шагов, 3 - при $\varepsilon=1$ за 44 шага.

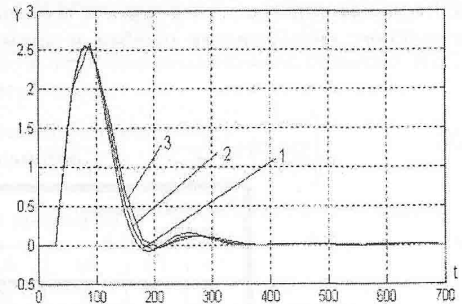


Рис.5. Переходные процессы при оптимизации при разных периодах дискретизации
 1 - переходный процесс при периоде дискретизации $T_d=5$;
 2 - при $T_d=15$;
 3 - при $T_d=30$.

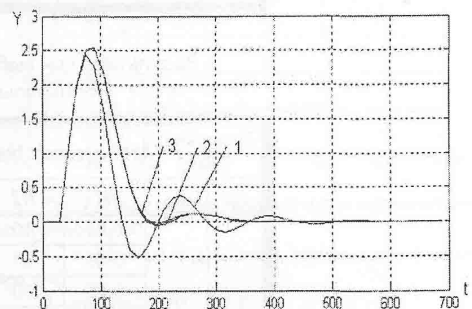


Рис.6. Переходные процессы при оптимизации при разных параметрах ε

При необходимости нахождения оптимальных параметров регулятора за малое количество шагов значение параметра ε необходимо устанавливать в пределах $7 \dots 10$, для более точного вычисления - в пределах $5 \dots 3$ (для объекта (7)).

Выводы

1. Для построения систем автоматической оптимизации рекомендуется использовать интегральный критерий от модуля ошибки при $\alpha=3$.
2. Наибольшая скорость оптимизации достигается при величине начального шага алгоритма Хука-Дживса в пределах $30 \dots 50\%$ от величины начального значения параметра. В качестве начальных значений параметров настроек рекомендуется использовать параметры, полученные при расчёте по инженерной методике.
3. При первичном включении системы автоматической оптимизации в качестве начальных значений параметра регулятора можно использовать величины K_p , T_i , рассчитанные по инженерной методике, выбором $\varepsilon = 7 \dots 10$ можно получить оптимальные настройки за малое количество шагов ($5 \dots 10$). При этом качество полученного переходного процесса остаётся удовлетворительным.

4. Рассмотренный алгоритм автоматической параметрической оптимизации позволяет производить настройки линейных и нелинейных регуляторов в контуре управления без идентификации объекта. С помощью выбора критерия качества и параметра его настройки α можно задавать требуемые показатели качества переходного процесса.
5. Результаты проведенных исследований использованы при создании программной системы, предназначенной для решения задач параметрического синтеза АСР для линейных объектов с запаздыванием, а также линейных и нелинейных регуляторов.

Литература

1. Петров Б.Н., Рутковский В.Ю., Крутова И.Н., Земляков С.Д. Принципы построения и проектирования самонастраивающихся систем управления. М., "Машиностроение", 1972, 328 с.
2. Ротач В.Я., Кузицин В.Ф., Клюев А.С. Автоматизация настройки систем управления. М., "Энергоиздат", 1984 271 с.
3. Широков Л.А. Параметрическая оптимизация с идеальной референтной моделью. "Автоматика", 1970, №5.