

УДК 621.01, 007.52

Структурный анализ механизма параллельной структуры с шестью степенями свободы и основанием в виде усеченного конуса

С.В. Соколовский

Институт машиноведения им. А.А.Благонравова РАН

Structural analysis of a parallel structure mechanism with six degrees of freedom and the truncated cone base

S.V. Sokolovskii

Blagonravov Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences

Рассмотрен новый пространственный механизм параллельной структуры с основанием в виде усеченного конуса. Диаметр нижнего обода основания меньше, чем у верхнего. Между ободами расположены направляющие начальных кинематических пар. Описан структурный состав такого механизма. Определено число степеней его свободы по формуле Сомова — Малышева. Отличительной особенностью механизма является соединение соседних кинематических цепей с помощью сферической кинематической пары, выполненной в виде трех вращательных кинематических пар с пересекающимися в одной точке осями. Диаметр выходного звена меньше, чем у верхнего обода. В начальном положении промежуточные звенья вместе с выходным звеном уместаются внутри основания. Отсутствие выступающих частей обеспечивает защиту механизма от негативного воздействия внешней среды и сопротивления движению. В случае размещения механизма на границе сред может быть обеспечен доступ изнутри для обслуживания, замены инструмента и пр. Возможный вариант реализации — использование винтовых направляющих.

EDN: NICQHN, <https://elibrary/nicqhn>**Ключевые слова:** пространственный механизм, параллельная структура, усеченный конус, число степеней свободы

The paper considers a new parallel structure spatial mechanism with the truncated cone base. Its lower rim diameter is smaller than that of the upper one. The initial kinematic pairs' guides are positioned between the indicated rims. The paper describes the mechanism structural composition. It determines the mechanism number of degrees of freedom using the Somov-Malyshev formula. A distinctive feature is the adjacent kinematic chains connection using a spherical kinematic pair made in the form of three rotational kinematic pairs with the axes intersecting at one point. The diameter of the output link is smaller than that of the upper rim. In the initial position, the intermediate links and the output link fit inside the base. The missing protruding parts ensure mechanism protection from the negative impact of external environment and resistance to motion. In case of the mechanism positioning on the interface boundary, the access from the inside could be provided for maintenance, tool change, etc. Using the screw guides could be a possible implementation solution.

EDN: NICQHN, <https://elibrary/nicqhn>

Keywords: spatial mechanism, parallel structure, truncated cone, number of degrees of freedom

Для создания надежных многофункциональных механизмов и машин часто используют механизмы параллельной структуры (МПС). Они могут решить множество задач — от стабилизации платформ и позиционирования технологического инструмента до создания роботов для перемещения в стесненных условиях (тоннелях, трубопроводах, естественных кавернах и пр.). Разнообразие применения данного принципа обеспечивает широкий спектр вариантов конструкций отдельных узлов и целых агрегатов, реализуемых в разрабатываемых механизмах для достижения поставленных или перспективных задач [1–8].

Цель работы — создание МПС, обладающего такими конструкторскими и эксплуатационными свойствами, как компактность реализации, эксплуатационная гибкость и математическая алгоритмизуемость.

Метод исследования. Задачу структурного анализа решали с учетом следующих требований:

- схема — симметричная;
- компоновка — ферменная [9];
- основание — в форме перевернутого усеченного конуса;
- кинематические пары — цилиндрические и вращательные [10].

В состав разработанного МПС входят следующие элементы (см. рисунок): 1 — основа-

ние (1 шт.); 2 — направляющие (6 шт.); 3 — конечная сферическая кинематическая пара, выполненная в виде трех кинематических пар класса V (3 шт.); 4 — выходное звено (1 шт.); 5 и 6 — вторая и первая промежуточные вращательные кинематические пары класса V (по 6 шт.); 7 — начальные цилиндрические кинематические пары класса IV (6 шт.).

Конструкция МПС содержит 25 подвижных звеньев.

Основание образовано нижним и верхним ободами круглой формы. Диаметр нижнего обода меньше, чем у верхнего.

Между нижним и верхним ободами основания попарно симметрично размещены шесть направляющих. Плоскости симметрии направляющих расположены вертикально под углом 120° друг к другу и пересекаются по оси вращения конуса. В процессе работы МПС инициируется поступательное движение в цилиндрических парах. Затем через две промежуточные вращательные кинематические пары движение передается промежуточным звеньям и далее конечным сферическим кинематическим парам, сопряженным с выходным звеном.

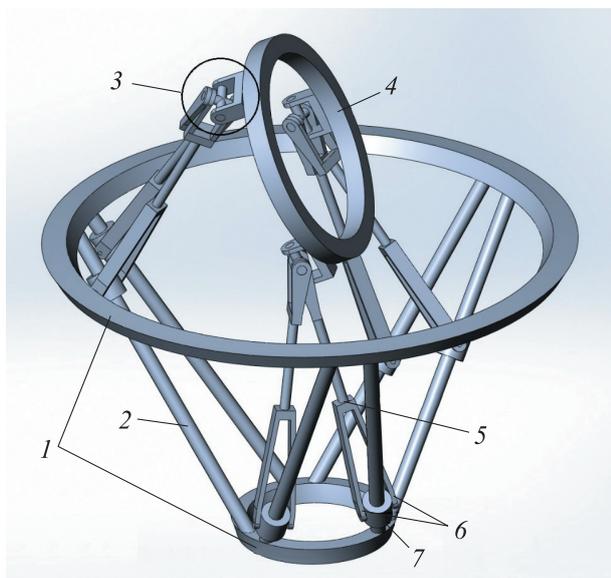
Конечные пары выполнены в виде трех вращательных пар с пересекающимися в одной точке осями. В первой из них промежуточные звенья механизма, идущие от соседних направляющих, соединены попарно. Точки присоединения конечной пары к выходному звену образуют в пространстве равносторонний треугольник.

Число степеней свободы рассматриваемого механизма определяли по формуле Сомова — Малышева

$$W = 6n - 5p_5 - 4p_4 = 6 \cdot 25 - 5(6 + 6 \cdot 3) - 4 \cdot 6 = 150 - 120 - 24 = 6.$$

Направляющими могут быть винтовые приводы, обеспечивающие высокую точность позиционирования и относительную легкость управления.

В качестве возможного применения такого МПС рассматривается его размещение на границе сред (в лабораторной стенке, борту транспортного средства, подводного или космического аппарата). Благодаря тому, что в начальном положении кинематические цепи и выходное звено могут убираться внутрь усеченного конуса



Внешний вид разработанного МПС

основания, такой механизм снаружи может закрываться герметичной крышкой, а со стороны основания — герметичным кожухом. При закрытой внешней крышке внутренний кожух можно удалить, чтобы обеспечить доступ к МПС для технического обслуживания и замены инструмента. При закрытом внутреннем кожухе и открытой крышке механизм выдвигается для работы во внешней среде.

В качестве варианта реализации направляющие можно совместить с винтовым приводом.

Вывод

Разработан синтезированный МПС с шестью степенями свободы и основанием в форме усеченного конуса, линейными приводами, передающими движение промежуточным звеньям, которые прикреплены к выходному звену попарно в трех точках конечной сферической кинематической парой, выполненной в виде трех вращательных кинематических пар с пересекающимися в одной точке осями.

Литература

- [1] Merlet J.P. *Parallel robots*. Springer, 2006. 402 p.
- [2] Taghirad H. *Parallel robots. Mechanics and control*. CRC Press, 2013. 534 p.
- [3] Siciliano D., Khatib O., eds. *Springer handbook of robotics*. Springer, 2016. 2228 p.
- [4] Masafumi O., ed. *Advances in mechanism and machine science. Proceedings of the 16th IFToMM World Congress. Vol. 1*. Springer, 2023. 1027 p.
- [5] Masafumi O., ed. *Advances in mechanism and machine science. Proceedings of the 16th IFToMM World Congress. Vol. 2*, Springer, 2023. 997 p.
- [6] Глазунов В.А. *Механизмы параллельной структуры и их применение*. Москва-Ижевск, ИКИ, 2018. 1036 с.
- [7] Глазунов В.А., ред. *Новые механизмы в современной робототехнике*. Москва, Техносфера, 2018. 315 с.
- [8] Глазунов В.А., Хейло С.В., ред. *Механизмы перспективных робототехнических систем*. Москва, Техносфера, 2020. 296 с.
- [9] Щелкунов Е.Б., Виноградов С.В., Щелкунова М.Е. и др. Систематизация механизмов параллельной структуры. *Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета*, 2016, т. 1, № 4, с. 67–72.
- [10] Артоболевский И.И. *Теория механизмов и машин*. Москва, Наука, 1988. 640 с.

References

- [1] Merlet J.P. *Parallel robots*. Springer, 2006. 402 p.
- [2] Taghirad H. *Parallel robots. Mechanics and control*. CRC Press, 2013. 534 p.
- [3] Siciliano D., Khatib O., eds. *Springer handbook of robotics*. Springer, 2016. 2228 p.
- [4] Masafumi O., ed. *Advances in mechanism and machine science. Proceedings of the 16th IFToMM World Congress. Vol. 1*. Springer, 2023. 1027 p.
- [5] Masafumi O., ed. *Advances in Mechanism and Machine Science Proceedings of the 16th IFToMM World Congress, Springer, vol. 2, 2023. 997 p.*
- [6] Glazunov V.A. *Mekhanizmy parallelnoy struktury i ikh primeneniye* [Mechanisms of parallel structure and their application]. Moscow-Izhevsk, IKI Publ., 2018. 1036 p. (In Russ.).
- [7] Glazunov V.A., ed. *Novye mekhanizmy v sovremennoy robototekhnike* [New mechanisms in modern robotics]. Moscow, Tekhnosfera Publ., 2018. 315 p. (In Russ.).
- [8] Glazunov V.A., Kheylo S.V., red. *Mekhanizmy perspektivnykh robototekhnicheskikh sistem* [Mechanisms of perspective robotic systems]. Moscow, Tekhnosfera Publ., 2020. 296 p. (In Russ.).
- [9] Shchelkunov E.B., Vinogradov S.V., Shchelkunova M.E. et al. The classification of parallel structure mechanisms. *Uchenye zapiski Komsomolskogo-na-Amure gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Scientific Notes of Komsomolsk-on-Amour State Technical University], 2016, vol. 1, no. 4, pp. 67–72. (In Russ.).
- [10] Artobolevskiy I.I. *Teoriya mekhanizmov i mashin* [Theory of mechanisms and machines]. Moscow, Nauka Publ., 1988. 640 p. (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 02.05.2024

Информация об авторе

СОКОЛОВСКИЙ Станислав Вячеславович — аспирант. Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН (101000, Москва, Российская Федерация, Малый Хари-тоньевский переулок, д. 4, e-mail: outp.frs@yandex.ru).

Information about the author

SOKOLOVSKII Stanislav Viacheslavovich — Postgraduate. Blagonravov Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences (101000, Moscow, Russian Federation, Maliy Kharitonyevskiy Lane, Bldg. 4, e-mail: outp.frs@yandex.ru).

Просьба сослаться на эту статью следующим образом:

Соколовский С.В. Структурный анализ механизма параллельной структуры с шестью степенями свободы и основанием в виде усеченного конуса. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2024, № 10, с. 30–33.

Please cite this article in English as:

Sokolovskii S.V. Structural analysis of a parallel structure mechanism with six degrees of freedom and the truncated cone base. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2024, no. 10, pp. 30–33.



**Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана
предлагает читателям монографию А. П. Карпенко
«Анализ и синтез популяционных алгоритмов
глобальной оптимизации». Том 1 и 2**

Монография посвящена методам анализа и синтеза популяционных алгоритмов глобальной оптимизации и издается в двух томах.

В первом томе систематизированы сущности популяционных алгоритмов и их характеристики, а также эволюционные операции, операторы и процедуры. Представлены методы параметрической оптимизации и параметрического синтеза популяционных алгоритмов. Рассмотрены типовые структуры этих алгоритмов, а также методы их структурного синтеза путем гибридизации.

Второй том является своеобразной базой данных для материала первого тома. В нем приведены схемы большого числа известных популяционных алгоритмов, а также их паттерны — лаконичные формализованные описания.

Монография ориентирована на специалистов, использующих в своей работе методы, алгоритмы и программы оптимизации. В то же время она может быть полезна аспирантам и студентам высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Информатика и вычислительная техника» и смежным направлениям.

По вопросам приобретения обращайтесь:
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.
Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;
press@bmstu.ru; <https://press.bmstu.ru>