

легированной стали и НВ-64 с равномерно распределенными малыми первичными карбидами в мартенситной матрице для нанесения износостойких покрытий на детали бурильного оборудования могут быть использованы диффузионно-легированные порошки из отходов металлообработки. Низкая себестоимость их изготовления обеспечивает возможность широкого использования таких порошков для создания защитных покрытий, а также возможность масштабирования лабораторной технологии в производственных условиях.

Л и т е р а т у р а

1. Магнитно-абразивная обработка труднообрабатываемых материалов новыми диффузионно-легированными материалами / Ю. Ольт, В. В. Максаров, Г. В. Петришин [и др.] // СТИН. – 2023. – № 1. – С. 22–26.
2. Fast Magnetic Abrasive Finishing with Diffusionally Alloyed Powder / F. I. Panteleenko [et al.] // Russian Engineering Research. – 2023. – Vol. 43, N 4. – P. 470–473.
3. Технология формирования износостойких покрытий на железной основе методами лазерной обработки / О. Г. Девойно [и др.]. – Минск : БНТУ, 2020. – 280 с.

УДК 531.133.1

АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ СОЧЛЕНЕНИЙ РОБОТА

В. А. Пракопович

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель М. И. Михайлов

Проведен анализ точности перемещений сочленений робота. В результате были определены значения перемещений и поворотов сочленений, координаты положения и расположения схвата робота, а также методика анализа путем решения прямой и обратной задач кинематики.

Ключевые слова: стационарный робот, задача кинематики, точность перемещений и поворотов, положение и расположение схвата.

ACCURACY ANALYSIS OF MOVED JOINTED ROBOT

V. A. Prakopovich

Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus

Science supervisor M. I. Mikhailov

The accuracy of movement of the robot joints was analyzed. As a result of the analysis, the values of the movable and rotary joints, the coordinates of the positions and the location of the robot's gripper, as well as the determination of the analysis method by solving direct and inverse kinematics problems were lost.

Keywords: stationary robot, kinematics problems, accuracy of movements and turns, gripper position and position.

В настоящее время на производстве широко применяются робототехнические комплексы (РТК), содержащие шестизвенные манипуляторы. В производственном процессе такие комплексы способны выполнять основные и вспомогательные технологические операции. К основным технологическим операциям относятся операции непосредственного выполнения формообразования, изменения линейных размеров

заготовки и др. Вспомогательными технологическими операциями являются транспортные операции, в том числе операции по загрузке и выгрузке технологического оборудования. Совершая такие операции, при помощи манипуляторов можно исключить влияние человеческого фактора на конвейерных производствах, а также при проведении монотонных работ, требующих высокой точности. С применением роботов создаются принципиально новые производства и технологические процессы, максимально уменьшающие неблагоприятные воздействия на человека. Для качественного выполнения данных операций необходимо точно управлять манипулятором, т. е. контролировать отклонение от заданной траектории и поддерживать заданную скорость, чтобы они находились в заданных пределах.

Цель работы – анализ точности перемещений сочленений шестизвенного стационарного робота и точности его позиционирования.

Для выполнения поставленной цели были решены две прямые задачи кинематики, в произвольной и в специальной системе координат, а также решена обратная задача кинематики.

Решение прямой задачи позволит определить точность позиционирования манипулятора сравнивая экспериментальные и расчетные значения данных положения и расположения. Обратная же задача позволит определить точность перемещений сочленений робота.

Рассмотрим подробнее каждую из решенных задач.

Исходными данными для решения прямой задачи является зона обслуживания. Согласно ей формируется код компоновки: *OCYZZHAB*.

Определяются:

- поступательные движения в положительном направлении вдоль осей – 20 мм;
- угол поворота вокруг осей против часовой стрелки – 30° ;
- постоянные расстояния между сочленениями – 200 мм;
- прямая задача кинематики в произвольной системе координат.

Первым этапом является построение принципиальной схемы робота согласно коду компоновки и значениям перемещений сочленений и их размеров (рис. 1).

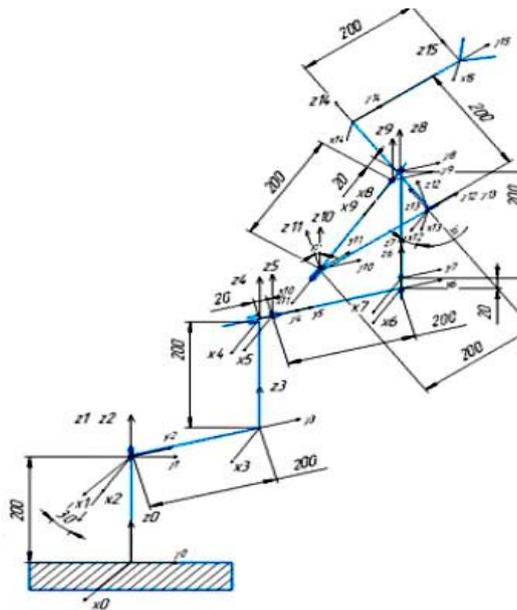


Рис. 1. Принципиальная схема и произвольные системы координат

На следующем этапе на сему наносятся произвольные системы координат.

На третьем этапе формируется общее выражение, представляющее собой матричную связь начальной и конечной систем координат

Каждая такая матрица отражает относительное положение и расположение звеньев в сочленениях

На четвертом этапе в общее выражение подставляются матрицы связи с внешними значениям управляемых и постоянных перемещений. Далее определяем произведение данных матриц и получаем результирующую матрицу. Подставив ее в общее выражение, получим связь начальной и конечной систем координат.

На пятом этапе при помощи свойств матриц из общей матрицы выделяем значения координат X, Y, Z и углы альфа, бета, гамма, отражающие положение и расположение конечной матрицы относительно начальной.

Выполнив сравнение расчетных значений координат и экспериментальных, можно определить точность позиционирования и соответственно – точность перемещений сочленений.

Прямая задача кинематики в специальной системе координат: описание с помощью представления Денавита–Хартенберга.

Первым этапом является построение принципиальной схемы робота согласно коду компоновки и значениям перемещений сочленений и их размеров.

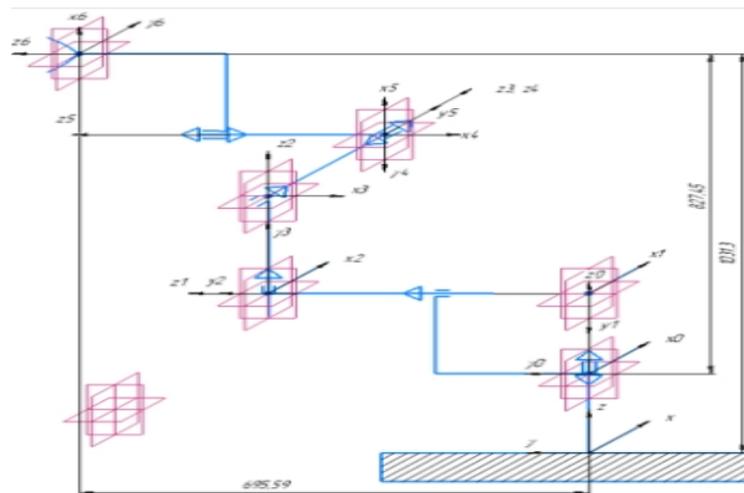


Рис. 2. Принципиальная схема и специальные системы координат

На следующем этапе на схему наносятся специальные системы координат (рис. 2). Установка системы координат состоит из нескольких шагов:

- Шаг 1. Формирование базовой системы координат. Сформировать правую ортонормированную систему координат (x_0, y_0, z_0) , связанную с основанием, ось z_0 вдоль оси 1-го сочленения к «плечу» манипулятора. Оси x_0 и y_0 выбираются произвольно при условии их перпендикулярности оси z_0 .

- Шаг 2. Формирование осей сочленения. Направить ось z_i вдоль оси движения (вращательного или поступательного) $i + 1$ -го сочленения.

- Шаг 3. Формирование начала i -й системы координат. Расположить начало i -й системы координат на пересечении осей z_i и z_{i-1} или на пересечении общей нормали к осям z_i и z_{i-1} с осью z_i .

- Шаг 4. Формирование оси x_i . Выбрать единичный вектор x_i или вдоль общего перпендикуляра к осям z_{i-1} и z_i , если они параллельны.

• Шаг 5. Формирование оси yi . Положить yi так, чтобы получить тем самым правостороннюю систему координат.

На третьем этапе составляется и заполняется таблица параметров связывающих смежные системы координат (рис. 3). Определение параметров происходит следующим образом:

• Шаг 1. Определение di Расстояние di – от начала $(i - 1)$ -й системы координат до пересечения оси $zi - 1$ с осью xi и началом i -й системы координат, отсчитываемой вдоль оси $zi - 1$.

• Шаг 2. Определение оси ai – расстояния между пересечением оси $zi - 1$ с осью xi и началом i -й системы координат, отсчитываемой вдоль оси xi .

• Шаг 3. Определение θi – угла поворота оси $xi - 1$ вокруг оси $zi - 1$, чтобы она стала сонаправлена с осью xi .

• Шаг 4. Определение αi – угла поворота оси $zi - 1$ вокруг оси xi , чтобы она стала сонаправлена с осью zi .

№ элемента	№ сочленения	γ_i	c_i	a_i	α_i
0	0,1	-30	200	0	90
1	1,2	0	420	0	-90
2	2,3	90	220	0	-90
3	3,4	0	220	0	0
4	4,5	-120	0	0	90
5	5,6	30	400	-200	0
6	6	-	-	-	-

Рис. 3. Таблица параметров

На четвертом этапе записывается матрица для определения положения и расположения сочленений в специальной системе координат. Формируются матрицы, содержащие значения параметров.

На пятом этапе, подставляя в специальную матрицу значения параметров, получаем матрицы связи смежных систем координат. Находим произведение матриц связи и подставляем результат в общее выражение связи начальной и конечной систем координат.

На шестом этапе при помощи свойств матриц из общей матрицы выделяем значения координат X , Y , Z и углы альфа, бета, гамма, отражающие положение и расположение конечной матрицы относительно начальной.

Данный метод позволяет автоматизировать расчет.

Выполнив сравнение расчетных значений координат и экспериментальных, можно определить точность позиционирования и соответственно точность перемещений сочленений.

Обратная задача кинематики: исходными данными в данном случае являются зона обслуживания, код компоновки, матрица положения и расположения схвата манипулятора и размеры сочленений.

Первый этап – построение принципиальной схемы робота согласно коду компоновки и значениям перемещений сочленений и их размеров.

На следующем этапе на схему наносятся произвольные системы координат.

На третьем этапе выбирается промежуточное сочленение, относительно которого будет строиться решение, и записывается общее выражение. Правая часть – это произведение смежных матриц от нулевого до выбранного сочленения. Левая часть является произведением матрицы положения и расположения на обратные смежные матрицы – от конечного сочленения до выбранного.

На четвертом этапе записываются все смежные матрицы в полном виде, используя таблицу параметров, и находится произведение в правой и левой частях выражения. Две части уравнения приравниваются.

На пятом этапе, исходя из равенства матриц, а соответственно – их элементов, формируются уравнения в количестве, достаточном для определения всех перемещений и поворотов. Решая системы уравнений определяются данные управляемые параметры.

Выполнив сравнение расчетных значений координат и экспериментальных, можно определить точность позиционирования и соответственно – точность перемещений сочленений.

Таким образом, произведен анализ точности перемещений сочленений робота. В результате проведенного анализа были рассчитаны значения перемещений и поворотов сочленений, координаты положения и расположения схвата робота, а также определена методика анализа путем решения прямой и обратной задач кинематики.

Л и т е р а т у р а

1. Фролов, К. В. Кинематика и динамика : учеб. пособие / Е. И. Воробьев, С. А. Попов, Г. И. Шевелева. – М. : Высш. шк., 1988. – 304 с.

УДК 629.114.2

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОММУНАЛЬНЫХ МОБИЛЬНЫХ МАШИН

М. О. Прядко

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель С. А. Тюрин

Основная цель данного исследования – сравнительный анализ различных моделей мобильных коммунальных подметально-уборочных машин, используемых для уборки уличных территорий. С помощью данного анализа определены наиболее эффективные и производительные машины, а также выявлены основные преимущества и недостатки каждой из них.

Ключевые слова: автоматизация уборки, сравнительный анализ, мобильные машины, уровень шума, скорость уборки.

COMPARATIVE ANALYSIS OF MUNICIPAL MOBILE MACHINES

M. O. Pryadko

Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus

Science supervisor S. A. Tyurin

The main goal of this study is a comparative analysis of various models of mobile municipal sweepers used for cleaning street areas. This analysis will allow us to determine the most efficient and productive machines, as well as identify the main advantages and disadvantages of each of them.

Keywords: cleaning automation, comparative analysis, mobile machines, noise level, cleaning speed.

В настоящее время большое внимание уделяется автоматизации всех процессов. Одним из таких направлений является уборка уличных территорий. На смену дворникам приходят сложные машины и комплексы, которые минимизируют ручной труд или полностью исключают участие человека.