

**О.А. Перегудова, В.В. Авдонин, Г.А. Камаева**  
(Ульяновск, УлГУ). **Управление манипулятором с упругими сочленениями с неизвестными параметрами на основе принципа декомпозиции.**

Законы управления манипулятором с абсолютно жесткими звеньями и шарнирами могут быть построены, например, на основе принципа декомпозиции [1]. Этот принцип заключается в приведении управления всей системой к управлению отдельными ее подсистемами таким образом, что перекрестные динамические связи между подсистемами за конечное время перестают влиять на процесс движения. Эффективными являются законы управления механическими системами на основе релейных и кусочно-непрерывных функций [2], позволяющие учитывать различные неопределенные факторы в структуре управления и параметрах самой системы. Однако хорошо известно, что многие роботы-манипуляторы содержат упругие соединения звеньев, что может приводить к ухудшению точности управления такими системами по сравнению с манипуляторами с абсолютно твердыми шарнирами. В связи с этим возникает задача синтеза законов управления на основе принципа декомпозиции в более общей постановке — для манипуляторов с упругими шарнирами. Управление такими моделями представляет собой сложную проблему из-за нелинейности и многосвязности системы. Основная трудность состоит в высоком порядке такой системы. Дополнительные трудности возникают при наличии параметрической неопределенности в системе, действии внешних неконтролируемых сил, возникновении запаздывания в структуре обратной связи.

Движение рассматриваемой системы описывается уравнениями [3]

$$M(q)\ddot{q} + N(q, \dot{q}) + K(q - Q) = 0, \quad B\ddot{Q} + K(Q - q) = \tau, \quad (1)$$

где  $q \in \mathbf{R}^n$  — вектор обобщенных координат управляемых звеньев манипулятора,  $Q \in \mathbf{R}^n$  — вектор обобщенных координат управляющих приводов,  $M(q)$  — матрица инерции звеньев робота,  $N(q, \dot{q})$  — вектор центробежных, кориолисовых и гравитационных сил,  $K$  — матрица жесткости шарниров,  $B$  — матрица инерции приводов,  $\tau \in \mathbf{R}^n$  — вектор входных сигналов, поступающих на управляющие устройства.

В докладе приведен сравнительный анализ известных методов управления системой (1) и при условии, что матрица инерции звеньев известна неточно, решена задача о построении управления  $\tau \in \mathbf{R}^n$ ,  $|\tau| \leq \tau_0 = \text{const} > 0$ , обеспечивающего выход системы (1) за конечное время из некоторой начальной области в режим декомпозиции. Предложен нелинейный непрерывный закон управления, основанный на процедуре метода бэкстеппинга [4].

Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 гг.» (№ 14.740.12.0837), АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» (№ 2.1.1/11180) и РФФИ (№ 11-01-00541).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Пятницкий Е. С.* Синтез иерархических систем управления механическими и электромеханическими объектами на принципе декомпозиции. I. — Автомат. и телемех., 1989, № 2, с. 57–71.
2. *Ананьевский И. М.* Два подхода к управлению механической системой с неизвестными параметрами. — Известия РАН. Теория и системы управления, 2001, № 2, с. 39–47.
3. *Palli G., Melchiorri C., de Luca A.* On the feedback linearization of robots with variable joint stiffness. — In: IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2008, p. 1753–1759.
4. *Халил Х. К.* Нелинейные системы. М.–Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Институт компьютерных исследований, 2009, 832 с.