

technological effect for serial production. The direction of the form-circulation improving in the exclusive commodity small serials by applying of the high-productivity «reprint» technologies, which are operatively fitted with the cheap level-by-level moulding instrument is offered.

УДК 517:531.112

КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ

А.В. Локтионов, А.В. Гусаков

Промышленные роботы классифицируются по следующим признакам: по основным координатным перемещениям, числу степеней подвижности, конструктивному исполнению, типу силового привода, характера выполняемых операций, степени специализации, области применения, грузоподъемности, мобильности и схемам расположения приводов. Для расчета перемещений центра схвата робота используются плоская прямоугольная, пространственная прямоугольная, плоская полярная, цилиндрическая, сферическая, ангулярная цилиндрическая и ангулярная сферическая системы координат (рис. 1) [1]. От выбора системы координат зависит расчет кинематических параметров роботов. Робот является звеном в технологическом процессе и должен выполнять свои функции абсолютно точно.

При этом траектория движения схвата и его скорость определяются технологическим процессом. На рис. 1 представлены схемы роботов работающих: по рис. 1 а в пространственной прямоугольной системе координат, по рис. 1б в цилиндрической системе координат, по рис. 1в в сферической системе координат и по рис. 1г в ангулярной (угловой) системе координат.

Существует различные методы расчета геометрических и кинематических параметров исполнительных механизмов роботов-манипуляторов. Расчет кинематических параметров исполнительного механизма в цилиндрической системе координат рассмотрен в работе [2]. Расчет кинематических параметров робота-манипулятора с теми степенями подвижности в сферической системе координат рассмотрен в работе [3]. Рассмотрим схему руки манипулятора промышленного робота фирмы ASEA работающего в ангулярной системой координат. К трехзвенному механизму добавлены (рис. 2): для привода звена 2 - простейший кулисный механизм, образованный звеньями 4,5 и 2; для привода звена 3 - цепь, состоящая из кулисного механизма (звенья 6,7 и 8) и шарнирного четырехзвенника (звенья 8,9,2 и 3). В рычажном механизме робота можно выделить кинематическую цепь руки (звенья 1,2 и 3) и кинематические цепи приводов. Манипуляторы, использующие принцип размещения приводов на основании имеют более сложные механизмы. Однако увеличение числа звеньев и кинематических пар компенсируется уменьшением масс и моментов инерции, подвижных звеньев манипулятора. Кроме того, замкнутые кинематические цепи (звенья 1, 5, 4, 2, 3, 9, 6, 7) повышают точность и жесткость механизма. Манипуляторы, использующие принципы комбинированного размещения приводов по рис. 2 (часть приводов на основании, часть на подвижных звеньях), обладают лучшими энергетическими и динамическими характеристиками, а также более высокой точностью.

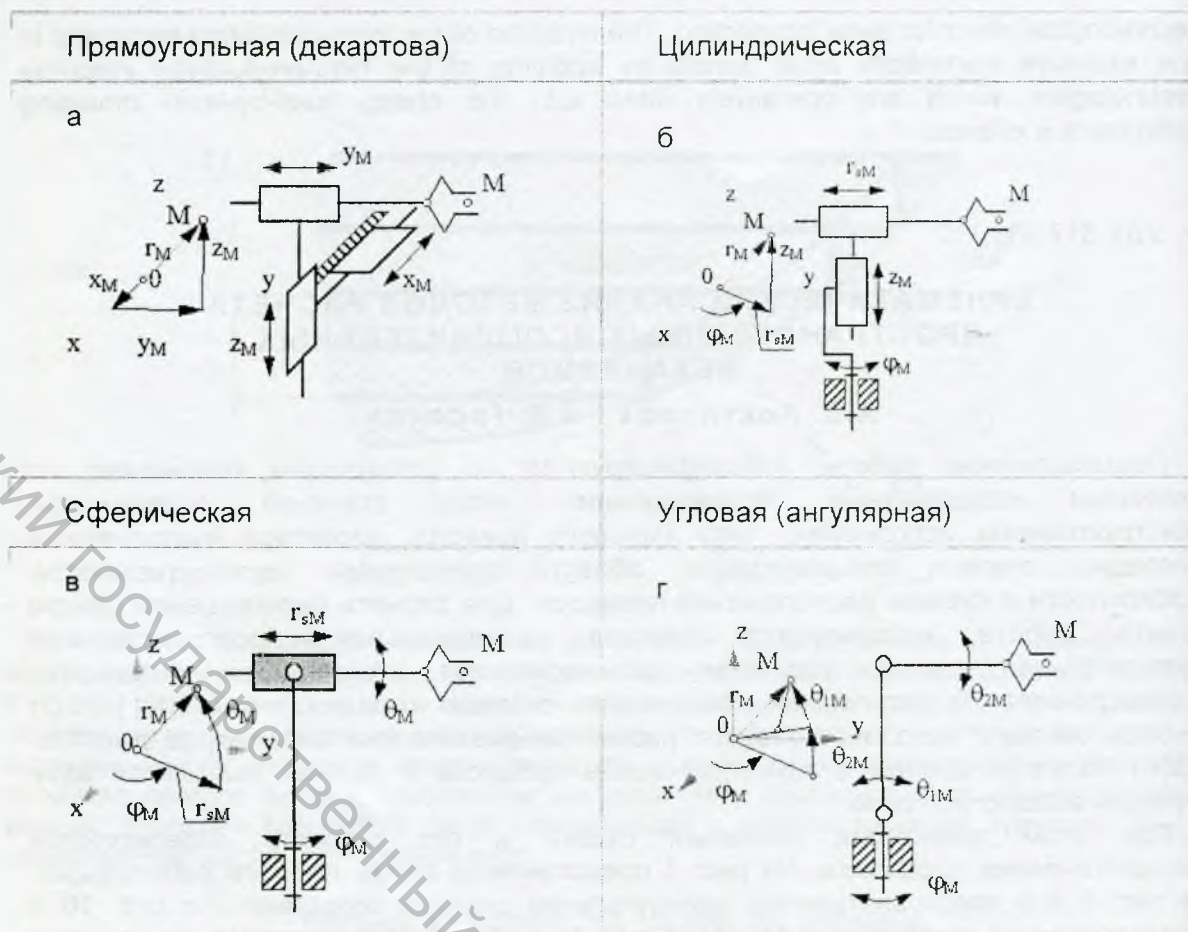


Рисунок 1 - Системы координат "руки" манипулятора

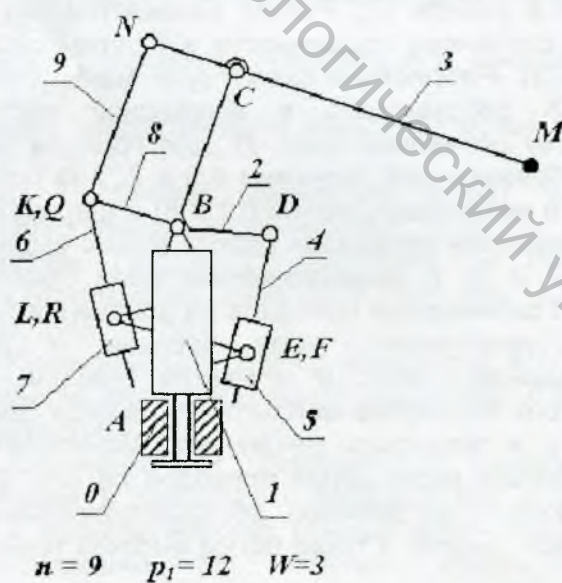


Рисунок 2 - Схема руки манипулятора фирмы ASEA

Рассмотрим кинематическую схему робота **SANCIO** фирмы **SKILAM** (рис. 3), шестизвенный исполнительный механизм которого работает в сферической системе координат. В таком роботе веса приводов и звеньев воспринимаются кинематическими парами. В такой структурной схеме механизма необходимо увеличение размеров кинематических пар. Однако в целом получен существенный выигрыш по энергетическим и динамическим показателям.

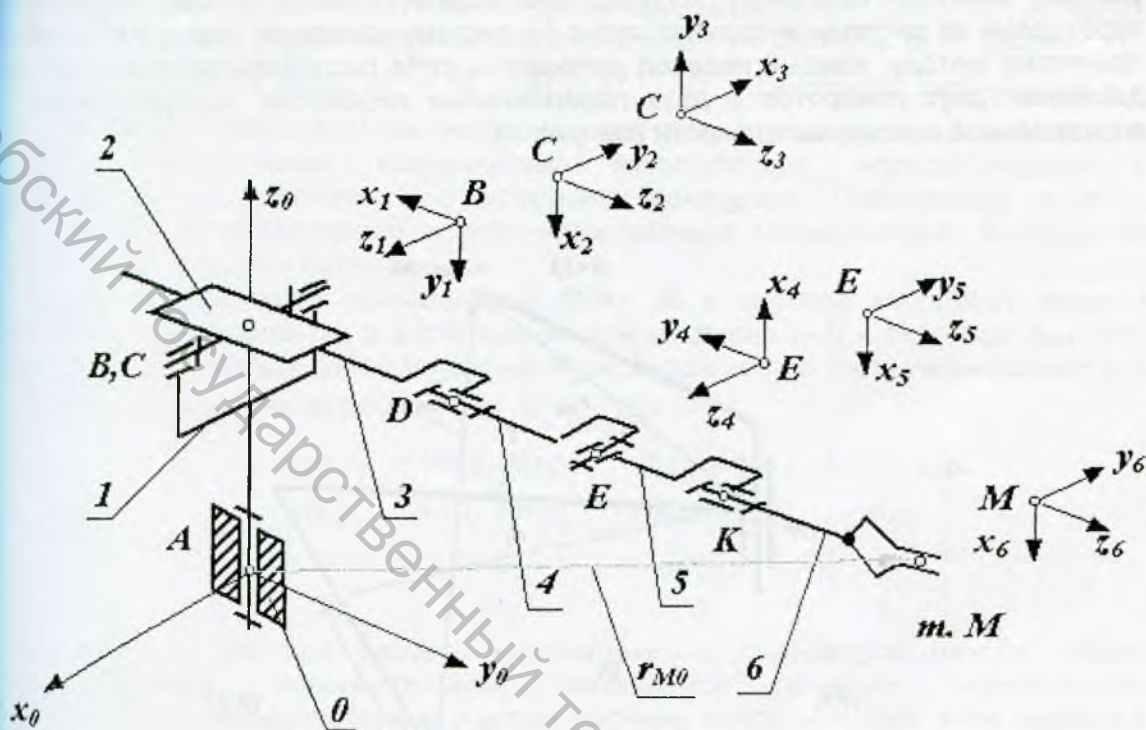


Рисунок 3 - Кинематическая схема робота **SANCIO**

Установлено, что наиболее простые методы расчета следует использовать для роботов, работающих в пространственной прямоугольной и в цилиндрической системах координат по рис. 1а и 1б. Векторный метод расчета кинематических параметров исполнительных механизмов следует использовать для роботов, звенья которых расположены в одной плоскости. Кинематическим анализом двухзвенного исполнительного механизма с тремя степенями подвижности установлено, что векторный метод достаточно сложен и неприменим для пространственных схем размещения звеньев роботов-манипуляторов. При таком методе расчета определяются проекции звеньев на неподвижные оси координат и векторы скорости и ускорения на эти оси [4, 5].

Основная задача кинематики – определение функции положения. Для пространственных механизмов наиболее эффективными методами решения этой задачи являются векторный метод и метод преобразования координат. При решении прямой задачи о положении схвата манипулятора обычно используют метод преобразования координат. Для манипуляторов из множества методов преобразования координат [6, 7], которые отличаются друг от друга правилами выбора осей локальных систем координат, обычно используется метод Денавита и Хартенберга.

1. Для звена i ось z_i направляется по оси кинематической пары, образуемой им со звеном $(i+1)$. Начало координат размещают в геометрическом центре этой пары.

2. Ось x_i направляется по общему перпендикуляру к осям z_{i-1} и z_i с направлением от z_{i-1} к z_i . Если оси z_{i-1} и z_i совпадают, то x_i перпендикулярна к ним и направлена произвольно. Если они пересекаются в центре кинематической пары, то начало

координат располагается в точке пересечения, а ось x_i направляется по правилу векторного произведения $\bar{x}_i = \bar{z}_i \times \bar{z}_{i-1}$ (кратчайший поворот оси z_i до совмещения с z_{i-1} при наблюдении с конца x_i должен происходить против часовой стрелки).

3. Ось y_i направляется так, чтобы система координат была правой.

В прямой задаче необходимо определить положение схвата манипулятора и связанной с ним системы координат $Mx_n y_n z_n$ по отношению к неподвижной или базовой системе координат $Kx_0 y_0 z_0$, что осуществляется последовательными переходами из системы координат звена i в систему координат звена $i-1$. Согласно принятому методу, каждый переход включает в себя последовательность четырех движений: двух поворотов и двух параллельных переносов, осуществляемых в определенной последовательности (см. рис. 4).

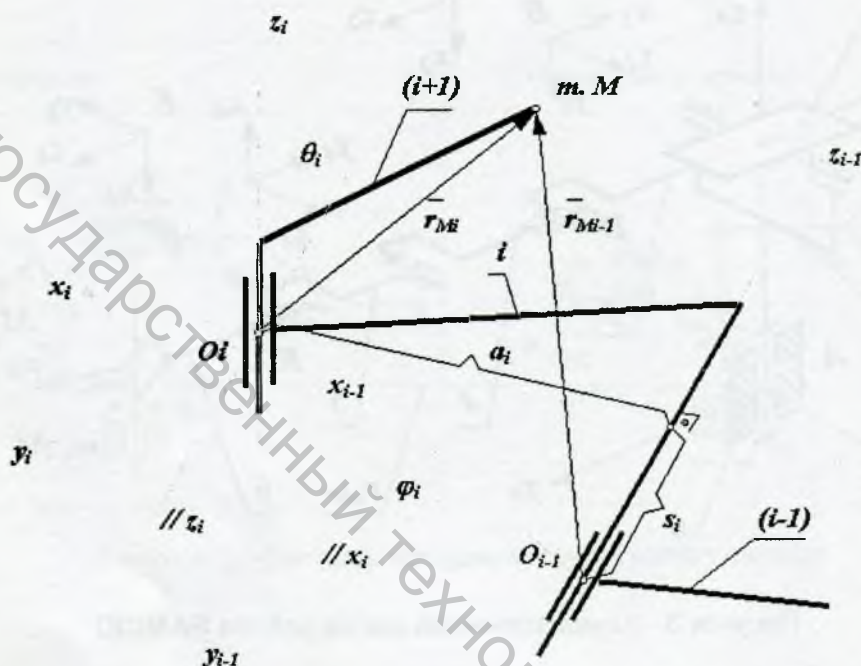


Рисунок 4 - Схема размещения систем координат звеньев $i-1$, i , $i+1$ манипулятора

При переходе используются два вида матриц: матрицы M , определяющие отношение между системами координат соседних звеньев; матрицы T , определяющие положение и ориентацию каждого звена механизма в неподвижной или базовой системе координат. При этом воспользуемся однородными координатами трехмерного проективного пространства PR^3 , в которых движение евклидова пространства R^3 можно представить линейным преобразованием

$$\bar{r}_i = M_{ij} \cdot \bar{r}_j, \text{ где } M_{ij} - \text{матрица } 4 \times 4 \text{ вида } \begin{bmatrix} U_{ij} & b \\ 000 & 1 \end{bmatrix}.$$

Последнее преобразование эквивалентно преобразованию в евклидовом пространстве $\bar{r}_i = U_{ij} \cdot \bar{r}_j + b$ где $[\bar{r}_i, \bar{r}_j] \in R^3$. То есть преобразованию, которое включает поворот, определяемый матрицей U_{ij} размерностью 3×3 , и параллельный перенос, задаваемый вектором $\bar{b}$ размерностью 3. В однородном пространстве положение точки будут определять не три x, y и z , а четыре величины x', y', z' и t' , которые удовлетворяют следующим соотношениям: $x = x'/t', y = y'/t', z = z'/t'$. При этом принимают $t' = 1$. В матрице поворота U_{ij} элементами u_{ij} являются направляющие косинусы углов между новой осью i и старой осью j . Вектор

$\bar{b} = (x, y, z)$ - трехмерный вектор, определяющий положение начала новой системы координат i в старой системе j . Выбор расположения осей определяет трудоемкость решаемой задачи. При решении прямой задачи необходимо определить положение выходного звена как функцию перемещений в приводах; в обратной задаче заданное положение выходного звена представляется как функция перемещений в приводах. Расположение и ориентация подвижных систем координат должны обеспечивать выполнение решаемых задач. При использовании метода Денавита и Хартенберга матрицы перехода их системы O_i в систему O_{i-1} можно представить в виде: $M_i = M_i^{\theta} \cdot M_i^a \cdot M_i^s \cdot M_i^{\varphi}$. В матрицах переменные s_i и j_i соответствуют относительным перемещениям звеньев в кинематических парах и являются обобщенными координатами манипулятора, определяющими в рассматриваемом положении конфигурацию механизма. Переменные a_i и q_i определяются конструктивным исполнением звеньев манипулятора. В процессе движения они остаются неизменными.

Положение некоторой произвольной точки M в системе координат звена i определяется вектором r_{Mi} , а в системе координат звена $(i-1)$ - вектором r_{Mi-1} . Эти радиусы связаны между собой матрицей M_i перехода из i -ой системы координат в $(i-1)$ -ю, следующим уравнением: $\bar{r}_{M_{i-1}} = M_i \bar{r}_{M_i}$, где

$$M_i = \begin{vmatrix} \cos \varphi_i & -\cos \theta_i \cdot \sin \varphi_i & \sin \varphi_i \cdot \sin \theta_i & a_i \cdot \cos \varphi_i \\ \sin \varphi_i & \cos \theta_i \cdot \cos \varphi_i & -\cos \varphi_i \cdot \sin \theta_i & a_i \cdot \sin \varphi_i \\ 0 & \sin \theta_i & \cos \theta_i & s_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

Установлено, что при расчете кинематических параметров центра схвата пространственных исполнительных механизмов следует использовать преимущественно сферическую и угловую системы координат. При этом наиболее пригоден для программного расчета на компьютере матричный метод.

Список использованных источников

1. Козырев Ю.Г. Промышленные роботы: Справочник. - М.: Машиностроение, 1988, 392 с.
2. Локтионов А.В. Расчет кинематических параметров в цилиндрических координатах матричным методом. - Теоретическая и прикладная механика: Межведомственный сборник научно-методических статей, 2003, с 59-63.
3. Локтионов А.В. Расчет кинематических параметров в сферических координатах матричным методом. - Теоретическая и прикладная механика: Межведомственный сборник научно-методических статей, 2004, с 115-118.
4. Фролов К.В., Воробьев Е.И. Механика промышленных роботов, часть 1: Кинематика и динамика. - М.: Высш. шк., 1988 - 304 с.
5. Локтионов А.В., Гусаков А.В. Расчет кинематических параметров двухзвенного механизма с тремя степенями подвижности. - Вестник Полоцкого государственного университета. Фундаментальные науки, 2004, №4, с. 99-102.
6. Чернышева И.Н., Мусатов А.К., Глухов Н.А. и др. Силовой расчет, уравнивание, проектирование механизмов и механика манипуляторов: Учебное пособие для студентов смешанной формы обучения; под ред. Мусатова А.К. - М.: МГТУ, 1990. - 80с., ил.
7. Пол Р. Моделирование, планирование траекторий и управление движением робота - манипулятора - М.: Наука, 1976. 104 с.

SUMMARY

In work the circuits of robots working in spatial rectangular, cylindrical, spherical and angular systems of coordinates are analyzed. The methods of account kinematics

parameters of spatial executive mechanisms are stated. Is established, that at account kinematics parameters of the centre of the robot - manipulator it is necessary to use spherical and angular systems of coordinates.

УДК 539.3

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНЕГО УПРУГОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ НА РАСЧЕТ ДЕФОРМАЦИЙ И НАПРЯЖЕНИЙ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКЕ

Т.В. Никонова

Рассматривается задача о расчете напряженно-деформированного состояния тонкостенной цилиндрической трубы (оболочки) кругового сечения длины L , залегающей в грунте (рис. 1). Воздействие внешнего упругого заполнителя (грунта) принимаем в предположении гидростатического характера его давления на оболочку. Реакция грунта при деформации трубы учитывается в рамках классической постановки закона Гука, при этом принимается одномерная модель Фусса-Винклера [1,2].

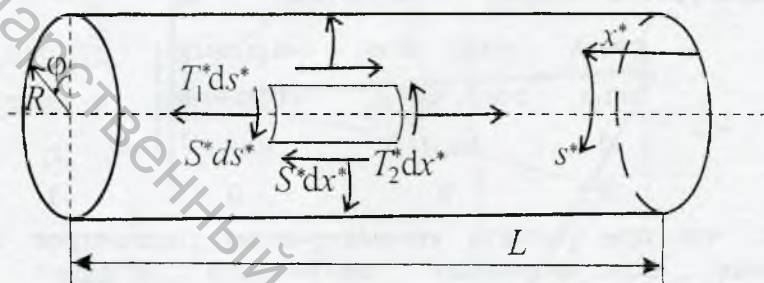


Рисунок 1 - Цилиндрическая оболочка

С учетом сделанных допущений уравнения равновесия безмоментной теории цилиндрических оболочек будут иметь вид [3]

$$\frac{\partial T_1^*}{\partial x^*} + \frac{\partial S^*}{\partial s^*} + q_1^* = 0, \quad \frac{\partial S^*}{\partial x^*} + \frac{\partial T_2^*}{\partial s^*} + q_2^* = 0, \quad T_2^* = q_n^* R - \alpha w^*, \quad (1)$$

где T_1^*, T_2^*, S^* — мембранные осевое, кольцевое и сдвигающее усилия, соответственно, $0 \leq x^* \leq L$ — продольная координата, s^* — длина дуги на поверхности оболочки, отсчитываемая в окружном направлении, $q_1^* = q_2^* = 0$, $q_n^* = -\gamma\{H_0 + R(1 - \cos \varphi)\}$ — компоненты поверхностной нагрузки по направлениям x^*, s^* и нормали, соответственно, R — радиус оболочки, α — коэффициент постели грунта, w^* — нормальное перемещение точек срединной поверхности, γ — удельный вес грунта, H_0 — глубина залегания оболочки (расстояние от поверхности земли до верхней образующей оболочки), φ — угловая координата.

Принимаем граничные условия, при которых реализуется безмоментное напряженно-деформируемое состояние оболочки,

$$T_1^* = v^* = 0 \text{ при } x^* = 0, L, \quad (2)$$

где v^* — перемещение в окружном направлении.

Связи деформации с усилиями имеют вид [3]: