

Зима Наталья Владимировна гр. ТМАм-08-1м НГУ

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТРУКТУРЫ МЕХАНИЗМА КАЧАЮЩЕГОСЯ КОНВЕЙЕРА НА ЕГО КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ**

Научное направление (поднаправление): 5. Инженерия и энергетика;  
5.2 Инженерная механика.

Ключевые слова: механизм, класс механизма, функции положений, векторное уравнение, сравнительный анализ.

Широкое применение в различных областях современной техники нашли механизмы 2-го класса. Механизмы более высоких классов встречаются крайне редко. Повышение технологического уровня современных машин требует применения принципиально новых механизмов со сложными законами движения рабочих органов. Этим требованиям отвечают механизмы классов выше, чем второй.

Известно [1], что зависимость угловой (линейной) координаты выходного звена от обобщенной координаты механизма называется функцией положения, которая зависит от структуры, схемы механизма и размеров его звеньев. Оценку кинематических возможностей механизма можно производить по виду его функции положения. Интерес представляет вопрос влияния структуры механизма на эту функцию.

Целью данной работы является исследование функций положения механизмов 2-го и 3-го классов.

Функция положения может быть получена графическим и аналитическим методами. Среди аналитических наиболее распространен метод замкнутого векторного контура В.А. Зиновьева [2]. На базе этого метода могут быть получены формулы, связывающие входной и выходной параметры. В данной работе предпочтение отдано исследованию методами векторной алгебры [3]. Такую возможность предоставляет популярный программный продукт MathCAD. Векторный подход, является наиболее логичным, поскольку все кинематические параметры есть векторные величины, которые легко представляемы и, следовательно, не лишены наглядности.

В качестве объекта исследования принят качающийся конвейер, который может быть реализован как механизмом 2-го, так и 3-го классов. В качестве базового для исследования был принят механизм 2-го класса (рис. 1 а). На его основе рассматривались различные варианты механизмов 3-го класса (рис. 1 б, в, г, д). Размеры основного четырехзвенника остаются неизменными. Входным звеном является кривошип АО, угловая координата которого – независимая переменная. В качестве выходного параметра принята угловая координата коромысла DE. При синтезе возможных вариантов механизмов 3-го класса в трех случаях передача движения осуществлялась на внешнюю кинематическую пару, с изменением длин шатунов АВ и DB. В случае варианта изображенного на

рисунке 1 д передача движения осуществлялась на внутреннюю кинематическую пару.

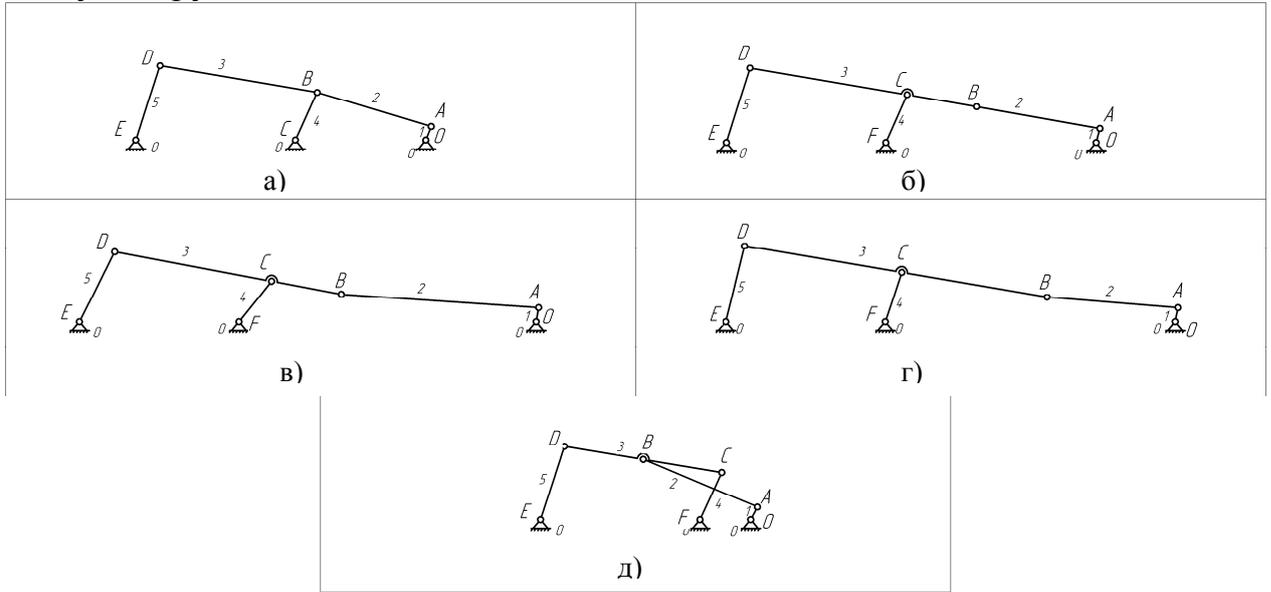


Рис.1. Кинематические схемы механизмов: а) механизм 2-го класса; б), в), г) и д) различные варианты механизма 3-го класса

Рассмотрено решение задачи определения функции положения, на примере плоского рычажного механизма 2-го класса (рис. 1 а). Векторное представление звеньев по методу Зиновьева В.А показано на рисунке 2. Функция положения, в данном случае, определятся как зависимость выходного параметра  $\varphi_5$  от изменения входного  $\varphi_1$ . Пусть заданы размеры звеньев  $l_1 = l_{OA}$ ,  $l_2 = l_{AB}$ ,  $l_3 = l_{BD}$ ,  $l_4 = l_{CB}$ ,  $l_5 = l_{ED}$ . Также известны координаты точек  $O$ ,  $C$ ,  $E$ .

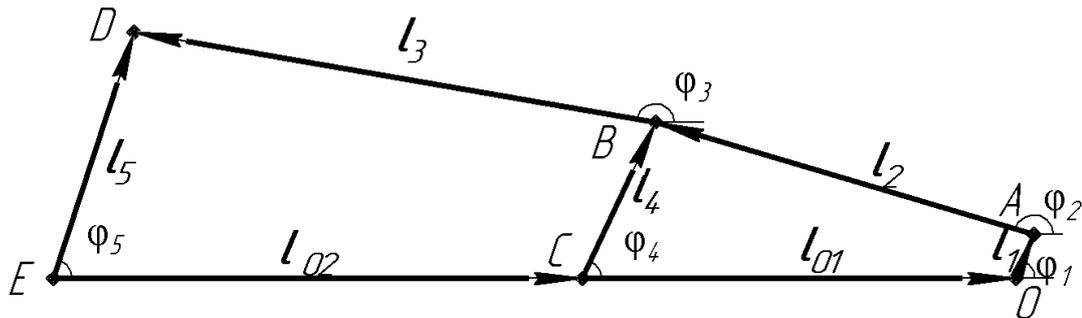


Рис. 2. Схема плоско-рычажного механизма 3-го класса

В данном механизме имеются два независимых замкнутых векторных контура, для которых векторные уравнения замкнутости имеют следующий вид:

$$\vec{l}_1 + \vec{l}_2 - \vec{l}_4 + \vec{l}_{01} = 0$$

$$\vec{l}_1 + \vec{l}_2 + \vec{l}_3 - \vec{l}_5 + \vec{l}_{02} = 0$$

Представим звенья в виде векторов. В программе MathCAD это будет выглядеть следующим образом.

$$l_1 := \begin{pmatrix} l_1 \cdot \cos(\phi_1) \\ l_1 \cdot \sin(\phi_1) \\ 0 \end{pmatrix} \quad l_2 := \begin{pmatrix} l_2 \cdot \cos(\phi_2) \\ l_2 \cdot \sin(\phi_2) \\ 0 \end{pmatrix} \quad l_3 := \begin{pmatrix} l_3 \cdot \cos(\phi_3) \\ l_3 \cdot \sin(\phi_3) \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$l_4 := \begin{pmatrix} l_4 \cdot \cos(\phi_4) \\ l_4 \cdot \sin(\phi_4) \\ 0 \end{pmatrix} \quad l_5 := \begin{pmatrix} l_5 \cdot \cos(\phi_5) \\ l_5 \cdot \sin(\phi_5) \\ 0 \end{pmatrix}$$

Функция положения может быть определена в результате геометрического анализа механизма. Для этого в программном продукте MathCAD необходимо записать систему двух, вышеприведенных, векторных уравнений. С помощью решающего блока Given-Find, находим углы характеризующие положение каждого из звеньев механизма, при заданном  $\phi_1$ .

$$\phi_2 := 2 \quad \phi_3 := 2 \quad \phi_4 := 1 \quad \phi_5 := 1$$

Given

$$\begin{pmatrix} l_1 \cdot \cos(\phi_1) \\ l_1 \cdot \sin(\phi_1) \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} l_2 \cdot \cos(\phi_2) \\ l_2 \cdot \sin(\phi_2) \\ 0 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} l_4 \cdot \cos(\phi_4) \\ l_4 \cdot \sin(\phi_4) \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_C \\ y_C \\ 0 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} x_O \\ y_O \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} l_1 \cdot \cos(\phi_1) \\ l_1 \cdot \sin(\phi_1) \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} l_2 \cdot \cos(\phi_2) \\ l_2 \cdot \sin(\phi_2) \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} l_3 \cdot \cos(\phi_3) \\ l_3 \cdot \sin(\phi_3) \\ 0 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} l_5 \cdot \cos(\phi_5) \\ l_5 \cdot \sin(\phi_5) \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_E \\ y_E \\ 0 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} x_O \\ y_O \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \\ \phi_5 \end{pmatrix} := \text{Find}(\phi_2, \phi_3, \phi_4, \phi_5)$$

В качестве начального, принято положение механизма, соответствующее крайнему левому положению коромысла ED. При этом кривошип OA и шатун AB располагаются на одной прямой. Такое положение механизма называют «мертвым». Оно может быть определено следующим образом:

$$\phi_{1m} := 3 \quad \phi_{3m} := 3 \quad \phi_{4m} := 2 \quad \phi_{5m} := 2 \quad \text{Given}$$

$$\begin{bmatrix} (l_1 + l_2) \cdot \cos(\phi_{1m}) \\ (l_1 + l_2) \cdot \sin(\phi_{1m}) \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{pmatrix} l_4 \cdot \cos(\phi_{4m}) \\ l_4 \cdot \sin(\phi_{4m}) \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_C \\ y_C \\ 0 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} x_O \\ y_O \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} (l_1 + l_2) \cdot \cos(\phi_{1m}) \\ (l_1 + l_2) \cdot \sin(\phi_{1m}) \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{pmatrix} l_3 \cdot \cos(\phi_{3m}) \\ l_3 \cdot \sin(\phi_{3m}) \\ 0 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} l_5 \cdot \cos(\phi_{5m}) \\ l_5 \cdot \sin(\phi_{5m}) \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_E \\ y_E \\ 0 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} x_O \\ y_O \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \phi_{1m} \\ \phi_{3m} \\ \phi_{4m} \\ \phi_{5m} \end{pmatrix} := \text{Find}(\phi_{1m}, \phi_{3m}, \phi_{4m}, \phi_{5m})$$

где  $\phi_{1m}$ ,  $\phi_{3m}$ ,  $\phi_{4m}$ ,  $\phi_{5m}$  – углы, определяющие положения звеньев в «мертвом» положении.

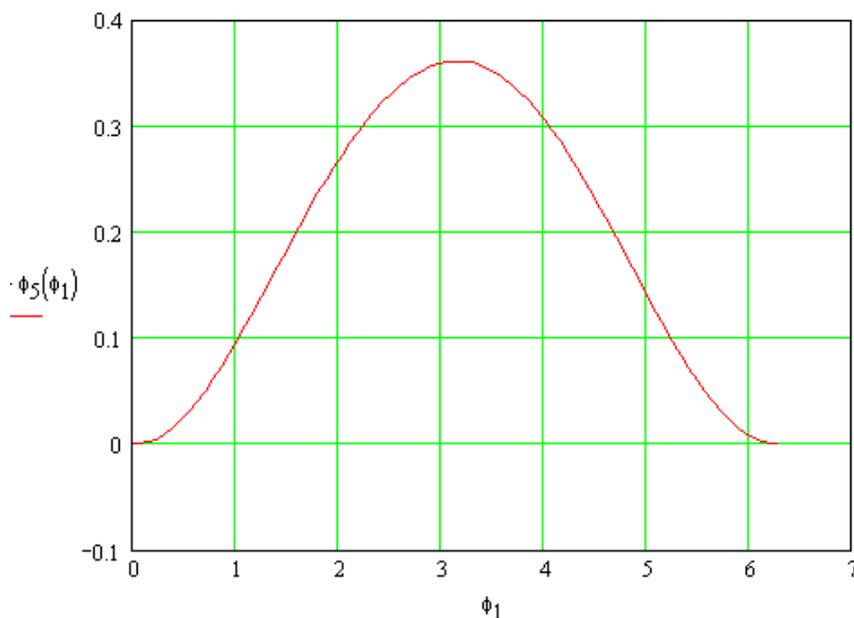
Применяя в качестве начального «мертвое» положение можно получить данные для построения зависимости выходного параметра  $\phi_5$  от входного  $\phi_1$ . Угловую координату входного звена изменяли через каждые  $45^\circ$  с помощью выражения

$$\phi_1 := \phi_{1m} + (n - 1) \cdot \frac{\pi}{4}$$

Таким образом, получено восемь пар значений  $\phi_1$  и  $\phi_5$ , по которым строится функция положения.

Функциональную зависимость параметра  $\phi_5$  от изменения  $\phi_1$  можно визуализировать в программе MathCAD с помощью сплайн-аппроксимации. Полученная таким образом функция положения механизма 2-го класса показана в следующем фрагменте документа MathCAD.

$$\begin{aligned} \phi_5 &:= (0 \quad -0.061 \quad -0.196 \quad -0.314 \quad -0.361 \quad -0.316 \quad -0.194 \quad -0.06 \quad 0) \quad \text{vy} := \phi_5^T \\ \text{v}\phi &:= (0 \quad 0.785 \quad 1.571 \quad 2.356 \quad 3.142 \quad 3.927 \quad 4.712 \quad 5.498 \quad 2\pi)^T \\ \text{vy}^T &= (0 \quad -0.061 \quad -0.196 \quad -0.314 \quad -0.361 \quad -0.316 \quad -0.194 \quad -0.06 \quad 0) \\ S &:= \text{cspline}(\text{v}\phi, \text{vy}) \quad \phi_5(\phi_1) := \text{interp}(S, \text{v}\phi, \text{vy}, \phi_1) \quad \phi_1 := 0, \frac{\pi}{40} .. 2\pi \end{aligned}$$



Подобные действия были проделаны с каждым из исследуемых механизмов. Полученные в результате исследования пять функций положений представлены на рисунке 3.

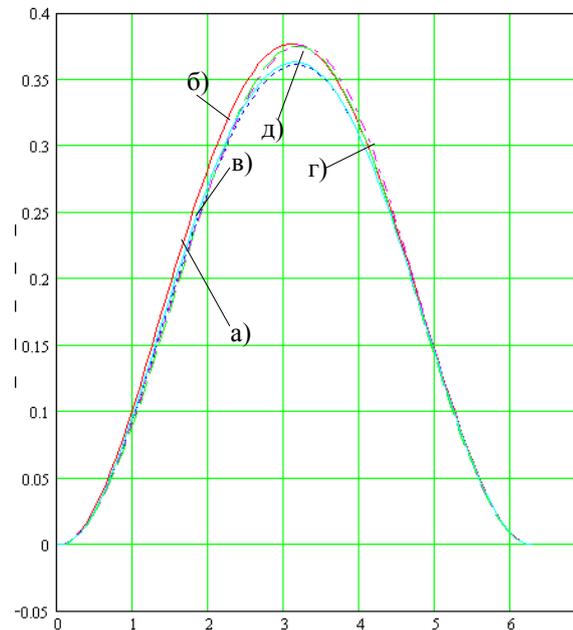


Рис. 3. Функции положения механизмов

Так как функции положения для исследуемых механизмов практически не отличаются, можно сделать вывод, что и кинематические параметры (скорость и ускорение) звеньев будут подобными.

Вывод. В случае качающегося конвейера усложнение структуры механизма не приводит к ощутимым изменениям кинематических параметров механизма.

#### Литература:

1. *Артоболевский И.И.* Теория механизмов и машин: Учеб. для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 640 с.
2. *Зиновьев В.А.* Курс теории механизмов и машин. – М.: Наука, 1975. – 204 с.
3. *Зиборов К.А., Мацюк И.Н., Шляхов Э.М.* Решение векторных уравнений кинематики механизмов с помощью программы MathCad. // Теория механизмов и машин. – Санкт-Петербург. – 2008. – № 1. – С. 64-70.