

КИНЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РОБОТИЗИРОВАННОГО МАНИПУЛЯТОРА DOBOT MAGICIAN

Аннотация. В статье описывается кинематическая модель образовательного робота-манипулятора Dobot Magician, позволяющая однозначно определить его пространственную конфигурацию, что дает, в свою очередь, возможность определять координаты и описывать законы перемещения его рабочего органа.

Кинематическая модель была получена путем описания вращательных связей между соседними звеньями матричным методом последовательного построения систем координат, связанных с каждым звеном кинематической цепи. Была решена прямая задача кинематики для пятизвенного манипулятора, путем вычисления с помощью последовательного перемножения пяти матриц. Решение этой задачи приводит к единственной матрице при заданных и фиксированных системах координат для вращательного сочленения. Ограничения определяются только физическими пределами изменения для каждого сочленения манипулятора. Так же по заданной матрице положения и ориентации схвата пятизвенного манипулятора и известным параметрам его звеньев и сочленений определили присоединенные параметры манипулятора, обеспечивающие заданное положение схвата. Использование кинематической модели позволяет: осуществить симуляцию работы манипулятора, т.е. осуществить его виртуальное перемещение; возможность реализации прямого управления; повышение точности манипулирования.

Ключевые слова: манипулятор, робот, кинематическая модель, представление Денавита-Хартенберга, моделирование MATLAB.

KINEMATIC MODEL OF THE DOBOT MAGICIAN ROBOTIC ARM

S. E. Nadezhina¹, M. A. Kapister¹, S. V. Kovyrshin¹, S. P. Kruglov¹

¹IrkutskStateUniversityofrailwaytransport, Irkutsk, RussianFederation.

Abstract. The article describes the kinematic model of the educational robot manipulator Dobot Magician, which allows to unambiguously determine its spatial configuration, which, in turn, makes it possible to determine the coordinates and describe the laws of movement of its working body.

The kinematic model was obtained by describing the rotational links between adjacent links by the matrix method of sequentially constructing coordinate systems associated with each link in the kinematic chain. The direct problem of kinematics for a five-bar manipulator was solved by calculating five matrices using sequential multiplication. Solving this problem leads to a single matrix with given and fixed coordinate systems for the rotational joint. The limits are determined only by the physical limits of variation for each arm joint. Also, according to the given matrix of position and orientation of the gripper of the five-link manipulator and the known parameters of its links and joints, the attached parameters of the manipulator were determined, which ensure the given position of the gripper. Using a kinematic model allows you to: simulate the manipulator, i.e. to carry out its virtual movement; the ability to implement direct control; improving the accuracy of manipulation.

Keywords: manipulator, robot, kinematic model, Denavit-Hartenberg representation, MATLAB modeling.

Введение

Специалист по направлению подготовки «Мехатроника и робототехника» должен уметь разрабатывать мехатронные и робототехнические системы в соответствии с исходными данными и техническим заданием. В разработку таких систем входит также разработка управляющих алгоритмов и программ.

Для обучения программированию промышленных роботов-манипуляторов применяются современные дорогостоящие манипуляторы. Наиболее известными производителями таких роботов являются KUKA AG, FANUC, ABB Robotics, MitsubishiElectric и др. Также в ряде образовательных организаций имеются оставшиеся еще с советских времен манипуляторы типа РМ-01 (PUMA-560) с системой управления «Сфера-36».

Программирование роботов осуществляется с использованием специальных сред и языков программирования, например, роботов ABB - языка RAPID, KUKA – языка KRL (KukaRoboticLanguage). Однако, для написания таких управляющих программ необходимы

как хорошие навыки разработки алгоритмов и программы, так и знания принципов функционирования и кинематики робота. Поэтому процесс обучения программированию реального промышленного робота достаточно трудоемкий и затратный, так как требует наличие самого дорогостоящего робота или симуляторов. Как альтернатива для первичного обучения могут быть использованы недорогие учебные роботы, позволяющие освоить базовые принципы и методы программирования на «классических» языках, например, на C++ или Python.

Кафедра автоматизации производственных процессов ИрГУПС, успешно решает задачи управления показанных в работах [1, 3, 5-8], данная же статья описывает опыт работы с одним из таких роботизированных учебных манипуляторов Dobot Magician (далее манипулятор), представленный на рис.1 [1]. Компания разработчик в комплекте с роботом предлагает специальное программное обеспечение, позволяющее производить программирование простейших движений и технологических операций. Однако разработчики не предоставляют описание его математической модели, необходимой для определения координат рабочего органа, разработки законов его перемещения и расчета управляющих воздействий.

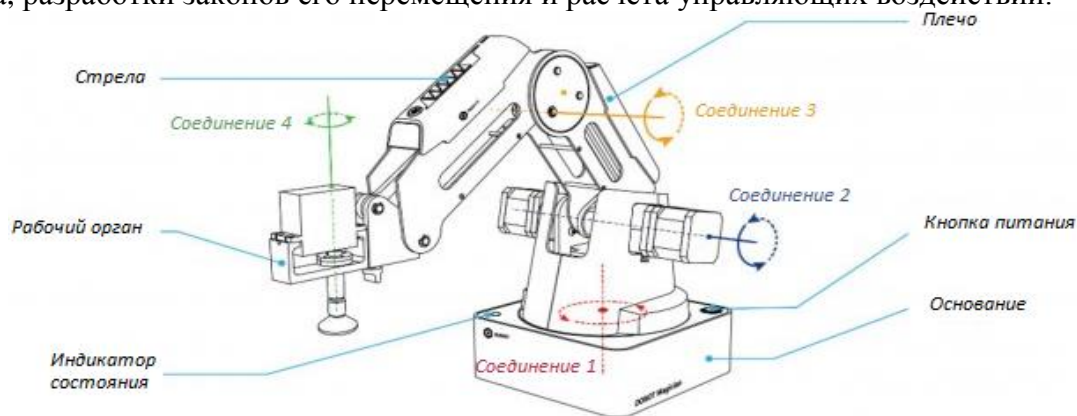


Рис. 1. Роботизированный учебный манипулятор Dobot Magician

Полное математическое описание должно состоять из трех моделей:

1. Кинематической, отображающей кинематическую структуру манипулятора.
2. Динамической, описывающей динамическую структуру, необходимую для реализации и оценки динамических уравнений.
3. Электромеханической, описывающую связь механической и электрической частей манипулятора.

Так как в рассматриваемом манипуляторе используются шаговые двигатели, в которых не реализована обратная связь по положению и по току, в настоящей статье рассматривается только первая (кинематическая) модель [2-4]. Кинематическая модель робота была составлена с помощью представления Денавита-Хартенберга, так же была составлена кинематическая модель робота и произведено моделирование работы в программном комплексе MATLAB.

Рабочая область манипулятора приведена на рис. 2, причем аналогичные [1]:

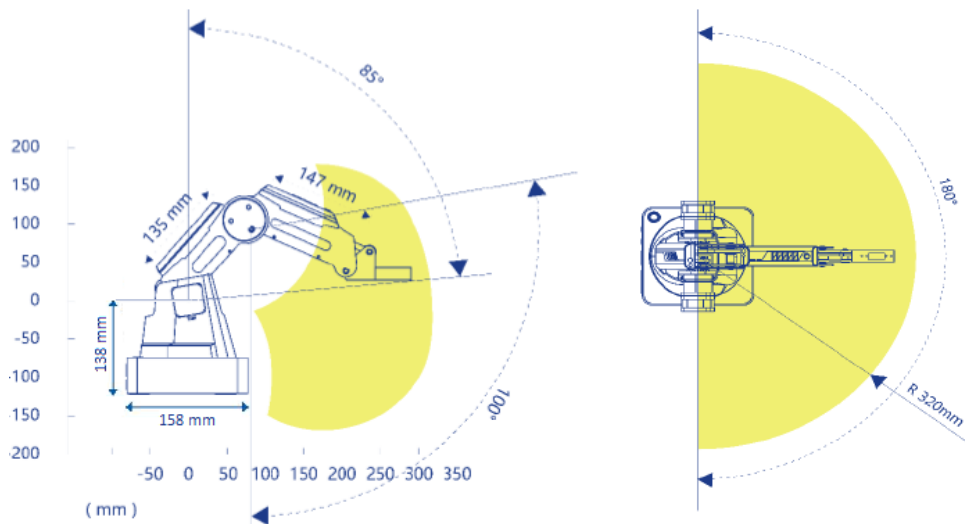


Рис. 2. Рабочая область манипулятора

Общий алгоритм проведения кинематического анализа

Кинематический анализ манипулятора включает в себя решение прямой и обратной задачи кинематики. За счет решения этих задач определяется взаимосвязь между координатами в пространстве.

Dobot Magician состоит из пяти звеньев, связанных между собой вращательными и поступательными сочленениями. На рис.3. изображена нулевая конфигурация, то есть положение, при котором все обобщенные координаты равны нулю и размеры каждого звена, приведенные в мм.

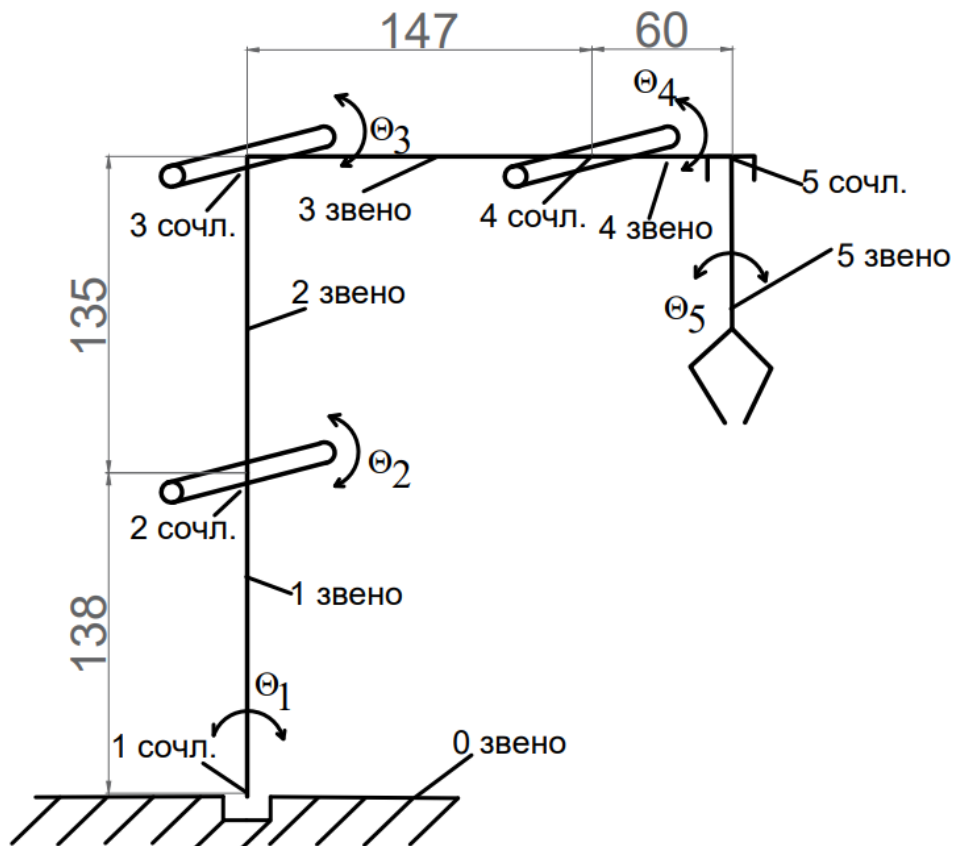


Рис. 3. Схема кинематическая пятизвенового манипулятора Dobot Magician

Прямая задача кинематики

Использование метода Денавита-Хартенберга позволяет сократить число координат, определяющих положение и ориентацию твердого тела в пространстве, с шести до четырех [2].

Метод Денавита-Хартенберга состоит из нескольких этапов:

1. На первом этапе необходимо привязать системы координат к звеньям.
2. Определение параметров Денавита-Хартенберга.
3. Построение матриц однородного преобразования.

Для привязки системы координат к звеньям необходимо учитывать несколько правил:

- Выбор осей z_i – необходимо выбрать ось z_i так, чтобы она совпала с осью вращения или поступательного движения последующего сочленения $i + 1$.
- Выбор осей x_i – необходимо выбрать ось x_i так, чтобы она пересекала и была перпендикулярна оси z_{i-1} .
- Выбор осей y_i – необходимо выбрать ось y_i так, чтобы она дополняла систему координат до правой.

Выбранные системы координат каждого звена представлены на рис. 4.

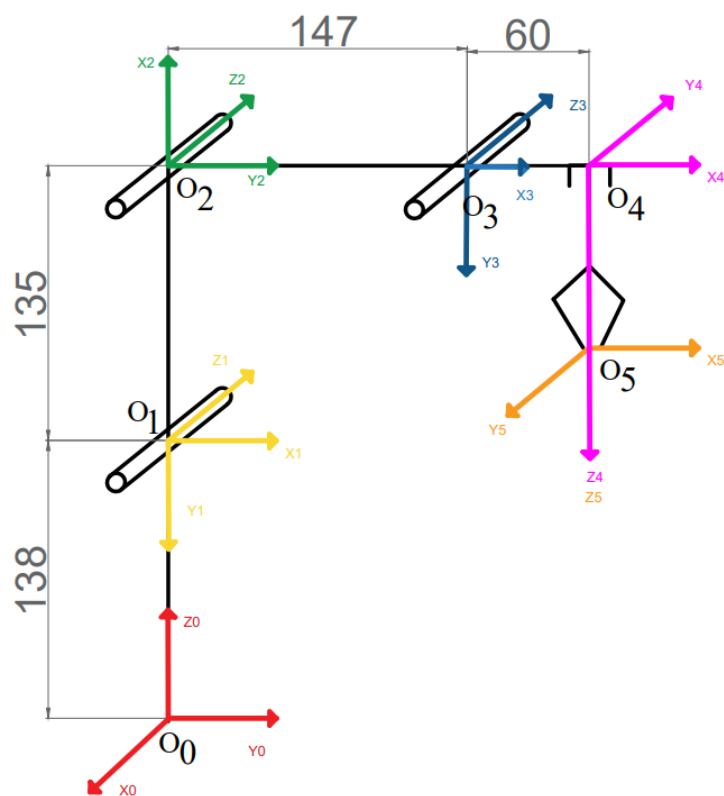


Рис. 4. Выбор системы координат манипулятора

Четыре параметра Денавита-Хартенберга вычисляются следующим образом:

- a_i — расстояние между O_{i-1} и O_i вдоль оси X_i ;
- α_i — угол, на который необходимо повернуть Z_{i-1} вокруг X_i , чтобы она стала сонаправлена с Z_i ;
- d_i — расстояние между O_{i-1} и O_i вдоль оси Z_{i-1} ;
- θ_i — угол поворота оси X_{i-1} вокруг оси Z_{i-1} , чтобы она стала сонаправлена с осью X_i .

Таблица 1. Параметры Денавита-Хартенберга манипулятора

Звено i	$d_i, м$	$a_i, м$	$\theta_i, ^\circ$	$\alpha_i, ^\circ$
1	0,138	0	90	-90
2	0	0,135	-90	0
3	0	0,147	90	0
4	0	0,06	0	-90
5	0,01	0	0	0

По полученным четырем параметрам для каждого звена манипулятора построим матрицу однородного преобразования от основания к рабочему органу в общем виде:

$$T_{i-1}^i(\theta_i, d_i, \alpha_i, a_i) = \begin{bmatrix} \cos(\theta_i) & -\sin(\theta_i) & 0 & 0 \\ \sin(\theta_i) & \cos(\theta_i) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_i \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\theta_i) & -\sin(\theta_i) & 0 \\ 0 & \sin(\theta_i) & \cos(\theta_i) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_i) & -\cos \alpha_i \cdot \sin(\theta_i) & \sin \alpha_i \cdot \sin(\theta_i) & a_i \cdot \cos(\theta_i) \\ \sin(\theta_i) & \cos \alpha_i \cdot \cos(\theta_i) & -\cos(\theta_i) \cdot \sin \alpha_i & a_i \cdot \sin(\theta_i) \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Подставив все параметры Денавита-Хартенберга, получим n матриц однородного преобразования (1):

$$T_0^1(\theta_1) = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1(t)) & 0 & -\sin(\theta_1(t)) & 0 \\ \sin(\theta_1(t)) & 0 & \cos(\theta_1(t)) & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0,138 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$T_1^2(\theta_2) = \begin{bmatrix} \cos(\theta_2(t)) & -\sin(\theta_2(t)) & 0 & 0,135 \cdot \cos(\theta_2(t)) \\ \sin(\theta_2(t)) & \cos(\theta_2(t)) & 0 & 0,135 \cdot \sin(\theta_2(t)) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$T_2^3(\theta_3) = \begin{bmatrix} \cos(\theta_3(t)) & -\sin(\theta_3(t)) & 0 & 0,147 \cdot \cos(\theta_3(t)) \\ \sin(\theta_3(t)) & \cos(\theta_3(t)) & 0 & 0,147 \cdot \sin(\theta_3(t)) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$T_3^4(\theta_4) = \begin{bmatrix} \cos(\theta_4(t)) & -\sin(\theta_4(t)) & 0 & 0,06 \cdot \cos(\theta_4(t)) \\ \sin(\theta_4(t)) & \cos(\theta_4(t)) & 0 & 0,06 \cdot \sin(\theta_4(t)) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$T_4^5(\theta_5) = \begin{bmatrix} \cos(\theta_5(t)) & 0 & -\sin(\theta_5(t)) & 0 \\ \sin(\theta_5(t)) & 0 & \cos(\theta_5(t)) & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0,01 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Итоговую матрицу, связывающую все полученные системы координат, можно получить путем перемножения всех полученных ранее матриц однородного преобразования (2-6):

$$T_0^5(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5) = T_0^1 \cdot T_1^2 \cdot T_2^3 \cdot T_3^4 \cdot T_4^5 = \begin{bmatrix} 0,5 \cdot \cos(\theta_1) + 0,5 \cdot \cos(-\theta_1) & \sin(\theta_1) & 0,5 \cdot \sin(\theta_1) - 0,5 \cdot \sin(-\theta_1) \\ 0,5 \cdot \sin(\theta_1) - 0,5 \cdot \sin(-\theta_1) & -\cos(\theta_1) & -0,5 \cdot \cos(\theta_1) + 0,5 \cdot \cos(-\theta_1) \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\begin{bmatrix} 0,03 \cdot \cos(\theta_1) + 0,03 \cdot \cos(-\theta_1) + 0,0735 \cdot \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) + 0,0735 \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3 - \theta_1) + 0,0675 \cdot \cos(\theta_2 + \theta_1) + 0,0675 \cdot \cos(\theta_2 - \theta_1) \\ 0,03 \cdot \sin(\theta_1) + 0,03 \cdot \sin(-\theta_1) + 0,0735 \cdot \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) - 0,0735 \cdot \sin(\theta_2 + \theta_3 - \theta_1) + 0,0675 \cdot \sin(\theta_2 + \theta_1) - 0,0675 \cdot \sin(\theta_2 - \theta_1) \\ -0,147 \cdot \sin(\theta_3 + \theta_2) - 0,135 \cdot \sin(\theta_2) + 0,138 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Итоговая матрица однородного преобразования характеризует связь трех систем координат.

Обратная задача кинематики

Геометрический (аналитический) метод решения обратной задачи кинематики заключается в нахождении в явном виде выражений при использовании тригонометрических функций, учитывая кинематические схемы манипулятора.

Используя зависимости координат от присоединенных переменных, выведенные из однородной матрицы преобразований, найдём присоединенные переменные:

$$P_x = 0,03 \cdot \cos(\theta_1) + 0,03 \cdot \cos(-\theta_1) + 0,0735 \cdot \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) + 0,0735 \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3 - \theta_1) + 0,0675 \cdot \cos(\theta_2 + \theta_1) + 0,0675 \cdot \cos(\theta_2 - \theta_1); \quad (8)$$

$$P_y = 0,03 \cdot \sin(\theta_1) + 0,03 \cdot \sin(-\theta_1) + 0,0735 \cdot \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) - 0,0735 \cdot \sin(\theta_2 + \theta_3 - \theta_1) + 0,0675 \cdot \sin(\theta_2 + \theta_1) - 0,0675 \cdot \sin(\theta_2 - \theta_1); \quad (9)$$

$$P_z = -0,147 \cdot \sin(\theta_3 + \theta_2) - 0,135 \cdot \sin(\theta_2) + 0,138. \quad (10)$$

Упростим выражения (8), (9), (10):

$$P_x = 0,147 \cdot \cos(\theta_1) \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3) + 0,135 \cdot \cos(\theta_1) \cdot \cos(\theta_2) + 0,06 \cdot \cos(\theta_1); \quad (11)$$

$$P_y = 0,147 \cdot \sin(\theta_1) \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3) + 0,135 \cdot \sin(\theta_1) \cdot \cos(\theta_2) + 0,06 \cdot \sin(\theta_1); \quad (12)$$

$$P_z = -0,147 \cdot \sin(\theta_3 + \theta_2) - 0,135 \cdot \sin(\theta_2) + 0,138. \quad (13)$$

Вычисление θ_1 :

Вычтем (12) из (11), затем $(11) \cdot \sin(\theta_1)$, $(12) \cdot \cos(\theta_1)$.

Вся правая часть уравнения сокращается:

$$P_x \cdot \sin(\theta_1) = P_y \cdot \cos(\theta_1); \quad (14)$$

$$\frac{\sin(\theta_1)}{\cos(\theta_1)} = \operatorname{tg}(\theta_1) = \frac{P_x}{P_y}; \quad (15)$$

$$\theta_1 = a \tan 2(P_y, P_x). \quad (16)$$

Вычисление θ_2 :

$$P_x = \cos(\theta_1) [0,147 \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3) + 0,135 \cdot \cos(\theta_2) + 0,06]; \quad (17)$$

$$P_y = \sin(\theta_1) [0,147 \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3) + 0,135 \cdot \cos(\theta_2) + 0,06]; \quad (18)$$

$$0,138 - P_z = 0,147 \cdot \sin(\theta_3 + \theta_2) + 0,135 \cdot \sin(\theta_2). \quad (19)$$

$$P_x \cos(\theta_1) + P_y \sin(\theta_1) - 0,06 = 0,147 \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3) + 0,135 \cdot \cos(\theta_2) + 0,06. \quad (20)$$

$$0,138 - P_z = B; \quad (21)$$

$$P_x \cos(\theta_1) + P_y \sin(\theta_1) - 0,06 = A. \quad (22)$$

Возведём (19) и (20) в квадрат и сложим:

$$A^2 + B^2 = 0,147^2 + 0,135^2 + 2 \cdot 0,147 \cdot 0,135 (\cos(\theta_2 + \theta_3) \cdot \cos(\theta_2) + \sin(\theta_2 + \theta_3) \cdot \sin(\theta_2)). \quad (23)$$

Произведя сокращения получаем:

$$\theta_2 = -\arccos \left(\frac{(x_1 \cdot \cos(\theta_1) + y_1 \cdot \sin(\theta_1) - 0,06)^2 + (0,138 - z_1)^2 - 0,147^2 - 0,135^2}{2 \cdot 0,147 \cdot 0,135} \right). \quad (24)$$

Вычисление θ_3 :

Разделим (11) на $\cos(\theta_1)$, а (13) на $\sin(\theta_1)$:

$$\frac{P_x}{\cos(\theta_1)} - 0,06 = 0,147 \cdot \cos(\theta_3 + \theta_2) + 0,135 \cdot \cos(\theta_2); \quad (25)$$

$$\frac{P_y}{\sin(\theta_1)} - 0,06 = 0,147 \cdot \cos(\theta_3 + \theta_2) + 0,135 \cdot \cos(\theta_2). \quad (26)$$

Возведем (25) и (19) в квадрат и сложим их. Произведя сокращения, получаем:

$$\frac{\left(\frac{P_x}{\cos(\theta_1)} - 0,06 \right)^2 + (-P_z + 0,138)^2 - 0,08}{0,794} = \cos(\theta_3); \quad (27)$$

$$\theta_3 = \arccos \left(\frac{\left(\frac{P_x}{\cos(\theta_1)} - 0,06 \right)^2 + (-P_z + 0,138)^2 - 0,08}{0,794} \right). \quad (28)$$

Из выражений (11), (12), (13) получаем уравнения неизвестных углов:

$$\theta_1 = a \tan 2(y_1, x_1); \quad (29)$$

$$\theta_2 = -\arccos \left(\frac{(x_1 \cdot \cos(\theta_1) + y_1 \cdot \sin(\theta_1) - 0,06)^2 + (0,138 - z_1)^2 - 0,147^2 - 0,135^2}{2 \cdot 0,147 \cdot 0,135} \right); \quad (30)$$

$$\theta_3 = \arccos \left(\frac{\left(\frac{x_1}{\cos(\theta_1)} - 0,06 \right)^2 + (-z_1 + 0,138)^2 - 0,08}{0,794} \right). \quad (31)$$

Подставив вычисленные уравнения углов (16), (24), (28) в уравнения присоединенных переменных (8-10), получим координаты рабочего органа манипулятора в м:

$$P_x = 0,03 \cdot \cos(\theta_1) + 0,03 \cdot \cos(-\theta_1) + 0,0735 \cdot \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) + 0,0735 \cdot \cos(\theta_2 + \theta_3 - \theta_1) + 0,0675 \cdot \cos(\theta_2 + \theta_1) + 0,0675 \cdot \cos(\theta_2 - \theta_1) = 1,388 \cdot 10^{-27}; \quad (32)$$

$$P_y = 0,03 \cdot \sin(\theta_1) + 0,03 \cdot \sin(-\theta_1) + 0,0735 \cdot \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) - 0,0735 \cdot \sin(\theta_2 + \theta_3 - \theta_1) + 0,0675 \cdot \sin(\theta_2 + \theta_1) - 0,0675 \cdot \sin(\theta_2 - \theta_1) = 0,207; \quad (33)$$

$$P_z = -0,147 \cdot \sin(\theta_3 + \theta_2) - 0,135 \cdot \sin(\theta_2) + 0,138 = 0,262. \quad (34)$$

Результаты, полученные в виде уравнений углов, с помощью которых вычисляется положение рабочего органа, можно сравнить с фактическим измерением заданного положения рабочего органа манипулятора по таблице 2.

Таблица 2. Сравнение результатов

Расчетные значения		Измеренные значения	
Вычисленные уравнения для углов	Координаты положения рабочего органа (x, y, z), м	Заданные углы, °	Координаты положения рабочего органа (x, y, z), м
$\theta_1 = a \tan 2(y_1, x_1);$	1,388 · 10 ⁻²⁷	90	0
$\theta_2 = -a \cos \left(\frac{(x_1 \cdot \cos(\theta_1) + y_1 \cdot \sin(\theta_1) - 0,06)^2 + (0,138 - z_1)^2 - 0,147^2 - 0,135^2}{2 \cdot 0,147 \cdot 0,135} \right);$	0,207	-90	0,21
$\theta_3 = a \cos \left(\frac{\left(\frac{x_1}{\cos(\theta_1)} - 0,06 \right)^2 + (-z_1 + 0,138)^2 - 0,08}{0,794} \right).$	0,262	90	0,27

Для проверки правильности полученной кинематической модели, произведем моделирование работы манипулятора в среде MATLAB and Simulink с использованием библиотеки SimMechanics. Эта библиотека позволяет исследовать динамику системы твердых тел в реальном времени на основе построения модели самой системы в виде схемы модели [4].

На рис.5. представлена схема модели, а на рис. 6 визуализация манипулятора, созданная в среде MATLAB and Simulink (SimMechanics).

Исходя из полученных результатов в ходе кинематического анализа манипулятора были получены уравнения углов по заданному положению рабочего органа.

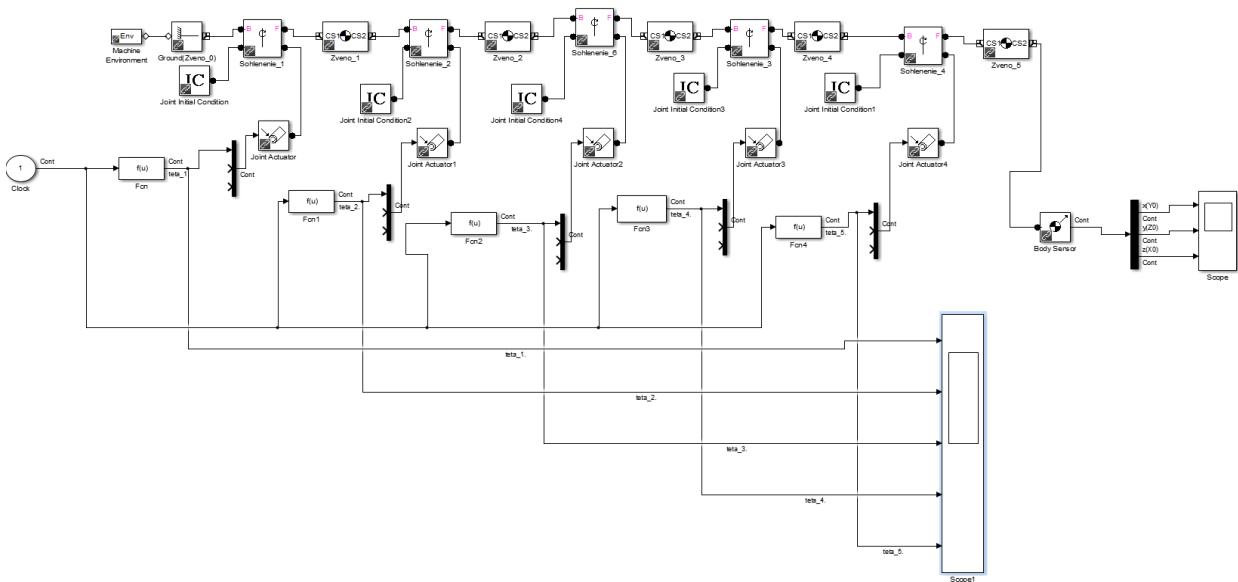


Рис. 6. Модель манипулятора MATLAB and Simulink (SimMechanics)

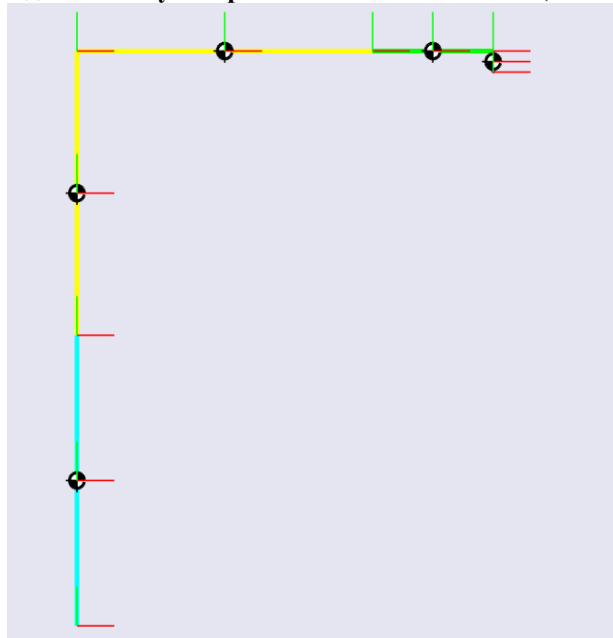


Рис. 7. Визуализация манипулятора MATLAB and Simulink (SimMechanics)

Заключение

Проведенный кинематический анализ показывает соответствие кинематических параметров, таких как траектории точек и перемещение по заданным условиям. Так же кинематический анализ необходим для дальнейших расчетов сил инерции и моментов сил инерции, кинематической энергии манипулятора и мощности.

В данной статье был приведен пример расчета уравнений присоединенных переменных и угловых перемещений путем применения аналитического метода кинематического анализа для получения координат рабочего инструмента роботизированного манипулятора Dobot Magician.

В результате работы при помощи прямой и обратной задачи кинематики были получены уравнения углов по заданному положению рабочего органа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Официальный сайт компании DOBOT URL: <https://www.dobot.cc/dobot-magician/product-overview.html> (дата обращения: 05.05.2021).

2. Борисов О.И., Громов В.С., Пыркин А.А. Методы управления робототехническими приложениями. 2016. С. 13-15.
3. Джамая В. В. Прикладная механика // Основы анализа механизмов. Задачи и методы кинематического анализа. 2004. С. 18-19.
4. Тихонов К.М., Тишков В.В. SimMechanicsMatlab как средство моделирования динамики сложных авиационных робототехнических систем. 2010. С. 1.
5. Лившиц А.В. Высоочастотная электротермическая обработка неметаллического вторичного сырья / Лившиц А.В., Филиппенко Н.Г., Ларченко А.Г., Филатова С.Н. // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2014. № 6. С. 55-65.
6. Ларченко А.Г. Устройство диагностики деталей из полиамидных материалов / Ларченко А.Г., Лившиц А.В., Филиппенко Н.Г., Попов С.И. // Патент на полезную модель RU 132209 U1, 10.09.2013. Заявка № 2013115531/28 от 05.04.2013.
7. Ларченко А.Г. Определение физико-механических параметров полимерных материалов при высоочастотном диэлектрическом нагреве в электротермических установках / Ларченко А.Г., Попов С.И., Филиппенко Н.Г., Лившиц А.В. // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2013. № 2 (38). С. 152-157.
8. Буторин Д.В. Автоматизация контроля структурных превращений в полимерных материалах при электротермической обработке / Буторин Д.В., Филиппенко Н.Г., Филатова С.Н., Лившиц А.В., Каргапольцев С.К. // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2016. № 1 (49). С. 117-125.

REFERENCES

1. Official website of the company DOBOT URL: <https://www.dobot.cc/dobot-magician/product-overview.html> (date of request: 05.05.2021).
2. Borisov O. I., Gromov V. S., Pyrkin A. A. Methods of controlling robotic applications // Direct problem of kinematics. 2016. p. 13-15.
3. Jamaya V. V. Applied mechanics // Fundamentals of mechanism analysis. Problems and methods of kinematic analysis. 2004. pp. 18-19.
4. Tikhanov K.M., Tishkov V.V. SinMechanicsMatlab as a tool for simulating the dynamics of complex aviation systems. 2010. p.1.
5. Livshits A. In High-frequency electrothermal processing of nonmetallic secondary raw materials / Livshits A.V., Filippenko N. G., Larchenko A. G., Filatova S. N. // Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie MSTU im. n.e. Bauman. 2014. No. 6. pp. 55-65.
6. Larchenko A. G. Device for diagnostics of parts made of polyamide materials / Larchenko A. G., Livshits A.V., Filippenko N. G., Popov S. I. // Patent for utility model RU 132209 U1, 10.09.2013. Application no. 2013115531/28 dated 05.04.2013.
7. Larchenko A. G. Determination of physical and mechanical parameters of polymer materials under high-frequency dielectric heating in electrothermal installations / Larchenko A. G., Popov S. I., Filippenko N. G., Livshits A.V. // Modern technologies. System analysis. Modeling. 2013. No. 2 (38). pp. 152-157.
8. Butorin D. V. Automation of control of structural transformations in polymer materials during electrothermal processing / Butorin D. V., Filippenko N. G., Filatova S. N., Livshits A.V., Kargapoltsev S. K. // Modern Technologies. System analysis. Modeling. 2016. No. 1 (49). pp. 117-125.

Информация об авторах

Надёжина Светлана Эдуардовна – студент, специальность «Мехатроника и робототехника», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: nadezhina98@bk.ru

Капистер Милена Андреевна – студент, специальность «Мехатроника и робототехника», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: milena.neverova@yandex.ru

Ковыршин Сергей Владимирович – к.т.н., доцент кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: sergkow@mail.ru

Круглов Сергей Петрович – д. т. н., профессор кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: kruglov_sp@irgups.ru

Authors

Nadezhina E. Svetlana – student, specialty "Mechatronics and Robotics", Irkutsk State University of Railway Transport, Irkutsk, e-mail: nadezhina98@bk.ru

Milena A. Kapister – student, specialty "Mechatronics and Robotics", Irkutsk State University of Railway Engineering, Irkutsk, e-mail: mile-na.neverova@yandex.ru

Sergey B. Kovyrshin – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of “Automation of production processes”, Irkutsk state University of railway transport, Irkutsk, e-mail: sergkow@mail.ru

Sergey P. Kruglov – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of “Automation of production processes”, Irkutsk state University of railway transport, Irkutsk, e-mail: kruglov_sp@irgups.ru

Для цитирования

Надёжина С.Э. Кинематическая модель роботизированного манипулятора dobot magician [Электронный ресурс] / С.Э. Надёжина, М.А.Капистер, С.В. Ковыршин, С.П. Круглов // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. — 2021. — № . 1 — Режим доступа: <https://mnv.irgups.ru/toma/111-2021>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. (дата обращения: 07.06.2021).

For citation

Nadezhina¹ S. E., Kapister¹ M. A., Kovyrshin¹ S.V., Kruglov S.P.. Kinematic model of the dobot magician robotic arm [Research of adaptive control system of crane systems on the model of the overhead crane]. *Molodaya nauka Sibiri: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal* [Young science of Siberia: electronic scientific journal], 2021, no.1 . [Accessed 07.06.21]