

**МЕТОД АНАЛОГОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЛОСКИХ  
ШАРНИРНЫХ МЕХАНИЗМОВ (С ПОВОРОТОМ ВЕДОМОГО  
ЗВЕНА НА 360°)**

И. Г. ВИНТИЗЕНКО, А. Г. КОКИН

(Представлена научным семинаром вычислительной лаборатории)

В настоящее время достигнуты значительные успехи в анализе и синтезе механизмов, точки звеньев которых описывают различные траектории. Исследование этих вопросов имеет важное прикладное значение, так как в практике конструирования машин весьма часто ставится требование о движении отдельных точек исполнительных механизмов по заданным траекториям.

Для проектирования и расчета плоских механизмов в последнее время применяются аналоговые вычислительные машины (АВМ). Большой интерес представляет моделирование четырехзвенных механизмов с углом поворота ведомого звена на 360° в связи с тем, что такой механизм является основой для проектирования сколь угодно сложных шарнирных механизмов. Имеется несколько работ, посвященных моделированию кинематики таких механизмов [2], [4], [5].

В работе [5] был использован метод прямого решения трансцендентных уравнений, полученных при проектировании механизма на координатные оси. Однако, как было показано в работе Быховского [3], решение на АВМ трансцендентных уравнений, описывающих устойчивые системы, часто бывает неустойчивым. Поэтому и в более поздней работе [4], использующей те же методы, что и в работе [5], устойчивое моделирование ведомого звена четырехзвенного механизма наблюдалось лишь в пределах 0—180°. Были предложены различные методы устранения неустойчивости. В работе Быховского [3] предлагался метод реализации ультраустойчивой структуры; однако в связи с тем, что неустойчивость возникает до подхода системы к точке переключения, этот метод оказывается не совсем удобным. Для устранения неустойчивости системы предлагалось (подобно [3]) применять переключатели в линиях обратной связи, которые изменяли бы условия устойчивости [4], но такой способ не дает при переходе границ устойчивости точной картины вращения ведомого звена, и поэтому точный анализ и расчет механизмов невозможен. Авторами настоящей статьи предлагался метод устранения неустойчивости введением в систему голономных связей [4]. При этом проблема устойчивости в диапазоне 0—360° была решена. Однако возникала неопределенность, связанная с введением дополнительной степени свободы, заключающаяся в том, что одной и той же сумме проекций звеньев механизма на координатные оси отвечало большое число четырехзвенников, поэтому модель легко переходит

ла от воспроизведения траекторий точек одного механизма к траекториям точек другого механизма, хотя на начальной части первого оборота начальные условия определяли поведение механизма правильно.

Предлагается новый метод моделирования четырехзвенных механизмов с углом поворота ведомого звена на  $360^\circ$ . Суть его заключается в том, что механизм сколь угодно сложный можно разбить на четырехзвенные механизмы типа кулисного с вращающейся кулисой, для получения углов и координат любых точек которых достаточно решать треугольник с переменными длинами сторон. Особенностью модели, еще не использованной достаточно широко, является возможность относительно просто моделировать шарнирные механизмы с изменяющимися длинами связей.

Рассмотрим применение метода к четырехзвенному механизму ABCD (рис. 1). Такой механизм сводится к четырехзвенному механизму с вращающейся кулисой ABD (рис. 1), если к кулисному механизму добавить треугольник со сторонами BC и CD (соединение шарнирное в точках B, C и D) с изменяющейся стороной BD. Ее длина  $l$  определяется в треугольнике ABD из соотношения

$$e^2 = a^2 + d^2 - 2ad \cdot \sin \varphi,$$

$$-e^2 + a^2 + d^2 - 2ad \cdot \sin \varphi = -\frac{e}{\mu}, \mu > 10^6. \quad \varphi = 0$$

Из треугольника ABD и его проекций на координатные оси получим

$$a \cos \varphi = e \cos \psi,$$

$$a \sin \varphi - d = -e \sin \psi.$$

Из треугольника BCD следует, что

$$c^2 = e^2 + b^2 - 2eb \cdot \cos \gamma,$$

$$-c^2 + e^2 + b^2 - 2eb \cdot \cos \gamma = -\frac{\gamma}{\mu}, \mu > 10^6.$$

Координаты точек, расположенных на шатуне и тягах, связанных с ним жестко и направленных под прямым углом к шатуну, определяются

$$Y_K = e \cos \psi + b[\sin \psi \cdot \sin \gamma - \cos \psi \cdot \cos \gamma] -$$

$$- k[\cos \psi \cdot \sin \gamma + \sin \psi \cdot \cos \gamma],$$

$$X_K = -e \sin \psi + b[\cos \psi \cdot \sin \gamma + \sin \psi \cdot \cos \gamma] +$$

$$+ k[\sin \psi \cdot \sin \gamma - \cos \psi \cdot \cos \gamma].$$

Схема моделирования приведена на рис. 2. Она включает схему моделирования ведущего звена, контуров для образования методом неявных функций  $\sin \psi$ ,  $\cos \psi$ ; переменной длины  $e$ , а также  $\sin \gamma$ ,  $\cos \gamma$ . В схеме применено 8 блоков перемножения, 2 функциональных блока, 4 следящих усилителя. Моделирование производилось на аналоговой

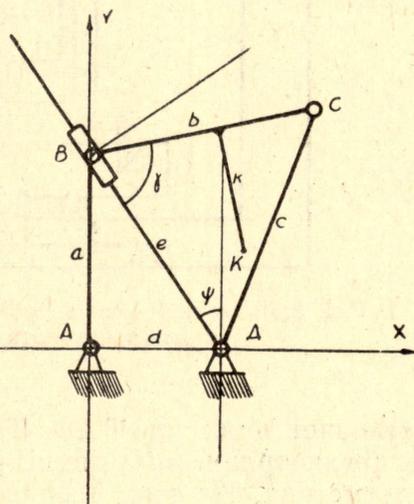


Рис. 1. Схема преобразования плоского четырехзвенного механизма

вычислительной машине ЭМУ-10 с использованием нелинейных блоков секций СБН и СБПД АВМ МН-14.

Погрешность моделирования механизмов будет определяться в основном погрешностями функциональных и множительных блоков. Она

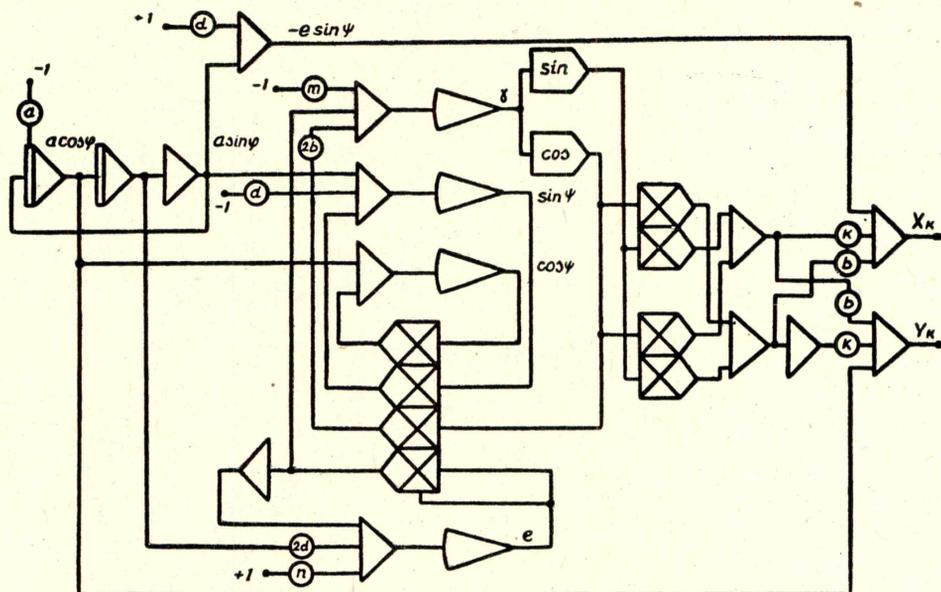


Рис. 2. Блок-схема моделирования плоского четырехзвенного механизма с углом поворота ведомого звена на 360 градусов

составляет примерно 1,2%. Траектории точек механизма записывались на двухкоординатных регистрирующих приборах (ДРП) и цифровых вольтметрах. На рис. 3 приведены полученные на машине траектории точек механизма.

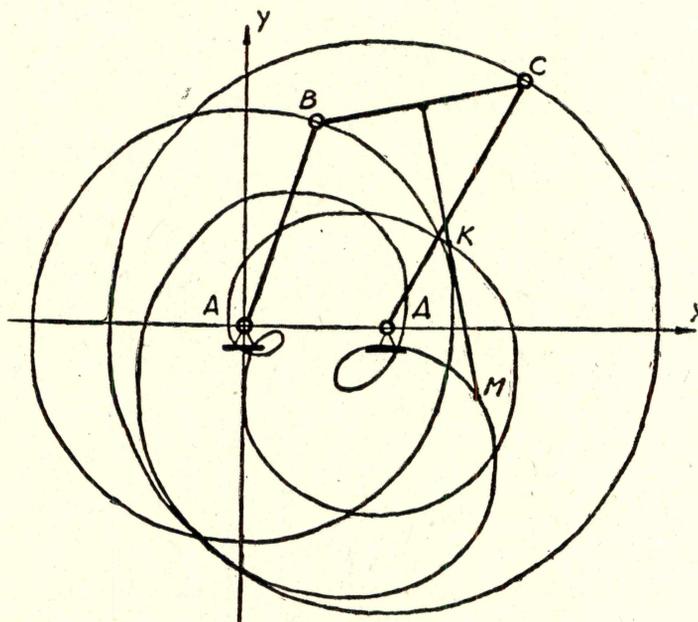


Рис. 3. Траектории отдельных точек четырехзвенного механизма, полученные на АВМ ЭМУ-10

Таким образом, переход от моделирования трапецеидальных контуров с четырьмя постоянными длинами связей к треугольным контурам с переменными длинами связей позволяет непрерывно и устойчиво моделировать во всех четырех квадрантах кинематику сложных шарнирных механизмов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. И. И. Артоболевский. Синтез плоских механизмов. Физматгиз, 1959.
2. Crossley F. R. Nachbildung eines mechanischen Kurbelgetriebes mittels eines elektronischen Analogrechners. *Feinwerk Technik (FWT) früher „Feinmechanik und Präzision“*, 67 I. N. 4. 1963.
3. М. Л. Быховский. Ультраустойчивость в электронных вычислительных устройствах при реализации нелинейных уравнений в неявном виде. Труды I международного конгресса IFAC. Статистические методы исследования. Теория структур, моделирование, терминология, образование. Изд-во АН СССР. М., 1961.
4. А. Г. Кокин, И. Г. Винтизенко. Синтез плоских механизмов на аналоговых вычислительных машинах. Сборник тезисов и аннотаций докладов II Всесоюзной конференции по АВТ. М., 1966.
5. И. Г. Винтизенко, Ю. А. Ковылин. Моделирование плоских шарнирных механизмов на АВМ. Доклад на II Всесоюзном совещании по теории механизмов и машин. М., 1960.