

АНАЛИЗ УДЕРЖИВАЮЩИХ УСИЛИЙ СХВАТА МАНИПУЛЯТОРА

к.т.н., доцент *Ащепкова Н. С.*

Украина, Днепр, Днепровский национальный университет имени О. Гончара

DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30112019/6760

ARTICLE INFO

Received: 19 September 2019

Accepted: 11 November 2019

Published: 30 November 2019

KEYWORDS

trajectory,
manipulator,
grip,
holding forces.

ABSTRACT

The technological section of manufacturing a complex part is considered, the robot is used to perform auxiliary operations. The trajectory of the manipulator contains the nodal points S_0, \dots, S_6 .

At points S_0, \dots, S_6 , it is necessary to provide a gripping force so that the manipulation object does not slip out of the gripping device. In this case, it is impossible to damage the outer surface of the part, which is contact while assembling the product. In addition, it is necessary to take into account the change in the shape and diameter of the workpiece both within the assortment of typical parts and during processing.

The inverse problem of the manipulator's position at the nodal points of the trajectory S_0, \dots, S_6 is solved; the coordinates, velocities and accelerations of the gripping pole are determined at the nodal points of the trajectory S_0, \dots, S_6 when implementing the given laws of change in the generalized coordinates; the values of the necessary holding force of the grip at the nodal points of the trajectory S_0, \dots, S_6 are calculated.

The analysis of the necessary holding forces of the grip allows to determine the gripping force, during the simulation of the manipulator's movement. This gripping force will ensure reliable fixation of the part in the gripper without damaging its outer surface.

Citation: Ащепкова Н. С. (2019) Analiz Uderzhivayushchih Usilij Skhvata Manipulyatora. *World Science*. 11(51), Vol.1. doi: 10.31435/rsglobal_ws/30112019/6760

Copyright: © 2019 Ащепкова Н. С. This is an open-access article distributed under the terms of the **Creative Commons Attribution License (CC BY)**. The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) or licensor are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

Введение. Промышленные роботы представляют собой универсальное средство автоматизации производственных процессов в условиях большого разнообразия и частого изменения выпускаемой продукции. В машиностроении роботы эффективно используются для выполнения как основных, так и вспомогательных операций по обслуживанию технологического оборудования в составе гибких производственных систем.

Результаты исследования.

Постановка задачи. Рассматривается технологический участок изготовления комплексной детали, робот используется для выполнения вспомогательных операций. Траектория перемещения манипулятора представлена на рис.1.

Траектория состоит из нескольких движений:

1) рабочий ход заготовки

- захват заготовки с конвейера в точке S_0 ,
- перемещение по нормали к базовой поверхности (отрезок S_0 - S_1),
- перемещение заготовки по заданной траектории (участок S_1 - S_2),
- перемещение по нормали к базовой поверхности (отрезок S_2 - S_3),
- загрузка заготовки в станок (точка S_3),
- отвод схвата манипулятора (отрезок S_3 - S_4),

2) ожидание окончания технологического процесса (точка S_4),

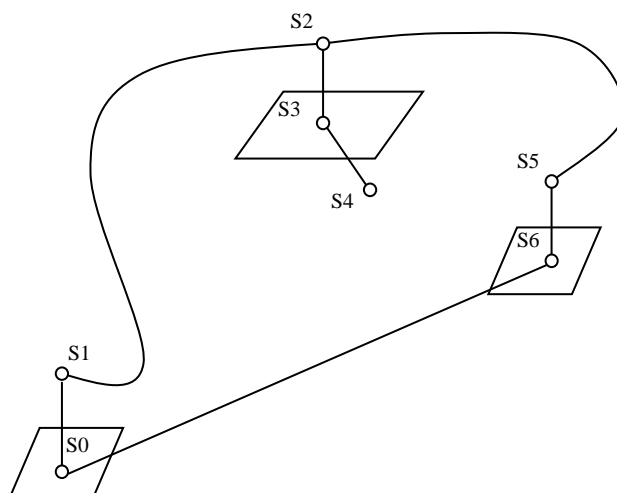


Рис.1. Траектория перемещения манипулятора

3) рабочий ход детали

- подход схвата манипулятора (отрезок S4-S3),
- захват детали из станка в точке S3,
- перемещение по нормали к базовой поверхности (отрезок S3-S2),
- перемещение детали по заданной траектории (участок S2-S5),
- перемещение по нормали к базовой поверхности (отрезок S5-S6),

4) холостой ход (участок S6-S0).

В точках S0, ..., S6 необходимо обеспечить усилие захвата так, чтобы объект манипулирования не выскользнул из захватного устройства. При этом нельзя повредить наружную поверхность детали, которая является контактной при сборке изделия. Кроме того, следует учесть изменение формы и диаметра заготовки как в рамках ассортимента типовых деталей, так и при технологической обработке. Таким образом, анализ удерживающих усилий при моделировании движения манипулятора – важный этап проектирования технологического участка изготовления детали.

Цель исследования – разработка метода анализа удерживающих усилий схвата манипулятора в среде Mathcad.

Анализ литературы. Удерживающие усилия схвата манипулятора зависят от [1, 2, 5]:

- кинематической схемы захватного устройства,
- конструкции губок схвата,
- количества точек контакта детали и губки,
- шероховатости контактирующих поверхностей губки и детали,
- направления движения детали,
- величины ускорения.

Разнообразие конструкций захватных устройств промышленных роботов по способу удержания и базированию объекта манипулирования (детали, изделия), по степени управляемости и возможности переналадки схвата обусловлено ограничениями на применение того или другого типа захватов, которые накладываются технологическими операциями, геометрическими и физико-механическими характеристиками заготовок и деталей.

Рассмотрим три основные схемы удержания детали схватом манипулятора (рис. 2) [3]:

- деталь 1 поддерживается непосредственно пальцами схвата 2, 3 (рис. 2, а). Силы трения практически не участвуют в удержании объекта манипулирования.
- деталь 1 удерживается за счет запирающего действия пальцев 2 и 3 при ограниченном участии сил трения (рис. 2, б).
- деталь 1 удерживается только силами трения (рис. 2, в).

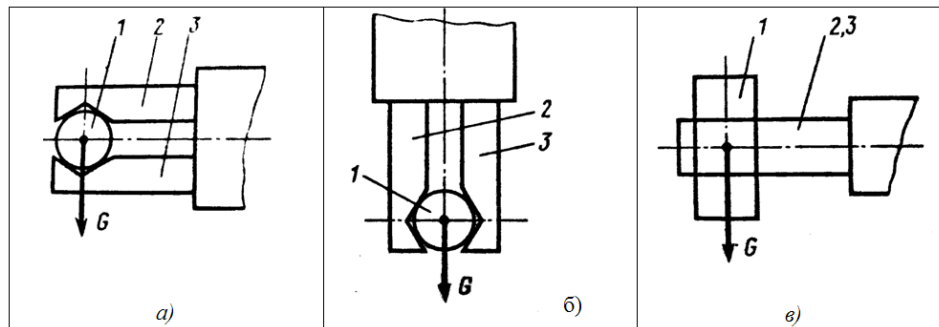


Рис. 2. Схемы удержания детали схватом манипулятора.

При удерживании объекта только силами трения необходимая сила зажима детали весом G равна [3]:

- при вертикальном линейном перемещении $F = \frac{nG}{f} \left(1 + \frac{a_e}{g} \right)$,

где f – коэффициент трения; n – коэффициент запаса; g – ускорение свободного падения; a_e – ускорение вертикального движения.

- при горизонтальном линейном перемещении $F = G \left(\frac{n}{f} + \frac{a_z}{g} \tan \alpha \right)$,

где f – коэффициент трения; n – коэффициент запаса; g – ускорение свободного падения; a_z – ускорение горизонтального движения; α – угол скоса губок.

- при вращении захвата в горизонтальной плоскости $F = G \left(\frac{n}{f} + \frac{\omega^2 R}{g} \tan \alpha + \frac{\varepsilon R}{g} \right)$,

где f – коэффициент трения; n – коэффициент запаса; g – ускорение свободного падения; ω – угловая скорость вращения схвата; ε – угловое ускорение вращения схвата; α – угол скоса губок; R – расстояние от оси вращения до оси заготовки.

- при одновременном торможении всех трех движений

$$F = G \left(\frac{n}{f} \left(1 + \frac{a_e}{g} \right) + \frac{a_z}{g} \tan \alpha + \frac{\omega^2 R}{g} \tan \alpha + \frac{\varepsilon R}{g} \right),$$

где f – коэффициент трения; n – коэффициент запаса; g – ускорение свободного падения; a_e – ускорение вертикального движения; a_z – ускорение горизонтального движения; α – угол скоса губок; ω – угловая скорость вращения схвата; ε – угловое ускорение вращения схвата; R – расстояние от оси вращения до оси заготовки.

Метод исследования. Для достижения поставленной цели задачу планирования траектории представляем как последовательность преобразований матриц 4×4 для обобщенных координат манипулятора [1-3]. Определим декартовы координаты точек S_0, \dots, S_6 и угловые координаты требуемой ориентации схвата с деталью в этих точках. Методом математического моделирования определяем скорости и ускорения полюса схвата [4], в узловых точках траектории (S_0, \dots, S_6) для разных начальных условий. Математическую модель манипулятора составляем методом Лагранжа-Эйлера [2]. Решая обратную задачу о положении манипулятора для каждой узловой точки S_0, \dots, S_6 , определим оптимальную конфигурацию манипулятора, обеспечивающую требуемую ориентацию детали в данной узловой точке. Сила удержания детали зависит от направления движения и величины ускорения. Следовательно, значения необходимого удерживающего усилия схвата в узловых точках траектории S_0, \dots, S_6 будут отличаться. Кинематический и динамический анализ манипулятора проводится с использованием пакета прикладных программ Mathcad [4].

Анализ необходимых удерживающих усилий схвата позволяет при моделировании движения манипулятора определить усилие захвата, которое обеспечит надежное фиксирование детали в захватном устройстве без повреждений её наружной поверхности.

Пример. Проиллюстрируем применение данного алгоритма. В статье [4] подробно рассмотрены вопросы кинематического и динамического анализа манипулятора кинематическая схема, которого представлена на рис. 3. Предположим, что известны законы изменения

обобщенных координат $q_1(t) = 0.1t^2 + 0.01t$, $q_2(t) = 0.025t^2 + 0.1$, $q_3(t) = 0.03t + 0.15$; начальные положения звеньев манипулятора $q_1(t_0) = 0$, $q_2(t_0) = 0.1$, $q_3(t_0) = 0.15$; в системе $X_2Y_2Z_2$ координаты полюса схвата в начальный момент времени $P(0; 0.3; 0)$. В системе координат $X_0Y_0Z_0$ заданы координаты узловых точек траектории: $S_0(0; 0.450; 0.100)$; $S_1(0; 0.450; 0.400)$; $S_2(-0.094; -0.117; 0.350)$; $S_3(-0.094; -0.117; 0.100)$; $S_4(0.194; -0.117; 0.100)$; $S_5(0.133; 0.738; 1.100)$; $S_6(0.133; 0.738; 0.400)$. Предположим, что $G=0.5$ Н – вес детали; $f=0.15$ – коэффициент трения; $n=1.2$ – коэффициент запаса; $g=9.81$ м/с² – ускорение свободного падения; $\alpha=30^\circ$ – угол скоса губок. Параметры: ω – угловая скорость вращения схвата; ε – угловое ускорение вращения схвата; a_z – ускорение вертикального движения; a_x – ускорение горизонтального движения; R – расстояние от оси вращения до оси заготовки; рассчитываются при математическом моделировании.

С использованием материалов статьи [4], решена обратная задача о положении манипулятора в узловых точках траектории S_0, \dots, S_6 (рис. 4); определены координаты, скорости и ускорения полюса схвата в узловых точках траектории S_0, \dots, S_6 при реализации заданных законов изменения обобщенных координат (рис. 5); вычислены значения необходимого удерживающего усилия схвата в узловых точках траектории S_0, \dots, S_6 (рис.6).

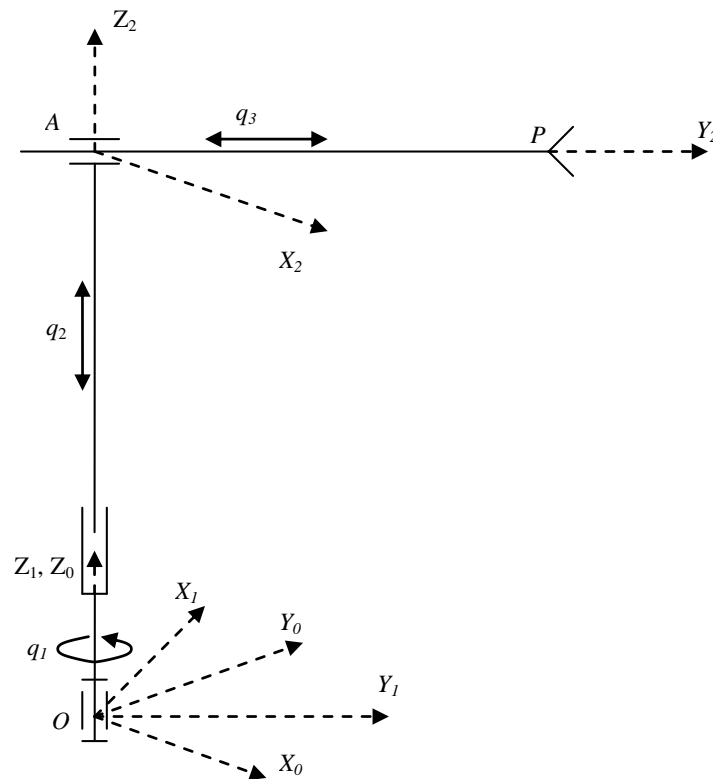


Рис.3. Кинематическая схема манипулятора

На рис.4 представлено решение обратной задачи о положении манипулятора в узловых точках траектории S_0, \dots, S_6 с использованием пакета прикладных программ Mathcad. Результаты вычислений приведены в таблице 1.

Mathcad interface showing the solution of the inverse kinematics problem:

```

Given
0.133 = -sin(q1k) · (q3k + 0.3)
0.738 = cos(q1k) · (q3k + 0.3)
0.4 = q2k

Find(q1k, q2k, q3k) →
( 2.9632897250737330781  -1.17830292851606016038
  .40000000000000000000  .40000000000000000000
 -1.0498886584020323747  .44988865840203237468 )
  
```

Рис. 4. Решение обратной задачи о положении манипулятора с использованием пакета прикладных программ Mathcad

Таблица 1. Решение обратной задачи о положении манипулятора

Координаты узловых точек траектории	Значения обобщённых координат		
	q_1	q_2	q_3
$S_0(0; 0,450; 0,100);$	0 3,142	0,100 0,100	-0,255 -0,345
$S_1(0; 0,450; 0,400);$	0 3,142	0,400 0,400	-0,255 -0,345
$S_2(-0,094; -0,117; 0,350);$	2,465 -0,677	0,350 0,350	-0,150 -0,450
$S_3(-0,094; -0,117; 0,100);$	2,465 -0,677	0,100 0,100	-0,150 -0,450
$S_4(0,194; -0,117; 0,100);$	-2,113 1,028	0,100 0,100	-0,073 -0,527
$S_5(0,133; 0,738; 1,100);$	2,963 -0,178	1,100 1,100	-1,050 0,450
$S_6(0,133; 0,738; 0,400).$	2,963 -0,178	0,400 0,400	-1,050 0,450

Определим скорость и ускорение движения точки Р схвата манипулятора, выполняя операцию символьного дифференцирования вектора координат $\vec{r}_P' = \vec{v}_P$, $\vec{r}_P'' = \vec{a}_P$. На рис.5 представлено решение прямой задачи о положении манипулятора (определение ускорения) в узловых точках траектории S_0, \dots, S_6 с использованием пакета прикладных программ Mathcad.

$$a_x(t) := \sin(q_1(t)) \cdot \left(\frac{d}{dt} q_1(t) \right)^2 \cdot q_3^2(t) - \cos(q_1(t)) \cdot \frac{d}{dt} q_1(t) \cdot q_3^2(t) - 2 \cdot \cos(q_1(t)) \cdot \frac{d}{dt} q_1(t) \cdot \frac{d}{dt} q_3(t) - \sin(q_1(t)) \cdot \frac{d}{dt} q_3^2(t)$$

$$a_y(t) := -\cos(q_1(t)) \cdot \left(\frac{d}{dt} q_1(t) \right)^2 \cdot q_3^2(t) - \sin(q_1(t)) \cdot \frac{d}{dt} q_1(t) \cdot q_3^2(t) - 2 \cdot \sin(q_1(t)) \cdot \frac{d}{dt} q_1(t) \cdot \frac{d}{dt} q_3(t) + \cos(q_1(t)) \cdot \frac{d}{dt} q_3^2(t)$$

$$a_z(t) := \frac{d}{dt} \left(\frac{d}{dt} q_2(t) \right)$$

$a_x(t) =$	$a_y(t) =$	$a_z(t) =$
-0.029	-1.5 · 10 ⁻⁵	0.05
1.774 · 10 ⁻³	-5.128 · 10 ⁻³	0.05
0.035	-1.092 · 10 ⁻³	0.05
0.054	0.036	0.05
0.013	0.092	0.05
-0.101	0.068	0.05
-0.11	-0.113	0.05
0.162	-0.145	0.05

Рис. 5. Определение ускорения движения точки Р схвата манипулятора с использованием пакета прикладных программ Mathcad

На рис.6 представлен пример вычисления необходимого удерживающего усилия схвата в точке S_1 траектории.

$$a_H(t) := \sqrt{a_x(t)^2 + a_y(t)^2} \quad a_V(t) := a_z(t)$$

$$F_V(t) := \frac{1.2 \cdot 0.5}{0.15} \cdot \left(1 + \frac{a_V(t)}{9.81} \right)$$

$$F_H(t) := 0.5 \cdot \left(\frac{1.2}{0.15} + \frac{a_H(t) \cdot \tan\left(\frac{\pi}{6}\right)}{9.81} \right)$$

$$F_S(t) := 0.5 \cdot \left[\frac{1.2}{0.15} \cdot \left(1 + \frac{a_V(t)}{9.81} \right) + \frac{0.1^2 \cdot 0.3 \cdot \tan\left(\frac{\pi}{6}\right)}{9.81} + \frac{0.01 \cdot 0.3}{9.81} + \frac{a_H(t) \cdot \tan\left(\frac{\pi}{6}\right)}{9.81} \right]$$

$F_V(0) = 4.02$	$F_H(4) = 4.003$
$F_V(1) = 4.02$	$F_S(2) = 4.022$
$F_V(3) = 4.02$	$F_S(5) = 4.024$
$F_V(6) = 4.02$	$F_S(7) = 4.027$

Рис.6. Вычисление значений необходимого удерживающего усилия схвата в узловых точках траектории S_0, \dots, S_6 .

Результаты вычисления значений необходимого удерживающего усилия схвата в узловых точках траектории S_0, \dots, S_6 приведены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты вычисления значений необходимого удерживающего усилия схвата в узловых точках траектории

Участок траектории	Вид движения	Удерживающее усилие, Н
S0-S1	перемещение по нормали к базовой поверхности	4,02
S1-S2	перемещение заготовки по заданной траектории	4,02
S2-S3	перемещение по нормали к базовой поверхности	4,022
S3-S4, S4-S3	горизонтальный отвод схвата манипулятора	4,02
S3-S2	перемещение по нормали к базовой поверхности	4,003
S2-S5	перемещение детали по заданной траектории	4,024
S5-S6	перемещение по нормали к базовой поверхности	4,02
S6-S0	холостой ход	4,027

Для обеспечения удержания детали необходимо усилие 4,027 Н.

Математическое моделирование движения манипулятора с деталью по заданной траектории позволяет оценить значения сил удерживания в узловых точках. На основании этих данных можно рассчитать необходимые усилия захвата и удержания объекта манипулирования.

Выводы. Решена обратная задача о положении манипулятора в узловых точках траектории S_0, \dots, S_6 ; определены координаты, скорости и ускорения полюса схвата в узловых точках траектории S_0, \dots, S_6 при реализации заданных законов изменения обобщенных координат; вычислены значения необходимого удерживающего усилия схвата в узловых точках траектории S_0, \dots, S_6 .

Анализ необходимых удерживающих усилий схвата позволяет при моделировании движения манипулятора определить усилие захвата, которое обеспечит надежное фиксирование детали в захватном устройстве без повреждений её наружной поверхности.

Разработанное программное обеспечение позволяет на основании результатов математического моделирования траектории манипулятора рассчитать необходимые усилия захвата и удержания объекта манипулирования. Результаты исследования могут быть использованы на этапе проектирования и модернизации технологических комплексов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шахинпур М. Курс робототехники: Пер. с англ. – М.: Мир., 1990. – 527 с.
2. Бурдаков С. Ф. Проектирование манипуляторов промышленных роботов и роботизированных комплексов: Учеб. пособие для вузов/С. Ф. Бурдаков, В. А. Дьяченко, А. Н. Тимофеев – М.: Высш. шк., 1988. – 304 с.
3. Механика промышленных роботов. Кн..1. Кинематика и динамика: учеб. пособие / Е. И. Воробьев, С. А. Попов, Г. И. Шевелёва. / под. ред. К. В. Фролова, Е. И. Воробьева. – К.: Вища школа, 1988. – 304 с.
4. Ащепкова Н. С. Метод кинематического и динамического анализа манипулятора с использованием Mathcad. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков.. – 2015. - № 5(7) 77. – С. 54 -63.
5. Детали и механизмы роботов: Основы расчёта, конструирования и технологии производства: Учеб. пособие/ Р. С. Веселков и др.; Под ред. Б.Б. Самотокина. – К.: Высш. шк., - 343 с.