

6. Pottmann H., Peternell M. Applications of Laguerre Geometry in CAGD // Comp. Aided Geometric Design. 1998. Vol. 15. P. 165–186.
7. Fiedler W. *Cyklographie oder Construction der Aufgabenüber Kreise und Kugeln und elementare Geometrie der Kreis- und Kugelsysteme*. Leipzig, Druckund Verlag von B.G. Teubner, 1882. 284 p.
8. Dr. Emil Muller. *Vorlesungen über Darstellende Geometrie. II. Band: Die Zyklographie* / Edited from the manuscript by Dr. Josef Leopold Krames. Leipzig and Vienna, Franz Deuticke, 1929. 476 p.
9. Панчук К. Л., Кайгородцева Н. В. *Циклографическая начертательная геометрия* : моногр. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2017. 232 с.

УДК 621.01

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА СЕРВИСА РУКИ АНДРОИДНОГО РОБОТА МЕТОДОМ СИНТЕЗА МАЛЫХ ДВИЖЕНИЙ ОСИ СХВАТОНОСИТЕЛЯ ПО ВЕКТОРУ СКОРОСТЕЙ

DEFINITION OF SERVICE ANGLE OF ANDROID'S ROBOT HAND BY METHOD OF SMALL MOVEMENTS OF GRIPPER'S AXIS SYNTHESIS BY SPEED VECTOR

Ф. Н. Притыкин, В. И. Небритов

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

F. N. Pritykin, V. I. Nebritov

Omsk State Technical University, Omsk, Russia

Аннотация. Излагается обобщённый метод определения телесного угла сервиса на основе синтеза движений по заданным направлениям оси схватоносителя при неподвижном центре захвата. Синтез движений в работе осуществляется по вектору скоростей. В качестве примера определен телесный угол руки антропного робота, образованный продольной осью схватоносителя. Сущность метода основана на исследовании множеств положений конфигураций, задающих крайние положения точек развертки сферы единичного радиуса, которая задаёт телесный угол сервиса. На основе этого определена сферическая кривая, задающая форму искомого телесного угла. Результаты исследований могут быть использованы при разработке систем управления автономно функционирующих антропных роботов.

Ключевые слова: механизмы манипуляторов, угол сервиса, синтез движений механизмов, вектор скорости, манипулятивность.

DOI: 10.25206/2310-9793-2018-6-2-276-281

I. ВВЕДЕНИЕ

При моделировании процессов перемещения объектов манипулирования с использованием роботов необходимо на начальных этапах выяснять двигательные возможности и собственные свойства исполнительных механизмов. Одной из задач на этом этапе является определение угла сервиса. Решение данной задачи на виртуальном уровне возможно с помощью моделирования малых движений механизмов манипуляторов по вектору скоростей выходного звена с обеспечением заданного фиксированного положения центра выходного звена. В работе [1] приведен способ определения угла сервиса на основе использования векторного уравнения замкнутости эквивалентного механизма. Однако при сложной структуре кинематических цепей механизмов манипуляторов, заданных различных предельных значений обобщенных координат и двигательной избыточности, равной двум и более использование указанного способа затруднено. В работе [2] предложен способ определения телесного угла на основе исследования мгновенных состояний механизмов [3]. Однако синтез движений оси схватоносителя в различных направлениях при неподвижном центре захвата в указанной работе не исследовался, а определялись лишь отдельные положения оси схватоносителя, соответствующие допустимым значениям вектора обобщенных скоростей для заданной конфигурации.

В работе [4] предложен обобщенный способ определения угла сервиса на основе синтеза движений оси схватоносителя по часовой и против часовой стрелки при неподвижном центре захвата для плоских механизмов

манипуляторов. Необходимо отметить, что в данной работе предложенный метод определения угла сервиса может быть использован только для плоских механизмов манипуляторов.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В настоящей работе продолжены геометрические исследования, связанные с определением телесного угла сервиса для механизма руки антропного робота с использованием синтеза движений оси схватки по различным направлениям при неподвижном центре захвата. Сущность предлагаемого метода основана на нахождении такой конфигурации, при которой угол сервиса в заданном секторе развёртки сферы единичного радиуса увеличивается [2]. Данная конфигурация находится реализацией дискретных значений векторов обобщённых скоростей $\mathbf{Q}$ из области допустимых значений. Область допустимых значений вектора $\mathbf{Q}$ механизма руки антропного робота для различных конфигураций руки антропного робота исследована в работе [5]. Геометрический анализ отображений угла сервиса позволяет оценить такие собственные свойства манипуляторов, как манипулятивность и маневренность для заданных предельных значений обобщённых координат в различных точках конфигурационного пространства.

Пусть задан пространственный семизвённый механизм руки антропного робота AR600E (рис. 1а). На рисунке показано положение системы координат $O_n x_n y_n z_n$, связанной с характерной точкой кисти руки, движение которой осуществляется по заданной траектории.

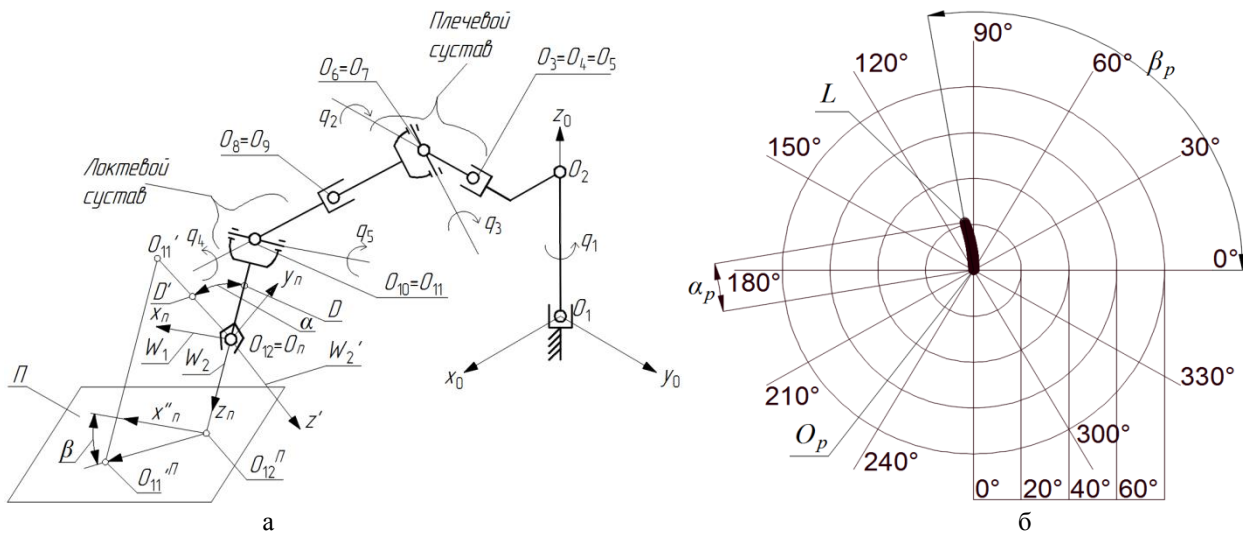


Рис. 1. Определение параметров, задающих положение точки L на развёртке сферы:

а – кинематическая схема механизма руки антропного робота и положение углов α и β в инерциальной системе координат; б – положение точки L на развёртке сферы

Точка $O_{12} = O_n$ определяет центр выходного звена, который не должен отклоняться от заданной точки траектории на величину δ , называемую точностью позиционирования. При проведении исследований значение параметра принято $\delta = 1$ мм. Точки O_1 – O_{12} задают начала систем координат, используемых при задании модели кинематической цепи. Зависимость векторов скоростей захвата и обобщённых скоростей $\mathbf{V}$ и $\mathbf{Q}$ механизма манипулятора определяет линейная система уравнений [3]. Реализация векторов $\mathbf{Q}$, из области допустимых значений [5], обеспечивает новое положение кинематической цепи и оси схватки. Под реализацией понимается новое положение кинематической цепи, определяемое значениями обобщённых координат, которые получают путём сложения обобщённых координат старой конфигурации и рассчитанных значений компонент вектора $\mathbf{Q}$ по уравнениям (при принятом допущении $\Delta q_i \approx \dot{q}_i$):

$$\begin{aligned} q_1 &= q_1 + \dot{q}_1, \\ &\dots, \\ q_i &= q_i + \dot{q}_i, \end{aligned} \quad (1)$$

где $\dot{q}_i$ – компоненты вектора $\mathbf{Q}$.

III. ТЕОРИЯ

С целью графического представления телесного угла сервиса для пространственного шестизвенного механизма руки (рис. 1а), изобразим условную развертку поверхности сферы Φ единичного радиуса. Между точками этой условной развертки и точками сферы Φ существует взаимно однозначное соответствие. Любая точка D поверхности сферы Φ радиуса $O_n D$ задает единственную точку L на этой развертке, определяемую полярными координатами α_p и β_p (рис. 1б). Отрезок $O_n D$ равен единице. Множеству отдельных положений оси $O_n z_n$ схватоносителя (см. рис. 1а) при реализации значений вектора Q и $\delta = 1$ мм будут соответствовать положения точки L на развертке сферы единичного радиуса, которые принадлежат различным секторам развертки (см. рис. 1б) [2]. Зададим сектор развертки углами $\beta_p^{\max}$ и $\beta_p^{\min}$. В данном секторе угол β_p изменяется в интервале $\beta_p^{\min} \leq \beta_p \leq \beta_p^{\max}$. Точка L на развертке сферы определяется параметрами $\alpha_p = \alpha$ и $\beta_p = \beta$. Параметр α_p на этой развертке задает расстояние от центра круга O_p до точки L развертки и определяется углом, образованным между начальным положением продольной оси схватоносителя z_n и положением оси схватоносителя z_n' , полученным реализацией вектора Q (рис. 1а). Единичные направляющие векторы этих осей определяют векторы W_2 и W_2' (см. рис. 2).

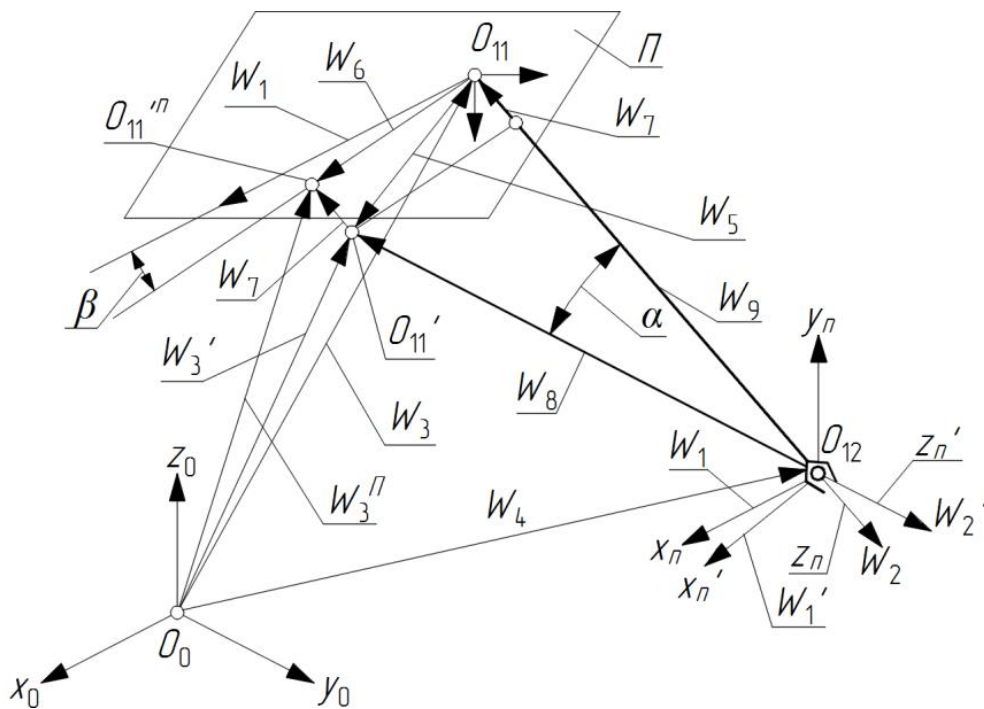


Рис. 2. Определение углов α и β в инерциальной системе координат O_0 , задающих положение точки L на развертке сферы

Угол β_p задает направление при нахождении точки L на условной развертке с помощью полярных координат (рис. 1б). Этот угол определяется углом β между проекцией вектора W_6 оси схватоносителя на плоскость $\Pi \perp O_n z_n$ и вектором W_1 , задающим направление оси x_n (рис. 1а и рис. 2) ($W_1 \subset \Pi$). Вектор W_6 находится проекцией вектора W_5 на плоскость Π . При этом вектор $W_5 = W_3 - W_3'$. Для нахождения точки O_{11}'' (см. рис. 2) используется вектор $W_3'' = W_3' + W_7$. При этом вектор W_7 определяется проекцией вектора W_8 по направлению вектора W_9 . Положение вектора W_7 определяется точками O_{11}' и O_{11}'' и векторами W_8 и W_9 , где $W_9 = W_4 - W_3$, $W_8 = W_4 - W_3'$. Точка O_{11}'' является проекцией точки O_{11}' на плоскость Π . Косинусы углов α и β вычисляются скалярными произведениями векторов:

$$\begin{aligned} \cos \alpha &= \frac{W_2 \cdot W_2'}{|W_2| \cdot |W_2'|}; \\ \cos \beta &= \frac{W_1 \cdot W_6}{|W_1| \cdot |W_6|}. \end{aligned} \quad (2)$$

Построим совокупность конфигураций и отдельные положения оси схватоносителя, для которых значение угла α будет увеличиваться. При этом движение оси схватоносителя будет происходить в заданном секторе

развёртки. Следующая конфигурация строится, если значение угла α будет больше значения угла, рассчитанного на предыдущей итерации. Заметим, что при проведении исследований принимается допущение $O_{12} \approx O_{12}'$, где точки O_{11}' и O_{12}' определяют реализацией мгновенного состояния. Начальное положение конфигурации руки андроидного робота, определяющей положение точки O_{12} , соответствует значениям обобщенных координат $q_i(25^\circ, 20^\circ, -65^\circ, 25^\circ, -65^\circ)$. На каждом шаге расчетов определяют максимальное значение угла $\alpha^{\max}$ из значений α и α' (где α и α' значение угла соответственно на k -ой и $k+1$ итерациях).

$$(\max \alpha, \alpha') \rightarrow \alpha^{\max}. \quad (3)$$

После определения конфигурации $k+1$, которая удовлетворяет условиям:

$$\begin{aligned} \alpha_p^{k+1} &> \alpha_p^{\max}, \\ \beta_p^{\min} &> \beta > \beta_p^{\max}, \end{aligned} \quad (4)$$

находят следующую конфигурацию $k+2$ с сохранением списка обобщенных координат $q_{ip} = q_i$. При этом за исходно заданную конфигурацию принимается конфигурация $k+1$, для которой выполняется условия (2). Задание различных значений углов $\beta_p^{\min}$ и $\beta_p^{\max}$ позволяет выполнять синтез движений оси схватоносителя, при нахождении точки O_{12} внутри сферы радиуса 1 мм и в заданном секторе развёртки.

Алгоритм вычисления положений точек L на развёртке сферы представлен на рис. 3.

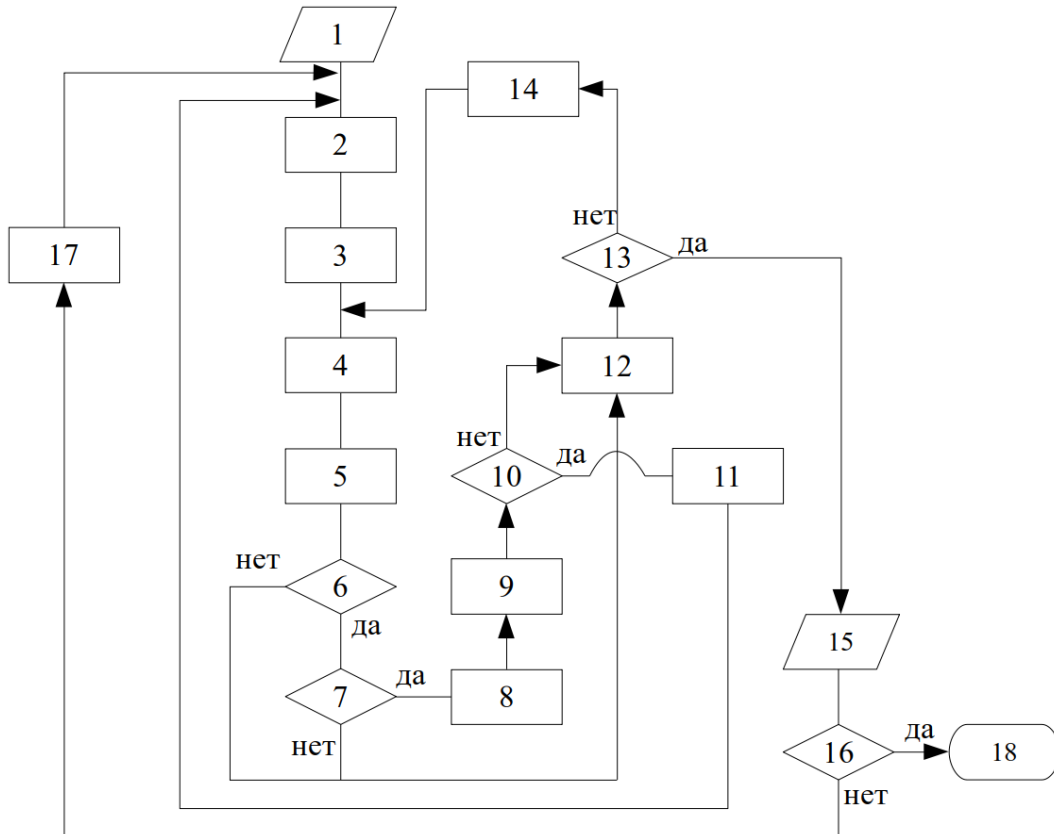


Рис. 3. Схема алгоритма вычисления положения крайних точек L определяющих сферическую кривую l_p на развёртке сферы

Обозначения, принятые на схеме: 1 – ввод значений $q_i(q_1, q_2, \dots, q_5)$, $q_i^{\max}$, $q_i^{\min}$, $\alpha_p^{\max} = 0$, V , $\beta_p^{\min}$, $\beta_p^{\max}$, $\delta_{\min} = 1$ мм; 2 – $q_i = q_{ip}$; 3 – вычисление матриц $M_{0,k}$, определяющих положение звеньев и значений векторов $W_1 - W_4$; 4 – расчёт матриц $M_{0,k}$ реализацией вектора Q и определение значений векторов $W_1', W_2', W_3', W_4 - W_9$; 5 – вычисление погрешностей линеаризации δ_p ; 6 – $\delta_p < \delta_{\min}$; 7 – $q_i^{\min} < q_i < q_i^{\max}$; 8 – вычисление α и β ; 9 – определение $\alpha_p^{\max}$ (3); 10 – $\alpha_p > \alpha_p^{\max}$, $\beta_p^{\min} > \beta_p > \beta_p^{\max}$; 11 – $q_{ip} = q_i$; 12 – изменение параметров k_i , задающих значение вектора Q при наличии двигательной избыточности [5] $k_i = k_i + 1$; 13 – $k_i > k_i^{\max}$; 14 – расчёт вектора Q ,

$q_i = q_i + \Delta q_i$; 15 – вывод координат крайней точки L , принадлежащей сферической кривой l_p и развёртке сферы сектора $\beta_p^{\min}$ и $\beta_p^{\max}$; 16 – $\beta_p^{\max} > 360^\circ$; 17 – задание следующего сектора развёртки $\beta_p^{\min}$ и $\beta_p^{\max}$; 18 – конец.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

На рис. 4а, б представлены результаты исследований, связанных с определением проекций угла α , образованного между крайними положениями осей схватоносителя на трех плоскостях проекций и определением траектории перемещения точки L на условной развёртке сферы.

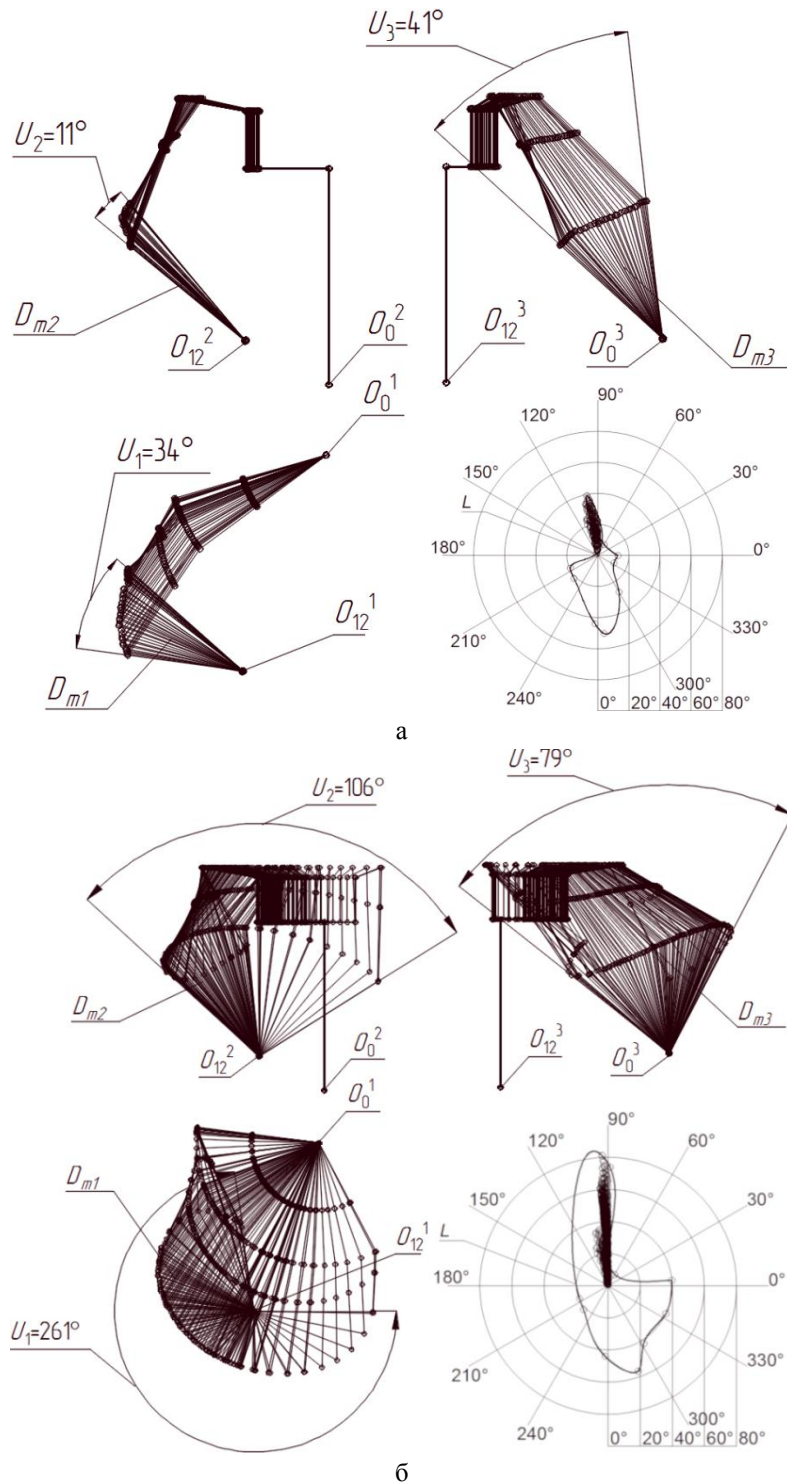


Рис. 4. Проекция угла α и положение точки L на развёртке сферы при синтезе движения в одном из секторов развёртки для конфигурации $q_1 = 25^\circ$, $q_2 = 20^\circ$, $q_3 = -65^\circ$, $q_4 = 25^\circ$, $q_5 = -65^\circ$ при:
а) $-75^\circ \leq q_i \leq 75^\circ$; б) $-120^\circ \leq q_i \leq 120^\circ$

При данном синтезе движений оси схватоносителя точка L смещается в заданном секторе развёртки. Сектор развёртки задан углами 90° и 120° . Предельные значения обобщённых координат для определения сферической кривой рис. 4а заданы интервалом $-75^\circ \leq q_i \leq 75^\circ$. На рис. 4б данный угол соответственно построен для интервала значений $-120^\circ \leq q_i \leq 120^\circ$. Углы U_1 , U_2 и U_3 на рис. 4а,б определяют проекции угла α . На рис. 4 отображена линейчатая поверхность D_m с помощью её горизонтальной, фронтальной и профильной проекций D_{m1} , D_{m2} и D_{m3} . Линейчатая поверхность D_m образована отдельными положениями оси схватоносителя (заданной отрезком $O_{12}O_{11}$) при неподвижном центре захвата O_{12} . Данная точка при синтезе движений не выходит за пределы окружности $\delta = 1$ мм. Линейчатая поверхность в полной мере характеризует маневренность манипулятора. Изображения проекций D_{m1} , D_{m2} и D_{m3} области D_m дают лишь некоторое геометрическое представление об указанной маневренности манипулятора в заданном секторе развёртки сферы при заданных значениях q_i^{max} и q_i^{min} .

На рис. 4а, б отражены отдельные положения оси схватоносителя при заданном модуле вектора $|V (V_x, V_y, V_z)| = 1 \text{ мм} / t$. Вектор V при этом параллелен оси x неподвижной системы координат. На рис. 4а, б показаны отдельные положения точки L в заданном секторе. Крайние точки L максимально удаленные от точки O_p центра развёртки задают положение сферической кривой l_p . Площадь замкнутого контура заданного этой кривой определяет телесный угол сервиса руки андроидного робота.

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты проведенных исследований позволяют сделать следующие выводы:

- форма и положение сферической кривой l_p в значительной степени зависят от положения механизма руки андроидного робота;
- при вычислении вектора Q следует использовать максимальные значения параметров k_i^{max} . При этом значительно сокращается время расчетов при нахождении положения сферической кривой.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемый алгоритм вычисления проекций телесного угла сервиса и сферической кривой позволяет с определенным допущением определять указанный угол. Данный алгоритм характеризуется обобщенной универсальностью и может быть использован для манипуляторов, имеющих произвольную структуру кинематических цепей, произвольную степень двигательной избыточности и заданные различные предельные значения обобщенных координат. Разработанный метод изменения ориентации ВЗ может быть использован в интеллектуальных системах управления автономно функционирующих роботов с целью смены положения конфигурации по отношению к заданным запретным зонам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лебедев П. А. Аналитический метод определения коэффициента сервиса манипулятора // Проблемы машиностроения и надежности машин. 1991. № 5. С. 93–98.
2. Притыкин Ф. Н. Графическое представление телесного угла и окружающего пространства руки при реализации мгновенных состояний манипуляторов // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2002. № 3. С. 93–101.
3. Корендясев А. И., Саламандра Б. П., Тывес П. Н. Определение числа степеней свободы исполнительного органа промышленного робота // Машиноведение. 1985. № 6. С. 44–53.
4. Pritykin F., Gordeev O. Defining a Service Angle for Planar Mechanisms of Manipulators based on the Instantaneous States Analysis // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. Vol. 124. DOI: 10.1088/1757-899X/124/1/012025.
5. Pritykin F. N., Nebritov V. I. Studying tolerance range of generalized velocities vector under android motion synthesis // Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics). 2016. 15–17 Nov. 2016. DOI:10.1109/Dynamics.2016.7819064.