

УДК 62-526

**СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫМИ РОБОТАМИ
ДЛЯ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**CONTROL SYSTEMS OF INDUSTRIAL ROBOTS
FOR A TEXTILE INDUSTRY**

В. В. РОМАНОВ, А.Б. БРУТ-БРУЛЯКО
V.V. ROMANOV, A.B. BRUT-BRULYAKO

(Костромской государственной технологической университет)
(Kostroma State Technological University)
E-mail: wwr52@rambler.ru

В статье рассматриваются системы управления промышленными роботами, предназначенными для текстильной промышленности. Перспективным направлением можно считать применение роботов с параллельной структурой и приводами с цифровым управлением.

In clause the questions of system engineering of management of industrial robots intended for a textile industry are considered. As a perspective direction it is possible to count application of robots with parallel structure and drives with digital management.

Ключевые слова: промышленные роботы, системы управления, драйверы.

Keywords: industrial robots, control systems, drivers.

В настоящее время в составе робототехнических комплексов (РТК) на предприятиях текстильной и легкой промышленности используются промышленные роботы устаревших моделей [1]. В прядильном производстве применяются роботы ЭМУ-Э1 для съема паковок; роботы ЭМУ-Э2 предназначены для манипулиро-

вания крупногабаритными объектами цилиндрической формы (тазами для пряжи); роботы ТУР-10, МУП-1 и МУП-2 входят в состав РТК для установки паковок и пакетирования наработанных бобин. Кинематические схемы роботов показаны на рис.1-а и б.

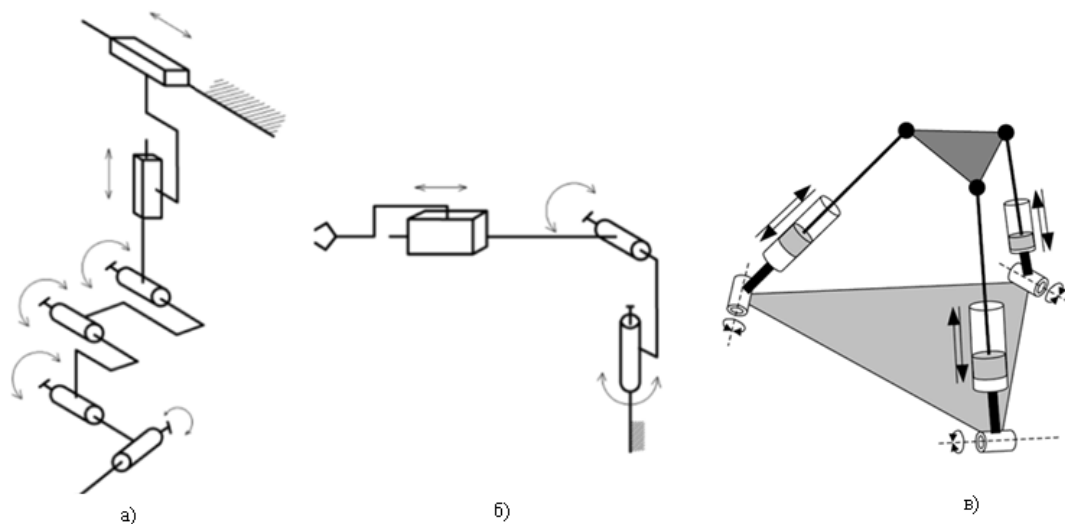


Рис. 1

Решение проблемы конкурентоспособности отечественной текстильной и легкой промышленности тесно связано с внедрением современных робототехнических систем для комплексной автоматизации производства [2]. Одной из основных мировых тенденций современной робототехники является использование пространственных манипуляционных механизмов параллельной структуры, именуемых "триподами" и "гексаподами" (рис. 1-в), отсутствующих до настоящего времени на предприятиях текстильной и легкой промышленности. В работе [2] предложены конструктивные решения, которые могли бы применяться в текстильной и легкой промышленности, без рассмотрения систем управления ими. Манипуляторы параллельной структуры имеют недостаток, обусловленный динамической взаимосвязанностью приводов, что существенно усложняет задачу управления.

В ряде случаев классические законы управления следящими электроприводами

не позволяют достичь требуемых динамических характеристик электромеханических систем – минимальной ошибки обработки заданной траектории движения при максимальном быстродействии и ограничениях на скорость движения и ускорение. С целью разработки и исследования перспективных алгоритмов управления движением исполнительных электроприводов следящих электромеханических систем на кафедре технологии машиностроения КГТУ разработан программно-аппаратный комплекс. В основе комплекса лежит программный сервоконтроллер с открытой архитектурой. Систему управления технологическим оборудованием можно реализовать по двум вариантам: с использованием обратной связи по положению или, что значительно проще, без такой связи. Для второго случая передаточная функция одного сочленения манипулятора, связывающая прикладываемое напряжение $V_a(s)$ с угловым перемещением сочленения $\theta_L(s)$, представлена уравнением (1) [4]:

$$\frac{\theta_L(s)}{V_a(s)} = \frac{nK_a}{s(sR_aJ_{\text{eff}} + R_aJ_{\text{eff}} + K_aK_b)}. \quad (1)$$

Здесь и далее $\theta_L^d(s)$ – заданное угловое перемещение, рад; $\theta_L(s)$ – действительное угловое перемещение, рад; V_a – напряжение якоря, В; R_a – сопротивление якоря, Ом; J_m – момент инерции двигателя, приведенный к валу двигателя, Н·м·с²/рад; f_m – коэффициент вязкого трения двигателя, приведенный к валу двигателя, Н·м·с/рад; K_v – коэффициент передачи обратной связи по производной от ошибки; K_p – коэффициент передачи обратной связи по положению, В/рад; T – момент, развиваемый двигателем, Н·м; Θ_m – угловое перемещение вала двигателя, рад; Θ_L – угловое перемещение вала нагрузки, рад; n – передаточное отношение, связывающее Θ_L и Θ_m ; K_a – коэффициент пропорциональности, имеющий размерность Н·м/А; K_b – коэффициент пропорциональности, имеющий размерность В·с/рад; $J_{\text{eff}} = J_m + n^2J_L$

– суммарный эффективный момент инерции двигателя и нагрузки, приведенной к валу двигателя; $f_{\text{eff}} = f_m + n^2f_L$ – суммарный коэффициент вязкого трения двигателя и нагрузки, приведенной к валу двигателя; $K = \frac{K_a}{R_a f_{\text{eff}} + K_a K_b}$ – передаточный коэффициент двигателя; $T_m = \frac{R_a J_{\text{eff}}}{R_a f_{\text{eff}} + K_a K_b}$ – постоянная времени двигателя.

При наличии обратной связи с учетом возмущающих воздействий от сил веса $\theta_L(s)$ и центробежных сил $D(s)$, характерных для промышленных роботов, определено действительное перемещение сочленения в виде уравнения (2) [5].

$$\theta_L(s) = \frac{K_a(K_p + sK_v)\theta_L^d(s) - nR_aD(s)}{s^2R_aJ_{\text{eff}} + s(R_a f_{\text{eff}} + K_aK_b + K_aK_v) + K_aK_p}. \quad (2)$$

Блок-схема системы управления с обратной связью при наличии возмущений представлена на рис. 2.

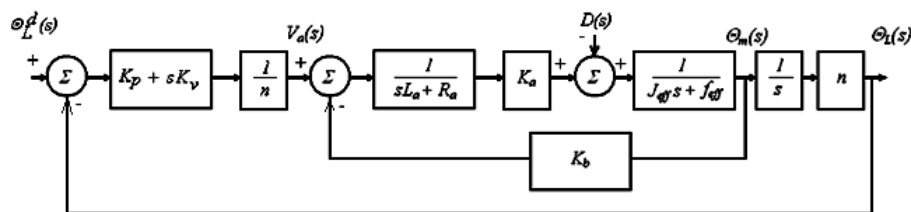


Рис. 2

По модели (2) выполнена система управления механизмом типа "трипод", приведенная в работе [3] и представленная на рис. 3. Ее особенности: применение специальной многофункциональной интерфейсной платы управления движением AT6450, включающей цифроаналоговые преобразователи (по числу сочленений), блок оцифровки показаний энкодеров (фотоимпульсных датчиков) и блок входных сигналов для анализа предельных состояний подвижных элементов. Стоимость такой платы составляет более 1000\$. Весьма дорогостоящими являются тиристорные приводы для каждого сочленения. Управление движением осуществляется аналоговыми сигналами, чувствительными к возмущающим воздействиям.

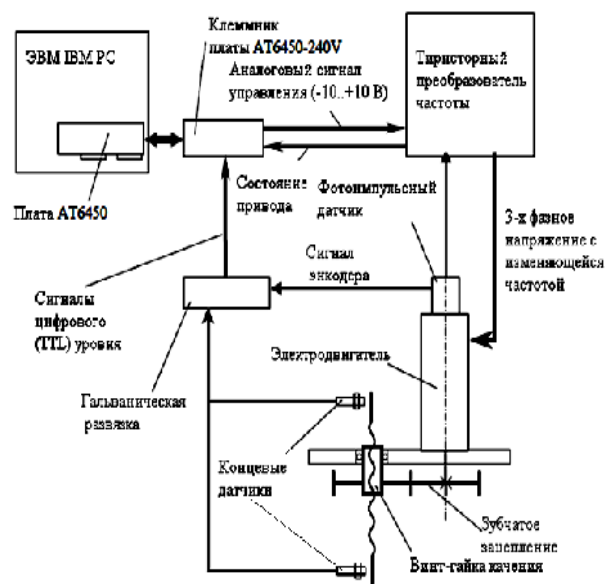


Рис. 3

В разработанном в КГТУ комплексе используются драйверы с цифровым управлением, работающие на принципах Step/Dir (рис.4) [5].

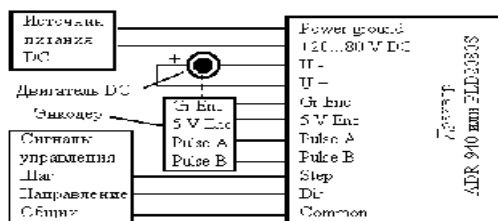


Рис. 4

Приводы данного типа отличаются дешевизной, надежностью, точностью, сравнительно высокая мощность, малые размеры, про-

стоата настройки и обслуживания, отсутствие специальных интерфейсных плат сопряжения. Управление осуществляется через стандартный Lpt-порт (порт принтера). Обратная связь осуществляется драйвером аппаратно. Программно-реализованный алгоритм управления представляет собой цифровое корректирующее устройство задающих сигналов для следящего электропривода [6]. Дискретная передаточная функция ЦКУ имеет вид:

$$D(z) = \alpha_1(1 - z^{-1}) + \alpha_2(1 - z^{-1})^2 + \alpha_3(1 - z^{-1})^3, \quad (3)$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – коэффициенты ЦКУ, определяемые по выражениям:

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha_1 = \frac{1}{K_H T}; \\ \alpha_2 = \frac{1 - A\alpha_1}{K_H T}; \\ \alpha_3 = \frac{1 - A[\alpha_1 + \alpha_2]}{BT} - \frac{2K_H(8ab^2 + M_1)\alpha_1}{2BTN_1T_0^2(1 - 2e^{-aT} \cos(bT) + e^{-2aT})}. \end{array} \right. \quad (4)$$

где T – период дискретизации в цифровом контуре положения; $K_H = K_M/K_C$ – коэффициент передачи непрерывной части системы; K_M – коэффициент передачи механизма; K_C – коэффициент обратной связи по скорости; $T_0 = \sqrt{T_{PC} \cdot T_1}$; T_{PC} – постоянная времени интегрирования ПИ-регулятора скорости; T_1 – постоянная времени входного фильтра контура скорости, оптимизирующего реакцию системы на входное воздействие; a, b – вещественная и мнимая части комплексно-сопряженных корней характеристического уравнения, получен-

ного при преобразовании передаточной функции объекта управления из непрерывной области в Z -область; A, B, M_1, N_1 – полиномы, полученные в результате преобразования передаточной функции системы по ошибке.

Результаты экспериментов на станках с ЧПУ модели MC12-250, а также на модернизированных промышленных роботах РМ-01, свидетельствующие об эффективности разработанного программно-аппаратного обеспечения, представлены в табл.1.

Таблица 1

Порядок ЦКУ	Максимальная скоростная ошибка		Максимальная координатная ошибка
	Разгон	Торможение	
—	42 мкм/с (100%)	-41 мкм/с (100%)	30 мкм (100%)
1	19 мкм/с (45,2%)	-21 мкм/с (51,2%)	9,8 мкм (32,6%)
2	16 мкм/с (38%)	-19 мкм/с (46,3%)	9,5 мкм (31,6%)
3	15 мкм/с (35,7%)	-16 мкм/с (39%)	9,3 мкм (31%)

Экспериментальная проверка позволяет рекомендовать разработанную систему

управления для использования в РТК текстильной промышленности.

ВЫВОДЫ

1. Экспериментально установлено, что разработанный программно-аппаратный комплекс может быть использован для управления следящими электроприводами манипуляторов с точностью позиционирования ± 10 мкм.

2. Основными конкурентными преимуществами комплекса являются полная открытость программного кода системы управления, простота технической реализации системы управления, незначительные капиталовложения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Климов В.А.* Робототехнические системы в текстильной и легкой промышленности. – М.: Легпромбытиздат, 1991.

2. *Хейло С.В.* Разработка научных основ создания манипуляционных механизмов параллельной структуры для робототехнических систем предприятий текстильной и легкой промышленности: Дис.... докт. техн. наук. – М., 2014.

3. *Шомло Я., Подураев Ю.В., Луканин В.С., Соколов А.Г.* Автоматическое планирование и управление контурными движениями манипуляционных роботов // Мехатроника. – 2001, №3. С.28...33.

4. *Шаньгин Е.С.* Управление роботами и робототехническими системами. – Уфа, 2005.

5. Режим доступа: <http://www.cnccntrollers.ru>

6. *Букреев В., Гусев Н., Коваленко М.* Программно-аппаратный комплекс для исследования алгоритмов интерполяции траекторий движения многокоординатных электроприводов // СТА. – 2007, №1. с. 46...53.

REFERENCES

1. *Klimov V.A.* Robototekhnicheskie sistemy v tekstil'noj i legkoj promyshlennosti. – M.: Legprombytizdat, 1991.

2. *Hejlo S.V.* Razrabotka nauchnyh osnov sozdaniya manipuljacionnyh mehanizmov parallel'noj struktury dlja robototekhnicheskikh sistem predpriyatij tekstil'noj i legkoj promyshlennosti: Dis.... dokt. tehn. nauk. M., 2014.

3. *Shomlo Ja., Poduraev Ju.V., Lukanin B.S., Sokolov A.G.* Avtomaticheskoe planirovanie i upravlenie konturnymi dvizhenijami manipuljacionnyh robotov // Mehatronika. – 2001, №3. S.28...33.

4. *Shan'gin E.S.* Upravlenie robotami i robototekhnicheskimi sistemami. – Ufa, 2005.

5. Rezhim dostupa: <http://www.cnccntrollers.ru>

6. *Bukreev V., Gusev N., Kovalenko M.* Programmno-apparatnyj kompleks dlja issledovaniya algoritmov interpoljicii traektorij dvizhenija mnogokoordinatnyh jelektroprivodov // STA. – 2007, №1. s. 46...53.

Рекомендована кафедрой технологии машиностроения. Поступила 30.09.15.