

УДК 62-503.51

**Ларионенко А.С.**, студент 4-го курса кафедры ИУТС**Царьков И.С.**, студент 4-го курса кафедры ИУТС**Альчаков В.В.**, канд. техн. наук, доцент кафедры ИУТС**Кабанов А.А.**, канд. техн. наук, доцент кафедры ИУТС*Севастопольский государственный университет,**г. Севастополь, Россия*[alchakov@sevsu.ru](mailto:alchakov@sevsu.ru)

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РУКИ-МАНИПУЛЯТОРА АНТРОПОМОРФНОГО РОБОТА<sup>1</sup>

Человеческая рука – один из самых сложных и совершенных элементов человеческого тела, который участвует в информационных и исполнительных процессах, обеспечивающих жизнедеятельность человека. В частности, рука используется для захвата объектов, пальцы руки используются для тактильного определения материала, из которого сделан объект. Руки человека могут в подавляющем большинстве приспосабливаться к объектам практически любой формы для того, чтобы выполнить захват. Это обеспечивается за счет сложного взаимодействия суставов и системы мышечных связей суставов и кистей рук. Поэтому, одна из главных задач, которая ставится перед разработчиками робототехнических систем на базе человекоподобных роботов состоит в создании роботизированных систем с автономными и развитыми навыками мелкой моторики рук. Эффективные навыки манипулирования персональными и служебными роботами в неструктурированных средах имеют фундаментальное значение для выполнения манипуляционных задач и для обеспечения надлежащего и безопасного сотрудничества между людьми и роботами.

Основная цель настоящей работы состояла в разработке математической модели руки антропоморфного робота, которая фактически может быть разделена на две подмодели: модель локтевого и плечевого суставов и модель кисти. В качестве прототипа авторами использован антропоморфный робот модели SAR-400. Фрагменты руки-манипулятора этого робота приведены на рис. 1.

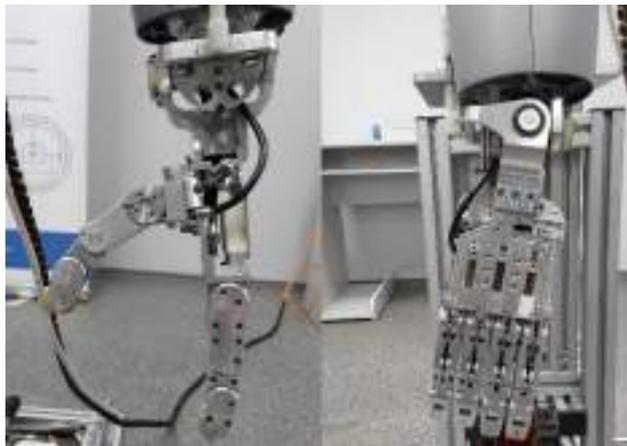


Рис. 1. – Фрагмент руки-манипулятора робота SAR-400

Управление кистью осуществляется при помощи 7 двигателей: 2 двигателя отвечают за вращение самой кисти, 2 двигателя – за вращение большого пальца, и 3 двигателя отвечают за вращение оставшихся четырех пальцев. У данной модели робота мизинец и безымянный палец управляются одним двигателем, следовательно, углы поворота у них одинаковые. Также необходимо отметить, что несмотря на то, что пальцы робота состоят из трех звеньев, управлять каждым из звеньев по отдельности не является возможным из-за

<sup>1</sup> Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и города Севастополь в рамках научного проекта №18-48-920022 p\_a

конструкции робота. Для управления кистью используются углы поворота двигателей. В табл. 1 приведены диапазоны значений углов поворота для каждого из двигателей.

Табл. 1 – Описание двигателей кисти робота

Название двигателя	Описание	Минимальный угол, град.	Максимальный угол, град.
WristS	Вращение кисти вдоль оси OX	-15	15
WristF	Вращение кисти вдоль оси OY	-15	15
Finger.ThumbS	Вращение большого пальца относительно кисти	-90	10
Finger.Thumb	Сжатие/разжимание большого пальца	10	75
Finger.Ring	Сжатие/разжимание мизинца и безымянного пальца	12	80
Finger.Middle	Сжатие/разжимание среднего пальца	12	80
Finger.Index	Сжатие/разжимание указательного пальца	12	80

При моделировании прямой кинематики кисти был использован подход Денавита–Хартенберга, который наиболее часто используется для подобных задач. Его суть заключается в последовательном построении систем координат, связанных с каждым звеном кинематической цепи. Смысл подхода Денавита–Хартенберга состоит в формировании однородной матрицы преобразования, имеющей размерность  $4 \times 4$  и описывающей положение системы координат каждого звена относительно предыдущего звена. Это дает возможность последовательно преобразовать координаты манипулятора из системы отсчета, связанной с последним звеном, в базовую систему отсчета, являющейся инерциальной системой координат для рассматриваемой системы [1]. Так как данный подход рассматривает только лишь одну конечную точку в пространстве, то для построения модели кисти руки его необходимо применить для каждого из пальцев. Пальцы робота (кроме большого) имеют идентичную структуру, поэтому системы координат имеют одинаковый вид, отличия будут заключаться лишь в некоторых параметрах. Оси для каждого из соединений представлены на рис. 2.

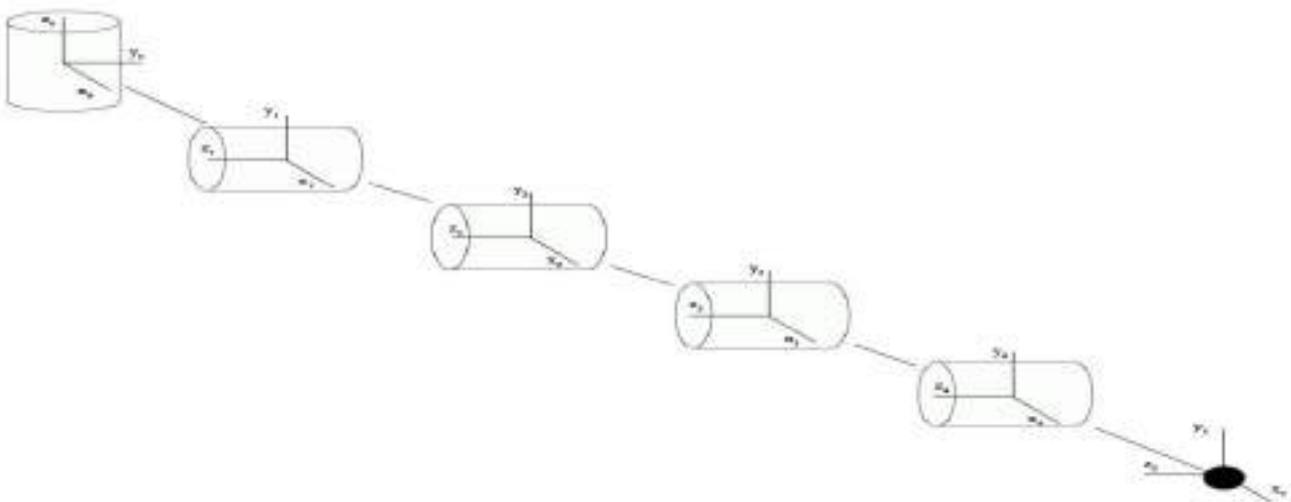


Рис. 2. – Представление осей для Д-Х подхода

Для получения модели составляется таблица параметров для построения матриц преобразования. Данные, которые заданы в этой таблице числами являются константами и одинаковы для каждого из пальцев (кроме большого). Данные, которые имеют буквенное обозначение – переменные. Параметр  $d_2$  имеет постоянное значение, однако оно различно для каждого из пальцев и показывает на сколько смещена ось пальца относительно центра руки. Соответствующие числовые параметры для матриц представлены в табл. 2.

Табл. 2. – Параметры Денавита–Хартенберга

№ узла	$d, \text{ м}$	$r, \text{ м}$	$\theta, \text{ град.}$	$\alpha, \text{ град.}$
1	0	0	$\theta_1$	90
2	$d_2$	0.155	$\theta_2$	0
3	0	0.038	$\theta_3$	0
4	0	0.028	$\theta_4$	0
5	0	0.022	$\theta_5$	0

Далее, строится матрица преобразования для каждого из узлов, которая будет иметь вид:

$$A_i = \begin{bmatrix} \cos(\theta_i) & -\sin(\theta_i)\cos(\alpha_i) & \sin(\theta_i)\cos(\alpha_i) & r_i \cos(\theta_i) \\ \sin(\theta_i) & \cos(\theta_i)\cos(\alpha_i) & -\cos(\theta_i)\cos(\alpha_i) & r_i \sin(\theta_i) \\ 0 & \sin(\alpha_i) & \cos(\alpha_i) & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Полученные матрицы преобразований необходимо перемножить, в результате чего будет получена итоговая матрица перехода к исходным координатам:

$$A = \begin{bmatrix} x_{5x} & y_{5x} & z_{5x} & p_x \\ x_{5y} & y_{5y} & z_{5y} & p_y \\ x_{5z} & y_{5z} & z_{5z} & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

В рамках рассматриваемой задачи из представленной матрицы используется только четвертый столбец, значения этого столбца описывают положение точки в пространстве, в свою очередь первые три столбца описывают ориентацию в пространстве.

Описанный подход был использован для построения модели руки антропоморфного робота в пространстве. Для реализации использовался пакет Matlab, результаты моделирования приведены на рис. 3, 4.

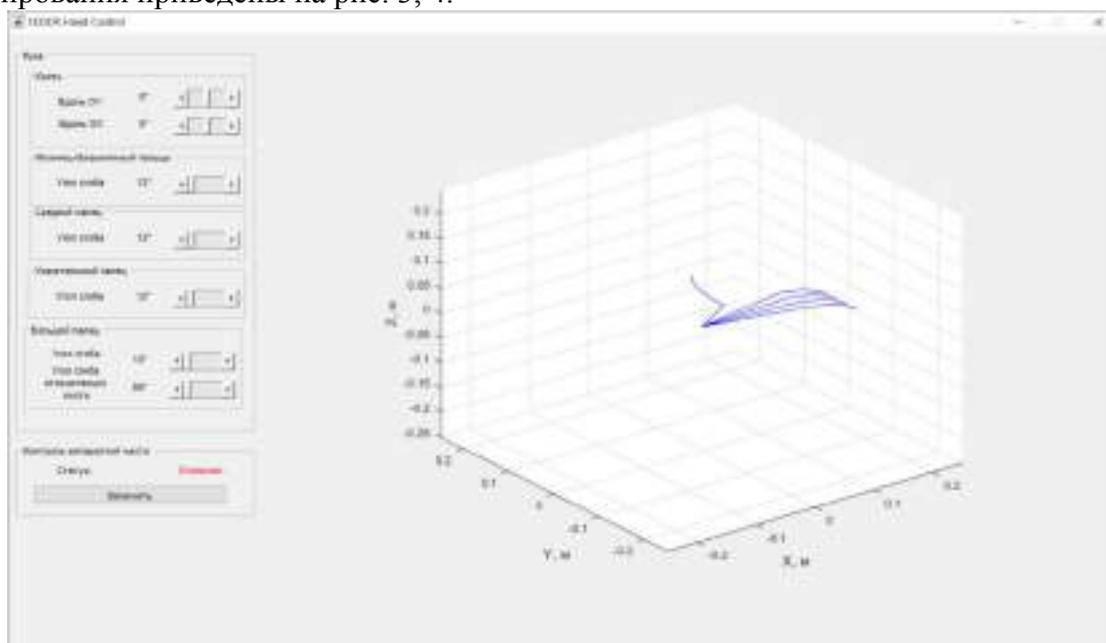


Рис. 3. – Положение кисти при минимальных допустимых параметрах

В результате моделирования получено пять матриц, хранящих положение и ориентацию концов пальцев в пространстве. Для более удобного представления был разработан пользовательский интерфейс, который обрабатывает текущее заданное значение углов и изображает положение пальцев в 3D пространстве.

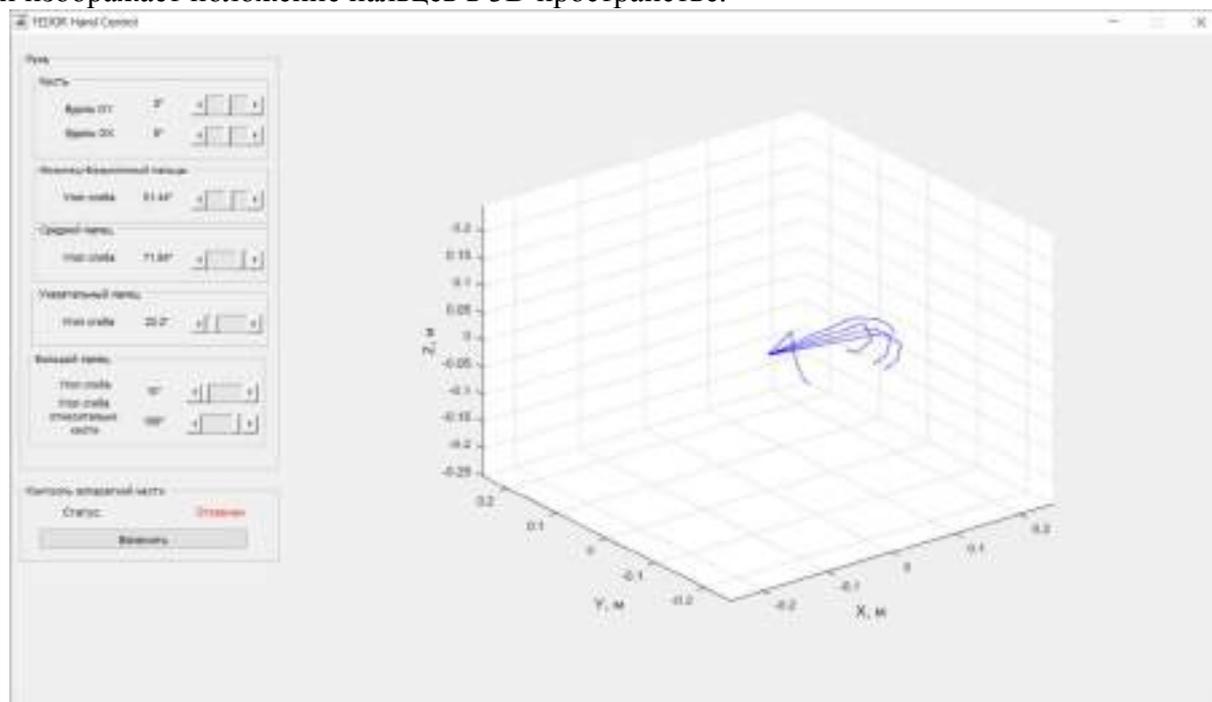


Рис. 4. – Положение кисти при произвольных параметрах

Аналогичный подход [2-3] был применен и для получения математической модели, описывающей динамику локтевого и плечевого суставов робота SAR-400. Соответствующие блоки робота приведены на рис. 5.



Рис. 5. – Общий вид предплечья робота SAR-400

Результаты моделирования двухзвенного манипулятора приведены на рис. 6.

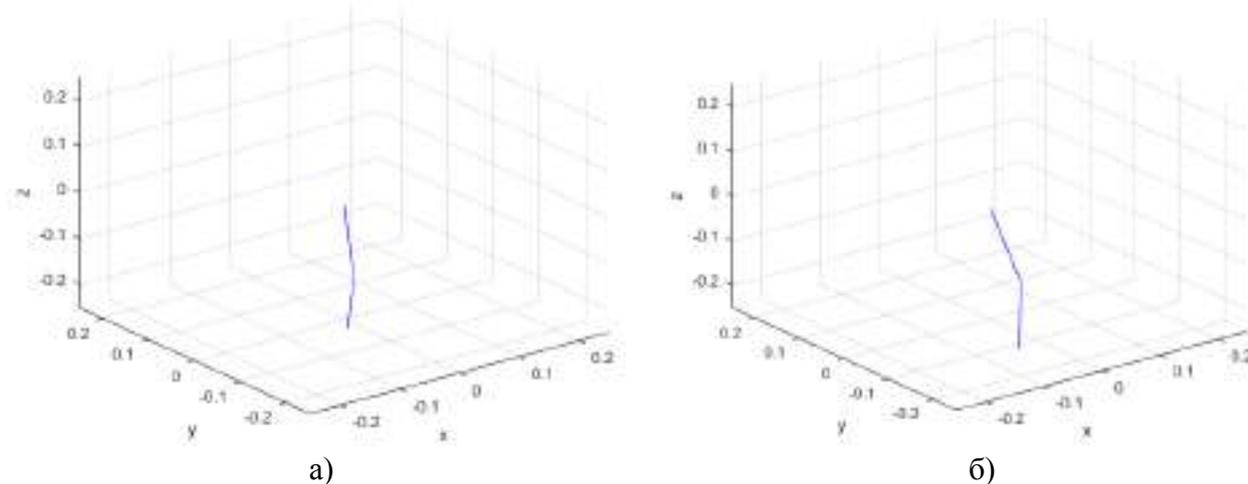


Рис. 6. – Результаты моделирования двухзвенного манипулятора: а) – положение предплечья при минимальных допустимых параметрах; б) – положение предплечья при произвольных параметрах

Дальнейшие исследования в рамках рассмотренного направления будут направлены на доработку математической модели для решения задач, связанных с тонкой моторикой манипуляторов. Также планируется разработка специализированной библиотеки функций для управления манипулятором робота SAR-400 в реальном масштабе времени.

#### Список литературы

1. Зенкевич С.Л., Ющенко А.С. Управление роботами. Основы управления манипуляционными роботами - М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. - 400 с.
2. Лутманов С.В., Куксенко Л.В., Попова Е.С. Задачи управления двухзвенным манипулятором с вращательными кинематическими парами // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 6-4. – С. 886-891.
3. Робототехника и гибкие автоматизированные производства робототехнических систем и гибких автоматизированных производств / С.В. Пантюшин, В.М. Назаретов, О.А.Тягунов и др.; Под ред. И.М. Макарова. М.: Высш. Шк., 1986 – 175 с.