

МАШИНОСТРОЕНИЕ

С. Ш. ШАХНАРОЯН

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА АППРОКСИМАЦИОННОГО
 СИНТЕЗА ПЛОСКИХ РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ «АПСИН»

Эффективное использование кинематических возможностей рычажных механизмов возможно лишь при наличии методов машинного проектирования, которые позволят проектировщику, минуя трудный процесс чтения специальной литературы, по заданным условиям движения и ограничениям динамического и конструктивного характера определить оптимальную структуру и параметры механизма.

Сравнительно недавно появились первые автоматизированные системы анализа и синтеза механизмов «МЕОР», «КОГЕОР», «ІМР» [1—3], основанные на использовании известных методов анализа и оптимизационных процедурах синтеза механизмов, и диалоговая система кинематического синтеза «KINSYN» [4], использующая методы теории Бурместера в сочетании с возможностями машинной графики.

В настоящей работе представлено краткое описание автоматизированной системы аппроксимационного (приближенного) синтеза плоских механизмов «АПСИН», разработанной на основе положений аппроксимационной кинематической геометрии [5—6]. «АПСИН» составлена на алгоритмическом языке «Фортран-IV».

Алгоритм формирования механизмов-генераторов заданного закона плоскопараллельного движения, лежащий в основе «АПСИН». Основная задача, решаемая с помощью «АПСИН», формулируется следующим образом. Задано плоскопараллельное движение тела e посредством таблицы N значений функций $X_e(t)$, $Y_e(t)$, $\theta(t)$, определяющих дискретные положения жестко связанной с e системы oxy в системе OXY , жестко связанной с неподвижным телом E (рис. 1); требуется спроектировать механизм, приближенно воспроизводящий заданное движение (положения).

В основу системы заложен следующий алгоритм формирования одноподвижных механизмов-генераторов заданного плоскопараллельного движения: определяются точки и прямые плоскости e , которые в N заданных положениях наиболее близко проходят от окружности, прямой и точки, и далее вводятся связи, принуждающие найденные точки

и прямые движущегося тела перемещаться по соответствующим им приближающим кривым.

В соответствии с вышеприведенным алгоритмом в систему «АПСИН» введены процедуры синтеза звеньев типа ВВ, ВР и ПВ. Кроме того, для расширения спектра задач синтеза плоских механизмов, решаемых с помощью «АПСИН», введены процедуры синтеза двухзвенных разомкнутых цепей с вращательными и поступательными парами.

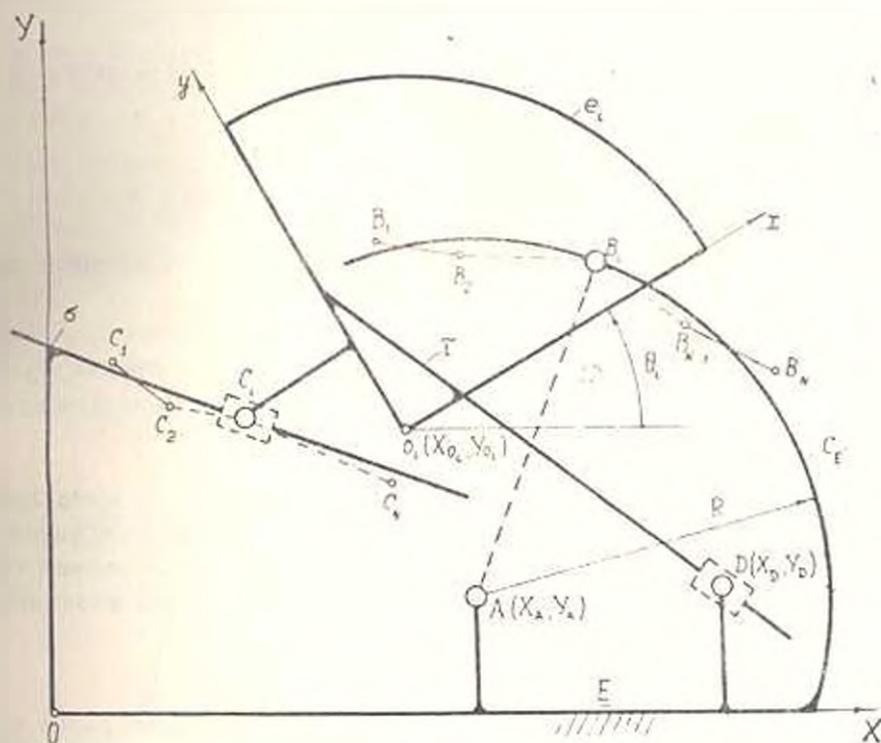


Рис. 1.

Различными сочетаниями указанных двухэлементных звеньев, которые к тому же могут иметь разные размеры, система формирует ряд четырехзвенных механизмов, реализующих условия движения с различной степенью приближения. Подключение двухповодковых групп позволяет решать задачи синтеза многозвенных механизмов, а также направляющих четырехзвенников с заданным движением чертящей точки.

Синтез звена типа ВВ. В терминах аппроксимационной кинематической геометрии эту задачу можно сформулировать следующим образом: определить пару $B(x_B, y_B) \in e$ и $A(x_A, y_A) \in E$, расстояния между которыми при заданных N положениях движущейся системы насколько возможно мало отличаются от некоторой постоянной R , также подлежащей определению (рис. 1).

В качестве меры отклонения примем выражение взвешенной разности

$$\Delta_{ji} = |\overline{AB}_i|^2 - R^2 = -2 \left(X_{B_i} X_A + Y_{B_i} Y_A + H - \frac{1}{2} R_{B_i}^2 \right) \\ (i = 1, 2, \dots, N).$$

где $H = \frac{1}{2} (R^2 - X_A^2 - Y_A^2)$, R_{B_i} — радиус-вектор точки B_i , а X_{B_i} и Y_{B_i} — координаты i -го положения точки $B(x_B, y_B)$ в неподвижной системе.

Приближенные круговые точки плоскости e определяются из условий минимума суммы квадратов N значений Δ_{ji} :

$$S = \sum_{i=1}^N \Delta_{ji}^2.$$

В дальнейшем эти точки нами будут названы круговыми квадратичными.

Во избежание решения нелинейной системы, вытекающей из условий стационарности суммы S — функции пяти переменных x_B, y_B, X_A, Y_A, R , воспользуемся описанной в [6] итерационной процедурой поиска минимума (подпрограмма РККТ).

Синтез звена типа ВП При синтезе двухэлементного звена данной структуры (подпрограмма РРТ) мы сталкиваемся с задачей определения точек плоскости e с N приближенно-коллинеарными положениями. В качестве минимизируемой функции отклонения примем выражение

$$\Delta_{ji} = aX_{c_i} + bY_{c_i} + c \quad (i = 1, 2, \dots, N), \quad (1)$$

где a, b, c — коэффициенты уравнения приближающей прямой a неподвижной плоскости (рис. 1). Возникающая задача нормализации (оптимальный выбор одного из условий — $|a| = 1, |b| = 1, |c| = 1$) ведет к трем возможным формам приближающей функции. В случае первой «нормализации» ($a = -1$) выражение (1) получит следующий вид:

$$\Delta_{ji} = p_1 \cos \vartheta_i + p_2 \sin \vartheta_i + p_3 Y_{c_i} + p_4 - X_{c_i},$$

где

$$p_1 = by_c - x_c; \quad p_2 = bx_c - y_c; \quad p_3 = b; \quad p_4 = c.$$

Значения p_i ($i = 1, 2, 3, 4$), определяемые из линейной системы четырех уравнений, полученных из условий минимума суммы S , позволяют найти искомые величины x_c, y_c, b и c , определяющие «прямолинейную» точку и ассоциированную приближающую прямую a .

В системе «АКСИИ» предусмотрено также решение данной задачи по методу чебышевского приближения. Интерпретируем каждый набор чисел p_i ($i = 1, 2, 3, 4$) как четверки координат точки

$P(p_1, p_2, p_3, p_4)$ евклидова четырехмерного пространства E_4 , приходим к задаче отыскания чебышевской точки $P^* (p_1^*, p_2^*, p_3^*, p_4^*)$, для которой

$$\max_{1 \leq i \leq N} |\Delta_{qi}(P^*)| = \inf_{(P)} \max_{1 \leq i \leq N} |\Delta_{qi}(P)| = L.$$

Это в свою очередь приводит к решению присоединенной задачи чебышевского приближения, реализованного с помощью симплекс-метода.

Синтез звена типа ПВ. Эта процедура (подпрограмма РРР) выполняется определением прямой π движущейся плоскости ϵ , которая в N заданных положениях ϵ наименее удалена от некоторой неподвижной точки $D(X_D, Y_D)$ (рис. 1). Переходя от уравнения прямой π в системе ϵ к N уравнениям ее рассматриваемых положений в неподвижной системе E , приходим к задаче линейного приближения, аналогичной вышеприведенной.

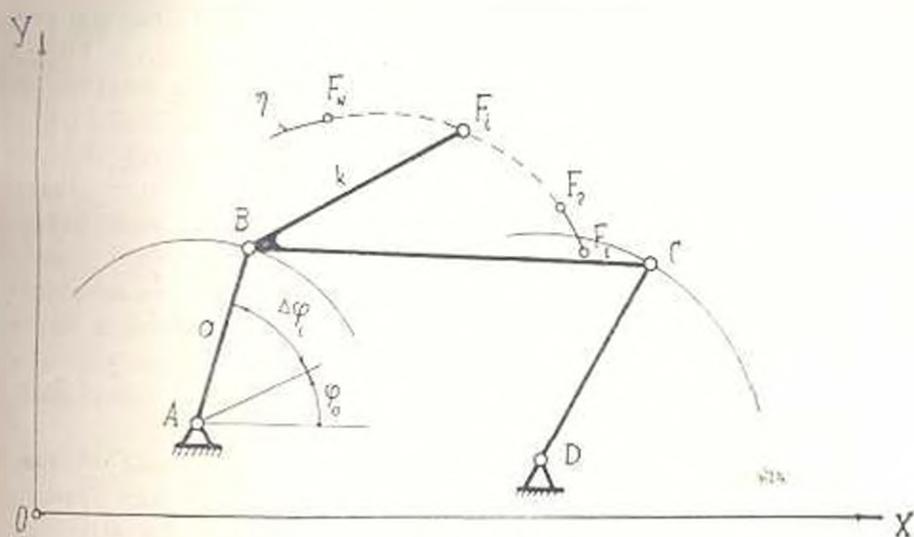


Рис. 2.

Синтез диады. Данную процедуру рассмотрим на примере синтеза диады ABF (рис. 2). Пусть входными параметрами являются N положений $F_i (i = 1, 2, \dots, N)$ концевой точки $F(X_i, Y_i)$ звена BF и соответствующие углы $\Delta\varphi_i (i = 1, 2, \dots, N)$, определяющие заданный закон вращения звена AB .

В качестве минимизируемой функции принято выражение

$$\Delta_{qi} = |B_i F_i|^2 - k^2 = (X_{B_i} - X_{F_i})^2 + (Y_{B_i} - Y_{F_i})^2 - k^2 \quad (2)$$

$$(i = 1, 2, \dots, N),$$

соответствующее условию постоянства расстояния между точками B и F в N заданных положениях. Функции (2) зависят от искомых па-

параметров синтезируемой диады: координат X_A, Y_A центра шарнира А, угла φ_0 , ориентирующего ось отсчета угла φ , и длины a , k звеньев.

Функция (2) можно привести к многочленам второго порядка от новых параметров: $p_1 = a \cos \varphi_0$, $p_2 = a \sin \varphi_0$, $p_3 = \frac{1}{2} (p_1^2 + p_2^2 + p_4^2 + p_5^2 - k^2)$, $p_4 = X_A$, $p_5 = Y_A$, со старшими членами билинейного вида. Это позволило приложить вышеуказанный алгоритм работы [6] для численного нахождения минимумов суммы S к синтезу рассматриваемой диады.

Общая блок-схема и характеристика «АПСИН». Как видно из упрощенной блок-схемы, представленной на рис. 3, «АПСИН» позволяет синтезировать механизмы, выполняющие следующие функции:

1. Реализацию заданного закона плоскопараллельного движения твердого тела (перемещающие механизмы);
2. Перемещение точки твердого тела по заданной траектории (направляющие механизмы);
3. Согласование угловых перемещений двух звеньев согласно заданной функции (передаточные механизмы).

Система «АПСИН» предполагает пакетную обработку входных заданий, что позволяет осуществлять как эффективную эксплуатацию ЭВМ, так и проверку вида и последовательности ввода входной информации. Выбор режимов работы, способа приближения, общей схемы синтеза производится с помощью управляющих операторов, содержащихся во входном задании. Так, например, управляющая карта 'КВАД' настраивает систему на квадратическое приближение, а 'ЧЕБИР' — на решение задач синтеза с использованием чебышевских приближений.

С целью максимального использования функциональных возможностей системы предполагается как автоматический режим работы ('АВТ'), так и полуавтоматический ('ПАВТ'), при котором пользователю предоставляется возможность вмешиваться в процесс синтеза и корректировать ход работы.

Помимо подпрограмм, выполняющих стандартные процедуры синтеза, система включает в себя подпрограммы определения размеров синтезируемых механизмов (ORAZ1, ORAZ2, ORAZ3), анализа точности воспроизведения механизмами заданной функции (АКМ, АКРМ, АККМ, АРМ), определения углов передачи и анализа существования кривошипа (АКУР:R), а также ряд подпрограмм математического обеспечения системы.

Синтез перемещающих механизмов. Помимо управляющих операторов, пользователям задаются таблица значений параметров X_{0i}, Y_{0i}, θ_i ($i = 1, 2, \dots, N$), границы желаемой области расположения подвижных шарниров на плоскости (объекте) Ω и погрешность вычислений ε .

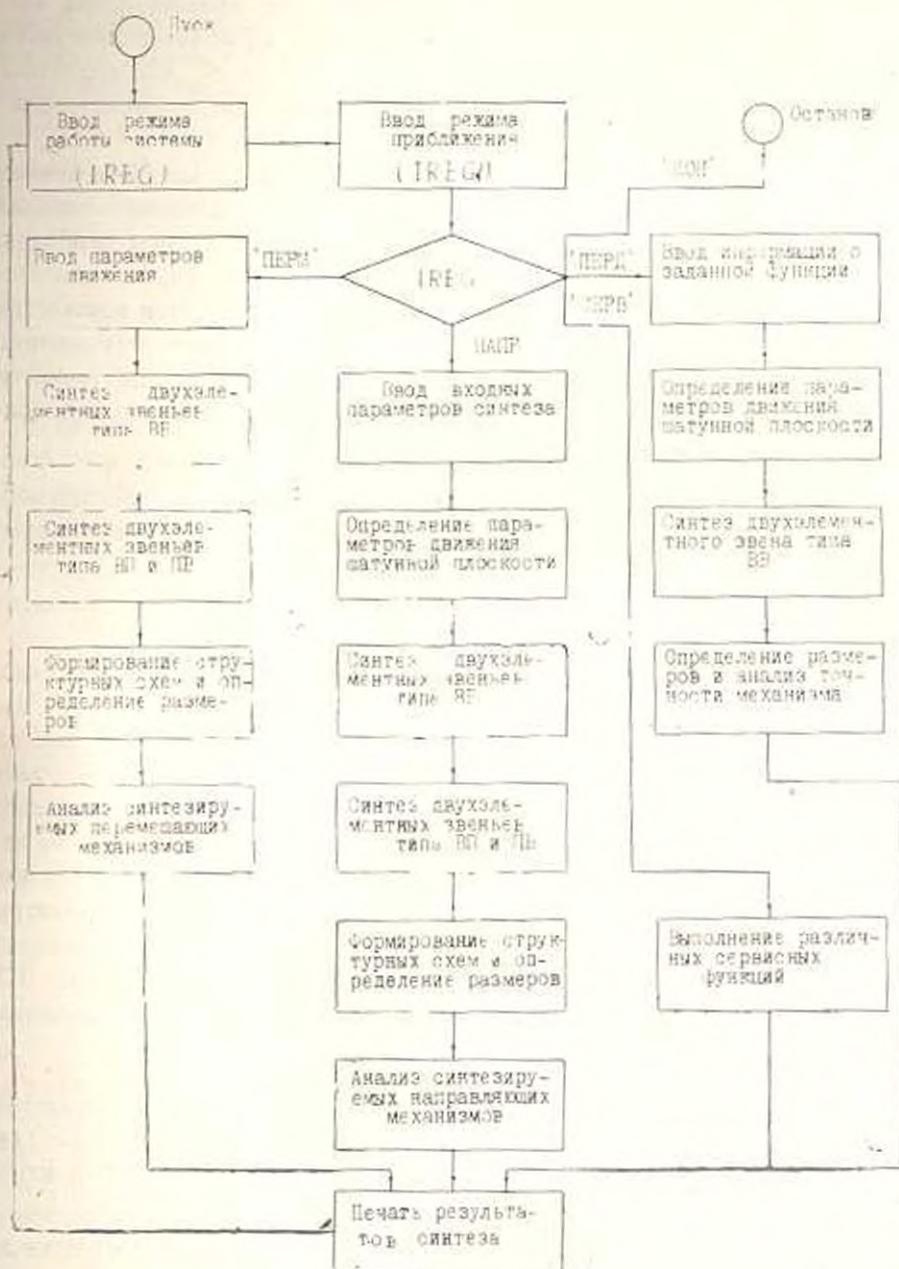


Рис. 3.

В соответствии с выбранным алгоритмом формирования механизмов синтез начинается с вычисления приближенных круговых точек, определяющих двухэлементные звенья типа ВВ. Найденные двухэлементные звенья могут значительно различаться друг от друга по точности воспроизведения заданного закона движения. Исходя из этого, при

полуавтоматическом режиме работы пользователю предоставлена возможность выбора приближенных круговых точек из области плоскости e , соответствующей глобальному минимуму суммы S , что позволяет получать механизмы с более точной реализацией предписанного движения.

Синтезируя звенья типа ВП и ПВ, «АПСИН» в дальнейшем выполняет формирование структурных схем, определение размеров и анализ механизмов на точность, проворачиваемость звеньев и углы передачи. Если в процессе предшествующего поиска найдено n двухэлементных звеньев ВВ и по одному звену типа ВП и ПВ, то образуется множество C_n шарнирных, n ползуновых и n кулисных четырехзвенных механизмов. Из них выбираются варианты, оптимальные с точки зрения точности реализации закона движения, и одновременно удовлетворяющие дополнительным условиям синтеза.

Синтез направляющих механизмов. В данном случае (рис. 2) задаются координаты X_i, Y_i ($i = 1, 2, \dots, N$) заданных положений точки F шатуна, размеры днады ABF , либо таблица значений углов поворота входного звена $\Delta\varphi_i$ ($i = 1, 2, \dots, N$), и погрешность вычислений ϵ .

В систему заложен общепринятый алгоритм синтеза приближенно-направляющих механизмов, идея которого заключается либо в назначении шести параметров механизма, либо в задании закона движения чертящей точки в зависимости от угла поворота входного звена. В обоих случаях синтез сводится к задаче приближенной реализации заданного плоскопараллельного движения. Действительно, задаваясь в первом варианте размерами днады ABF , или синтезируя ее по заданным положениям чертящей точки F и звена AB во втором, вычисляются параметры положений системы Bxy , жестко связанной с шатуном, относительно неподвижной системы OXY . Далее определяются звенья типа ВВ, ВП, ПВ, и их присоединением к шатуну получаем направляющие механизмы различной структуры.

Синтез передаточных механизмов. Передаточный механизм должен приближенно воспроизводить заданную функцию $\psi = f(\varphi)$ ($\varphi_0 \leq \varphi < \varphi_m$), связывающую углы поворота ψ и φ выходного и входного звеньев. Кроме этой функции задается число соответствующих дискретных положений входного и выходного звеньев и погрешность вычислений ϵ .

Следуя представленной в [6] методике, за единицу принята длина стойки, а искомыми параметрами передаточного механизма являются относительные длины a, b, c звеньев и начальные значения φ_0, ψ_0 углов φ, ψ . Производя перестановку углов φ_0, φ и ψ_0, ψ и рассматривая движение системы Dxy , жестко связанной с CD , относительно системы AXY (рис. 4), жестко связанной со звеном AB , получим:

$$X_D = \cos(2\pi - \varphi), \quad Y_D = \sin(2\pi - \varphi), \quad b = \psi - \varphi. \quad (3)$$

Обращая далее движение механизма постановкой его на звено AB указанную задачу приводим к задаче приближенной реализации заданного закона движения: определить точку $C(x_c, y_c)$ плоскости Dxu , траектория которой приближается к окружности с центром $B(X_B, Y_B)$ и радиусом $R = b$. После определения круговой точки вычисляются остальные параметры:

$$a = \sqrt{X_B^2 + Y_B^2}, \quad c = \sqrt{x_c^2 + y_c^2},$$

$$\varphi_0 = \arctg \frac{Y_B}{X_B}, \quad \psi_0 = \arctg \frac{y_c}{x_c}.$$

Для работы в указанном режиме пользователю необходимо составить подпрограмму *FUNPER*, в которой должны определяться параметры (3) согласно реализуемой функции $\psi = f(\varphi)$.

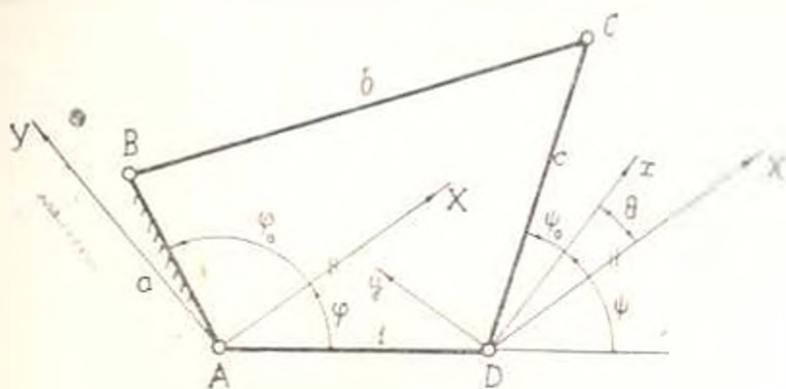


Рис. 4.

Режим сервиса. Данный режим позволяет осуществлять синтез многозвенных рычажных механизмов, связанный с процессом синтеза диад различной структуры и решать интерполяционные задачи, связанные с точным воспроизведением 4 и 5 положений плоскости e .

Выполнение последней функции основывается на том, что при $N = 4$ подпрограмма *PKKT* на плоскости e определяет дугу круговых точек, имеющих 4 положения на одной окружности, для которых $\Delta_{qi} = 0$ ($i = 1, 2, 3, 4$), а при $N = 5$ приводит к точкам Бурместера с 5 положениями на одной окружности. Подпрограммы *PPF* и *PPP* определяют, соответственно, точку Болла, имеющую 4 положения на прямой, и прямую Болла, четыре положения которой образуют пучок с подвижным центром.

Пример. Спроектировать четырехзвенный перемещающий механизм, приближенно воспроизводящий 10 положений шатуновой плоскости, заданных следующей таблицей.

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
X_{0i}	-0,65	-0,65	-0,5	-0,35	-0,2	0	0,1	0,15	0,1	0
Y_{0i}	0	-0,3	-0,55	-0,75	-0,85	-0,75	-0,45	-0,15	0,2	0,35
α_i	0	20°	30	30'	20	2°	-20'	-33	-45	-50

Система «АПСНН» в режиме синтеза перемещающих механизмов с использованием квадратического приближения определила шесть двух-элементных звеньев с вращательными параметрами и два звена типа III и IV. Рассмотрение 15 шарнирных, 6 ползуновых и 6 кулисных механизмов позволило выявить четырехзвенный механизм, реализующий наилучшую точность воспроизведения заданного движения. Это кривошипно-ползунный механизм ABC с параметрами: $l_{AB} = 0,514098$, $l_{BC} = 0,798384$, $X_A = 0,015164$, $Y_A = 0,043929$, уравнением направляющей ползуна $X/(-1,723194) + Y/(-3,757568) = 1$ и максимальным углом давления, равным $44^{\circ}52'$. Проведенный анализ отклонений, при котором в качестве обобщенной координаты принимался угол поворота шатуна θ и вычислялись расстояния l_i ($i = 1, 2, \dots, 10$) истинных положений o_i^{II} точки o_i^{II} шатунной плоскости синтезированного механизма от заданных положений o_i , привел к результату: $\max |l_i| = 0,065831$.

ЕрПН им. К. Маркса

Поступило 15.V.1981.

Ս. Ն. ՇԱՀԱՐՈՆՅԱՆ

ՀԱՐՔ ԼՍԱԿԱՅԻՆ ԳԵՆԱՆԻՉՄՆԵՐԻ ՄՈՏԱՐԿՄԱՆ ՍԻՆԹԵԶԻ
«ԱՊՍԻՆ» ԱՎՏՈՄԱՏԱԶՎԱԾ ՀԱՄԱԿԱՐԳ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Ներկայացված է «ԱՊՍԻՆ» ծրագրային համակարգի համառոտ նկարագրությունը: Այն թույլ է տալիս բառակազմային և շեքիչեղան մոտարկումների կիրառությամբ սինթեզել քառադակ, բազմադակ պտտական և համընթաց կենտրոնական զույգերով մեխանիզմներ ըստ երկու ոչ հարակից օղակների հարաբերական շարժման պահանջվող ծրագրի: Համակարգը հնարավորություն ունի որպես մասնավոր դեպք լուծել Բուրմեստրի տեսության ցանկացած խնդիրը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. *Maiwald E.* MEOP—ein Programmpaket zur angenäherten Synthese von Mechanismen. „Maschinenbautechnik“, No. 8, 1974.

2. *Otto J., Weidauer W.* Anwendungsbeispiele des Programmsystems KOGEP zur kinematischen Synthese und Optimierung ebener Koppelgetriebe. „Maschinenbautechnik“, No. 3, 1974.
3. *Sheth P. N., Uicker J. J.* IMP (Integrated Mechanisms Program), a computer-aided design analysis system for mechanisms and linkage. Trans. ASME, ser. B, vol. 94, No. 71-Viehr-80, 1972.
4. *Rubel A. J., Kaufman R. E.* KINSIN III A new humanengineered system for interactive computer-aided design of planar linkages. Trans. ASME, ser. B, vol. 99, No. 2, 1977.
5. *Саркисян Ю. Л., Гупта К., Росс Б.* Кинематическая геометрия в связи с квадратическим приближением заданного движения «Конструирование и технологии машиностроения», № 2, 1973.
6. *Саркисян Ю. Л., Шапарович С. Ш.* Машинные методы аппроксимационного синтеза механизмов. «Механика машины», вып. 59, М., «Наука», 1981.

