

Г. У. УАЛИЕВ¹, С. У. ДЖОЛДАСБЕКОВ¹, Б. ЖУРСЕНБАЕВ¹, А. САРБАСОВ²

СТРУКТУРНО-КИНЕМАТИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ПОДЪЕМНЫХ МЕХАНИЗМОВ

Создание новых конструкций подъемных машин связано со структурно-кинематическим синтезом. В результате структурно-кинематического синтеза по заданным законам движения выходных и входных звеньев, т.е. рабочих органов и приводов, определяются структурные схемы и метрические параметры подъемных машин.

Поиски ученых и конструкторов в области универсализации машин до сих пор не дали результатов, что позволяет к основным тенденциям в развитии подъемно-транспортного машиностроения отнести:

- улучшение конструкций существующих видов грузоподъемных устройств за счет применения новых сортов легированных сталей;

- улучшение технологии изготовления звеньев, выбора форм сечения звеньев.

Если коснуться проблем исследования называемых машин, то следует сказать, что конструкторы проектировали и проектируют такие механизмы на основе экспериментальных данных, при помощи моделей и опытных образцов, используя методы конечных элементов, применяя ЭВМ и САПР [1] и на основе мегасистемного метода [2]. Создание принципиально новых конструкций подъемных машин и манипуляционных устройств связано со структурно-кинематическим синтезом этих устройств по заданным законам движения рабочих органов.

В данной работе в результате структурно-кинематического синтеза определим структурную схему и метрические параметры нового подъемника.

В абсолютной системе координат OXY задаемся законом движения точки Р подъемника, перемещающейся по прямой вдоль оси OY (рис. 1),

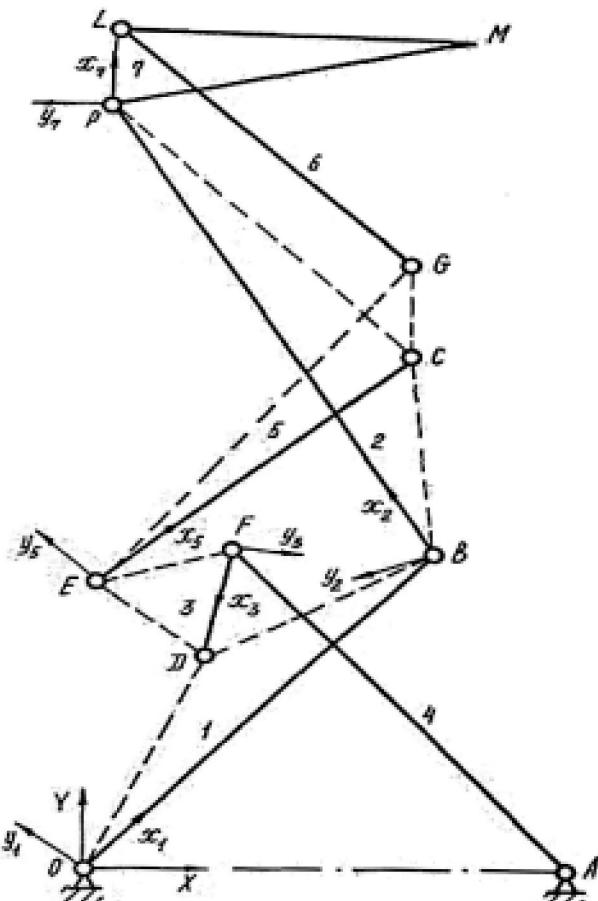
$$\left. \begin{array}{l} X_p = Y_p(t) \\ Y_p = Y_p(t) \end{array} \right\} \quad (1)$$

Уравнения (1) можно представить в виде

$$\left. \begin{array}{l} X_{pi} = X_p(t_i) \\ Y_{pi} = Y_p(t_i) \end{array} \right\} \quad (i = 1, N), \quad (2)$$

где N – число дискретных положений точки Р.

Соединим точки О и Р диадой П(1,2), положения звеньев ОВ и ВР которых определяются из векторного уравнения замкнутости контура ОВР



Структурная схема подъемника

$$l_{OB} \bar{e}_{(OB)i} + l_{BP} \bar{e}_{(BP)i} - l_{(OP)i} \bar{e}_{(OP)i} = 0. \quad (3)$$

Преобразуя данное уравнение в виде

$$l_{BP} \bar{e}_{(BP)i} = l_{(OP)i} \bar{e}_{(OP)i} - l_{OB} \bar{e}_{(OB)i} \quad (4)$$

и возводя обе части данного уравнения в квадрат, получим

$$\varphi_{(OB)i} = \varphi_{(OP)i} - \arccos \frac{l_{(OP)i}^2 + l_{OB}^2 - l_{BP}^2}{2l_{OP}l_{OB}}, \quad (5)$$

где $\varphi_{OP} = 90^\circ$, $l_{(OP)i} = \sqrt{X_{pi}^2 + Y_{pi}^2}$.

С звенями 1 и 2 диады I (1,2) жестко соединяют системы координат Ox_1y_1 и Bx_2y_2 , оси $0x_1$ и Bx_2 , которых совпадают с направлениями звеньев ОВ и ВР.

В системе координат Ox_1y_1 выбираем точку Д с координатами $x_D^{(1)}, Y_D^{(1)}$ и соединяют данную точку со стойкой при помощи диады II (3,4), положения звеньев AF и FD которой определяются из векторного уравнения замкнутости контура AFD

$$l_{AB} e_{(AF)i} + l_{FD} e_{(FD)i} - l_{(FD)i} - l_{(AD)i} e_{(AD)i} = 0 \quad (6)$$

выражениями

$$\varphi_{(AB)i} = \varphi_{(AD)i} - \arccos \frac{l_{(AD)i}^2 + l_{AP}^2 - l_{ED}^2}{2l_{(AD)i}l_{AF}}; \quad (7)$$

$$\varphi_{(FD)i} = \operatorname{arctg} \frac{Y_{Di} - Y_{Fi}}{X_{Di} - X_{Fi}}, \quad (8)$$

где

$$l_{(AD)i} = \sqrt{(X_{Bi} - X_A)^2 + (Y_{Di} - Y_A)^2}, \quad (9)$$

$$\varphi_{(AD)i} = \operatorname{arctg} \frac{Y_{Di} - Y_A}{X_{Di} - X_A}, \quad (10)$$

$$\begin{bmatrix} X_{Di} \\ Y_{Di} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi_{(OB)i} & -\sin \varphi_{(OB)i} \\ \sin \varphi_{(OB)i} & \cos \varphi_{(OB)i} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_D^{(1)} \\ Y_D^{(1)} \end{bmatrix}, \quad (11)$$

$$\begin{bmatrix} X_{Fi} \\ Y_{Fi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_A \\ Y_A \end{bmatrix} + l_{AF} \begin{bmatrix} \cos \varphi_{(AF)i} \\ \sin \varphi_{(AF)i} \end{bmatrix}. \quad (12)$$

С звеном 3 диады II (3,4) жестко соединяют системы координат Fx_3y_3 , ось Fx_3 , которой совпадает с направлением звена FD.

Звенья 2 и 3 полученного пятизвенника ОДФАВР соединяют поводком ЕС. Для этого необходимо решить задачу о координации движений двух подвижных систем координат Bx_2y_2 и Fx_3y_3 при помощи бинарного звена ЕС вида ВВ [5].

Рассмотрим обращенное движение системы Bx_2y_2 относительно системы Fx_3y_3 . При этом шарнир С $(x_C^{(2)}, y_C^{(2)})$ движется по дуге окружности с центром в шарнире Е $(x_E^{(3)}, y_E^{(3)})$ и радиусом l_{EC} .

Составим взвешенную разность в виде

$$\Delta q_i = (x_{Ci}^{(3)} - x_E^{(3)})^2 + (y_{Ci}^{(3)} - y_E^{(3)})^2 - l_{EC}^2, \quad (13)$$

где

$$\begin{bmatrix} x_{Ci}^{(3)} \\ y_{Ci}^{(3)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi_{(FD)i} \sin \varphi_{(FD)i} \\ -\sin \varphi_{(FD)i} \cos \varphi_{(FD)i} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_{Ci} - X_{Fi} \\ Y_{Ci} - Y_{Fi} \end{bmatrix}, \quad (14)$$

$$\begin{bmatrix} X_{Ci} \\ Y_{Ci} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{Bi} \\ Y_{Bi} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos \varphi_{(BP)i} - \sin \varphi_{(BP)i} \\ \sin \varphi_{(BP)i} \cos \varphi_{(BP)i} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_C^{(2)} \\ y_C^{(2)} \end{bmatrix}, \quad (15)$$

здесь $x_{Ci}^{(3)}, y_{Ci}^{(3)}$ и X_{Ci}, Y_{Ci} – координаты шарнира С соответственно в системах координат Fx_3y_3 и OXY .

Взвешенную разность можно представить в виде

$$\Delta q_i = 2[P_1 f_{1i} + P_2 f_{2i} + P_3 f_{3i} + P_4 f_{4i} + P_5 f_{5i} + (P_1 P_4 + P_2 P_5) f_{6i} + (P_1 P_5 - P_2 P_4) f_{7i} - F_i], \quad (16)$$

где

$$P_1 = x_E^{(3)}, \quad P_2 = y_E^{(3)},$$

$$P_3 = \frac{1}{2}(x_E^{(3)2} + y_E^{(3)2} + x_C^{(2)2} + y_C^{(2)2} - l_{EC}^2),$$

$$P_4 = x_C^{(2)}, \quad P_5 = y_C^{(2)},$$

$$f_{1i} = -(X_{Bi} - X_{Fi}) \cos \varphi_{(FD)i} - (Y_{Bi} - Y_{Fi}) \sin \varphi_{(FD)i},$$

$$f_{2i} = (X_{Bi} - X_{Fi}) \sin \varphi_{(FD)i} - (Y_{Bi} - Y_{Fi}) \cos \varphi_{(FD)i},$$

$$f_{4i} = (X_{Bi} - X_{Fi}) \cos \varphi_{(BP)i} + (Y_{Bi} - Y_{Fi}) \sin \varphi_{(BP)i},$$

$$f_{5i} = -(X_{Bi} - X_{Fi}) \sin \varphi_{(BP)i} + (Y_{Bi} - Y_{Fi}) \cos \varphi_{(BP)i},$$

$$f_{6i} = -\cos(\varphi_{(BP)i} - \varphi_{(FD)i}),$$

$$f_{7i} = \sin(\varphi_{(BP)i} - \varphi_{(FD)i}),$$

$$F_i = -\frac{1}{2}[(X_{Bi} - X_{Fi})^2 + (Y_{Bi} - Y_{Fi})^2].$$

$$f_3 = 1,$$

$$f_7 = \sin(\varphi_{(BP)i} - \varphi_{(FD)i}),$$

но в то же время взвешенная разность (16), являясь функцией от пяти параметров $x_E^{(3)}, y_E^{(3)}, x_C^{(2)}, y_C^{(2)}, l_{EC}$, может быть представлена в виде следующих двух обобщенных полимеров

$$\Delta q_i^{(1)} = 2(P_1 g_{1i} + P_2 g_{2i} + P_3 g_{3i} - g_i^*), \quad (17)$$

$$\Delta q_i^{(2)} = 2(P_4 g_{4i} + P_5 g_{5i} + P_6 g_{6i} - g_i^*), \quad (18)$$

где

$$g_{ki} = \frac{\partial \Delta q_i}{\partial P_k}, (k = 1, 2, 3), \quad (19)$$

$$g_i^* = (\Delta q_i - \frac{\partial \Delta q_i}{\partial P_{1,2,3}}), \quad (20)$$

$$g_i^* = (\Delta q_i - \frac{\partial \Delta q_i}{\partial P_{4,5,6}}). \quad (21)$$

Для каждой взвешенной разности (17) и (18)

$\Delta q_i^{(j)}, (j = 1, 2)$ составляем суммы

$$S_j = \sum_{i=1}^N [\Delta q_i^{(j)}]^2, \quad (22)$$

условия стационарности

$$\frac{\partial S_j}{\partial P_k} = 0, (K = 1, 2, 3), \quad (23)$$

которых приводят к двум системам линейных уравнений.

Первая система линейных уравнений, соответствующая условиям стационарности

$$\frac{\partial S_1}{\partial P_1} = 0; \quad \frac{\partial S_1}{\partial P_2} = 0; \quad \frac{\partial S_1}{\partial P_3} = 0; \quad (24)$$

имеет вид

$$\sum_{i=1}^N \begin{bmatrix} g_{1i}^2 & g_{1i}g_{2i} & g_{1i} \\ g_{1i}g_{2i} & g_{2i}^2 & g_{2i} \\ g_{1i} & g_{2i} & N \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{bmatrix} = \sum_{i=1}^N \begin{bmatrix} g_{1i}g_i^* \\ g_{2i}g_i^* \\ g_i^* \end{bmatrix}. \quad (25)$$

Неизвестные коэффициенты системы (25) вычисляем из соотношений при $|D_1| \neq 0$.

$$P_1 = \frac{|D_1 P_1|}{|D_1|}, \quad P_2 = \frac{|D_1 P_2|}{|D_1|}, \quad P_3 = \frac{|D_1 P_3|}{|D_1|}, \quad (26)$$

где $|D_1|, |D_1 P_1|, |D_1 P_2|, |D_1 P_3|$ – определители третьего порядка, полученные по правилу Крамера.

После нахождения коэффициентов P_1, P_2, P_3 параметры синтеза определяются следующим образом.

$$x_E^{(3)} = P_1, \quad y_E^{(3)} = P_2, \quad (27)$$

$$l_{EC} = (x_C^{(2)^2} + y_C^{(2)^2} + x_E^{(3)^2} + y_E^{(3)^2} - 2p_3)^{\frac{1}{2}}.$$

Вторая система линейных уравнений для определения следующей тройки неизвестных коэффициентов P_4, P_5, P_6 составленная из условий стационарности

$$\frac{\partial S_2}{\partial P_4} = 0, \quad \frac{\partial S_2}{\partial P_5} = 0, \quad \frac{\partial S_2}{\partial P_6} = 0, \quad (28)$$

принимает вид

$$\sum_{i=1}^N \begin{bmatrix} g_{4i}^2 & g_{4i}g_{5i} & g_{4i} \\ g_{4i}g_{5i} & g_{5i}^2 & g_{5i} \\ g_{4i} & g_{5i} & N \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} P_4 \\ P_5 \\ P_6 \end{bmatrix} = \sum_{i=1}^N \begin{bmatrix} g_{4i}g_i^* \\ g_{5i}g_i^* \\ g_i^* \end{bmatrix}. \quad (29)$$

Вычисленные по формулам Крамера неизвестные коэффициенты системы (29) при $|D_2| \neq 0$

$$P_4 = \frac{|D_2 P_4|}{|D_2|}, \quad P_5 = \frac{|D_2 P_5|}{|D_2|}, \quad P_6 = \frac{|D_2 P_6|}{|D_2|} \quad (30)$$

определяют искомые параметры синтеза.

$$x_C^{(2)} = P_4, \quad y_C^{(2)} = P_5,$$

$$l_{EC} = (x_C^{(2)^2} + y_C^{(2)^2} + x_E^{(3)^2} + y_E^{(3)^2} - 2p_3)^{\frac{1}{2}}. \quad (31)$$

Таким образом, для определения искомых параметров синтеза бинарного звена вида ВВ, строится интеграционный процесс, К-ый цикл которого осуществляется по следующему алгоритму:

1. Считая известным (К-1)-ое приближение параметров $x_C^{(2)(k-1)}, y_C^{(2)(k-1)}$, для взвешенной разности $\Delta q_i^{(1)}$ вычисляются функции g_{1i}, g_{2i}, g_i^* выражениями (19) (20). Из системы линейных уравнений (25) при $|D_1| \neq 0$ находим неизвестные коэффициенты P_1, P_2, P_3 , которые согласно выражениям (27) и определяют параметры

$$x_E^{(3)(k)}, y_E^{(3)(k)}, l_{EC}^{(3)(k)}.$$

2. По значениям параметров $x_E^{(3)(K)}, y_E^{(3)(K)}$ вычисляются функции g_{4i}, g_{5i}, g_i , которые определяют систему линейных уравнений (29) для нахождения неизвестных коэффициентов P_4, P_5, P_3 . По найденным коэффициентам P_4, P_5, P_3 выражениями (31) определяем параметры $x_C^{(2)(K)}, y_C^{(2)(K)}, I_{EC}^{(k+1)}$.

Интеграционный процесс завершается, когда выполнится условие

$$\left| I_{EC}^{(K+1)} - I_{EC}^K \right| \leq \varepsilon, \quad (32)$$

где ε – заданная точность вычисления.

В результате получим шестизвездочный прямолинейно направляющий механизм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кудрявцев Е.М. Основы автоматизации проектирования машин. М.: Машиностроение, 1993. 334 с.
2. Клашанов Ф.К. Проектирование строительной техники на основе мегасистемного метода // Мат-лы междунар. научн.-техн. конф. «Интерстроймех – 2008». Владимир, 2008. С. 132-137.

3. Джолдасбеков У.А. Теория механизмов высоких классов. Алматы: Фылым, 2001. 427 с.

Резюме

Көтергіш машиналардың жана құрылғыларын жобалау құрылымдық-кинематикалық синтезен байланысты. Көтергіш машиналардың құрылымдық схемалары мен параметрлері жетекші және шығыс бұындарының, ятни жұмысшы органдары қозғалысының берілген зандары бойынша жасалған құрылымдық-кинематикалық синтез нәтижесінде табылады.

Summary

The methods for structural and parametric synthesis of devices mechanism are developed. According to these methods the structural and metric parameters are simultaneously defined by the given input and output motions. The methods for structural and parametric synthesis are based on the developed principle of forming mechanisms which presenting them as mechanic systems consisting of executive and closing kinematic chains.

УДК 621.01

*Институт механики и машиноведения
им. акад. У. А. Джолдасбекова,
г. Алматы,*

*²Атырауский инженерно-гуманитарный
институт* Поступила 22.04.10г.