УДК 531.1

Т. А. Змейкова, Ю.М. Дракунов
Преп.КазГУ им.аль-Фараби, д.т.н., проф. им.аль-Фараби
T. A. Zmeykova, Yu. M. Drakunov
Teacher KazSU al-Farabi, d.t.s., prof. KazSU al-Farabi

КИНЕМАТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА 5-ГО КЛАССА В СИСТЕМЕ MAPLE

В работе рассмотрен метод определения числа сборок группы Ассура 5-го класса, который позволяет привести систему из шести тригонометрических уравнений к системе из трех алгебраических уравнений средствами Maple. Для этого достаточно записать систему исходных уравнений в проекциях на координатные оси из условия замкнутости контуров. После решения этой системы получаем все сборки механизма, которые используются для решения конкретного примера механизма 5-го класса.

Ключевые слова: механизм 5-го класса, тригонометрические уравнении, проекция, координаты.

KINEMATIC RESEARCH OF THE MECHANISM OF THE 5TH CLASS IN MAPLE SYSTEM

In work the method of definition of number of assemblies of group of Assur of the 5th class which allows leading system from six trigonometrically equations to system from three algebraic equations means of Maple is considered. For this purpose it is enough to write down system of the initial equations in projections to coordinate axes from a condition of isolation of contours. After the decision of this system we receive all assemblies of the mechanism which are used for the solution of a concrete example of the mechanism of the 5th class.

Keywords: mechanism of 5th grade, trigonometric equation, projection coordinates.

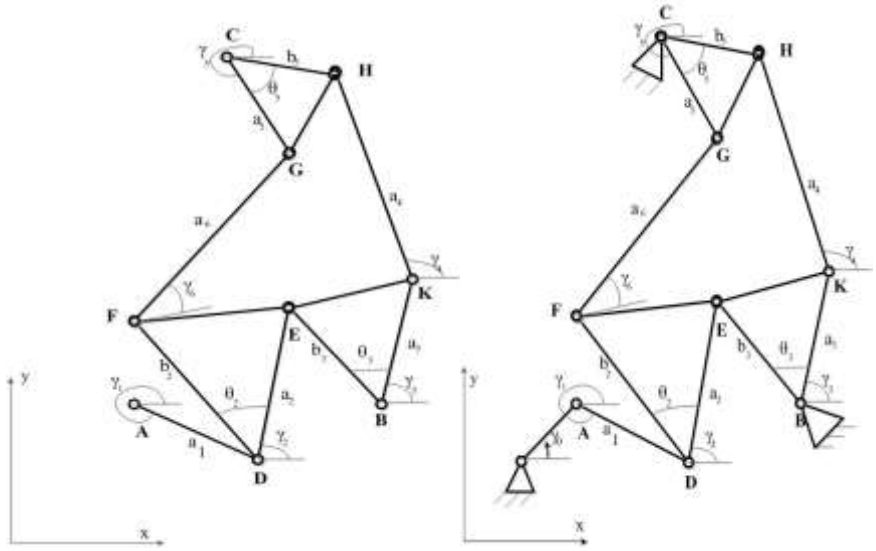

Рисунок 1 - Группа Ассура 5-го класса и соответствующий механизм

Номера звеньев группы обозначены от 1 до 6. Известны размеры звеньев и координаты внешних шарниров A, B, C. Общее число задаваемых геометрических параметров группы равно 18, а именно: $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, \theta_1, \theta_3, \theta_5, b_1, b_3, b_5, x_A, y_A, x_B, y_B,\ x_C, y_C$

Через $\gamma_1,\gamma_2,\gamma_3,\gamma_4,\gamma_5,\gamma_6$ обозначены угловые координаты шести звеньев группы.

Векторные уравнения замкнутости контуров имеют вид:

$$\begin{cases} \overrightarrow{AD}+\overrightarrow{DE}=\overrightarrow{AB}+\overrightarrow{EB} \\ \overrightarrow{AD}+\overrightarrow{DF}+\overrightarrow{FG}=\overrightarrow{AC}+\overrightarrow{GC} \\ \overrightarrow{BK}+\overrightarrow{KH}=\overrightarrow{BC}+\overrightarrow{HC} \end{cases} \qquad (1)$$

Проецируя уравнения (1) на оси x и y, получаем шесть скалярных уравнения с шестью неизвестными:

$$\begin{cases} a_1\cos\gamma_1+a_2\cos\gamma_2=d_1+b_3\cos(\gamma_3+\theta_3) \\ a_1\sin\gamma_1+a_2\sin\gamma_2=d_2+b_3\sin(\gamma_3+\theta_3) \\ a_1\cos\gamma_1+b_2\cos(\gamma_2+\theta_2)+a_6\cos\gamma_6=d_3+a_5\cos\gamma_5 \\ a_1\sin\gamma_1+b_2\sin(\gamma_2+\theta_2)+a_6\sin\gamma_6=d_4+a_5\sin\gamma_5 \\ a_3\cos(\gamma_3)+a_4\cos\gamma_4=d_5+b_5\cos(\gamma_5+\theta_5) \\ a_3\sin(\gamma_3)+a_4\sin\gamma_4=d_6+b_5\sin(\gamma_5+\theta_5) \end{cases} \qquad (2)$$

где

$-x_A+x_{\mathbf{B}}=d_1,\ -y_A+y_B=d_2,\ -x_A+x_C=d_3,\ -y_A+y_C=d_4,\ -x_C+x_B=d_5,\ -y_C+y_B=d_6$.

Пользуясь системой аналитических вычислений Maple, из системы уравнений (2) с помощью команды isolate( ) могут быть последовательно найдены неизвестные $\gamma_2,\gamma_4,\gamma_6$.

$$\cos\gamma_2=\frac{d_1+b_3\cos(\gamma_3+\theta_3)-a_1\cos\gamma_1}{a_2}$$

$$\sin\gamma_2=\frac{d_2+b_3\sin(\gamma_3+\theta_3)-a_1\sin\gamma_1}{a_2}$$

$$\cos\gamma_6=\frac{d_3+a_5\cos\gamma_5-a_1\cos\gamma_1-b_2\cos(\gamma_2+\theta_2)}{a_6} \qquad (3)$$

$$\sin\gamma_6=\frac{d_4+a_5\cos\gamma_5-a_1\cos\gamma_1-b_2\cos(\gamma_2+\theta_2)}{a_6}$$

$$\cos\gamma_4=\frac{d_5+b_5\cos(\gamma_5+\theta_5)-a_3\cos(\gamma_3)}{a_4}$$

$$\sin\gamma_4=\frac{d_5+b_5\sin(\gamma_5+\theta_5)-a_3\sin(\gamma_3)}{a_4}$$

На основании очевидных тождеств $\cos^2\gamma_i+\sin^2\gamma_i=1$ (i=2,4,6) с помощью составленной процедуры в системе Maple получаем систему из трех уравнений. Первые два уравнения решаем с помощью команды solve( ), и находим $\cos\gamma_1$ и $\sin\gamma_1$, а затем с помощью простых преобразований получаем уравнения относительно γ_2, γ_3 и γ_5.

Аналогично, раскрывая выражения в третьем уравнении системы, получим еще одно уравнение относительно неизвестных γ_3 и γ_5.

Команда Maple simplify() для автоматического упрощения выражений и команда раскрытия скобок expand( ) позволяют привести полученные уравнения к более пригодному виду для дальнейших вычислений. Окончательно система тригонометрических уравнений (2) была сведена к системе трех тригонометрических уравнений относительно неизвестных γ_2, γ_3 и γ_5. Эти уравнения могут быть преобразованы к алгебраическим уравнениям с помощью подстановки:

$$U = \tan\left(\frac{\gamma_3}{2}\right),\ V = \tan\left(\frac{\gamma_5}{2}\right), W = \tan\left(\frac{\gamma_2}{2}\right) \tag{4}$$

Тогда для тригонометрических функций можно записать

$$\sin\gamma_3 = \frac{2U}{1+U^2}, \cos\gamma_3 = \frac{1-U^2}{1+U^2}$$

$$\sin\gamma_5 = \frac{2V}{1+V^2},\ \cos\gamma_5 = \frac{1-V^2}{1+V^2}$$

$$\sin\gamma_2 = \frac{2W}{1+W^2},\ \cos\gamma_2 = \frac{1-W^2}{1+W^2}$$

Данные подстановки в системе Maple нам позволяет выполнить команда subs( ). Следовательно, получаем систему из трех уравнений относительно трех неизвестных U, V, W, которая имеет следующий вид:

$$\begin{gathered}
D_0 + D_1U + D_2V + D_3W + D_4U^2 + D_5V^2 + D_6W^2 + D_7U^3 + D_8V^3 + D_9W^3 + D_{10}U^4 + D_{11}V^4 + \\
D_{12}W^4 + +D_{13}UV + +D_{14}UW + D_{15}VW + D_{16}V^2W + D_{17}VW^2 + D_{18}U^2W + D_{19}UW^2 + D_{20}U^2V + \\
D_{21}UV^2 + D_{22}V^3W + D_{23}VW^3 + D_{24}U^3W + D_{25}UW^3 + D_{26}U^3V + D_{27}UV^3 + D_{28}V^4W + D_{29}VW^4 \\
+D_{30}U^4W + D_{31}UW^4 + D_{32}U^4V + D_{33}UV^4 + D_{34}V^2W^2 + D_{35}U^2W^2 + D_{36}U^2V^2 + D_{37}V^3W^3 + \\
D_{38}U^3W^3 + D_{39}U^3V^3 + D_{40}V^4W^4 + D_{41}U^4W^4 + D_{42}U^4V^4 + D_{43}V^2W^3 + D_{44}U^2W^3 + D_{45}U^2V^3 + \\
D_{46}V^3W^2 + D_{47}U^3W^2 + D_{48}U^3V^2 + D_{49}V^2W^4 + D_{50}U^2W^4 + D_{51}U^2V^4 + D_{52}V^4W^2 + D_{53}U^4W^2 + \\
D_{54}U^4V^2 + D_{55}V^3W^4 + D_{56}U^3W^4 + D_{57}U^3V^4 + D_{58}V^4W^3 + D_{59}U^4W^3 + D_{60}U^4V^3 + D_{61}UVW + \\
D_{62}U^2VW + D_{63}UV^2W + D_{64}UVW^2 + D_{65}U^3VW + D_{66}UV^3W + D_{67}UVW^3 + D_{68}U^4VW + \\
D_{69}UV^4W + D_{70}UVW^4 + D_{71}U^3V^3W + D_{72}UV^3W^3 + D_{73}U^3VW^3 + D_{74}U^4V^4W + \\
D_{75}UV^4W^4 + D_{76}U^4VW^4 + D_{77}U^2V^3W + D_{78}UV^2W^3 + D_{79}U^2VW^3 + D_{80}U^3V^2W + \\
D_{81}UV^3W^2 + D_{82}U^3VW^2 + D_{83}U^2V^4W + D_{84}UV^2W^4 + D_{85}U^2VW^4 + D_{86}U^4V^2W + \\
D_{87}UV^4W^2 + D_{88}U^4VW^2 + D_{89}U^3V^4W + D_{90}UV^3W^4 + D_{91}U^3VW^4 + D_{92}U^4V^3W + \\
D_{93}UV^4W^3 + D_{94}U^4VW^3 + D_{95}U^2V^3W^2 + D_{96}U^2V^2W^3 + D_{97}U^3V^2W^2 + D_{98}U^2V^3W^3 + \\
D_{99}U^2V^2W^4 + D_{100}U^3V^3W^2 + D_{101}U^3V^2W^3 + D_{102}U^2V^4W^2 + D_{103}U^4V^2W^2 + D_{104}U^2V^3W^4 + \\
D_{105}U^4V^2W^3 + D_{106}U^3V^4W^2 + D_{107}U^2V^4W^3 + D_{108}U^3V^2W^4 + D_{109}U^4V^3W^2 + D_{110}U^4V^2W^4 + \\
D_{111}U^3V^4W^3 + D_{112}U^3V^3W^4 + D_{113}U^2V^4W^4 + D_{114}U^4V^3W^3 + D_{115}U^4V^4W^2 + D_{116}U^3V^4W^4 + \\
D_{117}U^4V^3W^4 + D_{118}U^4V^4W^3 + D_{119}U^2V^2W^2 + D_{120}U^3V^3W^3 + D_{121}U^4V^4W^4 = 0 \\
E_0 + E_1U + E_2V + E_3U^2 + E_4UV + E_5V^2 + E_6U^2V + E_7UV^2 + E_8U^2V^2 = 0 \\
F_0 + F_1U + F_2W + F_3U^2 + F_4UW + F_5W^2 + F_6U^2W + F_7UW^2 + F_8U^2W^2 = 0
\end{gathered} \tag{5}$$

Таким образом, задача сводится к решению системы трех алгебраических уравнений, которые достаточно просто могут быть решены средствами Maple с помощью функции fsolve(). Затем углы $\gamma_2, \gamma_4, \gamma_6$ находятся по формулам (3), например следующим образом средствами Maple:

$$\gamma_2 = \arctan\left(\frac{d_1 + b_3\cos(\gamma_3+\theta_3) - a_1\cos\gamma_1}{a_2}, \frac{d_2 + b_3\sin(\gamma_3+\theta_3) - a_1\sin\gamma_1}{a_2}\right)$$

$$\gamma_4 = \arctan\left(\frac{d_3 + a_5\cos\gamma_5 - a_1\cos\gamma_1 - b_2\cos(\gamma_2+\theta_2)}{a_6}, \frac{d_4 + a_5\cos\gamma_5 - a_1\cos\gamma_1 - b_2\cos(\gamma_2+\theta_2)}{a_6}\right)$$

$$\gamma_6 = \arctan\left(\frac{d_5 + b_5\cos(\gamma_5+\theta_5) - a_3\cos(\gamma_3)}{a_4}, \frac{d_5 + b_5\sin(\gamma_5+\theta_5) - a_3\sin(\gamma_3)}{a_4}\right)$$

Для рассматриваемого примера на основании приведенного алгоритма были определены 10 сборок группы Ассура 5-го класса и получено их графическое изображение в системе Maple (Рисунок 2).

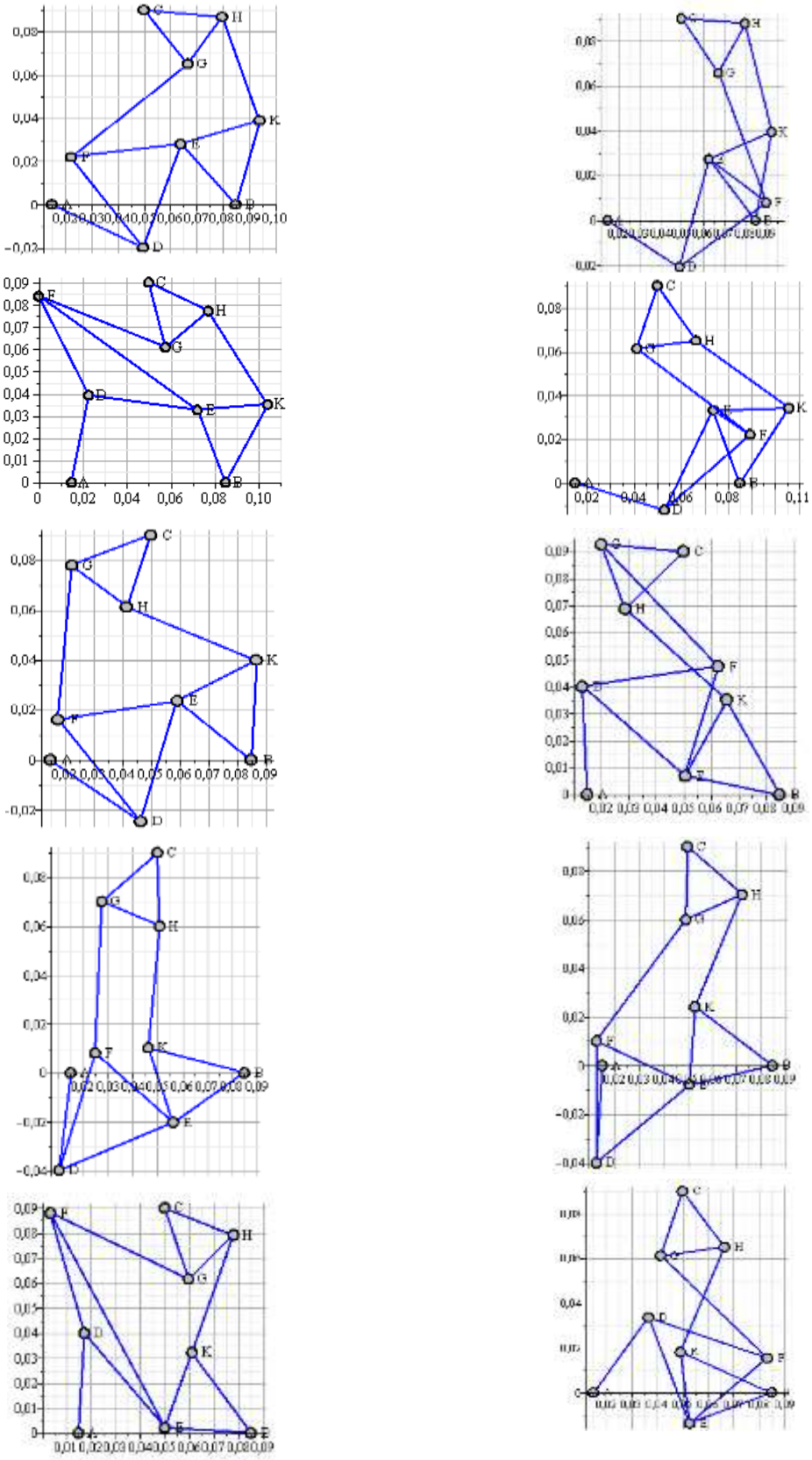

Рисунок 2 – Сборки группы Ассура 5-го класса

Далее рассмотрена задача кинематического анализа для механизма 5-го класса. Координаты точки О (Рисунок 1) задаются вектором $\vec{a}_0$

$$\vec{a}_0 = \{a_0 \cos(\gamma_0), a_0 \sin(\gamma_0), 0\} \qquad (6)$$

Запишем векторные уравнения замкнутости контуров:

$$\begin{cases} \vec{a}_0 + \vec{a}_1 + \vec{a}_2 = \vec{\rho}_D + \vec{b}_3 \\ \vec{a}_0 + \vec{a}_1 + \vec{b}_2 + \vec{a}_6 = \vec{\rho}_F + \vec{a}_5 \\ \vec{a}_3 + \vec{a}_4 = \vec{b}_5 + \vec{\rho}_F - \vec{\rho}_D \end{cases} \qquad (7)$$

Здесь $\vec{\rho}_D = const,\ \vec{\rho}_G = const,\ \vec{\rho}_F = const$ радиус-вектора неподвижных точек D, G и F соответственно в системе координат XOY.

Пусть решена задача о положениях, т.е. найдены вектора $\vec{a}_1, \vec{a}_2, \vec{a}_3, \vec{a}_4,\ \vec{a}_5,\ \vec{a}_6$.

Найдем производную по γ_0 от (7), учитывая формулу Эйлера $\dfrac{d\vec{a}_i}{d\gamma_i} = \vec{k} \times \vec{a}_i$ (здесь и далее $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ – единичные вектора).

$$\begin{cases} \vec{k} \times \vec{a}_0 + \vec{k} \times \vec{a}_1\gamma_1' + \vec{k} \times \vec{a}_2\gamma_2' = \vec{k} \times \vec{b}_3\gamma_3' \\ \vec{k} \times \vec{a}_0 + \vec{k} \times \vec{a}_1\gamma_1' + \vec{k} \times \vec{b}_2\gamma_2' + \vec{k} \times \vec{a}_6\gamma_6' = \vec{k} \times \vec{b}_5\gamma_5' \\ \vec{k} \times \vec{a}_3\gamma_3' + \vec{k} \times \vec{a}_4\gamma_4' = \vec{k} \times \vec{b}_5\gamma_5' \end{cases} \qquad (8)$$

Здесь γ_i' - аналоги угловых скоростей $\gamma_i' = \dfrac{d\gamma_i}{d\gamma_0}$.

Сокращая (8) на орт $\vec{k}$, получим:

$$\begin{cases} \vec{a}_0 + \vec{a}_1\gamma_1' + \vec{a}_2\gamma_2' = \vec{b}_3\gamma_3' \\ \vec{a}_0 + \vec{a}_1\gamma_1' + \vec{b}_2\gamma_2' + \vec{a}_6\gamma_6' = \vec{b}_5\gamma_5' \\ \vec{a}_3\gamma_3' + \vec{a}_4\gamma_4' = \vec{b}_5\gamma_5' \end{cases} \qquad (9)$$

Спроецируем систему (9) на оси координат OX и OY:

$$\begin{cases} a_0\cos(\gamma_0) + a_1\cos(\gamma_1)\gamma_1' + a_2\cos(\gamma_2)\gamma_2' = b_3\cos(\gamma_3+\theta_3)\gamma_3' \\ a_0\sin(\gamma_0) + a_1\sin(\gamma_1)\gamma_1' + a_2\sin(\gamma_2)\gamma_2' = b_3\sin(\gamma_3+\theta_3)\gamma_3' \\ a_0\cos(\gamma_0) + a_1\cos(\gamma_1)\gamma_1' + b_2\cos(\gamma_2+\theta_2)\gamma_2' + a_6\cos(\gamma_6)\gamma_6' = a_5\cos(\gamma_5)\gamma_5' \\ a_0\sin(\gamma_0) + a_1\sin(\gamma_1)\gamma_1' + b_2\sin(\gamma_2+\theta_2)\gamma_2' + a_6\sin(\gamma_6)\gamma_6' = a_5\sin(\gamma_5)\gamma_5' \\ a_3\cos(\gamma_3)\gamma_3' + a_4\cos(\gamma_4)\gamma_4' = b_5\cos(\gamma_5+\theta_5)\gamma_5' \\ a_3\sin(\gamma_3)\gamma_3' + a_4\sin(\gamma_4)\gamma_4' = b_5\sin(\gamma_5+\theta_5)\gamma_5' \end{cases} \qquad (9')$$

Для решения системы (9’) можно записать ее в матричной форме:

$$\begin{bmatrix} a_1\cos(\gamma_1) & a_2\cos(\gamma_2) & -b_3\cos(\gamma_3+\theta_3) & 0 & 0 & 0 \\ a_1\sin(\gamma_1) & a_2\sin(\gamma_2) & -b_3\sin(\gamma_3+\theta_3) & 0 & 0 & 0 \\ a_1\cos(\gamma_1) & b_2\cos(\gamma_2+\theta_2) & 0 & 0 & -a_5\cos(\gamma_5) & a_6\cos(\gamma_6) \\ a_1\sin(\gamma_1) & b_2\sin(\gamma_2+\theta_2) & 0 & 0 & -a_5\sin(\gamma_5) & a_6\sin(\gamma_6) \\ 0 & 0 & a_3\cos(\gamma_3) & a_4\cos(\gamma_4) & -b_5\cos(\gamma_5+\theta_5) & 0 \\ 0 & 0 & a_3\sin(\gamma_3) & a_4\sin(\gamma_4) & -b_5\sin(\gamma_5+\theta_5) & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \gamma_1' \\ \gamma_2' \\ \gamma_3' \\ \gamma_4' \\ \gamma_5' \\ \gamma_6' \end{bmatrix} = -\vec{a}_0 \begin{bmatrix} \cos(\gamma_0) \\ \sin(\gamma_0) \\ \cos(\gamma_0) \\ \sin(\gamma_0) \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Если ввести обозначения

$$\Gamma = [\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4, \gamma_5 \gamma_6]^{\mathrm{T}}, \qquad \Gamma' = \begin{bmatrix} \gamma_1' \\ \gamma_2' \\ \gamma_3' \\ \gamma_4' \\ \gamma_5' \\ \gamma_6' \end{bmatrix} \qquad \mathrm{B} = \begin{bmatrix} \cos(\gamma_0) \\ \sin(\gamma_0) \\ \cos(\gamma_0) \\ \sin(\gamma_0) \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\mathrm{A} = \begin{bmatrix} a_1\cos(\gamma_1) & a_2\cos(\gamma_2) & -b_3\cos(\gamma_3+\theta_3) & 0 & 0 & 0 \\ a_1\sin(\gamma_1) & a_2\sin(\gamma_2) & -b_3\sin(\gamma_3+\theta_3) & 0 & 0 & 0 \\ a_1\cos(\gamma_1) & b_2\cos(\gamma_2+\theta_2) & 0 & 0 & -a_5\cos(\gamma_5) & a_6\cos(\gamma_6) \\ a_1\sin(\gamma_1) & b_2\sin(\gamma_2+\theta_2) & 0 & 0 & -a_5\sin(\gamma_5) & a_6\sin(\gamma_6) \\ 0 & 0 & a_3\cos(\gamma_3) & a_4\cos(\gamma_4) & -b_5\cos(\gamma_5+\theta_5) & 0 \\ 0 & 0 & a_3\sin(\gamma_3) & a_4\sin(\gamma_4) & -b_5\sin(\gamma_5+\theta_5) & 0 \end{bmatrix}$$

то можно матричные уравнения записать в компактной форме:

$$\mathrm{A} \cdot \Gamma' = \mathrm{B} \tag{10}$$

Из системы (10) можно найти аналоги скоростей

$$\Gamma' = \mathrm{A}^{-1} \cdot \mathrm{B} \tag{11}$$

Продифференцируем (9) еще раз по углу поворота кривошипа γ_0:

$$\begin{cases} \vec{k} \times \vec{a}_0 + \vec{k} \times \vec{a}_1 \gamma_1'^2 + \vec{a}_1 \gamma_1'' + \vec{k} \times \vec{a}_2 \gamma_2'^2 + \vec{a}_2 \gamma_2'' = \vec{k} \times \vec{b}_3 \gamma_3'^2 + \vec{b}_3 \gamma_3'' \\ \vec{k} \times \vec{a}_0 + \vec{k} \times \vec{a}_1 \gamma_1'^2 + \vec{a}_1 \gamma_1'' + \vec{k} \times \vec{b}_2 \gamma_2'^2 + \vec{b}_2 \gamma_2'' + \vec{k} \times \vec{a}_6 \gamma_6'^2 + \vec{a}_6 \gamma_6'' = \vec{k} \times \vec{a}_5 \gamma_5'^2 + \vec{a}_5 \gamma_5'' \\ \vec{k} \times \vec{a}_3 \gamma_3'^2 + \vec{a}_3 \gamma_3'' + \vec{k} \times \vec{a}_4 \gamma_4'^2 + \vec{a}_4 \gamma_4'' = \vec{k} \times \vec{b}_5 \gamma_5'^2 + \vec{b}_5 \gamma_5'' \end{cases}$$

(12)

Перепишем (12) в следующем виде:

$$\begin{cases} \vec{a}_1 \gamma_1'' + \vec{a}_2 \gamma_2'' - \vec{b}_3 \gamma_3'' = \vec{l}_1 = k \times \vec{b}_3 \gamma_3'^2 - k \times \vec{a}_0 - k \times \vec{a}_1 \gamma_1'^2 - k \times \vec{a}_2 \gamma_2' \\ \vec{a}_1 \gamma_1'' + \vec{b}_2 \gamma_2'' + \vec{a}_6 \gamma_6'' - \vec{a}_5 \gamma_5'' = \vec{l}_2 = k \times \vec{a}_5 \gamma_5'^2 - k \times \vec{a}_0 - k \times \vec{a}_1 \gamma_1'^2 - k \times \vec{b}_2 \gamma_2'^2 - k \times \vec{a}_6 \gamma_6'^2 \\ \vec{a}_3 \gamma_3'' + \vec{a}_4 \gamma_4'' - \vec{b}_5 \gamma_5'' = \vec{l}_3 = k \times \vec{b}_5 \gamma_5'^2 - k \times \vec{a}_3 \gamma_3'^2 - k \times \vec{a}_4 \gamma_4'^2 \end{cases} \tag{13}$$

Уравнения (13) можно записать в матричной форме:

$$\mathrm{A} \cdot \Gamma'' = C \tag{14}$$

Здесь $C = [l_{1x}, l_{1y}, l_{2x}, l_{2y}, l_{3x}, l_{3y}]^{\mathrm{T}}$, $\vec{l}_1 = \{l_{1x}, l_{1y}, 0\}$, $\vec{l}_2 = \{l_{2x}, l_{2y}, 0\}$, $\vec{l}_3 = \{l_{3x}, l_{3y}, 0\}$

Решая систему (14), найдем искомые аналоги ускорений:

$$\Gamma'' = \mathrm{A}^{-1} \cdot C \tag{15}$$

Решение полученных систем в программе аналитических вычислений Maple позволяет определить кинематические параметры и построить их графики.

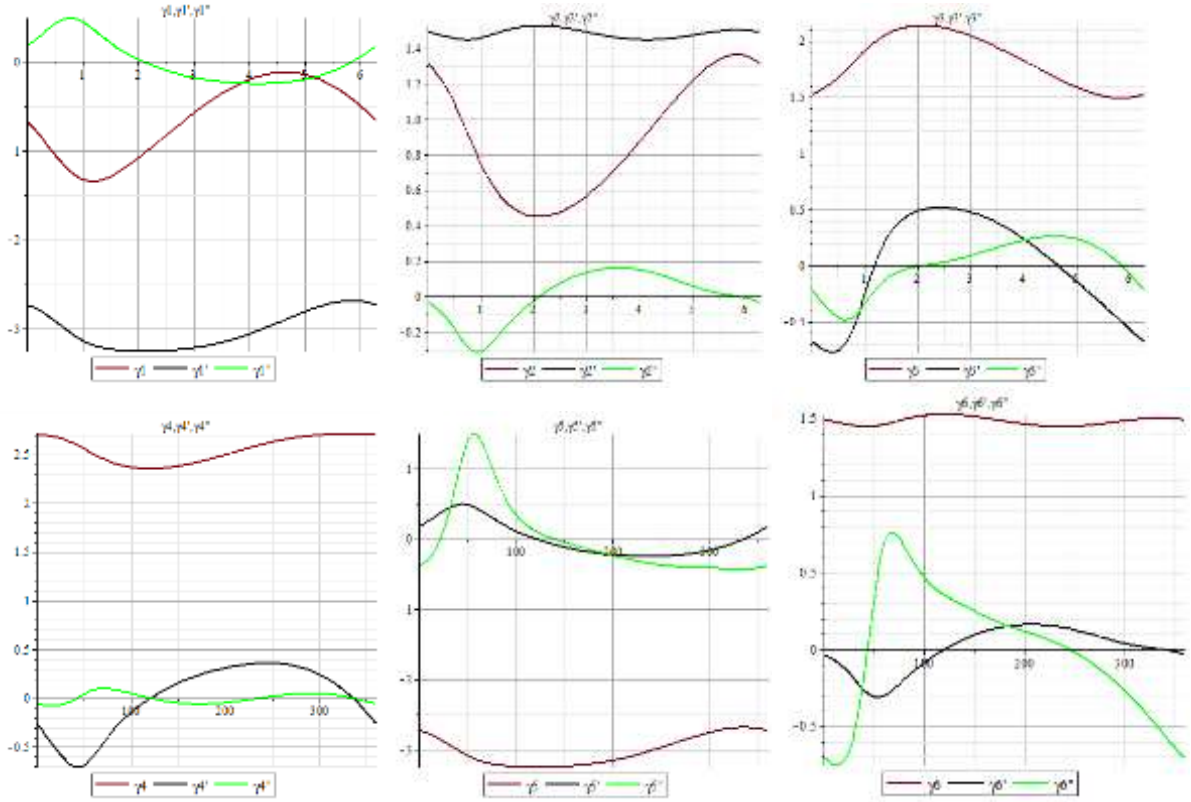

Рисунок 3 – Графики угловых перемещений, аналогов скоростей и ускорений звеньев механизма.

Были также разработаны программы для рисования примитивов (звенья, стойки, ползуны, пружины и т.д.), с помощью которых можно изобразить любой механизм и построить анимационные объекты. На рисунке 3 изображена картина положений механизма 5-го класса в одной из сборок.

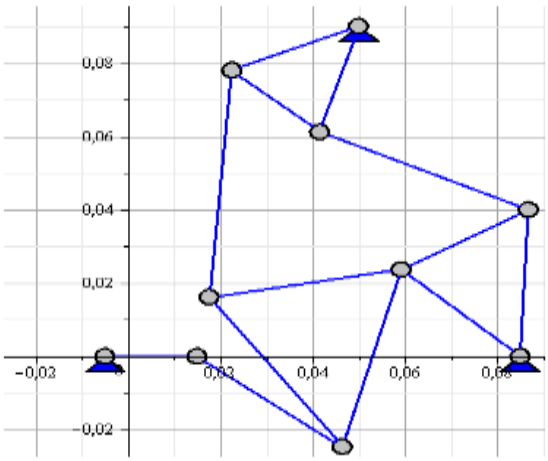

Рисунок 4 – План положения механизма 5-го класса

В последние версии Maple был введен новый пакет расширения Maplets, который обеспечивает построение визуально-ориентированных элементов интерфейса для документов системы. Пакет позволяет выводить на экран множество диалоговых окон и иных средств интерфейса, начиная от простейших кнопок и заканчивая диалоговыми окнами вычисления интегралов и построения графиков по заданным функциям.

Программа выводит диалоговое маплет - окно ввода исходных данных механизма 5-го класса:

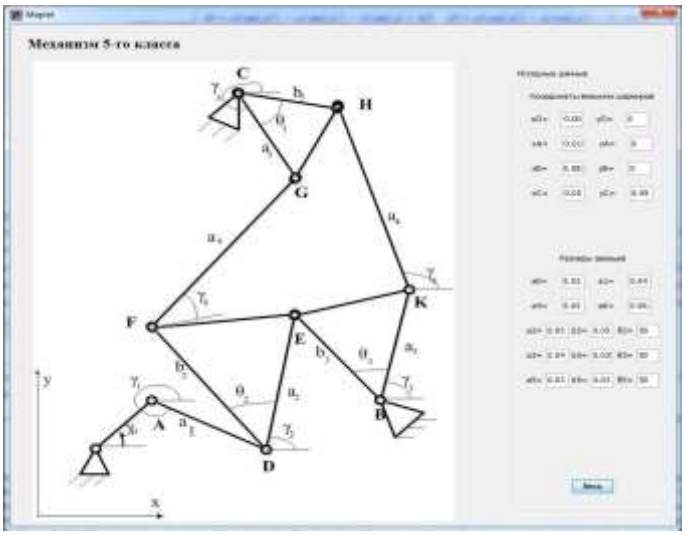

Рисунок 5 – Диалоговое маплет - окно ввода исходных данных

Для создания маплета, во-первых, надо подгрузить специализированный пакет Maplets[Elements], содержащий 63 оператора, один из которых - оператор Maplet - для создания маплета, а оператор Display выводит маплет на экран. Здесь, используем такие опции, как BoxColumn и BoxRow, которые изображают элементы маплета в окне программы. Команда TextField задает строку ввода и вывода. Также применяются дополнительные опции: font - шрифт, width - ширина метки, value - содержимое текстового поля. Управляющая кнопка Button, имеющая название «Ввод», выводит исходные данные в оболочку Maple.

Литература:

1. Механика машин. Учебное пособие для втузов / Под редакцией проф. Г.А. Смирнова; Авторы: И.И. Вульфсон, М.З. Коловский, Э.Е. Пейсах и др. - Москва, издательство "Высшая школа", 1996, 511 с.
2. Джолдасбеков У. А., Молдабеков М. М. Аналитические методы анализа и синтеза механизмов высоких классов. – Алматы, 1997г.