

УДК 621.01

СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ РОБОТОВ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ С ЧАСТИЧНОЙ РАЗВЯЗКОЙ

© Сергей Михайлович Демидов

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт
машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, Москва, Россия
chipd@rambler.ru,

Аннотация. Представлен структурный синтез и анализ роботов параллельной структуры с частичной кинематической развязкой. Методика структурного анализа и синтеза построена на винтовом исчислении, а также на структурной формуле Куцбаха.

Ключевые слова: механизм параллельной структуры, винтовое исчисление, кинематическая развязка, силовые винты.

STRUCTURAL SYNTHESIS OF PARALLEL ROBOTS STRUCTURE WITH PARTIAL DECOUPLING

S.M. Demidov

Federal Budget-Funded Mechanical Engineering Research Institute, RAS, Moscow, Russia

Abstract. Presents structural synthesis and analysis of parallel robots kinematic structure with partial decoupling. Methods of synthesis and structural analysis is based on calculating the screw, as well as in structural formula Kutzbach.

Key words: mechanism of parallel structure, screw calculus, kinematic decoupling, power screws.

Рассмотрим сферический робот параллельной структуры (Рис. 1). Каждая кинематическая цепь состоит из одной приводной вращательной пары (вращательный двигатель), расположенной на основании, и двух вращательных шарниров, причем оси всех пар пересекаются в одной точке (Рис. 1, а). Единичные винты, характеризующие положения осей указанных кинематических пар, имеют координаты (все винты имеют нулевой параметр, а центр координат выбран в точке O , где пересекаются оси всех пар): $E_{11} (1, 0, 0, 0, 0, 0)$, $E_{12} (e_{12x}, e_{12y}, e_{12z}, 0, 0, 0)$, $E_{13} (e_{13x}, e_{13y}, e_{13z}, 0, 0, 0)$, $E_{21} (0, 1, 0, 0, 0, 0)$, $E_{22} (e_{22x}, e_{22y}, e_{22z}, 0, 0, 0)$, $E_{23} (e_{23x}, e_{23y}, e_{23z}, 0, 0, 0)$, $E_{31} (0, 0, 1, 0, 0, 0)$, $E_{32} (e_{32x}, e_{32y}, e_{32z}, 0, 0, 0)$, $E_{33} (e_{33x}, e_{33y}, e_{33z}, 0, 0, 0)$.

Все три кинематические цепи налагают одинаковые связи, так что между выходным звеном и основанием теоретически можно установить еще любое количество таких цепей, и число степеней свободы останется равным трем [1-3]. Силовые винты связей, налагаемых кинематическими цепями, имеют координаты (Рис. 1, б): $R_1 (1, 0, 0, 0, 0, 0)$, $R_2 (0, 1, 0, 0, 0, 0)$, $R_3 (0, 0, 1, 0, 0, 0)$, это винты нулевого параметра. Все кинематические винты движения выходного звена могут быть представлены как винты, взаимные указанным силовым винтам (Рис. 1, б): $\Omega_1 (1, 0, 0, 0, 0, 0)$, $\Omega_2 (0, 1, 0, 0, 0, 0)$, $\Omega_3 (0, 0, 1, 0, 0, 0)$. Это также винты нулевого параметра

Укажем на возможные сингулярности, связанные с потерей одной или нескольких степеней свободы. Это возможно, если кинематические винты, соответствующие ортам E_{i1} , E_{i2} и E_{i3} ($i = 1, 2, 3$) линейно зависимы, что имеет место, если оси этих винтов компланарны (они расположены в одной плоскости). В частности, если единичные винты $E_{11} (1, 0, 0, 0, 0, 0)$, $E_{12} (e_{12x}, e_{12y}, e_{12z}, 0, 0, 0)$, $E_{13} (e_{13x}, e_{13y}, e_{13z}, 0, 0, 0)$ компланарны (Рис. 1, в),

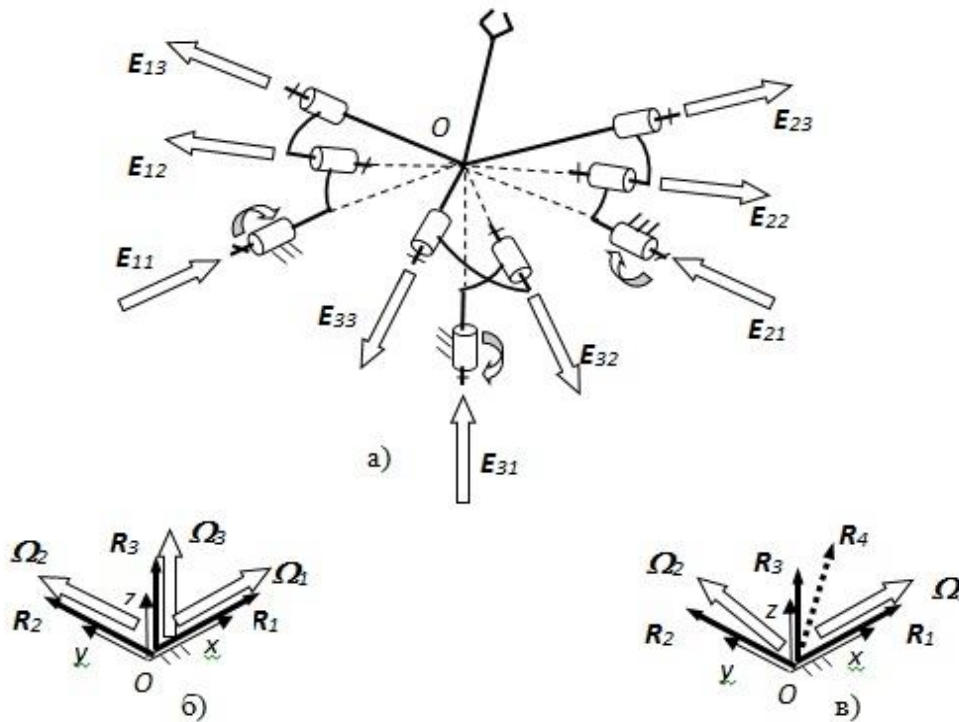


Рис. 1

то имеется четыре силовых винта связей, налагаемых кинематическими цепями: $R_1(1, 0, 0, 0, 0, 0)$, $R_2(0, 1, 0, 0, 0, 0)$, $R_3(0, 0, 1, 0, 0, 0)$, $R_4(0, 0, 0, 0, r_{4y}, r_{4z})$, и только два кинематических винта движения выходного звена, взаимные указанным силовым винтам $\Omega_1(1, 0, 0, 0, 0, 0)$ и $\Omega_2(\omega_{2x}, \omega_{2y}, \omega_{2z}, 0, 0, 0)$, это винты нулевого параметра. Силовой винт R_4 имеет бесконечно большой параметр, он перпендикулярен осям E_{11} , E_{12} , E_{13} .

Если все приводы зафиксированы, то имеют место шесть силовых винтов [3-4], налагаемых кинематическими цепями: $R_1(1, 0, 0, 0, 0, 0)$, $R_2(0, 1, 0, 0, 0, 0)$, $R_3(0, 0, 1, 0, 0, 0)$, $R_4(0, 0, 0, r_{4x}, r_{4y}, r_{4z})$, $R_5(0, 0, 0, r_{5x}, r_{5y}, r_{5z})$, $R_6(0, 0, 0, r_{6x}, r_{6y}, r_{6z})$. Силовые винты R_4, R_5, R_6 имеют бесконечный параметр. Возможны особые положения, соответствующие неуправляемому бесконечно малому движению выходного звена, это имеет место, если силовые винты $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6$ линейно зависимы. Такая ситуация возникает, если силовые винты R_4, R_5, R_6 компланарны. В этом случае существует кинематический винт нулевого параметра $\Omega(\omega_x, \omega_y, \omega_z, 0, 0, 0)$, который перпендикулярен осям винтов R_4, R_5, R_6 и, следовательно, взаимен всем винтам $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6$.

По формуле Куцбаха можно найти число степеней свободы представленного робота со сферическими степенями свободы.

$$W = 3(8-1-9)+1+1+1+1+1+1+1+1+1=3.$$

При этом:

λ – размерность пространства, равна 3

n – число всех звеньев робота, включая основание, равно 8

m – число всех сочленений робота, которые иначе именуется кинематическими парами, равно 9, все сочленения имеют одну степень свободы.

Теперь рассмотрим плоский робот параллельной структуры (Рис. 2). Каждая кинематическая цепь состоит или из одной вращательной пары и двух поступательных пар (причем ось вращательной пары перпендикулярна осям поступательных пар), или из двух вращательных пары и одной поступательной пары (причем оси вращательных пар перпендикулярны оси поступательной пары), или из трех вращательных пар с параллельными осями (Рис. 2, а). В нашем роботе две кинематические цепи содержат по две вращательные пары с параллельными осями и одной приводной поступательной паре, а одна кинематическая цепь содержит вращательную приводную пару, установленную на основании и две поступательные пары, выполненные в виде шарнирных параллелограммов. Единичные винты, характеризующие положения осей указанных кинематических пар, имеют координаты: $E_{11}(0, 0, 1, 0, 0, 0)$, $E_{12}(0, 0, 0, e_{12x}, e_{12y}, 0)$, $E_{13}(0, 0, 1, e_{13x}, e_{13y}, 0)$, $E_{21}(0, 0, 1, 0, 0, 0)$, $E_{22}(0, 0, 0, e_{22x}, e_{22y}, 0)$, $E_{23}(0, 0, 1, e_{23x}, e_{23y}, 0)$, $E_{31}(0, 0, 1, 0, 0, 0)$, $E_{32}(0, 0, 0, e_{32x}, e_{32y}, 0)$, $E_{33}(0, 0, 0, e_{33x}, e_{33y}, 0)$. Винты E_{12} , E_{13} , E_{22} и E_{32} бесконечно большого параметра, все остальные винты нулевого параметра.

Все три кинематические цепи налагают одинаковые связи, так что между выходным звеном и основанием теоретически можно установить еще любое количество таких цепей, и число степеней свободы останется равным трем[3-4]. Силовые винты связей, налагаемых кинематическими цепями, имеют координаты (Рис. 2, б): $R_1(0, 0, 0, 1, 0, 0)$, $R_2(0, 0, 0, 0, 1, 0)$, $R_3(0, 0, 1, 0, 0, 0)$. Все кинематические винты движения выходного звена могут быть представлены как винты, взаимные указанным силовым винтам (Рис. 2, б): $\Omega_1(0, 0, 0, 1, 0, 0)$, $\Omega_2(0, 0, 0, 0, 1, 0)$, $\Omega_3(0, 0, 1, 0, 0, 0)$. Винты Ω_1 и Ω_2 бесконечного параметра, винт Ω_3 нулевого параметра.

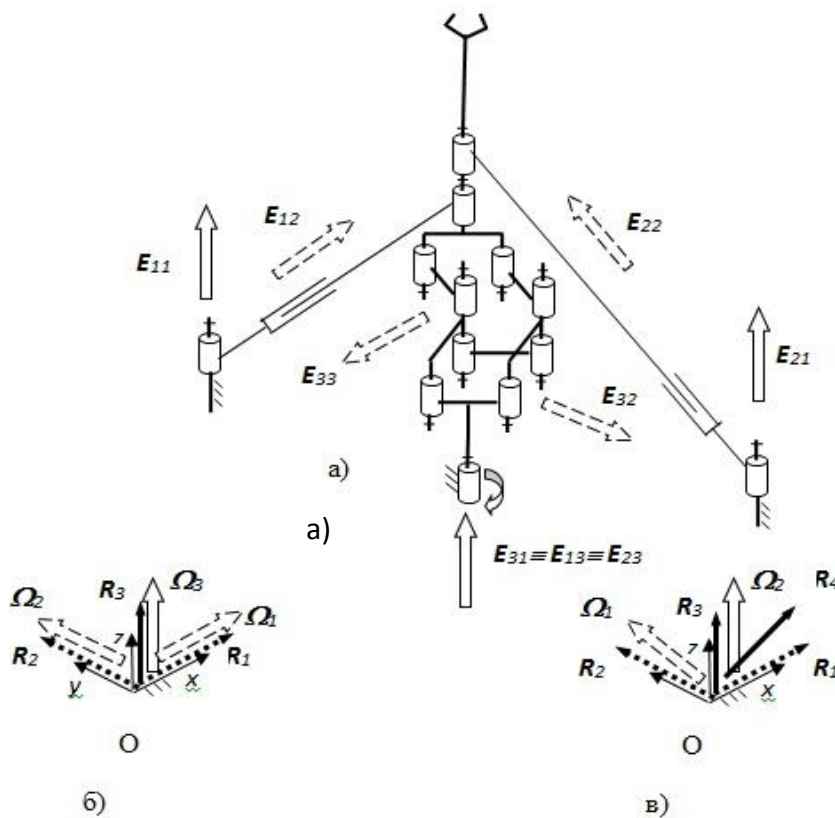


Рис. 2

Укажем на сингулярности, связанные с потерей одной или нескольких степеней свободы. Это возможно, если кинематические винты, соответствующие ортам E_{i1} , E_{i2} и E_{i3} ($i = 1, 2, 3$) линейно зависимы, что имеет место, если два винта E_{i1} и E_{i3} ($i = 1, 2$) расположились по

одной прямой или если два винта E_{32} , E_{33} параллельны. В частности, если $E_{32} = E_{33}$ (Рис. 2, в) то существуют четыре силовых винта связей, налагаемых кинематическими цепями: $R_1(0, 0, 0, 1, 0, 0)$, $R_2(0, 0, 0, 0, 1, 0)$, $R_3(0, 0, 1, 0, 0, 0)$, $R_4(r_{4x}, r_{4y}, 0, 0, 0, 0)$ и только два кинематических винта движения выходного звена, взаимные этим винтам $\Omega_1(0, 0, 0, v_{1x}, v_{1y}, 0)$ и $\Omega_2(0, 0, 1, 0, 0, 0)$. Отметим, что R_4 перпендикулярен к E_{32} и E_{33} , и Ω_1 параллелен им.

Если все приводы зафиксированы, то имеют место шесть силовых винтов, налагаемых кинематическими цепями: $R_1(0, 0, 0, 1, 0, 0)$, $R_2(0, 0, 0, 0, 1, 0)$, $R_3(0, 0, 1, 0, 0, 0)$, $R_4(r_{4x}, r_{4y}, 0, 0, 0, 1)$, $R_5(r_{5x}, r_{5y}, 0, 0, 0, 1)$ и $R_6(0, 0, 0, 0, 0, 1)$. Силовые винты R_4 и R_5 , нулевого параметра, они расположены вдоль осей приводов первой и второй кинематических цепей, силовой винт R_6 имеет бесконечно большой параметр. Возможны особые положения, соответствующие неуправляемому бесконечно малому движению выходного звена, это имеет место, если силовые винты R_1 , R_2 , R_3 , R_4 , R_5 , R_6 линейно зависимы. Такая ситуация возникает, если силовые винты R_4 и R_5 совпадают. В этом случае существует кинематический винт бесконечно большого параметра $\Omega(0, 0, 0, v_x, v_y, 0)$, который перпендикулярен осям силовых винтов R_4 и R_5 , следовательно, взаимен всем силовым винтам R_1 , R_2 , R_3 , R_4 , R_5 , R_6 .

Этот робот обладает свойством частичной кинематической развязки. Дело в том, что в третьей кинематической цепи начальное звено первого параллелограмма и конечное звено второго параллелограмма связаны соответственно с вращательным приводом и с выходным звеном механизма в серединах указанных звеньев параллелограммов, а конечное звено первого параллелограмма совпадает с начальным звеном второго параллелограмма. Это обуславливает то, что первый и второй двигатели обеспечивают положение выходного звена при постоянной ориентации, а третий двигатель обеспечивает ориентацию выходного звена. [1-4]

По формуле Куцбаха можно найти число степеней свободы представленного робота со степенями свободы, соответствующими движением в плоскости.

$$W = 3(8-1-9) + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 = 3.$$

При этом:

λ – размерность пространства, равна 3

n – число всех звеньев робота, включая основание, равно 8

m – число всех сочленений робота, которые иначе именуется кинематическими парами, равно 9.

все сочленения имеют одну степень свободы

Таким образом, в статье представлен структурный синтез и анализ роботов параллельной структуры с частичной кинематической развязкой. Методика структурного анализа и синтеза построена на винтовом исчислении, а также на структурной формуле Куцбаха. При этом некоторые промежуточные узлы, например параллелограммные механизмы представляются как сочленения с одной степенью свободы.

Список Литературы

1. Merlet J.-P. Parallel Robots. Kluwer Académie Publishers, 2000. 372 p.
2. Arakelian V., Guegan S., Briot S. Static and Dynamic Analysis of the PAMINSA // ASME 2005. International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference. Long Beach, Californie. USA. 2005. P. 24 - 28.
3. Диментберг Ф.М. Теория винтов и ее приложения. М.: Наука, 1978, 327 с.
4. Глазунов В.А., Колискор А.Ш., Крайнев А.Ф. Пространственные механизмы параллельной структуры. М.: Наука, 1991