

## ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ КИНЕМАТИКИ НА ГИБРИДНОМ КОЛЬЦЕВОМ ПРИВОДЕ

проф. <sup>1</sup>Карпович С.Е., <sup>1</sup>Поляковский В.В., <sup>2</sup>Обиходов П.А.,  
<sup>1</sup>Димидко И.А., студ. <sup>1</sup>Евдаков А.А.

<sup>1</sup>УО «Белорусский государственный университет информатики  
и радиоэлектроники», Минск

<sup>2</sup>УО «Белорусский национальный технический университет», Минск

**Введение.** На сегодняшний день весьма актуальной является задача построения и исследования исполнительных механизмов параллельной кинематики для мехатронных систем координатных перемещений с возможностью их структурного реконфигурирования в зависимости от требуемой технологической направленности оборудования, в которое встраивается эта система. Среди кинематических характеристик при разработке системы перемещений, в первую очередь, необходимо учитывать способность реализации программируемых движений с заданным числом степеней свободы, поскольку влияние данного параметра на выбор структуры, конструкции и остальные характеристики является определяющим.

Решение этой задачи нами было выполнено на структурно-топологическом уровне [1, 2], что позволило разработать концепцию построения управляемого движения в трёхмерном пространстве на базе композиционного использования многокоординатного привода прямого действия и реконфигурируемых механизмов параллельной кинематики. В соответствии с этой концепцией в настоящей работе исследованы две системы перемещений, полученные нами путём реконфигурирования механизма параллельной кинематики на гибридном кольцевом приводе прямого действия. Исходя из предложенного реконфигурирования исходная система перемещений состоит из механизма параллельной кинематики на основе пространственной группы Ассур [3, 4] нулевой подвижности, которая своими подвижными шатунами соединяется сферическими шарнирами с подвижными ведущими элементами привода, не изменяя его суммарную степень свободы.

**Механизмы параллельной кинематики на кольцевом приводе.** На рис. 1 представлена разработанная нами система перемещений с шестью степенями свободы на кольцевом сегментном шаговом двигателе, которая состоит из шатунов 1, 2, 3, 4, 5, 6, с одной стороны связанных сферическими шарнирами 7, 8, 9, 10, 11, 12 с подвижной платформой 13, а с другой стороны связанных сферическими шарнирами 14, 15, 16, 17, 18, 19 с шестью управляемыми подвижными сегментными модулями кольцевого сегментного шагового двигателя, причем подвижные сегментные модули выполнены в виде шести автономно управляемых индукторов 20, 21, 22, 23, 24, 25 шагового двигателя, которые установлены на неподвижную направляющую основания статора 26, имеющего замкнутую кольцевую структуру. Кольцевой сегментный шаговый двигатель разработан в нашей научно-исследовательской группе НИГ 3.2 «Мехатроника и микросистемы».

Система перемещений работает следующим образом. При перемещении подвижных индукторов 20, 21, 22, 23, 24, 25 в соответствии с задаваемыми на входе системы законами их движения по неподвижной направляющей основания статора 26 кольцевого сегментного шагового двигателя, через сферические шарниры 14, 15, 16, 17, 18, 19, шатуны 1, 2, 3, 4, 5, 6 и, соответственно, сферические шарниры 7, 8, 9, 10, 11, 12 приводится в движение платформа 13. В зависимости от задаваемых угловых

положений индукторов 20, 21, 22, 23, 24, 25 платформа 13 принимает однозначно соответствующие им положение и ориентацию в пространстве.

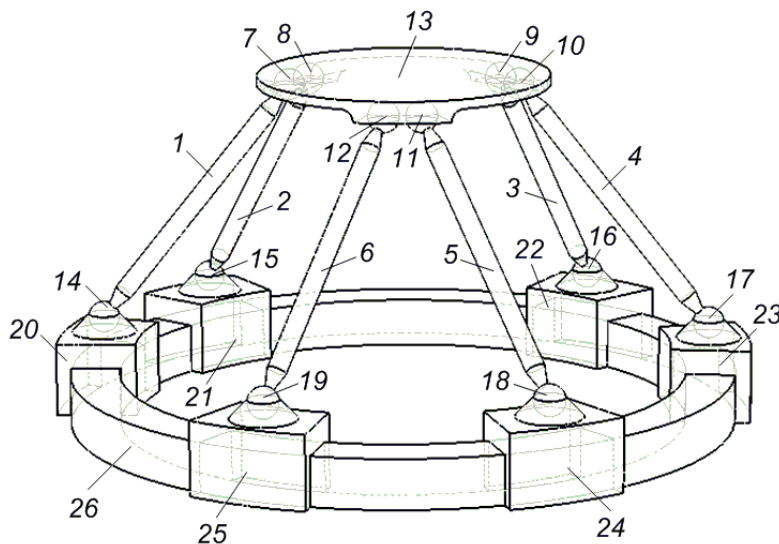


Рисунок 1. - Система перемещений с шестью степенями свободы

В результате реализуются прецизионные движения с шестью степенями свободы, обеспечивая в то же время высокие динамические характеристики перемещений объекта в пространстве. При этом обеспечивается способность реализации движений разворота вокруг вертикальной оси в диапазоне  $\pm 360$  градусов, что расширяет область применения для построения систем перемещений современного прецизионного, фрезерного, сверлильного оборудования, прецизионных промышленных роботов или платформ, например, для телескопов, лазеров, телекоммуникационных антенн.

На рис. 2 представлена реконфигурируемая система перемещений полученная из исходной (рис. 1) с тремя треугольными шатунами, позволяющая реализовать три степени свободы. Эта система запатентована с участием автора работы (патент № U 20170203; опублик. 30.04.2018). Она состоит из механизма параллельной кинематики в виде раскрывающегося тетраэдра и трёхкоординатного кольцевого сегментного двигателя. Механизм параллельной кинематики построен на группе Асура третьего класса, которая состоит из трёх шатунов в виде треугольных звеньев 8 – 9, 10 – 11, 12 – 13, связанных сферическими шарнирами 5, 6, 7 с управляемыми подвижными сегментными модулями 2, 3, 4, а соответствующими вращательными шарнирами с подвижной треугольной платформой. При перемещении сегментных модулей 2, 3, 4 по неподвижной кольцевой направляющей статора 1, их движение через сферические шарниры, шатуны, и вращательные шарниры механизма параллельной кинематики передаётся на исполнительное звено – треугольную платформу 23, которая принимает однозначное положение и ориентацию в трёхмерном пространстве. Система перемещений (рис. 2) позволяет реализовывать прецизионные движения по шести взаимосвязанным координатам в трёхмерном пространстве, включая три линейные и три угловые, обеспечивая при этом время высокие точностные и динамические характеристики перемещения объекта. При этом обеспечивается технический результат при довольно простой и дешевой в изготовлении конструкции самого исполнительного механизма. Способность реализации дополнительного переносного движения управляемого разворота вокруг вертикальной оси в диапазоне  $\pm 360^\circ$  расширяет область управляемого движения платформой.

Ниже представлена разработанная алгоритмизация математических моделей позиционирования выходного звена (рабочей платформы) в зависимости от положения трёх автономно управляемых сегментных модулей движения на кольцевой

направляющей гибридного трёхкоординатного привода [1, 3], который разработан в нашей научно-исследовательской группе.

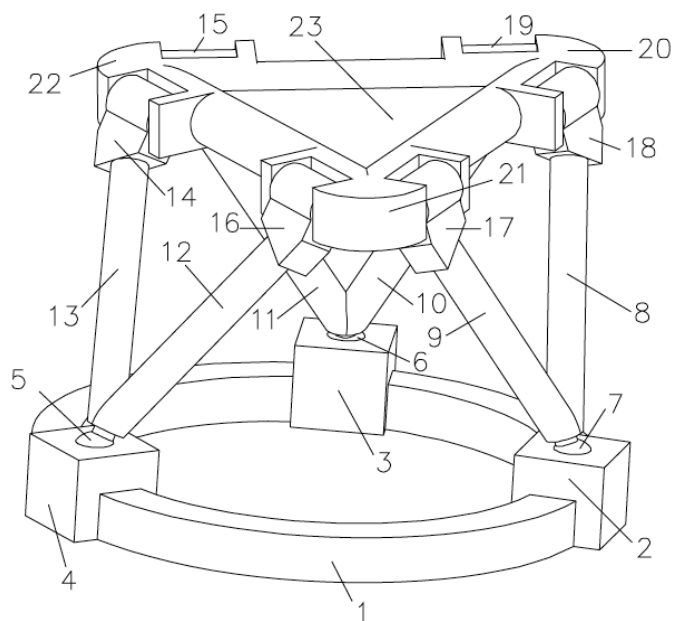


Рисунок 2.- Система перемещений с тремя степенями свободы

Принципиальная схема конструкции типового подвижного модуля поворотных координат систем перемещений изображённых на рис. 1 и 2, показана на рис. 3. Фрагментально модуль со статором образует локальный синхронных двигатель, который состоит из основания 1, на котором расположен статор, включающий магнитопровод 2 и постоянные магниты 3, расположенные с чередующей полярностью магнитных полюсов вдоль направления перемещения.

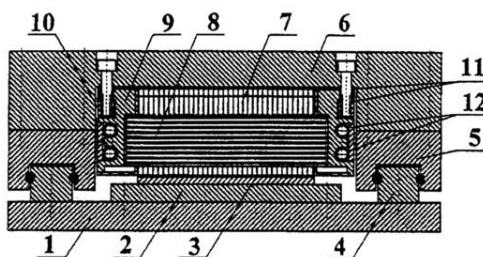


Рисунок 3. Конструкция подвижного модуля

На основании 1 закреплены две линейные направляющие 4 с подшипниками 5, на которых с помощью каретки 6 закреплен якорь двигателя. Якорь состоит из ряда П-образных магнитопроводов 7 с обмотками 8 управления, закрепленных с помощью теплопроводящего компаунда и выступов в металлическом немагнитном, например, из дюралюминия, корпусе 9. Корпус 9 с помощью несущей балки 10 крепится к каретке 6 и теплоизолирован от нее и балки 10 посредством прокладок 11. Для подведения потока охлаждающей жидкости корпус 9 снабжен каналами 12.

**Мехатронная система перемещений.** Структура интегрирования систем перемещений, представленных на рис. 1 и рис. 2 в мехатронную систему параллельной кинематики представлена на рис. 4 на примере системы перемещений с шестью степенями свободы.

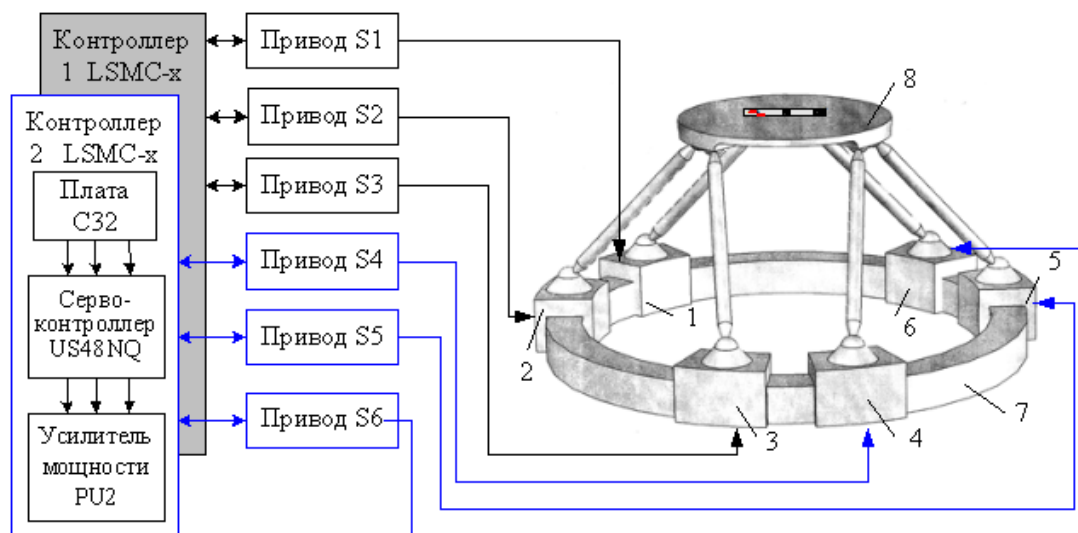


Рисунок 4. - Структура мехатронной системы перемещений

Она состоит из шестикоординатного исполнительного манипулятора с гибридной структурой, шести сегментных синхронных двигателей 1, 2, 3, 4, 5, 6 и шести параллельных кинематических цепей механизма параллельной кинематики, звенья которых через сферические шарниры передают управляемое движение на рабочую каретку 8.

Исполнительные двигатели входят в состав координатных приводов  $S_1, S_2, \dots, S_6$ , согласованная работа которых обеспечивается управляющей программой контроллера в соответствии со структурной схемой.

Использование технологии EtherCAT в системе управления мехатронной системой перемещений (рис. 4) позволяет обеспечить необходимое быстродействие канала передачи данных, в том числе и в сверхпрецизионном оборудовании, характеризующимся высокой разрядностью данных и большим количеством сегментов траектории. Тем самым достигается оптимальное разделение функций между компьютером и системой управления LSMC, позволяющее полностью использовать ресурс последней для решения в реальном времени задач генерации траектории, сплайн-интерполяции, обработки сигналов датчика, расчета положения и регулирования привода.

Рассмотренные системы перемещений предназначены для использования в качестве прецизионных координатных позиционеров для сборочного и оптико-механического оборудования производства изделия электронной техники. Они могут быть использованы в качестве исполнительных механизмов при юстировке оптических элементов в объективах проекционных систем.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Карпович, С.Е. Системы многокоординатных перемещений и исполнительные механизмы для прецизионного технологического оборудования / В.В. Жарский [и др.] ; под ред. д-ра техн. наук, проф. С.Е. Карповича. – Минск : Бестпринт, 2013. – 208 с.
2. Литвинов, Е.А. Построение многокоординатной системы перемещений на базе механизма параллельной кинематики / Е.А. Литвинов, В.В. Жарский, М.А. Ареби // Доклады БГУИР. – 2009. – № 8(46). – С. 79–84.
3. Карпович, С.Е. Системы многокоординатных перемещений на механизмах

*параллельной кинематики : монография / С.Е. Карпович [и др.]; под ред. проф. С.Е. Карповича. – Минск : Бестпринт, 2017. – 254 с.*

4. *Heimann, B. Mechatronika. Komponenty, metody, przyklady / B. Heimann, W. Gerth, K. Popp. – Warszawa : PWN, 2001. – 351 s.*