

АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАДАЧ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Применение систем оптимального управления (СОУ), минимизирующих энергозатраты в динамических режимах энергоемких объектов с экономией 10...15 %, ограничивается следующими причинами:

- использование классических методов решения задач оптимального управления (ЗОУ) для синтеза управляющих воздействий требует значительных вычислительных затрат и мало применимо для синтеза управляющих воздействий в реальном времени на простых микропроцессорных устройствах;
- отсутствуют САПР для оперативной разработки энергосберегающих систем.

Таким образом, создание алгоритмического обеспечения для решения ЗОУ методом синтезирующих переменных [1, 2] и соответствующих информационных технологий оперативного проектирования СОУ динамическими объектами на их основе [3, 4] является актуальной проблемой.

Одной из частных задач является проверка СОУ на техническую устойчивость [2], т.е. способность системы достигать заданного результата при возможных отклонениях ее параметров. В определении устойчивости в качестве входа рассматривается массив исходных данных ЗОУ (параметры модели объекта, начальное и конечное значения фазовых координат, время управления, ограничения на управляющее воздействие и др.). Задача исследования технической устойчивости здесь тесно связана с областью достижимости [5, 6].

Анализ литературных данных и промышленных СОУ, минимизирующих энергозатраты, показывает, что в настоящее время эта задача находится на исследовательской стадии и основные трудности ее решения сопряжены с неопределенностью исходных данных ЗОУ, необходимостью в процессе проектирования многократного прямого и обратного моделирования оптимального управления (ОУ). Расширение функциональных возможностей программного обеспечения прямого и обратного моделирования в процессе анализа и синтеза ОУ, позволит значительно ускорить процесс проектирования СОУ, минимизирующих энергозатраты динамических объектов.

С целью оптимизации конечного проектного решения по созданию энергосберегающей системы управления необходимо:

- исследование траектории изменения решения ЗОУ в пространстве синтезирующих переменных при изменении параметров модели объекта в заданных границах (исследования на устойчивость);
- определение времени оптимального управления, обеспечивающего наилучший функционал при заданных параметрах объекта и условиях ЗОУ.

Для проведения такого исследования требуется разработка соответствующего алгоритмического и программного обеспечения прямого и обратного моделирования ЗОУ.

ЗОУ в состоянии функционирования h и соответствующую синтезирующую функцию для линейного объекта при закреплённых концах фазовой траектории, фиксированном временном интервале, ограничении на управление и минимизируемом функционале в виде затрат энергии запишем в виде

$$\dot{z} = A_h z(t) + B_h u(t), \quad t \in [t_o, t_{kh}], \quad (1)$$

$$z(t_o) = z_h^o, \quad z(t_{kh}) = z_h^k, \quad (2)$$

$$\forall t \in [t_o, t_{kh}]: u(t) \in [u_{nh}, u_{bh}], \quad (3)$$

$$I = \int_{t_o}^{t_{kh}} u^2(t) dt, \quad (4)$$

здесь $z - n$ – вектор фазовых координат; u – скалярное управление; A_h, B_h – матрицы параметров модели объекта; t_o, t_{kh} – начало и конец временного интервала; τ – «остаточное» время; z_h^o, z_h^k – начальное и конечное значения траектории изменения вектора z ; u_{nh}, u_{bh} – нижняя и верхняя границы управления; I – минимизируемый функционал.

Решение ЗОУ будем искать в соответствии с программной стратегией:

$$u_{np}^*(\cdot) = (u^*(t), \quad t \in [t_o, t_k]). \quad (5)$$

Если решение ЗОУ (1) – (4) существует, то вид параметров в начальный момент времени определяются значением массива исходных данных

$$R_h^o = (A_h, B_h, u_{nh}, u_{bh}, z_h^o, z_h^k, t_o, t_{kh}), \quad (6)$$

а в текущий момент времени $t \in (t_o, t_{kh})$

$$R_h = (A_h, B_h, u_{nh}, u_{bh}, z(t), z_h^k, t, t_{kh}). \quad (7)$$

Основными допущениями являются следующие:

- 1 Объект полностью управляем.
- 2 При отсутствии возмущающих воздействий и достаточно малом шаге дискретизации по времени значения фазовых траекторий при $u_{\text{пр}}^*(\cdot)$ и $u_{\text{пр}}^*(z, \tau)$ для одинаковых значений R_o практически совпадают (для систем первого класса $R_o = R_h^o$).
- 3 Массив исходных данных R может быть заменен вектором синтезирующих переменных L , значения которого в каждый момент времени однозначно определяют вид функции ОУ и ее параметры (как при программной, так и позиционной стратегиях) [1, 3].

Получены условия практической устойчивости замкнутых СОУ в терминах синтезирующих переменных для объекта, модель динамики которого представляется обыкновенным дифференциальным уравнением первого или второго порядков при изменениях переменной состояния функционирования h в зависимости от значений параметров модели $a \in [a_n, a_b]$ и $b \in [b_n, b_b]$.

Предлагаемый подход состоит в использовании пространства синтезирующих переменных, которые с достаточной полнотой и наглядностью отражают состояние замкнутой системы оптимального регулирования в текущий момент времени. В пространстве L вектора L можно выделить область L_c , в которой решение ЗОУ (1) – (4) при использовании программной стратегии существует.

Решение задачи исследования ОУ на устойчивость при возможных колебаниях параметров объекта в процессе эксплуатации производится с использованием разработанного программного обеспечения в соответствии со следующим алгоритмом:

- 1) идентификация параметров модели a и b на основе экспериментальных данных и определение интервалов их возможного изменения;
- 2) многократное, путем сканирования областей $a \in [a_n, a_b]$ и $b \in [b_n, b_b]$, решение задачи ОУ для заданного временного интервала $[t_0, t_k]$ и построение области L_c в пространстве синтезирующих переменных L ;
- 3) оценка области и анализ статистики существования решения ЗОУ;
- 4) выбор проектных значений параметров a и b , решение задачи обратного моделирования с фиксированными a и b , но с изменением t_k ;
- 5) определение проектного значения времени оптимального управления t_k^* и построение функции оптимального управления $u^*(t)$ на временном интервале управления $[t_0, t_k^*]$.

По результатам прямого и обратного моделирования делаются выводы относительно вероятности выхода СОУ за область существования решения ЗОУ и оценивается возможная удаленность от границ области L_c при функционировании объекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Ляпин Л.Н., Муромцев Ю.Л. Анализ и оперативный синтез оптимального управления в задаче двойного интегратора на множестве состояний функционирования // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. 1990. № 3. С. 57 – 64.
- 2 Орлов В.В. Анализ и синтез оптимального энергосберегающего регулирования процессами нагрева (на примере электрических печей). Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Тамбов, 2000. 17 с.
- 3 Муромцев Ю.Л., Орлова Л.П. Информационные технологии в проектировании энергосберегающих систем управления динамическими режимами: Учебное пособие. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2000. 84 с.
- 4 Муромцев Ю.Л., Орлов В.В., Фролов Д.А. Математические модели в информационных технологиях энергосберегающего управления динамическими объектами // Информационные технологии в проектировании и производстве. Москва, 1997. № 1. С. 1 – 7.
- 5 Атанс М., Фалб П. Оптимальное управление. М.: Машиностроение, 1968. 764 с.
- 6 Сю Д., Мейер А. Современная теория автоматического управления и ее применение. М.: Машиностроение, 1972. 544 с.