

С.В. Киселев<sup>1</sup>, А.С. Фомин<sup>1, 2</sup><sup>1</sup>Сибирский государственный индустриальный университет<sup>2</sup>Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН

## РАЗРАБОТКА СКЛАДНОГО МЕХАНИЗМА С КРУГОВОЙ НАПРАВЛЯЮЩЕЙ\*

В настоящее время достаточно большая часть механизмов создается с параллельной структурой, где несколько кинематических цепей, имеющих независимые привода, устанавливаются между неподвижным и выходным звеньями. Такие механизмы имеют ряд преимуществ с точки зрения точности, жесткости, быстродействия, способности манипулирования большими нагрузками, а также маневренности [1, 2].

Функциональные свойства существующих механизмов параллельной структуры могут быть расширены путем усовершенствования их строения, а именно, обеспечения более компактного и элегантного дизайна кинематических цепей, входящих в их состав. Такое усовершенствование даст возможность более эффективной реализации технологических процессов с применением механизмов параллельной структуры, а также откроет новые направления их практического применения.

Одним из перспективных типов механизмов параллельной структуры с точки зрения функциональных возможностей и практического применения являются механизмы с круговой направляющей. Кроме преимуществ, присущих механизмам параллельной структуры, такие механизмы обеспечивают полный поворот выходного звена вокруг вертикальной оси [3]. Эта особенность их строения значительно расширяет возможности практической реализации во многих областях, в том числе, в цифровом производстве, разработке авто- и авиатренажеров, аддитивных технологиях, роботехнике, в иных приложениях [4 – 9]. В настоящее время известны конструкции механизмов с круговой направляющей, включающие различное число и тип кинематических цепей и приводов.

Целью настоящей работы является синтез механизма с круговой направляющей, который имеет возможность трансформации между плоским и пространственными состояниями, а также

имеет полный поворот выходного звена вокруг вертикальной оси.

Проведем структурный синтез механизма: для этого обратимся к определению структурных параметров синтезируемого механизма. Примем условие, что в конструкции механизма используются только одноподвижные вращательные ( $p_5$ ) и трехподвижные сферические ( $p_3$ ) шарниры, при этом двух- ( $p_4$ ), четырех- ( $p_2$ ) и пятиподвижные ( $p_1$ ) шарниры не применяются. Таким образом, соблюдается следующее условие:  $p_5 \neq 0$ ,  $p_4 = 0$ ,  $p_3 \neq 0$ ,  $p_2 = 0$ ,  $p_1 = 0$ . Также примем условие, что число степеней свободы выходного звена равно шести, т.е. необходимо установление шести ведущих звеньев ( $W = 6$ ). В соответствии с принятыми условиями структурная формула подвижности А.П. Малышева [10] запишется в следующем виде:

$$6n - 5p_5 - 3p_3 = 6, \quad (1)$$

где  $n$  – число подвижных звеньев механизма.

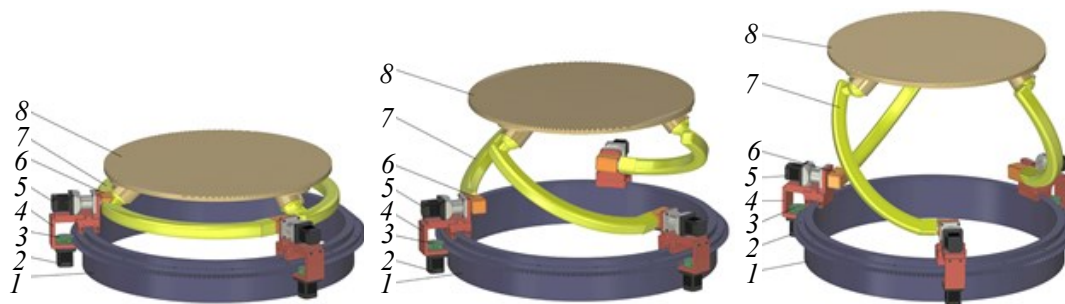
Выразим параметр  $n$  в следующем виде:

$$n = \frac{5p_5}{6} + \frac{p_3}{2} + 1. \quad (2)$$

Из формулы (2) следует, что минимальное значение параметра  $p_5$  (при наличии в цепи пар  $p_3$ ) равно трем. Параметр  $p_5$  может принимать значения из ряда 6, 9, 12, .... Рассмотрим случай, когда  $p_5 = 9$ . В этом случае параметр  $p_3$  может принимать значения из ряда 1, 3, 5, ..., соответствующие значениям параметра  $n$  из ряда 9, 10, 11, .... Таким образом, одним из решений, удовлетворяющим поставленным условиям, будет следующее:  $n = 10$ ,  $p_5 = 9$ ,  $p_3 = 3$ ,  $W = 6$ .

По этим параметрам был синтезирован новый механизм с круговой направляющей [11]. На рисунке данный механизм показан в трех положениях, когда выходное звено занимает нижнее, промежуточное и верхнее положения. Механизм состоит из стойки 1, выполненной в виде замкнутой круговой направляющей, сверху которой расположен рельс, а на боковой поверхности нарезаны зубья. На круговой направляющей

\*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации (регистрационный № МК-2781.2019.8).



Складной механизм с круговой направляющей в трех положениях

щей устанавливаются каретки 2, служащие в качестве ведущих звеньев, внутри которых смонтированы зубчатые колеса 3, сопряженные с боковой поверхностью круговой направляющей. Зубчатые колеса приводятся в движение приводами 4. Таким образом обеспечивается движение кареток относительно круговой направляющей. На каретках жестко смонтированы приводы 6, на валах которых установлены промежуточные звенья 5. Так, каретки образуют с промежуточными звеньями 5 вращательные шарниры. Обязательным условием является перпендикулярность осей валов приводов 4 и 6 в механизме. Промежуточные звенья 5 входят во вращательные шарниры со штангами 7, которые выполнены криволинейными и образуют с платформой 8 (выходным звеном) сферические шарниры. Такой дизайн механизма обеспечивает ему компактную конструкцию, в которой ни одно из звеньев не выходит за периметр круговой направляющей. Также в механизме обеспечивается возможность трансформации формы из пространственной структуры в плоскую, при этом вертикальный габарит механизма сокращается в несколько раз. Кроме этого, в механизме обеспечивается полный поворот вокруг вертикальной оси.

Представленный механизм может быть использован в качестве опорно-поворотного или ориентирующего устройства в технологических процессах по обработке различных элементов деталей машин, в медицинских приложениях при проведении процедур по посттравматической реабилитации, а также в системах имитации движения в качестве подвижной платформы.

**Выводы.** Представлена модель нового шести-подвижного механизма с круговой направляющей. Механизм имеет параллельную структуру: выходное звено соединяется со стойкой тремя кинематическими цепями. Проработан дизайн элементов конструкции механизма, определена его подвижность. За счет круговой направляющей в механизме обеспечивается полный поворот вокруг вертикальной оси, а за счет складной конструкции механизма обеспечивается уменьшение вертикального габарита в несколько раз.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Глазунов В.А., Чунихин А.Д. Развитие исследований механизмов параллельной структуры // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2014. № 3. С. 37 – 43.
2. Kong X., Gosselin C.M. Type synthesis of parallel mechanisms. – Springer, 2007.
3. Patent 6196081 US. Systems and methods employing a rotary track for machining and manufacturing / Yau C.L. (Hoxel Corporation, US). 2001.
4. Coulombe J., Bonev I.A. A New Rotary Hexapod for Micropositioning. – In: IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). – Karlsruhe, Germany, 2013. P. 877 – 880.
5. Shchokin B., Janabi-Sharifi F. Design and kinematic analysis of a rotary positioner // Robotica. 2007. Vol. 25. P. 75 – 85.
6. Фомин А.С., Глазунов В.А. Разработка одноподвижных механизмов параллельной структуры с круговой направляющей // Изв. вуз. Машиностроение. 2018. № 12 (705). С. 30 – 37.
7. Azulay H., Mahmoodin M., Zhao R., Mills J.K., Benhabib B. Comparative analysis of a new 3-PPRS parallel kinematic mechanism // Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. 2014. Vol. 30. P. 369 – 378.
8. Скворцов С.А. Кинематический анализ пространственного механизма параллельной структуры с круговой направляющей и четырьмя кинематическими цепями // Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2016. № 5 (230). С. 16 – 21.
9. Fomin A., Glazunov V., Terekhova A. Development of a novel rotary hexapod with single drive. – In: ROMANSY 22 – Robot Design, Dynamics and Control. CISM International Centre for Mechanical Sciences (Courses and Lectures) / V. Arakelian, P. Wenger eds. – Springer, Cham. 2018. Vol. 584. P. 141 – 146.
10. Малышев А.П. Анализ и синтез механизмов с точки зрения их структур // Известия Томского технологического института. 1923. Вып. 44. С. 78.
11. Заявка № 2019131491. Складной механизм с шестью степенями свободы / А.С. Фомин, С.В. Киселев; заявл. 04.10.2019.