Зиялиев К.Ж., Чинбаев О.К., Дюшембаев Ж.Ж.

ШАРНИРЛҮҮ-РЫЧАГДЫК МЕХАНИЗМДЕРДИ АНАЛИТИКАЛЫК ГЕОМЕТРИЯНЫН МЕТОДДОРУН КОЛДОНУП СТРУКТУРАЛЫК АНАЛИЗДӨӨ ЖАНА СИНТЕЗДӨӨ

Зиялиев К.Ж., Чинбаев О.К., Дюшембаев Ж.Ж.

СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ И СИНТЕЗ ШАРНИРНО-РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ МЕТОДАМИ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ГЕОМЕТРИИ

K.Zh. Ziyaliev, O.K. Chinbaev, Zh.Zh. Dyushembaev

STRUCTURAL ANALYSIS AND SYNTHESIS HINGED - LINK MECHANISMS WITH METHODS OF ANALYTICAL GEOMETRY

УДК: 621.01

Макаланын максаты - төрт звенолуу механизмдерди аналитикалык геометриянын методдорун колдонуп, структуралык жана кинематикалык анализдөө методун иштеп чыгуу. Авторлор бул методду, шарнирлүү-төрт звенолуу механизмдерге карата түзүп, анын негизинде механизмдерди классификациялоо, ургулоо кыймылындагы машиналарды жасоого колдонулуучу жаңы механизмдерди синтездөөгө мүмкүндүк түзүштү.

Негизги сөздөр: *звенолор, өзгөрмө структуралуу механизмдер, машиналар, механизмдердин аныкталуу областы, шарнирлүү-төрт звенолуу механизмдердин мейкиндиктүү диаграммасы.*

Цель статьи – разработка метода структурного и кинематического анализа и синтеза четырехзвенных механизмов с применением методов аналитической геометрии. Авторами данный метод разработан применительно шарнирно-четырехзвенным механизмам, который позволил им классифицировать эти механизмы, синтезировать новые схемы механизмов переменной структуры, которые могут быть использованы в создании машин ударного и вибро-ударного действия.

Ключевые слова: *звенья, механизмы переменной структуры, машины, область существования механизмов, пространственная диаграмма шарнирно-четырехзвенных механизмов.*

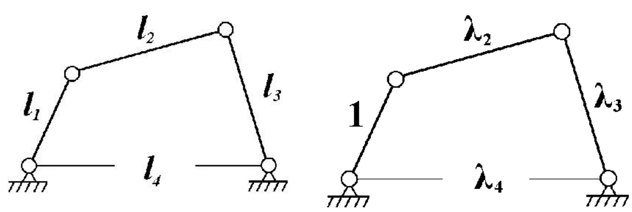
The purpose of this article - to develop the method of structural and kinematic analysis and synthesis of four-link mechanism with the using of analytic geometry methods. The authors applied this method for four-link mechanism, which allowed them to classify these mechanisms, to synthesize new schemes of variable structure, which can be used in the invention of percussion and vibration-percussion machines.

Key words: *links, mechanisms of variable structure, machinery, the sphere of existence of mechanisms, spatial diagram of four-jointed mechanisms.*

При структурном и кинематическом анализе механизмов во многих случаях целесообразно использовать не абсолютные, а относительные размеры звеньев, принимая в качестве единицы измерения длину одного из звеньев механизма. Данный подход позволяет на одну сократить число рассматриваемых переменных (длин звеньев), что создает определенные удобства при структурном и кинематическом анализе механизма. При таком подходе для четырехзвенных механизмов число переменных становится равным трем и появляется возможность исследования подобных механизмов в трехмерной декартовой системе координат с использованием методов аналитической геометрии [1].

Рассмотрим шарнирно-четырехзвенный механизм, структурная схема которого приведена на рисунке 1,а. Приняв в качестве единицы измерения длину звена l_1, получим следующие относительные размеры: шатуна $\lambda_2 = \dfrac{\ell_2}{\ell_1}$, правого подвижного звена $\lambda_3 = \dfrac{\ell_3}{\ell_1}$, входящего в кинематическую пару со стойкой и стойки $\lambda_4 = \dfrac{\ell_4}{\ell_1}$ (рис. 1,б).

В трехмерной прямоугольной системе координат с осями λ_2, λ_3 и λ_4 каждый шарнирно-четырехзвенный механизм с относительными размерами звеньев λ_2, λ_3 и λ_4 будет представлен в виде точки М ($\lambda_2;\lambda_3;\lambda_4$), т.е. каждый механизм имеет свое место в пространстве (рис.2). Следовательно, вся совокупность механизмов (область существования) в данной системе координат должна представлять объемную фигуру [1,2].



а) б)

Рис. 1. Структурные схемы шарнирно-четырехзвенного механизма. а – с абсолютными размерами звеньев; б – с относительными размерами звеньев.

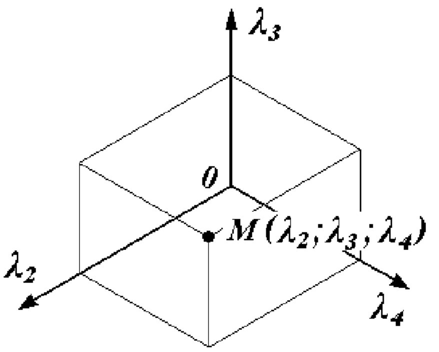


Рис. 2. Шарнирно-четырехзвенный механизм с относительными размерами звеньев λ_2, λ_3 и λ_4, представленный в виде точки в пространстве.

Для того, чтобы определить какова форма и расположение данной фигуры, математически опишем условия существования шарнирно-четырехзвенного механизма, которые можно сформулировать так: длина каждого звена механизма должна быть больше нуля, но в то же время длина каждого звена не должна превышать сумму длин остальных трех звеньев. Эти условия математически можно выразить следующей системой неравенств:

$$\begin{cases}1.\,\lambda_2>0\\2.\,\lambda_3>0\\3.\,\lambda_4>0\\4.\,\lambda_2<\lambda_3+\lambda_4+1\\5.\,\lambda_3<\lambda_2+\lambda_4+1\\6.\,\lambda_4<\lambda_2+\lambda_3+1\\7.\,\lambda_2+\lambda_3+\lambda_4>1\end{cases}\quad \text{и ли}\quad \begin{cases}1.\,\lambda_2>0\\2.\,\lambda_3>0\\3.\,\lambda_4>0\\4.\,\lambda_3>\lambda_2-\lambda_4-1\\5.\,\lambda_3<\lambda_2+\lambda_4+1\\6.\,\lambda_3>-\lambda_2+\lambda_4-1\\7.\,\lambda_3>-\lambda_2-\lambda_4+1\end{cases}\qquad(1)$$

Неравенства 1-3 системы (1) показывают, что область существования шарнирно-четырехзвенных механизмов находится только в первом октанте и не включает в себя самих плоскостей системы координат. Остальные неравенства (4-7) системы при вертикальном расположении оси λ_3, показывают, что эта область находится выше плоскостей $\lambda_2-\lambda_3-\lambda_4-1=0$ (M) – (4-е неравенство), $-\lambda_2-\lambda_3+\lambda_4-1=0$ (N) – (6-е неравенство), $\lambda_2+\lambda_3+\lambda_4-1=0$ (L) – (7-е неравенство) и ниже плоскости $-\lambda_2+\lambda_3-\lambda_4-1=0$ (E) – (5-е неравенство) (рис. 3).

Таким образом, область существования шарнирно-четырехзвенных механизмов графически представляет собой часть пространства, ограниченную четырьмя плоскостями M, N, L, E и тремя плоскостями H, V и W координатной системы. Сами эти плоскости в область существования шарнирно-четырехзвенных механизмов не входят.

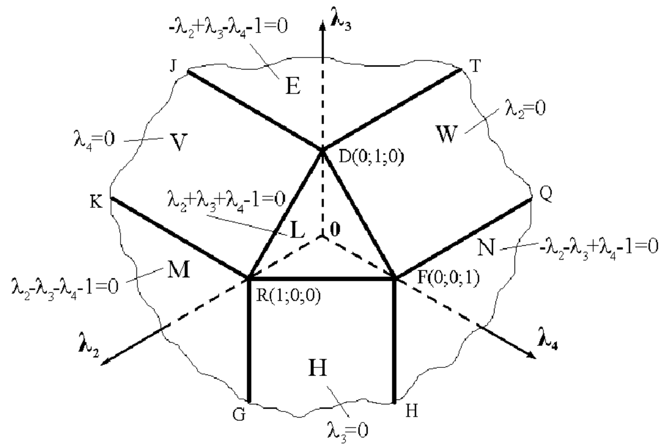


Рис. 3. Область существования шарнирно-четырехзвенных механизмов.

Рассмотрим теперь, как разделена область существования шарнирно-четырехзвенных механизмов между различными их видами: двухкривошипными, кривошипно-коромысловыми и двухкоромысловыми.

Начнем с двухкривошипного механизма. Известно, что шарнирно-четырехзвенный механизм (см. рис. 1) будет двухкривошипным, если сумма длин самого короткого и самого длинного звеньев меньше или равна сумме длин остальных звеньев и за стойку принято самое короткое его звено [3].

Условие существования двухкривошипного механизма математически можно выразить следующей системой неравенств:

$$\begin{cases}\lambda_{4(н.м)}+1_{(н.б)}\le\lambda_2+\lambda_3\\\lambda_{4(н.м)}+\lambda_{3(н.б)}\le\lambda_2+1\\\lambda_{4(н.м)}+\lambda_{2(н.б)}\le1+\lambda_3\end{cases}\qquad(2)$$

Приведем систему неравенств (2) к следующему виду:

$$\begin{cases}\lambda_3\ge-\lambda_2+\lambda_4+1\\\lambda_3\le\lambda_2-\lambda_4+1\\\lambda_3\ge\lambda_2+\lambda_4-1\end{cases}\qquad(3)$$

Решением системы неравенств (3), т.е. областью существования двухкривошипных механизмов, является объемная фигура, представленная на рис.4. Из этого рисунка можно заметить, что у данной фигуры грани DJKR, RSWK, DSWJ и DSR соответствуют граням и основанию треугольной призмы с бесконечной высотой. Другое основание, противоположное DSR, отсутствует, т.е. одна сторона фигуры открыта [2].

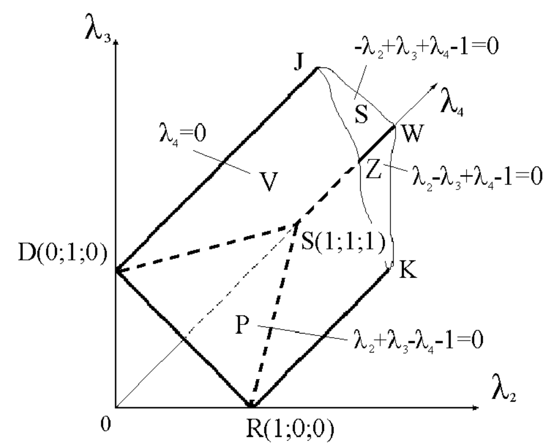


Рис. 4. Область существования двухкривошипных механизмов.

Любая точка с координатами λ_2, λ_3, λ_4 и находящаяся внутри данной фигуры или на ее гранях (кроме грани V) является двухкривошипным механизмом с относительными размерами длин звеньев λ_2, λ_3 и λ_4.

Рассмотрим теперь, что собой представляет графически область существования кривошипно-коромысловых механизмов. Согласно закону Грасгофа область существования кривошипно-коромысловых механизмов математически можно выразить следующей системой неравенств [2]:

$$\begin{cases} 1.\ \lambda_3 \ge -\lambda_2+\lambda_4+1 & \lambda_3 \ge 1 \\ 2.\ \lambda_3 \ge \lambda_2-\lambda_4+1 & \lambda_3 \ge 1 \\ 3.\ \lambda_3 \le \lambda_2+\lambda_4-1 \quad \text{при} & \\ 4.\ \lambda_3 \le \lambda_2-\lambda_4+1 & \lambda_3 \le 1 \\ 5.\ \lambda_3 \le -\lambda_2+\lambda_4+1 & \lambda_3 \le 1 \end{cases} \tag{4}$$

Решив систему неравенств (4), получим область существования кривошипно-коромыслового механизма, которая состоит из двух отдельных фигур RSFHAG и AWBS, имеющих общее ребро SA (рис. 5).

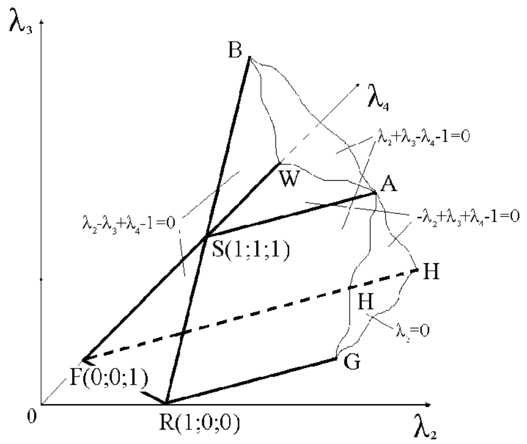


Рис. 5. Область существования кривошипно-коромысловых механизмов.

Аналогично составляется система уравнений для двухкоромысловых механизмов:

$$\begin{cases} 1.\ \lambda_3 < -\lambda_2+\lambda_4+1 & & \lambda_4 < \lambda_2, \lambda_3 < 1 \\ 2.\ \lambda_3 < \lambda_2+\lambda_4-1 & & \lambda_4 < 1, \lambda_3 < \lambda_2 \\ 3.\ \lambda_3 < \lambda_2-\lambda_4+1 & & \lambda_4 < 1, \lambda_2 < \lambda_3 \\ 4.\ \lambda_3 < -\lambda_2+\lambda_4+1 & & 1 < \lambda_2, \lambda_3 < \lambda_4 \\ 5.\ \lambda_3 < \lambda_2-\lambda_4+1 & & 1 < \lambda_3, \lambda_4 < \lambda_2 \\ 6.\ \lambda_3 > \lambda_2+\lambda_4-1 & & 1 < \lambda_2, \lambda_4 < \lambda_3 \\ 7.\ \lambda_3 < \lambda_2+\lambda_4-1 & & \lambda_2 < 1, \lambda_3 < \lambda_4 \\ 8.\ \lambda_3 < \lambda_2-\lambda_4+1 & \text{ãäå} & \lambda_2 < \lambda_3, \lambda_4 < 1 \\ & & \lambda_2 < 1, \lambda_4 < \lambda_3 \\ 9.\ \lambda_3 > -\lambda_2+\lambda_4+1 & & \lambda_3 < 1, \lambda_2 < \lambda_4 \\ 10.\ \lambda_3 > \lambda_2-\lambda_4+1 & & \lambda_3 < \lambda_2, \lambda_4 < 1 \\ 11.\ \lambda_3 > \lambda_2+\lambda_4-1 & & \lambda_3 < 1, \lambda_4 < \lambda_2 \\ 12.\ \lambda_3 > -\lambda_2+\lambda_4+1 & & \lambda_2 < \lambda_3, \lambda_4 < 1 \\ 13.\ \lambda_3 \ge \lambda_2-\lambda_4+1 & & \lambda_2 < 1, \lambda_4 < \lambda_3 \\ 14.\ \lambda_3 \le -\lambda_2+\lambda_4+1 & & \lambda_2 < 1, \lambda_3 < \lambda_4 \\ 15.\ \lambda_3 \ge \lambda_2+\lambda_4-1 & & \end{cases} \tag{5}$$

Решив графически систему неравенств (5), имеем область существования двухкоромысловых механизмов, которая представляет собой две объемные геометрические фигуры KWAGRS и HQTDFRSB (рис. 6).

Объединив эти фигуры с объемными фигурами, представляющими области существования двухкривошипных (рис. 4) и кривошипно-коромысловых (рис. 5) механизмов, получим полную область существования всех шарнирно-четырехзвенных механизмов, которую назовем пространственной диаграммой шарнирно-четырехзвенного механизма (рис. 6).

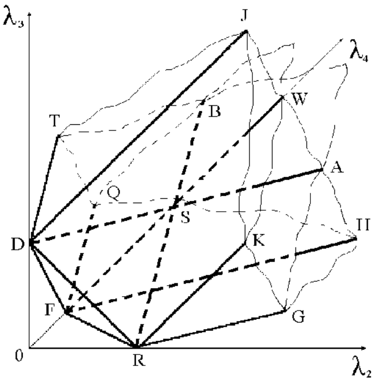


Рис. 6. Пространственная диаграмма шарнирно-четырехзвенного механизма.

Пространственная диаграмма, образно говоря, играет роль «глобуса» шарнирно-четырехзвенных механизмов, т.е. каждая ее точка представляет механизм с определенным соотношением длин звеньев, соответственно с определенными кинематическими свойствами. Кроме этого она позволяет синтезировать механизмы с требуемыми кинематическими свойствами, что намного облегчает процесс создания механизмов и машин.

Особый интерес вызывают те механизмы, которые соответствуют граням и линиям (ребрам), разделяющим друг от друга области существования различных видов шарнирно-четырехзвенного механизма (двухкривошипных, кривошипно-коромысловых и двухкоромысловых). Характерной особенностью этих механизмов является их способность в процессе работы переходить из одного закона движения механизма в другой закон движения. Поэтому этих механизмов называют «механизмами переменной структуры» (сокращенно МПС).

На основе МПС на базе Инженерной академии КР, института Машиноведения НАН КР, а также в научных центрах и лабораториях отдельных ВУЗов КР созданы и создаются уникальные машины ударного и вибро-ударного действия, такие, как отбойные молотки, перфораторы, молоты, грунтоуплотняющие машины и др.

Литература:

1. Абдраимов С., Зиялиев К.Ж., Абдраимова Н.С. Исследование шарнирно-четырехзвенного механизма методами аналитической геометрии // Материалы второй междунар. конф. «Проблемы механики современных машин». - Т.1– Улан-Удэ, 2003.– С.11-14.
2. Зиялиев К.Ж. Кинематический и динамический анализ шарнирно-четырехзвенных механизмов переменой структуры с созданием машин высокой мощности. - Б.: Илим. - 2005. - 193 с.
3. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин. – М.: Наука, 1988. - 638 с.

Рецензент: д.т.н., профессор Абдраимов Э.С.