

УДК 519.6

Решение обратной задачи кинематики для манипулятора параллельной структуры с тремя степенями свободы на базе кривошипно-шатунного механизма

Романов А. В.¹, Пащенко В. Н.^{1,*}

[*pashenkovn@inbox.ru](mailto:pashenkovn@inbox.ru)

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Одним из направлений развития робототехники является создание пространственных манипуляционных механизмов параллельной структуры. В связи с этим актуальность приобретает задача синтеза геометрических, кинематических параметров механизмов параллельной кинематики и разработка методик их расчета. В работе рассмотрен процесс и результаты построения математической модели для разновидности платформенного манипулятора параллельной структуры с тремя степенями свободы, на базе кривошипно-шатунного механизма. Рассмотрено решение обратной задачи кинематики. Проведена экспериментальная проверка, которая показала хорошие согласование расчетов с результатами измерений.

Ключевые слова: математическое моделирование, платформа параллельной структуры, системы управления

Введение

Одним из направлений развития робототехники является создание пространственных манипуляционных механизмов параллельной структуры [1]. Подобные манипуляционные механизмы широко применяются в различных областях промышленности. Известно, что такие механизмы имеют особые свойства, которые отличают их от механизмов последовательной структуры. Отличительной особенностью механизмов параллельной структуры является то, что выходной звено соединено с основанием несколькими кинематическими цепями [2]. Достоинства манипуляторов, построенных на основе параллельных механизмов, является большая точность и жесткость, высокие рабочие нагрузки [3]. Подобные механизмы обладают меньшими размерами, массовыми характеристиками по сравнению с механизмами последовательной структуры [4]. В итоге существенно повышается динамическая характеристика и точность позиционирования [20].

Идея создания механизма с параллельными кинематическими связями (МПКС) для повышения жесткости системы была предложена и реализована сначала Гью, а затем Стюартом в 50-х – 60-х гг. XX века [5]. В частности, платформа Стюарта, спроектированная в 1965 г., предназначалась для симуляции полета летательных аппаратов.

Высокая точность измерения относительных перемещений платформы и основания позволяет применять механизмы параллельной структуры в особо точных станках, медицине, а парирование воздействий высокочастотных колебаний и ударов от основания к платформе делает целесообразным применение в технологическом оборудовании и системах активной виброизоляции. Особо широкой областью применения механизмов с параллельной структурой является использование их в космической сфере.

Применение многосекционных манипуляторов параллельной структуры в космической программе США иллюстрирует рис. 1.



Рис. 1. Использование ферм переменной геометрии в космической отрасли

Ферма, спроектированная NASA (рис. 2), была ключевым элементом руки робота дальней досягаемости, разработанной для DOE с целью удаления отходов и космического мусора.

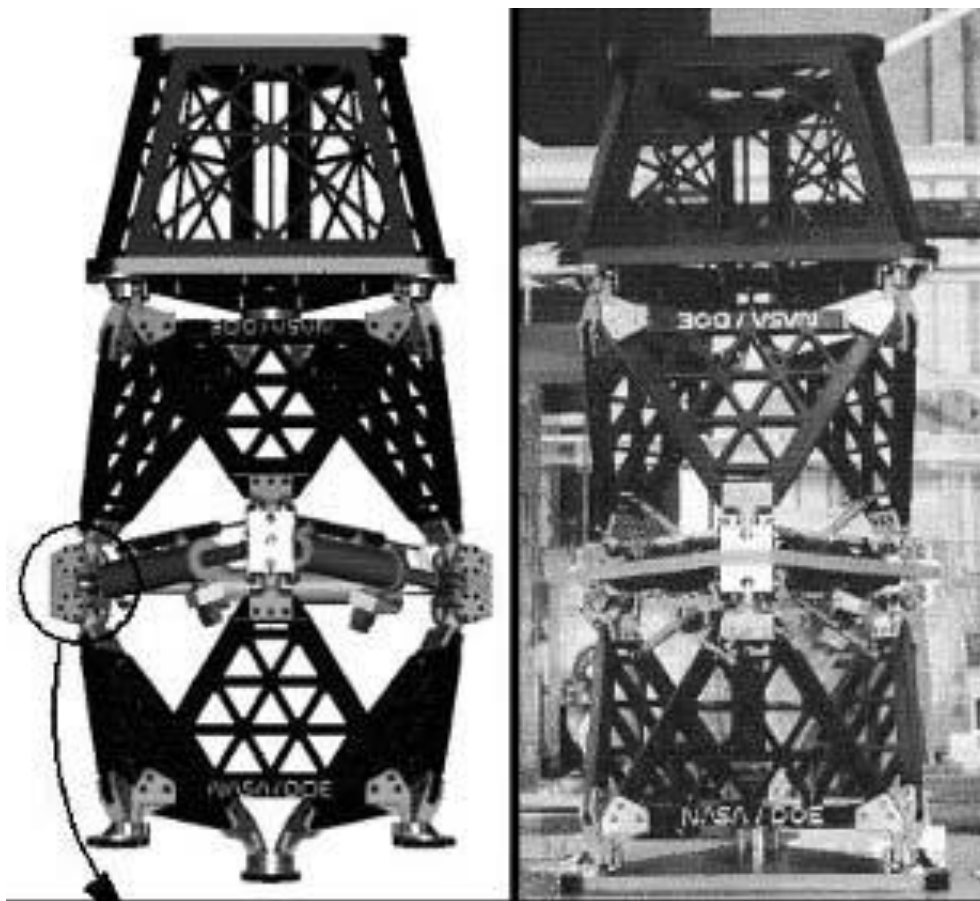


Рис. 2. Ферма, спроектированная NASA для DOE с целью удаления отходов

Также следует упомянуть ферму Колисора [6]. Такая ферма состоит из соединенных между собой параллельных манипуляторов с универсальными и сферическими шарнирами, применение которых при проектировании манипуляторов параллельной структуры было рассмотрено в работе Чирikyяна [7]. Одной из особенностей данного манипулятора является огромное число допустимых положений. Например, схват манипулятора подобной структуры, состоящей из 5 секций, обладает примерно 2^{30} допустимых положений (при допущении, что положение робота определяется для одного и того же набора однородных координат, которые в данном случае являются длинами штанг), в то время как управлять ими сравнительно просто. Подобный механизм, характеризующийся различным типом секций, был спроектирован MIT [8].

Механизмы параллельной кинематики используются при моделировании биологических конструктивных систем, например моделировании протеза руки [9], работы челюстных мышц [10].

Приведенные примеры показывают широкое практическое применение манипуляторов параллельной структуры в различных отраслях промышленности. Внедрение манипуляторов параллельной кинематики является перспективным и актуальным.

Исследование механизмов параллельной кинематики строиться на общих методах теории машин и механизмов основные идеи которых отражены в трудах многих исследователей, таких как И.И. Артоболевский [11], А.П. Бессонов [12], Ф.М. Диметберг [13] и др.

Построение и исследование кинематических моделей механизмов параллельной кинематики рассмотрены в работах В.А. Глазунова, А.Ш. Колискора, Е.И. Юревича, А.П. Карпенко и многих других [14,15,3].

Применение манипуляционных механизмов позволит снизить металлоемкость, повысить жесткость и упростить исполнительную часть манипуляционного механизма.

К недостаткам механизмов параллельной кинематики можно отнести ограниченность рабочей зоны, сложность системы управления, что препятствует широкому применению таких манипуляционных механизмов.

В связи с этим актуальность приобретает задача синтеза геометрических, кинематических параметров механизмов параллельной кинематики и разработка методик их расчета[17-19].

Постановка задачи

Рассматриваемый в данной работе механизм (рис. 3) является разновидностью механизмов параллельной кинематики, практически не исследованный с точки зрения кинематики и динамики. Механизм состоит из нижней неподвижной и верхней подвижной платформ. Верхняя платформа соединяется с нижней шестью подвижными элементами, три из которых стержни, прикрепленные к основаниям с помощью сферических шарниров, и три имеют кривошипно-шатунную структуру.

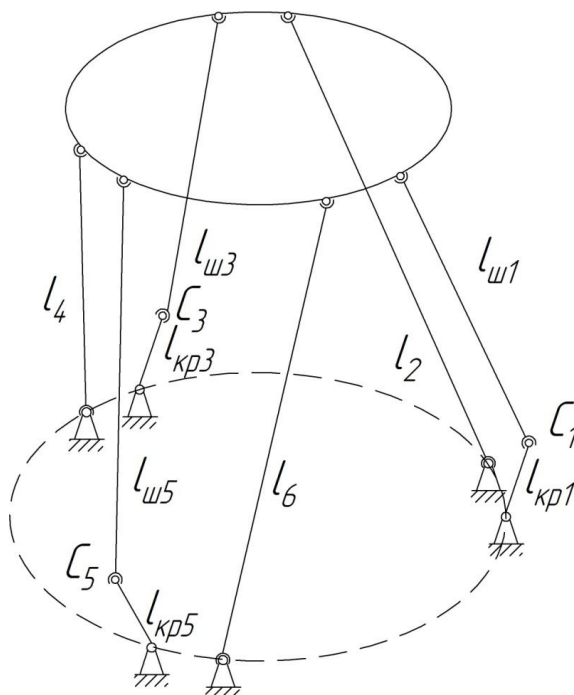


Рис. 3. Структурная схема манипулятора

Шарниры нижней и верхней платформы располагаются попарно и на одинаковом расстоянии от центра платформы, угол между парами шарниров составляет 120° (Рис. 4).

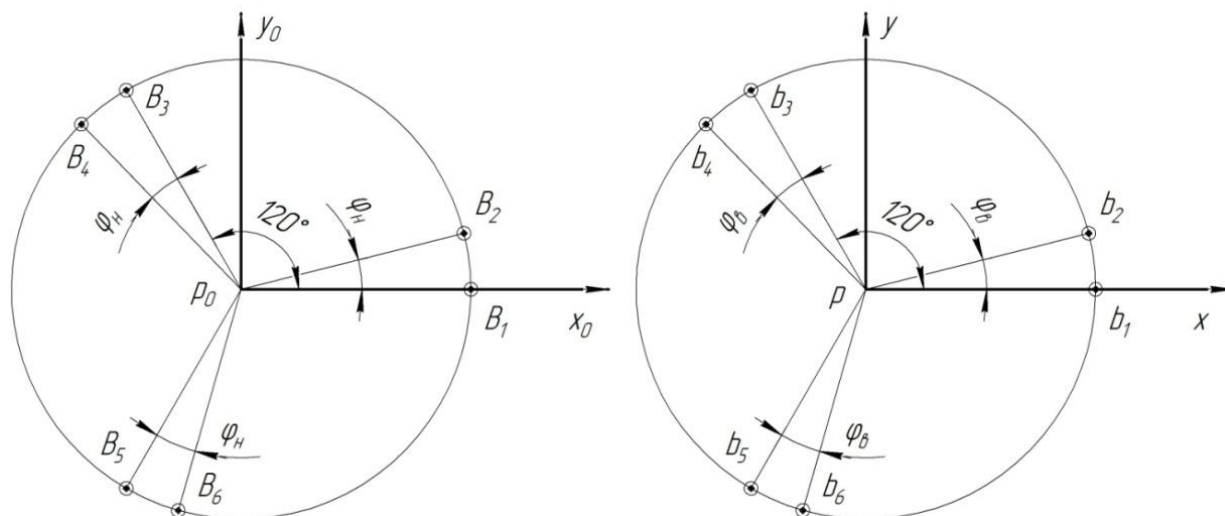


Рис.4. Схема нижней и верхней платформ

Введем обозначения:

B_i – шарниры на нижней платформе;

b_i – шарниры на верхней платформе;

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

φ_6 – угол между шарнирами b_1 и b_2 , b_3 и b_4 , b_5 и b_6 ;

R – расстояние от центра нижней платформы до расположенных на ней шарниров;

r – расстояние от центра верхней платформы до расположенных на ней шарниров;

p_0 – центр нижней платформы;

p – центр верхней платформы;

$l_{kp1}, l_{kp2}, l_{kp3}$ – длины нижних стержней называемых кривошипами,

присоединённых к шарнирам B_1, B_3, B_5 соответственно;

$l_{ш1}, l_{ш2}, l_{ш3}$ – длины присоединенных к ним стержней, называемых шатунами (рис.3).

Обратную задачу кинематики для предложенного манипулятора с тремя степенями свободы на базе кривошипно-шатунного механизма можно сформулировать следующим образом: необходимо определить углы поворота кривошипов, позволяющих достичь заранее заданное положение верхней платформы в пространстве.

Для решения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: а) построить математическую модель, описывающую предложенную выше систему; б) на

основе построенной модели произвести необходимые расчеты, для определения углов поворота кривошипов; в) построить экспериментальную установку для верификации полученной математической модели и проверки достоверности произведенных вычислений.

Предлагаемая модель

Будем считать нижнюю платформу неподвижной и свяжем с ней абсолютную систему координат. Точку отсчета совместим с центром платформы — точкой p_0 , ось X проведем через первый шарнир (B_1), ось Z направим перпендикулярно плоскости нижней платформы, а ось Y расположим в плоскости нижней платформы так, что бы получилась правая система координат (рис. 5).

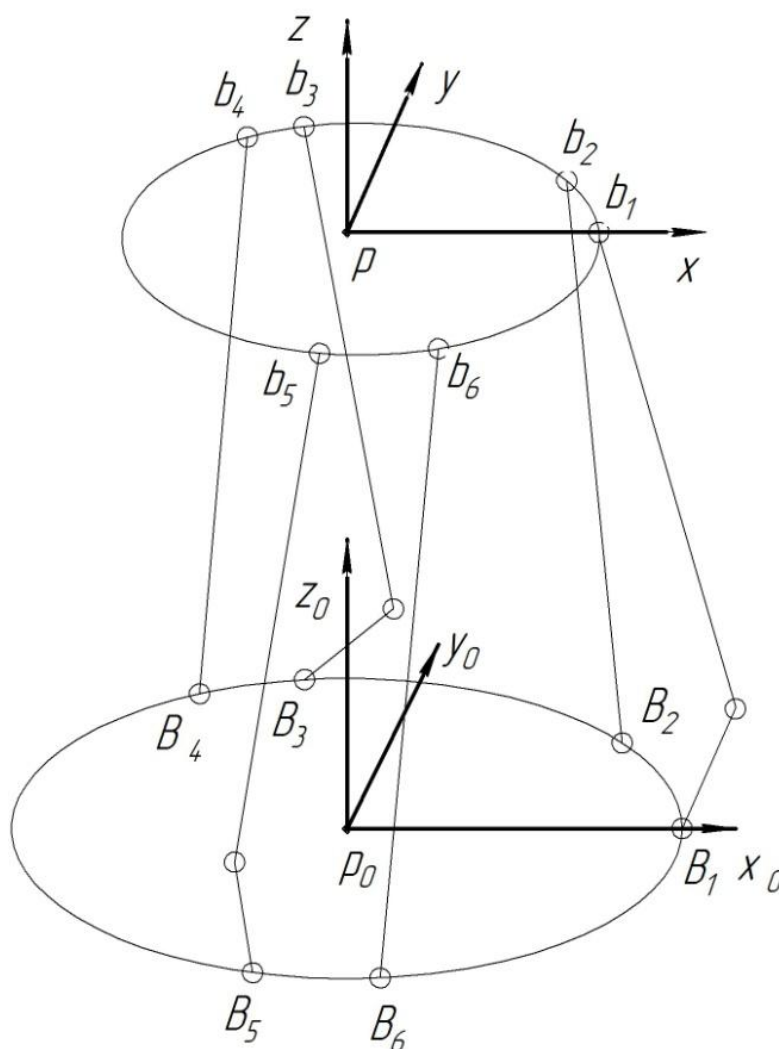


Рис.5. Системы координат

Аналогичным образом построим подвижную систему координат, связанную с верхней (подвижной) платформой.

Тогда координаты шарниров на нижней платформе, в абсолютной системе координат будут равны:

$$\begin{aligned} B_1 &= (R, 0, 0)^T, \\ B_2 &= (R \cos \varphi_n, R \sin \varphi_n, 0)^T, \\ B_3 &= (R \cos 120^\circ, R \sin 120^\circ, 0)^T, \\ B_4 &= (R \cos(120^\circ + \varphi_n), R \sin(120^\circ + \varphi_n), 0)^T, \\ B_5 &= (R \cos 240^\circ, R \sin 240^\circ, 0)^T, \\ B_6 &= (R \cos(240^\circ + \varphi_n), R \sin(240^\circ + \varphi_n), 0)^T. \end{aligned} \quad (1)$$

А координаты шарниров на верхней платформе в подвижной системе координат:

$$\begin{aligned} b_1 &= (r, 0, 0)^T, \\ b_2 &= (r \cos(\varphi_e), r \sin(\varphi_e), 0)^T, \\ b_3 &= (r \cos(120^\circ), r \sin(120^\circ), 0)^T, \\ b_4 &= (r \cos(120^\circ + \varphi_e), r \sin(120^\circ + \varphi_e), 0)^T, \\ b_5 &= (r \cos 240^\circ, r \sin 240^\circ, 0)^T, \\ b_6 &= (r \cos(240^\circ + \varphi_e), r \sin(240^\circ + \varphi_e), 0)^T. \end{aligned} \quad (2)$$

Геометрическое отношение между подвижной и неподвижной платформой представим в виде матрицы однородного преобразования

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

где d_{11}, d_{12}, d_{13} – направляющие косинусы осей x, y, z соответственно, x_p, y_p, z_p – координаты точки p в абсолютной системе координат. Определим положение шарниров верхней платформы в абсолютной системе координат в виде матрицы-столбца $b'_i = (x_i, y_i, z_i, 1)^T = T_p \cdot b_i^*$, где b_i^* получается из b_i добавлением 4й координаты равной 1:

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{T}_p \begin{bmatrix} r \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{11}r + x_p \\ d_{21}r + y_p \\ d_{31}r + z_p \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

далее четвертую координату равную 1 будем игнорировать

$$\begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{bmatrix} = \mathbf{T}_p \begin{bmatrix} r \cos(\varphi_e) \\ r \sin(\varphi_e) \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{11}r \cos(\varphi_e) + d_{12}r \sin(\varphi_e) + x_p \\ d_{21}r \cos(\varphi_e) + d_{22}r \sin(\varphi_e) + y_p \\ d_{31}r \cos(\varphi_e) + d_{32}r \sin(\varphi_e) + z_p \end{bmatrix}, \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} x_3 \\ y_3 \\ z_3 \end{bmatrix} = \mathbf{T}_p \begin{bmatrix} r \cos(120^\circ) \\ r \sin(120^\circ) \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{11}r \cos(120^\circ) + d_{12}r \sin(120^\circ) + x_p \\ d_{21}r \cos(120^\circ) + d_{22}r \sin(120^\circ) + y_p \\ d_{31}r \cos(120^\circ) + d_{32}r \sin(120^\circ) + z_p \end{bmatrix}, \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} x_4 \\ y_4 \\ z_4 \end{bmatrix} = \mathbf{T}_p \begin{bmatrix} r \cos(120^\circ + \varphi_\epsilon) \\ r \sin(120^\circ + \varphi_\epsilon) \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{11}r \cos(120^\circ + \varphi_\epsilon) + d_{12}r \sin(120^\circ + \varphi_\epsilon) + x_p \\ d_{21}r \cos(120^\circ + \varphi_\epsilon) + d_{22}r \sin(120^\circ + \varphi_\epsilon) + y_p \\ d_{31}r \cos(120^\circ + \varphi_\epsilon) + d_{32}r \sin(120^\circ + \varphi_\epsilon) + z_p \end{bmatrix}, \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} x_5 \\ y_5 \\ z_5 \end{bmatrix} = \mathbf{T}_p \begin{bmatrix} r \cos(240^\circ) \\ r \sin(240^\circ) \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{11}r \cos(240^\circ) + d_{12}r \sin(240^\circ) + x_p \\ d_{21}r \cos(240^\circ) + d_{22}r \sin(240^\circ) + y_p \\ d_{31}r \cos(240^\circ) + d_{32}r \sin(240^\circ) + z_p \end{bmatrix}, \quad (7)$$

$$\begin{bmatrix} x_6 \\ y_6 \\ z_6 \end{bmatrix} = \mathbf{T}_p \begin{bmatrix} r \cos(240^\circ + \varphi_\epsilon) \\ r \sin(240^\circ + \varphi_\epsilon) \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{11}r \cos(240^\circ + \varphi_\epsilon) + d_{12}r \sin(240^\circ + \varphi_\epsilon) + x_p \\ d_{21}r \cos(240^\circ + \varphi_\epsilon) + d_{22}r \sin(240^\circ + \varphi_\epsilon) + y_p \\ d_{31}r \cos(240^\circ + \varphi_\epsilon) + d_{32}r \sin(240^\circ + \varphi_\epsilon) + z_p \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Таким образом, преобразования формулы (3)–(8) задают координаты верхней платформы в абсолютной системе координат. Для учета геометрии установки рассмотрим положение кривошипа l_1 в плоскости ZOX (рис. 6)

Из постоянности длин кривошипа и шатуна, а так же условия, что кривошип может вращаться в одной плоскости получим:

$$\begin{cases} l_{kp1} = (X_{b1} - X_{C1})^2 + (Y_{b1} - Y_{C1})^2 + (Z_{b1} - Z_{C1})^2 \\ l_{u1} = (X_{C1} - X_{B1})^2 + (Y_{C1} - Y_{B1})^2 + (Z_{C1} - Z_{B1})^2 \\ X_{C1} = R \end{cases} \quad (9),$$

где X_{bi} , Y_{bi} , Z_{bi} – координаты крепления шарнира шатуна на верхней платформе, X_{Bi} , Y_{Bi} , Z_{Bi} – координаты крепления шарнира кривошипа к серводвигателю на нижней платформе, X_{Ci} , Y_{Ci} , Z_{Ci} – координаты сочленения шатуна с шарниром.

Аналогичным образом можно записать системы, описывающие геометрию для остальных пар кривошип-шатун:

$$\begin{cases} l_{kp3} = (X_{b3} - X_{C3})^2 + (Y_{b3} - Y_{C3})^2 + (Z_{b3} - Z_{C3})^2 \\ l_{u3} = (X_{C3} - X_{B3})^2 + (Y_{C3} - Y_{B3})^2 + (Z_{C3} - Z_{B3})^2 \\ -X_{C3} + \sqrt{3}Y_{C3} - 2R = 0 \end{cases} \quad (10),$$

$$\begin{cases} l_{kp5} = (X_{b5} - X_{C5})^2 + (Y_{b5} - Y_{C5})^2 + (Z_{b5} - Z_{C5})^2 \\ l_{u5} = (X_{C5} - X_{B5})^2 + (Y_{C5} - Y_{B5})^2 + (Z_{C5} - Z_{B5})^2 \\ -X_{C5} - \sqrt{3}Y_{C5} - 2R = 0 \end{cases} \quad (11).$$

Задавая длины стержней l_2 , l_4 , l_6 через координаты шарниров-креплений на верхней и нижней платформах, получим дополнительные ограничения.

$$\begin{cases} l_2^2 = (X_{b2} - X_{B2})^2 + (Y_{b2} - Y_{B2})^2 + (Z_{b2} - Z_{B2})^2 \\ l_4^2 = (X_{b4} - X_{B4})^2 + (Y_{b4} - Y_{B4})^2 + (Z_{b4} - Z_{B4})^2 \\ l_6^2 = (X_{b6} - X_{B6})^2 + (Y_{b6} - Y_{B6})^2 + (Z_{b6} - Z_{B6})^2 \end{cases} \quad (12).$$

Решение обратной задачи кинематики для предложенной установки

Будем считать, что матрица $[\mathbf{T}]_p$ задана и определяет положение подвижной платформы. Система (12) задаёт дополнительные ограничения на матрицу $[\mathbf{T}]_p$, однако необходимого положения в пространстве можно добиться меня угол вращения верхней платформы вокруг оси Z, при условии, что это вращение первое.

Далее необходимо найдем обобщенные координаты, обеспечивающие данное положение верхней платформы. Так как ориентация платформы задается при помощи серводвигателей, то в качестве обобщенных координат возьмём углы наклона α_i кривошипов l_{kpi} к оси OZ (рис. 6). Для нахождения обобщенных координат из систем уравнений (9)-(11) численно определим координаты промежуточных шарниров C_i , затем непосредственно найдем обобщенные координаты α_i :

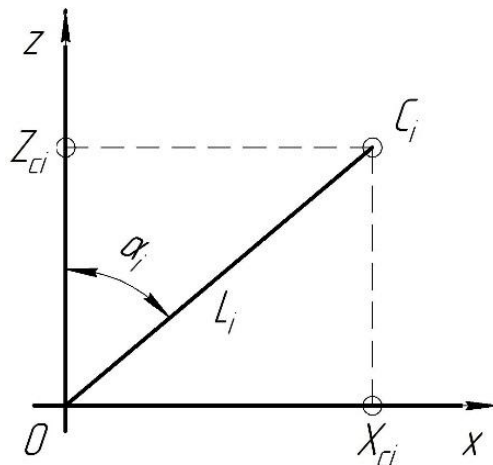


Рис. 6. Кривошип l_{kpi} в плоскости ZOZ

Зная координаты шарниров C_i , найдем обобщённые координаты α_i для всех звеньев:

$$\alpha_1 = \arccos\left(\frac{Z_{c1}}{l_{kp1}}\right), \quad \alpha_2 = \arccos\left(\frac{Z_{c2}}{l_{kp2}}\right), \quad \alpha_3 = \arccos\left(\frac{Z_{c3}}{l_{kp3}}\right)$$

Экспериментальная проверка

Для проверки достоверности построенной модели и корректности решения поставленной задачи была собрана экспериментальная установка (рис. 7). На верхней платформе был закреплен датчик положения платформы в пространстве. В системе matlab была прописана полученная выше математическая модель и построена система управления платформой.

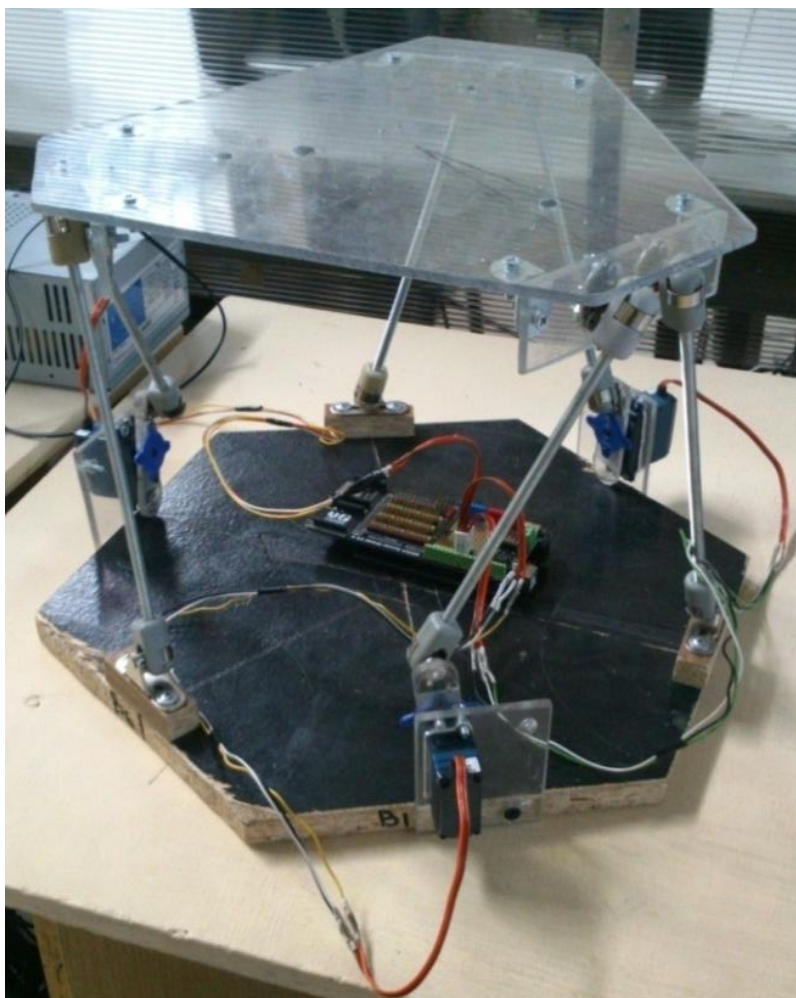


Рис. 7. Экспериментальная установка

В ходе эксперимента задавалась ожидаемое положение платформы (углы Эйлера), далее рассчитывалась матрица $[T]_p$ и вычислялись и выставлялись углы поворота серводвигателей α_i , после чего с датчика снимались показания о реальном положении платформы в пространстве. На рисунках 8 и 9 представлены результаты сравнения ожидаемых и реальных углов поворота платформы в пространстве на примере углов вращения вокруг осей X и Y.

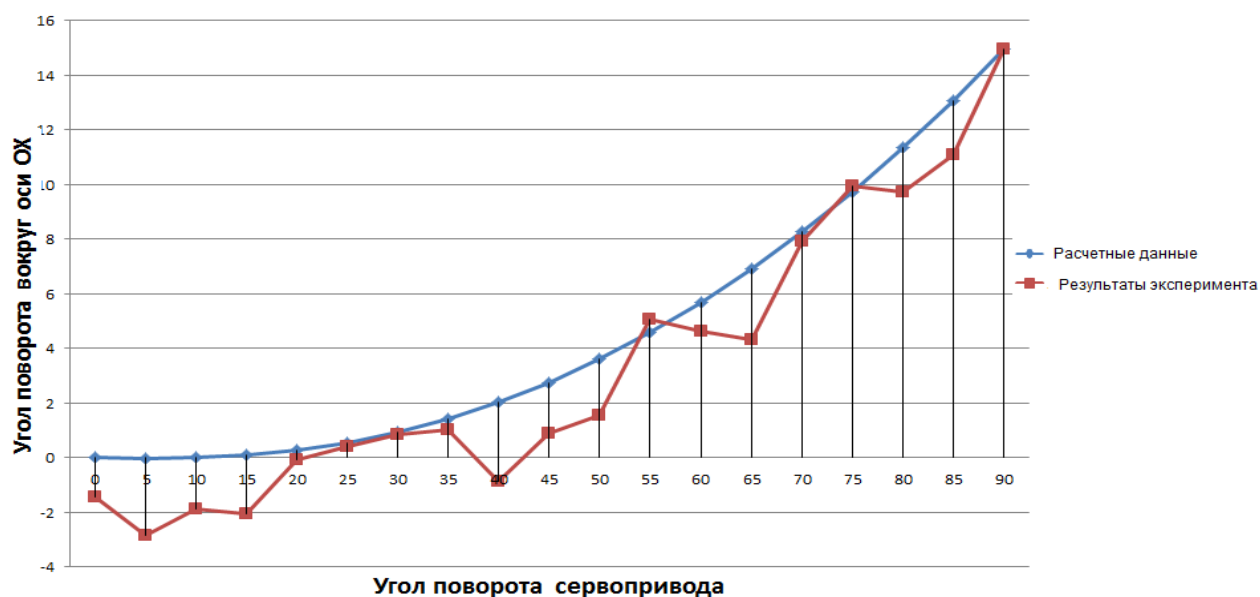


Рис. 8. Сравнение экспериментальных и расчетных данных для угла поворота вокруг оси OX

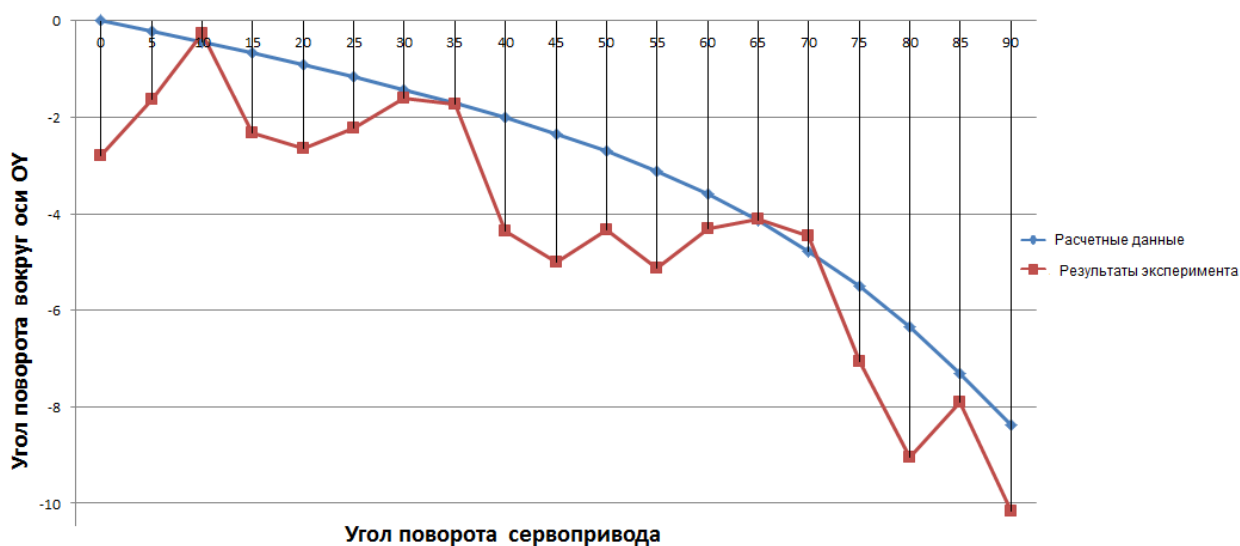


Рис. 9. Сравнение экспериментальных и расчетных данных для угла поворота вокруг оси OY

Заключение

В работе построена математическая модель и рассмотрено решение обратной задачи кинематики для разновидности платформенного манипулятора параллельной структуры с тремя степенями свободы, на базе кривошипно-шатунного механизма. Отличительными особенностями полученной модели является: а) решение получено для кинематической модели отличной от классических манипуляторов параллельной структуры с тремя степенями свободы, б) в качестве обобщенных координат применяются углы наклона кривошипов, что позволяет использовать полученную модель для разработки систем управления подобными платформами, в) экспериментальная проверка показала, что построенная модель хорошо согласуется с наблюдаемыми на практике результатами.

Список литературы

1. Глазунов В.А., Колискор А.Ш., Крайнев А.Ф. Пространственные механизмы параллельной структуры. М.: Наука, 1991. 95 с.
2. 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.
3. Каганов Ю.Т., Карпенко А.П. Математическое моделирование кинематики и динамики робота-манипулятора типа «хобот». 1. Математические модели секции манипулятора, как механизма параллельной кинематики типа «трипод» // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. 2009. № 10. Режим доступа: <http://technomag.bmstu.ru/doc/133731.html> (дата обращения 01.08.2015).
4. Лапиков А.Л., Пашенко В.Н. Математическая модель платформенного манипулятора Гью–Стюарта // Всероссийская научно-техническая конференция «Наукоемкие технологии в приборо- и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе» (Москва, 10-12 декабря 2013 г.): матер. Т. 2. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. С. 144-156.
5. Stewart D. A Platform with Six Degrees of Freedom // Proceedings of the UK Institution of Mechanical Engineers. 1965. Vol. 180, part 1, no. 15. P. 371-386. DOI: [10.1243/PIME_PROC_1965_180_029_02](https://doi.org/10.1243/PIME_PROC_1965_180_029_02)
6. Koliskor A.Sh. The I-coordinate approach to the industrial robot design // 5th IFAC/IFIP/IMACS/IFORS Symposium, Suzdal, USSR, April 22-25, 1986. P. 108-115.
7. Chirikjian G.S. A binary paradigm for robotic manipulators // Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation – ICRA (San Diego, May 8-13, 1994). Vol. 4. IEEE Publ., 1994. P. 3063-3070. DOI: [10.1109/ROBOT.1994.351099](https://doi.org/10.1109/ROBOT.1994.351099)
8. Culpepper M.L., Chen S-C. Design of precision manipulator using binary actuation and differential compliant mechanisms // ASPE 18th Annual Meeting, Portland, October 26-31, 2003. Available at: http://www.aspe.net/publications/Annual_2003/PDF/2equip/6novel/1310.PDF , accessed 01.08.2015.
9. Mendoza-Vázquez J.R., Tlelo-Cuautle E., Vázquez-Gonzalez J.L., Escudero-Uribe A.Z. Simulation of a Parallel Mechanical Elbow with 3 DOF // Journal of Applied Research and Technology. 2009. Vol. 7, no. 2. P. 113-123.
10. Pap J-S., Xu W.L., Bronlund J. A robotic human masticatory system: kinematics simulations // International Journal of Intelligent Systems Technologies and Applications. 2005. Vol. 1, no. 1/2. P. 3-16. DOI: [10.1504/IJISTA.2005.007304](https://doi.org/10.1504/IJISTA.2005.007304)
11. Артоболевский И.И., Левитский Н.И., Черкудинов С.А. Синтез плоских механизмов. М.: Физматгиз, 1959. 184 с.

12. Бессонов А.П. Основы динамики механизмов с переменной массой. М.: Наука, 1967. 279 с.
13. Диментберг Ф.М. Об особенных положениях пространственных механизмов // Машиноведение. 1977. № 5. С. 53-58.
14. Глазунов В.А., Колискор А.Ш., Крайнев А.Ф. Пространственные механизмы параллельной структуры. М.: Наука, 1991. 95 с.
15. Юревич Е.И. Основы робототехники. 2-е изд., перераб. и доп. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 416 с.
16. Ebert-Uphoff I., Chirikjian G.S. Inverse kinematics of discretely actuated hyper-redundant manipulators using workspace densities // Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation – ICRA (Minneapolis, April 24-26, 1996). Vol. 1. IEEE Publ., 1996. P. 139-145. DOI: [10.1109/ROBOT.1996.503586](https://doi.org/10.1109/ROBOT.1996.503586)
17. Янг Д., Ли Т. Исследование кинематики манипуляторов платформенного типа // Конструирование. 1984. Т. 106, № 2. С. 264-272. [Yang D.C., Lee T.W. Feasibility Study of a Platform Type of Robotic Manipulators from a Kinematic Viewpoint // Journal of Mechanisms, Transmission and Automation in Design. 1984. Vol. 106, no. 2. P. 191-198. DOI: [10.1115/1.3258578](https://doi.org/10.1115/1.3258578)].
18. Пащенко В.Н. Концептуальная модель автоматизированного синтеза многосекционных манипуляторов, основанных на параллельных структурах // Инженерный журнал: наука и инновации. 2013. № 8. DOI: [10.18698/2308-6033-2013-8-986](https://doi.org/10.18698/2308-6033-2013-8-986)
19. Angeles J. The Qualitative Synthesis of Parallel Manipulators // Journal of Mechanical Design. 2004. Vol. 126, iss. 4. P. 617-624. DOI: [10.1115/1.1667955](https://doi.org/10.1115/1.1667955)
20. Лапиков А.Л., Пащенко В.Н., Середин П.В., Артемьев А.В. Динамическая модель манипулятора платформенного типа с шестью степенями свободы // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. 2015. № 5. С. 59-81. DOI: [10.7463/0515.0771033](https://doi.org/10.7463/0515.0771033)

The Inverse Kinematic Problem Solution for the Slider-crank Mechanism-based Parallel Structure Manipulator with Three Degrees of Freedom

A.V. Romanov¹, V.N. Paschenko^{1,*}

[*pashenkovn@inbox.ru](mailto:pashenkovn@inbox.ru)

¹Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Keywords: mathematical modeling, parallel structure platform, control systems

The paper discusses a mechanism, which is a modification of the parallel kinematics mechanisms with three degrees of freedom (DOF) based on the slider-crank mechanism. The mechanism comprises a lower fixed and an upper movable platforms. The upper platform is connected to the lower one by six movable elements. Three of these elements are rods attached to the bases by means of spherical joints and three other ones have a slider-crank structure.

An approach based on the mathematical modeling methods to solve an inverse kinematics is presented. The inverse kinematics problem was formulated as follows: to determine the value of crank angles, allowing us to achieve a specified position of the upper platform in space. To check the correctness of the solution was made an experimental unit. Also a set of required sensors and control boards were defined and an experiment design was provided. The paper presents comparison results of measurements with the calculated values of the generalized coordinates and draws appropriate conclusions. One of the distinctive features of the proposed approach is that the motor rotation angles are used as the generalized coordinates. So the paper formulates the possibilities to use the constructed model for the further development of control systems on its basis.

References

1. Glazunov V.A., Koliskor A.Sh., Krainev A.F. *Prostranstvennye mekhanizmy parallel'noi struktury* [Spatial mechanisms of the parallel structure]. Moscow, Nauka Publ., 1991. 96 p. (in Russian).
2. Glazunov V.A., Lastochkin A.B., Shalyukhin K.A., Danilin P.O. Analysis and classification of manipulating devices. *Problemy mashinostroeniya i nadezhnosti mashin*, 2009, no. 4, pp. 81-85. (in Russian).
3. Kaganov Yu.T., Karpenko A.P. Kinematics and dynamics mathematical modeling of a trunk robot-manipulator. 1. Mathematical models of the manipulator section as the type “thripod” parallel mechanism. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana = Science and Educa-*

tion of the Bauman MSTU, 2009, no. 10. Available at:

<http://technomag.bmstu.ru/doc/133731.html> , accessed 01.08.2015. (in Russian).

4. Lapikov A.L., Pashchenko V.N. Mathematical model of Stewart-Gough platform manipulator. *Vserossiyskaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya "Naukoemkie tekhnologii v priboro- i mashinostroenii i razvitie innovatsionnoy deyatel'nosti v vuze": mater.* [Proc. of the All-Russian Scientific and Technical Conference "High technologies in instrument-making engineering and mechanical engineering, and the development of innovation activities in high school"], Moscow, 10-12 December, 2013. Vol. 2. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2013, pp. 144-156. (in Russian).
5. Stewart D. A Platform with Six Degrees of Freedom. *Proceedings of the UK Institution of Mechanical Engineers*, 1965, vol. 180, pt. 1, no. 15, pp. 371-386. DOI: [10.1243/PIME_PROC_1965_180_029_02](https://doi.org/10.1243/PIME_PROC_1965_180_029_02)
6. Koliskor A.Sh. The I-coordinate approach to the industrial robot design. *Proc. of the 5th IFAC/IFIP/IMACS/IFORS Symposium*, Suzdal, USSR, April 22-25, 1986, pp. 108-115. (in Russian).
7. Chirikjian G.S. A binary paradigm for robotic manipulators. *Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation – ICRA*, San Diego, May 8-13, 1994. Vol. 4. IEEE Publ., 1994, pp. 3063-3070. DOI: [10.1109/ROBOT.1994.351099](https://doi.org/10.1109/ROBOT.1994.351099)
8. Culpepper M.L., Chen S-C. Design of precision manipulator using binary actuation and differential compliant mechanisms. *Proc. of the ASPE 18th Annual Meeting*, Portland, October 26-31, 2003. Available at: http://www.aspe.net/publications/Annual_2003/PDF/2equip/6novel/1310.PDF , accessed 01.08.2015.
9. Mendoza-Vázquez J.R., Tlelo-Cuautle E., Vázquez-Gonzalez J.L., Escudero-Uribe A.Z. Simulation of a Parallel Mechanical Elbow with 3 DOF. *Journal of Applied Research and Technology*, 2009, vol. 7, no. 2, pp. 113-123.
10. Pap J-S., Xu W.L., Bronlund J. A robotic human masticatory system: kinematics simulations. *International Journal of Intelligent Systems Technologies and Applications*, 2005, vol. 1, no. 1/2, pp. 3-16. DOI: [10.1504/IJISTA.2005.007304](https://doi.org/10.1504/IJISTA.2005.007304)
11. Artobolevskii I.I., Levitskii N.I., Cherkudinov S.A. *Sintez ploskikh mekhanizmov* [Synthesis of planar mechanisms]. Moscow, Fizmatgiz Publ., 1959. 184 p. (in Russian).
12. Bessonov A.P. *Osnovy dinamiki mekhanizmov s peremennoy massoy zven'ev* [Fundamentals of dynamics of mechanisms with variable mass]. Moscow, Nauka Publ., 1967. 268 p. (in Russian).
13. Dimentberg F.M. Special positions of spatial mechanisms. *Machine Science*, 1977, no. 5, pp. 53-58. (in Russian).
14. Glazunov V.A., Koliskor A.Sh., Kraynev A.F. *Prostranstvennyye mekhanizmy parallel'noy struktury* [Spatial Parallel Structure Mechanisms]. Moscow, Nauka Publ., 1991. 94 p. (in Russian).

15. Yurevich E.I. *Osnovy robototekhniki* [Fundamentals of robotics]. St. Petersburg, BKhV-Peterburg Publ., 2005. 416 p. (in Russian).
16. Ebert-Uphoff I., Chirikjian G.S. Inverse kinematics of discretely actuated hyper-redundant manipulators using workspace densities. *Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation – ICRA*, Minneapolis, April 24-26, 1996. Vol. 1. IEEE Publ., 1996, pp. 139-145. DOI: [10.1109/ROBOT.1996.503586](https://doi.org/10.1109/ROBOT.1996.503586)
17. Yang D.C., Lee T.W. Feasibility Study of a Platform Type of Robotic Manipulators from a Kinematic Viewpoint. *Journal of Mechanisms, Transmission and Automation in Design*, 1984, vol. 106, no. 2, pp. 191-198. DOI: [10.1115/1.3258578](https://doi.org/10.1115/1.3258578)
18. Pashenko V.N. Conceptual model for automated synthesis based on multiple manipulators parallel structures. *Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovatsii = Engineering Journal: Science and Innovation*, 2013, no. 8. DOI: [10.18698/2308-6033-2013-8-986](https://doi.org/10.18698/2308-6033-2013-8-986) (in Russian).
19. Angeles J. The Qualitative Synthesis of Parallel Manipulators. *Journal of Mechanical Design*, 2004, vol. 126, iss. 4, pp. 617-624. DOI: [10.1115/1.1667955](https://doi.org/10.1115/1.1667955)
20. Lapikov A.L., Pashchenko V.N., Seredin P.V., Artem'ev A.V. Dynamic Model of Platform Manipulator with Six Degrees of Freedom. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana = Science and Education of the Bauman MSTU*, 2015, no. 5, pp. 59-81. DOI: [10.7463/0515.0771033](https://doi.org/10.7463/0515.0771033) (in Russian).