

# Решение задачи оценки геометрокинематических параметров манипуляционной системы

А. С. Березкин<sup>1</sup>, Е. Ю. Косенко<sup>2</sup>, О. В. Косенко<sup>3</sup>, Е. А. Шестова<sup>4</sup>

Южный федеральный университет

<sup>1</sup>aleksei.berezkin@bk.com, <sup>2</sup>ekosenko@sfedu.ru, <sup>3</sup>o\_kosenko@mail.ru, <sup>4</sup>shestovaelena@mail.ru

**Аннотация.** В данной работе рассматривается оценка геометрических и кинематических характеристик манипуляционной системы. Представленная методика оценки направлена на определение дополнительных количественных характеристик манипуляционной системы по уже имеющимся в техническом паспорте устройства параметрам. Анализ производится на примере типовой производственной задачи перемещения деталей, которую выполняет манипуляционная система. Исходя из требований к функционированию манипуляционной системы и рабочей зоны, выдвигаются требования к оценке характеристик выбираемой системы. Для проведения исследований используется среда Matlab с применением пакета Robotics Toolbox.

**Ключевые слова:** манипуляционная система; оценка эффективности функционирования; Matlab RoboticToolbox; маневренность; подвижность; коэффициент сервиса; рабочая зона; модель

## I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время применение манипуляционных систем (МС) актуально для автоматизации технологических процессов и производств, что позволяет комплексно механизировать и автоматизировать практически все технологические операции на производстве. Особенно активно манипуляционные системы внедряются на предприятия машиностроительной отрасли, в частности, для задач перемещения, позиционирования, штабелирования технологической оснастки и т. д. [1, 2].

Манипуляционная система является сложной системой, состоящей из нескольких звеньев, управление которыми осуществляется с помощью исполнительных механизмов (сервоприводы, гидравлические механизмы, пневматические приводы и т. п.) [3].

Сегодня на рынке манипуляционных систем предлагается большое количество их реализаций с различными техническими характеристиками [4]. Вследствие чего, на начальном этапе организации производства возникает задача выбора требуемых параметров МС, которые обеспечат необходимый

функционал и будут соответствовать применяемой технологической схеме производства [5].

В связи с этим становится актуальной задача разработки методики определения, уточнения и исследования дополнительных характеристик и параметров МС с целью их дальнейшего использования при выборе и определении возможностей ее эффективного применения на производстве [6].

## II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Определим задачу выбора манипуляционной системы следующим образом. Имеется транспортная лента, по которой из упаковочного отдела поступает форма размером 50 мм х 35 мм х 18 мм. Для того, чтобы манипуляционная система могла схватывать объект в одном и том же месте, в конце транспортировочной ленты имеется сужение, которое предназначено для выстраивания в ряд упакованных форм. Задача манипуляционной системы состоит в перемещении объекта манипулирования на следующий транспортировочный уровень для последующей упаковки. Точка, в которую необходимо поместить объект манипулирования, расположена на высоте 280 мм над плоскостью транспортной ленты, основание манипуляционной системы расположено на высоте 90 мм над транспортной лентой и на удалении 100 мм от точки схвата и точки передачи. Точка передачи объекта может меняться, но она всегда имеет удаление 100 мм и высоту 90 мм от основания манипуляционной системы. На рис. 1 схематично отображена структура задачи.

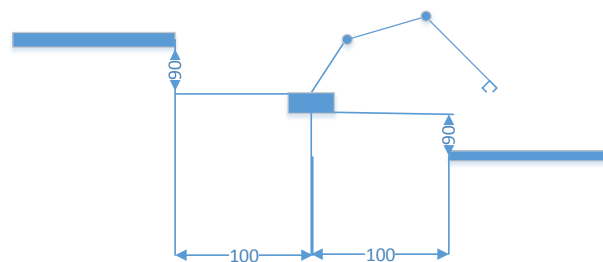


Рис. 1. Общая схема технологического процесса

Таким образом, исходя из конкретной производственной задачи видно, что вылет стрелы манипуляционной системы должен быть не менее 220 мм. Так как, объект манипулирования находится всегда в определенной точке пространства на транспортной ленте и в определенном положении, коэффициент маневренности может быть равен 0. Форма зоны обслуживания – сферическая (полусфера), так как точка передачи объекта может изменяться. Коэффициент сервиса в зоне работы должен составлять  $КС > 0.65$ , так как точка передачи может изменяться, а вместе с ней могут изменяться углы работы схвата [7–8].

### III. ОПИСАНИЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ МАНИПУЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

С целью определения методики оценки манипуляционной системы была выбрана четырехзвенная манипуляционная система Kuka KS 6-2, фирмы «KUKA Roboter» (Германия), структурная схема которой представлена на рис. 2.

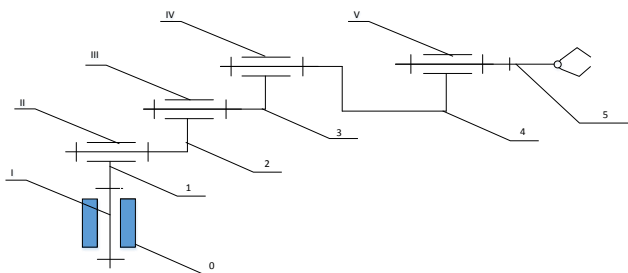


Рис. 2. Структурная схема МС

Основной механизм данной МС состоит из неподвижного звена 0 и подвижных звеньев 1-5. Структурная схема механизма этой МС соответствует сферической системе координат. На конце звена 5 закреплено захватывающее устройство или схват, предназначенный для захвата и удержания объекта манипулирования при работе МС. Звенья основного рычажного механизма МС образуют между собой пять одноподвижных кинематических пар (все вращательные).

Важными характеристиками любой МС является подвижность и маневренность. Маневренность манипуляционной системы зависит от подвижности манипулятора. Данные характеристики являются важными для производств, где компоновка производственного узла предполагает появление объектов в зоне действия манипуляционной системы [9].

Число степеней свободы при неподвижном схвате для рассматриваемой МС равно 0. Следовательно к заданной точке рабочего объема в заданном направлении схват может подойти только при одном единственном положении звеньев, что удовлетворяет требованиям.

Еще одним важным параметром оценивания функциональности манипуляционной системы является зона обслуживания, определяемая геометрическим местом точек, совпадающих с положением центра схвата, в

пределах которого можно выполнять данную, характеризуемую положением схвата, по отношению к объекту манипулирования, операцию [10–11].

Для создания модели МС необходима информация о технических характеристиках МС, таких как длина звеньев, ограничения углов поворота, классы кинематических пар и т.д. Основываясь на вышеуказанных характеристиках была построена модель МС в среде Matlab RoboticToolbox [12]. В результате получили визуализированную модель МС, которую в дальнейшем можно использовать для построения рабочей зоны, определения углов сервиса, моделирования кинематики и т.д.

Для построения зоны обслуживания предлагается использовать подход, основанный на максимальных и минимальных углах манипулятора, так как рассматриваемый манипулятор имеет одноподвижные вращательные пары [13–14].

В рассматриваемой МС используются исполнительные механизмы, имеющие угол вращения  $180^\circ$ , а его сочленения определены таким образом, что при нулевых углах его ориентация выглядит, так как представлено на рис. 3.

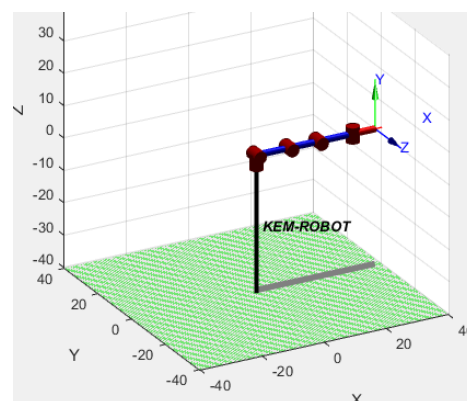


Рис. 3. Ориентация манипулятора при нулевых углах поворота ИМ

Для построения модели манипуляционной системы использовался метод Денавита-Хартенберга [12]. Конфигурация данной МС в среде Matlab представлена на рис. 4.

j	theta	d	a	alpha	offset
1	q1	12.8	0	-1.571	0
2	q2	0	-15	0	1.571
3	q3	0	-12.2	0	0
4	q4	0	0	1.571	-1.571
5	q5	0	0	0	0
-----					
grav = 0 base = 1 0 0 0 tool = 1 0 0 0					
0 0 1 0 0 0 1 0 0					
9.81 0 0 1 0 0 0 1 0 □					
0 0 0 1 0 0 0 0 1					

Рис. 4. Конфигурация манипуляционной системы

Из рис. 3 понятно, что радиус зоны обслуживания будет определяться длиной кинематических пар от I кинематической пары до схвата. Для построения зоны обслуживания следует определить несколько точек, которые будут определены схватом, так чтобы крайняя точка схвата МС была максимально удалена от I кинематической пары [15]. Для рассматриваемой МС данные параметры сведены в таблицу 1.

ТАБЛИЦА I

№ точки	Угол I	Угол II	Угол III	Угол IV	Угол V
1	0	0	0	0	0
2	90	0	0	0	0
3	180	0	0	0	0
4	90	180	0	0	0
5	0	180	0	0	0

Таким образом, была получена зона обслуживания манипуляционной системы в виде полусферы с радиусом 382 мм (рис. 5). Основываясь на результатах построения рабочей зоны, можно определить рабочее место манипуляционной системы на производстве [16].

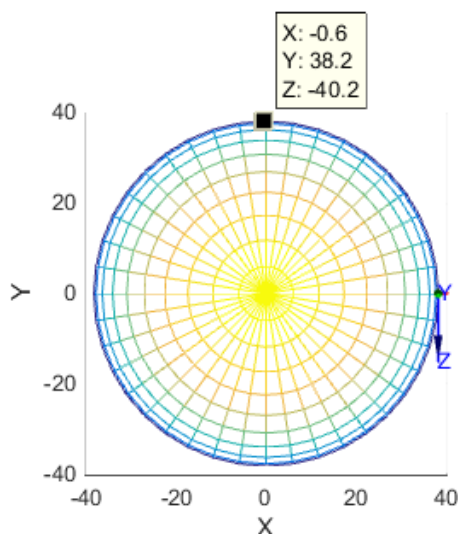


Рис. 5. Проекция зоны обслуживания на плоскость XY

Неотъемлемым параметром оценивания МС является коэффициент сервиса (КС), который позволяет оценить геометрическое качество МС, его возможности выполнения различных операций [17]. Определение коэффициента сервиса является трудоемкой задачей. Она состоит в вычислении площади поверхности, высекаемой на шаре с центром в данной точке и радиусом, равным длине последнего звена рабочей зоны манипулятора, полученного из исходного манипулятора отбрасыванием последнего звена [18–19]. В аналитическом виде формула для расчёта коэффициента сервиса выглядит следующим образом:

$$K_c = \alpha / 4\pi$$

где  $\alpha$  – пространственный телесный угол, который является совокупностью всех допустимых направлений.

Определим коэффициент сервиса для рассматриваемой манипуляционной системы. Для этого проанализируем структуру рассматриваемого манипулятора на плоскости (рис. 6).

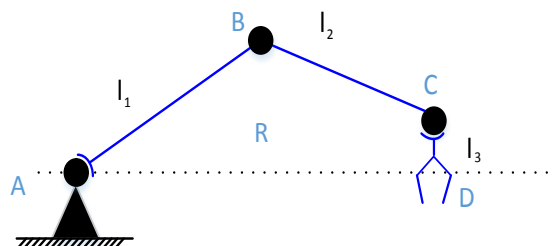


Рис. 6. Структура манипулятора на плоскости

В данной конструкции МС звено AC не совершает полного оборота, то есть в плоском четырехзвеннике звено AC – коромысло. Поэтому задача об определении зоны обслуживания, в которой коэффициент сервиса K равен 1, сводится к определению длины стойки R кривошипно-коромыслового механизма по условию существования кривошипа. Для рассматриваемой системы минимальный радиус зоны обслуживания  $R_{\min} = 8.2\text{см}$ , а максимальный радиус –  $R_{\max} = 27.8\text{см}$ . Следовательно, допустимая область расположения точки D на базовой плоскости располагается между окружностями радиусов  $R_{\max}$  и  $R_{\min}$ , с центром в точке A (рис. 7).

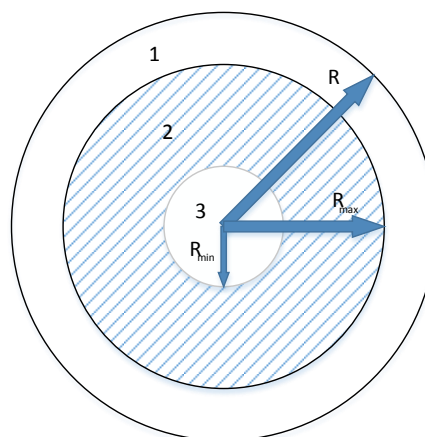


Рис. 7. Зоны МС

Для зон 1, 2, 2 коэффициенты сервиса K равны 0.25, 1, 0 соответственно.

Таким образом, были получены коэффициенты сервиса для трех рабочих зон манипуляционной системы. Из выше представленного видно, что рабочая зона делится еще на три зоны, где манипуляционная система выполняет свою работу с разной степенью сервиса.

В результате оценки МС, схема которой представлена на рис. 2, получили следующие характеристики (таблица II):

ТАБЛИЦА II

Характеристики	Рабочая зона	Радиус действия	Маневренность	КС
Требуемые	Полусфера	Более 220 мм	0	>0.65
Оценочные	Полусфера	382 мм (278 мм с КС=1)	0	0.25/1/0

Из таблицы II видно, что манипуляционная система Кука KS 6-2, фирмы «KUKA Roboter» (Германия) удовлетворяет функциональным требованиям рассматриваемой производственной задачи. Исходя из полученных результатов видно, что манипуляционная система имеет рабочую зону 382 мм, что удовлетворяет поставленным требованиям, но КС в данной зоне меньше требуемого, но это не является критичным, т.к. КС в зоне 2, где радиус действия 278 мм, что тоже удовлетворяет требованиям и равен 1. В результате эффективную работу данная манипуляционная система может выполнять в зоне 2.

#### IV. Выводы

В результате работы была проведена оценка функциональности выполнения производственной задачи манипуляционной системы. Данная оценка отражает только геометрическую и кинематическую составляющие, не беря в рассмотрение динамические характеристики системы. Использование данного подхода совместно с оценкой динамических характеристик позволит более детально проанализировать функциональность МС. Однако на данном примере показано, что, используя только технические параметры МС (паспортные), существует возможность произвести предварительную оценку функциональности МС для решения производственной задачи без расчета динамических характеристик.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Рассказчиков. Н.Г. Компьютерные системы управления: учеб. пособие / Н.Г. Рассказчиков ; Владим. гос. ун-т. – Владимир : Изд-во Владим. гос.ун-та, 2010. 155 с.
- [2] Градецкий, В.Г. Механика миниатюрных роботов / В.Г. Градецкий, М.М. Князьков, Л.Ф. Фомин, В.Г. Чашухин. М.: Наука, 2010. 286 с.
- [3] Y.Y. Bliznyuk, V.I. Finaev, O.V. Kosenko, E.A. Shestova, E.D. Sinyavskaya. Method of Choice of the Robot-Manipulator of Laparoscope Controlling in the Minimally Invasive Surgery. International Journal of Applied Engineering Research, ISSN 0973-4562. Volume 11, Number 9 (2016), pp. 6230-6235.
- [4] Косенко Е.Ю., Березкин А.С. Оценка характеристик робота-манипулятора для задач производства / Проблемы автоматизации. Региональное управление. Связь и автоматика (ПАРУСА-2017)

сборник трудов VI Всероссийской научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. 2017. С. 85-90.

- [5] Березкин А.С., Косенко Е.Ю. Моделирование кинематики четырехзвенного робота манипулятора в среде matlab robotics toolbox. / Информационные технологии, системный анализ и управление (ИТСАУ-2016) сборник трудов XIV Всероссийской научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. Южный федеральный университет; 2016. С. 21-25.
- [6] Блейшмидт, Л.И. Вычисление кинематических параметров манипуляционных систем промышленных роботов / Л.И. Блейшмидт, О.Н. Крахмалев. – Брянск: БИТМ, 1990. Деп. ВНИИТИ №1617–В91.
- [7] E.D. Sinyavskaya, E.A. Shestova, M.Yu. Medvedev, E.Yu. Kosenko. Positioning Method Basing on External Reference Points for Surgical Robots. 1st International Conference on Interactive Collaborative Robotics, ICR 2016; Budapest; Hungary; 24-26 August 2016, Volume 9812 of the series Lecture Notes in Computer Science, pp. 153-162.
- [8] Березкин А.С., Сарана А.А., Антипин С.О., Косенко О.В. Анализ подходов к построению моделей манипуляционных систем. / Сборник трудов Международной научно-практической конференции «ГРАНЬ НАУКИ 2017» (25 мая 2017 г.). – г. Ростов-на-Дону: ООО «Сфера», 2017. с 19-23.
- [9] Антипин С.О., Березкин А.С., Косенко Е.Ю. Технологии разработки информационных систем ТРИС-2017: материалы конференции. Таганрог: Издательство ЮФУ. Особенности конструктивного проектирования многоцелевых манипуляторов. 2017. С. 37-43.
- [10] Slutski L. Remote Manipulators System. Springer, 1998. 218 p.
- [11] Финаев В.И., Синявская Е.Д., Шестова Е.А., Косенко Е.Ю. Метод позиционирования роботизированного держателя лапароскопа на основе вычислительной геометрии. Известия ЮФУ. Технические науки. Тематический выпуск. Таганрог: Изд-во ЮФУ, № 2, 2016. С. 80-89.
- [12] Corke P. Robotics, Version and Control: Fundamental Algorithms in MATLAB/ P.Cirke. Springer, 2011. 570p.
- [13] M. Shakhinpur. Course of robotics. Mir 1990. 527 с.
- [14] Асфаль Р. Роботы и автоматизация производства / Р. Ас фаль; пер. с англ. М.Ю. Евстигнеева [и др.] М.: Машиностроение, 1989.
- [15] Бансявичус Р.Ю. Промышленные роботы для миниатюрных изделий / Р.Ю. Бансявичус, А.А. Иванов, Н.И. Камышный [и др.]. М.: Машиностроение, 1985. 411 с.
- [16] Белоусов И. Р. Управление роботами через сеть Интернет / И.Р. Белоусов. М.: Наука, 2002. 378 с.
- [17] Блейшмидт Л.И. Вычисление кинематических параметров манипуляционных систем промышленных роботов / Л.И. Блейшмидт, О.Н. Крахмалев. Брянск: БИТМ, 1990. 240 с.
- [18] . Righetti L., Buchli J., Mistry M. et al. Optimal distribution of contact forces with inverse-dynamics control // The International Journal of Robotics Research. 2013. Vol. 32, no. 3. P. 280-298.
- [19] Kim D. W., Kim N., Park G. ZMP based neural network inspired humanoid robot control // Nonlinear Dynamics. 2012. Vol. no. 1. P. 793-806.
- [20] Шестова Е.А., Е.Д. Синявская, В.И. Финаев, О.В. Косенко, Ю.Ю. Близняк, В.В. Шадрин. Разработка метода позиционирования и слежения за хирургическими инструментами при проведении лапароскопических операций. Известия ЮФУ. Технические науки. Тематический выпуск. Таганрог: Изд-во ЮФУ, № 5, 2016. С. 30-39.