

УДК 621.01

DOI: 10.25686/978-5-8158-2474-4-2025-899-905

Определение рабочих зон механизмов рук антропоморфных роботов с учётом синтеза движений по вектору скоростей

Д. Б. Фёдоров

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

Аннотация. Рабочая зона механизма руки антропоморфного робота представляет собой множество положений центров захвата, определяющих множество достижимых точек при заданных ограничениях на значения обобщённых координат. В статье проведены исследования, которые позволили определить совокупность кривых линий уровня, задающих рабочие зоны механизмов рук антропоморфных роботов. Данные исследования могут быть использованы при проектировании различных перемещений объектов манипулирования с помощью антропоморфных роботов.

Ключевые слова: механизмы манипуляторов, мгновенные состояния механизмов, вектор обобщённых скоростей, компьютерное моделирование движений антропоморфных роботов, выходное звено, рабочая зона манипулятора

Determination of working zones of arm mechanisms of anthropomorphic robots taking into account the synthesis of movements along the velocity vector

D. B. Fedorov

Omsk State Technical University, Omsk, Russia

Abstract. The working area of the anthropomorphic robot arm mechanism is a set of positions of the capture centers that determine a set of attainable points under given constraints on the values of the generalized coordinates. The article contains studies that allowed us to determine a set of curved level lines that define the working areas of anthropomorphic robot arm mechanisms. These studies can be used in designing various movements of objects of manipulation using android robots.

Keywords: manipulator mechanisms, instantaneous states of mechanisms, vector of generalized velocities, computer modeling of movements of anthropomorphic robots, output link, working area of the manipulator.

Введение

Антропоморфные роботы представляют собой человекоподобных роботов, способных взаимодействовать с окружающим миром подобно человеку, освобождая его от выполнения рутинных операций на производстве. Большинство роботов представляют собой механизмы манипуляторов, которые управляются посредством микропроцессорных контроллеров. Выходное звено (ВЗ) механизма манипулятора позволяет перемещать объекты в рабочем пространстве и обеспечивает выполнение технологических операций. Данные роботы играют ключевую роль в автоматизации технологических процессов и производств [1]. Такие роботы применяются, например, при автоматизации работ в складских помещениях или в медицине при разработке протезов [2].

Рабочая зона механизма манипулятора может быть определена как набор положений, которые могут быть достигнуты ВЗ механизма, взаимодействующего с окружающей средой. Важным критерием для проектирования и планирования перемещений робота является изучение его рабочей зоны [3]. Аналитическое задание рабочей зоны механизма руки антропоморфного робота на начальном этапе реализации его движения позволяет проводить анализ положения целевых точек синтезируемой траектории ВЗ и определять их достижимость [4].

В настоящее время актуальной задачей является разработка интеллектуальных систем управления механизмами рук антропоморфных роботов [5-7].

Постановка задачи

При компьютерном моделировании движений роботов используется метод, основанный на матрицах частных передаточных отношений, позволяющих установить связь между скоростями выходного звена и обобщёнными скоростями. Обычно в рамках данного метода определяются позиции антропоморфных роботов с целью достижения механизмом руки заданных целевых точек. Для этого необходимо разработать алгоритм, позволяющий заранее предотвращать возникновение тупиковых ситуаций при компьютерном управлении движением антропоморфных роботов.

Определение рабочих зон механизмов манипуляторов способствует созданию эффективных алгоритмов управления движением рук антропоморфных роботов, что является актуальной проблемой для робототехнических систем и автоматизации технологических процессов. Так как управление перемещением роботов основано на построении движений по вектору скоростей, то рационально определять границы рабочих зон с учётом возникающих погрешностей линеаризации. Поэтому определим рабочие зоны механизмов рук антропоморфных роботов на основе синтеза малых движений по вектору скоростей.

Теория

На рисунках 1 и 2 представлены кинематические схемы и туловища двух антропоморфных роботов. На рисунках точки $O^1(O^1_1, O^1_2)$, $O^2(O^2_1, O^2_2)$, ... и т.п. задают узловые точки, число которых равно числу систем координат используемых для задания модели механизма. Указанные точки определяют начала систем координат, используемых при задании модели кинематической цепи. Положения точек O^1 , O^2 и т.п. задаются значениями списков массивов, характеризующих структурную модель исполнительных механизмов рук антропоморфных роботов. Значения списков заданы в таблицах 1 и 2. Размерность указанных массивов является одинаковой для каждого механизма и определяется значением параметра n_m . Параметр n_m задаёт количество систем координат, используемых для задания структурной модели механизмов манипуляторов.

Указанные массивы дают возможность организовывать циклы при вычислениях матриц $M_{0,k}$, задающих положение систем координат, связанных со звеньями механизма. Параметр l_{sm} определяет смещение (линейное или угловое) по направлению осей систем координат, неподвижно связанных со звеньями механизма. Линейное смещение обозначается l_i , угловое – φ . Значения длин l_k задают размеры звеньев механизмов.

Линейные смещения l_i вдоль осей координат для антропоморфного робота AR-600E определяют отрезки $l_1 = O_1O_2$, $l_2 = O_2O_3$, $l_3 = O_3O_6$, $l_4 = O_6O_8$, $l_5 = O_8O_{10}$ и $l_6 = O_{10}O_{12}$ (рис. 1а). Параметр l_6 определяет расстояние до характерной точки кисти – центра ладони (данная точка принимается за центр ВЗ). Соответственно для руки андроидного робота $l_1 = O_3O_5$, $l_2 = O_5O_6$, $l_3 = O_7O_8$, $l_4 = O_9O_{10}$, $l_5 = O_{12}O_{13}$. В таблицах 1, 2 параметр n_{kod} определяет значение кода преобразований систем координат при переходе от системы O_k к системе O_{k-1} [5]. Предельные значения обобщённых координат для двух механизмов заданы следующими значениями: $q_i^{max} = 180^\circ$ и $q_i^{min} = -180^\circ$. Для андроидного робота максимальное значение первой обобщённой координаты q_1 было принято равным 50 мм. Данная координата определяет поступательное перемещение вдоль оси x^0 .

Определим графическим методом границы рабочих областей механизмов антропоморфных роботов. Для решения поставленной задачи целесообразно использовать метод компьютерного геометрического моделирования.

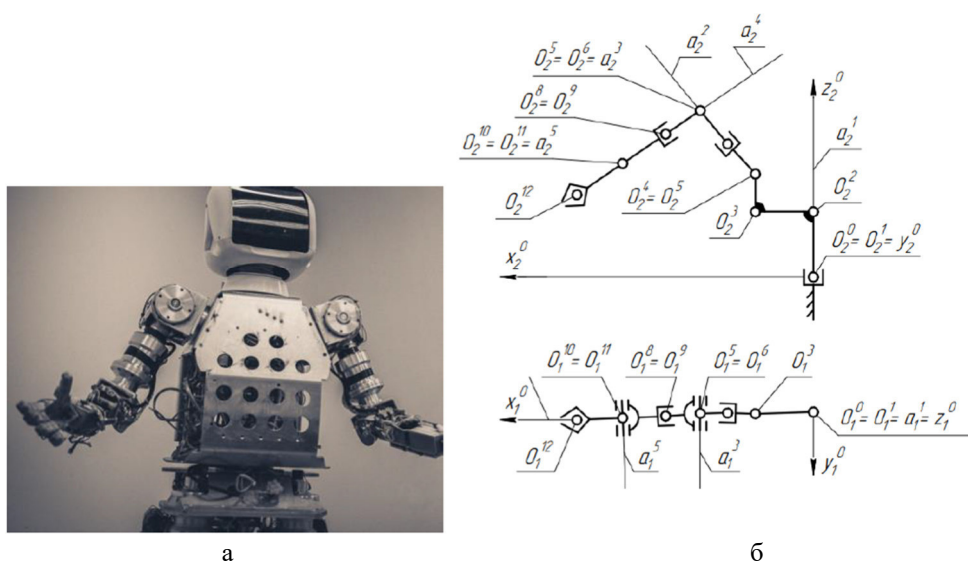
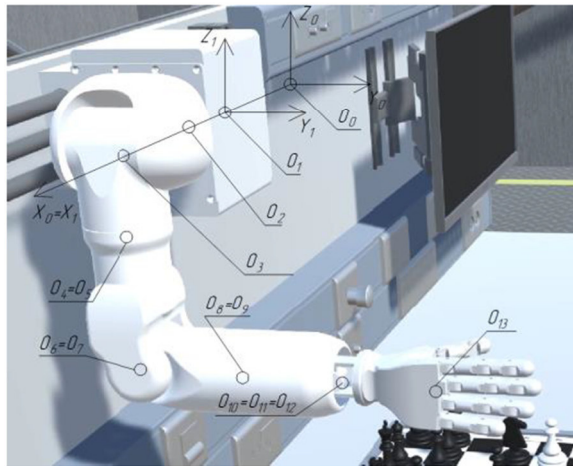
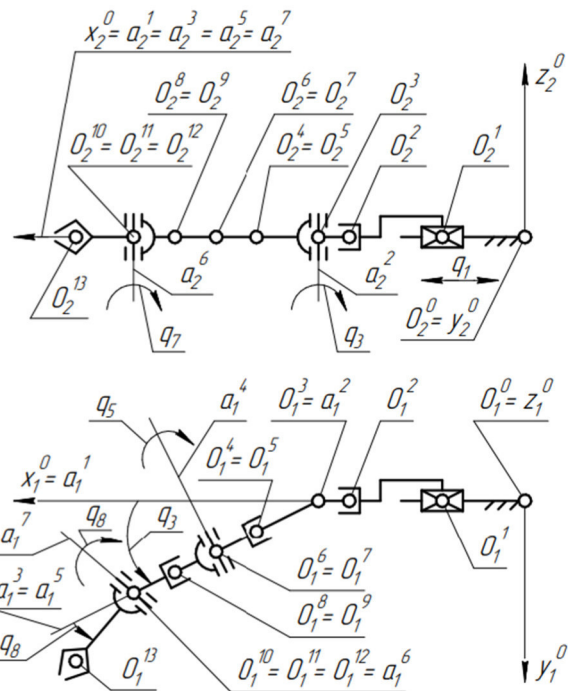


Рисунок 1. Антропоморфный робот AR-600E: а) общий вид туловища (рисунок заимствован с сайта НПО «Андроидная техника»); б) кинематическая схема механизма руки



a



6

Рисунок 2. Андроидный робот: а) общий вид руки; б) кинематическая схема механизма руки

Таблица 1. Значения массивов и кодов, определяющих структурную модель механизма руки антропоморфного робота AR-600E, $m_n = 12$

Массивы	Номер преобразования систем координат											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$q_i(град.)$	$q_1 = 25^{\circ}$	0	0	0	$q_2 = 20^{\circ}$	0	$q_3 = 65^{\circ}$	0	$q_4 = 25^{\circ}$	0	$q_5 = 65^{\circ}$	0
$l_{sm}(мм)$	0	$l_1 = 300$	$l_2 = -120$	$\varphi = 80^{\circ}$	0	$l_3 = 100$	0	$l_4 = 80$	0	$l_5 = 150$	0	$l_6 = 250$
n_{kod}	3	12	11	7	3	12	2	12	3	12	2	12

Таблица 2. Значения массивов и кодов, определяющих структурную модель механизма руки антропного робота, $m = 13$

Массивы	Номер преобразования систем координат												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$q_i, (град.мм)$	$q_1 = 0$	$q_2 = 180^\circ$	$q_3 = 0^\circ$	0	$q_4 = 0^\circ$	0	$q_5 = 90^\circ$	0	$q_6 = 0^\circ$	0	$q_7 = 0^\circ$	$q_8 = 0^\circ$	0
$smi (мм)$	0	0	0	$l_1 = 103$	0	$l_2 = -130$	0	$l_3 = 104$	0	$l_4 = 104$	0	0	$l_5 = 98$
n_{kod}	4	1	2	12	3	12	1	12	3	12	1	2	12

Результаты исследований

На рисунке 3 представлены синтезы движений, при котором центры захвата $O^{12}(O^{12}_1, O^{12}_2)$ и $O^{13}(O^{13}_1, O^{13}_2)$ перемещаются по отрезку прямой, параллельной оси x_0 до целевой точки $D^0(D^0_1, D^0_2)$. Начальные значения обобщённых координат для первого и второго механизмов были соответственно приняты равными $q_1 = 1^\circ, q_2 = 1^\circ, q_3 = -60^\circ, q_4 = 15^\circ, q_5 = -15^\circ$ и $q_1 = 16,69^\circ, q_2 = 151,25^\circ, q_3 = 15,77^\circ, q_4 = 101,31^\circ, q_5 = 112,89^\circ, q_6 = -160,32^\circ, q_7 = -33,14^\circ, q_8 = 31,8^\circ$.

При указанном движении были сохранены промежуточные значения обобщённых координат, задающих промежуточные конфигурации $L^{Di}(q_1 \div q_5)$ и $L^{Di}(q_1 \div q_8)$. На рисунке 2 показаны положения целевых точек $D^{i(+)}(D^{i(+)}_1, D^{i(+)}_2), D^{i(-)}(D^{i(-)}_1, D^{i(-)}_2)$, которых заведомо невозможно достичь, и прямых d^1, d^2, \dots , задающих траектории движения центра ВЗ.

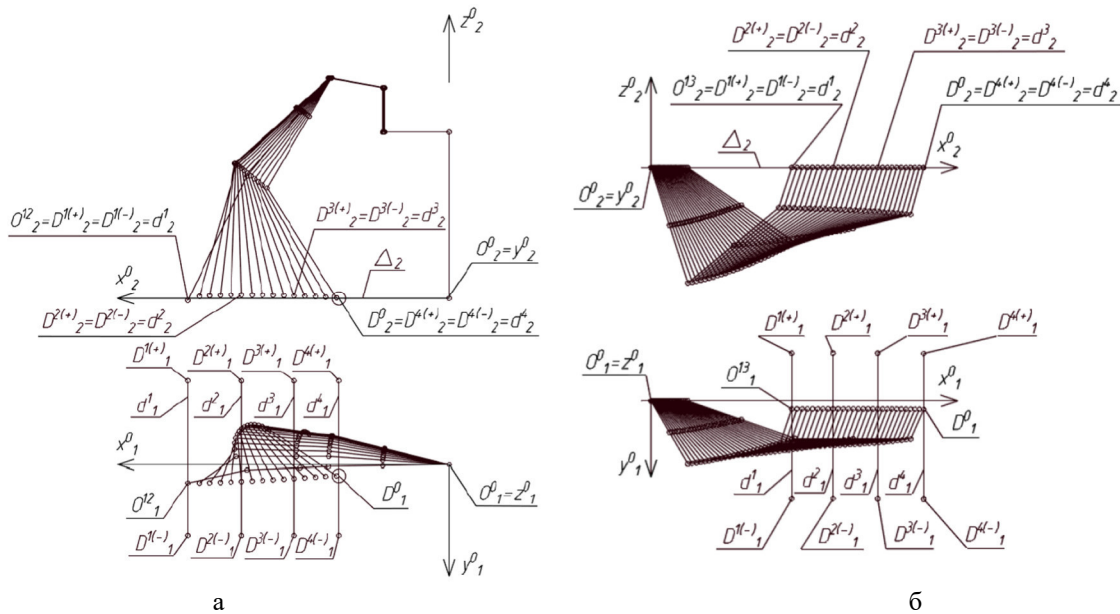


Рисунок 3. Построение движения механизмов рук роботов по прямой, параллельной оси x^0 :
а) AR-600E; б) антропного робота

Далее в качестве начальных конфигураций принимались конфигурации L^{D1}, L^{D2} и т.п. При этом движение осуществлялось по прямым, параллельным оси y^0 , с определением максимально достижимых целевых точек $D^{i(+)}$ и $D^{i(-)}$.

На рисунке 4 представлены результаты моделирования по одной из прямых $d^1(d^1_1, d^1_2)$, параллельной оси y^0 , по которой перемещается центр ВЗ двух механизмов. Крайние положения точек O^{12}_1 и O^{13}_1 центра ВЗ двух механизмов на горизонтальной проекции определяют границы рабочей зоны манипулятора, при движении указанной точки в плоскости $\Delta^0_2 \parallel \Pi_1, \Delta^0_2 \in O^{12}$ и $\Delta^0_2 \in O^{13}$. Π_1 – обозначена горизонтальная плоскость проекций. Указанные точки на рисунке 3 обозначены точками $D^{imax}(D^{imax}_1, D^{imax}_2)$ и $D^{imin}(D^{imin}_1, D^{imin}_2)$.

На рисунке 5 приведены линии уровня z^{di} , представляющие собой множество построенных точек D^{imax} и D^{imin} для различных положений плоскостей Δ^i , которые задают рабочую зону механизмов рук с заданными геометрическими параметрами.

На рисунке 6 представлен синтез движений робота AR-600E по траектории, параллельной оси y^0 , имеющей значения координат $x = 709$ и $z = 692$. Как видно из рисунка, на некотором этапе происходит возникновение тупиковой ситуации. Тупиковой ситуацией называется ситуация, когда алгоритм не может построить следующую конфигурацию, обеспечивающую смещение центра ВЗ в следующую точку заданной траектории. Это объясняется тем, что механизм манипулятора занимает особое положение, при котором отсутствует решение линейной системы уравнений, задающей взаимосвязь скоростей выходного звена и обобщённых скоростей при заданной точности позиционирования.

На рисунке 5а изображены линии уровня рабочей зоны с учётом синтеза движения манипулятора и возникновения тупиковых ситуаций.

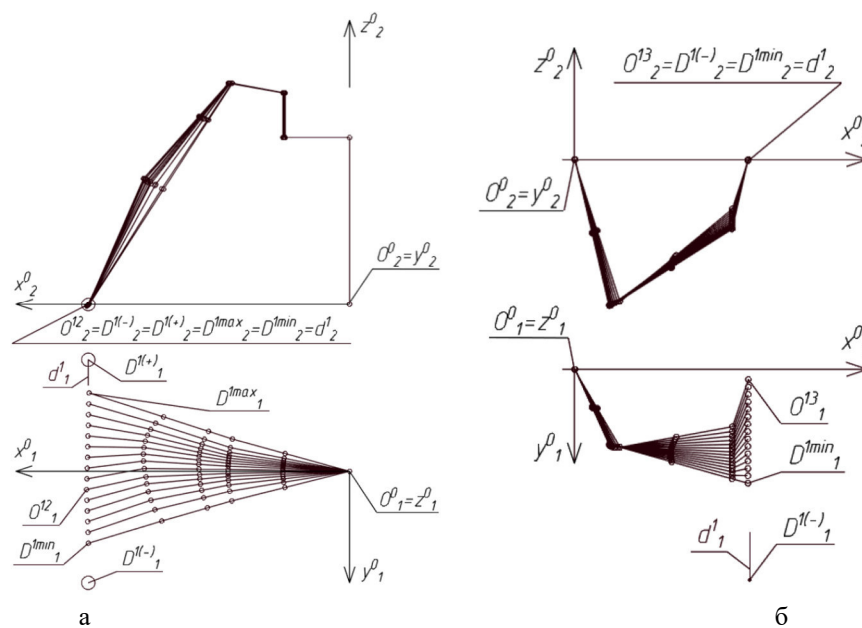


Рисунок 4. Построение движения механизмов рук роботов по прямой d^1 , параллельной оси y^0 :
а) AR-600E; б) андроида робота

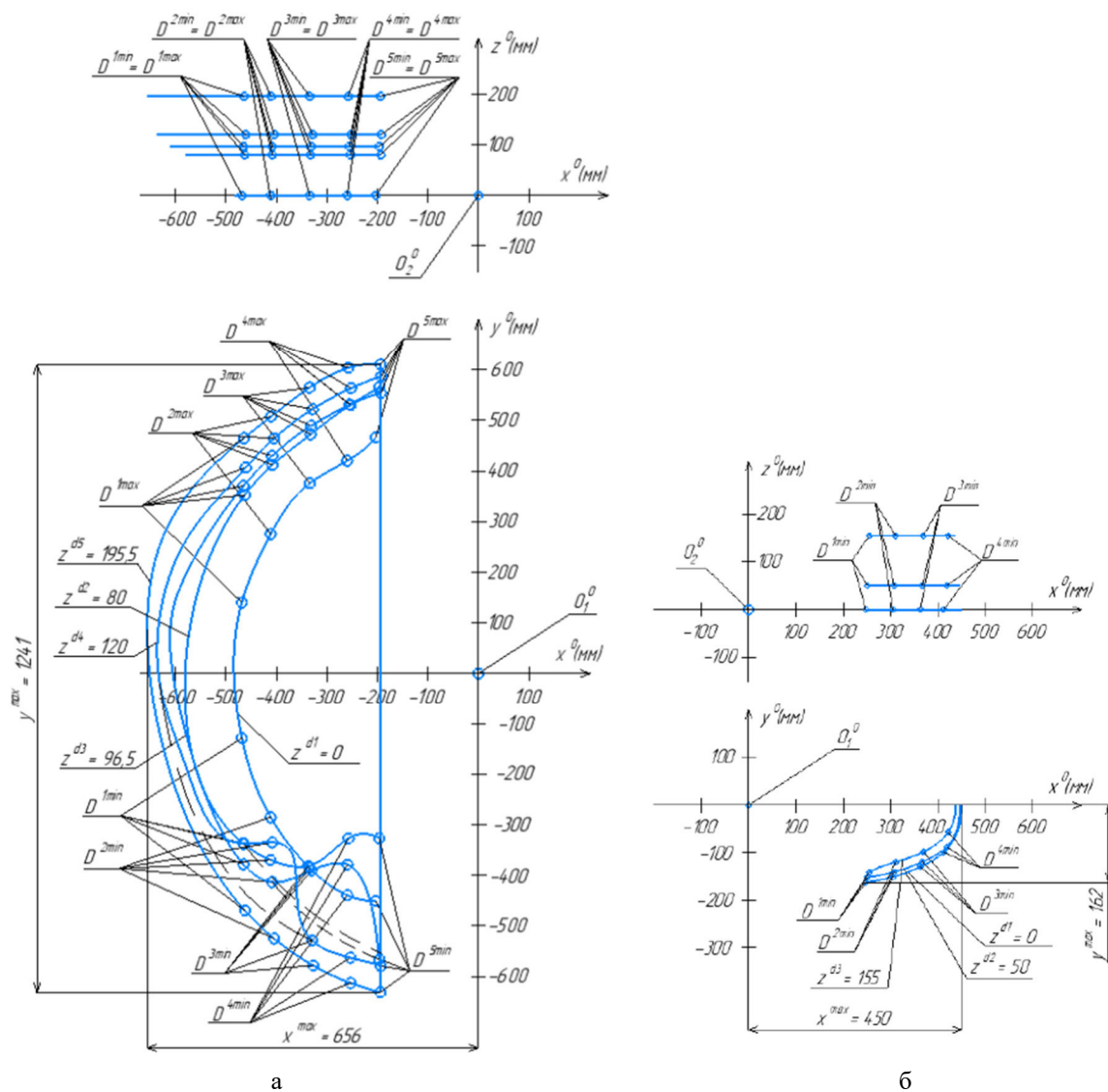


Рисунок 5. Линии уровня, задающие рабочие зоны механизмов рук антропоморфных роботов:
а) AR-600E; б) андроида робота

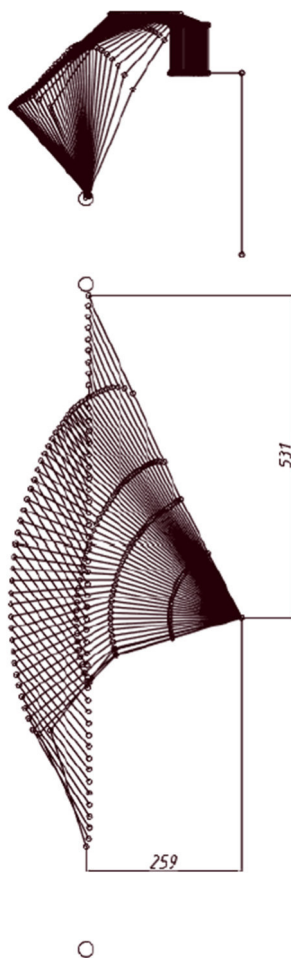


Рисунок 6. Возникновение тупиковой ситуации у антропоморфного робота AR-600E при синтезе движений по траектории, параллельной оси y^0

Выводы и заключение

Проведённые исследования позволили определить линии уровня, ограничивающие рабочие зоны механизмов рук антропоморфных роботов на основе синтеза движения по вектору скоростей.

Максимальные смещения по направлению осей y^0 и x^0 для робота AR-600E составляют $y_{max} = 1241$ мм и $x_{max} = 656$ мм, а для андроидного робота – $y_{max} = 162$ мм и $x_{max} = 450$ мм. Синтез движений робота AR-600E указал на наличие в рабочей зоне этого механизма области, где возникают тупиковые ситуации.

Границы этой области определены с помощью линий уровня на рисунке 5а. При синтезе движений антропоморфного робота, представленного на рисунке 2, тупиковых ситуаций не возникает.

Результаты проведённых исследований могут быть использованы при разработке информационно-управляющих систем подвижных объектов, в частности при управлении движением рук антропоморфных роботов.

Список литературы

1. Азизов И.Р. Обзор существующих конструкций антропоморфных роботов-манипуляторов // Инновации природообустройства и защиты окружающей среды. Саратов, 2019. С. 341-344.
2. Шадеркина В.А., Шадеркина А.И., Петрушин А.А. Антропоморфные роботы в медицине: варианты технологий и перспективы // Российский журнал телемедицины и электронного здравоохранения. 2023. №9(1). С. 49-59.
3. Шахматов Е.В., Илюхин В.Н., Мезенцев Д.А. Исследование статических характеристик рабочего пространства робота AR600E // Динамика и виброакустика. 2019. Т.5, №4. С. 6- 12;
4. Притыкин Ф.Н., Небритов В.И. Построение рабочей зоны механизма руки андроидного робота с учётом положения запретных зон // Омский научный вестник. 2017. №1. С. 5-8.

-
5. Притыкин Ф.Н. Исследование кинематических параметров андроидного робота при автоматизированном синтезе движений по вектору скоростей / Ф.Н. Притыкин // Омский научный вестник. 2022. №2(182). С. 5-9.
 6. Притыкин Ф.Н. Преодоление тупиковых ситуаций синтеза движений антропоморфных роботов на основе использования перемещений оси схватоносителя по линейчатой поверхности, ограничивающей телесный угол сервиса // Омский научный вестник. 2024. №3(191). С. 14-21.
 7. Воробьёв Е.И., Михеева А.В., Моргуненко К.О. Механизм ориентирующих движений антропоморфных роботов и протезов рук с линейными и вращательным приводами // Вестник машиностроения. 2019. №11. С. 54-56.