

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
УКРАИНЫ

ВОСТОЧНОУКРАИНСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН»
(Лабораторные работы № 14, 15)

Луганск ВНУ 2001

Список рекомендованной литературы

1. Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин. – М.:Наука, 1975.- 640 с.
2. Теория механизмов / Под ред. В. А. Гавриленко. – М.: Высш. шк., 1973.-510 с.
3. Теория механизмов и машин / Под ред. К. В. Фролова. – М.: Высш. шк., 1987.- 496 с.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН»
(для студентов всех форм обучения механических
специальностей)

Составитель

Николай Иванович Величко

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
УКРАИНЫ

ВОСТОЧНОУКРАИНСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН»
(для студентов всех форм обучения механических
специальностей)

У т в е р ж д е н о
На заседании кафедры
Машиноведение.
Протокол № 4 от 28.01.01

УДК 621.01

Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Теория механизмов и машин» (для студентов всех форм обучения механических специальностей) /Сост.: Н.И. Величко–Луганск: ВНУ, 2001.–28 с.

Содержат цели и задачи, общие указания и методику выполнения лабораторных работ по курсу «Теория механизмов и машин» на серийно изготавливаемых лабораторных установках и на моделях, разработанных и изготовленных на кафедре. Для удобства подготовки к выполнению лабораторных работ и оформления полученных результатов методуказания снабжены контрольными вопросами и образцами форм протоколов.

Составители:

Н.И. Величко, доц.

Отв. за выпуск

А. М. Ахтямов, доц.

Таблица 1

Характеристика кинематических пар

Обозначение кинематической пары
Звенья, образующие кинематическую пару
Вид допускаемого относительного движения
Класс кинематической пары

Степень подвижности кинематической цепи, обобщенные координаты манипулятора, характеристика кинематической цепи.

Матрицы преобразования координат, решение обратной задачи. Сравнение результатов экспериментального и аналитического определения обобщенных координат.

ВНУ Кафедра ма- шиноведения	Протокол лабораторной работы №15 Структура и технические характеристики манипу- ляторов	Студент Группа
-----------------------------------	---	-----------------------

Структурная схема исходной кинематической цепи

Структурная схема преобразованной кинематической цепи

Лабораторная работа №14

Структура и технические характеристики манипуляторов

Цель работы. Цель работы – практически ознакомиться со структурой механизма манипулятора промышленного робота МП-9С, освоить методику структурного анализа и изучить основные технические показатели кинематической цепи манипулятора, ознакомиться с графическим изображением последовательности движения звеньев механизма и траектории схвата.

Общие указания. Манипулятором называется техническое устройство, предназначенное для воспроизведения некоторых рабочих функций рук человека. Механизм манипулятора является системой тел, предназначенной для преобразования движения нескольких тел в требуемые движения других тел – рабочих органов. Рабочие органы служат для непосредственного выполнения технических операций или вспомогательных переходов. Рабочим органом, изучаемых в работе манипуляторов является захватное устройство – схват.

Одно тело или несколько неподвижно соединённых твердых тел, входящих в состав манипулятора, называется **звеном**. Стойка – звено, принимаемое за неподвижное. Входным называется звено, которому сообщается движение, преобразуемое механизмом. Выходное звено совершает рабочее движение.

Подвижное соединение двух соприкасающихся звеньев называется **кинематической парой**. Кинематические пары могут быть классифицированы по числу связей, налагаемых на относительное движение звеньев; **класс кинематической пары** определяется числом условий связи. В манипуляторах в основном получили распространение кинематические пары пятого класса, условные изображения которых показаны в табл. 1.

Совокупность звеньев, образующих между собой кинематические пары, называется **кинематической цепью**. Кинематические цепи подразделяются на плоские и пространственные. В плоских кинематических цепях точки подвижных звеньев совершают движение в параллельных плоскостях. Кинематические цепи, кроме того, могут быть замкнутыми или незамкнутыми. В незамкнутой кинематической цепи есть звенья, образующие только одну кинематическую пару.

Таблица 1

Название кинематической пары		Условное изображение
Вращательная	Ось вращения перпендикулярна к плоскости чертежа	
	Ось вращения располагается в плоскости чертежа	
Поступательная		
Винтовая		

Число степеней свободы кинематической цепи – число независимых перемещений, т. е. число обобщённых координат, определяющих положение всех звеньев кинематической цепи относительно принятой системы отсчёта. Число степеней свободы относительно стойки называется степенью подвижности механизма манипулятора, определяемой по формуле:

$$W=6n-5p_5-4p_4-3p_3-2p_2-p_1,$$

где n – число подвижных звеньев, p_i – число кинематических пар, класс которых равен i .

Работоспособность манипулятора определяется рядом технических характеристик, к которым относят форму и размер рабочей зоны, манёвренность, угол и коэффициент сервиса. **Рабочим объёмом** манипулятора называется объём, ограниченный поверхностью, огибающей все возможные предельные положения схвата. Рабочий объём определяется с учётом реальной формы звеньев манипулятора и конструктивных ограничений, накладываемых на перемещения в кинематических парах. Часть рабочего объёма, в котором можно выполнять операции с объектом манипулирования, называется **зоной обслуживания** или рабочей зоной.

Контрольные вопросы

1. Что называется манипулятором, кинематической цепью, кинематической парой?
2. Дайте определение рабочей зоны, зоны обслуживания.
3. Что такое маневренность, угол сервиса, коэффициент сервиса?
4. Изложите порядок определения маневренности, угла сервиса, коэффициента сервиса.
5. Запишите матрицу преобразования координат общего вида.
6. Назовите основные узлы лабораторной установки.
7. Назначение координатника, станины, рычажной части, кистевого узла.
8. Изложите методику решения обратной задачи

Отчет по лабораторной работе, оформленной в виде протокола, должен содержать:

1. Исходные кинематические схемы манипуляторов со степенями свободы и схемы, преобразованные с учетом заданных ограничений.
2. Характеристику кинематических пар, степень подвижности кинематической цепи.
3. Матрицы преобразования координат.
4. Системы уравнений для определения обобщенных координат, значения обобщенных координат, определяемых экспериментально и аналитически.
5. Результаты сравнительной оценки погрешностей экспериментального определения значений обобщенных координат.

На рис.1 показаны проекции зоны обслуживания манипулятора промышленного робота МП-9С.

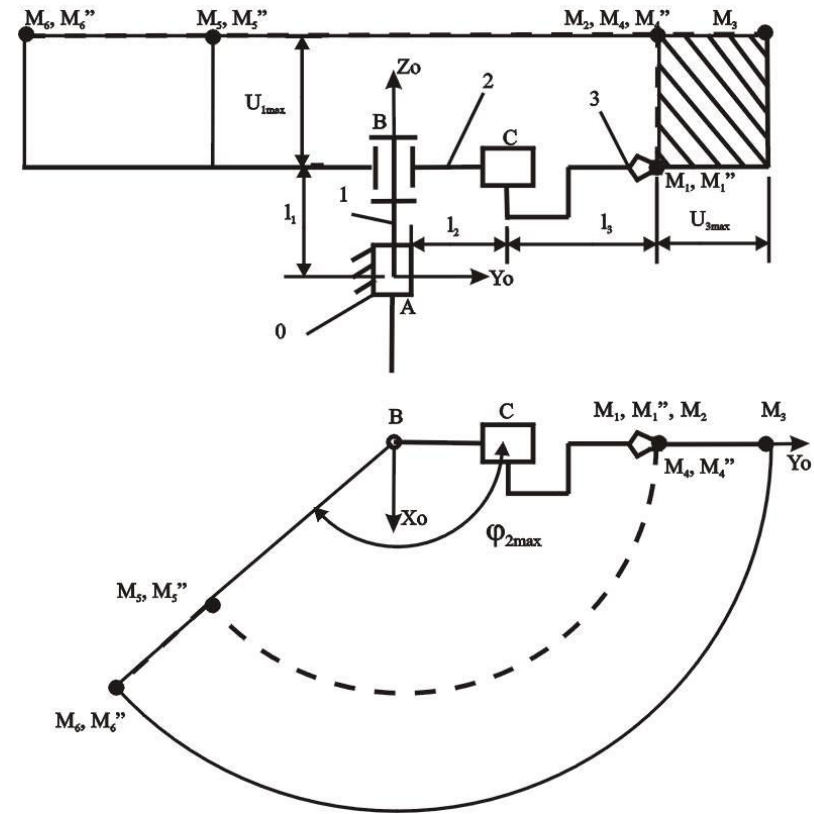


Рис. 1 Зона обслуживания манипулятора и траектория движения т. М схвата: l_1, l_2, l_3 – длины звеньев; $U_{1max}, \varphi_{2max}, U_{3max}$ – максимальные значения обобщенных координат

Рабочий объём имеет цилиндрическую форму. Степень подвижности манипулятора

$$W = 6n - 5p_5 = 6 \cdot 3 - 5 \cdot 3 = 3,$$

что позволяет воспроизвести пространственную траекторию т. М схвата.

Маневренность манипулятора – степень его подвижности при неподвижном схвате. Маневренность даёт возможность звеньям манипулятора обходить препятствия или же располагаться в более удобной позиции при одном и том же положении схвата. Рассматриваемый механизм манипулятора не обладает маневренностью. Для каждой точки зоны обслуживания можно определить угол сервиса – телесный угол, внутри которого хват можно подвести к этой точке. Мерой телесного угла является площадь, вырезаемая телесным углом на сфере единичного радиуса с центром в вершине угла. Максимальное значение телесного угла равно 4π . Отношение угла сервиса к максимальному значению телесного угла называется **коэффициентом сервиса**.

Механизмы имеют цикловой характер работы. Периодическое совпадение положений и направлений движения точек всех звеньев механизма происходит по прохождению каждого кинематического цикла. Промежуток времени, по истечении которого повторяется последовательность перемещений, называется временем цикла. Графическое изображение последовательности движения звеньев за цикл называется графиком цикличности или циклограммой. На рис. 2 в качестве примера показана линейная циклограмма согласованных во времени относительных перемещений звеньев манипулятора промышленного робота МП-9С в кинематических парах А, В, С.

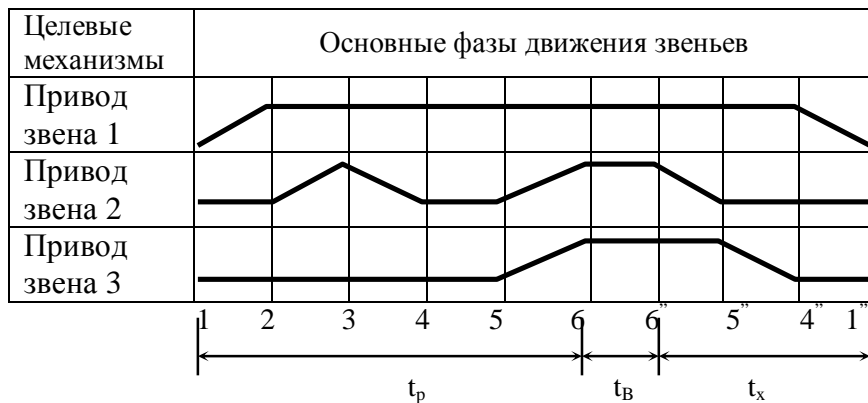


Рис. 2 Циклограмма относительных перемещений

2. В начальном положении определяются маневренность, угол сервиса, коэффициент сервиса.
3. В соответствии с заданными ограничениями зафиксировать относительные положения звеньев и исключить тем самым ряд кинематических пар. Исходная кинематическая цепь преобразуется в цепь с меньшим числом степеней свободы.
4. Снять со шкал показания, соответствующие значениям обобщенных координат в кинематических парах, при которых обеспечивается заданное начальное положение.
5. Зафиксировать все кинематические пары и повторить операции в том же порядке для заданного конечного положения объекта манипулирования с координатами $X_{M2}^{(0)} Y_{M2}^{(0)} Z_{M2}^{(0)}$.

Для аналитического определения обобщенных координат в начальном и конечном положениях необходимо:

1. Преобразовать матрицы (2), (3), (4) с учетом ряда ограничений на относительные положения звеньев в кинематических парах, для которых преподавателем указаны фиксированные значения обобщенных координат.
2. Составить столбцевые матрицы, описывающие координаты объекта манипулирования в системе S_n , жестко связанной со схватом.
3. Согласно уравнению (1) получить выражения вида $X_M^{(0)} = X(q_i); Y_M^{(0)} = Y(q_i); Z_M^{(0)} = Z(q_i); (i=1, 2, 3)$, описывающие связь между значениями обобщенных координат и положениями объекта манипулирования относительно схвата.
4. По заданным координатам схвата $X_{Mj}^{(0)} Y_{Mj}^{(0)} Z_{Mj}^{(0)}$ в начальном ($j=1$) и конечном ($j=2$) положениях определить значения обобщенных координат с использованием систем уравнений

$$X(q_i) = X_{Mj}^{(0)}; Y(q_i) = Y_{Mj}^{(0)}; Z(q_i) = Z_{Mj}^{(0)}$$

Сравнить значения обобщенных координат, определенных экспериментальными и аналитическими методами. Абсолютная погрешность определения линейных величин не должна превышать ± 1 мм, допустимая относительная погрешность определения угловых величин составлять 5%.

Описание лабораторной установки. Комплект “Модели-манипуляторы” содержит три установки, каждая из которых состоит из основания, кинематической цепи, координатника.

Основание снабжено координатной плитой с шагом координатной сетки $50 \pm 0,2$ мм, причем установлены пределы изменения положения объекта манипулирования (в мм)

$$-100 \leq X_M^{(0)} \leq 100; \quad 50 \leq Y_M^{(0)} \leq 350; \quad 140 \leq Z_M^{(0)} \leq 290.$$

Фиксация объекта манипулирования в заданной точке зоны обслуживания осуществляется с помощью координатника, обладающего шестью степенями свободы. Благодаря этому возможно решение обратной задачи о положениях и определении угла сервиса. Предусмотрено уменьшение число степеней свободы с помощью фиксирующих устройств для определения маневренности кинематической цепи. Фиксация координатника на координатной плите – механическая.

Кинематическая цепь манипулятора содержит рычажную часть (“механическую руку”), образуемую звеньями 1, 2, 3 (рис. 3, 5) или звеньями 1, 2, 3, 4 (рис. 4), и “кистевой” узел, состоящий из звеньев 4, 5, 6 (рис. 3, 5) или 5, 6, 7 (рис. 4). Рычажная часть предназначена для переноса объекта манипулирования, кистевой узел – для пространственной ориентации объекта манипулирования.

Все кинематические пары, входящие в кинематическую цепь установки, снабжены шкалами и фиксирующими устройствами. Существует возможность исключить подвижность любой кинематической пары при любом заданном относительном положении звеньев. Фиксация кинематических пар производится вручную посредством стопорных винтов с накатными головками. Поэтому каждая установка позволяет преобразовать исходные структурные схемы в схемы с меньшим числом степеней свободы (от двух до шести).

Методика выполнения работы.

При выполнении экспериментальной части работы последовательно выполняются следующие действия:

1. С помощью координатника объект манипулирования устанавливается в заданном начальном положении с координатами

$$X_{M1}^{(0)} \quad Y_{M1}^{(0)} \quad Z_{M1}^{(0)} .$$

Время цикла

$$t_{\Sigma} = t_p + t_b + t_x ,$$

где t_p – время “рабочего хода”, в течение которого объект манипулирования после захвата перемещается к технологической машине, t_b – время выстоя, определяемое длительностью технологической операции, t_x – время “холостого” хода, связанное с перемещением объекта от технологической машины к зоне выгрузки.

В пределах каждого цикла различают такты или фазы, которые позволяют выделить основные состояния механизма. В течение фазы движения состояние одного ни одного из звеньев не изменится, т. е. состояние движения либо сохраняется, либо отсутствует. Наличие относительного движения изображается на циклограмме наклонными отрезками прямой, отсутствие движения – горизонтальными отрезками.

На рис. 2 выделено девять фаз цикла движения: 1-2 - фаза перемещения звена 1 относительно стойки 0 (т. М схвата на рис. 1 перемещается из положения M_1 в положение M_2); 2-3 – фаза относительного перемещения звена 3 в кинематической паре С (M_2 - M_3); 3-4 – относительное движение звена 3 в обратном направлении (M_3 - M_4); 4-5 – относительный поворот звена в кинематической паре В (M_4 - M_5); 5-6 – движение звена 3 (M_5 - M_6); 6-6' – выстой (точки M_6 и M_6' совпадают); В дальнейшем схват, проходя через точки M_2' , M_4' , M_1' , возвращается в исходное положение. Таким образом, траектория т. М схвата (геометрическое место положений в неподвижной системе координат $x_0y_0z_0$) представляет собой замкнутую пространственную линию.

Методика выполнения работы

1. Вычертить в принятом масштабе заданную кинематическую схему манипулятора. Обозначить на схеме кинематические пары латинскими буквами, звенья пронумеровать арабскими цифрами.
2. Составить характеристику кинематических пар: указать их обозначения; звенья, образующие кинематические пары; вид допускаемого относительного движения; класс кинематических пар.
3. Определить степень подвижности кинематической цепи,

перечислить линейные и угловые обобщенные координаты механизма манипулятора. Дать характеристику кинематической цепи.

4. По заданным максимальным значениям обобщенных координат выделить границу зоны обслуживания.

5. Построить заданную линейную циклограмму согласованных относительных перемещений звеньев манипулятора и выделить её фазы. Построить траекторию схвата манипулятора.

Отчёт по лабораторной работе оформить в виде протокола по прилагаемой схеме.

Контрольные вопросы

1. Что называется звеном, кинематической парой, кинематической цепью?
2. Чем определяется класс кинематической пары?
3. Запишите формулу для определения степени подвижности механизма манипулятора.
4. Что называется механизмом?
5. Дайте определение рабочей зоны, зоны обслуживания.
6. Как определить маневренность механизма ?
7. Дайте определение угла сервиса, коэффициента сервиса.
8. Как определяется угол сервиса, коэффициент сервиса ?
9. Что называется кинематическим циклом?

Литература

1. Теория механизмов и машин; Учеб. для втузов / К. В. Фролов, С. А. Попов, А. К. Мусатов и др. – М.: Высш. шк. , 1987, - с 325 – 332.
2. ГОСТ 25686-85. Манипуляторы, автооператоры и промышленные роботы. – М.: Издательство стандартов, 1985, - 16с.

Для кинематической цепи $B \perp B \perp \Pi \parallel B \perp B \perp B$ (рис. 5), содержащей кинематические пары А, В, С, D, Е, F матрицы преобразования координат имеют вид:

$$A_{56} = \begin{bmatrix} \cos j_6 & 0 & \sin j_6 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & l_5 \\ -\sin j_6 & 0 & \cos j_6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad A_{45} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos j_5 & \sin j_5 & l_4 \\ 0 & -\sin j_5 & \cos j_5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_{34} = \begin{bmatrix} \cos j_4 & 0 & \sin j_4 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & l_3 \\ -\sin j_4 & 0 & \cos j_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad A_{23} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & U_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$A_{12} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos j_2 & \sin j_2 & 0 \\ 0 & -\sin j_2 & \cos j_2 & l_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad A_{01} = \begin{bmatrix} \cos j_1 & \sin j_1 & 0 & 0 \\ -\sin j_1 & \cos j_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & l_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Для кинематической цепи $П\perp B \parallel П\perp П \parallel B\perp B\perp B$ (рис. 4), содержащей кинематические пары А, В, С, D, E, F, G матрицы преобразования имеют вид:

$$A_{67} = \begin{bmatrix} \cos j_7 & 0 & \sin j_7 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & l_6 \\ -\sin j_7 & 0 & \cos j_7 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad A_{56} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos j_6 & \sin j_6 & l_5 \\ 0 & -\sin j_6 & \cos j_6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_{45} = \begin{bmatrix} \cos j_5 & 0 & \sin j_5 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & l_4 \\ -\sin j_5 & 0 & \cos j_5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad A_{34} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & U_4 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$A_{23} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & (l_2 + U_3) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad A_{12} = \begin{bmatrix} \cos j_2 & \sin j_2 & 0 & 0 \\ -\sin j_2 & \cos j_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & l_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_{01} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & U_1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

ВНУ Кафедра ма- шиноведения	Протокол лабораторной работы №14	Студент
	Структура и технические характеристики манипу- ляторов	Группа

Структурная схема кинематической цепи

Характеристика кинематических пар

Обозначение кинематической пары
Звенья, образующие кинематическую пару
Вид допускаемого относительного движения
Класс кинематической пары

Степень подвижности кинематической цепи, обобщенные координаты манипулятора, характеристика кинематической цепи.

Лабораторная работа №15

Исследование кинематических цепей манипуляторов

Цель работы. Определить основные технические показатели кинематической цепи манипулятора, аналитически и экспериментально выполнить исследования двухпозиционного состояния заданной кинематической цепи.

Общие указания. Промышленный робот (ПР) – автоматическая машина, состоящая из исполнительного устройства – манипулятора и устройства программного управления, предназначенных для выполнения двигательных и управляющих функций. Конструктивное исполнение современных ПР диктуется объективными (назначение, вид технологического оборудования, технические требования и т. д.) и субъективными (наличие и уровень комплектующих изделий, возможности и традиции разработчика и т. п.) факторами. Чтобы решить вопрос о возможностях и способе применения ПР для автоматизации конкретного технологического процесса необходимо знать следующие основные характеристики робота:

- функциональные – число, вид и взаимное расположение кинематических пар; число степеней подвижности; число и диапазоны регулирования точек позиционирования по каждой степени подвижности; форму, размер и расположение зоны обслуживания; грузоподъемность; возможные технологические усилия на рабочих органах; диапазоны скоростей и ускорений рабочих органов и точность их задания; форму и массу объектов манипулирования;
- конструктивные – способ установки; форму, размеры и расположение рабочего пространства; вид и диапазон регулирования взаимного расположения кинематических пар; погрешности позиционирования; податливость манипулятора;
- эксплуатационные – показатели надежности и ремонтнопригодности; время переналадки на новые объекты или режимы работы; потребляемая мощность и источники питания.

Анализ приведенного условного деления характеристик свидетельствует о необходимости детального изучения свойств манипулятора – исполнительного механизма робота. Способность воспроизводить рабочие функции руки человека достигается приданием манипулятору нескольких степеней подвижности, по которым реа-

Обратная задача кинематики состоит в определении обобщенных координат q ($i=1, n$), являющихся решением нелинейного матричного уравнения

$$\bar{r}_M^{(0)} = A_0 A_{12} \dots A_{i(i-1)} \dots A_{(n-1)n} \bar{r}_M^{(n)} \quad (1)$$

Для кинематической цепи манипулятора $B \perp B \parallel B \perp B \perp B \perp B$ (рис. 3), содержащего вращательные пары А, В, С, D, Е, F матрицы преобразования координат имеют вид:

$$A_{56} = \begin{bmatrix} \cos j_6 & -\sin j_6 & 0 & 0 \\ \sin j_6 & \cos j_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & l_5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad A_{45} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos j_5 & \sin j_5 & 0 \\ 0 & -\sin j_5 & \cos j_5 & l_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_{34} = \begin{bmatrix} \cos j_4 & -\sin j_4 & 0 & 0 \\ \sin j_4 & \cos j_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & l_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad A_{23} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos j_3 & \sin j_3 & 0 \\ 0 & -\sin j_3 & \cos j_3 & l_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$A_{12} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos j_2 & \sin j_2 & 0 \\ 0 & -\sin j_2 & \cos j_2 & l_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad A_{01} = \begin{bmatrix} \cos j_1 & \sin j_1 & 0 & 0 \\ -\sin j_1 & \cos j_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & l_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Радиус-вектор т. манипулятора в неподвижной системе координат опишется уравнением

$$\bar{r}_M^{(0)} = A_{01} A_{23} A_{34} A_{45} A_{56} \bar{r}_M^{(6)}$$

Максимальное значение телесного угла соответствует площади сферы единичного радиуса $\Psi_{\max}=4\pi$, минимальное – нулю. Область изменения угла сервиса $0 \leq \Psi \leq 4\pi$. Отношение действительного угла сервиса в исследуемой точке зоны обслуживания к предельно возможному его значению называют коэффициентом сервиса Θ .

Практический интерес представляет также решение задачи определения относительных перемещений звеньев в кинематических парах, которые соответствуют позиционированию звеньев в начальном и конечном положениях при наладке манипулятора. В механике роботов процесс позиционирования определен как обратная задача кинематики – описана кинематическая схема манипулятора и известны положения и ориентация схвата относительно стойки. Требуется определить значения обобщенных координат, обеспечивающих заданное положение схвата. При решении обратной задачи для заданного начального и конечного положений схвата описываются диапазоны регулирования обобщенных координат.

При изучении кинематических свойств манипуляторов удобно использовать векторно-матричный метод. В этом случае положение i -го звена манипулятора относительно $(i-1)$ -го звена описывается матричным уравнением

$$\bar{r}_M^{(i)} = A_{i(i-1)} \bar{r}_M^{(i-1)},$$

где $\bar{r}_M^{(i)}$ и $\bar{r}_M^{(i-1)}$ – столбцовые матрицы, описывающие координаты точки М в системах координат $S_i(x_i, y_i, z_i)$ и $S_{i-1}(x_{i-1}, y_{i-1}, z_{i-1})$, жестко связанной со звеньями i и $i-1$. Взаимное положение подвижных систем координат S_i и неподвижной системы S_0 (жестко связанных со стойкой) представлено на рис. 3, 4, 5. Матрица преобразования координат $A_{i(i-1)}$ имеет вид:

$$A_{i(i-1)} = \begin{bmatrix} \cos(x_i, x_{i-1}) & \cos(x_i, y_{i-1}) & \cos(x_i, z_{i-1}) & l_x^{(i)} \\ \cos(y_i, x_{i-1}) & \cos(y_i, y_{i-1}) & \cos(y_i, z_{i-1}) & l_y^{(i)} \\ \cos(z_i, x_{i-1}) & \cos(z_i, y_{i-1}) & \cos(z_i, z_{i-1}) & l_z^{(i)} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

а её элементами являются направляющие косинусы и координаты $l_x^{(i)}$, $l_y^{(i)}$, $l_z^{(i)}$ начала системы S_{i-1} в системе S_i .

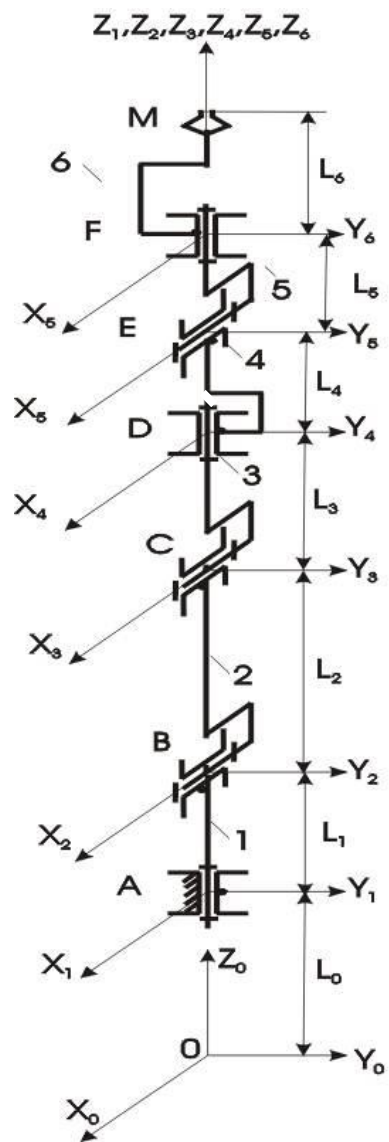
лизуются управляемые перемещения. Этим обеспечиваются заданные законы движения рабочего органа – схвата. Наличием нескольких степеней подвижности и объясняется трудоемкость решения задач анализа и синтеза основного механизма манипулятора.

Исследуемые модели манипуляторов (кинематические схемы которых представлены на рис. 3, 4, 5) обладают n (шестью и более) степенями подвижности; положение схвата однозначно определяется значениями n обобщенных координат. Обычно три из них обеспечивают требуемые координаты схвата. Если число степеней подвижности больше шести, то одному и тому же положению схвата могут соответствовать множества значений обобщенных координат, что придает манипулятору ценное свойство маневренности (число степеней подвижности при закрепленном рабочем органе).

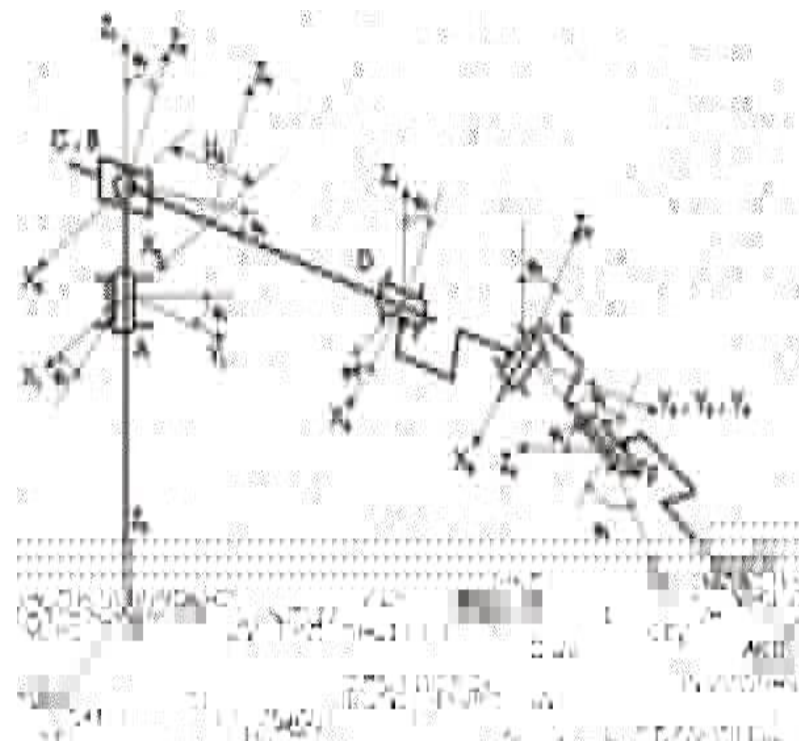
Использование в механизмах манипуляторов трех и более кинематических пар пятого класса не всегда обеспечивает объемное движение схвата. Для обеспечения объемного движения кинематическая цепь должна удовлетворять условиям: имеются две вращательные пары с пересекающимися (скрещивающимися) осями, или при параллельных осях вращательных пар в поступательной паре перемещение осуществляется не перпендикулярно осям, или при двух взаимно перпендикулярных поступательных парах имеется вращательная пара (ось которой не перпендикулярна к плоскости расположения пар) либо третья пара поступательная (направление перемещения в которой не параллельно той же плоскости).

Идеальная форма зоны обслуживания – сфера, обеспечивающая наибольший объем зоны обслуживания. Промышленные роботы с вращательными парами характеризуются меньшей точностью позиционирования. При любой форме зоны обслуживания движению схвата препятствуют конструктивные ограничения в кинематических парах, габаритные размеры звеньев и т. д. Поэтому в каждой точке зоны обслуживания можно определить некоторый телесный угол ψ , внутри которого схват можно подвести к этой точке, называемый углом сервиса. Для определения угла сервиса пространственный многозвенный механизм манипулятора превращается в замкнутый со сферической парой в центре

схвата.



- $L_0 = 150$ mm
- $L_1 = 40$ mm
- $L_2 = 180$ mm
- $L_3 = 105$ mm
- $L_4 = 47$ mm
- $L_5 = 29$ mm
- $L_6 = 55$ mm



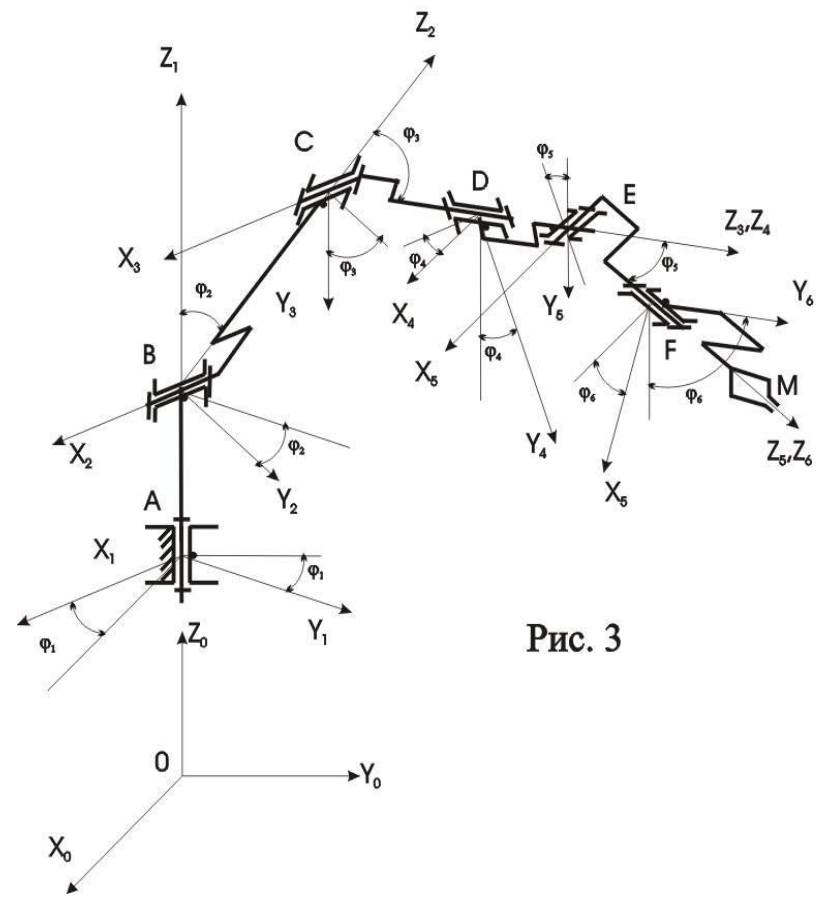
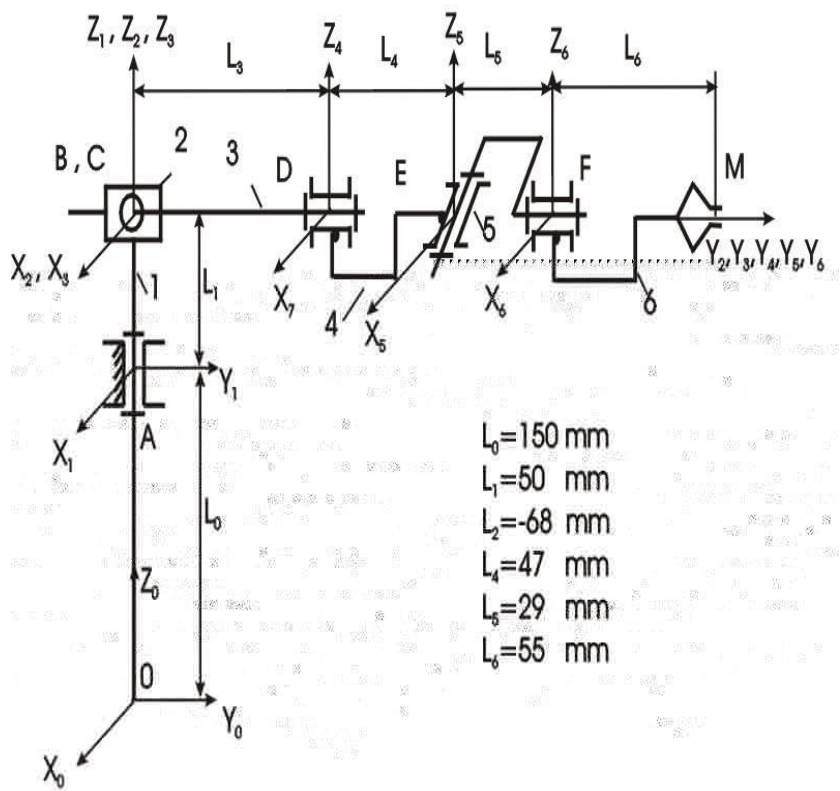


Рис. 3

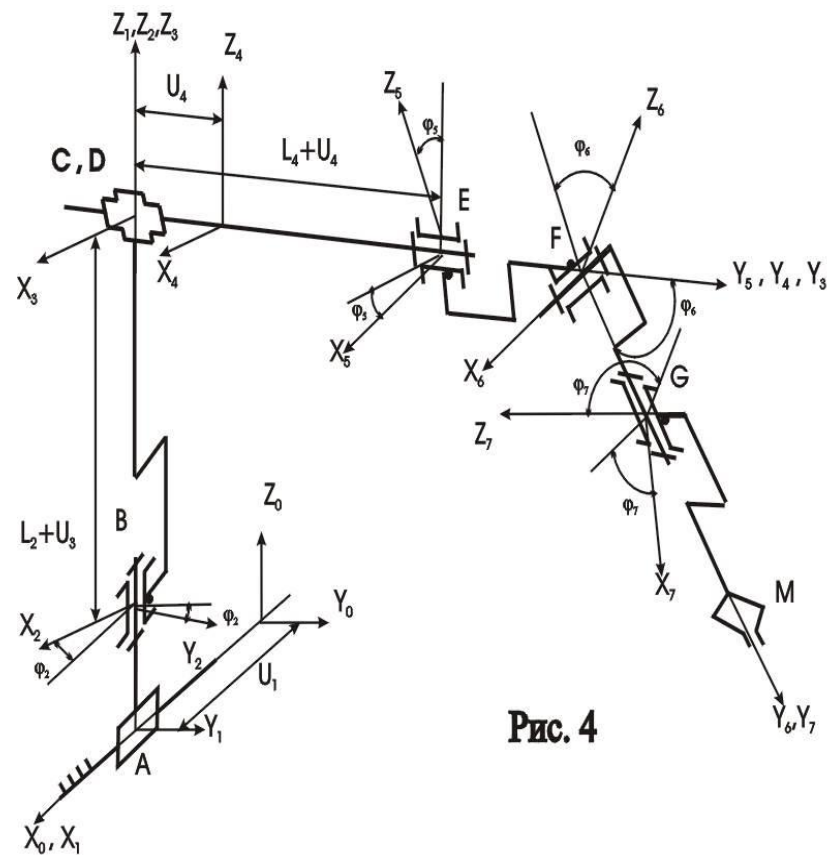
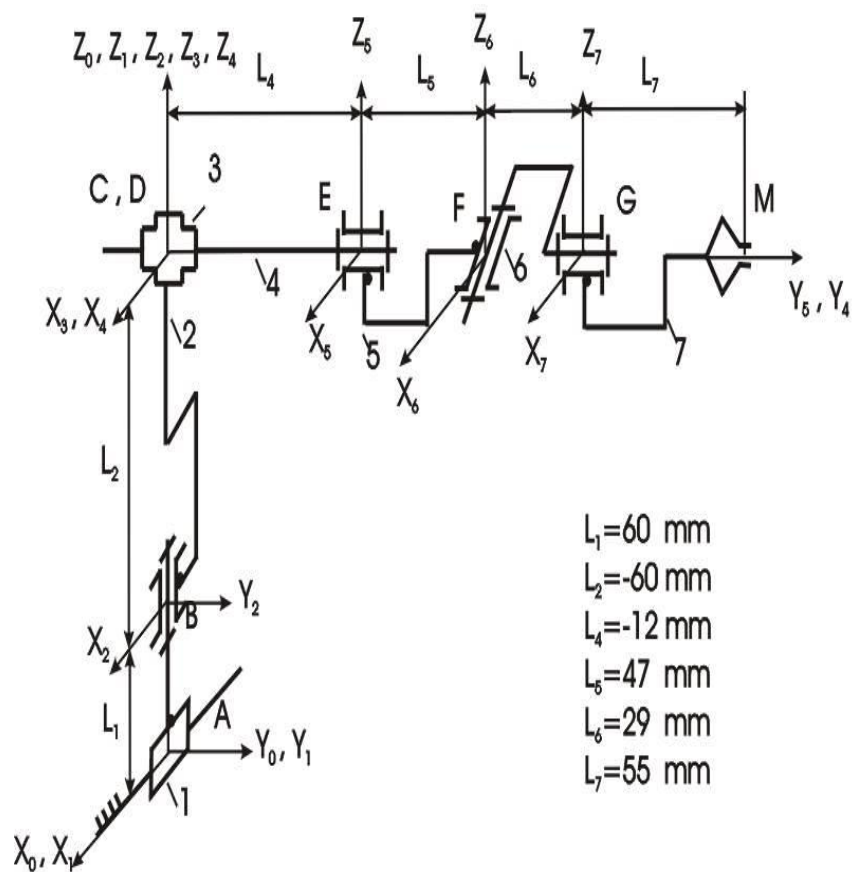


Рис. 4