

Лекция 1

1.1 Введение

Теория механизмов и машин является общинженерной дисциплиной, играющей роль связывающего звена между циклом общенаучных и общинженерных дисциплин. Вместе с курсом теоретической механики, сопротивления материалов и деталей машин она образует группу предметов, обеспечивающих общинженерную подготовку и закладывающих фундамент инженерного образования машиностроительного профиля.

Курс *Теории механизмов и машин (ТММ)* иногда называют механикой машин, тем самым подчеркивая, что это специальный раздел механики, изучающий присущими механике методами системы машин и механизмов.

ТММ изучает общие свойства механизмов и машин, дает общие методы их проектирования, пригодные для различных областей техники. ТММ обычно ограничивается только схемными решениями, так как именно схемы определяют основные параметры механизма. Никакими конструктивными и технологическими улучшениями нельзя исправить недостатки схемы. Сведения, содержащиеся в курсе ТММ, важны не только для конструкторов, но и для эксплуатационников, так как грамотная эксплуатация возможна только при четком понимании принципов работы и основных свойств машин.

Все задачи курса ТММ можно условно разделить на две категории: задачи **анализа** и задачи **синтеза**.

Анализ состоит в исследовании кинематических и динамических свойств механизма по заданной схеме механизма и заданным размерам. Задача **синтеза** является обратной по отношению к задаче анализа. Однако не всегда существуют методы прямого решения задачи синтеза. Поэтому при проектировании приходится прибегать к многократному повторению задачи анализа, с тем, чтобы выбрать из рассматриваемых вариантов наилучший.

Наиболее значительный вклад в развитие теории механизмов и машин внес академик **И.И.Артоболевский**. Им, например, создан первый учебник по ТММ. Составлен многотомный справочник **«Механизмы в современной технике»**, являющийся своего рода энциклопедией по механизмам.

Само название курса указывает на то, что делается различие между понятиями **«механизм»** и **«машина»**. Содержание этих понятий изменялось в процессе развития техники. К настоящему времени утвердились следующие определения:

«Машина» есть устройство, выполняющее механические движения для преобразования энергии, материалов и информации с целью замены или облегчения физического и умственного труда человека».

«Механизм» есть система тел, предназначенная для преобразования движения одного или нескольких тел в требуемое движение других тел»

Из этих определений следует, что в машине происходит преобразование энергии, материалов или информации, а в механизме –

только преобразование параметров или одного вида механического движения в другой. Как правило, механизмы входят составными частями в машину, так что понятие «машина» является более широким, чем «механизм».

Машины принято делить на

- энергетические (электродвигатели, турбины, двигатели внутреннего сгорания, паровые машины);
- технологические (металлорежущие станки, машины текстильного производства, т.е. все те устройства, посредством которых выполняются преобразования формы и свойств материалов);
- транспортные (автомобили, самолеты, локомотивы, подъемные краны, лифты);
- информационные (устройства для переработки информации, например механические калькуляторы, дифференцирующие и интегрирующие устройства а также компьютеры;
- машины-автоматы (устройства, в которых преобразование энергии, материалов или информации осуществляется без участия человека)
- манипуляторы (устройства, воспроизводящие двигательные функции человеческих рук).

В зависимости от состояния тел передающих движение – твердого, жидкого или газообразного, ***механизмы принято делить на***

- механизмы с твердыми звеньями;
- гидравлические механизмы;
- пневматические механизмы.

В курсе ТММ подробно рассматривается первый тип механизмов, гидравлические и пневматические механизмы подробно изучаются в специальных курсах.

1.2 Основные понятия и определения теории механизмов и машин.

Звено - одна или несколько жестко связанных между собой деталей. Все детали, входящие в звено, движутся как одно целое.

Стойка - звено, относительно которого изучается движение остальных звеньев механизма. Пользуясь языком теоретической механики, можно сказать, что со стойкой связана система координат, относительно которой рассматривается движение остальных звеньев механизма

Входное звено - звено, которому сообщается движение, преобразуемое затем в требуемые движения других звеньев.

Выходное звено - звено, которое совершает движение, для которого и предназначен механизм. Входное звено соединено с двигателем, выходное – с рабочим органом машины.

Остальные звенья, участвующие в передаче движения называются ***промежуточными***. Чаще всего применяют механизмы с одним входным и одним выходным звеном, но бывают механизмы и с большим числом таких звеньев – их называют ***дифференциалами***.

Кинематической парой называется соединение двух звеньев, допускающее их относительное движение. Следует подчеркнуть, что кинематическая пара это не два звена, а одно соединение.

Элементы кинематической пары - точки, линии, поверхности, по которым происходит соприкосновение звеньев в кинематической паре.

Структурная схема механизма - упрощенное графическое изображение механизма, на котором звенья условно изображаются отрезками прямых, треугольниками, прямоугольниками, окружностями и обозначаются арабскими цифрами, а кинематические пары условно изображаются в соответствии с принятыми правилами, отражёнными в стандартах и обозначаются большими латинскими буквами.

Кинематическая схема - структурная схема, построенная с соблюдением относительных размеров звеньев в некотором масштабе.

Конструктивная схема – изображение механизма с соблюдением основной формы деталей и относительных размеров (выполняют часто в аксонометрии).

1.2 Виды и классификация кинематических пар

Как известно из теоретической механики, свободное твердое тело, находящееся в трехмерном пространстве обладает 6-ю степенями свободы, т.е. может совершать 6 независимых движений: 3 поступательных вдоль выбранных осей и 3 вращательных вокруг этих же осей. Величины соответствующих перемещений называют **обобщенными координатами тела**. Если такое тело связать с другим телом посредством кинематической пары, то это уменьшит его число степеней свободы относительно связанного тела на число связей (запрещений), им налагаемых. Число связей определяется видом кинематической пары.

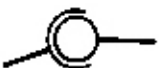
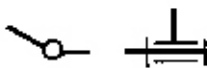
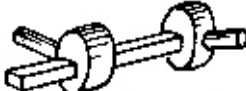
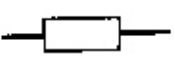
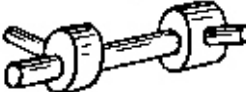
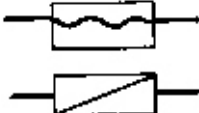
Класс	Изображение	Условное обозначение
3		
4		
5		
5		
4		
5		

Рис. 1.1

Основные виды кинематических пар и их условные изображения представлены на рис.1.1. Простейшие пары, поступательная и вращательная, накладывают 5 условий связей, оставляя возможным только одно поступательное или одно вращательное движение относительно оси пары.

Условие связи, как известно, выражается уравнением относительно обобщенных координат. Кинематические пары принято делить по числу условий связи на классы от 5-го до 1-го. Иногда их различают по числу степеней свободы на одно-, двух-, трех-, четырех-, и пяти-подвижные. Подвижность и класс каждой пары в сумме равны 6, т.е. числу степеней свободы свободного твердого тела. Таким образом класс и подвижность по разному характеризуют одно и то же свойство.

Кинематические пары по характеру движения делятся на плоские и пространственные. **В плоских парах** относительное движение происходит в плоскости (вращательная, поступательная).

По форме элементов кинематические пары делятся на низшие и высшие.

В низших парах элементами служат поверхности: плоскости, цилиндрические и сферические поверхности.

В высших парах элементами являются точки и линии.

Достоинство низших пар – повышенная долговечность соединения благодаря небольшим удельным нагрузкам на поверхность. В высших парах соприкосновение звеньев происходит на небольших площадках, что ведет к их ускоренному износу. Посредством низших пар можно осуществлять относительно простые движения, высшие пары представляют в этом отношении большие возможности.

1.3 Кинематическая цепь. Кинематическое соединение

Кинематическая цепь - это система звеньев, образующих между собой кинематические пары. В зависимости от того, какие кинематические пары присутствуют в цепи и как они расположены, различают плоские и пространственные кинематические цепи.

В плоской кинематической цепи все звенья движутся в одной или параллельных плоскостях (рис.1.2а.). Кинематическая цепь, звенья которой образуют замкнутый контур, называется **замкнутой** (рис.1.2б), если контур не замкнут, цепь называется **незамкнутой или открытой** (рис.1.2в). В традиционных механизмах обычно используются замкнутые кинематические цепи, незамкнутые цепи находят применение только в манипуляторах.

Механизм – это кинематическая цепь, в которой указаны стойка, входные и выходные звенья.

На основе кинематических цепей можно получать не только механизмы, но и устройства, заменяющие некоторые кинематические пары, так называемые **кинематические соединения**. Шарико- или роликоподшипник эквивалентен вращательной паре.

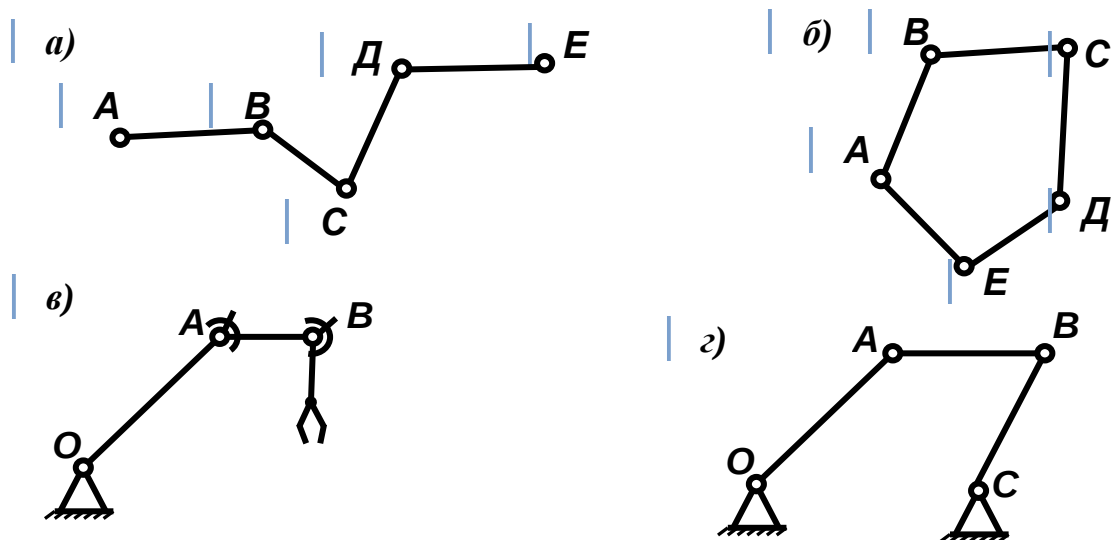


Рисунок.1.2

Роликовые направляющие заменяют поступательную пару. **Винтовая пара качения** заменяет обычную винтовую пару. **Карданный шарнир**, он же называется шарниром Гука или универсальным шарниром, заменяет сферическую пару с пальцем. Если вилку снабдить еще одной вращательной парой получим аналог сферической пары. Крестовое соединение допускает два поступательных движения без вращения.

1.4 Число степеней свободы механизма

Кинематическая цепь составляет основу каждого механизма. Важнейшей характеристикой кинематической цепи является число степеней свободы. В теоретической механике **под числом степеней свободы понимается** число обобщенных координат, т.е. независимых между собой параметров, определяющих положение системы в выбранном пространстве.

Обобщенными координатами механизма называются независимые между собой координаты, заданием которых определяется положение всех звеньев относительно стойки. Число обобщенных координат механизма равно его числу степеней свободы или по другой терминологии – **степени подвижности механизма**.

Пусть кинематическая цепь содержит n звеньев. До того как они были соединены посредством кинематических пар, система из n звеньев имела $6n$ координат. Каждая кинематическая пара класса m дает m уравнений связей относительно координат. Разность между числом координат и числом уравнений связей дает число независимых координат:

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

Здесь W – число степеней свободы механизма,
 n – число подвижных звеньев,
 p_1 – число пар 5-го класса (одноподвижных),
 p_2 – число пар 4-го класса,
 p_3 – число пар 3-го класса и т.д.

Эта формула известна как **формула Сомова-Малышева**. Для плоского механизма аналогичные рассуждения приводят к **формуле Чебышева**:

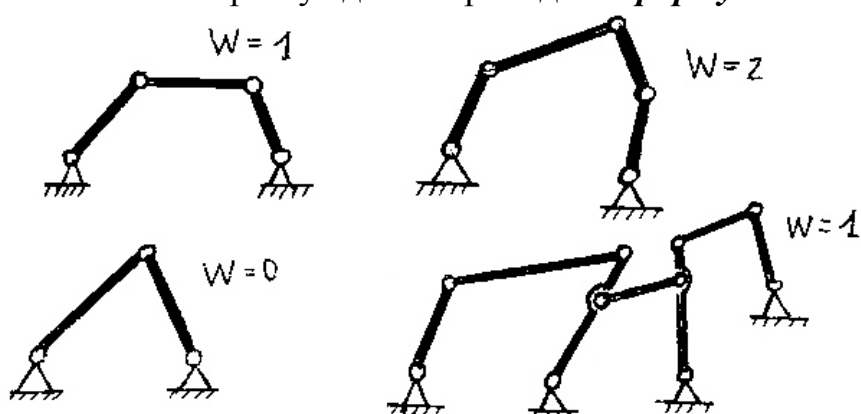


Рис1.3

$$W = 3n - 2p_1 - p_2$$

на рисунке 1.3 представлены примеры кинематических цепей с различными степенями подвижности.

Звенья, которым приписываются обобщенные координаты, называются начальными. Обычно они совпадают с входными звеньями, однако есть случаи, когда за начальное звено принимают выходное или даже промежуточное – это упрощает исследование механизма. Число степеней свободы механизма определяет число начальных звеньев. Чаще всего применяют механизмы с $W = 1$.

Для пространственного механизма с одноподвижными парами из формулы Сомова-Малышева следует

$$1 = 6n - 5p_1$$

В механизмах могут встречаться **избыточные связи**. Избыточными называются такие связи, устранение которых не увеличивает числа степеней свободы механизма. Избыточные связи делают механизм более жестким, однако требуют повышенной точности изготовления. В плоских механизмах избыточные связи возникают из-за неточности изготовления звеньев, приводящей к неплоскостности схемы. Избыточные связи в механизмах устраняются путем изменения подвижности кинематических пар.

1.5 Классификация плоских механизмов с низшими парами

Механизмы с низшими парами находят широкое применение в технике. Их принято называть **рычажными**.

Рассмотренный ранее четырехзвенный механизм является простейшим из них. Более сложные механизмы можно получать, используя метод наложения групп звеньев.

Каждый механизм с $W=1$ можно рассматривать состоящим из механизма 1-го класса и присоединенных к нему структурных групп.

Под **механизмом 1-го класса** понимается начальное звено со стойкой. Механизм 1-го класса имеет $W=1$.

Структурной (ассуровской) группой называется такая группа звеньев, которая, будучи присоединенной к стойке, образует кинематическую цепь с $W=0$. Отсюда следует, что

$$0 = 3n - 2p_1$$

Это выражение - уравнение структурной группы. Его можно представить в виде:

$$P_1 = 1.5n$$

В структурной группе число звеньев четное, а число кинематических пар в 1.5 раза больше числа звеньев. Задаваясь разным n , можно получить бесконечно большое число решений (рис.1.6). Практическое значение имеют только **двухповодковая группа (диада)**, и **трехповодковая группа (трехповодок)**. **Диада** содержит два звена и три кинематические пары. **Трехповодок** содержит четыре звена и шесть кинематических пар. За счет разного сочетания вращательных и поступательных пар возникают модификации групп.

п	р	
2	3	
4	6	
6	9	

Рис.1.6

По предложению академика И.И.Артоболевского группам и механизмам присвоены классы. **Класс группы** равен числу кинематических пар, входящих в замкнутый контур, образованный внутренними парами. На этом основании диаду считают группой 2-го класса, а трехповодок – 3-го класса. **Класс механизма равен классу старшей группы.**

Основное свойство групп состоит в том, что она не изменяет степени подвижности кинематической цепи, к которой она присоединяется. Практическое применение находят механизмы 2-го и реже – 3-го класса.

1.6 Разновидности четырехзвенных рычажных механизмов

В технике наибольшее распространение получили плоские четырехзвенные механизмы. Они образуются путем присоединения к механизму 1-го класса диады. Известно пять модификаций диады, соответственно этому имеются **модификации четырехзвенных механизмов**.

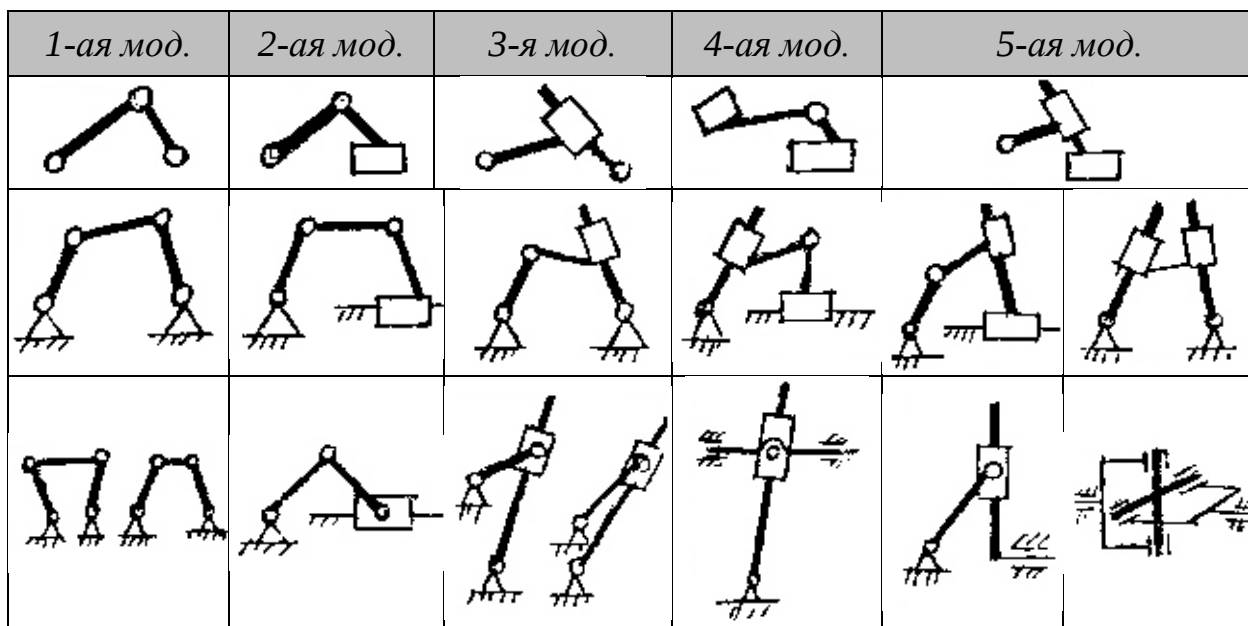


Рис.1.5

Механизм 1-ой модификации – **шарнирный четырехзвенник**. Он применяется для изменения параметров вращательного движения или для воспроизведения сложных траекторий.

В зависимости от соотношения размеров стойки и остальных звеньев возможны три **разновидности шарнирного четырехзвенника**: **кривошипно-коромысловый механизм**, **двухкривошипный механизм**, **двухкоромысловый**.

Звеньям этих механизмов присвоены специальные названия: **кривошип** – **звено**, совершающее полный поворот, **коромысло** – **звено**, совершающее неполный поворот, **шатун** – **звено**, не образующее кинематических пар со стойкой.

Механизм 2-ой модификации – **кривошипно-ползунный**. Он применяется для преобразования вращательного движения в поступательное и обратно. **Ползун** – **звено**, образующее поступательную пару со стойкой (направляющей).

Механизм 3-ей модификации получил название **кулисного**. Кулисные механизмы предназначены для изменения параметров вращательного движения. Известны **разновидности кулисного механизма**: **с качающейся кулисой** и **вращающейся кулисой**.

Кулиса – **звено**, образующее с другим подвижным звеном, обычно называемым **камнем**, поступательную пару;

Механизм 4-ой модификации получил название **тангенсного механизма**, т.к. перемещение ведомого звена представляет функцию $\operatorname{tg}\varphi$.

Механизм 5-ой модификации – **синусный механизм**, т.к. перемещение ведомого звена реализует функцию $\sin\varphi$. Присоединяя диаду 5-ой

модификации к механизму 1-го класса другим способом, можно получить **механизм Ольдгейма (крестовую муфту)**, который находит применение для передачи движения при несоосных валах.

1.7 Зубчатые, кулачковые, фрикционные механизмы.

Зубчатым называется механизм, в состав которого входят зубчатые колеса, т. е. звенья с периодически чередующимися выступами (зубьями) и впадинами. Зубья двух колес образуют высшую пару, т.к. касание происходит в точке или по линии вдоль зуба. На схемах зубья не показываются, а зубчатое колесо изображается, так называемой, начальной окружностью. Зубчатые механизмы входят в состав почти каждой достаточно сложной машины. **Назначение зубчатых механизмов** – уменьшение или увеличение угловой скорости и крутящего момента. Зубчатые механизмы, уменьшающие скорость, называются **редукторами**. Редукторы применяются в силовых передачах. Механизмы, увеличивающие скорость, называются **мультипликаторами**. Обычно они используются в приборах для увеличения точности отсчета. В зависимости от схемы **зубчатые механизмы делятся на: зубчатые ряды и планетарные механизмы**. Иногда зубчатые механизмы комбинируют с рычажными, в таком случае их называют **зубчато-рычажными**.

Кулачковым механизмом называется механизм, в состав которого входит кулачок, т.е. звено с переменной кривизной рабочей поверхности. Выходное звено кулачкового механизма называется **толкателем или колебателем**. Кулачок с выходным звеном образует высшую, кинематическую пару. Посредством кулачкового механизма можно осуществить движение по заданному закону, причем синтез таких механизмов относительно несложен.

Механизмы, в которых для передачи движения используются силы трения, называются **фрикционными**. Такие механизмы удобно применять в тех случаях, когда требуется плавно регулировать скорость выходного звена. Их называют **вариаторами**. Известны **дисковые, торовые, валиковые** и другие фрикционные вариаторы. Мощность, передаваемая фрикционными механизмами, невелика. К фрикционным механизмам относятся механизмы, в которых используются гибкие звенья типа ремней, канатов, нитей. Характерный пример представляет механизм, называемый **«ролямит»**.

Сравнительно недавно (в 1955 г.) была изобретена **волновая передача**, которая сейчас пользуется большой популярностью. Она во многом подобна планетарному механизму, однако работает на эффекте деформации упругого звена. Известны **зубчатые, винтовые, фрикционные волновые передачи**.