

Интернет-журнал «Наукоедение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 8, №3 (2016) <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol8-3>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/142TVN316.pdf>

DOI: 10.15862/142TVN316 (<http://dx.doi.org/10.15862/142TVN316>)

Статья опубликована 30.06.2016.

Ссылка для цитирования этой статьи:

Пашенко В.Н. Построение рабочей зоны шестистепенного манипулятора параллельной структуры на базе кривошипно-шатунного механизма // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №3 (2016) <http://naukovedenie.ru/PDF/142TVN316.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/142TVN316

УДК 658.5

Пашенко Василий Николаевич

ГОУ ВПО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана»
Филиал в г. Калуга, Россия, Калуга¹
Зав. кафедрой М6-КФ «Мехатроника и робототехника»
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: pashenkovn@inbox.ru

Построение рабочей зоны шестистепенного манипулятора параллельной структуры на базе кривошипно-шатунного механизма

Аннотация. В работе рассмотрен шестистепенный механизм, являющийся разновидностью механизмов параллельной структуры. Как правило, такие механизмы состоят из нижнего неподвижного звена (основания) и верхней подвижной платформы (выходное звено), соединенные несколькими кинематическими цепями (от двух до шести). Показано, что создание пространственных манипуляционных механизмов параллельной структуры является одним из приоритетных направлений развития современного машиностроения. Были выявлены достоинства и недостатки таких механизмов. К достоинствам таких механизмов относятся повышенные показатели по грузоподъемности, массово-габаритные характеристики, точность, надежность, жесткость, поскольку воспринимают нагрузку подобно пространственным фермам. К недостаткам, можно отнести ограниченное рабочее пространство. Была показана, важность решения задачи определения рабочей зоны. Рассматриваемый в работе механизм состоит из нижней неподвижной платформы, и верхней подвижной платформы (выходное звено). Выходное звено соединено с нижней платформой шестью кинематическими цепями, имеющими кривошипно-шатунную структуру. Как на нижней платформе, так и на выходном звене шарниры располагаются попарно и на одинаковом расстоянии от соответствующих центров.

Каждая из шести кинематических цепей механизма содержит одну приводную вращательную кинематическую пару, связанную с основанием, одну промежуточную сферическую кинематическую пару, и одну сферическую кинематическую пару, сопряженную с выходным звеном.

¹ 248000, Калуга, ул. Циолковского 20

Автором предоставлен материал по решению обратной задачи о положении исследуемого манипуляционного механизма. Предложен алгоритм определения рабочей зоны. Для проверки правильности решения был проведен численный эксперимент. Полученное решение было использовано для нахождения рабочей зоны исследуемого механизма параллельной структуры.

Ключевые слова: механизмы параллельной структуры; обратная задача о положении; рабочая зона; кинематическая цепь; модель; обобщенные координаты; приводное звено

Введение

Пространственные манипуляционные механизмы параллельной структуры, с различным числом степеней свободы, широко используются в современном машиностроительном производстве [1-3].

Манипуляционные механизмы параллельной структуры обладают рядом отличительных особенностей по отношению к механизмам последовательной структуры [4]. Как правило, такие механизмы состоят из нижнего неподвижного звена (основания) и верхней подвижной платформы (выходное звено), соединенные несколькими кинематическими цепями (от двух до шести) [5]. К достоинствам манипуляционных механизмов параллельной структуры можно отнести то, что они обладают повышенными показателями по грузоподъемности, массово-габаритным характеристикам, надежности, жесткости, поскольку воспринимают нагрузку подобно пространственным фермам [6]. К существенным преимуществам этих механизмов можно отнести то, что положение рабочего органа расположенного на выходном звене, менее чувствительно к ошибке позиционирования, поскольку она не накапливается, а усредняется на каждом приводе [7].

Наряду с преимуществами механизмы параллельной структуры имеют и недостатки. К ним относятся ограниченное рабочее пространство, наличие особых положений в окрестности рабочего пространства, трудности проектирования систем управления [8]. Для проектирования систем управления необходимо решить задачи о положениях, задачу об определении рабочей зоны механизма и определении сингулярностей [9].

Рабочая зона, т.е. пространство определяемое множеством точек, которых достигает «характерная точка» (точка схвата, и т.п.) выходного звена манипуляционного механизма, является одной из основных характеристик манипуляционного механизма [10, 11].

Определение рабочей зоны параллельных манипуляционных механизмов начинается со Гью-Стюарта, описавшего движение параллельного механизма симулятора полетов в 1956 г. [12]. Определить размер и форму рабочую зону можно путем решения обратной задачи о положениях [13]. В большинстве случаев, при этом, используются итерационные алгоритмы [14]. Методы решения задач кинематики для исследования характеристик механизмов параллельной структуры представлены в работах: Ю. Янга, К. Ханта, В. Гауфа, В.А. Глазунова и многих других авторов [15-17].

Считается, что отсутствие понимания рабочего пространства является главным препятствием в развитии платформенных манипуляторов практически полезных промышленных роботов [18].

В связи с этим актуальность приобретает решение задачи построения рабочей зоны исследуемого механизма.

1. Постановка задачи

Исследуемый в данной работе механизм является разновидность манипуляторов параллельной структуры с шестью степенями свободы. Механизм состоит из нижней неподвижной платформы, и верхней подвижной платформы (выходное звено) (рис. 1). Выходное звено соединено с нижней платформой шестью кинематическими цепями, имеющими кривошипно-шатунную структуру.

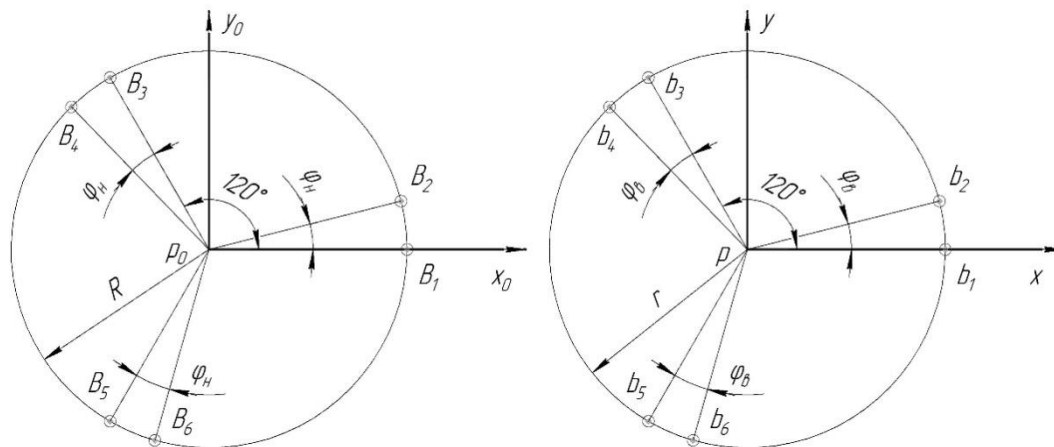


Рисунок 1. Схема нижней платформы и выходного звена (разработано автором)

Введем обозначения:

B_i – точки крепления шарниров на нижней платформе;

b_i – точки крепления шарниров на верхней платформе;

φ_n – угол между точками B_1 и B_2 , B_3 и B_4 , B_5 и B_6 соответственно;

φ_v – угол между точками b_1 и b_2 , b_3 и b_4 , b_5 и b_6 соответственно;

R – радиус расположения шарниров нижней платформы;

r – радиус расположения шарниров верхней платформы;

P_0 – центр нижней неподвижной платформы;

P – центр выходного звена;

Как на нижней платформе, так и на выходном звене шарниры располагаются попарно и на одинаковом расстоянии от соответствующих центров P_0 и P . Угол между парами точек крепления шарниров равен 120° .

Каждая из шести кинематических цепей механизма содержит одну приводную вращательную кинематическую пару, связанную с основанием (точки B_i), одну промежуточную сферическую кинематическую пару, и одну сферическую кинематическую пару, сопряженную с выходным звеном (точки b_i).

Обозначим:

L_{kpi} – длины ведущих звеньев $B_i C_i$ (здесь и далее $i=1, \dots, 6$); L_{uvi} – длины промежуточных звеньев $C_i b_i$ (рис. 2).

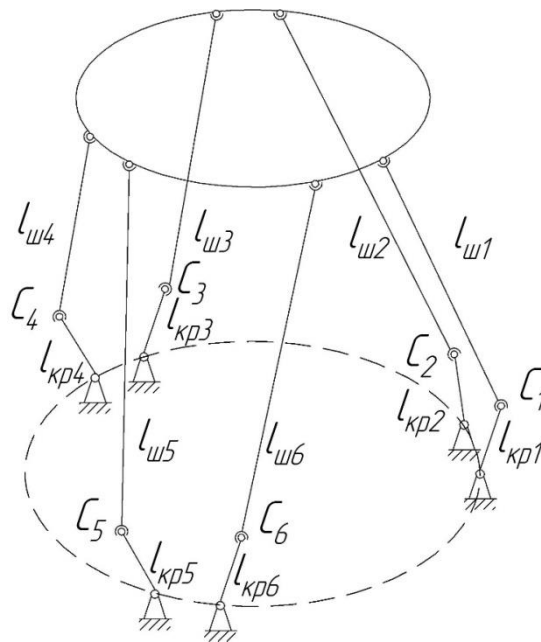


Рисунок 2. Структурная схема (разработано автором)

Обратную задачу кинематики можно сформулировать следующим образом: определить углы поворота приводных звеньев, позволяющих достичь заранее заданное положение выходного звена в пространстве.

Для решения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: а) построить математическую модель, описывающую предложенную выше систему; б) на основе полученной модели произвести необходимые расчеты, для определения углов поворота приводных звеньев.

2. Предлагаемая модель

Введем неподвижную правую систему координат $O_0X_0Y_0Z_0$ следующим образом: начало системы координат совместим с центром неподвижной платформы в точке p_0 , ось O_0X_0 проведем через точку B_1 , оси O_0Y_0 и O_0Z_0 проведем так, чтобы образовалась правая система координат. Начало подвижной системы координат $OXYZ$, связанной с выходным звеном поместим в точку p (центр выходного звена). Ось OX проведем через точку b_1 , оси OY и OZ проведем так, чтобы образовалась правая система координат (рис. 3).

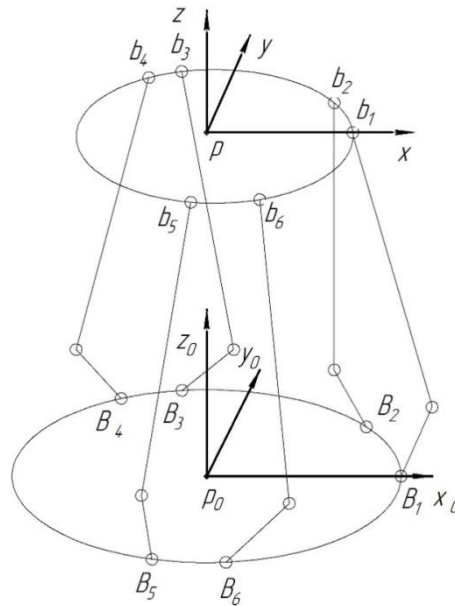


Рисунок 3. Системы координат (разработано автором)

Определим координаты шарниров, расположенных на неподвижной платформе:

$$\begin{aligned} \mathbf{B}_1 &= [R \ 0 \ 0]^T; \\ \mathbf{B}_2 &= [R \cos(\varphi_n) \ R \sin(\varphi_n) \ 0]^T; \\ \mathbf{B}_3 &= [R \cos(120^\circ) \ R \sin(120^\circ) \ 0]^T; \\ \mathbf{B}_4 &= [R \cos(120^\circ + \varphi_n) \ R \sin(120^\circ + \varphi_n) \ 0]^T; \\ \mathbf{B}_5 &= [R \cos(240^\circ) \ R \sin(240^\circ) \ 0]^T; \\ \mathbf{B}_6 &= [R \cos(240^\circ + \varphi_n) \ R \sin(240^\circ + \varphi_n) \ 0]^T. \end{aligned}$$

Координаты шарниров, расположенных на выходном звене, в подвижной системе координат равны

$$\begin{aligned} \mathbf{b}_1 &= [r \ 0 \ 0]^T; \\ \mathbf{b}_2 &= [r \cos(\varphi_e) \ r \sin(\varphi_e) \ 0]^T; \\ \mathbf{b}_3 &= [r \cos(120^\circ) \ r \sin(120^\circ) \ 0]^T; \\ \mathbf{b}_4 &= [r \cos(120^\circ + \varphi_e) \ r \sin(120^\circ + \varphi_e) \ 0]^T; \\ \mathbf{b}_5 &= [r \cos(240^\circ) \ r \sin(240^\circ) \ 0]^T; \\ \mathbf{b}_6 &= [r \cos(240^\circ + \varphi_e) \ r \sin(240^\circ + \varphi_e) \ 0]^T. \end{aligned}$$

Представим в виде матрицы однородного преобразования \mathbf{T}_p геометрическое отношение между выходным звеном и неподвижной платформой:

$$\mathbf{T}_p = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & d_{13} & x_p \\ d_{21} & d_{22} & d_{23} & y_p \\ d_{31} & d_{32} & d_{33} & z_p \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Здесь x_p, y_p, z_p – координаты точки P в абсолютной системе координат; d_{i1}, d_{i2}, d_{i3} – соответственно направляющие косинусы осей X, Y, Z .

Координаты шарниров выходного звена x_{bi}, y_{bi}, z_{bi} в абсолютной системе координат определим в виде в виде матрицы столбца:

$$\begin{bmatrix} x_{b1} \\ y_{b1} \\ z_{b1} \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{T}_p \begin{bmatrix} r \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{11}r + x_p \\ d_{21}r + y_p \\ d_{31}r + z_p \\ 1 \end{bmatrix};$$

$$\begin{bmatrix} x_{b2} \\ y_{b2} \\ z_{b2} \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{T}_p \begin{bmatrix} r \cos(\varphi_6) \\ r \sin(\varphi_6) \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{11}r \cos(\varphi_6) + d_{12}r \sin(\varphi_6) + x_p \\ d_{21}r \cos(\varphi_6) + d_{22}r \sin(\varphi_6) + y_p \\ d_{31}r \cos(\varphi_6) + d_{32}r \sin(\varphi_6) + z_p \\ 1 \end{bmatrix};$$

$$\begin{bmatrix} x_{b3} \\ y_{b3} \\ z_{b3} \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{T}_p \begin{bmatrix} r \cos(120^\circ) \\ r \sin(120^\circ) \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{11}r \cos(120^\circ) + d_{12}r \sin(120^\circ) + x_p \\ d_{21}r \cos(120^\circ) + d_{22}r \sin(120^\circ) + y_p \\ d_{31}r \cos(120^\circ) + d_{32}r \sin(120^\circ) + z_p \\ 1 \end{bmatrix};$$

$$\begin{bmatrix} x_{b4} \\ y_{b4} \\ z_{b4} \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{T}_p \begin{bmatrix} r \cos(120^\circ + \varphi_6) \\ r \sin(120^\circ + \varphi_6) \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{11}r \cos(120^\circ + \varphi_6) + d_{12}r \sin(120^\circ + \varphi_6) + x_p \\ d_{21}r \cos(120^\circ + \varphi_6) + d_{22}r \sin(120^\circ + \varphi_6) + y_p \\ d_{31}r \cos(120^\circ + \varphi_6) + d_{32}r \sin(120^\circ + \varphi_6) + z_p \\ 1 \end{bmatrix};$$

$$\begin{bmatrix} x_{b5} \\ y_{b5} \\ z_{b5} \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{T}_p \begin{bmatrix} r \cos(240^\circ) \\ r \sin(240^\circ) \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{11}r \cos(240^\circ) + d_{12}r \sin(240^\circ) + x_p \\ d_{21}r \cos(240^\circ) + d_{22}r \sin(240^\circ) + y_p \\ d_{31}r \cos(240^\circ) + d_{32}r \sin(240^\circ) + z_p \\ 1 \end{bmatrix};$$

$$\begin{bmatrix} x_{b_6} \\ y_{b_6} \\ z_{b_6} \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{T}_p \begin{bmatrix} r \cos(240^\circ + \varphi_6) \\ r \sin(240^\circ + \varphi_6) \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{11}r \cos(240^\circ + \varphi_6) + d_{12}r \sin(240^\circ + \varphi_6) + x_p \\ d_{21}r \cos(240^\circ + \varphi_6) + d_{22}r \sin(240^\circ + \varphi_6) + y_p \\ d_{31}r \cos(240^\circ + \varphi_6) + d_{32}r \sin(240^\circ + \varphi_6) + z_p \\ 1 \end{bmatrix}.$$

Будем считать, что матрица $[\mathbf{T}]_p$ задана и определяет положение выходного звена. Необходимо найти обобщенные координаты, обеспечивающие заданное положение.

В качестве обобщенных координат возьмем углы φ_i наклона кривошипов L_{kpi} в плоскости ZOХ (рис. 4).

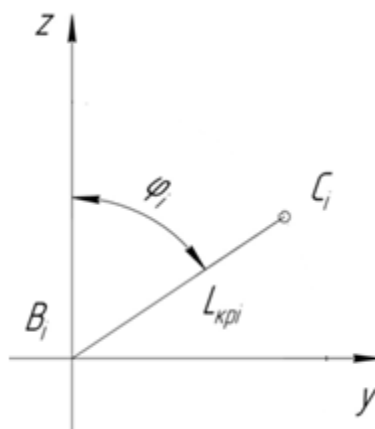


Рисунок 4. Обобщенные координаты (разработано автором)

Учитывая, что длины кривошипа и шатуна постоянны, а также, что кривошип может вращаться только в одной плоскости, имеем

$$\begin{cases} L_{kpi} = (x_{bi} - x_{Ci})^2 + (y_{bi} - y_{Ci})^2 + (z_{bi} - z_{Ci})^2, \\ L_{ui} = (x_{Ci} - x_{Bi})^2 + (y_{Ci} - y_{Bi})^2 + (z_{Ci} - z_{Bi})^2, \\ x_{Bi}(x_{Ci} - x_{Bi}) + y_{Bi}(y_{Ci} - y_{Bi}) + z_{Bi}(z_{Ci} - z_{Bi}) = 0, \end{cases}$$

где x_{bi}, y_{bi}, z_{bi} - координаты шарнира шатуна на выходном звене; x_{Bi}, y_{Bi}, z_{Bi} - координаты шарнира приводного звена на неподвижной платформе; x_{Ci}, y_{Ci}, z_{Ci} - координаты шарнира соединяющего приводное и промежуточное звенья.

Зная координаты шарниров C_i , определим обобщенные координаты φ_i :

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= \arccos\left(\frac{Z_{c1}}{L_{kp}}\right), & \varphi_2 &= \arccos\left(\frac{Z_{c2}}{L_{kp}}\right), & \varphi_3 &= \arccos\left(\frac{Z_{c3}}{L_{kp}}\right), \\ \varphi_4 &= \arccos\left(\frac{Z_{c4}}{L_{kp}}\right), & \varphi_5 &= \arccos\left(\frac{Z_{c5}}{L_{kp}}\right), & \varphi_6 &= \arccos\left(\frac{Z_{c6}}{L_{kp}}\right). \end{aligned}$$

3. Алгоритм определения рабочей зоны манипулятора

Положение и ориентацию выходного звена в пространстве позволяет определить решение задач о положении. Значения обобщенных координат манипулятора находятся в пределах показывающих область изменения обобщенных координат, обусловленных конструкцией механизма.

Каждому значению обобщенных координат механизма соответствует определенное положение выходного звена. Области изменения обобщенных координат соответствует область изменения рабочего пространства, границы которого определяются кинематической схемой манипуляционного механизма.

Исследуя решения обратной задачи о положениях можно оценить непосредственно размер и форму рабочей зоны. Решение обратной задачи о положении дает возможность однозначно определить значения обобщенных координат при заданном положении выходного звена манипуляционного механизма.

В работе предложен алгоритм (рис. 5), использующий решение обратной задачи о положениях который может быть использован для определения рабочих зон различных типов манипуляционных механизмов параллельной структуры. Работа алгоритма заключается в переборе значений координат центра и углов наклона выходного звена (углы Эйлера), соответствующих определенному набору обобщенных координат с определенным шагом, от величины которого, с одной стороны, зависит точность формы рабочей зоны, с другой стороны - время решения задачи.

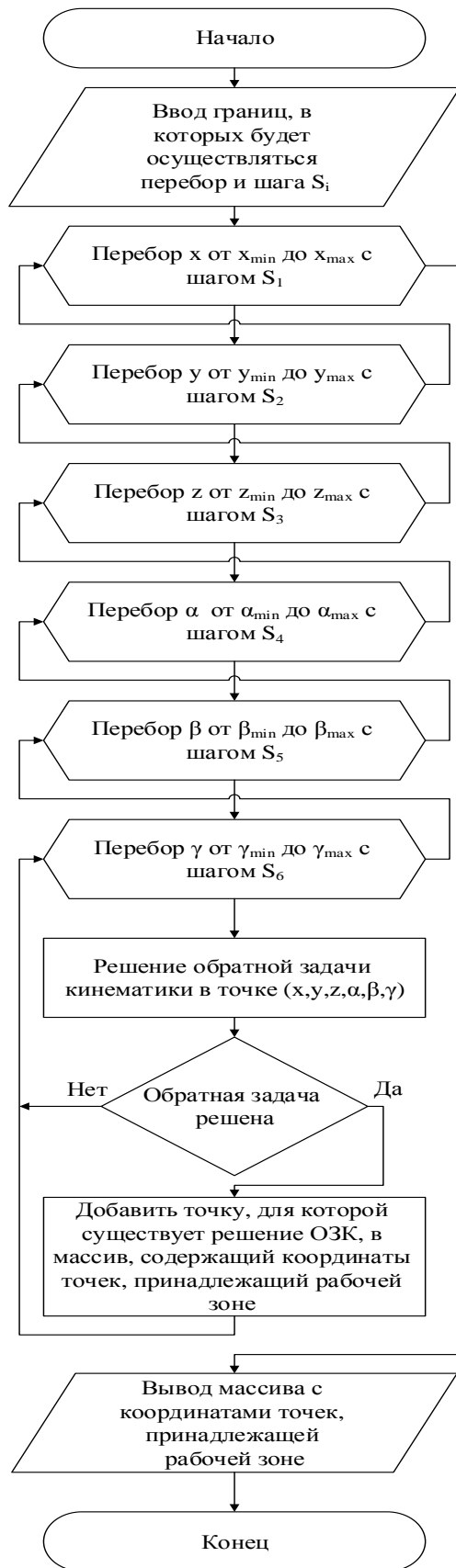


Рисунок 5. Алгоритм нахождения рабочей зоны (разработано автором)

4. Вычислительный эксперимент

Для нахождения рабочей зоны использовались численные методы и средства разработки программных приложений, пакета математического моделирования MATLAB, для следующих значений параметров: $L_{kpi}=110$ мм; $L_{lwi}=240$ мм; $R=200$ мм; $r=107$ мм, $S=0,5$ мм.

На основе разработанного программного обеспечения была получена рабочая зона рассматриваемого манипуляционного механизма (рис. 6).

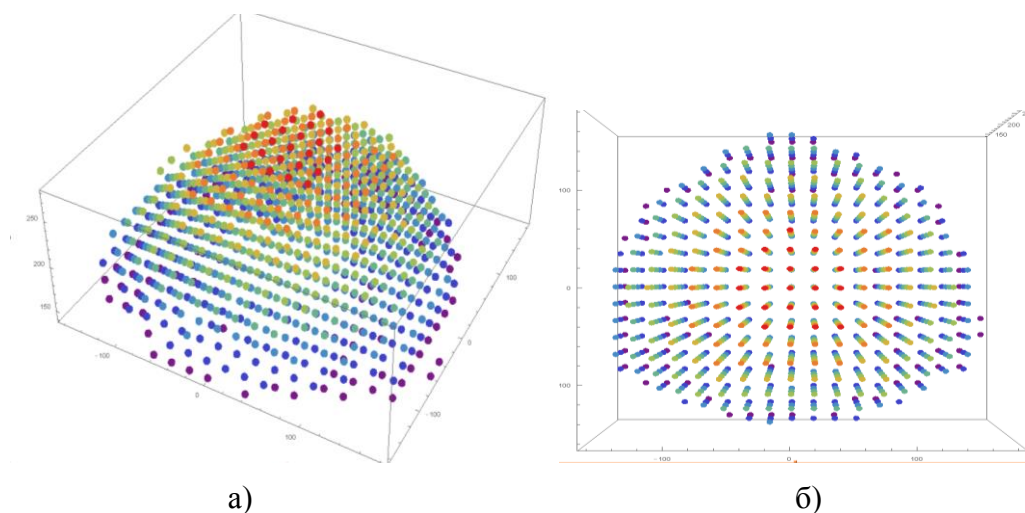


Рисунок 6. Рабочая зона манипуляционного механизма с шестью степенями свободы:
а – вид в изометрии; б – вид сверху (разработано автором)

Заключение

В работе предложено решение задачи нахождения рабочей зоны манипуляционного механизма параллельной структуры, с шестью степенями свободы. Особенностью является то, что, решение, во-первых, было получено для механизма имеющего кривошипно-шатунную структуру, во-вторых, решение базируется на использовании обратной задачи о положении, в-третьих, в качестве обобщенных координат применялись углы наклона кривошипов. Эффективность разработанного модельного, алгоритмического и программного обеспечения показана на примере построения рабочей зоны рассматриваемого механизма.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глазунов В.А., Ласточкин А.Б., Шалюхин К.А., Данилин П.О. К анализу и классификации устройств относительного манипулирования // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2009. №4. С. 81-85.
2. Щелкунов Е.Б., Виноградов С.В., Щелкунова М.Е., Самар Е.В. Механизмы параллельной структуры в металлорежущих станках / Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2012. - № IV-1. - С. 52-61.
3. Бушуев В.В. Механизмы параллельной структуры в машиностроении / В.В. Бушуев, И.Г. Хольшев // СТИН. - 2001. - №1. - С. 3-8.
4. Глазунов В.А., Ласточкин А.Б., Терехова А.Н., Ву Нгок Бик Об особенностях устройств относительного манипулирования // Проблемы машиностроения и надежности машин. - 2007. - №2. - С. 77-85.
5. Каганов Ю.Т., Карпенко А.П. Моделирование и оптимизация некоторых параллельных механизмов // Информационные технологии, Приложение, 2010, №5, с. 1-32.
6. Glazunov V., Gruntovich R., Lastochkin A., Nguyen Mingh Than Representations of constraints imposed by kinematic chains of parallel mechanisms // Proceedings of the 12th World Congress in Mechanism and Machine Science IFToMM. - Besancon, France. - 2007. - V.1. - P. 380-385.
7. Glazunov V.A., Chunichin A.Yu. Development of mechanisms of parallel structure. Problemy mashinostroeniya i nadezhnosti mashin, 2014, no. 3, pp. 37-43. (English version of journal: Journal of Machinery Manufacture and Reliability, 2014, vol. 43, iss. 3, pp. 211-216.
8. Merlet J.-P. Parallel Robots. – Kluwer Academic Publishers, 2006. – 417 p.
9. Algorithms for Solution of Direct and Inverse Geometric Problems Involving Determination of Angular Platform Orientation. I.B. Chelpanov, A.N. Volkov, A.V. Kochetkov. Chemical and Petroleum Engineering January. 2015. pp. 560-566.
10. Хейло С.В. Решение задачи об управлении поступательно-направляющим механизмом параллельной структуры / С.В. Хейло, В.А. Глазунов // Справочник. Инженерный журнал. – 2013. – №10. – С. 17–24.
11. Kreinin G.V. and Misyurin S.Yu. On Some General Laws in Drive Dynamics. ISSN 1052 6188 // Journal of Machinery Manufacture and Reliability.-Vol. 40, №6, 2011. P. 507-511.
12. Kreinin G.V. and Misyurin S.Yu. Influence of the Gear Ratio on the Dynamics of a Control-System Drive. ISSN 1052-6188 // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. –Vol. 41, №6, 2012. P. 486-491.
13. Artemenko Yu.N., Volkomorov S.V., Karpenko A.P., Martynyuk V.A., Pashchenko V.N., Temerev K.A., Sharygin A.V. The Parallel Multisection Manipulator for Orientation of theSpace Observatory “Millimetron”. Informacionnye tehnologii = Information technologies, 2012, no. 10, pp. 14-21. (in Russian).
14. Merlet J-P., Workspace-oriented methodology for designing a parallel manipulator, Proceedings of the 1996 international conference on robotics and automation, 1996, p. 3726-3731.

15. Хейло С.В., Ларюшкин П.А. Определение рабочей зоны манипуляторов параллельной структуры / С.В. Хейло, П.А. Ларюшкин // Справочник. Инженерный журнал. –2013. – №2. – С. 27-31.
16. Yang Y., O'Brien J.F. A sequential method for the singularity-free workspace design of a three legged parallel robot. Mechanism and Machine Theory. 2010. Т. 45. №11. С. 1694-1706.
17. Hunt К.Н. Kinematic Geometry of Mechanisms // London: Oxford University Press. 1978. 465 p.
18. Glazunov V.A., Kraynev A.F., Rashoyan G.V., Trifonova A.N. Singular I Zones of Parallel Structure Mechanisms / Pr. X World Congress on TMM, Oulu, Finland, 1999, p. 2710-2715.
19. Хейло С.В. Манипуляционные механизмы параллельной структуры для робототехнических комплексов предприятий текстильной промышленности / С.В. Хейло, В.А. Глазунов // Вестник Московского государственного текстильного университета: Тематический сборник научных трудов «Инновационные технологии и материалы». – 2012. – С. 73–76.

Pashchenko Vasily Nikolaevich

Bauman Moscow state technical university, Russia, Moscow
E-mail: pashenkovn@inbox.ru

The construction working area shestistrunnoi manipulator of the parallel structure on the basis of the crank mechanism

Abstract. The paper discusses shestistrunnoi mechanism, is a kind of parallel structure mechanisms. Usually, such mechanisms consist of the lower fixed link (base) and the upper moving platform (output link) connected with several kinematic chains (two to six). It is shown that the creation of a spatial manipulation of the mechanisms of parallel structure is one of the priority directions of development of modern engineering. Identified the advantages and disadvantages of such mechanisms. The advantages of such mechanisms include increased payloads, the mass-dimensional characteristics, precision, reliability, rigidity, since the weight similar to a spatial farms. The disadvantages include the limited working space. Has been shown the importance of solving the problem of determination of the working area. Consider the operation mechanism consists of a fixed lower platform and an upper movable platform (the output link). The output link is connected to the lower platform of the six kinematic chains, having a crank structure. On the lower platform and the output link of the hinges are arranged in pairs and at the same distance from their respective centers.

Each of the six kinematic chains of the mechanism contains a single drive rotational kinematic pair that is associated with the base, one intermediate spherical kinematic pair and one spherical kinematic pair, conjugated with an output link.

The author provided material for the solution of the inverse problem on the situation of the studied manipulation of the mechanism. The algorithm of definition of the working area. To check the correctness of the decision was the numerical experiment. The resulting solution was used for finding the working area of the investigated mechanism of parallel structure.

Keywords: the mechanisms of parallel structure; the inverse problem on the situation; a working zone; a kinematic chain model; generalized coordinates; driving link

REFERENCES

1. Glazunov V.A., Lastochkin A.B., Shalyukhin K.A., Danilin P.O. K analizu i klassifikatsii ustroystv odnositel'nogo manipulirovaniya // Problemy mashinostroeniya i nadezhnosti mashin. 2009. №4. S. 81-85.
2. Shchelkunov E.B., Vinogradov S.V., Shchelkunova M.E., Samar E.V. Mekhanizmy parallel'noy struktury v metallozhushchikh stankakh / Uchenye zapiski Komsomol'skogo-na-Amure gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2012. - № IV-1. - S. 52-61.
3. Bushuev V.V. Mekhanizmy parallel'noy struktury v mashinostroenii / V.V. Bushuev, I.G. Khol'shev // STIN. - 2001. - №1. - S. 3-8.
4. Glazunov V.A., Lastochkin A.B., Terekhova A.N., Vu Ngok Bik Ob osobennostyakh ustroystv odnositel'nogo manipulirovaniya // Problemy mashinostroeniya i nadezhnosti mashin. - 2007. - №2. - S. 77-85.
5. Kaganov Yu.T., Karpenko A.P. Modelirovanie i optimizatsiya nekotorykh parallel'nykh mekhanizmov // Informatsionnye tekhnologii, Prilozhenie, 2010, №5, s. 1-32.

6. Glazunov V., Gruntovich R., Lastochkin A., Nguyen Mingh Than Representations of constraints imposed by kinematic chains of parallel mechanisms // Proceedings of the 12th World Congress in Mechanism and Machine Science IFToMM. - Besancon, France. - 2007. - V.1. - P. 380-385.
7. Glazunov V.A., Chunichin A.Yu. Development of mechanisms of parallel structure. Problemy mashinostroeniya i nadezhnosti mashin, 2014, no. 3, pp. 37-43. (English version of journal: Journal of Machinery Manufacture and Reliability, 2014, vol. 43, iss. 3, pp. 211-216.
8. Merlet J.-P. Parallel Robots. – Kluwer Academic Publishers, 2006. – 417 p.
9. Algorithms for Solution of Direct and Inverse Geometric Problems Involving Determination of Angular Platform Orientation. I.B. Chelpanov, A.N. Volkov, A.V. Kochetkov. Chemical and Petroleum Engineering Januare. 2015. pp. 560-566.
10. Kheylo S.V. Reshenie zadachi ob upravlenii postupatel'no-napravlyayushchim mekhanizmom parallel'noy struktury / S.V. Kheylo, V.A. Glazunov // Spravochnik. Inzhenernyy zhurnal. – 2013. – №10. – S. 17–24.
11. Kreinin G.V. and Misyurin S.Yu. On Some General Laws in Drive Dynamics. ISSN 1052 6188 // Journal of Machinery Manufacture and Reliability.-Vol. 40, №6, 2011. P. 507-511.
12. Kreinin G.V. and Misyurin S.Yu. Influence of the Gear Ratio on the Dynamics of a Control-System Drive. ISSN 1052-6188 // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. –Vol. 41, №6, 2012. R. 486-491.
13. Artemenko Yu.N., Volkomorov S.V., Karpenko A.P., Martynyuk V.A., Pashchenko V.N., Temerev K.A., Sharygin A.V. The Parallel Multisection Manipulator for Orientation of theSpace Observatory “Millimetron”. Informacionnye tehnologii = Information technologies, 2012, no. 10, pp. 14-21. (in Russian).
14. Merlet J-P., Workspace-oriented methodology for designing a parallel manipulator, Proceedings of the 1996 international conference on robotics and automation, 1996, p. 3726-3731.
15. Kheylo S.V., Laryushkin P.A. Opredelenie rabochey zony manipulyatorov parallel'noy struktury / S.V. Kheylo, P.A. Laryushkin // Spravochnik. Inzhenernyy zhurnal. –2013. – №2. – S. 27-31.
16. Yang Y., O'Brien J.F. A sequential method for the singularity-free workspace design of a three legged parallel robot. Mechanism and Machine Theory. 2010. T. 45. №11. S. 1694-1706.
17. Hunt K.H. Kinematic Geometry of Mechanisms // London: Oxford University Press. 1978. 465 p.
18. Glazunov V.A., Kraynev A.F., Rashoyan G.V., Trifonova A.N. Singular I Zones of Parallel Structure Mechanisms / Pr. X World Congress on TMM, Oulu, Finland, 1999, p. 2710-2715.
19. Kheylo S.V. Manipulyatsionnye mekhanizmy parallel'noy struktury dlya robototekhnicheskikh kompleksov predpriyatiy tekstil'noy promyshlennosti / S.V. Kheylo, V.A. Glazunov // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekstil'nogo universiteta: Tematicheskii sbornik nauchnykh trudov «Innovatsionnye tekhnologii i materialy». – 2012. – S. 73–76.