ОБОЗРЕНИЕ
ПРИКЛАДНОЙ И ПРОМЫШЛЕННОЙ
Том 25 МАТЕМАТИКИ Выпуск 3
2018

**С. И. Колесникова, П. А. Побегайло, С. А. Цветницкая** (Томск, НИ ТГУ, ИПМиКН; Москва, ИМАШ РАН). **Аналитический синтез системы управления выводом робота-манипулятора в целевое множество состояний.**

На основе теории управления на многообразиях в научных исследованиях последних лет (см., например, обзор в [1, 2]) получено много интересных результатов, ранее недоступных классической теории адаптивного управления. Ценность этого подхода заключается в том, постановка задачи управления и метод ее решения используют базовые принципы теории инвариантности и физической теории управления [3].

Доклад посвящен исследованию нового теоретического результата, полученного на основе аналитического конструирования агрегированных регуляторов [1] и практически воплощенного в алгоритме синтеза системы управления трехмерным объектом типа «манипуляционная система». Физическая модель робота-манипулятора есть рабочий орган одноковшового гидравлического экскаватора, а математическая модель есть векторное нелинейное дифференциальное уравнение второго порядка [4]:

$$m\ddot{b}(t) = q(b(t), \dot{b}(t)) + u,$$

где $b \in R^3$ — вектор состояния механизма с координатами $b(t) = (b_1(t), b_2(t), b_3(t))^T$, где $b_1 = \alpha(t)$, $b_2 = \beta(t)$, $b_3 = \gamma(t)$ — шарнирные (межзвенные) углы (рис.); $q = q(b, \dot{b}) \in R^3$ — так называемые обобщенные силы, действующие на объект управления; $m = \|m_{ij}\|_{3\times 3}$ — матрица кинетической энергии; $u \in R^3$, $u = u(b(t), \dot{b}(t))$ — вектор управления (шарнирных моментов, $u_i = M_i$, $i = 1, 2, 3$).

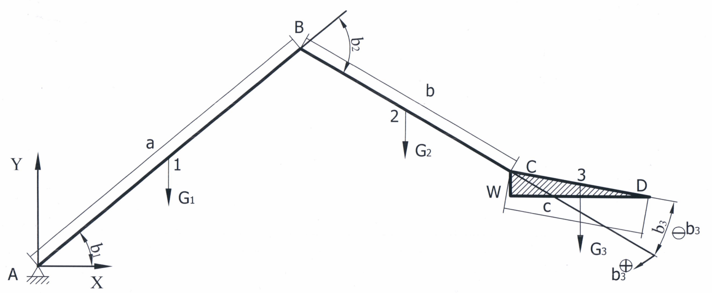


Рис. Кинематическая модель схемы рабочего оборудования одноковшового гидравлического экскаватора прямого копания с независимыми угловыми перемещениями стрелы, рукояти и ковша

**Теорема.** *Система управления в виде совокупности уравнений*:

$$\begin{aligned}
\dot{x}_1(t) &= x_2(t), \dot{x}_2(t) = aq(x_1(t), x_2(t)) + au, \quad a = m^{-1}, \\
\psi^*(x) &= x_1(t) - b^*(t), \quad \psi^{(1)} = x_2 - \varphi(x_1), \\
\varphi(x_1) &= \dot{b}^*(t) - \omega_2^{-1}(x_1 - b^*(t)), \quad \frac{d\varphi}{dx_1} = -\omega_2^{-1}, \\
u &= -(\omega_1 a)^{-1}\psi^{(1)}(t) + a^{-1}\frac{d\varphi}{dx_1}x_2(t) - q(x_1(t), x_2(t)), \\
x_1(t) &= b(t), \quad x_2(t) = \dot{b}(t), \quad \omega_i = \text{const} > 0, \qquad i = 1, 2
\end{aligned}$$

*гарантирует достижение цели управления в виде*: $\psi(b(t)) = b(t) - b^*(t) = 0$, $\psi \in R^3$ *за конечное время и глобальный минимум функционалу качества управления вида* $\Phi = \int_0^\infty \sum_{i=1}^3 [\psi_i^2 + T_i^2 \dot{\psi}_i^2]dt$, *где* $\psi = (\psi_1, \psi_2, \psi_3)^T$, $b^*(t)$ *— заданная динамика изменения шарнирных углов, а параметр* $T = T(\omega_1, \omega_2) \in R^3$ *регулирует длительность переходного процесса.*

Проведена векторная параметрическая оптимизация регулятора для упрощенной кинематической схемы рабочего оборудования одноковшового гидравлического экскаватора прямого копания с независимыми угловыми перемещениями стрелы, рукояти и ковша.

Результаты численного моделирования с оценкой качества переходных процессов подтверждают непротиворечивость полученной системы управления и положительные свойства по сравнению с разрывным управлением в скользящем режиме [4].

Результаты работы могут быть полезны для любых манипуляционных систем.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект 17-08-00920.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Колесников А. А.* Синергетика и проблемы теории управления: сборник научных трудов. М.: Физматлит, 2004, 504 с.
2. *Тюкин И. Ю.*, *Терехов В. А.* Адаптация в нелинейных динамических системах. СПб.: ЛКИ, 2008, 384 с.
3. *Красовский А. А.* Проблемы физической теории управления. — Автоматика и телемеханика, 1990, №1, с. 3–28.
4. *Матюхин В. И.* Стабилизация движений манипулятора вдоль заданной поверхности. — Автоматика и телемеханика, 2011, №4, с. 71–85.