

УДК 517.928

## ДЕКОМПОЗИЦИЯ РАЗНОТЕМПОВОЙ ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ МАНИПУЛЯТОРА С УПРУГИМИ СОЧЛЕНЕНИЯМИ

© Александров Д.С., Воропаева Н.В.

*Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королева, г. Самара, Российская Федерация*

e-mail: den98sedysshi@mail.ru

Рассматривается задача управления для робота с упругими сочленениями [1; 2] в условиях слабой диссипации. Динамика манипулятора представляет собой сложную композицию быстрых и медленных движений. В качестве математической модели используется сингулярно возмущенная система дифференциальных уравнений, которая может быть приведена к виду

$$\begin{aligned}\dot{x} &= F(x)y + f(x), \\ \varepsilon \dot{y} &= G(x, \varepsilon)y + g(x) + Mu(t, x, \varepsilon).\end{aligned}$$

Численный анализ таких систем затруднен из-за наличия разнотемповых переменных и высокой размерности. Существует весьма ограниченный набор методов исследования, которые в основном сводятся к отысканию асимптотических разложений для решений начальных и краевых задач.

Характерной особенностью динамики систем твердых тел с малой диссипацией является наличие относительно медленно угасающих высокочастотных колебаний. С математической точки зрения это означает, что матрица линейной части быстрой подсистемы, линеаризованной в окрестности решения порождающей системы, при  $\varepsilon = 0$  имеет чисто мнимые корни характеристического уравнения, т. е. не выполняются условия классической теоремы А.Н. Тихонова в части асимптотической устойчивости присоединенной системы. Это делает невозможным применение традиционного для асимптотических методов подхода к построению упрощенных моделей.

В такой ситуации для решения задачи управления может быть применен метод асимптотической декомпозиции [3], в основе которого лежит геометрическая теория интегральных многообразий Боголюбова – Митропольского. Использование этого метода позволяет произвести декомпозицию системы, приводя ее к блочно-треугольному виду с независимой медленной подсистемой и быстрой подсистемой, описывающей гаснущие высокочастотные колебания.

Применяемый подход позволяет вдвое понизить порядок задачи управления, сводя ее к задаче управления медленной подсистемой, описывающей движение на интегральном многообразии.

В качестве примеров рассмотрены задачи управления однозвенным и двухзвенным манипуляторами с целью отслеживания звеньями манипулятора заданных траекторий.

### Библиографический список

1. Ficola A., Marino R., Nicosia S. A singular perturbation approach to the dynamic control of elastic robots // Proc. 21st Allerton Conf. on Comm., Control, Comput, University of Illinois, 1983. P. 335–342.
2. Spong M.W. Modeling and Control of elastic joint robots // Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control. 1987. Vol. 109. P. 310–319.
3. Воропаева Н.В., Соболев В.А. Геометрическая декомпозиция сингулярно возмущенных систем. М.: Физматлит, 2009. 256 с.