

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Ижевский государственный технический университет
имени М. Т. Калашникова»



Кафедра «Мехатронные системы»

Курс «Механика роботов и мехатронных модулей»

Тема «Структурный анализ и синтез механизмов»

Автор Зубкова Ю.В., старший преподаватель

Структура курса «Механика роботов и мехатронных модулей»

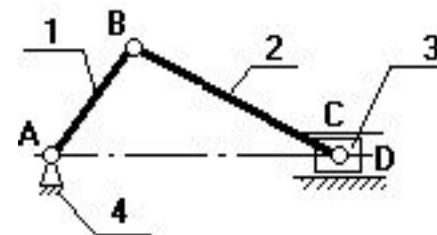
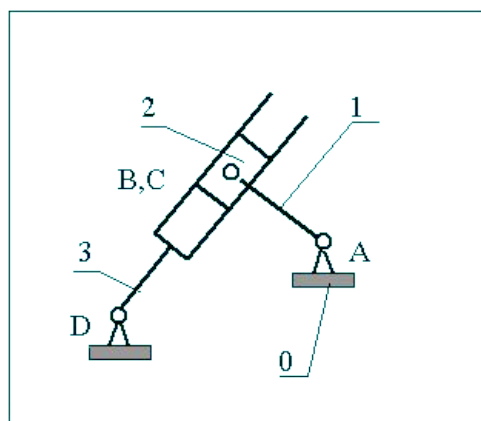
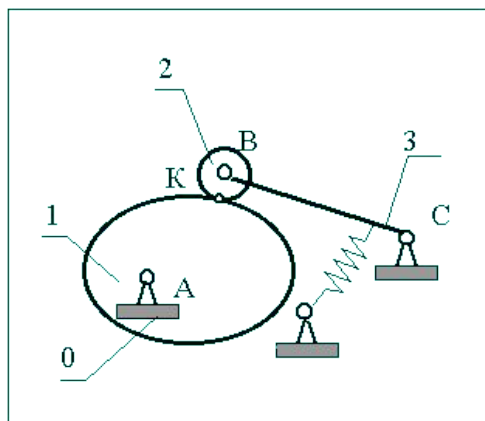
- **Лекции – 32 часа**
- **Лабораторные работы – 32 часа**
- **Самостоятельная работа – 96 часов**
- **Экзамен**

Цели и задачи курса «Механика роботов и ММ»

- 1. Изучить особенности пространственных незамкнутых механизмов.
- 2. Изучить особенности мехатронных модулей движения (ММД).
- 3. Изучить двигатели и преобразователи движения роботов и мехатронных модулей (ММ).
- 4. Изучить вопросы кинематической точности и надежности роботов и мехатронных модулей.

Основные понятия и определения

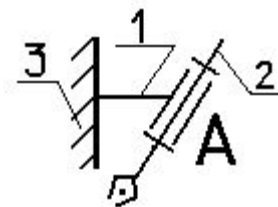
- **Механизм** – совокупность подвижных материальных тел, одно из которых закреплено, а все остальные совершают вполне определенные движения, относительно неподвижного материального тела.
- **Звенья** – материальные тела, из которых состоит механизм.
- **Стойка** – неподвижное звено.
- **Кинематическая пара** – подвижное соединение звеньев, допускающее их относительное движение. Все кинематические пары на схеме обозначают буквами латинского алфавита, например А, В, С и т.д.



Основные понятия и определения (продолжение)

Машины условно можно разделить на виды:

- энергетические;
- технологические;
- транспортные;
- информационные.



Энергетические машины разделяют на:

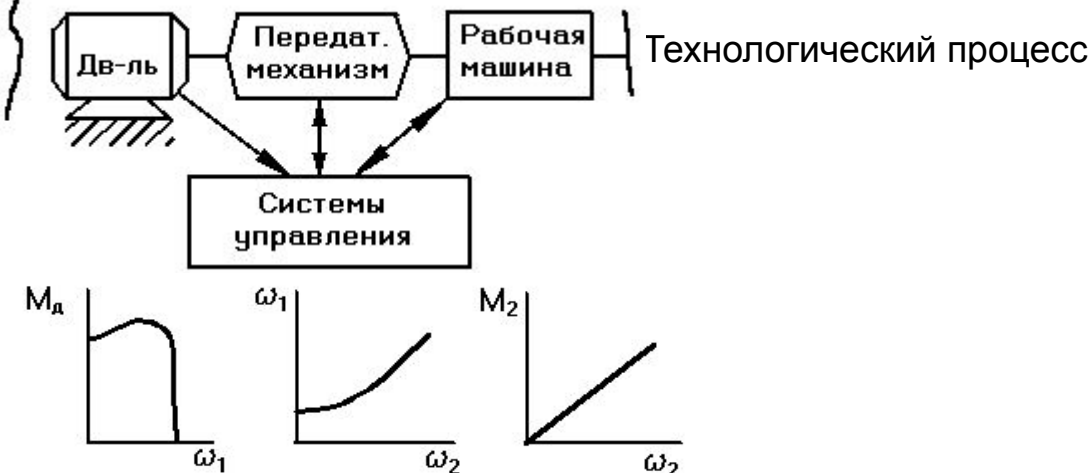
- двигатели;
- трансформирующие машины.

Техническое объединение двигателя и технологической (рабочей машины) -

Машинный агрегат (МА).

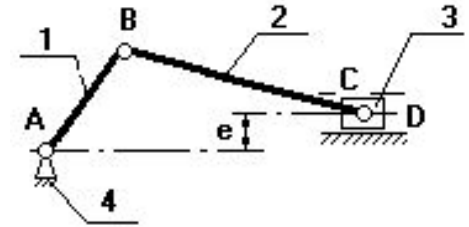
Внешняя среда

ω_1 - скорость, с которой вращается вал двигателя;
 ω_2 - скорость, с которой будет вращаться главный вал рабочей машины.

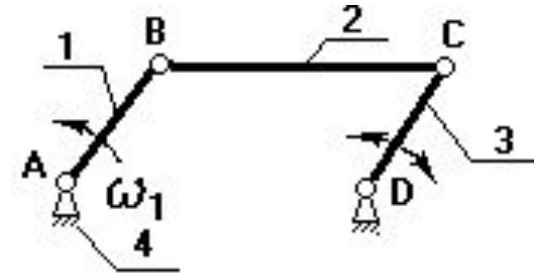


Основные виды рычажных механизмов

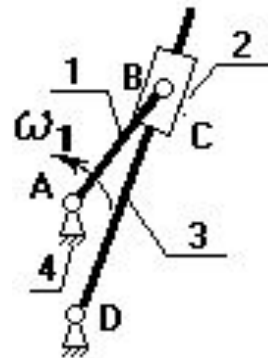
1. Кривошипно-ползунный механизм:
 e – эксцентриситет



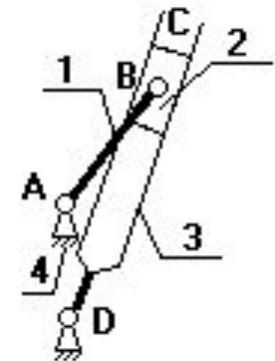
2. Четырёхшарнирный механизм.



3. Кулисный механизм.



4. Гидроцилиндр.

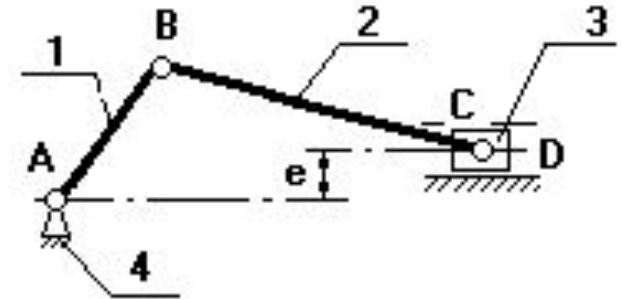


Анализ рычажных механизмов

Кривошипно-ползунный механизм

Звенья механизма

№	Название	Вид движения	Особенности движения
0	стойка	-	-
1	кривошип	вращательное	полный оборот
2	шатун	сложное	плоско-параллельное
3	ползун	поступательное	возвратно-поступат.



Кинематические пары

Обозначения	Звенья	Название	Класс
A	0-1	вращательная	5(Н)
B	1-2	вращательная	5(Н)
C	2-3	Вращательная	5(Н)
D	3-0	поступательная	5(Н)

Степень подвижности механизма

$$W = 3n - 2P_n - P_v = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 4 - 0 = 1$$

Классификация кинематических пар по числу связей и по подвижности

Число связей	Класс КП	Число подвижностей
$S=1$	PI	$H=5$
$S=2$	PII	$H=4$
$S=3$	PIII	$H=3$
$S=4$	PIV	$H=2$
$S=5$	PV	$H=1$

Кинематические пары разделяют на:

- **низшие:**

- вращательные;
- поступательные;

- **высшие.**

Структура механизмов

- **Структура механизма** – это совокупность его элементов и отношений между ними, т.е. совокупность звеньев, групп или типовых механизмов и подвижных или неподвижных соединений.

Структурная схема механизма

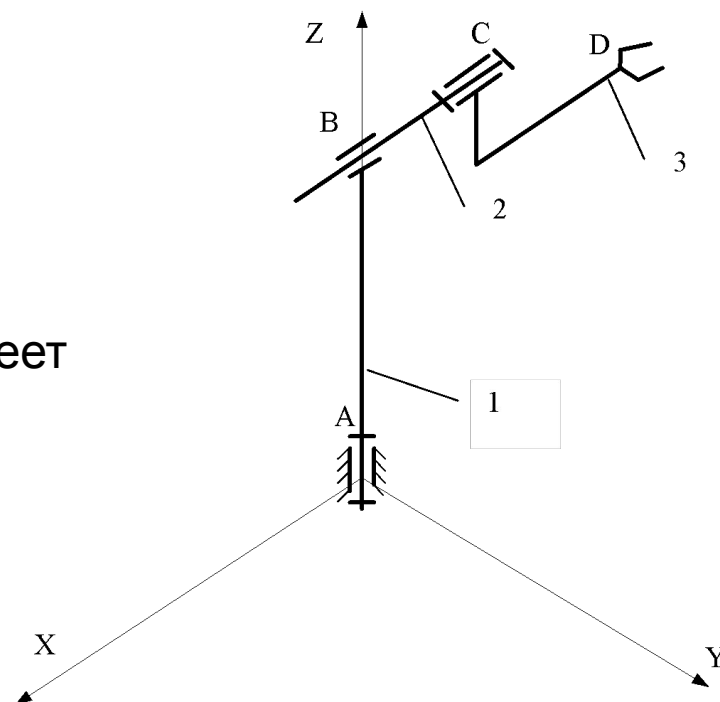
Число степеней свободы механизма:

$$W = S + H,$$

где S – условия связи;

H – неподвижность.

Любое незакреплённое тело в пространстве имеет **6 степеней свободы**, на плоскости – **3**.



Структурный анализ

- **ФОРМУЛА ЧЕБЫШЕВА** (для плоских механизмов):

$$W_{пп} = 3n - 2p_n - p_v,$$

где n – число подвижных звеньев механизма,

p_n – число низших КП,

p_v – число высших КП.

Расчёт для КПМ

$$n=3, p_n=4, p_v=0$$

$$W = 3*3 - 2*4 = 1$$

В случае пространственного механизма:

$$W_{пр} = 6n - (S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5)$$

$$W_{пр} = 6n - (5p_v + 4p_{iv} + 3p_{iii} + 2p_{ii} + p_i)$$

$$W_{пр} = 6*3 - 5*4 = -2 \quad \square \quad \text{статически неопределимая ферма.}$$

Для получения $W_{действ}=0$, необходимо добавить 3 движения.

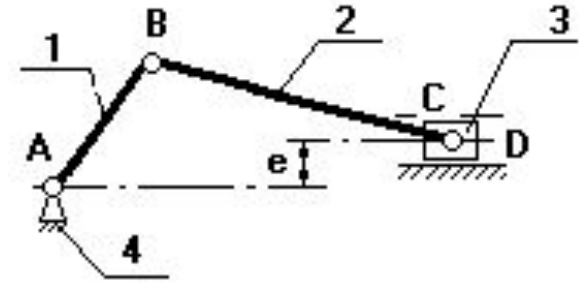
$$q = W_{действ} - W_{пр} = 1 - (-2) = 3,$$

где q – избыточные связи.

$$\text{Тогда } W_{пр} = 6*3 - (5*2 + 4*1 + 3*1) = 18 - 17 = 1$$

ФОРМУЛА СОМОВА-МАЛЫШЕВА:

$$W_{пр} = 6*n - \sum_{i=1}^n S_i + q$$



Незамкнутые пространственные механизмы

Манипулятор

Степень подвижности манипулятора

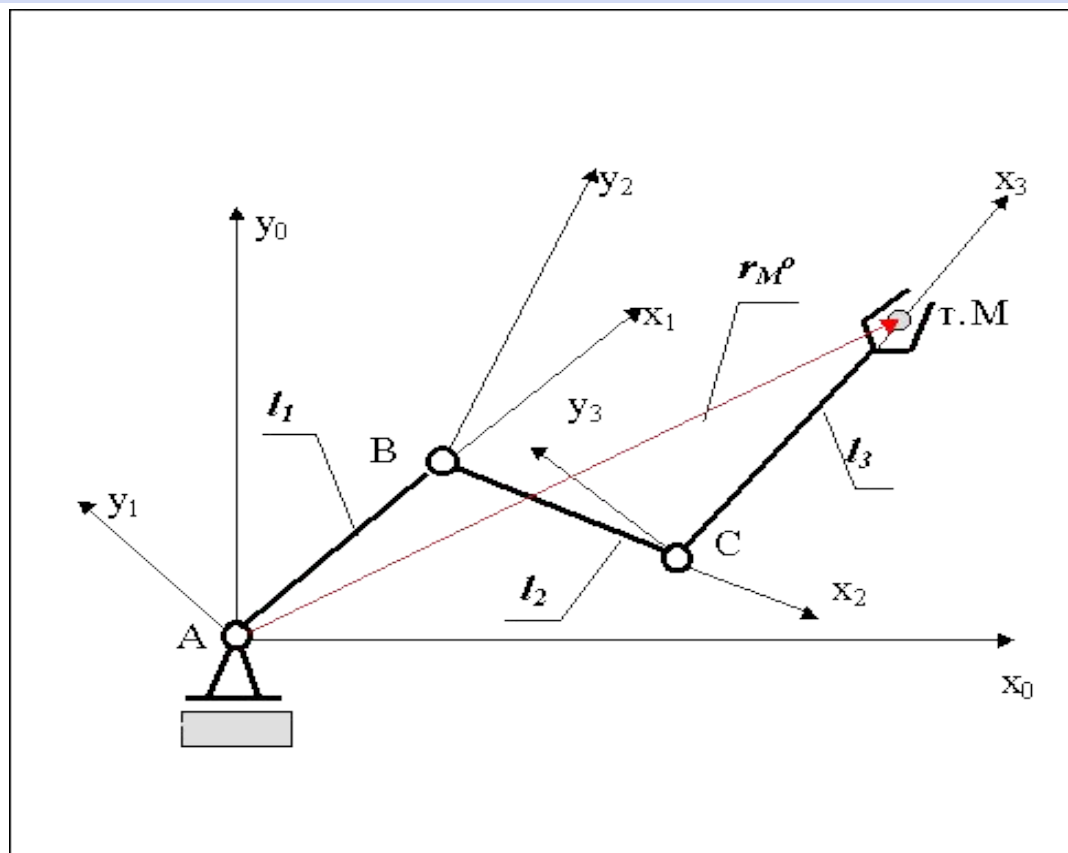
Для плоского случая:

$$W_{np} = 6 \cdot 3 - (5 \cdot 3 + 4 \cdot 0 + 3 \cdot 0) = 18 - 15 = 3$$

Для пространственного случая:

$$W_{np} = 6 \cdot 3 - (5 \cdot 1 + 4 \cdot 1 + 3 \cdot 1) = 18 - 12 = 6$$

Для каждого манипулятора определяется **формула строения**.



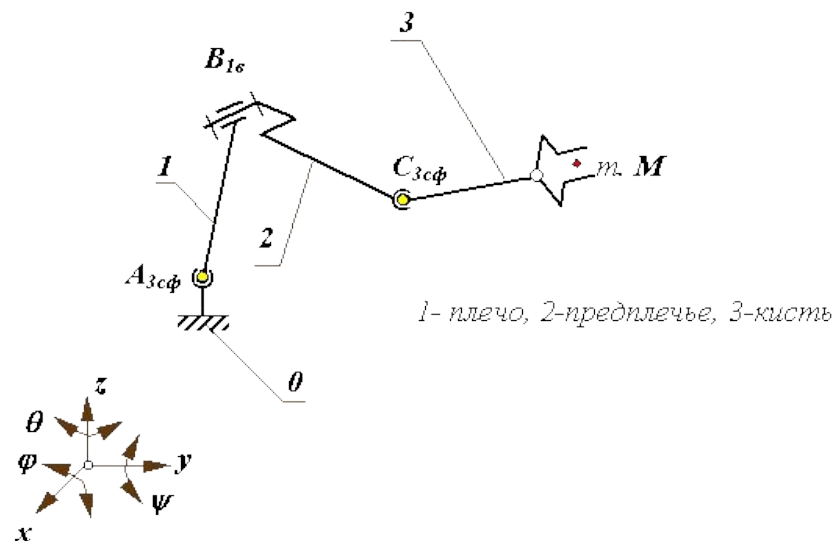
Структура манипуляторов

Движения, которые обеспечиваются манипулятором, делятся на:

- **глобальные** (для роботов с подвижным основанием)
- **региональные** (транспортные)
- **локальные** (ориентирующие)

Этот механизм состоит из **трех подвижных звеньев** и **трех кинематических пар**:

двух трехподвижных сферических $A_{3сф}$ и $C_{3сф}$ и одной одноподвижной вращательной $B_{1в}$.



Антропоморфный манипулятор

Рабочее пространство и зона обслуживания манипулятора

- **Рабочее пространство манипулятора** - часть пространства, ограниченная поверхностями огибающими к множеству возможных положений его звеньев.

Зона обслуживания манипулятора - часть пространства, соответствующая множеству возможных положений центра схвата манипулятора.

- **Подвижность манипулятора W** – число независимых обобщенных координат однозначно определяющее положение схвата в пространстве.

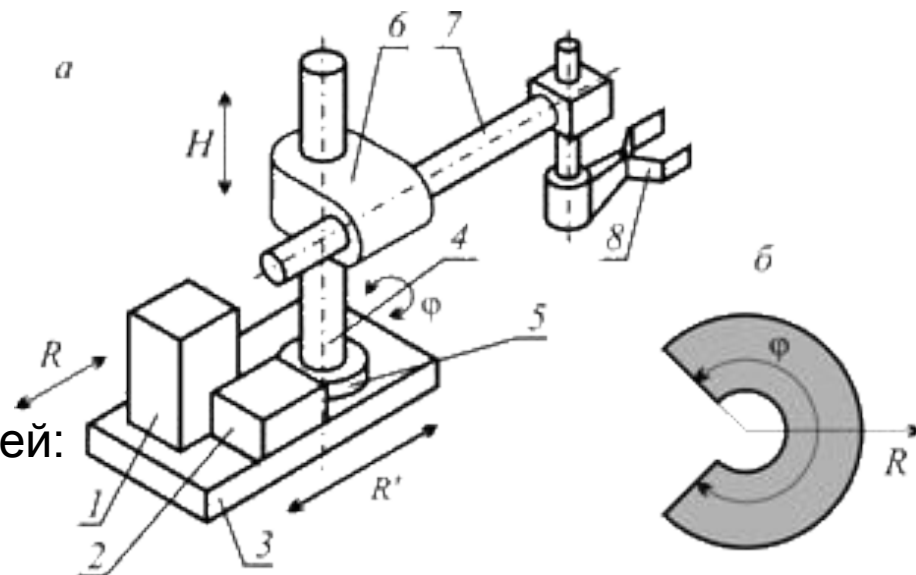
$$W = 6 \cdot n - \sum_{i=1}^s (6 - i) \cdot p_i$$

или для незамкнутых кинематических цепей:

$$W = \sum_{i=1}^s i \cdot p_i$$

Маневренность манипулятора M –

подвижность манипулятора при зафиксированном (неподвижном) схвате.



Определение подвижности манипулятора

Для данного манипулятора определяем:

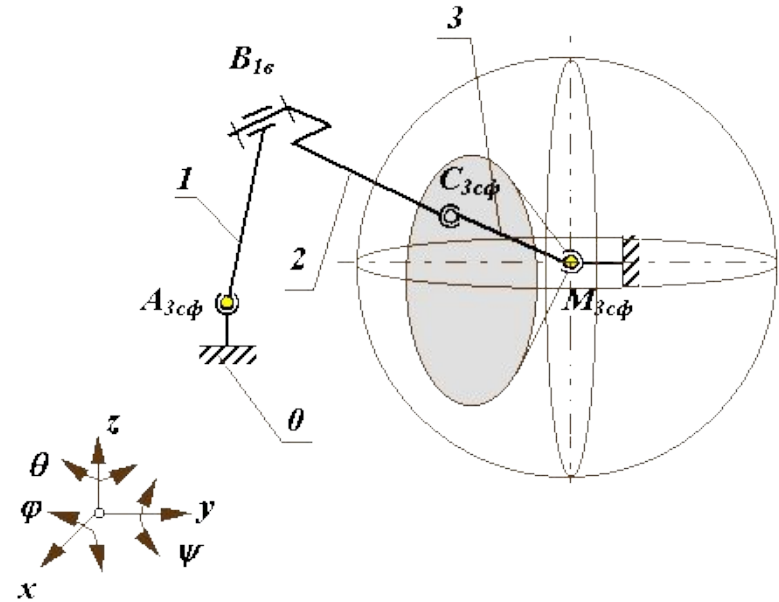
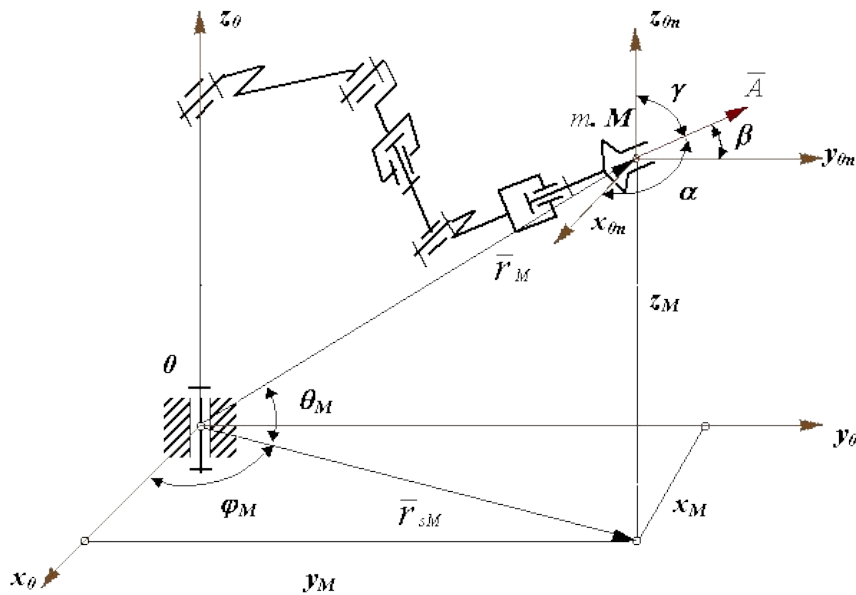
ПОДВИЖНОСТЬ МЕХАНИЗМА:

$$W = 6 * 3 - (3 * 2 - 5 * 1) = 18 - 11 = 7;$$

маневренность: $M = 7 - 6 = 1$;

формула строения:

$$W = [q_{10} + j_{10} + y_{10}] + j_{21} + [q_{32} + j_{32} + y_{32}].$$



Структурный анализ манипулятора

Задачи:

1. Определить количество подвижных звеньев и класс всех кинематических пар для кинематической схемы манипулятора.
2. Определить степень подвижности механизма.

$$S_A = 6 - H = 6 - 1 = 5.$$

$$S_B = 6 - H = 6 - 1 = 5.$$

$$S_C = 6 - H = 6 - 1 = 5.$$

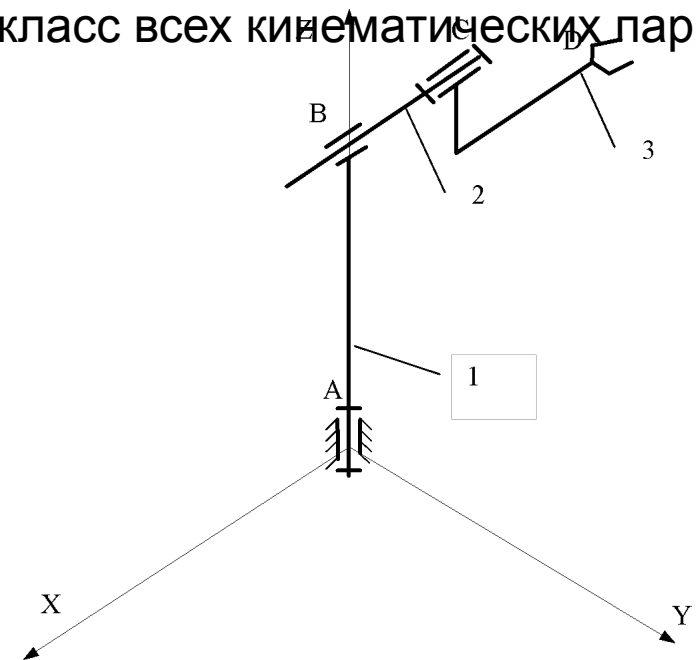
Точка D – схват манипулятора.

Степень подвижности манипулятора:

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

где n – число звеньев,

p_5 – количество кинематических пар пятого класса.



Задача синтеза механизмов вызывает наибольший интерес у конструкторов.

Синтез – проектирование механизма.

Три стадии синтеза рычажных механизмов:

1. Синтез структурной схемы.
2. Метрический синтез.
3. Динамический синтез.

В инженерной практике: модель шарнирного четырехзвенника.

В зависимости от того, какое звено принято за неподвижное, а какое – за входное, изменяются основные свойства механизма: механизм может быть **кривошипно-коромысловым**, двухкривошипным, двухкоромысловым. Наибольшее применение находит кривошипно-коромысловый механизм.

Условия существования кривошипа:

- 1. Кривошип есть наименьшее звено.
- 2. Сумма длин наименьшего и наибольшего звеньев меньше суммы длин двух других звеньев (теорема Грасгофа).

Задачи структурного синтеза

Задачи, которые решают современные роботы, разнообразны, а, следовательно, и структура этих устройств также различна и многообразна.

Целенаправленный научный синтез **рациональных схем механизмов роботов и манипуляторов** возможен только тогда, когда будут построены строгие структурные математические модели механизмов с незамкнутыми кинематическими цепями.

Структурная математическую модель простых роботов и манипуляторов с незамкнутой кинематической цепью:

$$W = \sum_{i=1}^{P-1} ip_i ;$$

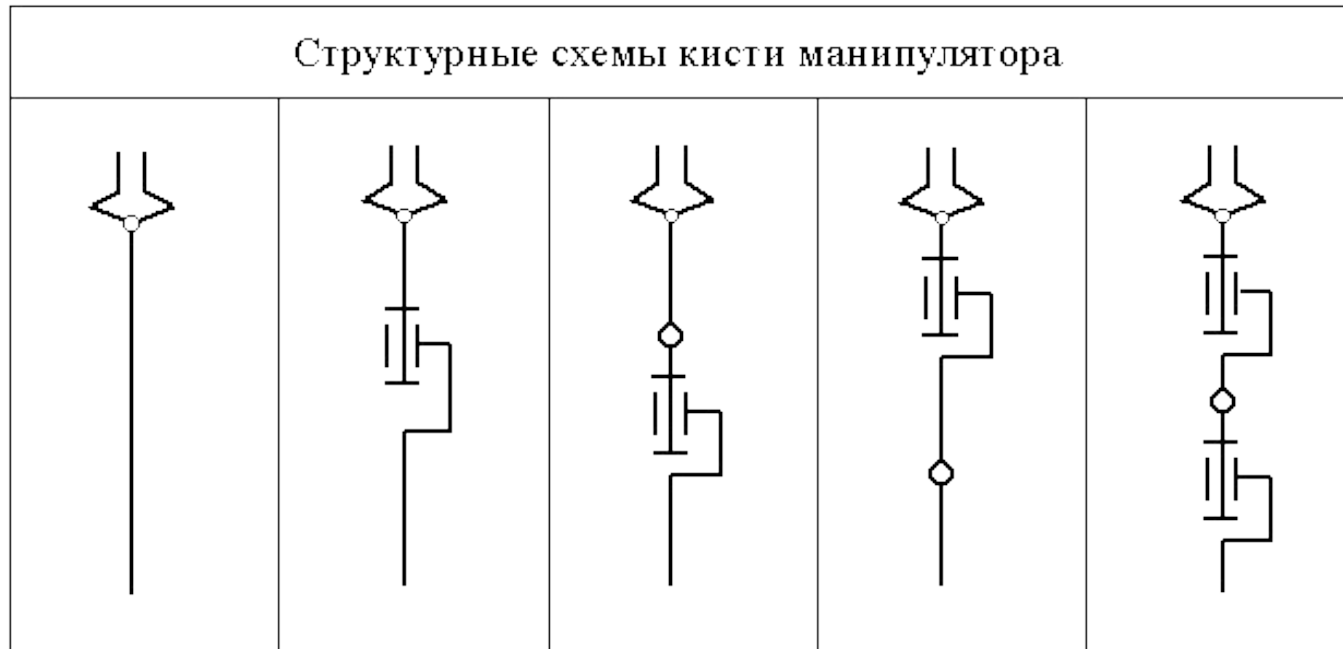
$$p = n;$$

$$p = \sum_{i=1}^{P-1} ip_i$$

Анализ модели показывает, что синтез простых роботов и манипуляторов можно проводить, если задаться их подвижностью и пространством, в котором они будут существовать, либо числом звеньев (кинематических пар).

Структурный синтез кисти манипулятора

Перемещение схвата в пространстве можно обеспечить, если ориентировать оси первых трех кинематических пар по осям одной из осей координат. Выбор системы координат определяет **тип руки манипулятора** и **вид его зоны обслуживания**.

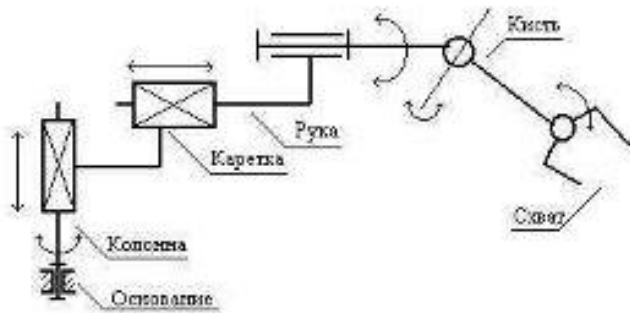
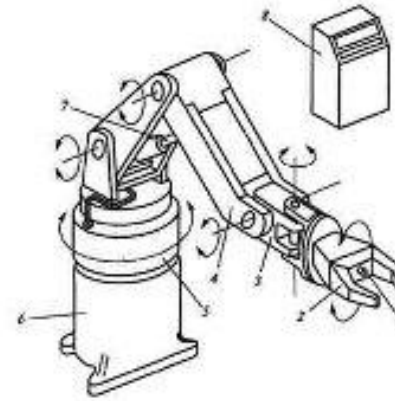


Структурные схемы механизмов кисти, применяемые в манипуляторах

Примеры рабочих органов роботов



Клешня робота



Заключение

Важная **особенность манипуляторов** - изменение структуры механизма в процессе работы.

Эти структурные особенности манипуляторов необходимо учитывать при программировании работы **промышленного робота**.

Структурный анализ заключается в разложении механизма на структурные группы и начальные звенья.

Целью структурного анализа является определение числа и названия звеньев, числа и классов кинематических пар, степеней подвижности, классов и порядка структурных групп, классов механизма в целом, формулы строения (порядка сборки).

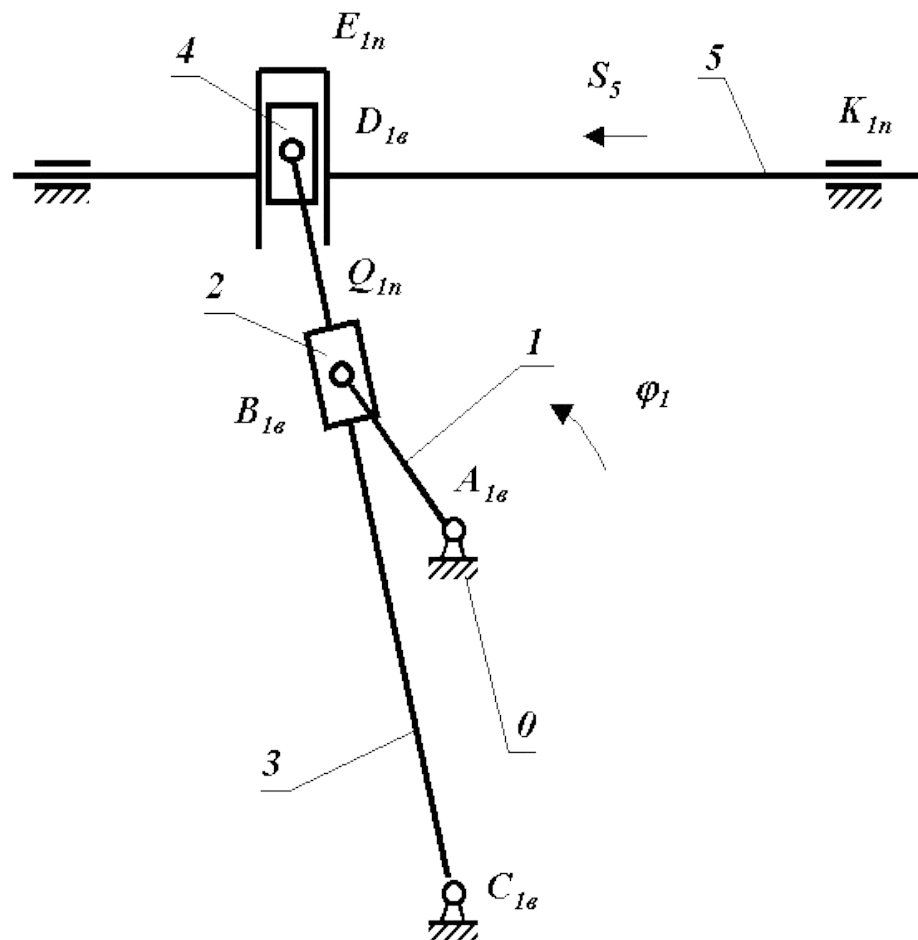
Основой служит **структурная схема механизма**.

Под **синтезом** понимается проектирование механизма.

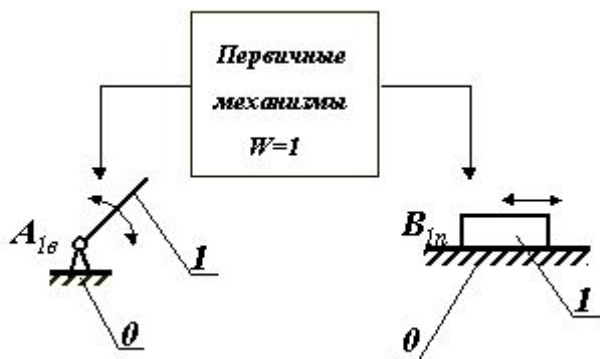
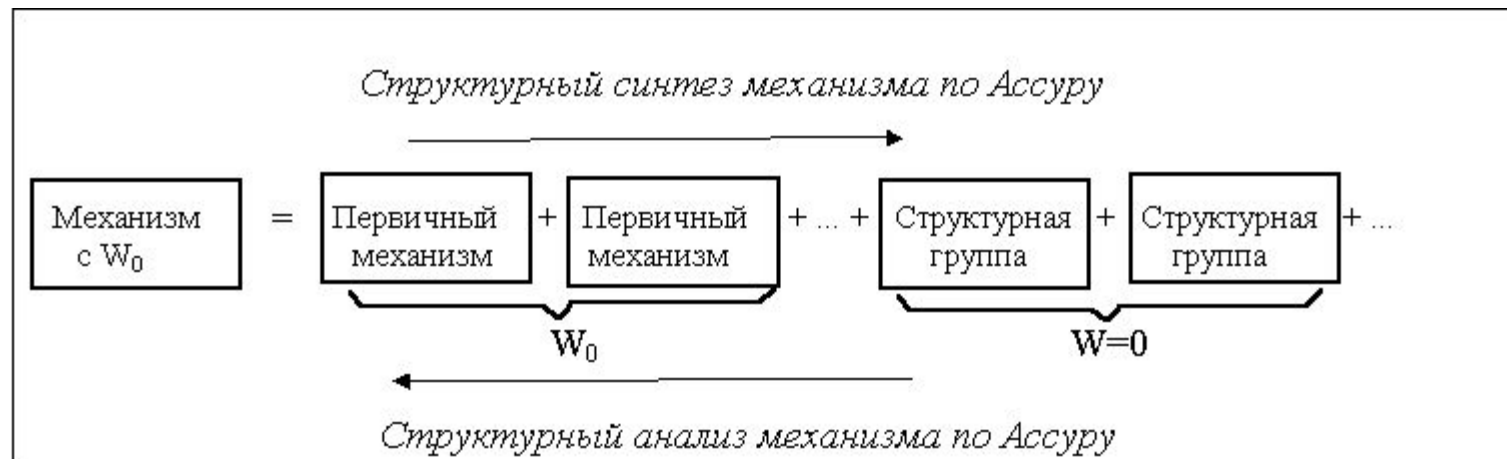
Синтез механизма содержит три стадии: синтез структурной схемы, метрический синтез и динамический синтез.

Структурный синтез сводится к выбору механизма, удовлетворяющего общим требованиям к нему.

Решение задач



Структурная классификация механизмов по Ассур Л.В.



Классы простейших групп по Ассуру и по Артоболовскому

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

© ФГБОУ ВПО ИжГТУ имени М.Т. Калашникова, 2014

© Зубкова Юлия Валерьевна, 2014