

## АКТИВНАЯ КАРДАННАЯ ПЕРЕДАЧА КАК ЭЛЕМЕНТ КИБЕРФИЗИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

О. Ю. ОСИПОВ, Ю. М. ОСИПОВ, Р. В. МЕЩЕРЯКОВ

*Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,  
643050, Томск, Россия  
E-mail: ems2009@mail.ru*

Предложена активная карданная передача для перспективных киберфизических систем. Проведен анализ сочленений в активной карданной передаче. Рассмотрена возможная структура соответствующего аппаратного обеспечения и кинематические схемы.

**Ключевые слова:** *робототехника, активный кардан, киберфизическая система*

В настоящее время, по сравнению с успехами в области управления манипуляторами и роботами, технические достижения по управлению их элементами — приводами и исполнительными звеньями — далеки от совершенства. В существующих манипуляторах и устройствах передвижения роботов сочленения автоматизированной руки (ноги) одноосные, с редукторным электроприводом. Чтобы осуществить движение руки в трехосной системе координат, необходимо до девяти одноосных сочленений. Недостатками существующих конструкций являются громоздкость, низкие скорости перемещений, отсутствие подобных движению руки кинематических движений, что обуславливает необходимость применения сложных алгоритмов управления.

В настоящей статье рассматриваются манипуляторы, в том числе роботы-андроиды, с сочленениями автоматизированной руки на основе нового функционального элемента — „активной“ карданной передачи (АКП), обеспечивающей интегральное трехосное движение каждого элемента руки (плеча, предплечья и кисти) [1]. В системе прямоугольных координат автоматизированная рука будет иметь максимально девять движений посредством всего трех сочленений с АКП, что обеспечивает ее оптимальную конструкцию, гибкость, маневренность и высокое быстродействие, приближая ее движения к естественным движениям человека за счет простых алгоритмов управления.

Анализ состояния исследований в данной области, в том числе по активной карданной передаче, показал новизну предлагаемых подходов к решению этой задачи по сравнению с работами, ведущимися в настоящее время в России и за рубежом [2—6].

Классическая карданная передача — конструкция, обеспечивающая соосность вращающихся элементов (валов) и передающая крутящий момент между ними; оси элементов пересекаются в центре карданной передачи и имеют возможность взаимного углового перемещения. Таким образом, классическая карданная передача является только передаточным элементом, не имеет двигательной функции, ее можно назвать „пассивной“ относительно возможности развивать моменты вращения по координатным осям.

Предлагаемая карданная передача является не только передаточным элементом кинематики, но имеет внутри конструкции по координатным осям встроенные электродвигатели на основе дуговых и поворотных электроприводных модулей движения (ЭМД), что позволяет осуществлять двигательные функции [1, 6]. Такой состав элементов устройства, в отличие от классического карданного механизма, позволяет получить механизм нового поколения — так называемую „активную“ карданную передачу. На ее основе предлагается создание специальных робототехнических средств (автоматизированной руки сборочного автомата, мусоро-

сборщика ядерных отходов и т.п., в том числе робота-андроида) для эксплуатации в условиях экстремальных воздействий окружающей среды. Конкурентные преимущества АКП: высокая надежность, бесшумность, высокая скорость отработки углов поворота; малые массогабаритные и точностные характеристики при сравнительно низких ценах.

Разработан схемоконструкторский технический проект АКП на основе дугового и поворотного ЭМД (рис. 1, а, б соответственно). ЭМД содержит дуговой или круговой элемент-ротор 1 из магнитомягкого материала с постоянными магнитами 2, оси намагниченности которых ориентированы перпендикулярно дуговым поверхностям ротора, а направления намагниченности чередуются, дуговой сегментный индуктор с трехфазной обмоткой 3 с шарикоподшипниковыми опорами 4 (или опорами скольжения) и инкрементальным датчиком 5. В настоящее время выполнены расчеты электромагнитной системы, разработаны конструкция и технология модулей и изготовлены нескольких типоразмеров дуговых и поворотных ЭМД.

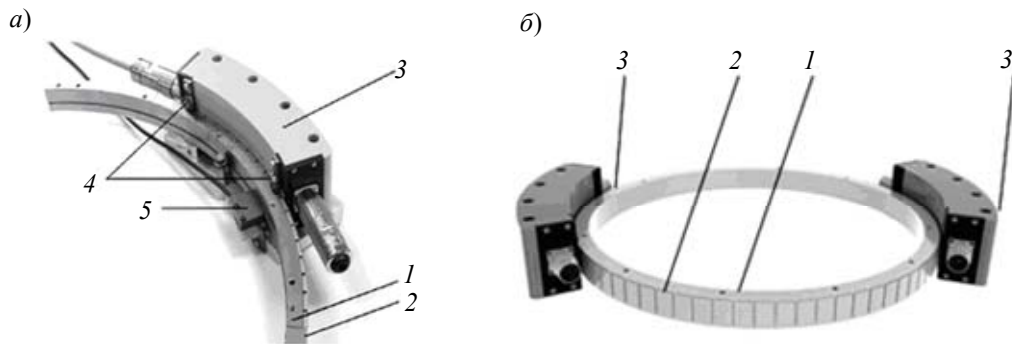


Рис. 1

На рис. 2 представлен общий вид АКП с дуговыми ЭМД 1, обеспечивающими повороты вокруг осей  $X$  и  $Y$ , и поворотным ЭМД 2, обеспечивающим повороты на небольшие углы вокруг оси  $Z$ . Поворотный ЭМД применен в схеме АКП, чтобы исключить несинхронность вращения валов 2 и 4, а также чтобы обеспечить оптимальную конструкцию, гибкость, маневренность и высокое быстродействие системы [7—9].

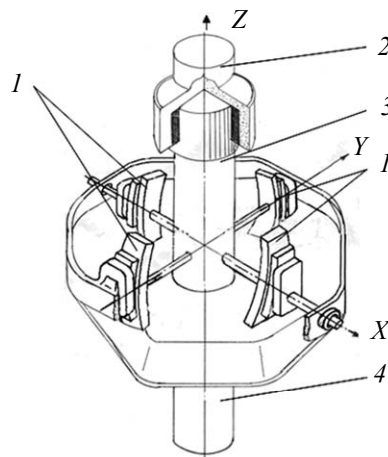


Рис. 2

На рис. 3 представлена структурная схема устройства интеллектуального управления АКП, выполняющего следующие функции: оперативное управление скоростью звеньев АКП; линейную и круговую интерполяцию; сплайновую интерполяцию при отработке криволинейной траектории произвольной сложности; определение координат звеньев и координацию их движения в пространстве робототехнического устройства; синхронизацию вращения валов 2 и 4 (см. рис. 2) по известным алгоритмам [7]. Для достижения высоких динамических

и точностных характеристик электропривода на базе ЭМД в системе управления реализовано электрическое дробление шагового интервала в сочетании с обратными связями.

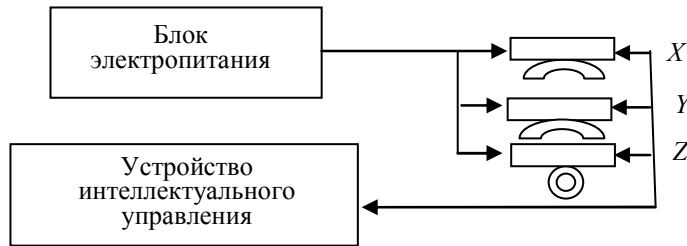


Рис. 3

Для создания антропоморфного робототехнического устройства типа автоматизированной руки (кинематическая схема приведена на рис. 4, где 1 — типовые сочленения, 2 — типовые конструктивы), например для сборочного автомата или робота-андроида, необходимо

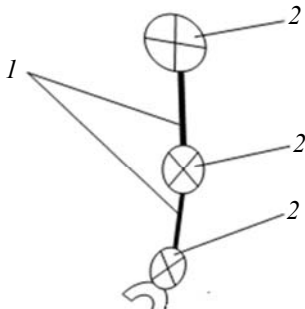


Рис. 4

соединение 2- $n$  конструктивно однотипных АКП, возможно разных типоразмеров и грузоподъемности, соответствующими конструктивами 1- $m$ , где  $m$  и  $n$  — номера соответствующих сочленений и конструктивов. Выбор типоразмера АКП целесообразно осуществлять исходя из необходимой силомоментной характеристики.

На рис. 5 представлена кинематическая схема робота-андроида, у которого в конструктивы 1- $m$  встроены сочленения 2- $n$  АКП. АКП сочленений имеют электрические связи между собой, блоком электропитания и устройством интеллектуального управления (см. рис. 3).

Прогнозируемые технические характеристики АКП:

- грузоподъемность — до 100 Н;
- возвратно-поворотные движения вокруг осей  $X$ ,  $Y$  с углами прокачки  $\alpha$ ,  $\beta$  —  $\pm 25^\circ$ ;
- возвратно-поворотные движения вокруг оси  $Z$  с углом прокачки  $\theta$  —  $\pm 90^\circ$ ;
- скорость прокачки — от „ползучей“ до  $90^\circ/\text{с}$ ;
- точность позиционирования —  $\pm 0,05$  мм на дуге радиусом 250 мм;
- повторяемость перемещения по всей рабочей зоне поворотного и дуговых ЭМД —  $\pm 0,05$  мм на дуге радиусом 250 мм.

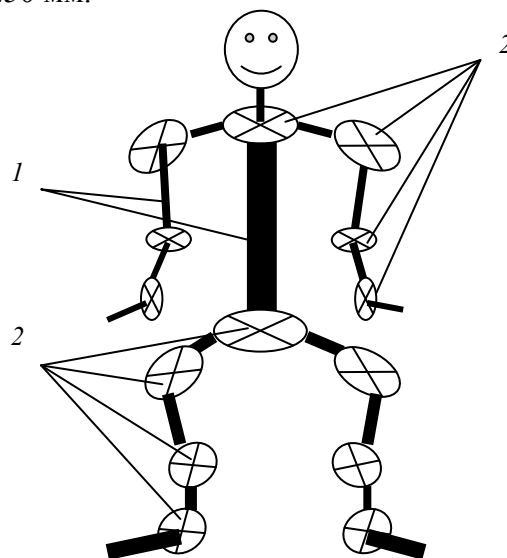


Рис. 5

На рис. 6 представлен общий вид опытного образца автоматизированной руки роботоманипулятора на основе предложенной активной карданной передачи.

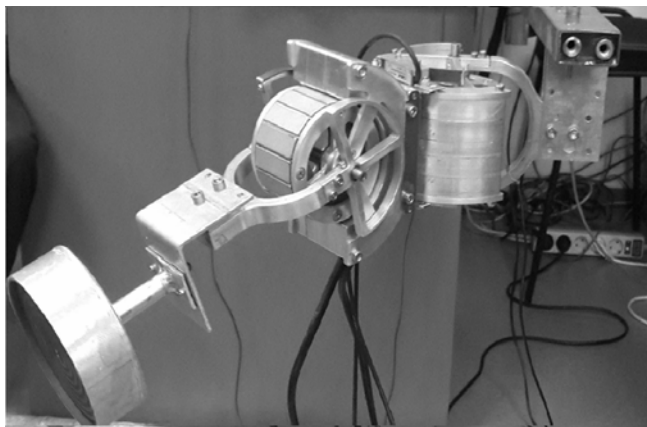


Рис. 6

Таким образом, можно говорить об авторском подходе к методологии синергетического объединения компонентов в нетрадиционные компоновки мультикоординатных электромехатронных систем движения, впервые разработан и применен новый метод исследования — „интеллектуальное схемоконструкторское проектирование“, который отличается от традиционных методов проектирования применением теории изобретательских задач.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Осипов О. Ю., Осипов Ю. М., Щербинин С. В.* Мультикоординатные электромехатронные системы движения. Томск: Изд-во ТУСУР, 2010. 320 с.
2. ЦНИИ робототехники и технической кибернетики [Электронный ресурс]: <<http://www.rtc.ru>>.
3. Роботы и робототехника рядом... [Электронный ресурс]: <<http://robot-world.ru>>.
4. Основные пункты программы Robotics Expo 2016 [Электронный ресурс]: <<http://www.robotics.ru>>.
5. Охрана труда — информационный портал [Электронный ресурс]: <<http://ohranatruda.ru>>.
6. *Осипов Ю. М.* Линейный и дуговой электромехатронные модули движения — функциональные элементы мехатронных систем // Мехатроника, автоматизация, управление: материалы Междунар. науч.-техн. конф. Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. С. 258—260.
7. *Гомилко С. И., Жулаева Д. В., Мещеряков Р. В., Ример Д. И., Шандаров Е. С., Якушин Д. О.* Команда роботов-футболистов лиги RoboCup Humanoid Kidsize // Робототехника и техническая кибернетика. 2015. № 3 (8). С. 11—15.
8. *Мещеряков Р. В.* Критерий структурной сложности информационных систем // Тр. СПИИРАН. 2010. № 3 (14). С. 76—90.
9. *Мещеряков Р. В.* Использование информационных критериев для оценки иерархических диалоговых систем // Науч.-техн. ведомости Санкт-Петербург. гос. политехн. ун-та. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2009. Т. 4, № 82. С. 113—122.

**Сведения об авторах****Олег Юрьевич Осипов**— канд. экон. наук; ТУСУР, лаборатория электромехатронных систем; E-mail: [ems2009@mail.ru](mailto:ems2009@mail.ru)**Юрий Мирзоевич Осипов**— д-р техн. наук, д-р экон. наук, профессор; ТУСУР, кафедра безопасности информационных систем; E-mail: [ems2009@mail.ru](mailto:ems2009@mail.ru)**Роман Валерьевич Мещеряков**— д-р техн. наук, профессор; ТУСУР, кафедра безопасности информационных систем; E-mail: [mrv@tusur.ru](mailto:mrv@tusur.ru)

Рекомендована СПИИРАН

Поступила в редакцию  
01.06.16 г.

**Ссылка для цитирования:** *Осипов О. Ю., Осипов Ю. М., Мещеряков Р. В.* Активная карданная передача как элемент киберфизической системы // Изв. вузов. Приборостроение. 2016. Т. 59, № 11. С. 934—938.

**ACTIVE DRIVELINE AS AN ELEMENT OF CYBER-PHYSICAL SYSTEM****O. Yu. Osipov, Yu. M. Osipov, R. V. Meshcheryakov***Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics,**643050, Tomsk, Russia**E-mail: [ems2009@mail.ru](mailto:ems2009@mail.ru)*

An active driveline for advanced cyber-physical systems is proposed. Analysis of the driveline joints is presented. Practicable structure of the corresponding hardware and kinematics are considered.

**Keywords:** robotics, active driveline systems, cyber-physical system

**Data on authors**

- Oleg Yu. Osipov** — PhD; Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Laboratory of Electro-Mechatronic Systems; E-mail: [ems2009@mail.ru](mailto:ems2009@mail.ru)
- Yury M. Osipov** — Dr. Sci., Professor; Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Department of Information Systems Security; E-mail: [ems2009@mail.ru](mailto:ems2009@mail.ru)
- Roman V. Meshcheryakov** — Dr. Sci., Professor; Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Department of Information Systems Security; E-mail: [mrv@tusur.ru](mailto:mrv@tusur.ru)

**For citation:** *Osipov O. Yu., Osipov Yu. M., Meshcheryakov R. V. Active driveline as an element of cyber-physical system// Izv. vuzov. Priborostroenie. 2016. Vol. 59, N 11. P. 934—938 (in Russian).*

DOI: 10.17586/0021-3454-2016-59-11-934-938