

СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ МЕХАНИЗМОВ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ С ЧЕТЫРЬМЯ И ШЕСТЬЮ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ

М.А. Ширинкин

В статье рассмотрены пространственные механизмы параллельной структуры с четырьмя и шестью степенями свободы. Представлено решение задачи структурного анализа. Рассмотрены некоторые варианты применения данных механизмов.

Ключевые слова: механизм параллельной структуры, структурный анализ, применение механизмов параллельной структуры.

Введение

Манипуляционные механизмы параллельной структуры имеют ряд преимуществ перед аналогичными механизмами роботов с открытой кинематической цепью [1–3]. Многоподвижная замкнутая кинематическая цепь механизма параллельной структуры обеспечивает более высокую жесткость его конструкции, что приводит к уменьшению размеров и массы подвижных звеньев и к увеличению точности позиционирования.

Формирование механизма сопровождается наложением связей на соединения его отдельных частей. В связи с этим при проектировании необходимо из множества разнообразных механизмов выбрать самый подходящий, правильно определить его структурные элементы и провести структурный анализ механизма.

Данная статья посвящена определению параметров структуры механизма с четырьмя и шестью степенями свободы.

Постановка задачи

В работе ставится задача определения количества звеньев и кинематических пар, классификации кинематических пар, определения степени подвижности и количества избыточных связей механизмов параллельной структуры. Для многих операций манипулирования требуется не более шести степеней свободы механизма, три из которых поступательные и три вращательные. Основой структурного анализа механизма с четырьмя степенями свободы будет служить принцип частичной кинематической развязки, при которой вертикальные пере-

мещения механизма независимы от движения в плоскости. Поступательное движение подвижной платформы по вертикали осуществляется одним приводом поступательного перемещения. Перемещения в плоскости по трем степеням свободы осуществляются тремя двигателями вращательного перемещения.

Решение задачи структурного анализа

Структурный анализ манипулятора проводят исходя из общих закономерностей строения различных механизмов. Существуют структурные формулы механизмов, связывающие число степеней свободы W механизма с числом звеньев и числом и видом его кинематических пар.

Для построения требуемого манипулятора параллельной структуры используем плоский механизм, имеющий три степени свободы (рис. 1), а также дополнительный двигатель поступательного перемещения, осуществляющий вертикальное движение всего механизма (рис. 2). Вначале исследуем структуру плоского механизма.

Используем структурную формулу Чебышева для плоского механизма:

$$W = 3(n - 1) - 2p_5 - p_4,$$

где n – число звеньев; p_5 – число пар пятого класса (одноподвижных пар); p_4 – число пар четвертого класса (двухподвижных пар).

Для плоского механизма имеем:

$$W = 3(8 - 1) - 2 \cdot 9 - 0 = 3.$$

Далее в плоский механизм добавляем возможность передвижения по вертикали. Двигатель поступательного вертикального перемещения, жестко закрепленный на основании, перемещает весь плоский механизм, включая двигатели вращательного перемещения (см. рис. 2). В данном случае для определения полного числа степеней свободы нельзя воспользоваться формулой Чебышева. В то же время для этого не подходит и формула Сомова – Малышева, поскольку плоский механизм, имея три степени свободы, обладает избыточными связями с точки зрения структуры пространственных механизмов.

Подсчитаем число степеней свободы для плоского механизма на рис. 1 по формуле Сомова – Малышева:

$$W = 6(n - 1) - 5p_5 - 4p_4 - 3p_3 - 2p_2 - p_1; \quad (1)$$

$$W = 6 \cdot 7 - 5 \cdot 9 = -3.$$

Определим число степеней свободы для механизма на рис. 2 по формуле (1):

$$W = 6 \cdot 8 - 5 \cdot 10 = -2.$$

Однако можно утверждать, что механизм на рис. 2 имеет четыре степени свободы, так как добавилось перемещение по вертикали. Все дело в избыточных связях в кинематических цепях механизма. При их наличии чаще всего нельзя собрать механизм без деформирования звеньев, поэтому механизмы с избыточными связями требуют повышенной точности изготовления.

Для устранения избыточных связей заменяем

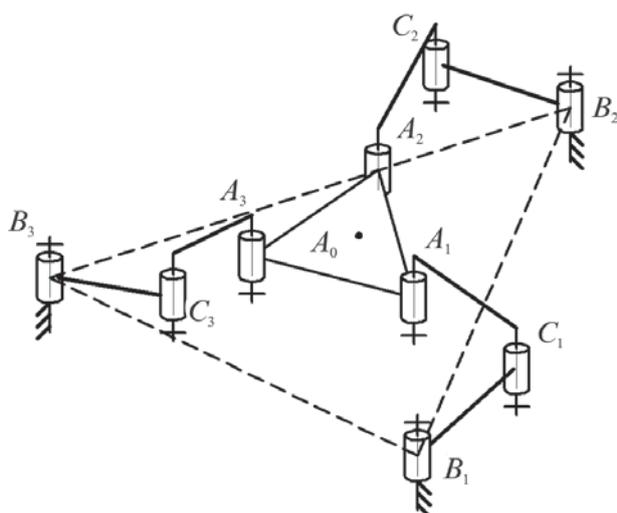


Рис. 1. Плоский механизм параллельной структуры с тремя степенями свободы:

- $A_1 A_2 A_3$ – подвижная платформа;
- $B_1 B_2 B_3$ – неподвижное основание;
- C_1, C_2, C_3 – вращательные шарниры

вращательные кинематические пары, связанные с выходным звеном, сферическими кинематическими парами (рис. 3). Сборка такого механизма произойдет без натягов и деформаций звеньев. Подсчитаем теперь число степеней свободы по формуле (1):

$$W = 6 \cdot 8 - 5 \cdot 7 - 3 \cdot 3 = 4.$$

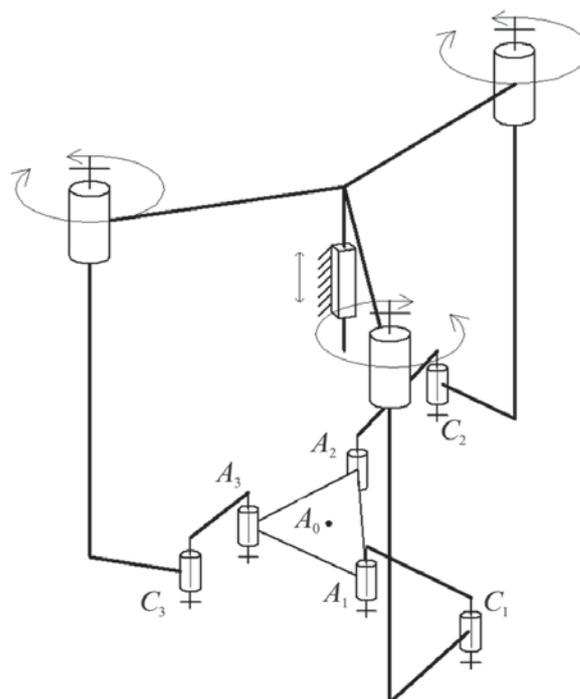


Рис. 2. Структурная схема механизма с $W=4$ и вращательными кинематическими парами

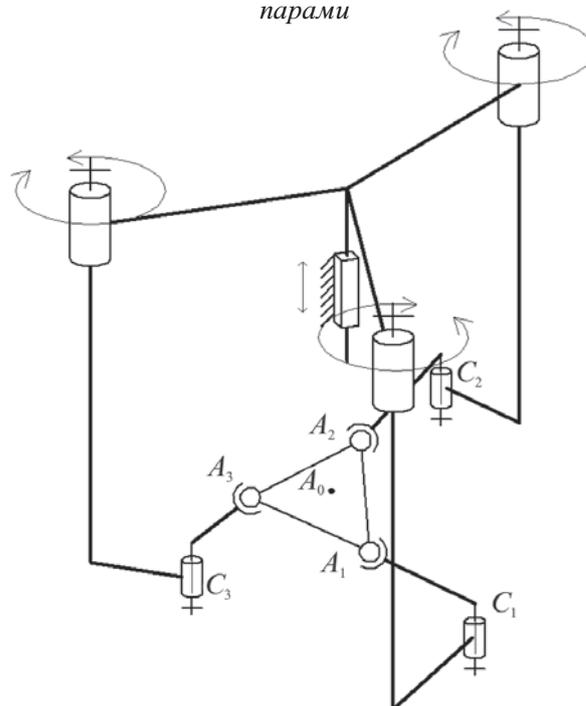


Рис. 3. Структурная схема механизма с $W=4$ и сферическими кинематическими парами

Таким образом, получен манипулятор с четырьмя степенями свободы, у которого при отсутствии избыточных связей имеется соответствие заданным требуемым движениям: три поступательных движения и одно вращательное.

Однако при расположении всех приводов на неподвижном основании, масса и инерция подвижных кинематических звеньев уменьшаются. Поэтому вводим еще два элемента в каждую кинематическую цепь: зубчатое зацепление и поступательную кинематическую пару, сопряженную с одним из зубчатых колес (рис. 4) [4]. При одинаковой грузоподъемности полученная кинематическая схема механизма также позволяет использовать приводы гораздо меньшей мощности. Для данного механизма применяем формулу Сомова – Мальшева, но учитываем, что каждый привод выполнен в виде двигателя, установленного на основании, зубчатого зацепления и поступательной кинематической пары.

В механизме с шестью степенями свободы вращательные кинематические пары, связывающие промежуточные звенья с выходным звеном, также не могут быть реализованы, поскольку в этом случае была бы статически неопредели-

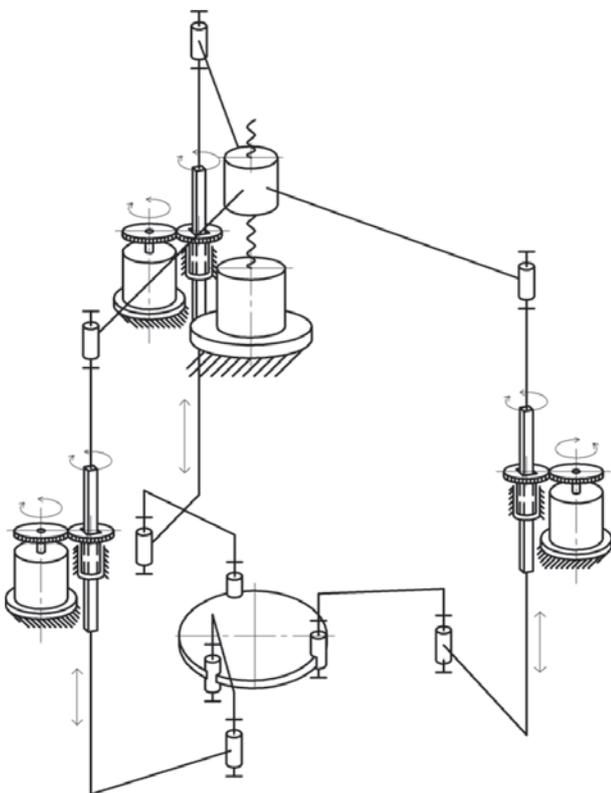


Рис. 4. Структурная схема пространственного механизма параллельной структуры с $W=4$

мая ферма. В связи с этим данные пары заменены сферическими кинематическими парами (рис. 5). Теперь в каждой из трех кинематических цепей данного механизма добавилось поступательное перемещение по вертикали. Подсчитаем число степеней свободы по формуле (1):

$$W = 6 \cdot 10 - 5 \cdot 9 - 3 \cdot 3 = 6$$

Получили манипулятор с шестью степенями свободы, у которого при отсутствии избыточных связей имеется соответствие с заданными движениями: три поступательных движения и три вращательных.

В каждую кинематическую цепь этого механизма также вводим еще два элемента: зубчатое зацепление и поступательную кинематическую пару, сопряженную с одним из зубчатых колес. Все приводы также располагаем на неподвижном основании (рис. 6).

Применение манипулятора

Рассмотрим некоторые возможные варианты применения данных манипуляционных механизмов. Один из них связан с транспортировкой и установкой некоторых объектов, поэтому основание манипуляционного механизма расположено на подвижной платформе, которая может перемещаться по направляющим (рис. 7, а). В качестве рабочего органа данного манипулятора

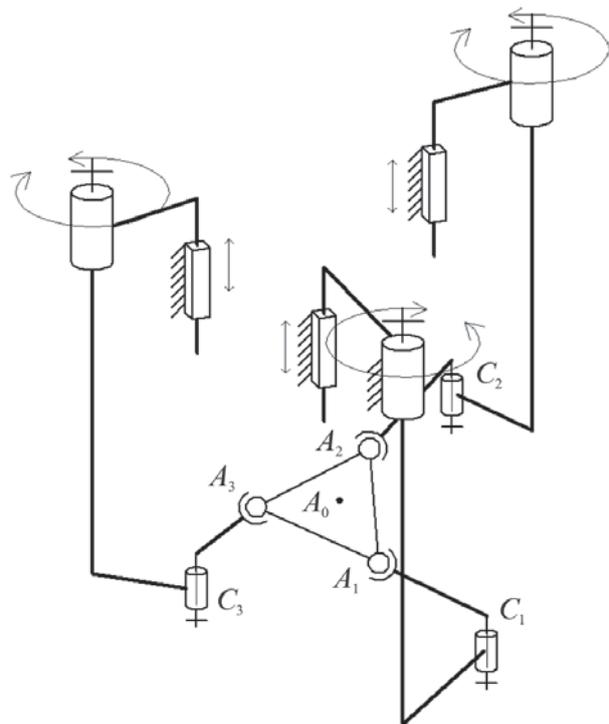


Рис. 5. Структурная схема механизма с $W=6$ и сферическими кинематическими парами

применяются схват. Это устройство манипулирования может быть использовано для перемещения обрабатываемых деталей, объектов хранения на автоматизированных складах (это очень важно в гибких производственных системах). В частности в текстильной отрасли промышленности такой механизм можно использовать для съема и установки бобин, служащих для наматывания нити.

Рассматриваемый механизм может применяться как устройство для перемещения измерительного шупа или сварочного электрода (рис. 7, б). В качестве рабочего органа также можно использовать нож или полотно лобзика.

Механизм с шестью степенями свободы может найти широкое применение в системах лазерной маркировки, гравировки и резки изделий цилиндрической или сложной формы из различных материалов (рис. 7, в). Также манипуляционный механизм может использоваться в качестве опорно-поворотного устройства для наведения и вращения радиолокационных антенн (рис. 7, г).

Таким образом, структурный анализ механизмов параллельной структуры с частичной кинематической развязкой целесообразно проводить поэтапно: вначале рассматривается плоский механизм, для которого используется соответствующая структурная формула, а затем добавляется еще одна или три степени свободы, обеспечивающие перемещение всего подвижного основания по вертикали или каждой из трех кинематических цепей по отдельности.

Заключение

Проведенный структурный анализ позволил определить степени подвижности механизмов и наличие нежелательных избыточных связей, которые могут привести к заклиниванию звеньев в результате трения в кинематических парах.

Данные механизмы могут найти эффективное применение в различных областях техники, в частности при манипулировании различными объектами, а также для измерительных и технологических операций.

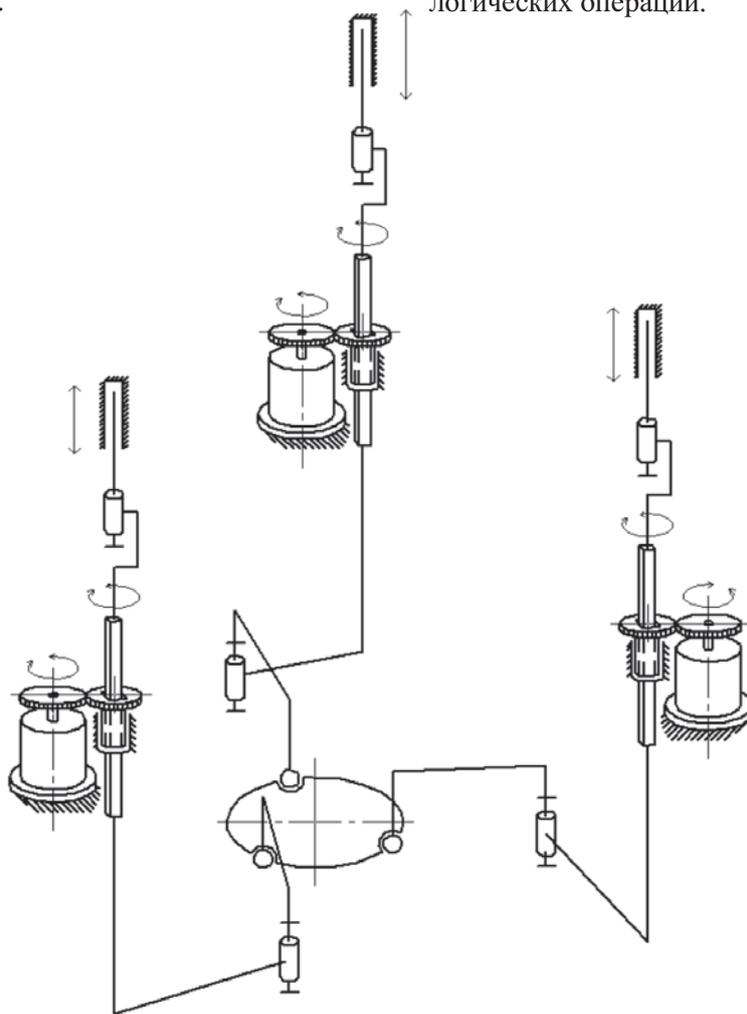


Рис. 6. Структурная схема пространственного механизма параллельной структуры с $W=6$



Рис. 7. Манипуляционные механизмы:
а – с возможностью транспортировки; б – с измерительным щупом;
в – с лазером; г – с радиолокационной антенной

Список литературы

1. Gosselin C.M., Angeles J. Singularity analysis of closed-loop kinematic chains // IEEE. Transactions on Robotics and Automatics. 1990. Vol. 6(3). P. 281–290.
2. Angeles J. Fundamentals of Robotic Mechanical Systems: Theory, Methods and Algorithms (Second Ed.). – Springer, 2002. – 520 p.
3. Merlet J.-P. Parallel Robots. – Kluwer Academic Publishers, 2000. – 372 p.
4. Глазунов В.А., Ширинкин М.А., Палочкин С.В. Пространственный механизм с четырьмя степенями свободы // Пат. 88601 на полезную модель, МПК В 25 J-1/00. Заявка № 2009121390/22 от 05.06.2009; опубл. 20.11.2009. Бюл. № 32. – 2 с.

Материал поступил в редакцию 28.02.2011

ШИРИНКИН

Максим

Александрович

E-mail: xmaxx@yandex.ru

Тел. +7 (495) 955-37-87

Аспирант кафедры прикладной механики ГОУ ВПО «МГТУ им. А.Н. Косыгина». Сфера научных интересов – робототехника, манипуляторы параллельной структуры. Автор пяти научных работ.