

УДК 621.01

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ ДЛЯ СИНТЕЗА ОРИГИНАЛЬНОЙ ЧАСТИ ПРОСТРАНСТВЕННОГО МАНИПУЛЯТОРА

¹Балакин П.Д., ²Шамутдинов А.Х.

¹ГОУ ВПО «Омский государственный технический университет», Омск;

²ФГБОУ ВПО «Омский автотранспортный инженерный институт», филиал, Омск,
e-mail: 1972id@list.ru

В данной статье описан выбор рациональных геометрических связей механических систем, для исключения возникновения избыточных связей, влекущих за собой ошибки положения механизма, которые вызывают дополнительное динамическое нагружение звеньев и связей. В частности, рассмотрена оригинальная часть пространственного манипулятора на основе алгебраического метода, разработанного С.Н. Кожевниковым и построенного на учете двух факторов: заданных подвижности механизма и преобразования исходного вида движения в необходимое выходное движение. Предложены вид и конструкция геометрических связей (кинематических пар) в оригинальной части пространственного манипулятора, как в плоском механизме, так и в пространственном, для исключения возникновения избыточных связей и, как следствие, динамическое нагружение на звенья и связи манипулятора.

Ключевые слова: манипулятор, связи, алгебраический метод С.Н. Кожевникова, подвижность механизма, самоустанавливающийся подшипник, рациональная структура

SELECTION OF GEOMETRIC KINEMATIC PAIRS FOR THE SYNTHESIS OF THE STRUCTURE ORIGINAL PART OF THE SPATIAL MANIPULATOR

¹Balakin P.D., ²Shamutdinov A.H.

¹Omsk State Technical University, Omsk;

²Omsk Tank-Automotive Engineering Institute, branch, Omsk, e-mail: 1972id@list.ru

This article describes the choice of rational geometrical constraints of mechanical systems, to avoid occurrence of redundant links, entailing position error mechanisms that cause additional dynamic loading of links and connections. In particular, we consider the original part of the space manipulator based on the algebraic method, developed by SN Kozhevnikov and built on the account of two factors: the set of mobility mechanism and transformation of the original kind of movement in the desired output motion. Proposed appearance and design of geometric constraints (kinematic pairs) of the original space of the manipulator as a planar mechanism and spatially to avoid occurrence of redundant links and as a result, the dynamic loading on the communication links and a manipulator.

Keywords: manipulator, communication, algebraic method S.N. Kozhevnikov, motility mechanism, self-aligning bearing, rational structure

Как известно, реальные механические системы, помимо традиционно общих, всегда учитывающих параметров протяженности и вещественности, характеризуются так называемыми реальными параметрами, которые имеют различную физическую природу, а именно:

- все реальные звенья и связи нелинейны;
- многие реальные схемы имеют дефекты, конструкторские ошибки;
- все реальные системы имеют первичные ошибки изготовления и сборки;
- все реальные системы при эксплуатации имеют силовые ошибки (деформации), перекладки зазоров в связях;
- все реальные системы имеют температурные ошибки;
- реальные системы могут иметь запретные режимы эксплуатации.

Реальные параметры вызывают ошибки механических систем.

Ошибка положения механизма – разность координат положения выходного (исполнительного) звена действительного

и идеального механизмов при одинаковом положении ведущего. Ошибки скорости и ускорения есть производные от ошибок положения. Эти ошибки вызывают дополнительное динамическое нагружение звеньев и связей и обуславливают вторичные динамические ошибки системы. Перекладка зазоров в меняющихся направлениях силовых связей звеньев системы порождает динамические удары в связях с известными последствиями для их работоспособности и виброактивности.

Первичные, силовые, температурные ошибки неизменно превращают теоретически плоскую механическую систему в пространственную с неопределенностью распределения нагрузок в связях, а после перекосяной выборки зазоров в связях возникает паразитное контурное силовое нагружение кинематической цепи с крайне неблагоприятным, нерасчетным режимом ее функционирования.

Полная модель первичных ошибок должна учитывать ошибки угловых разме-

ров, погрешности формы звеньев и связей (неплоскостность, выпуклость, вогнутость, некруглость, погрешности шагов винтов, зубчатых колес, шлицев и т.д.). Ужесточение требований к точности ведет к удорожанию технологии, но не решает проблем функционирования реальных систем.

Цель исследования. В настоящее время объективно сформировались два различных принципа конструирования механических систем.

Первый основан на математических расчетных моделях высокой степени достоверности, содержащих возможно полное знание и учет физических процессов, протекающих в машине, точное знание уровня и характера силового нагружения звеньев и связей, учет реальных параметров системы, свойств материалов, условий эксплуатации.

Второй – статистический принцип конструирования основан на неполном знании реальных параметров объекта, которое компенсируется корректирующими коэффициентами при определении расчетных нагрузок и при выборе допускаемых напряжений. Эти коэффициенты выбирают из справочной литературы, статистически обобщающей опыт создания и эксплуатации систем по типуажу и режимам эксплуатации систем.

В [1] был предложен принцип конструирования, в основе которого содержится прием наделения проектируемой системы на стадии проектирования свойством ее адаптации к реальным параметрам конструкторскими и технологическими средствами.

Вся совокупность механических систем с адаптивными свойствами, построенных на основании общих признаков, отражающих особенности их строения, может быть представлена четырьмя группами. Рассмотрим более подробно первую группу: это системы (механизмы), имеющие приспособленные формы движения. Это механизмы, которые могут содержать упругие и гибкие звенья в качестве силовых элементов, одновременно выполняющих функции компенсаторов неопределенностей.

Метод исследования. Корректировка состава связей конкретной механической системы для достижения определенности базирования всех звеньев, исключения контурных и локальных связей, а также решения прямой задачи структурного синтеза схем механизмов с оптимальной структурой могут быть проведены на основе алгебраического метода, разработанного С.Н. Кожевниковым и построенного на учете двух факторов: заданных подвижности механизма и преобразования исходного вида движения в необходимое выходное движение [2].

Из [2] находим общее количество возможных (разрешенных) движений в связях:

$$f = f_0 + f_x, \quad (1)$$

где f_0 – количество движений основных (связанных со стойкой) звеньев; f_x – количество возможных движений в промежуточных связях.

Общее количество звеньев будет определяться:

$$n = n_0 + n_x + 1, \quad (2)$$

где n_0 – количество звеньев, связанных подвижно со стойкой (количество основных звеньев); n_x – количество промежуточных звеньев.

Общее количество замкнутых контуров определяется:

$$k = k_0 + k_x, \quad (3)$$

где k_0 – количество контуров, в состав которых входят основные звенья; k_x – количество контуров, образуемых промежуточными звеньями.

Подвижность механизма в этом случае будет определяться:

$$W = f - 6k + q, \quad (4)$$

где q – количество избыточных связей.

Зависимость (4) предполагает, что контур накладывает на кинематическую цепь шесть связей и для оптимальной структуры $q = 0$ (4) запишется как:

$$W = f - 6k \text{ или } W = f_0 + f_x - 6k \quad (5)$$

Количество контуров, в которые входят основные звенья:

$$k_0 = n_0 - 1. \quad (6)$$

Так как

$$k = k_0 + k_x, \text{ то } k_x = k - n_0 + 1, \quad (7)$$

Общее количество связей будет: $p = p_0 + p_x$, откуда

$$p_x = p - n_0. \quad (8)$$

Количество пар и количество звеньев в кинематической цепи связаны соотношением:

$$p = n + k - 1.$$

Для примера, рассмотрим оригинальную часть пространственного манипулятора [2, 3], реализующую угловые движения вокруг осей X и Y и поступательное перемещение вдоль оси Z за счет сложения двух встречных вращений [4] (рис. 1).

В шарнирном соединении d номинально необходимая подвижность равна единице (рис. 2).

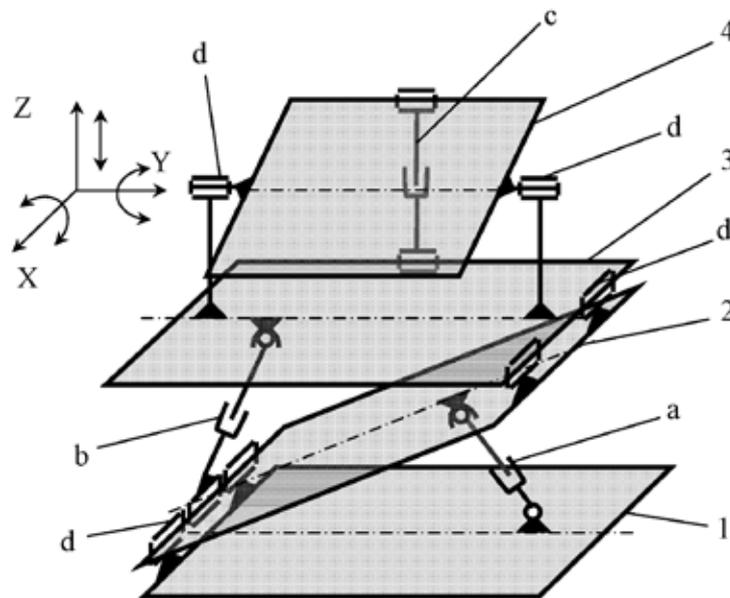


Рис. 1. Схемное решение пространственного манипулятора:
 1 – поворотный стол; 2 – наклонная платформа; 3 – опорно-поворотное устройство;
 4 – установочное звено (рабочий стол); a, b, c – приводные устройства (гидроцилиндры,
 шарико-винтовая передача); d – шарнирное соединение платформ

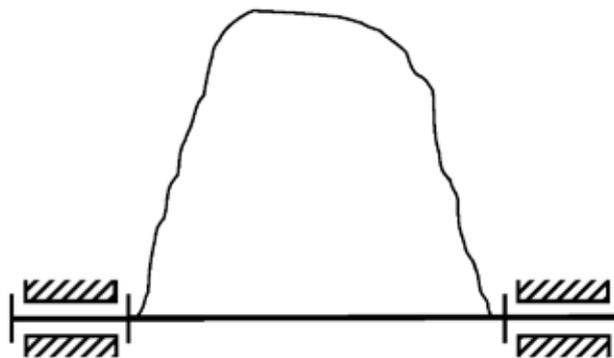


Рис. 2. Схема со связями V класса

По формуле для пространственной связи подвижного звена, подвижность будет:

$$W = 6n - 5p_5 = 6 \cdot 1 - 5 \cdot 2 = -4,$$

т.е. Для исключения избыточных связей кинематической цепи необходимо добавить пять движений. Сделав замену, по рис. 2, двух кинематических пар пятого класса –

одной третьего, а другую второго класса получим комбинацию связей на рис. 3.

Тогда подвижность будет:

$$W = 6 \cdot 1 - 5 \cdot 0 - 4 \cdot 0 - 3 \cdot 1 - 2 \cdot 1 - 0 = 1.$$

Фрагмент пространственного манипулятора на рис. 4 и рис. 5 имеет рациональную структуру.

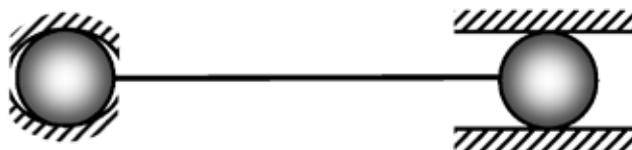


Рис. 3. Схема с рациональным выбором связей

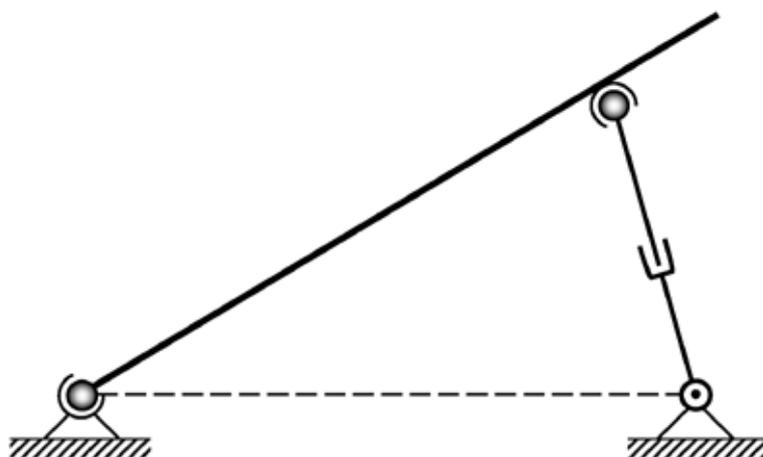


Рис. 4. Схема манипулятора с рациональным выбором связей в плоскости

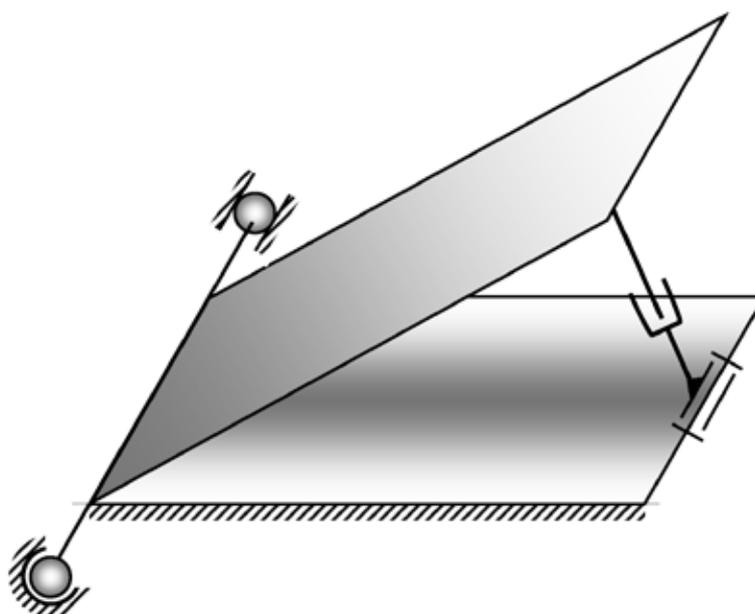


Рис. 5. Схема манипулятора с рациональным выбором связей в пространстве

Подвижность кинематической цепи будет:

$$W = 6 \cdot 3 - 5 \cdot 1 - 4 \cdot 1 - 3 \cdot 2 - 2 \cdot 1 - 0 = 1.$$

Выводы

Таким образом, техническое решение реального пространственного манипулятора с промежуточным звеном и оптимальной структурой должно предусматривать использование в качестве одной из промежуточных пар вместо традиционной одноподвижной пары кинематического соединения, разрешающего пять движений, что в принципе может быть технически реализовано, когда любая пара, например А, исполняется самоустанавливающимся подшипником

скольжения или качения, а в опоре В такой подшипник имеет дополнительное линейное движение (рис. 3).

Список литературы

1. Балакин П.Д. Динамика машин: Учебное пособие.– Омск: Изд-во ОмГТУ, 2006. – 320 с.
2. Кожевников С.Н. Теория механизмов и машин. – М.: Высшая школа, 1973.
3. Балакин П.Д. Схемное решение механизма пространственного манипулятора / П.Д. Балакин А.Х. Шамутдинов // Омский научный вестник. – 2012. – № 2. – С.65-69.
4. Пат. №120599 РФ, МПК В25J1/00. Пространственный механизм / Балакин П.Д., Шамутдинов А.Х. Заявка №2011153160/02, 26.02.2011. Оpubл. 27.09.2012, Бюл. №27.
5. Люкшин В.С. Теория винтовых поверхностей в проектировании режущих инструментов / В.С. Люкшин. – М.: Машиностроение, 1967. – 372 с.