

СИНТЕЗ И АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПЕРЕМЕЩАЮЩЕГО МЕХАНИЗМА IV КЛАССА

Саурбаев Б.С.

Бұл жұмыста IV класы кеңістіктік ауыстырмалық механизмнің анализі мен синтезі қарастырылған.

In work the results of the analysis and synthesis of the spatial restirring mechanism IV of a class are given.

Пространственные ПМВК предназначены для воспроизведения в неподвижной системе координат, заданных законов движения

$$\left. \begin{aligned} X_T &= X_T(t), Y_T = Y_T(t), Z_T = Z_T(t) \\ \psi &= \psi(t), \varphi = \varphi(t), \theta = \theta(t) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

или N конечно-удаленных положений

$$\left. \begin{aligned} X_{T_i} &= X_T(t_i), Y_{T_i} = Y_T(t_i), Z_{T_i} = Z_T(t_i) \\ \psi_i &= \psi(t_i), \varphi_i = \varphi(t_i), \theta_i = \theta(t_i) \end{aligned} \right\}, (i = 1, N) \quad (2)$$

подвижной системы координат $T_{хуz}$, жестко связанной с выходным звеном, при заданном законе движения

$$q = q(t) \quad (3)$$

или N конечно-удаленных положениях

$$q_i = q(t_i) \quad (4)$$

входного звена, где ψ, φ, θ - углы Эйлера.

В качестве примера синтеза пространственного перемещающего ПМВК рассмотрим алгоритмы градиентного синтеза пространственного перемещающего механизма IV класса вида **ВССВСС** (рис. 1) по $N=10$ конечно удаленным положениям входного и выходного звеньев (табл.1).

Таблица 1

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
φ_{1i}	0.1986	0.3047	0.4068	0.5187	0.6508	0.8134	-0.8964	-0.6663	-0.3908	-0.0542
Z_{T_i}	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
φ_i	.0004	0.0776	0.1560	0.2358	0.3180	0.4038	0.4950	0.5944	0.7077	0.8505

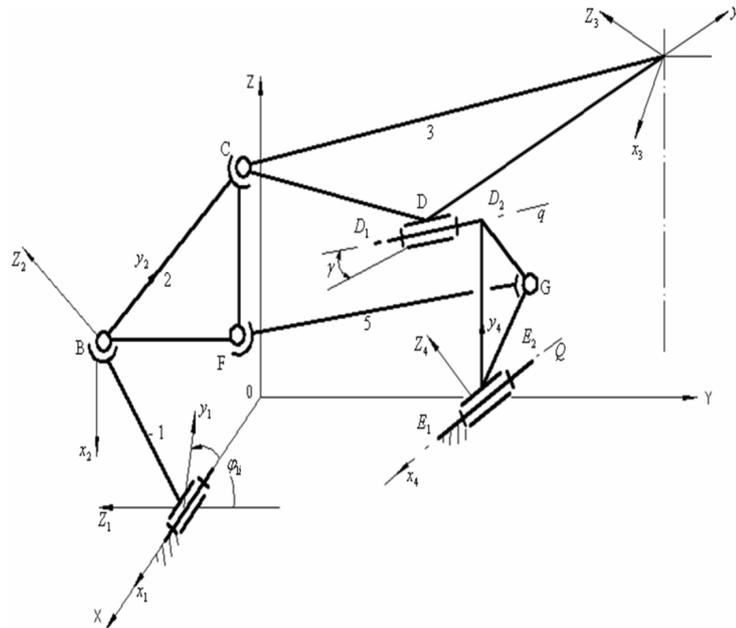


Рис. 1. Пространственный перемещающий механизм IV класса вида VCCBVC

Синтез рассматриваемого пространственного перемещающего механизма проводится в несколько этапов:

1. Синтез пространственной перемещающей ИКЦ вида **VCC** по N конечно-удаленным положениям входного 1 и выходного 3 звеньев.
2. Синтез бинарного звена DE вида **VB**, соединяющего звено 3 перемещающей ИКЦ $ABCT$ со стойкой.
3. Анализ положений сформированного пятизвенника $ABCDE$ вида **VCCBV**.
4. Синтез бинарного звена FG вида **CC**, соединяющего звенья 2 и 4 пятизвенника $ABCDE$.

1. Синтез перемещающей ИКЦ $ABCT$ вида **VCC**.

В задаче синтеза перемещающей ИКЦ вида **VCC** с вращательно движущимся входным звеном две подвижные пространственные системы координат $Ax_1y_1z_1$ и $Tx_3y_3z_3$ соединяются при помощи бинарного звена BC вида **CC** (рис.1).

Необходимо определить параметры $X_A, Y_A, Z_A, x_B, y_B, z_B, x_C, y_C, z_C$ и l_{BC} , где x_B, y_B, z_B и x_C, y_C, z_C - координаты сферических шарниров B и C соответственно в системах координат $Ax_1y_1z_1$ и $Tx_3y_3z_3$; X_A, Y_A, Z_A - координаты точки A вращательного шарнира в абсолютной системе $OXYZ$; l - длина звена BC .

Если рассмотреть движение системы координат $Tx_3y_3z_3$ относительно системы координат $Ax_1y_1z_1$, то точка C движется по сфере с центром в точке B и радиусом l_{BC} .

Составим выражение взвешенной разности в виде:

$$\Delta q_i = (\vec{r}_{C_i} - \vec{r}_B)^2 - l_{BC}^2, \quad (5)$$

где

$$\vec{r}_{C_i} = [T_{A_i}]^T \cdot [\vec{R}_{C_i} - \vec{R}_{A_i}], \quad (6)$$

$$\bar{R}_{C_i} = \bar{R}_{O_{2i}} + [T_{O_{2i}}] \cdot \bar{r}_C; \quad (7)$$

Здесь \bar{r}_C и \bar{R}_{C_i} - радиус-векторы точки B соответственно в системах координат $Ax_1y_1z_1$ и $OXYZ$; $[T_{A_i}]$ и $[T_{3i}]$ - матрицы направляющих косинусов координатных систем $Ax_1y_1z_1$ и $Tx_3y_3z_3$, l_{BC} - длина звена 2.

Тогда взвешенную разность (5) можно представить в виде полинома

$$\Delta q_i = 2 \sum_{j=1}^{37} p_j f_{ji} - F_i, \quad (8)$$

или в виде обобщенных полиномов

$$\Delta q_i^{(1)} = \bar{G}_i^{(1)} \cdot \bar{Q} - g_i' \quad (9)$$

$$\Delta q_i^{(2)} = \bar{G}_i^{(2)} \cdot \bar{P} - g_i'' \quad (10)$$

$$\Delta q_i^{(3)} = 2(\bar{G}_i^{(3)} \cdot \bar{L} - g_i'''), \quad (11)$$

где

$$p_1 = x_C, p_2 = y_C, p_3 = z_C, p_4 = \frac{1}{2}(x_C^2 + y_C^2 + z_C^2 + x_B^2 + y_B^2 + z_B^2 + X_A^2 + Y_A^2 + Z_A^2 - l_{BC}^2),$$

$$p_5 = x_B, p_6 = y_B, p_7 = z_B, p_8 = X_A, p_9 = Y_A, p_{10} = Z_A,$$

$$\bar{Q} = [p_1, p_2, p_3, p_4]^T, \bar{P} = [p_5, p_6, p_7, 1]^T, \bar{L} = [p_8, p_9, p_{10}]^T,$$

$$\bar{R} = [\bar{P}, \bar{L}]^T, \bar{G}_i^{(1)} = [g_{1i}, g_{2i}, g_{3i}, 1]^T, \bar{G}_i^{(2)} = [g_{5i}, g_{6i}, g_{7i}, 1]^T,$$

$$g_{4i} = 1, \bar{G}_i^{(3)} = [g_{8i}, g_{9i}, g_{10i}, g_{4i}]^T;$$

Для отыскания параметров синтеза используются алгоритм последовательных линейных итераций для вычисления квадратического приближения или градиентные методы первого или второго порядка.

На основе приведенного алгоритма синтеза получены следующие значения параметров синтеза:

$$x_B = -1.3000, y_B = -2.7000, z_B = 1.0000$$

$$x_C = 0.4616, y_C = 4.5000, z_C = 0.0009$$

$$X_A = 3.9890, Y_A = -4.9967, Z_A = 0.0000$$

$$l_{BC} = 6.8820$$

Значения градиентов и функций:

$$G(1) = -.2202-12, G(2) = .6966-12, G(3) = -.3027-12, F = .3028-26$$

Синтез бинарного звена DE вида $ВВ$.

Звено 3 перемещающей ИКЦ АВСТ соединяем со стойкой при помощи бинарного звена DE вида $ВВ$ и формируем пятизвенник $ABCDE$ вида $ВССВВ$ (рис.1).

Параметрами синтезируемого бинарного звена являются координаты $x_{D_1}, y_{D_1}, z_{D_1}$ и $x_{D_2}, y_{D_2}, z_{D_2}$ точек D_1 и D_2 пересечения прямой q (оси вращения вращательного шарнира D) с координатными плоскостями системы $Tx_3y_3z_3$, координаты $X_{E_1}, Y_{E_1}, Z_{E_1}$ и $X_{E_2}, Y_{E_2}, Z_{E_2}$ точек E_1 и E_2 пересечения прямой Q (оси вращения вращательного шарнира E) с координатными плоскостями системы

$OXYZ$; кратчайшее расстояние h и угол γ между прямыми D_1D_2 и E_1E_2 ; расстояния $b=D_2D$ и $a=E_1E$, определяющие основания D и E общего перпендикуляра DE на прямых q и Q .

Параметры бинарного звена DE вида **ВВ** определяются таким образом, чтобы переменные расстояния $E_1D_{1i}, E_1D_{2i}, E_2D_{1i}, E_2D_{2i}$ между соответствующими точками искомых осей по возможности мало отличались от некоторых постоянных $E_1D_1, E_1D_2, E_2D_1, E_2D_2$. При этом имеем следующие взвешенные разности

$$\Delta q_{1i} = \left(\bar{R}_{D_{1i}} - \bar{R}_{E_1} \right)^2 - (E_1D_1)^2, \quad (12)$$

$$\Delta q_{2i} = \left(\bar{R}_{D_{2i}} - \bar{R}_{E_2} \right)^2 - (E_1D_2)^2, \quad (13)$$

$$\Delta q_{3i} = \left(\bar{R}_{D_{1i}} - \bar{R}_{E_2} \right)^2 - (E_2D_1)^2, \quad (14)$$

$$\Delta q_{4i} = \left(\bar{R}_{D_{2i}} - \bar{R}_{E_2} \right)^2 - (E_2D_2)^2, \quad (15)$$

где $\bar{R}_{E_{ji}}$ и $\bar{R}_{D_{ji}} (j = \overline{1,2})$ - радиус-векторы точек E_j и D_j в системе $OXYZ$, которые определяются следующими выражениями

$$\bar{R}_{D_i} = \bar{R}_{T_i} + [T_{3i}] \cdot \bar{r}_{D_{ji}}, \quad (j = \overline{1,2}) \quad (16)$$

Взвешенные разности (12-15) могут быть представлены в виде линейных форм

$$\Delta q_{1i}^{(1)} = 2(p_1 f_{1i} + p_2 f_{2i} + p_3 f_{3i} + p_4 f_{4i} - f'), \quad (17)$$

$$\Delta q_{1i}^{(2)} = 2(p_5 f_{5i} + p_6 f_{6i} + p_7 f_{7i} + p_4 f_{4i} - f_i''), \quad (18)$$

$$\Delta q_{2i}^{(1)} = 2(p_8 g_{1i} + p_9 g_{2i} + p_{10} g_{3i} + p_{14} g_{4i} - g_i'), \quad (19)$$

$$\Delta q_{2i}^{(2)} = 2(p_5 g_{5i} + p_6 g_{6i} + p_7 g_{7i} + p_{14} g_{4i} - g_i''), \quad (20)$$

$$\Delta q_{3i}^{(1)} = 2(p_1 \varphi_{1i} + p_2 \varphi_{2i} + p_3 \varphi_{3i} + p_{15} \varphi_{4i} - \varphi_i'), \quad (21)$$

$$\Delta q_{3i}^{(2)} = 2(p_{11} \varphi_{5i} + p_{12} \varphi_{6i} + p_{13} \varphi_{7i} + p_{15} \varphi_{4i} - \varphi_i''), \quad (22)$$

$$\Delta q_{4i}^{(1)} = 2(p_8 \psi_{1i} + p_9 \psi_{2i} + p_{10} \psi_{3i} + p_{16} \psi_{4i} - \psi_i'), \quad (23)$$

$$\Delta q_{4i}^{(2)} = 2(p_{11} \psi_{5i} + p_{12} \psi_{6i} + p_{13} \psi_{7i} + p_{16} \psi_{4i} - \psi_i''), \quad (24)$$

относительно различных наборов искомых параметров

$$p_1 = x_{D_1}, \quad p_2 = y_{D_1}, \quad p_3 = z_{D_1}, \quad p_5 = X_{E_1}, \quad p_6 = Y_{E_1}, \quad p_7 = Z_{E_1},$$

$$p_8 = x_{D_2}, \quad p_9 = y_{D_2}, \quad p_{10} = z_{D_2}, \quad p_{11} = X_{E_2}, \quad p_{12} = Y_{E_2}, \quad p_{13} = Z_{E_2},$$

$$p_4 = \frac{1}{2} \left(x_{D_1}^2 + y_{D_1}^2 + z_{D_1}^2 + X_{E_1}^2 + Y_{E_1}^2 + Z_{E_1}^2 - (E_1D_1)^2 \right),$$

$$\begin{aligned}
p_{14} &= \frac{1}{2} (x_{D_2}^2 + y_{D_2}^2 + z_{D_2}^2 + X_{E_1}^2 + Y_{E_1}^2 + Z_{E_1}^2 - (E_1 D_2)^2), \\
p_{15} &= \frac{1}{2} (x_{D_1}^2 + y_{D_1}^2 + z_{D_1}^2 + X_{E_2}^2 + Y_{E_2}^2 + Z_{E_2}^2 - (E_2 D_1)^2), \\
p_{16} &= \frac{1}{2} (x_{D_2}^2 + y_{D_2}^2 + z_{D_2}^2 + X_{E_2}^2 + Y_{E_2}^2 + Z_{E_2}^2 - (E_2 D_2)^2), \\
\begin{bmatrix} f_{1i} \\ f_{2i} \\ f_{3i} \end{bmatrix} &= [T_{3i}] \cdot \begin{bmatrix} X_{T_i} - X_{E_1} \\ Y_{T_i} - Y_{E_1} \\ Z_{T_i} - Z_{E_1} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} f_{5i} \\ f_{6i} \\ f_{7i} \end{bmatrix} = [T_{3i}] \cdot \begin{bmatrix} x_{D_1} \\ y_{D_1} \\ z_{D_1} \end{bmatrix}; \begin{bmatrix} g_{1i} \\ g_{2i} \\ g_{3i} \end{bmatrix} = [T_{3i}] \cdot \begin{bmatrix} X_{T_i} - X_{E_1} \\ Y_{T_i} - Y_{E_1} \\ Z_T - Z_E \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} g_{5i} \\ g_{6i} \\ g_{7i} \end{bmatrix} = [T_{3i}] \cdot \begin{bmatrix} x_{D_2} \\ y_{D_2} \\ z_{D_2} \end{bmatrix}; \\
\begin{bmatrix} \varphi_{1i} \\ \varphi_{2i} \\ \varphi_{3i} \end{bmatrix} &= [T_{3i}] \cdot \begin{bmatrix} X_{T_i} - X_{E_2} \\ Y_{T_i} - Y_{E_2} \\ Z_T - Z_E \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \varphi_{5i} \\ \varphi_{6i} \\ \varphi_{7i} \end{bmatrix} = [T_{3i}] \cdot \begin{bmatrix} x_{D_1} \\ y_{D_1} \\ z_{D_1} \end{bmatrix}; \begin{bmatrix} \psi_{1i} \\ \psi_{2i} \\ \psi_{3i} \end{bmatrix} = [T_{3i}] \cdot \begin{bmatrix} X_{T_i} - X_{E_2} \\ Y_{T_i} - Y_{E_2} \\ Z_{T_i} - Z_{E_2} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \psi_{5i} \\ \psi_{6i} \\ \psi_{7i} \end{bmatrix} = [T_{3i}] \cdot \begin{bmatrix} x_{D_2} \\ y_{D_2} \\ z_{D_2} \end{bmatrix}; \\
f_i^{(1)} &= -\frac{1}{2} \{ X_{T_i}^2 + Y_{T_i}^2 + Z_{T_i}^2 - 2(X_{T_i} X_{E_1} + Y_{T_i} Y_{E_1} + Z_{T_i} Z_{E_1}) \}, \\
f_i^{(2)} &= -\frac{1}{2} \left\{ X_{T_i}^2 + Y_{T_i}^2 + Z_{T_i}^2 - 2 \left([T_{3i}]^T \cdot \begin{bmatrix} x_{D_1} \\ y_{D_1} \\ z_{D_1} \end{bmatrix} \right) \cdot \begin{bmatrix} X_{T_i} \\ Y_{T_i} \\ Z_{T_i} \end{bmatrix} \right\}, \\
g_i^{(1)} &= -\frac{1}{2} \{ X_{T_i}^2 + Y_{T_i}^2 + Z_{T_i}^2 - 2(X_{T_i} X_{E_1} + Y_{T_i} Y_{E_1} + Z_{T_i} Z_{E_1}) \}, \\
g_i^{(2)} &= -\frac{1}{2} \left\{ X_{T_i}^2 + Y_{T_i}^2 + Z_{T_i}^2 - 2 \left([T_{3i}]^T \cdot \begin{bmatrix} x_{D_2} \\ y_{D_2} \\ z_{D_2} \end{bmatrix} \right) \cdot \begin{bmatrix} X_{T_i} \\ Y_{T_i} \\ Z_{T_i} \end{bmatrix} \right\}, \\
\varphi_i^{(1)} &= -\frac{1}{2} \{ X_{T_i}^2 + Y_{T_i}^2 + Z_{T_i}^2 - 2(X_{T_i} X_{E_2} + Y_{T_i} Y_{E_2} + Z_{T_i} Z_{E_2}) \}, \\
\varphi_i^{(2)} &= -\frac{1}{2} \left\{ X_{T_i}^2 + Y_{T_i}^2 + Z_{T_i}^2 - 2 \left([T_{3i}]^T \cdot \begin{bmatrix} x_{D_1} \\ y_{D_1} \\ z_{D_1} \end{bmatrix} \right) \cdot \begin{bmatrix} X_{T_i} \\ Y_{T_i} \\ Z_{T_i} \end{bmatrix} \right\}, \\
\psi_i^{(1)} &= -\frac{1}{2} \{ X_{T_i}^2 + Y_{T_i}^2 + Z_{T_i}^2 - 2(X_{T_i} X_{E_2} + Y_{T_i} Y_{E_2} + Z_{T_i} Z_{E_2}) \}, \\
\psi_i^{(2)} &= -\frac{1}{2} \left\{ X_{T_i}^2 + Y_{T_i}^2 + Z_{T_i}^2 - 2 \left([T_{3i}]^T \cdot \begin{bmatrix} x_{D_2} \\ y_{D_2} \\ z_{D_2} \end{bmatrix} \right) \cdot \begin{bmatrix} X_{T_i} \\ Y_{T_i} \\ Z_{T_i} \end{bmatrix} \right\},
\end{aligned}$$

Для отыскания параметров синтеза используются алгоритм последовательных линейных итераций для вычисления квадратического приближения или градиентные методы первого или второго порядка.

На основе приведенного алгоритма синтеза бинарного звена вида **ВВ** получены следующие значения параметров синтеза:

$$\begin{aligned}
x_{D_1} &= 1.1000, \quad y_{D_1} = 4.765, \quad z_{D_1} = 2.7890, \\
x_{D_2} &= -0.4001, \quad y_{D_2} = 7.1720, \quad z_{D_2} = 3.3969, \\
x_{E_1} &= 2.8715, \quad y_{E_1} = 4.2450, \quad z_{E_1} = 0.0087, \\
x_{E_2} &= -3.7654, \quad y_{E_2} = 6.2349, \quad z_{E_2} = 0.0099. \\
D_1 E_1 &= 3.9820, \quad D_1 E_2 = 5.5440, \\
D_2 E_1 &= 5.7520, \quad D_2 E_2 = 2.9440,
\end{aligned}$$

Значение градиентов и функций:

$$\begin{aligned}
G(1) &= -.2958-29, \quad G(2) = .6596-13, \quad G(3) = .1945-12, \\
G(4) &= -2745-29, \quad G(5) = .6756-13, \quad G(6) = .1799-12, \quad F = .1320-12
\end{aligned}$$

2. Синтез бинарного звена FG вида CC

Соединяем звенья 2 и 4 сформированного пятизвенника $ABCDE$ бинарным звеном FG вида CC и получим структурную схему перемещающего механизма IV класса вида $BCCBCC$ (рис.1).

Для синтеза бинарного звена FG вида CC сначала проводим анализ положений сформированного пятизвенника $ABCDE$ и определим положения подвижных систем координат $Bx_2y_2z_2$ и $Ex_4y_4z_4$, жестко связанных со звеньями 2 и 4.

Произведя анализ положений сформированного пятизвенника вида $ABCDE$ по заданным положениям выходной точки T_i , определяем положения пространственных диад $\Pi(3,4)$ и $\Pi(1,2)$ методом замкнутых векторных контуров.

Результаты анализа положения пятизвенника $ABCDE$ приведены в таблице 2.

Таблица 2

i	φ_{1i}	φ_{BC}			φ_{DC_i}	φ_{4i}
		x_{BC}	y_{BC}	z_{BC}		
1	0.1986	-0.8308	-0.1420	-0.5382	-1.1228	3.1415
2	0.3047	-0.8308	-0.2306	-0.5066	-1.3050	3.0147
3	0.4068	-0.8308	-0.3003	-0.4687	-1.3840	2.8864
4	0.5187	-0.8308	-0.3615	-0.4232	-1.4640	2.7550
5	0.6508	-0.8308	-0.4197	-0.3656	-1.5460	2.6185
6	0.8134	-0.8308	-0.4768	-0.2872	-1.6320	2.4743
7	-0.8964	-0.8308	0.5244	-0.1865	-1.7230	2.3184
8	-0.6663	-0.8308	0.4734	-0.2928	-1.8220	2.1443
9	-0.3908	-0.8308	0.3994	-0.3877	-1.9350	1.9386
10	-0.0542	-0.8308	0.3206	-0.4550	-2.0780	1.6632

Для синтеза бинарного звена FG обращаемся к задаче координации движений двух подвижных пространственных систем координат $Bx_2y_2z_2$ и $Ex_4y_4z_4$, при помощи бинарного звена вида CC . Искомыми параметрами синтеза рассматриваемого бинарного звена являются координаты x_F, y_F, z_F и x_G, y_G, z_G - центров сферических шарниров F и G в системах координат $Bx_2y_2z_2$ и $Ex_4y_4z_4$; l_{FG} -длина бинарного звена FG .

Рассматривая движение системы координат $Bx_2y_2z_2$ относительно системы $Ex_4y_4z_4$ составим выражение взвешенной разности в виде:

$$\Delta q_i = (\vec{r}_{F_i} - \vec{r}_{G_i})^2 - l_{FG}^2, \quad (25)$$

где

$$\vec{r}_{F_i} = [T_{4i}]^T \cdot [\vec{R}_{F_i} - \vec{R}_{E_i}], \quad (26)$$

$$\vec{R}_{F_i} = \vec{R}_{B_i} + [T_{2i}] \cdot \vec{r}_F; \quad (27)$$

Здесь \vec{r}_{F_i} и \vec{R}_{F_i} - радиус-векторы точки B соответственно в системах координат $Bx_2y_2z_2$ и $OXYZ$; $[T_{A_i}]$ и $[T_{O_{2i}}]$ -матрицы направляющих косинусов координатных систем $Ax_1y_1z_1$ и $O_2x_2y_2z_2$, l_{FG} - длина звена 5.

Подставив (26) и (27) в (25), получим полином вида (8) или в виде обобщенных полиномов (9) и (10), для которых

$$p_1 = x_F, p_2 = y_F, p_3 = z_F, p_5 = x_G, p_6 = y_G, p_7 = z_G,$$

$$p_4 = \frac{1}{2}(x_F^2 + y_F^2 + z_F^2 + x_G^2 + y_G^2 + z_G^2 - l_{FG}^2);$$

$$\bar{Q} = [p_1, p_2, p_3, p_4]^T, \bar{P} = [p_5, p_6, p_7, 1]^T,$$

$$\bar{G}_i^{(1)} = [g_{1i}, g_{2i}, g_{3i}, 1]^T, \bar{G}_i^{(2)} = [g_{5i}, g_{6i}, g_{7i}, 1]^T, g_{4i} = 1.$$

Для отыскания параметров синтеза используются градиентные методы первого или второго порядка.

На основе приведенного алгоритма синтеза бинарного звена вида СС получены следующие значения параметров синтеза:

$$x_B = -1.3000, y_B = -2.7000, z_B = 1.0000,$$

$$x_C = 0.4616, y_C = 4.5000, z_C = 0.0009,$$

$$l_{BC} = 6.8820.$$

Значения градиентов и функций:

$$G(1) = -.2202-12, G(2) = .6966-12, G(3) = -.3027-12, F = .3028-26$$

3. Анализ положений пространственного перемещающего механизма IV класса вида ВССВСС

Для оценки достоверности полученных значений параметров синтеза проводим анализ положений синтезированного перемещающего механизма IV класса и вычисляем отклонения полученных значений переменных параметров выходной точки T от их заданных значений.

Анализ положений сформированного пространственного механизма IV класса проводится методом условных обобщенных координат, согласно которому удаляем бинарное звено 5. При этом исследуемый механизм приобретает одну дополнительную степень свободы. Если выбрать звено 4 за условное ведущее, а одну переменную параметру φ_4 вращательной кинематической пары E - за условный обобщенный координат, то рассматриваемый пространственный механизм IV класса преобразуется в пространственный механизм II класса со структурной формулой

$$I(1) \rightarrow II(2,3) \leftarrow I^*(4) \quad (28)$$

В процессе изменения величин обобщенных координат φ_4 при заданном значениях обобщенной координаты φ_1 изменяется значения параметра \bar{a}_{FG} элементы кинематических пар бинарного звена 5, принадлежащих звеньям 2 и 4. Тогда целевая функция положения имеет вид

$$\Delta_1 = \Delta_1(\bar{a}, q_1^*) = P_1 - \tilde{P}_1 \quad (29)$$

где \vec{a} - вектор метрических параметров механизма, а $q_1 = \varphi_1$, $P_1 = a_{FG}$, $\vec{P}_1 = \vec{a}_{FG}$.

Условные обобщенные координаты определяются минимизацией функции (29), а остальные переменные параметры находятся аналитическим решением задачи о положениях пространственной диады

II (2,3) вида ВСС и рассмотрением бинарного звена 5 вида СС.

Величина \vec{a}_{FG} находится по значениям координат разъединенных сферических шарниров F и G

$$\vec{a}_{FG} = \left[\left(\vec{R}_{F_i} - \vec{R}_{G_i} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (30)$$

где R_{F_i} и R_{G_i} - радиус-векторы сферических шарниров F и G относительно неподвижной системы координат определяются следующими выражениями

$$\vec{R}_{F_i} = \vec{R}_{B_i} + [T_{B_i, F_i}] \cdot \vec{r}_{F_i}; \quad (31)$$

$$\vec{R}_{G_i} = \vec{R}_{E_i} + [T_{E_i, G_i}] \cdot \vec{r}_{G_i}; \quad (32)$$

где $[T_{B_i, F_i}]$ и $[T_{E_i, G_i}]$ - матрицы направляющих косинусов относительно неподвижной системе координат $OXYZ$.

Находим координаты шарниров B и D относительно системы координат $OXYZ$

$$\vec{R}_{B_i} = \vec{R}_A + [T_{A, B_i}] \cdot \vec{r}_{B_i}; \quad (33)$$

$$\vec{R}_{D_i} = \vec{R}_E + [T_{E, D_i}] \cdot \vec{r}_{D_i}; \quad (34)$$

После нахождения координаты шарниров B и D решаем пространственную диаду II(2,3) вида ВСС.

Координаты шатунной точки T определяются из следующих соотношений

$$\vec{R}_T = \vec{R}_{D_i} + [T_{D_i, T_i}] \cdot \vec{r}_{T_i}; \quad (35)$$

Если величины отклонений не удовлетворяют заданную точность, то уточняем параметры синтеза пространственной перемещающей ИКЦ АВСТ.

Синтез пространственной перемещающей ИКЦ АВСТ проводится согласно выше приведенному алгоритму п.6.1. В противном случае синтез пространственного перемещающего механизма IV класса завершается.

На основе приведенного алгоритма анализа положений перемещающего механизма IV класса полученные значения приведены в таб.3.

Таблица 3

I	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
φ_{1i}	0.1986	0.3047	0.4068	0.5187	0.6508	0.8134	-0.8964	-0.6663	-0.3908	-0.0542
φ_{4i}	2.9436	2.9988	2.7964	2.6798	2.5093	2.3979	2.2994	1.9989	1.8790	1.5879

Анализ положений синтезированного пространственного перемещающего механизма IV класса показал достоверность полученных значений параметров синтеза.

Отклонение от заданной траекторий составляет не более 0.9-2%.