

**О. А. Перегудова, Г. А. Камаева** (Ульяновск, УлГУ). **К задаче управления многозвенным манипулятором с упругими сочленениями.**

В докладе исследуется задача о построении управления движением многозвенного манипулятора с учетом свойств упругости в соединительных элементах звеньев, описываемого уравнениями [1, 2]

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

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

Такие механические системы применяются с целью повышения эффективности работы робота в пространстве с множеством препятствий в медицине, строительстве, космической промышленности, различных производственных системах [1].

Для синтеза управления движением манипуляторов с упругими сочленениями (1) в настоящее время наиболее применимыми являются методы линеаризации обратной связью и управления по прямой связи [1, 2]. С этой целью система (1) представляется в виде

$$\mathbf{M}(\mathbf{q})\mathbf{q}^{(4)} + 2\dot{\mathbf{M}}(\mathbf{q})\mathbf{q}^{(3)} + \ddot{\mathbf{M}}(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}} + \ddot{\mathbf{N}}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) + \mathbf{K}(\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{B}^{-1}\mathbf{M}(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{B}^{-1}\mathbf{N}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})) = \mathbf{KB}^{-1}\boldsymbol{\tau},$$

и закон управления ищется в виде  $\boldsymbol{\tau} = \boldsymbol{\tau}(t, \mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}, \ddot{\mathbf{q}}, \mathbf{q}^{(3)})$ .

При этом мало исследованным является вопрос об учете запаздывания в управлении движением манипулятора. Известно, что причинами возникновения запаздывания в системах автоматизированного управления могут являться задержки передачи и обработки сигналов в сетях, а также задержки в работе самих исполнительных механизмов.

В работе, представленной данным докладом, предполагается, что в цепи обратной связи присутствует некоторое неизвестное запаздывание  $h(t) \leq h_0 = \text{const} > 0$ . Проведен сравнительный анализ известных методов управления системой (1) и предложен новый нелинейный непрерывный закон управления с насыщением, позволяющий, с одной стороны, уменьшить амплитуду колебаний, возникающего при наличии запаздывания в структуре обратной связи с релейным управлением [3], а, с другой стороны, обеспечить свойство робастности по отношению к вариациям параметров системы. С использованием вектор-функции Ляпунова получены ограничения на параметры системы, максимальную величину запаздывания  $h_0$ , при которых заданное движение манипулятора будет стабилизировано.

Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 гг.» (НК-433П, П/2578) и АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы» (2.1.1/11180).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Moberg S.* On modeling and control of flexible manipulators. Linkoping: Linkoping University, 2007, 148 p.
2. *Palli G., Melchiorri C., De Luca A.* On the feedback linearization of robots with variable joint stiffness. — IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2008, p. 1753–1759.
3. *Халил Х.К.* Нелинейные системы. М.–Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Институт компьютерных исследований, 2009, 832 с.