

Рис. 5. Модель аиста, выполненная в режиме «sculpting» в Blender 3D

Результатом проведенной работы стал сравнительный анализ подходов к моделированию в программах САПР и в программах, ориентированных на исключительно полигональное моделирование. На примере процесса моделирования символа университета обосновано использование программы Blender 3D в сочетании с моделированием в КОМПАС 3D.

Літэратура і

1. Справочное руководство по черчению / В. Н. Богданов [и др.] – М. : Машиностроение, 1989. – 864 с. : ил.
2. Талалай, П. Г. Компьютерный курс начертательной геометрии на базе КОМПАС-3D / П. Г. Талалай. – СПб. : БХВ-Петербург, 2010. – 608 с. : ил.
3. Аведьян, А. Поверхностное моделирование в SolidWorks / А. Аведьян // САПР и графика. – 2006. – Режим доступа: <https://sapr.ru/article/16361>. – Дата доступа: 27.03.2022.
4. Dassault systems Solidworks. – Режим доступа: <https://www.solidworks.com/product/3d-sculptor>. – Дата доступа: 27.03.2022.

КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМА СТРОГАЛЬНОГО СТАНКА

В. О. Кулешов

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Н. В. Иноземцева

Современное развитие машиностроения невозможно без создания новых, более совершенных и точных механизмов и машин. На современном этапе более 90 % механизмов в машиностроении содержат плоские рычажные механизмы, в состав которых входят группы Ассур II класса [1]. Кинематический анализ механизма – важный этап при улучшении существующих машин и при проектировании новых. Величины кинематических характеристик механизма нужны для определения положения механизма, синтеза механизма и последующего динамического исследования. Цель данной работы – определение кинематических характеристик механизма строгального станка на всем интервале его движения

Расчетная схема механизма представлена на рис. 1.

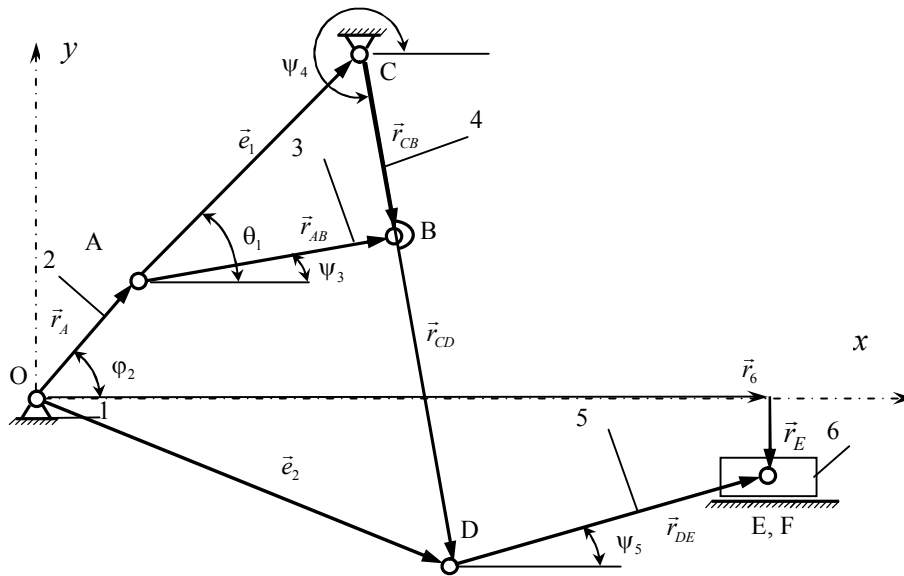


Рис. 1. Расчетная схема механизма

Формула строения имеет вид:

$$I(1,2) \rightarrow II(3,4) \rightarrow II(5,6). \quad (1)$$

Кинематический анализ механизма будем искать методом базисного вектора [2]. Введем в рассмотрение систему координатных осей xOy .

Группа Ассур II (3, 4). Покажем базисный вектор группы Ассур II (3, 4) $\vec{e}_1 (\overline{AC})$. Векторное уравнения контура для данной группы Ассур имеет вид

$$\vec{r}_A + \vec{r}_{AB} = \vec{r}_C + \vec{r}_{CB}. \quad (2)$$

Основные уравнения группы Ассур II (3, 4) в проекциях на координатные оси имеют вид

$$x_B = x_A + l_{AB} \cos(\psi_3) = x_C + l_{CB} \cos(\psi_4), \quad y_B = y_A + l_{AB} \sin(\psi_3) = y_C + l_{CB} \sin(\psi_4). \quad (3)$$

Выражаем координаты точек начала и конца базисного вектора и проекции аналогов скоростей и ускорений этих точек на оси координат:

$$x_A = l_{OA} \cos(\varphi_2), \quad y_A = l_{OA} \sin(\varphi_2), \quad x_C = x_C, \quad y_C = y_C;$$

$$\frac{dx_A}{d\varphi_2} = -l_{OA} \sin(\varphi_2), \quad \frac{dy_A}{d\varphi_2} = l_{OA} \cos(\varphi_2), \quad \frac{dx_C}{d\varphi_2} = 0, \quad \frac{dy_C}{d\varphi_2} = 0;$$

$$\frac{d^2x_A}{d\varphi_2^2} = -l_{OA} \cos(\varphi_2), \quad \frac{d^2y_A}{d\varphi_2^2} = -l_{OA} \sin(\varphi_2), \quad \frac{d^2x_C}{d\varphi_2^2} = 0, \quad \frac{d^2y_C}{d\varphi_2^2} = 0.$$

Для определения угла ψ_3 и ψ_4 рассмотрим треугольник ABC . Определим угол Θ_1 , ориентирующий базисный вектор:

$$\tan(\Theta_1) = \frac{(y_A - y_C)}{-(x_A - x_C)}, \quad \Theta_1 = \arctan\left[\frac{(y_A - y_C)}{-(x_A - x_C)}\right].$$

Длина базисного вектора $e_1 = S_{AC} = \sqrt{(x_A - x_C)^2 + (y_A - y_C)^2}$.

Рассматривая контур ABC (рис. 1), найдем углы ψ_3 и ψ_4 :

$$\psi_3 = \arccos\left(\frac{l_{AB}^2 + S_{AC}^2 - l_{BC}^2}{2 \cdot S_{AC} \cdot l_{AB}}\right) - \Theta_1, \quad \psi_4 = 180 - \arccos\left(\frac{-l_{AB}^2 + S_{AC}^2 + l_{BC}^2}{2 \cdot l_{BC} \cdot S_{AC}}\right) - \Theta_1.$$

Для определения скоростей про дифференцируем по φ_2 уравнения (3):

$$\begin{aligned} \frac{dx_A}{d\varphi_2} - l_{AB} \sin(\psi_3) \frac{d\psi_3}{d\varphi_2} &= \frac{dx_C}{d\varphi_2} - l_{CB} \sin(\psi_4) \frac{d\psi_4}{d\varphi_2}; \\ \frac{dy_A}{d\varphi_2} + l_{AB} \cos(\psi_3) \frac{d\psi_3}{d\varphi_2} &= \frac{dy_C}{d\varphi_2} + l_{CB} \cos(\psi_4) \frac{d\psi_4}{d\varphi_2}. \end{aligned} \quad (4)$$

Для определения ускорений про дифференцируем уравнения (4) по φ_2 :

$$\begin{aligned} \frac{d^2 x_A}{d\varphi_2^2} - l_{AB} \cos(\psi_3) \left[\frac{d\psi_3}{d\varphi_2}\right]^2 - l_{AB} \sin(\psi_3) \frac{d^2 \psi_3}{d\varphi_2^2} &= \frac{d^2 x_C}{d\varphi_2^2} - l_{CB} \cos(\psi_4) \left[\frac{d\psi_4}{d\varphi_2}\right]^2 - l_{CB} \sin(\psi_4) \frac{d^2 \psi_4}{d\varphi_2^2}; \\ \frac{d^2 y_A}{d\varphi_2^2} - l_{AB} \sin(\psi_3) \left[\frac{d\psi_3}{d\varphi_2}\right]^2 + l_{AB} \cos(\psi_3) \frac{d^2 \psi_3}{d\varphi_2^2} &= \frac{d^2 y_C}{d\varphi_2^2} - l_{CB} \sin(\psi_4) \left[\frac{d\psi_4}{d\varphi_2}\right]^2 + l_{CB} \cos(\psi_4) \frac{d^2 \psi_4}{d\varphi_2^2}. \end{aligned} \quad (5)$$

Уравнения (4) и (5) представляют систему четырех линейных алгебраических уравнений с четырьмя неизвестными: $\frac{d\psi_3}{d\varphi_2}$, $\frac{d\psi_4}{d\varphi_2}$, $\frac{d^2 \psi_3}{d\varphi_2^2}$, $\frac{d^2 \psi_4}{d\varphi_2^2}$. Решая эту систе-

му уравнений, найдем неизвестные величины $\frac{d\psi_3}{d\varphi_2}$, $\frac{d\psi_4}{d\varphi_2}$, $\frac{d^2 \psi_3}{d\varphi_2^2}$, $\frac{d^2 \psi_4}{d\varphi_2^2}$.

Группа Ассура II (5, 6). Базисный вектор группы Ассура II (5, 6) \vec{e}_2 (\overline{OD}).

Векторное уравнения контура для этой группы Ассура имеет вид

$$\vec{r}_6 + \vec{r}_E = \vec{r}_D + \vec{r}_{DE}. \quad (6)$$

Основные уравнения группы Ассура II (3, 4) в проекциях на координатные оси имеют вид

$$x_D + l_{DE} \cos(\psi_5) = S_6, \quad y_D + l_{DE} \sin(\psi_5) = y_E. \quad (7)$$

Здесь S_6 – перемещение 6-го звена. Выражаем координаты точек начала и конца базисного вектора и проекции аналогов скоростей и ускорений этих точек на оси координат:

$$x_D = x_C + l_{CD} \cos(\psi_4), \quad y_D = y_C + l_{CD} \sin(\psi_4);$$

$$\frac{dx_D}{d\varphi_2} = \frac{dx_C}{d\varphi_2} - l_{CD} \sin(\psi_4) \frac{d\psi_4}{d\varphi_2}, \quad \frac{dy_D}{d\varphi_2} = \frac{dy_C}{d\varphi_2} + l_{CD} \cos(\psi_4) \frac{d\psi_4}{d\varphi_2};$$

$$\frac{d^2x_D}{d\varphi_2^2} = \frac{d^2x_C}{d\varphi_2^2} - l_{CD} \cos(\psi_4) \left[\frac{d\psi_4}{d\varphi_2} \right]^2 - l_{CD} \sin(\psi_4) \frac{d^2\psi_4}{d\varphi_2^2};$$

$$\frac{d^2y_D}{d\varphi_2^2} = \frac{d^2y_C}{d\varphi_2^2} - l_{CD} \sin(\psi_4) \left[\frac{d\psi_4}{d\varphi_2} \right]^2 + l_{CD} \cos(\psi_4) \frac{d^2\psi_4}{d\varphi_2^2}.$$

Неизвестный угол ψ_5 определяем по формуле $\psi_5 = \arcsin \left[\frac{(y_E - y_D)}{l_{DE}} \right]$. Переме-

щение 6-го звена находим из выражения $S_6 = x_D + l_{DE} \cos(\psi_5)$. Для определения скоростей (один раз) и ускорений (два раза) дифференцируем по φ_2 систему уравнений (7). Для краткости эти уравнения здесь не приводятся. Решая эту систему уравнений, найдем неизвестные величины $\frac{d\psi_5}{d\varphi_2}$, $\frac{dS_6}{d\varphi_2}$, $\frac{d^2\psi_5}{d\varphi_2^2}$, $\frac{d^2S_6}{d\varphi_2^2}$.

Приведем здесь некоторые результаты кинематического расчета механизма при следующих входных параметрах: $l_{OA} = 0,15$ м, $l_{AB} = 0,7$ м, $l_{CB} = 0,3$ м, $l_{CD} = 0,55$ м, $l_{DE} = 0,5$ м, $x_C = 0,6$ м, $y_C = 0,35$ м, $y_E = -0,11$ м.

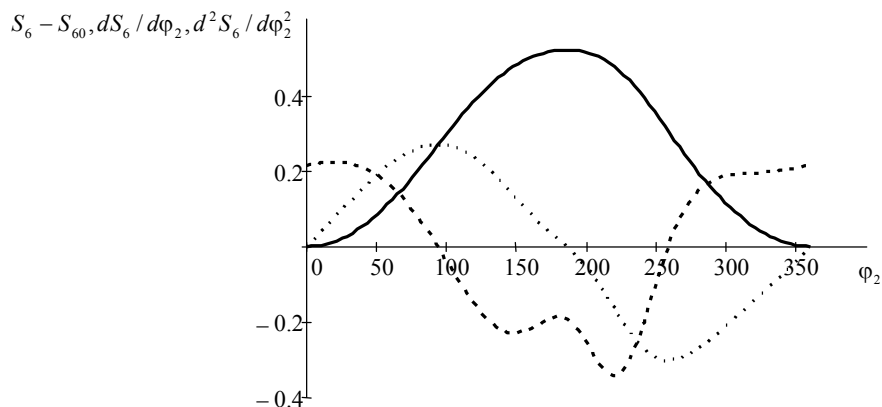


Рис. 2. Кинематические параметры 6-го звена: координата $S_6 - S_{60}$ (сплошная линия), аналог скорости $dS_6/d\varphi_2$ (пунктирная линия); аналог ускорения $d^2S_6/d\varphi_2^2$ (штриховая линия)

На рис. 2 показаны зависимости кинематических параметров звена 6 (ползуна) от угла поворота кривошипа 2 (для наглядности на графике угол φ_2 в градусах).

Л и т е р а т у р а

1. Теория механизмов и машин : учеб. пособие для вузов / М. З. Коловский [и др.]. – 2-е изд., испр. – М. : Академия, 2008. – 558 с.
2. Кроль, Д. Г. Кинематический анализ плоских рычажных механизмов : практикум по курсу «Теория механизмов и машин» для студентов машиностр. специальностей днев. и заоч. форм обучения / Д. Г. Кроль, Н. В. Иноземцева, М. И. Лискович. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2012. – 55 с.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ЗАДАЧ ГИДРОГАЗОДИНАМИКИ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

Н. В. Бочаров

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Л. Л. Великович

Для минимизации рисков, связанных с производственными процессами, инженерными просчетами, и оптимизации работы оборудования в различных отраслях промышленности внедряются современные технологии компьютерного моделирования.

Большинство реальных задач слишком сложны для аналитического решения из-за сложности геометрии и условий окружающей среды. Более того, когда в этих задачах учитывается нелинейность и динамические эффекты, то их аналитическое решение практически невозможно. Это заставляет прибегать к использованию различных численных методов, дающих приближенное решение задачи.

В данной работе рассмотрен метод конечных элементов (МКЭ), его применение, а также представлен конкретный пример конечно-элементного моделирования, решенный автором.

Основная идея метода конечных элементов состоит в том, чтобы разбить начальное тело на множество небольших геометрически более простых объектов, называемых элементами.

После этого дифференциальные уравнения, описывающие тот или иной физический процесс, для каждого элемента могут быть легко установлены, а их решение может осуществляться одновременно.

Когда каждому элементу дан конечный размер, этот элемент называется конечным. Набор таких элементов называется сеткой конечных элементов (КЭ).

Конечные элементы соединены узлами, расположенными на ребрах и вершинах элементов. Значение неизвестной физической величины вычисляется в явном виде в узлах, затем эти значения используются для аппроксимации значений в неузловых точках, т. е. расположенных внутри элемента, путем интерполяции узловых значений.

Используется МКЭ в различных программных продуктах, таких, как Ansys, Abaqus, Nastran, Cosmos и др. Основные этапы решения задач с применением МКЭ могут быть представлены в виде следующей схемы [1].