

Машиностроение и машиноведение

УДК 621.86-182.7

Сферический механизм для сканирования объемных пространств^{*}

А.Б. Ласточкин, А.А. Романов, Р.А. Чернецов, Г.С. Филиппов

ФГБУН Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН

Spherical mechanism for scanning volumetric spaces

A.B. Lastochkin, A.A. Romanov, R.A. Chernetsov, G.S. Filippov

Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences

Сферические механизмы параллельной структуры получили широкое применение в различных отраслях. Их используют для ориентации объектов в пространстве или при обработке сферических поверхностей, в медицине для проектирования и в протезах как искусственный сустав, а также в реабилитационных устройствах. Предложен новый сферический механизм параллельной структуры с тремя степенями свободы, предназначенный для сканирования объемных пространств. Новый механизм обладает повышенными жесткостью, грузоподъемностью и точностью позиционирования. Компактность и простота конструкции делают его востребованным в условиях растущего спроса на высокоточные и гибкие робототехнические системы. Решены прямая и обратная задачи о положениях синтезированного механизма, рассмотрен частный случай с полярной системой координат. Исследована рабочая зона нового механизма с учетом ограничений, накладываемых звеньями.

EDN: IJQNRZ, <https://elibrary/ijqnrz>

Ключевые слова: сферический механизм, механизм параллельной структуры, прямая задача о положениях, обратная задача о положениях

Spherical mechanisms with a parallel structure have found widespread application in various industries. They are used to orient objects in space or to process spherical surfaces, in medicine for design and in prosthetics as an artificial joint, as well as in rehabilitation devices. A new spherical mechanism with a parallel structure and three degrees of freedom has been proposed; it is designed for scanning three-dimensional spaces. The new mechanism has increased rigidity, load-bearing capacity, and positioning accuracy. Its compactness and simple design make it in demand in the context of growing demand for high-precision and flexible robotic systems. The direct and inverse problems regarding the positions of the synthesized mechanism have been solved; a special case with a polar coordinate system has been considered. The working area of the new mechanism has been studied, taking into account the limitations imposed by the links.

^{*} Работа выполнена за счет средств государственного задания. Код (шифр) научной темы, присвоенный учредителем: FFGU-2024-0022.

EDN: IJQNRZ, <https://elibrary/ijqnrz>

Keywords: spherical mechanism, parallel mechanism, direct position problem, inverse position problem

Механизмы параллельной структуры (МПС) находят все большее применение там, где необходимы жесткость и компактность конструкции с возможностью расположения приводов на основании и унификации элементов структуры, что увеличивает точность позиционирования рабочего инструмента. Одним из активно развивающихся направлений МПС являются сферические механизмы, отличительной особенностью которых является пересечение осей всех кинематических пар в одной точке. Однако среди огромного разнообразия сферических МПС наибольшее распространение получили

механизмы с тремя и двумя степенями свободы.

В основном это симметричные сферические МПС с тремя степенями свободы, где кинематические цепи имеют одинаковую конструкцию (рис. 1) [1–11].

При конструировании МПС с двумя степенями свободы (рис. 2) убирают одну из трех приводных кинематических цепей [12, 13]. Также возможно добавление кинематических цепей без приводов для передачи нагрузки выходного звена (ВЗ) на основание [14].

Известны гибридные МПС с тремя степенями свободы (рис. 3), когда на ВЗ сферического

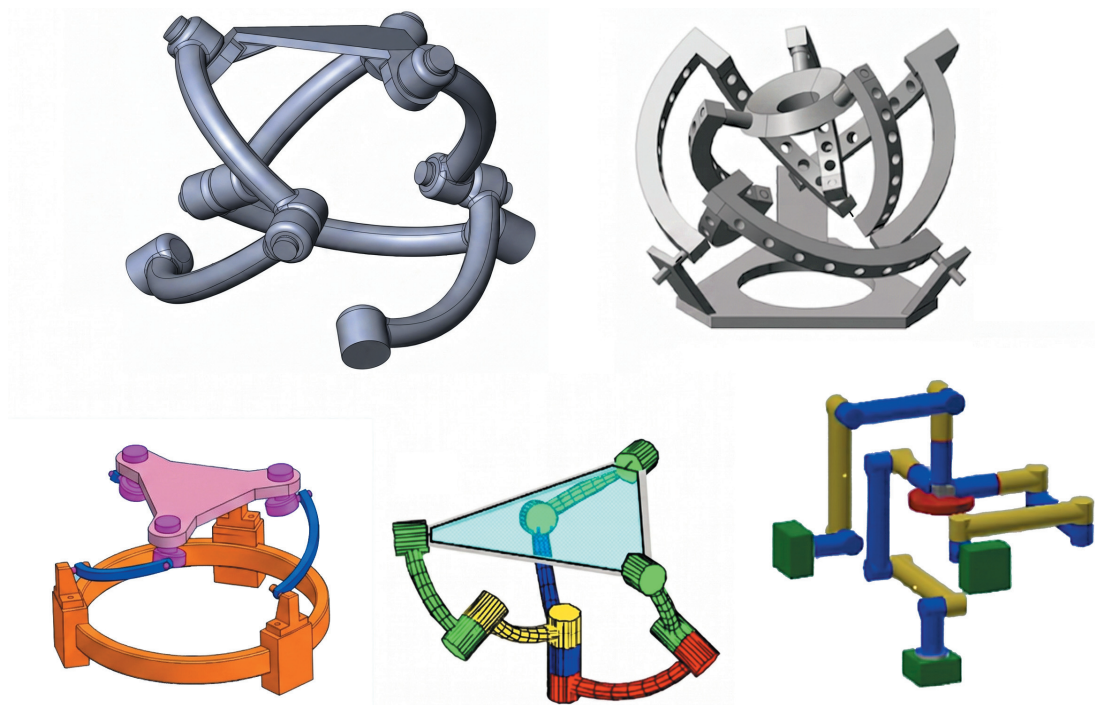


Рис. 1. Внешний вид сферических МПС с тремя степенями свободы

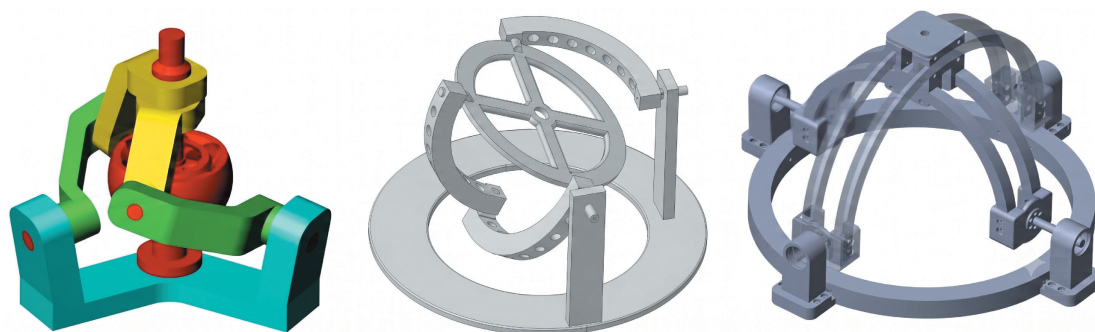


Рис. 2. Внешний вид сферических МПС с двумя степенями свободы

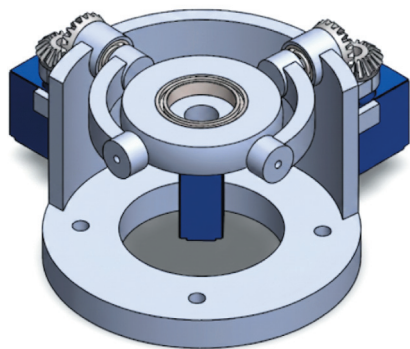


Рис. 3. Внешний вид гибридного сферического МПС с тремя степенями свободы

МПС с двумя степенями свободы последовательно монтируют привод, обеспечивающий третью степень свободы [15].

Однако симметричные схемы с тремя кинематическими цепями имеют недостаток, заключающийся в том, что перемещение в любом из приводов приводит к сложной траектории ВЗ.

Предлагаемый сферический МПС с тремя степенями свободы лишен этого недостатка, причем в отличие от гибридного МПС все приводы расположены на основании. Схема предлагаемого МПС приведена на рис. 4, где звенья пронумерованы арабскими цифрами, а кинематические пары — римскими.

Структура сферического МПС с тремя степенями свободы. Предлагаемый МПС (см. рис. 4) состоит из основания 1, ВЗ 8 и трех кинематических цепей, две из которых обеспечивают перемещение ВЗ в пространстве и имеют сходную структуру. На основании расположен вращательный привод. Приводное звено 2–5 соединяет промежуточную вращательную пару так, что ее ось расположена перпендикулярно оси приводной пары. Второе промежуточное звено 3–4 связывает промежуточную вращательную пару с вращательной парой на ВЗ, причем оси вращательных пар перпендикулярны. Оси всех трех вращательных пар пересекаются в одной точке, и кинематические пары, соединяющие ВЗ и цепи, обеспечивающие его перемещение, находятся на одной оси.

Третья цепь, обеспечивающая вращение ВЗ вокруг собственной оси, состоит из приводной вращательной пары на основании и звена 6, соединяющего его через карданный шарнир 7 с ВЗ так, что оси вращательной приводной пары и карданного шарнира совпадают. Оси всех

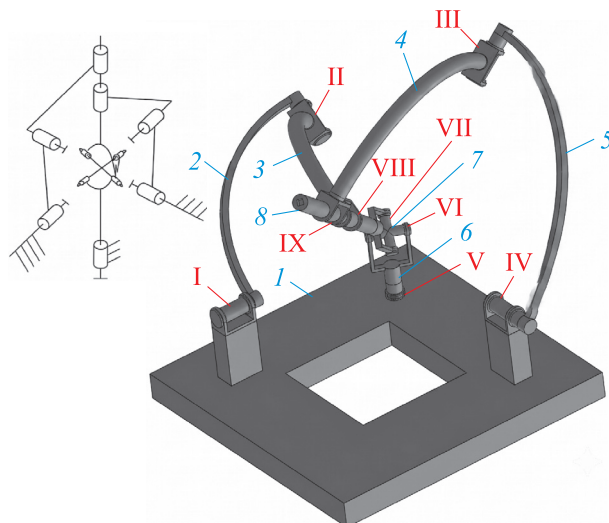


Рис. 4. Схема предлагаемого сферического МПС с тремя степенями свободы

вращательных кинематических пар пересекаются в центре карданного шарнира, центр которого и оси приводных пар звеньев, обеспечивающих перемещение ВЗ, находятся в одной плоскости.

Определим число степеней свободы МПС с помощью формулы Артоболевского для сферических механизмов [8]

$$W = 3n - p_4 - 2p_5,$$

где n — число звеньев; p_4 и p_5 — число кинематических пар четвертого и пятого класса.

Представляя карданный шарнир как звено и два вращательных шарнира, получаем механизм с девятью вращательными парами и восемью звеньями, включая основание. Число степеней свободы такого МПС

$$W = 3 \cdot 7 - 2 \cdot 9 = 3.$$

Задача о положениях. Для рассматриваемого МПС можно решить как прямую задачу о положениях, так и обратную.

Обратная задача о положениях. Заданы координаты положения ВЗ в системе координат основания $(x, y, z, \gamma_{ВЗ})$. Необходимо найти обобщенные координаты в приводах $(\alpha, \beta, \gamma_{пр})$. Поместим центр координат в центр карданного шарнира, причем ось OZ будет продолжением оси приводной пары, отвечающей за вращение ВЗ вокруг собственной оси, а оси OX и OY пройдут через оси приводных вращательных пар звеньев, обеспечивающих перемещение ВЗ. Таким образом, ВЗ будет

описывать сферу с центром в системе координат и радиусом, равным расстоянию от свободного конца ВЗ до центра системы координат.

Рассмотрим проекции ВЗ на плоскости XOZ и YOZ (рис. 5). Видно, что углы между проекциями на плоскость и осями OX и OY можно найти как арктангенс отношения координат x к z и y к z , и, соответственно, привод, отвечающий за вращение ВЗ, передает вращение напрямую:

$$\alpha = \arctg \frac{y}{z}; \quad \beta = \arctg \frac{x}{z}; \quad \gamma_{пр} = \gamma_{вых}.$$

Для двух частных случаев, когда углы α и β равны 0° , что соответствует пересечению сферой плоскостей XOZ и YOZ , углы определяются следующими выражениями:

- при $\beta = 0$

$$\alpha = \arccos \frac{y}{L}; \quad \gamma_{пр} = \gamma_{ВЗ};$$

- при $\alpha = 0$

$$\beta = \arccos \frac{x}{L}; \quad \gamma_{пр} = \gamma_{ВЗ},$$

где L — длина ВЗ.

В случае совпадения оси вращения ВЗ с осью OZ , углы вычисляются по следующим выражениям:

- при $z = L$

$$\alpha = 0; \quad \beta = 0; \quad \gamma_{пр} = \gamma_{ВЗ};$$

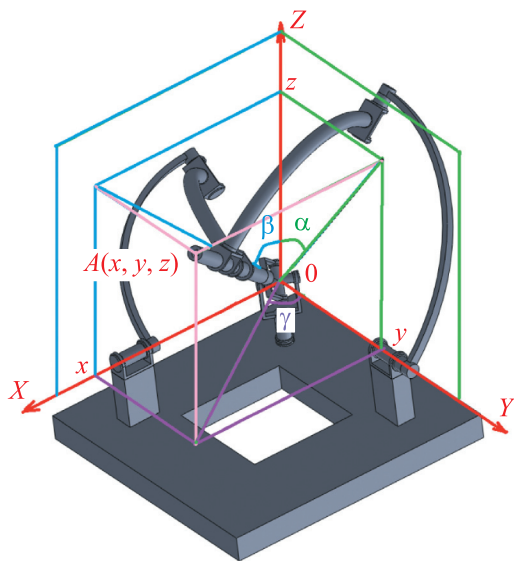


Рис. 5. Модель МПС с тремя степенями свободы в ортогональной системе координат

- при $z = -L$

$$\alpha = \pi; \quad \beta = \pi; \quad \gamma_{пр} = \gamma_{ВЗ}.$$

Если ВЗ находится в плоскости XOY , то будет иметь место особое положение МПС как для цепей, управляющих перемещением ВЗ, так и для цепи, отвечающей за вращение ВЗ. В этом случае углы определяются как

$$\alpha = \frac{\pi}{2}; \quad \beta = \frac{\pi}{2}; \quad \gamma_{пр} = \arccos \frac{y}{L}.$$

При расчете углов необходимо учесть симметричность функций косинуса и тангенса и провести отбор решений так, чтобы обеспечить единственное соотношение между обобщенными координатами и положением ВЗ.

Прямая задача о положениях. Даны обобщенные координаты в приводах $(\alpha, \beta, \gamma_{пр})$. Необходимо найти координаты положения ВЗ в системе координат основания $(x, y, z, \gamma_{ВЗ})$.

Для решения прямой задачи используем следующие соотношения:

$$\tg \alpha = \frac{y}{z}; \quad \tg \beta = \frac{x}{z}; \quad L^2 = x^2 + y^2 + z^2; \quad \gamma_{ВЗ} = \gamma_{пр}.$$

Отсюда имеем

$$z = \sqrt{\frac{L^2}{1 + \tg^2 \alpha + \tg^2 \beta}};$$

$$y = z \tg \alpha; \quad x = z \tg \beta; \quad \gamma_{ВЗ} = \gamma_{пр}.$$

Также следует учесть положения, при которых углы α и β равны 90° . В этом случае будет иметь место особое положение МПС как для цепей, управляющих перемещением ВЗ, так и для цепи, отвечающей за вращение ВЗ, и положение ВЗ будет задаваться приводом, вращающим ВЗ, а угол, на который повернуто ВЗ, будет невозможно изменить. Следует учитывать, что в силу ограничений работы карданного шарнира реальная возможность вращения ВЗ вокруг своей оси исчезнет при углах α и β больше $\pi/4$, что необходимо учесть при рассмотрении реального механизма:

$$z = 0; \quad x = L \sin \gamma_{пр}; \quad y = L \cos \gamma_{пр}.$$

Очевидно, что ортогональная система координат для рассматриваемого МПС не является оптимальной, так как одна из координат — избыточная. Поэтому перейдем к подобию полярной системы координат, когда положение ВЗ задано не координатами x, y, z , а двумя углами — полярным φ и азимутальным θ (рис. 6).

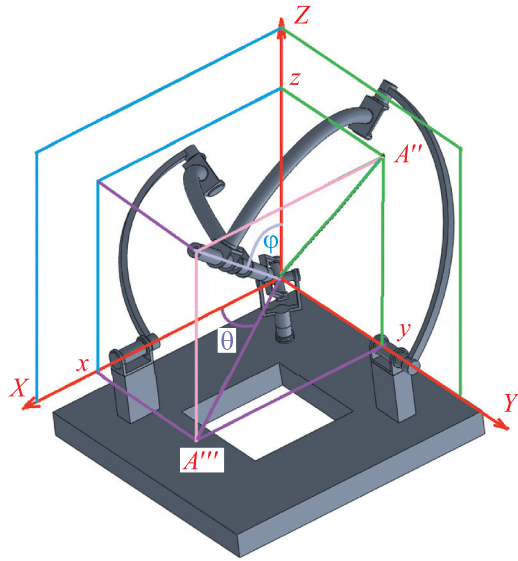


Рис. 6. Модель МПС с тремя степенями свободы в полярной системе координат

Чтобы перейти от ортогональной системы координат к полярной, воспользуемся следующими соотношениями:

• для обратной задачи

$$x = L \sin \varphi \cos \theta; \quad y = L \sin \varphi \sin \theta; \quad z = L \cos \varphi$$

или

$$\alpha = \arctg(\tg \varphi \sin \theta); \quad \beta = \arctg(\tg \varphi \cos \theta);$$

• для прямой задачи

$$\varphi = \arccos \frac{z}{L}; \quad \theta = \arccos \frac{x}{\sqrt{(L^2 - z^2)}}$$

или

$$\varphi = \arccos \sqrt{\frac{1}{1 + \tg^2 \alpha + \tg^2 \beta}};$$

$$\theta = \arccos \frac{\tg \beta}{\sqrt{\tg^2 \alpha + \tg^2 \beta}}.$$

Нахождение рабочей области. Рабочая область рассматриваемого МПС (см. рис. 4) представляет собой сферу с радиусом, равным длине ВЗ. Чтобы найти реальную рабочую область, необходимо определить критерии, которые ее ограничивают. В данном случае единственным ограничивающим фактором является основание. Отсюда вытекают следующие критерии.

Пересечение ВЗ с основанием. Обозначим расстояние от центра карданного шарнира до основания через H . Тогда критерий имеет вид

$$z \geq H.$$

Пересечение приводного звена цепи, обеспечивающей перемещение ВЗ с основанием. Обозначим радиусы приводных звеньев как a и b . Следует учитывать, что для исключения пере-

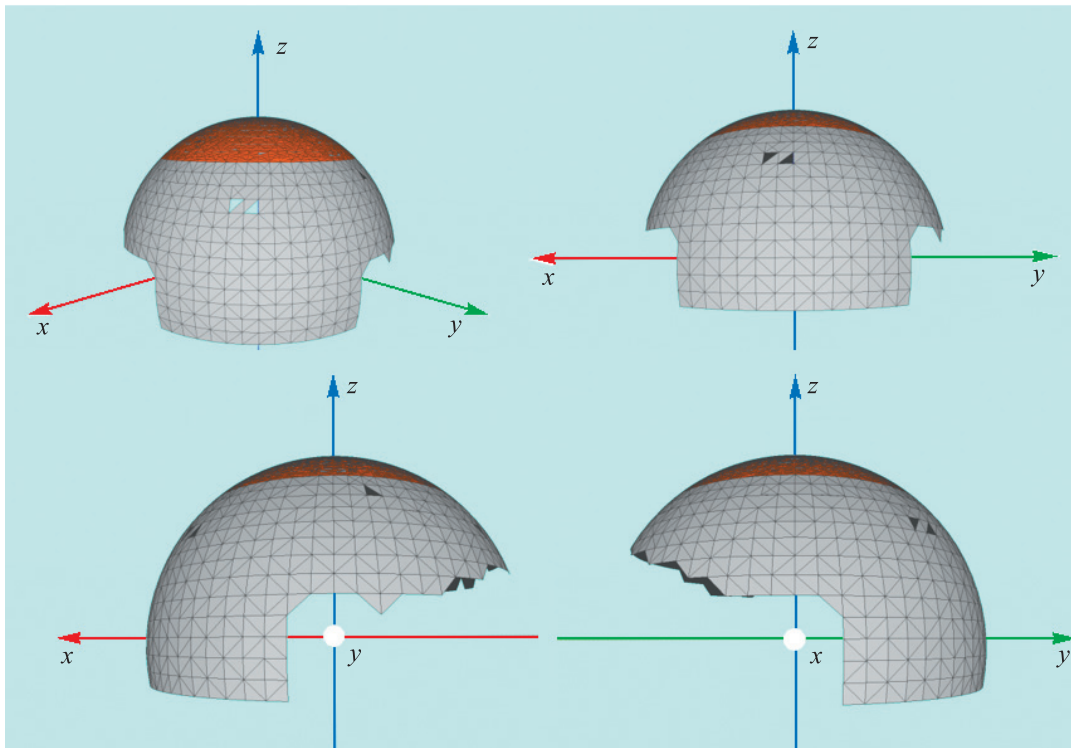


Рис. 7. Рабочая зона нового сферического МПС с тремя степенями свободы

сечения цепей, обеспечивающих перемещение ВЗ, приводные звенья имеют разный радиус. В этом случае критерий имеет вид

$$a \sin\left(\alpha + \frac{\pi}{2}\right) \geq -H; \quad b \sin\left(\beta + \frac{\pi}{2}\right) \geq -H.$$

Пересечение ВЗ с основанием приводных пар цепей, обеспечивающих перемещение ВЗ. Расстояние от центра карданного шарнира до ближайшей стенки основания приводной пары обозначим как LL , ширину безопасной зоны основания — M , а ее высоту — N . Тогда критерием допустимого положения ВЗ будет условие, чтобы угол проекции ВЗ на плоскость XOY был больше, чем угол, задаваемый полушириной основания и расстоянием до передней стенки основания приводной пары. В противном случае, должно выполняться условие, что угол, задаваемый проекцией ВЗ на плоскость XOZ , для цепи, обеспечивающей поворот на угол β , и угол, задаваемый проекцией ВЗ на плоскость YOZ , для цепи, обеспечивающей поворот на угол α , должны быть больше угла образуемой высотой безопасной зоны и расстоянием до передней стенки основания приводной пары.

Тогда получаем следующие условия:

• для основания цепи, обеспечивающей поворот на угол α ,

$$-\frac{M}{2LL} < \frac{y}{x}; \quad \frac{y}{x} > \frac{M}{2LL};$$

$$-\frac{M}{2LL} < \frac{y}{x} \left\langle \frac{M}{2LL} \wedge \frac{z}{y} \right\rangle \frac{M}{2LL};$$

• для основания цепи, обеспечивающей поворот на угол β ,

$$-\frac{M}{2LL} < \frac{x}{y}; \quad \frac{x}{y} > \frac{M}{2LL};$$

$$-\frac{M}{2LL} < \frac{x}{y} \left\langle \frac{M}{2LL} \wedge \frac{z}{y} \right\rangle \frac{M}{2LL}.$$

В результате получаем немного ассиметричную рабочую зону сферического МПС с тремя степенями свободы, показанную на рис. 7. При рассмотрении следует учесть, что карданный механизм может передавать вращение при углах менее 45° , на рисунке эта часть рабочей зоны выделена красным цветом.

Выводы

1. Предложен новый сферический МПС, обеспечивающий три степени свободы, с соотношением 1:1 передачи движения приводов ВЗ.
2. Решены прямая и обратная задачи о положениях предложенного МПС. Рассмотрен частный случай с полярной системой координат.
3. Выявлены ограничения, накладываемые на сферический МПС с тремя степенями свободы, и найдена его рабочая зона.
4. Новый сферический МПС послужит основой гибридного МПС с пятью степенями свободы.

Литература

- [1] Taunyazov T., Rubagotti M., Shintemirov A. Constrained orientation control of a spherical parallel manipulator via online convex optimization. *IEEE/ASME Trans. Mechatron.*, 2018, vol. 23, no. 1, pp. 252–261, doi: <https://doi.org/10.1109/TMECH.2017.2774245>
- [2] Callegari M., Carbonari L., Palmieri G. et al. Parallel wrists for enhancing grasping performance. In: *Grasping in robotics*. Springer, 2013, pp. 189–219, doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4664-3_8
- [3] Bai S. Optimum design of spherical parallel manipulators for a prescribed workspace. *Mech. Mach. Theory*, 2010, vol. 45, no. 2, pp. 200–211, doi: <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2009.06.007>
- [4] Nhan N.H.K., Tung V.D., Kheylo S. et al. Oscillations and control of spherical parallel manipulator. *Int. J. Adv. Robot. Syst.*, 2019, vol. 16, no. 3, doi: <https://doi.org/10.1177/1729881419846394>
- [5] Lahdiri C., Saafi H., Mlika A. et al. Optimal design of a new redundant spherical parallel manipulator with an unlimited self-rotation capability. *Robotica*, 2025, vol. 43, no. 1, pp. 300–315, doi: <https://doi.org/10.1017/S0263574724001851>
- [6] Lahdiri C., Saafi H., Mlika A. Working mode study of a new spherical parallel manipulator with an unlimited self rotation capability. In: *New advances in mechanisms, transmissions and applications*. Springer, 2023, pp. 171–179, doi: https://doi.org/10.1007/978-3-031-29815-8_17

- [7] Pacheco Quiñones D., Maffiodo D. et al. Joint path planning of the quasi-spherical parallel manipulator. In: *Advances in Italian mechanism science*. Springer, 2024, pp. 242–248, doi: https://doi.org/10.1007/978-3-031-64553-2_28
- [8] Сковорцова В.А., Абдуллин Р.Р., Степанова А.А. Оптимизация параметров и структуры параллельного сферического манипулятора. *Компьютерные исследования и моделирование*, 2023, т. 15, № 6, с. 1523–1534. doi: <https://doi.org/10.20537/2076-7633-2023-15-6-1523-1534>
- [9] Walia K., Navaraj W., Breedon P. Generatively optimised compact 3-DoF spherical parallel manipulator with tightly integrated actuators. *Front. Mech. Eng.*, 2025, vol. 11, art. 1629405, doi: <https://doi.org/10.3389/fmech.2025.1629405>
- [10] Djennane M., Eddine Chehaidia S., Yakoub C. et al. Design, analysis, and implementation of a 3-DOF spherical parallel manipulator. *IEEE Access*, 2024, vol. 12, pp. 52837–52850, doi: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3386549>
- [11] Gong Z., Ning C., Liang J. et al. Design, modeling and analysis of a spherical parallel continuum manipulator for nursing robots. *IEEE ICRA*, 2024, pp. 17431–17437, doi: <https://doi.org/10.1109/ICRA57147.2024.10610046>
- [12] Kong X., Jin Y. Type Synthesis of 3-DOF multi-mode translational/spherical parallel mechanisms with lockable joints. *Mech. Mach. Theory*, 2016, vol. 96–2, pp. 323–333, doi: [10.1016/j.mechmachtheory.2015.04.019](https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2015.04.019)
- [13] Soltanov S., Roberts R. Design of a novel bio-inspired three degrees of freedom (3DOF) spherical robotic manipulator and its application in human–robot interactions. *Robotics*, 2025, vol. 14, no. 2, art. 8, doi: <https://doi.org/10.3390/robotics14020008>
- [14] Güzin D., Gezgin E. Development of a spherical parallel manipulator for brain surgery applications: preliminary study on the dynamic analysis and verification. *Robotica*, 2022, vol. 40, no. 10, pp. 3726–3750, doi: <https://doi.org/10.1017/S0263574722000522>
- [15] Артоболевский И.И. *Теория механизмов и машин*. Москва, Наука, 1988. 640 с.

References

- [1] Taunayazov T., Rubagotti M., Shintemirov A. Constrained orientation control of a spherical parallel manipulator via online convex optimization. *IEEE/ASME Trans. Mechatron.*, 2018, vol. 23, no. 1, pp. 252–261, doi: <https://doi.org/10.1109/TMECH.2017.2774245>
- [2] Callegari M., Carbonari L., Palmieri G. et al. Parallel wrists for enhancing grasping performance. In: *Grasping in robotics*. Springer, 2013, pp. 189–219, doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4664-3_8
- [3] Bai S. Optimum design of spherical parallel manipulators for a prescribed workspace. *Mech. Mach. Theory*, 2010, vol. 45, no. 2, pp. 200–211, doi: <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2009.06.007>
- [4] Nhan N.H.K., Tung V.D., Kheylo S. et al. Oscillations and control of spherical parallel manipulator. *Int. J. Adv. Robot. Syst.*, 2019, vol. 16, no. 3, doi: <https://doi.org/10.1177/1729881419846394>
- [5] Lahdiri C., Saafi H., Mlika A. et al. Optimal design of a new redundant spherical parallel manipulator with an unlimited self-rotation capability. *Robotica*, 2025, vol. 43, no. 1, pp. 300–315, doi: <https://doi.org/10.1017/S0263574724001851>
- [6] Lahdiri C., Saafi H., Mlika A. Working mode study of a new spherical parallel manipulator with an unlimited self rotation capability. In: *New advances in mechanisms, transmissions and applications*. Springer, 2023, pp. 171–179, doi: https://doi.org/10.1007/978-3-031-29815-8_17
- [7] Pacheco Quiñones D., Maffiodo D. et al. Joint path planning of the quasi-spherical parallel manipulator. In: *Advances in Italian mechanism science*. Springer, 2024, pp. 242–248, doi: https://doi.org/10.1007/978-3-031-64553-2_28
- [8] Skvortsova V.A., Abdullin R.R., Stepanova A.A. Optimisation of parameters and structure of a parallel spherical manipulator. *Kompyuternye issledovaniya i modelirovanie* [Computer Research and Modeling], 2023, vol. 15, no. 6, pp. 1523–1534, doi: <https://doi.org/10.20537/2076-7633-2023-15-6-1523-1534> (in Russ.).

- [9] Walia K., Navaraj W., Breedon P. Generatively optimised compact 3-DoF spherical parallel manipulator with tightly integrated actuators. *Front. Mech. Eng.*, 2025, vol. 11, art. 1629405, doi: <https://doi.org/10.3389/fmech.2025.1629405>
- [10] Djennane M., Eddine Chehaidia S., Yakoub C. et al. Design, analysis, and implementation of a 3-DOF spherical parallel manipulator. *IEEE Access*, 2024, vol. 12, pp. 52837–52850, doi: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3386549>
- [11] Gong Z., Ning C., Liang J. et al. Design, modeling and analysis of a spherical parallel continuum manipulator for nursing robots. *IEEE ICRA*, 2024, pp. 17431–17437, doi: <https://doi.org/10.1109/ICRA57147.2024.10610046>
- [12] Kong X., Jin Y. Type Synthesis of 3-DOF multi-mode translational/spherical parallel mechanisms with lockable joints. *Mech. Mach. Theory*, 2016, vol. 96–2, pp. 323–333, doi: [10.1016/j.mechmachtheory.2015.04.019](https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2015.04.019)
- [13] Soltanov S., Roberts R. Design of a novel bio-inspired three degrees of freedom (3DOF) spherical robotic manipulator and its application in human–robot interactions. *Robotics*, 2025, vol. 14, no. 2, art. 8, doi: <https://doi.org/10.3390/robotics14020008>
- [14] Güzin D., Gezgin E. Development of a spherical parallel manipulator for brain surgery applications: preliminary study on the dynamic analysis and verification. *Robotica*, 2022, vol. 40, no. 10, pp. 3726–3750, doi: <https://doi.org/10.1017/S0263574722000522>
- [15] Artobolevskiy I.I. *Teoriya mekhanizmov i mashin* [Theory of mechanisms and machines]. Moscow, Nauka Publ., 1988. 640 p. (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 31.03.2026

Информация об авторах

ЛАСТОЧКИН Алексей Борисович — кандидат технических наук, старший научный сотрудник. ФГБУН «Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН» (101000, Москва, Российская Федерация, Малый Харитоньевский переулок, д. 4, e-mail: lastochkin_aleks@mail.ru).

РОМАНОВ Андрей Александрович — кандидат технических наук, младший научный сотрудник. ФГБУН Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН (101000, Москва, Российская Федерация, Малый Харитоньевский переулок, д. 4, e-mail: Dru.ny@mail.ru).

ЧЕРНЕЦОВ Роберт Александрович — кандидат технических наук, младший научный сотрудник. ФГБУН Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН (101000, Москва, Российская Федерация, Малый Харитоньевский переулок, д. 4, e-mail: chernetsovrobert@gmail.com).

ФИЛИПPOB Глеб Сергеевич — доктор технических наук, заместитель директора по научной работе. ФГБУН Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН (101000, Москва, Российская Федерация, Малый Харитоньевский переулок, д. 4, e-mail: filippov.gleb@gmail.com).

Information about the authors

LASTOCHKIN Alexey Borisovich — Candidate of Science (Eng.), Senior Researcher. Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences (101001, Moscow, Russian Federation, Malyy Kharitonievskiy Pereulok, Bldg. 4, e-mail: lastochkin_aleks@mail.ru).

ROMANOV Andrey Aleksandrovich — Candidate of Science (Eng.), Junior Researcher. Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences (101001, Moscow, Russian Federation, Malyy Kharitonievskiy Pereulok, Bldg. 4, e-mail: Dru.ny@mail.ru).

CHERNETSOV Robert Aleksandrovich — Candidate of Science (Eng.), Junior Researcher. Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences (101001, Moscow, Russian Federation, Malyy Kharitonievskiy Pereulok, Bldg. 4, e-mail: chernetsovrobert@gmail.com).

FILIPPOV Gleb Sergeevich — Doctor of Science (Eng.), Deputy Director for Research. Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences (101001, Moscow, Russian Federation, Malyy Kharitonievskiy Pereulok, Bldg. 4, e-mail: filippov.gleb@gmail.com).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Ласточкин А.Б., Романов А.А., Чернецов Р.А., Филиппов Г.С. Сферический механизм для сканирования объемных пространств. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2026, № 8, с. 3–10.

Please cite this article in English as:

Lastochkin A.B., Romanov A.A., Chernetsov R.A., Filippov G.S. Spherical mechanism for scanning volumetric spaces. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2026, no. 8, pp. 3–10.