

Для цитирования: Антонов В.О., Петренко В.И., Сычков В.Б., Тебуева Ф.Б. Определение зависимости обобщенных координат механизма задающего устройства с избыточной подвижностью. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2019; 46 (1): 79-89. DOI:10.21822/2073-6185-2019-46-1-79-89

For citation: Antonov V.O., Petrenko V.I., Sychkov V.B., Tebueva F.B. Determination of the dependence of generalized coordinates of the mechanism of the basic device with excessive mobility. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2019; 46 (1): 79-89. (in Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2019-46-1-79-89

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 681.5.08

DOI: 10.21822/2073-6185-2019-46-1-79-89

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ОБОБЩЕННЫХ КООРДИНАТ МЕХАНИЗМА ЗАДАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА С ИЗБЫТОЧНОЙ ПОДВИЖНОСТЬЮ

Антонов В.О.³, Петренко В.И.², Сычков В.Б.⁴, Тебуева Ф.Б.¹

¹⁻⁴Северо-Кавказский федеральный университет,

¹⁻⁴355009, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1, Россия,

¹e-mail: fariza.teb@gmail.com, ²e-mail: vip.petrenko@gmail.com,

³e-mail: ant.vl.02@gmail.com, ⁴e-mail: vladtrav@inbox.ru

Резюме. Цель. В статье рассмотрена проблема обеспечения точности при определении обобщенных координат рычажных механизмов задающих устройств копирующего типа с условием избыточной подвижности. **Цель статьи** заключается в определении аналитической зависимости обобщенных координат механизма задающего устройства копирующего типа с избыточной подвижностью. **Метод.** Исследование основано на принципе формирования обобщенных координат задающего устройства копирующего типа для управления трёхзвенным антропоморфным манипулятором с 7-ю степенями подвижности, полпженный в основу определения положения любых искомым точек устройства копирующего типа для управления трёхзвенным антропоморфным манипулятором с 7-ю степенями подвижности при помощи решения обратной задачи кинематики. **Результат.** Построены матрицы нахождения позиции узлов манипулятора в пространстве. Заданы матрицы преобразований поворота вокруг образующих осей и соответствующие формулы нахождения координат конечного узла. Описаны формулы для перехода к локальной системе координат соответствующих звеньев и формирования абсолютных значений координат. **Вывод.** Выявлена комплексная зависимость, позволяющая вычислить абсолютные значения координат кистевого сочленения задающего устройства копирующего типа (ЗУКТ) с избыточной подвижностью при известных углах между звеньями и углах поворота сочленений. Представленный способ определения координат системы позволяет упростить расчётную часть и увеличить точность определения конечных точек, что влечёт за собой комплексное повышение производительности системы «задающее устройство – робот».

Ключевые слова: антропоморфный манипулятор, копирующее управление, обобщенные координаты, углы поворота, задающее устройство

COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND MANAGEMENT

DETERMINATION OF THE DEPENDENCE OF GENERALIZED COORDINATES OF THE MECHANISM OF THE BASIC DEVICE WITH EXCESSIVE MOBILITY

Vladimir O. Antonov³, Vyacheslav I. Petrenko², Vladislav B. Sychkov⁴, Fariza B. Tebueva¹

¹⁻⁴North-Caucasus Federal University,

¹⁻⁴ IPushkin Str., Stavropol 355009, Russia,

¹e-mail: fariza.teb@gmail.com, ²e-mail: vip.petrenko@gmail.com,

³e-mail: ant.vl.02@gmail.com, ⁴e-mail: vladtrav@inbox.ru

Abstract Objectives The article considers the problem of accuracy in determining the generalized coordinates of the lever mechanisms of the copy-type setting devices with the condition of excessive mobility. The purpose of the article is to determine the analytical dependence of the generalized coordinates of the mechanism of the copy-type setting device with excess mobility. **Method** The article describes the principle of forming generic coordinates of a copy-type setting device for controlling a three-link anthropomorphic manipulator with 7 degrees of mobility, which allows determining the position of any desired points of a copy-type device for controlling a three-link anthropomorphic manipulator with 7 degrees of mobility by solving the inverse kinematics problem. **Result** Matrices for finding the position of the nodes of the manipulator in space are constructed. Matrices of rotation transformations around generatrix axes and the corresponding formulas for finding the coordinates of the end node are given. The formulas for the transition to the local coordinate system of the corresponding links and the formation of the absolute values of the coordinates are described. **Conclusion** A complex relationship has been revealed that allows one to calculate the absolute values of the coordinates of the wrist joint at known angles between the links and the angles of rotation of the joints. The presented method of determining the coordinates of the system allows to simplify the calculated part and increase the accuracy of determining the end points, which entails a comprehensive increase in the performance of the system "master device - robot".

Keywords: anthropomorphic manipulator, copying control, generalized coordinates, rotation angles, specifying device

Введение. На существующем этапе развития робототехнических систем актуально использование копирующих систем управления манипуляторами на основе управляющих сигналов. Копирующее управление робототехническими системами используется в ситуациях, когда человек-оператор работает с задающим механизмом, кинематически полностью подобным рабочему манипулятору. При этом каждый шарнир задающего механизма связан по принципу следящей системы с соответствующим шарниром рабочего манипулятора. Наиболее распространенным видом устройств, используемых в реализации копирующего типа управления, являются задающие устройства копирующего типа (ЗУКТ) с избыточной подвижностью – экзоскелеты. Задающим устройством, программирующим все движения звеньев манипулятора (в том числе и захватов), является эргономичная рычажная система, надеваемая на оператора [1]. Достоинствами данных систем являются простота и удобство их использования.

Развитием систем копирующего управления антропоморфных манипуляторов (АМ) роботов сегодня занимаются ученые, инженеры и научно-исследовательские коллективы передовых стран. Перечень известных проектов включает такие страны, как Японию с антропоморфными роботами Telesistence V Telesar V [2], Toyota T-HR3 [3], Model H [4], Meltant- α [5], США в проектах Sarcos Guardian [6] и Hermes [7], роботы компании Kuka [8] – Германия, Россия – ЗУКТ-3 [9] и робот FEDOR и другие.

Помимо указанных выше проблем копирующего типа управления антропоморфными роботами, имеется еще одна серьезная проблема – уровень точности при определении обобщенных координат рычажных механизмов ЗУКТ с условием избыточной подвижности.

В роботах Telesistence V Telesar V, Model H, MELTANT-α, Hermes определение обобщенных координат звеньев манипулятора производится путем решения обратной задачи кинематики при известных данных звеньев и конечного положения эффектора в пространстве. В таком случае определение обобщенных координат звеньев манипулятора сталкивается с проблемой большой вычислительной сложности при работе в среде с препятствиями, что делает их менее эффективными при выполнении целевых операций в рабочей зоне с препятствиями.

В роботах Toyota T-HR3, Sarcos Guardian, Kuka-Duplicator и ЗУКТ-3 используется экзоскелет для управления всеми звеньями манипулятора с ЗУКТ. При этом, задающие устройства роботов Toyota T-HR3, Kuka-Duplicator и Sarcos Guardian являются стационарными платформами, где в центр экзоскелета помещается рука оператора, таким образом, углы поворота в задающем устройстве и центры звеньев совпадают. Существенным недостатком данных систем является их габаритность и энергопотребление при эксплуатации. Экзоскелет ЗУКТ-3 является малогабаритной мобильной платформой, что делает его универсальным в различных сферах деятельности.

Постановка задачи. У копирующих систем управления имеется ряд проблем, немалозначной из которых является уровень точности при определении обобщенных координат рычажных механизмов ЗУКТ с условием избыточной подвижности. Установить данную проблему возможно при проведении исследований зависимости обобщенных координат механизма ЗУКТ с избыточной подвижностью.

Обобщенные координаты – параметры, описывающие конфигурацию динамической системы относительно некоторой эталонной конфигурации в аналитической механике, а конкретно – исследования динамики твёрдых тел в системе многих тел. Эти параметры должны однозначно определять конфигурацию системы относительно эталонной конфигурации. Число обобщенных координат соответствует числу степеней подвижности. Звено, которому приписываются одна или несколько обобщенных координат механизма, называется начальным звеном [10].

Для определения положения трехзвенного АМ необходимо использование следующих параметров: координаты X, Y, Z , а также трех углов 1, 2, 3 (рис. 1).

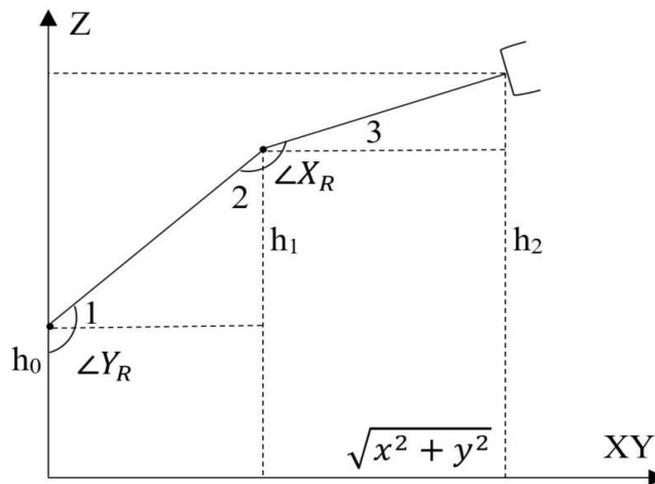


Рис.1. Кинематическая схема трехзвенного манипулятора:

h_0 – высота от установочной площадки до первого звена; l_1 – длина первого звена манипулятора; l_2 – длина второго звена; $\angle X_R$ и $\angle Y_R$ – углы поворота звеньев; X, Y, Z – координаты объекта

Fig.1. Kinematic scheme of the three-link manipulator:

h_0 - height from the installation site to the first link; l_1 is the length of the first link of the money-gun; l_2 is the length of the second link; $\angle X_R$ and $\angle Y_R$ - the angles of rotation of the links; X, Y, Z - coordinates of the object

В рамках данного пункта рассматривается задача выявления зависимости обобщенных координат рычажного механизма ЗУКТ для управления трёхзвенным манипулятором с 7-ю степенями подвижности. В силу того, что рычажная система ЗУКТ является негибкой, обоб-

щенными координатами определения пространственного положения являются углы ориентации звеньев ЗУКТ.

Схематическое изображение ЗУКТ для управления трехзвенным АМ робота с 7-ю степенями подвижности представлено на рис. 2.

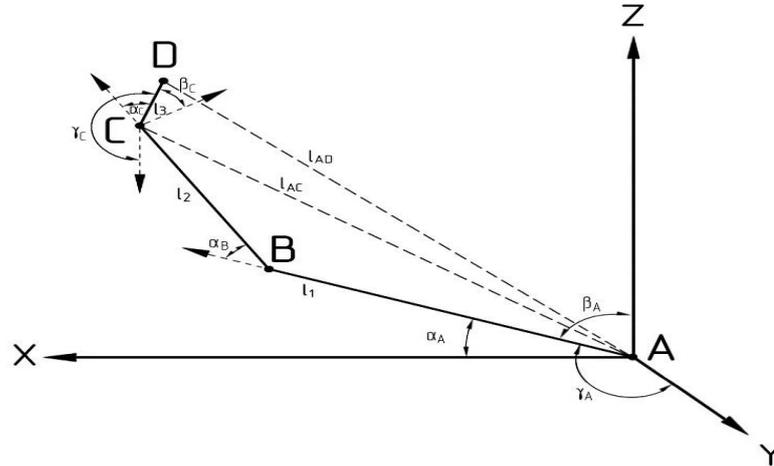


Рис.2. Схема ЗУКТ для управления трехзвенным АМ с 7-ю степенями подвижности
Fig.2. AMPL scheme for AM three-link control with 7 degrees of mobility

На рис. 2 переменным соответствуют следующие обозначения для ЗУКТ:

$A(x_A, y_A, z_A)$ – плечевой узел; $B(x_B, y_B, z_B)$ – локтевой узел; $C(x_C, y_C, z_C)$ – лучезапястный узел; $D(x_D, y_D, z_D)$ – кистевой узел; AB, BC, CD – звенья задающего устройства; $\alpha_A, \beta_A, \gamma_A$ – углы ориентации звена AB по осям OX, OZ и OY соответственно; α_B – угол ориентации звена BC по оси, образованной вектором, выходящим из звена AB ; $\alpha_C, \beta_C, \gamma_C$ – углы ориентации звена CD по осям OX, OZ и OY соответственно, с точкой отсчёта в звене C ; $\overline{AB}, \overline{BC}, \overline{CD}$ – длины звеньев задающего устройства.

Положение звеньев ЗУКТ-3 определяется, если известно положение некоего отрезка звена на заданном векторе. Для этого необходимо выявить координаты узла и угол наклона данного отрезка к оси начала координат, либо к оси, образованной предыдущим звеном. Принцип формирования обобщённых координат представлен в табл. 1.

Таблица 1. Принцип формирования обобщённых координат устройства копирующего типа для управления трёхзвенным АМ с 7-ю степенями подвижности

Table 1. The principle of formation of the generalized coordinates of the device of the copying type for the control of three-link AM with 7 degrees of mobility

Link Angle Угол наклона звена	α	β	γ
Узел Joint			
A	α_A	β_A	γ_A
B	α_B	–	–
C	α_C	β_C	γ_C

Соответственно, зависимость обобщённых координат для ЗУКТ типа примет вид:

– для плечевого узла:

$$q \begin{pmatrix} \alpha_A \\ \beta_A \\ \gamma_A \end{pmatrix} = \Phi \begin{pmatrix} x_A, & y_A, & z_A, \\ x_B, & y_B, & z_B, \end{pmatrix}, \quad (1)$$

– для локтевого узла:

$$q(\alpha_B) = \Phi \begin{pmatrix} x_B, & y_B, & z_B, \\ x_C, & y_C, & z_C, \end{pmatrix}, \quad (2)$$

– для кистевого узла:

$$q \begin{pmatrix} \alpha_C \\ \beta_C \\ \gamma_C \end{pmatrix} = \Phi \begin{pmatrix} x_D, & y_D, & z_D \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Зависимые (1) – (3) обобщённых координат позволяют определить положение любых искомых точек устройства копирующего типа для управления трехзвенным манипулятором с 7-ю степенями подвижности при помощи решения обратной задачи кинематики.

Представленный способ определения координат системы позволяет упростить расчётную часть и увеличить точность определения конечных точек, что влечёт за собой комплексное повышение производительности системы «задающее устройство – робот».

Методы исследования. Зависимость обобщённых координат звеньев в пространстве предполагает, что координаты звеньев каждого дочернего узла зависят от углов поворота и положений в пространстве всех родительских звеньев манипулятора.

Начальные условия. Четырёхзвенный АМ, представляющий собой рычажный механизм, состоит из трех жестких звеньев (плечевое, локтевое, кистевое) и хвата, идентичного кисти руки человека, на плоскости, лежащей на осях X и Y (рис. 3).

Если предположить, что узел C является родительским по отношению к узлу D , B – родительский к узлу C , а узел A – родительский к B , то, согласно зависимости нахождения положений звеньев в пространстве, угол поворота узла A влияет на положения в пространстве всех остальных узлов, в то время как угол поворота B , влияет на положения узлов C и D , а поворот узла C изменит лишь позицию узла D .

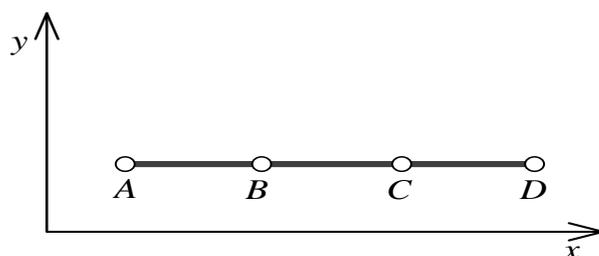


Рис.3. Схема четырехзвенного АМ, лежащего в плоскости XY

Fig.3. Scheme of a four-link AM lying in the XY plane

Соответствующие суставы рычажной системы четырехзвенного АМ представлены на рис. 4.

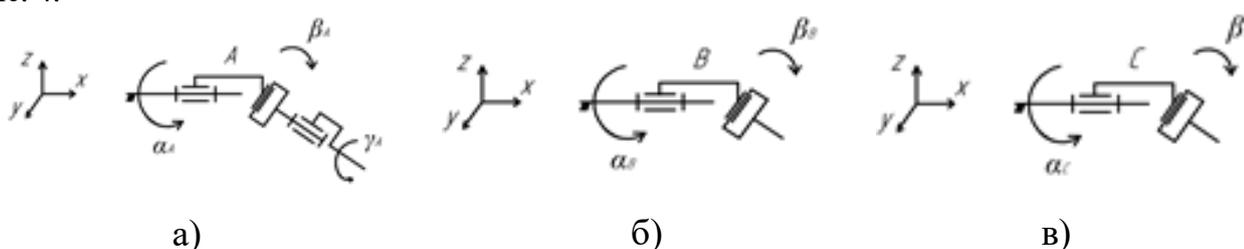


Рис.4. Рычажная система четырехзвенного АМ:

а) аналог плечевого сустава, б) аналог локтевого сустава, в) аналог лучезапястного сустава

Fig. 4. Lever system of the four-link AM:

a) analogue of the shoulder joint, b) analogue of the elbow joint, c) analogue of the wrist joint

Матрица поворота любого узла по оси Z имеет следующий вид:

$$M_Z = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad (4)$$

где θ – угол поворота узла.

Предполагая, что сочленения AB , BC и CD равны и имеют длину 1 усл. ед., и принимая позицию каждого родительского узла за 0 в локальной системе координат, матрица смещения каждого из дочерних узлов в локальной системе координат сочленения будет иметь вид:

$$M_T = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & x \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \text{ где } x = 1. \quad (5)$$

Таким образом, матрица нахождения позиции узла D находится следующим образом:

$$M_z \times M_T = \begin{vmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & x \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}. \quad (6)$$

А при повороте узла C на 90 градусов уравнение приобретает следующий вид:

$$M_D = M_z \times M_T = \begin{vmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}, \quad (7)$$

где первые три элемента четвертого столбца матрицы соответствуют координатам узла D в локальной системе координат сочленения CD (рис. 5):

$$D = (0, -1, 0). \quad (8)$$

В иерархии рассматриваемой системы родительским для C и D является узел B , при повороте которого будут изменяться позиции уже двух дочерних узлов.

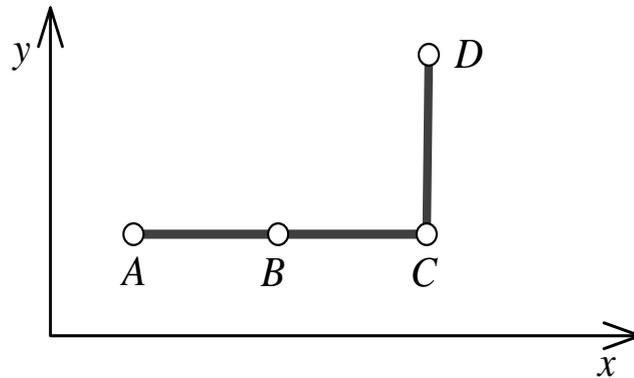


Рис.5. Зависимость положения узла D от поворота узла C
 Fig.5. Dependence of the position of the node D on the rotation of the node C

Матрица перемещения узла C в сочленении BC при повороте родительского узла B на 20 градусов по оси Z имеет вид:

$$M_C = M_z \times M_T = \begin{vmatrix} 0,94 & -0,34 & 0 & 0 \\ 0,34 & 0,94 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} =$$

$$= \begin{vmatrix} 0,94 & -0,34 & 0 & 0,94 \\ 0,34 & 0,94 & 0 & 0,34 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}. \quad (9)$$

Первые три элемента четвертого столбца матрицы (9), так же, как и в предыдущем случае, соответствуют координатам узла C в локальной системе координат сочленения BC (рис. 6).

Как видно из рис. 6 координаты узла C сместились, что вызвало разрыв между сочленениями BC и CD . Точнее, не были найдены обновленные координаты узла D , с учетом его зависимости от родительских узлов.

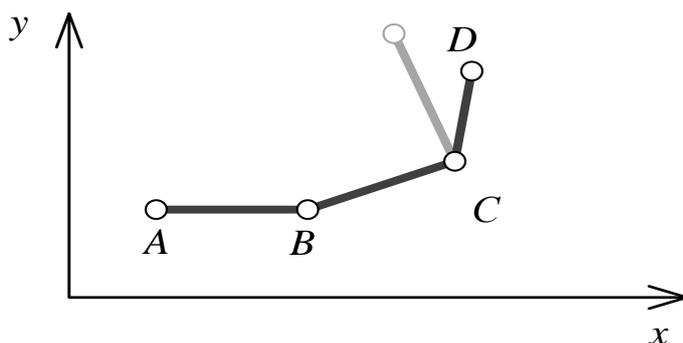


Рис.6. Некорректные координаты узла D
Fig.6. Incorrect coordinates of the node D

Система сочленений с обновленными координатами узла D принимает корректный вид (рис. 7), что подтверждает зависимость положений и поворотов дочерних узлов от положений поворотов родительских.

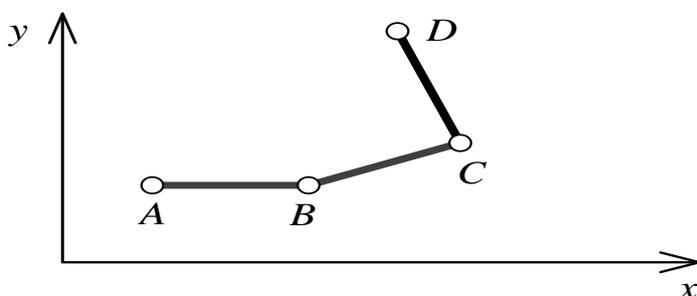


Рис.7. Корректное представление системы сочленений
Fig.7. Correct representation of the joint system

Целью данного метода является получение зависимости положений и поворотов дочерних узлов от положений поворотов родительских, т.е. зависимости обобщенных координат механизма ЗУКТ.

Обсуждение результатов. Согласно зависимости, приведённой на рис. 8, нахождение координат дочерних узлов производится путем умножения матриц поворота и смещения искомого узла, на матрицы поворотов и смещений всех родительских узлов в порядке их иерархии в системе.

Нахождение координат узла D относительно позиции узла B выглядит следующим образом:

$$M_{DН} = M_D * M_C = \begin{vmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} 0,94 & -0,34 & 0 & 0,94 \\ 0,34 & 0,94 & 0 & 0,34 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} =$$

$$= \begin{vmatrix} -0,34 & -0,94 & 0 & -0,34 \\ 0,94 & -0,34 & 0 & 1,94 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}. \quad (10)$$

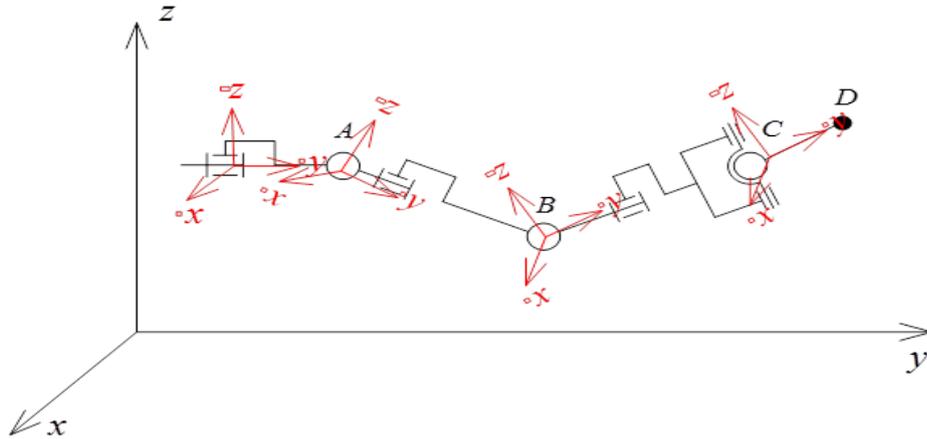


Рис.8. Формирование зависимости обобщённых координат ЗУКТ
Fig.8. Formation of the dependence of the generalized coordinates of the SUCCT

Необходимо определить абсолютные значения координат узла $D(x_D, y_D, z_D)$ при известных углах между звеньями и углах поворота сочленений.

Рассматривается задающее устройство с жесткими звеньями, соединенными кинематическими парами с угловым перемещением (рис.9).

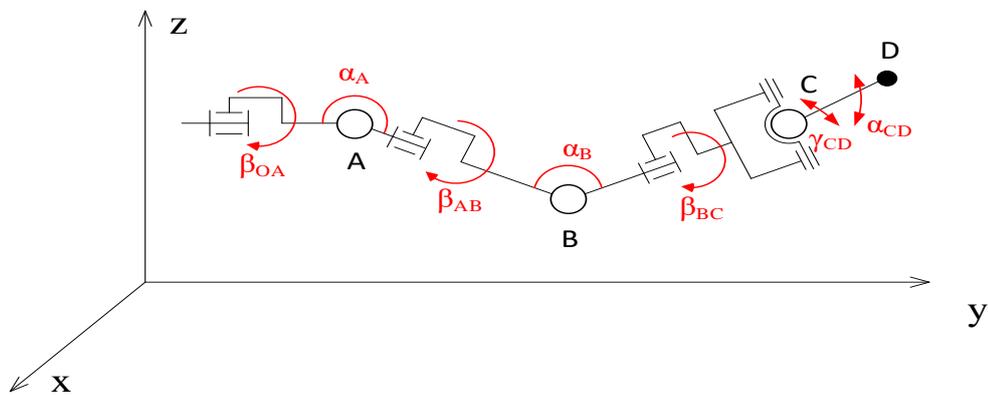


Рис.9. Обозначение углов ЗУКТ
Fig.9. Designation of angles

Проводится задание матрицы преобразований поворота вокруг осей Ox, Oy, Oz на угол θ :

$$M_x(\theta) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

$$M_y(\theta) = \begin{pmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad (11)$$

$$M_z(\theta) = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Следующим этапом определяется матрица смещения координат вдоль осей Ox , Oy , Oz :

$$M_T(x, y, z) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & x \\ 0 & 1 & 0 & y \\ 0 & 0 & 1 & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (12)$$

Координаты узла D в системе координат, связанной с узлом C , могут быть определены на основе известных углов поворота α_C , γ_C вокруг осей x_C и z_C соответственно:

$$D_{CD} = M_x(\alpha_{CD}) \times M_z(\gamma_{CD}) \times M_T(0, \overline{CD}, 0) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha_C & -\sin \alpha_C & 0 \\ 0 & \sin \alpha_C & \cos \alpha_C & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times \\ \times \begin{pmatrix} \cos \gamma_C & -\sin \gamma_C & 0 & 0 \\ \sin \gamma_C & \cos \gamma_C & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \overline{CD} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (13)$$

Первые три элемента четвертого столбца результирующей матрицы соответствуют координатам узла D в локальной системе координат звена CD .

Для перехода к локальной системе координат звена BC необходимо произвести трансформации смещения и поворота:

$$D_{BC} = M_y(\beta_{BC}) \times M_T(0, \overline{BC}, 0) \times D_{CD}. \quad (14)$$

Далее осуществляется переход к локальной системе координат сочленения AB :

$$D_{AB} = M_y(\beta_{AB}) \times M_T(0, \overline{AB}, 0) \times M_x(\alpha_B) \times D_{BC}. \quad (15)$$

Формируются абсолютные значения координат:

$$D = M_y(\beta_{OA}) \times M_T(0, \overline{OA}, 0) \times M_x(\alpha_A) \times D_{AB}. \quad (16)$$

Следовательно, первые три элемента четвертого столбца результирующей матрицы соответствуют координатам узла $D(x_D, y_D, z_D)$.

Вывод. В статье приведены результаты исследования аналитической зависимости обобщенных координат рычажного механизма ЗУКТ с избыточной подвижностью.

Описан принцип формирования обобщенных координат ЗУКТ для управления трёхзвенным АМ с 7-ю степенями подвижности, позволяющий определить положение любых искомым точек ЗУКТ при помощи решения обратной задачи кинематики.

Построенные матрицы нахождения позиции конечного узла D относительно родительских узлов A , B и C представлены формулами (6)-(10). Матрицы преобразований поворота вокруг образующих осей и соответствующие формулы нахождения координат конечного узла D на основе известных углов поворота заданы формулами (11)-(13).

Переход к локальной системе координат соответствующих звеньев и формирования абсолютных значений координат звеньев можно осуществить с использованием формул (14)-(16).

Выявлена комплексная зависимость, позволяющая вычислить абсолютные значения координат кистевого сочленения $D(x_D, y_D, z_D)$, при известных углах между звеньями и углах поворота сочленений.

Библиографический список:

- 1 Жиденко И.Г., Кутлубаев И.М., Богданов А.А., Сычков В.Б. Обоснование выбора структурной схемы роботов космического исполнения. Решетневские чтения: материалы XVII Междунар. науч. конф., посвящ. памяти генер. конструктора ракет. -космич. систем акад. М. Ф. Решетнева (12-14 нояб. 2013 г., Красноярск): в 2 ч. /под общ. ред. Ю. Ю. Логинова; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2013. Ч. 1. 522 с.

- 2 Charith Lasantha Fernando, Masahiro Furukawa, Tadatoshi Kurogi, Kyo Hirota, Sho Kamuro, Katsunari Sato, Kouta Minamizawa, and Susumu Tachi: TELESAR V: TELEXistence Surrogate Anthropomorphic Robot, ACM SIGGRAPH 2012, Emerging Technologies, Los Angeles, CA, USA, 2012.
- 3 T-HR3 by Toyota // Toyota Motor Corporation Global Website URL: https://www.toyota-global.com/pages/contents/innovation/partner_robot/robot/file/T-HR3_EN_0208.pdf (дата обращения: 17.02.2019).
- 4 Telexistence Model H // Telexistence inc. URL: <https://tx-inc.com/technology/> (дата обращения: 17.02.2019).
- 5 Meltant- α , a cyborg that transcends boundaries // © Meltin MMI URL: <https://www.meltin.jp/en/technology/> (дата обращения: 17.02.2019).
- 6 Guardian™ GT // Sarcos Robotics URL: <https://www.sarcos.com/products/guardian-gt/> (дата обращения: 17.02.2019).
- 7 MIT HERMES Project // MIT Biomimetics Robotics Lab logo URL: <https://biomimetics.mit.edu/research/mit-hermes-project> (дата обращения: 17.02.2019).
- 8 Robotic systems KUKA // KUKA AG URL: <https://www.kuka.com/en-gb/industries/energy/nuclear-decommissioning> (дата обращения: 18.02.2019).
- 9 УКТ-3 НПО Андроидная техника // НПО Андроидная техника URL: <https://npo-at.com/products/«аватар»/> (дата обращения: 25.10.2017 г.).
- 10 Богданов А.А., Кутлубаев И.М., Пермяков А.Ф., Попова Е.В., Сычков В.Б. Комбинированные системы управления робототехническими комплексами на основе элементов сенсорики с обратными связями для обеспечения возможности замены человека при работе в условиях чрезвычайной ситуации. Глобальная и национальные стратегии управления рисками катастроф и стихийных бедствий XX Международная научно-практическая конференция по проблемам защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций. Тезисы докладов. ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ). 2015. С. 279-281.

References:

1. Zhidenko I.G., Kutlubayev I.M., Bogdanov A.A., Sychkov V.B. Obosnovaniye vybora strukturnoy skhemy robotov kosmicheskogo ispolneniya. Reshetnevskiy chteniye: materialy XVII Mezhdunar. nauch. konf., posvyashch. pamyati gener. konstruktora raket. -kosmich. sistem akad. M. F. Reshetneva (12-14 noyab. 2013 g., Krasnoyarsk): v 2 ch. /pod obshch. red. YU. YU. Loginova; Sib. gos. aerokosmich. un-t. Krasnoyarsk, 2013. CH. 1. 522 s. [Zhidenko I.G., Kutlubayev I.M., Bogdanov A.A., Sychkov V.B. Justification of the choice of the structural scheme of space execution robots. Reshetnev readings: materials of the XVII International. scientific conf., dedicated. memory generator missile constructor. -cosm systems of acad. M. F. Reshetnev (Nov. 12-14, 2013, Krasnoyarsk): at 2 pm / total. ed. Yu. Loginova; Sib. state aerospace un-t Krasnoyarsk, 2013. Part 1. 522 p. (In Russ)]
2. Charith Lasantha Fernando, Masahiro Furukawa, Tadatoshi Kurogi, Kyo Hirota, Sho Kamuro, Katsunari Sato, Kouta Minamizawa, and Susumu Tachi: TELESAR V, TEL Existence Surrogate Anthropomorphic Robot, ACM SIGGRAPH.
3. T-HR3 by Toyota // Toyota Motor Corporation Global Website URL: https://www.toyota-global.com/pages/contents/innovation/partner_robot/robot/file/T-HR3_EN_0208.pdf (appeal date: 17.02. 2019).
4. Telexistence Model H // Telexistence inc. URL: <https://tx-inc.com/technology/> (appeal date: 02/17/2019).
5. Meltant- α , a cyborg that transcends boundaries//© Meltin MMI URL: <https://www.meltin.jp/en/technology/> (reference date: 17.02.2019).
6. Guardian™ GT // Sarcos Robotics URL: <https://www.sarcos.com/products/guardian-gt/> (appeal date: 02/17/2019).
7. MIT HERMES Project // MIT Biomimetics Robotics Lab logo URL: <https://biomimetics.mit.edu/research/mit-hermes-project> (access date: 02.17.2019).
8. Robotic systems KUKA // KUKA AG URL: <https://www.kuka.com/en-gb/industries/energy/nuclear-decommissioning> (access date: 02/18/2019).
9. УКТ-3 НПО Андроидная техника // НПО Андроидная техника URL: <https://npo-at.com/products/«аватар»/> (data obrashcheniya: 25.10.2017 g.). [УКТ-3 НПО Android Technology // НПО Android Technology URL: <https://npo-at.com/products/Avatar> (appeal date: 10.25.2017). (In Russ)]
10. Bogdanov A.A., Kutlubayev I.M., Permyakov A.F., Popova Ye.V., Sychkov V.B. Kombinirovannyye sistemy upravleniya robototekhnicheskimi kompleksami na osnove elementov sensoriki s obratnymi svyazyami dlya obespecheniya vozmozhnosti zameny cheloveka pri rabote v usloviyakh chrezvychaynoy situatsii. Global'naya i natsional'nyye strategii upravleniya riskami katastrof i stikhiynykh bedstviy XX Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya po problemam zashchity naseleniya i territoriy ot chrezvychaynykh situatsiy. Tezisy докладов. FGBU VNIИ GOCHS (FTS). 2015. S. 279-281. [Bogdanov A.A., Kutlubayev I.M., Permyakov A.F., Popova E.V., Sychkov V.B. Combined control systems of robotic complexes based on sensory elements with feedback to ensure the possibility of replacing a person when working in an emergency. Global and national strategies for disaster risk management and natural disasters XX International Scientific and Practical Conference on the protection of people and territories from emergencies. Theses of reports. FSBI VNIИ GOCHS (FC). 2015. p. 279-281. (In Russ)]

Сведения об авторах:

Антонов Владимир Олегович – кандидат технических наук, старший преподаватель, институт информационных технологий и телекоммуникаций.

Петренко Вячеслав Иванович – кандидат технических наук, доцент, заместитель директора института информационных технологий и телекоммуникаций по науке; заведующий кафедрой «Организация и технология защиты информации».

Сычков Владислав Борисович – аспирант.

Тебуева Фариза Биляловна – доктор физико-математических наук, доцент, заведующая кафедрой прикладной математики и компьютерной безопасности.

Information about the authors.

Vladimir O. Antonov - Post-graduate Student.

Vyacheslav I. Petrenko - Cand. Sc. (Technical), Assoc. Prof., Deputy Director of the Institute of Information Technology and Telecommunications in Science; Department "Organization and technology of information protection."

Vladislav B. Sychkov –Graduate student

Fariza B. Tebuueva – Dr.Sci.(Physical and Mathematical), Department of Applied Mathematics and Computer Security. Конфликт интересов Conflict of interest.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 15.02.2019.

Принята в печать 21. 03.2019.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 15.02.2019.

Accepted for publication 21. 03.2019.