

# ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАТРОННОЙ СИСТЕМЫ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ КИНЕМАТИКИ НА ГИБРИДНОМ ПРИВОДЕ ПРЯМОГО ДЕЙСТВИЯ

*Кузнецов В.В.*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Карпович С.Е. – доктор техн.наук, профессор*

**Аннотация.** Предложенная в работе мехатронная система параллельной кинематики на гибридном приводе прямого действия рекомендуется для использования при создании прецизионных систем перемещений сборочного и оптико-механического оборудования микро- и нанoeлектроники с разрешением до нанометрового уровня.

**Ключевые слова:** мехатронная система параллельной кинематики, привод прямого действия, кинематика, динамика, имитационное моделирование

На основании метода синтеза схем исполнительных механизмов [1-3] параллельной кинематики для мехатронных систем перемещений была обоснована мехатронная система перемещений с шестью степенями свободы на гибридном шестикоординатном приводе прямого действия и исполнительном механизме параллельной кинематики в виде раскрывающегося тетраэдра. Предложенное решение защищено патентом на полезную модель.

Разработана математическая модель аналитического решения в явном виде функций положения всех звеньев в зависимости от входных параметров гибридного привода включая функции скоростей всех характерных точек и вычисления соответствующих линейных и угловых скоростей и ускорений.

Выбранный механизм параллельной кинематики с шестью степенями свободы (рисунок 1) состоит из трех параллельных кинематических цепей, содержащих три подвижных треугольных шатуна в виде двойных элементов 11–12, 13–14, 15–16, связанных с одной стороны вращательными

шарнирами между звеньями 17 и 23, 18 и 24, 19 и 24, 20 и 25, 21 и 25, 22 и 23 с подвижной треугольной платформой 26, а с другой стороны связанных сферическими шарнирами 27, 28, 29 с тремя автономно управляемыми линейными шаговыми двигателями 8, 9, 10, линейные направляющие которых 5, 6, 7 с одной стороны, шарнирно соединены между собой, а с другой стороны жёстко закреплены на соответствующих подвижных сегментных модулях 2, 3, 4 кольцевого шагового двигателя, неподвижная направляющая которых представляет основание замкнутого кольцевого статора 1. Он работает следующим образом. При секторных перемещениях трёх сегментных модулей 2, 3, 4 в соответствии с заданными на входе системой управления законами их движения по неподвижной кольцевой направляющей основания статора 1 кольцевого шагового двигателя и одновременно при линейных перемещениях, реализуемых тремя линейными шаговыми двигателями 8, 9, 10 в соответствии с заданными на входе с системой управления законами их движения по подвижным линейным направляющим 5, 6, 7 через сферические шарниры 27, 28, 29, шатуны 11–12, 13–14, 15–16 и соответствующие вращательные шарниры 17 и 23, 18 и 24, 19 и 24, 20 и 25, 21 и 25, 22 и 23 приводится в пространственное движение платформа 26.

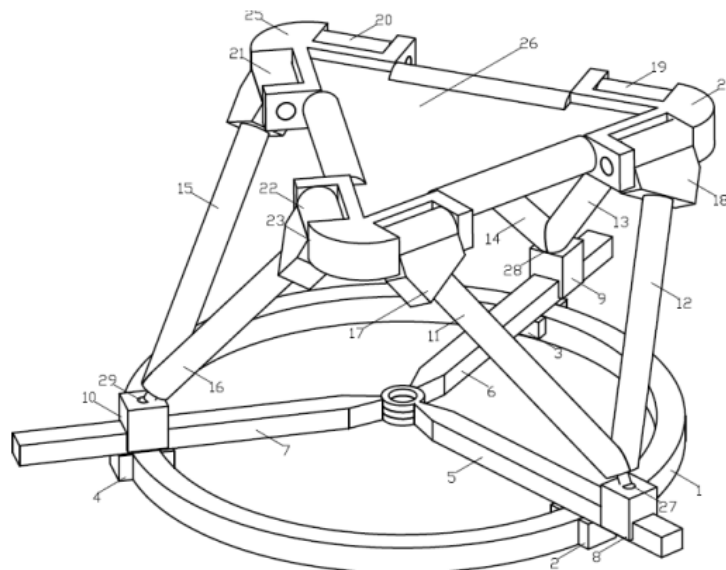


Рисунок 1 – Схема мехатронной системы на шестикоординатном гибридном приводе прямого действия

В зависимости от конкретно задаваемого секторного положения относительно статора 1 сегментных модулей 2, 3, 4 и конкретных положений линейных подвижных модулей 8, 9, 10 рабочая платформа 26 принимает однозначное и соответствующие им положение и ориентацию в трёхмерном пространстве. Тем самым предложенным механизмом параллельной кинематики обеспечивается реализация в мехатронной системе перемещения платформы с шестью степенями свободы в трёхмерном пространстве.

Предложенный гибридный привод, схемное решение которого представлено на рисунке 1.3, состоит из кольцевого привода прямого действия с тремя степенями свободы и трёх линейных шаговых двигателей, закреплённых на трёх сегментных подвижных модулях.

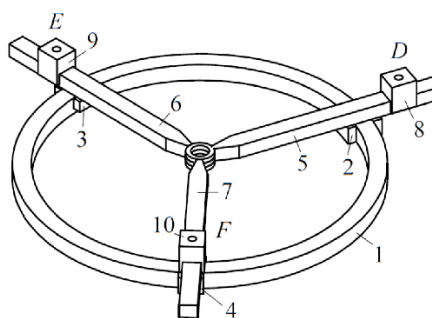


Рисунок 2 – Гибридный привод на кольцевом и линейных шаговых двигателях

Таким образом с помощью предложенного механизма параллельной кинематики могут быть реализованы прецизионные движения с шестью степенями свободы по шести независимым

координатам в трёхмерном пространстве, включая три линейные и три угловые, обеспечивая в то же время высокие кинематические и динамические характеристики перемещений при высокой точности их реализации. При этом обеспечивается реализация дополнительного управляемого разворота вокруг вертикальной оси в диапазоне  $\pm 360$  градусов, что расширяет область управляемого движения с перспективой построения на его основе современного прецизионного, фрезерного, сверлильного оборудования, прецизионных промышленных роботов и платформ, например, для телескопов, лазеров, телекоммуникационных антенн.

Предложенные в работе математические модели, алгоритмы и программное обеспечение имитационного моделирования разработанной мехатронной системы перемещений на исполнительном механизме с шестью степенями свободы и гибридном приводе прямого действия могут быть рекомендованы к использованию при разработке проектов встраивания рассматриваемой системы в конкретное оборудование, которое заключается в численном формировании рабочей области, калибровки кинематических параметров и траекторных характеристик и формировании алгоритма управления в соответствие с технологической операцией в конкретное оборудование.

Дальнейшие исследования по данной работе предполагается проводить в направлении разработки алгоритмической основы построения системы управления на современной элементной базе с оптимизацией использования регуляторов, реализующих требуемое качество формирования траекторий в режиме реального времени.

#### Список литературы

1. Кузнецов, В.В. Формирование шаговых траекторий для реализации тригонометрической функции / В.В. Кузнецов, А.Ф. Марко // Теоретическая и прикладная механика [Электронный ресурс] : международный научно-технический сборник / Белорусский национальный технический университет ; редкол.: А. В. Чигарев (пред. редкол.). – Минск : БНТУ, 2020. – Вып. 35. – С. 146–149.
2. Карпович, С.Е. Алгоритмизация формирования шаговых траекторий для систем перемещений на шаговых двигателях / С.Е. Карпович, В.В. Кузнецов // Теоретическая и прикладная механика [Электронный ресурс] : международный научно-технический сборник / Белорусский национальный технический университет ; редкол.: А. В. Чигарев (пред. редкол.). – Минск : БНТУ, 2020. – Вып. 35. – С. 167–171.
3. Кузнецов, В.В. Алгоритмизация бесколлизийных перемещений трёх планарных позиционеров на одном статоре / В.В. Кузнецов, В.В. Поляковский // Актуальные вопросы машиноведения : сборник научн. трудов / Объед. инст. машиностр. Нац. академии наук Беларуси – Минск, 2019. – Вып. 6. – С. 64–67.
4. Кузнецов, В.В. Алгоритмизация математических моделей и имитационное исследование мехатронной системы перемещений с шестью степенями свободы / В.В. Кузнецов // Сборник научных работ студентов Республики Беларусь «НИРС 2018» / редкол. : И. А. Старовойтова (пред.) [и др.]. — Минск : Изд. центр БГУ, 2019. – С. 171–176.
5. Карпович, С.Е. Мехатронные системы параллельной кинематики для фотолитографического оборудования / С.Е. Карпович, В.В. Кузнецов, А.Ю. Войтов // Теоретическая и прикладная механика [Электронный ресурс] : международный научно-технический сборник / Белорусский национальный технический университет ; редкол.: А. В. Чигарев (пред. редкол.). – Минск : БНТУ, 2019. – Вып. 34. – С. 17–22.
6. Кузнецов, В.В. Алгоритмизация прямой задачи кинематики мехатронной системы на шестикоординатном гибридном приводе прямого действия / В.В. Кузнецов // Теоретическая и прикладная механика [Электронный ресурс] : международный научно-технический сборник / Белорусский национальный технический университет ; редкол.: А. В. Чигарев (пред. редкол.). – Минск : БНТУ, 2019. – Вып. 34. – С. 195–200.

UDC 004.424.2

## SIMULATION OF A MECHATRONIC SYSTEM PARALLEL KINEMATICS ON HYBRID DRIVE DIRECT ACTION

Kuznetsov V.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Karpovich S.E. – Ph.D., Full Professor

**Annotation.** The proposed mechatronic system of parallel kinematics on a hybrid direct-action drive is recommended for use in creating precision systems for displacement of assembly and optomechanical equipment for micro- and nano-electronics with a resolution up to the nanometer level.

**Keywords.** mechatronic parallel kinematics system, direct drive, kinematics, dynamics, simulation