

СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ

Развитие современной науки и техники связано с созданием новых машин, предназначенных для повышения производительности и облегчения труда людей. При конструировании машин человек пользуется всеми достижениями современной науки. Наука, изучающая машины, в основе которых положены принципы механики, носит название «Теория механизмов и машин».

Механизм – это связанная система тел, обеспечивающая передачу и преобразование движений и сил до параметров, предусмотренных технологическим процессом. Тела, образующие механизм, называются его звеньями. Звено может состоять из одного или нескольких жестко соединенных *твердых тел*, называемых *детальями*. В современном машиностроении используется около трехсот наименований звеньев. Сюда относятся рычаги, кулачки, зубчатые колеса и т. д. Около 60 % машин в своей структуре имеют рычажные механизмы. Если в основу классификации звеньев рычажных механизмов положить вид относительного движения, то их число уменьшится до шести.

Целью данной работы является оказание помощи студентам при изучении строения механизмов, а также по выполнению и оформлению лабораторной работы «Составление структурных схем механизмов и их анализ».

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артоболовский, И. И. Теория механизмов и машин: учебник / И. И. Артоболовский. - М.: Наука, 1988. – 639с.
2. Левитский, Н. И. Теория механизмов и машин / Н.И. Левитский- М.: Наука, 1979. – 560с.
3. Юдин, В. А. Теория механизмов и машин / В. А. Юдин, Л. В. Петрокас. - М.: Высш. шк, 1977.-527с.
4. Озол, О. Г. Теория механизмов и машин / О. Г. Озол. - М.: Наука, 1984.- 542с.
5. Артоболовский, И. И. Сборник задач по теории механизмов и машин / И. И. Артоболовский, Б. В. Эдельштейн. -М.: Наука, 1975. - 327с.

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

1.1. Физические модели механизмов и машин

Приступая к исследованию (анализу) существующего и проектированию (синтезу) нового механизма, необходимо прежде всего ознакомиться с основными понятиями и изучить терминологию теории механизмов и машин.

Слова механизм и машина часто употребляются как синонимы для обозначения таких технических устройств, характерной особенностью которых является механическое движение.

Условимся называть *механизмом* систему твердых и деформированных тел, которая предназначена для преобразования движения одного или нескольких твердых тел в требуемое движение других твердых тел. С точки зрения механики, механизм является подвижной связанной механической системой.

В соответствии с вышеприведенными определениями многие технические устройства, например: двигатели, экскаваторы, металлообрабатывающие станки – по своему строению и принципу работы являются механизмами и комплексами механизмов. Понятие механизм не имеет тесной связи с применением того технического устройства, в состав которого он входит.

Например, кривошипно-шатунный механизм может использоваться в двигателях, компрессорах, прессах, штампах и т. д. Во всех названных устройствах структура механизма одинакова, поэтому нет необходимости рассматривать этот механизм применительно к конкретному техническому устройству, а достаточно изучить общие его свойства.

Изучение механизма начинается с построения *физической модели*, т. е. с идеализации его реальных свойств. Выбор тех или иных моделей зависит в первую очередь от задач исследования, от того, какие сведения о поведении механизма требуется получить в процессе анализа. Поэтому первая задача курса ТММ – научить основным правилам перехода от реального механизма к его расчетной схеме, а также требованиям, предъявляемым к физической модели: ее адекватности, математической разрешимости, максимальной простоте и т. п. Наиболее простой моделью реального механизма является модель, называемая *механизмом с жесткими звеньями*. Переход от реального механизма к этой модели основывается на предположении, что все звенья рассматриваются как *недеформируемые тела*, а их кинематические соединения реализуют *голономные, стационарные и удерживающие* связи.

На различных этапах конструирования машины один и тот же механизм описывается различными моделями, т. е. расчетными схемами.

Например, при решении задач структурного анализа и определении кинематических параметров аналитическим методом используется расчетная схема, вычерченная для произвольного положения механизма и без учета реальных размеров звеньев. При решении задач кинематического и силового анализа графическими методами расчетная схема вычерчивается для конкретного положения механизма с учетом реальных размеров звеньев.

В ряде случаев при исследовании машин используют более сложные модели механизмов, учитывающие зазоры в кинематических соединениях (*неудерживающие* связи), движение в шаровых соединениях (*неголономные* связи), силы трения (*неидеальные* связи), деформации звеньев (*упругие* связи) и т. п.

Понятие *машина* имеет самую тесную связь с ее применением. *Машиной* является техническое устройство, которое предназначено для механизации какого-либо процесса. В зависимости от вида механизмуемого процесса машины подразделяются на энергетические, технологические, транспортные, контрольные, управляющие и логические.

Энергетические машины разделяются на машины: двигатели (электродвигатели, тепловые, гидравлические и т. д.) и трансформирующие машины (компрессоры, генераторы и т. д.). Энергетические машины энергию разного вида (химическую, термическую) преобразуют в механическую, необходимую для работы технологической машины.

В большинстве случаев выходное звено двигателя, коленчатый вал ДВС или ротор электродвигателя вращаются с большой угловой скоростью, но имеют малый крутящий момент. Большинство технологических процессов выполняются при малых скоростях движения рабочих органов, для привода которых требуется большой крутящий момент.

Для устранения этого несоответствия между выходным валом двигателя и входным валом технологической (рабочей) машины (РМ) устанавливается механизм передач (МП) – редукторы, коробки передач и т. д.

Для изменения режима работы двигателя, механизма передач и рабочей машины они снабжаются механизмами управления.

Объединение двигателя с рабочей машиной – потребителем механической энергии - называют машинным агрегатом (рис. 1).

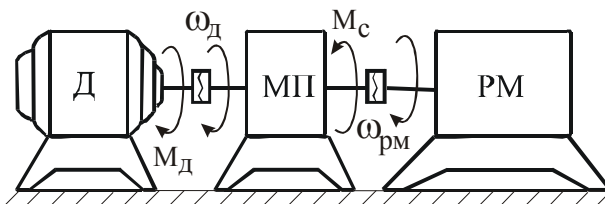


Рис. 1 Схема машинного агрегата:
 Д – двигатель; МП – механизм передач; РМ – рабочий механизм

1.2. Классификация звеньев механизма

1.2.1. Классификация звеньев

Составные части механизма называются элементами механизма. Чтобы механизм мог производить требуемые движения и передавать необходимые силы, несколько его элементов должны иметь достаточную жесткость, т. е. должны быть твердыми телами. Входящие в механизм твердые тела, образующие между собой подвижные соединения, называются звеньями механизма.

Название звеньев определяется их функциональным назначением и видом относительного движения.

Неподвижное звено механизма, служащее базой для крепления всех других звеньев, называется *стойкой* (станина станков, блок-картер двигателя, рама и т. д.).

В зависимости от характера движения звеньев относительно стойки они называются:

кривошипом – звено рычажного механизма, совершающего полный оборот вокруг оси, связанной со стойкой;

коромыслом – звено, совершающее неполный оборот вокруг оси, связанной со стойкой;

шатунном – звено рычажного механизма, совершающее плоскопараллельное движение;

ползуном – звено рычажного механизма, совершающее поступательное перемещение относительно стойки или другого звена;

кулисой – подвижное звено рычажного механизма, являющееся направляющей для ползуна (камня);

кулачком – звено, профиль которого, имея переменную кривизну, определяет закон движения ведомого звена (толкателя);

зубчатым колесом – звено с замкнутой системой зубьев, обеспечивающее за свой полный оборот непрерывное движение парного звена.

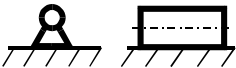
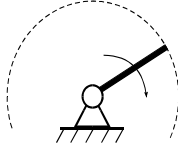
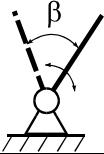
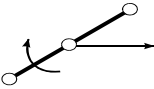
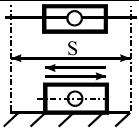
Условные изображения звеньев представлены в табл. 1 и 2.

Звенья механизма, к которым подводится механическая энергия, называются *входными*. Звенья механизма, выполняющие непосредственно технологический процесс, называются *выходными*, или *исполнительными*. Часто в качестве входных звеньев механизмов используется кривошипный вал, а в качестве исполнительного звена – ползун (например, нож режущего аппарата, комбайна, поршень компрессора).

В любом механизме подвижные звенья входят в соединения между собой или с неподвижным звеном так, что всегда имеет место возможность движения одного звена относительно другого.

Соединение двух соприкасающихся звеньев, допускающих их относительное движение, называется *кинематической парой*. Поверхности, линии и точки, по которым соприкасаются звенья, называются *элементами кинематических пар*. Все главные свойства механизма зависят от вида кинематических пар.

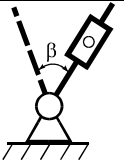
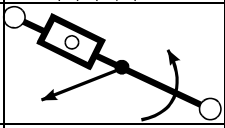
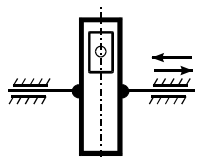
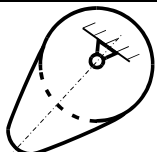
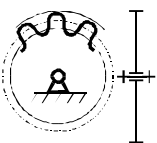
Таблица 1. Классификация звеньев механизма и их условные обозначения

Наименование	Эскиз	Движение	Особенности
Стойка		Отсутствует	–
Кривошип		Вращательное	Полный оборот вокруг оси вращения
Коромысло		Колебательное	Неполный оборот, возвратное движение
Шатун		Плоскопараллельное	Нет пар, связанных со стойкой
Ползун		Поступательное	Возвратное движение

1.3. Кинематические пары, их свойства и классификация

Приступая к изучению свойств и классификации кинематических пар, прежде всего, обратите внимание на то, какими звеньями они образованы и какую роль выполняют эти звенья в механизме (табл. 2).

Таблица 2. Классификация звеньев по виду движения

Наименование	Эскиз	Движение	Особенности
Кулиса		Колебательное, вращательное	Направляющая для ползуна
Кулиса		Плоскопараллельное	Направляющая для ползуна
Кулиса		Поступательное	Возвратное движение, направляющая для ползуна
Кулачок		Вращательное	Профиль определяет движение ведомого звена
Зубчатое колесо		Вращательное	Зубчатый контур

Кинематические пары, элементами которых являются поверхности, называются *низшими кинематическими парами*. Если звенья соприкасаются по линиям и точкам, то кинематические пары называются *высшими*. Низшие кинематические пары, в отличие от высших, позволя-

ют передавать большие усилия, более технологичны и меньше изнашиваются. Образование низшей кинематической пары возможно только в случае, когда элементы соприкасающихся звеньев имеют во всех точках одинаковые радиусы кривизны. Известны три кривые, имеющие во всех точках одинаковый радиус кривизны: прямая, окружность и винтовая линия. Поэтому элементы низших кинематических пар выполняются в виде плоскости, кругового цилиндра, поверхности шара и винта. Эти поверхности позволяют образовать шесть различных кинематических пар, названия, конструктивное исполнение и условное изображение которых представлены в табл. 3.

Таблица 3. Классификация низших кинематических пар по видам относительного движения

Класс	Число степеней свободы	Примеры кинематических пар и их условное обозначение	Класс	Число степеней свободы	Примеры кинематических пар и их условное обозначение
V	1	а)	IV	2	д)
V	1	б)	III	3	е)
V	1	в)	III	3	ж)
IV	2	г)	IV	2	з)

Разновидностей высших кинематических пар больше, чем низших, и с их помощью можно практически осуществить любой закон движе-

ния выходного звена механизма. Кинематическая пара существует, если ее элементы соприкасаются, т. е. если она замкнута. Кинематические пары имеют геометрическое или силовое замыкание (с помощью пружин, сил тяжести и т. д.). Главным свойством кинематической пары является то относительное движение, которое пара позволяет совершить соединенным звеньям.

Свободное твердое тело (рис. 2) в пространстве имеет шесть независимых движений (степеней свободы): три поступательных движения вдоль осей координат x , y , z и три вращательных движения вокруг этих осей.

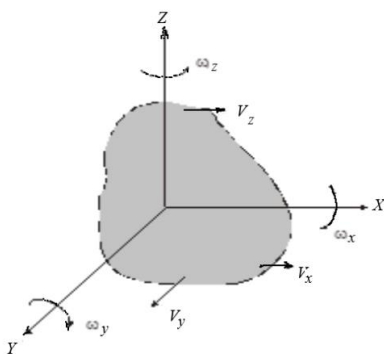


Рис. 2. Вид возможного движения свободного тела в пространстве

Условие соприкосновения двух звеньев в кинематической паре накладывает ограничения (S) на их относительное движение. Если одно из звеньев кинематической пары связать с неподвижной системой координат x , y , z (табл. 3), то число степеней свободы второго звена определяется по формуле

$$W = 6 - S, \tag{1}$$

где S – число связей (ограничений), налагаемых элементами пары на относительное движение звеньев.

Числом ограничений, наложенных на относительное движение звеньев, определяется класс кинематических пар. Например, звенья 1 и 2

(см. табл. 3, а, б, в) могут совершать относительно друг друга только одно независимое движение: а) вращательное; б) поступательное; в) винтовое. Все другие движения этих звеньев относительно осей координат x , y , z исключаются ограничивающими буртиками и взаимохватывающими поверхностями. Такие кинематические соединения относятся к V классу ($W = 1$; $S = 5$).

Два независимых движения звеньев допускают кинематические пары, изображенные в табл 3, г, д, з.

Такое подвижное соединение звеньев относится к кинематическим парам IV класса ($W = 2$; $S = 4$).

Если связи, наложенные на звенья, исключают три движения относительно координатных осей ($W = 3$; $S = 3$), то такие кинематические пары относятся к III классу (см. табл. 3, е, ж).

Подвижные соединения двух звеньев по линии или в точке образуют высшие кинематические пары VI и III классов, которые используются в плоских, а II и I классов – в пространственных механизмах.

Необходимо отметить очень важное обстоятельство: число наложенных подвижным соединением связей (номер кинематических пар) равняется числу независимых составляющих реакций сил и моментов (пар сил), которые одно звено соединения может передать другому. Например, вращательная кинематическая пара V класса (табл. 2) исключает относительно движение звеньев вдоль осей x , y , z и вращательное вокруг осей x и z . Следовательно, эта пара позволяет передавать от звена к звену силы вдоль осей x , y , z и моменты относительно осей x и z .

Таким образом, каждая связь позволяет передавать через подвижное соединение одну силу или один момент. Гибкие звенья – ремни, цепи, канаты – и жидкость в замкнутом объеме (жидкость в гидроцилиндре) можно рассматривать как кинематические связи, устанавливающие вполне определенное соотношение между перемещениями звеньев, связываемых ими. Такие кинематические связи эквивалентны кинематическим парам I класса.

В технике часто по конструктивным соображениям между звеньями, образующими кинематическую пару, вводят промежуточные элементы, например, ролики и шарики в подшипниках, которые обеспечивают соприкосновение между звеньями в точках (признак высших кинематических пар). Однако эти сложные соединения сохраняют относительно движение звеньев и по числу связей относятся к низшим кинематическим парам, так как обеспечивают соприкосновение соединяемых звеньев по многочисленным точкам касания промежуточных элементов. Такие соединения обеспечивают высокую стойкость при

больших скоростях вследствие распределения передаваемой нагрузки по этим точкам касания промежуточных элементов.

Следует еще раз подчеркнуть, что всякая кинематическая пара является физической моделью реального соединения звеньев.

В зависимости от постановки задачи одно и то же кинематическое соединение может описываться различными кинематическими парами. Так, например, в любом реальном цилиндрическом шарнире существуют зазоры как радиальные, так и осевые. В ряде задач с учетом этих зазоров шарнир приходится рассматривать либо как вращательную, либо как цилиндрическую или сферическую пару.

1.4. Степень свободы механизмов

Система, состоящая из m свободных твердых звеньев, имеет в пространстве $6m$ степеней свободы. Если соединить эти звенья кинематическими парами, то получим связанную систему тел, которая называется *кинематической цепью*. Механизм представляет собой частный вид кинематической цепи, у которой одно звено обращено в стойку. Если все точки звеньев описывают траектории, лежащие в параллельных плоскостях, то механизм называется плоским. Если же точки звеньев перемещаются по неплоским траекториям, то механизм называется пространственным.

Следует помнить, что если для соединения n звеньев между собой применены только низшие кинематические пары (см. табл. 3), то механизм называют рычажным. Механизмы, имеющие одни вращательные пары V класса, называют шарнирными. Соответственно числу звеньев, включая стойку 0 , механизмы именуют четырехзвенными, шестизвенными и т. д. Отличительной чертой кинематической цепи, образующей механизм, является подвижность и определенность движения ее звеньев относительно стойки. Стойка, с которой связывают неподвижную систему координат, лишена всех 6 степеней свободы. Число подвижных звеньев механизма n будет равно $m - 1$. Таким образом, число степеней свободы пространственного механизма определяется формулой профессора А. П. Малышева (1923 г.)

$$W = 6n - 5P_5 - 4P_4 - 3P_3 - 2P_2 - P_1, \quad (2)$$

где P_5, P_4, P_3, P_2, P_1 , – число кинематических пар V, IV, III и т. д. классов, используемых в данном механизме.

Число степеней свободы, подсчитанное по формуле (2), указывает на число ведущих звеньев в механизме. Если степень свободы $W = 1$,

то положение всех звеньев механизма однозначно определяется положением ведущего звена, т. е. одной обобщенной координатой. Если степень свободы механизма $W = 2$, то для однозначного определения положения любого звена в пространстве необходимы две обобщенные координаты. Следовательно, число степеней свободы определяет число обобщенных координат механизма или число его ведущих звеньев (приводов).

В плоских механизмах каждое звено имеет не более трех степеней свободы, а пары налагают лишь два или одно условие связи. Поэтому степень подвижности плоских механизмов определяется по формуле профессора П. Л. Чебышева (1869 г.)

$$W = 3n - 2P_2 - P_4. \quad (3)$$

Рассмотрим некоторые примеры.

Применим формулу (3) для определения степени подвижности плоского механизма, изображенного на рис. 3. В этом механизме три подвижных звена ($n = 3$) соединены со стойкой и между собой тремя вращательными и одной поступательной кинематическими парами V класса ($P_5 = 4, P_4 = 0$). По формуле (3) определим

$$W = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 4 = 1.$$

Если положение звена 1 будет определяться углом φ (рис. 3), то все остальные звенья механизма займут строго определенное положение на плоскости. В этом примере в качестве обобщенной координаты принят угол φ , который однозначно определяет положение входного звена 1, а следовательно, и всего механизма.

В практике машиностроения нашли широкое применение плоские зубчатые и зубчато-рычажные механизмы. Для соединения звеньев таких механизмов используются не только кинематические пары V класса, но и высшие пары IV класса.

В качестве примера на рис. 4 приведена схема зубчатого механизма, которая нашла применение в различных механизмах передач современных транспортных и сельскохозяйственных машин.

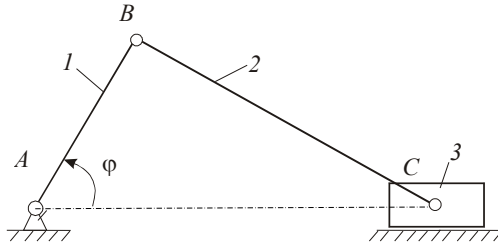


Рис. 3. Структурная схема рычажного механизма

В рассматриваемом механизме зубчатое колесо 4 заторможено и поэтому оно выполняет роль стойки. С колесами 1 и 4 находятся в постоянном зацеплении сателлиты (2 —3).

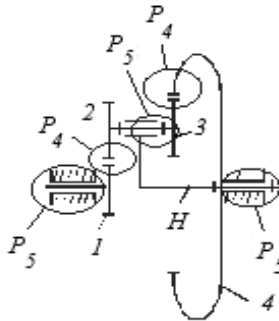


Рис. 4. Структурная схема зубчатого механизма.

Следовательно, зубчатые колеса в точках зацепления образуют три кинематические пары IV класса ($P_4 = 2$). Колесо 1 образует со стойкой кинематическую пару V класса, водило (H) образует со стойкой и блоком сателлитов две кинематические пары V класса. Таким образом, $P_5 = 3$.

Степень подвижности механизма

$$W = 3n - 2P_2 - P_4 = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 3 - 2 = 1.$$

В данном механизме за выходное звено следует принять колесо I , а за выходное водило – H . Обратите внимание, что если в плоском механизме для соединения звеньев используются сферические и цилиндрические кинематические пары, то в формуле (3) они учитываются как одноподвижные шарниры V класса.

1.5. Структура и классификация плоских механизмов

1.5.1. Принцип построения механизмов

Приступая к изучению этого вопроса, прежде всего необходимо уяснить функциональное назначение каждого звена механизма, помнить, что в любом механизме имеются входное и выходные звенья. Входные и выходные звенья соединяются между собой промежуточными. К входному звену подводится поток мощности от двигателя. Поэтому оно называется ведущим. Все остальные звенья образуют ведомую цепь. Последнее звено в кинематической цепи называется выходным или исполнительным.

Следует помнить, что ведущее звено (или звенья), присоединенные к стойке, образуют ведущую цепь или начальный механизм. Чаще всего это вращательное движение относительно оси, связанной со стойкой, или поступательное движение относительно стойки.

На рис. 5, *a* ведущую цепь образуют кривошип 1 и стойка 0 , а ведомую – шатуны $2, 4$, коромысло 3 и ползун 5 . Если ведомую цепь отсоединить от ведущей и теми же самыми подвижными элементами присоединить к стойке (рис. 5, *в*), то подвижность ведомой цепи станет равна нулю, т. е. она превратится в ферму. В большинстве механизмов ведомую цепь можно разделить на части (рис. 5, *д*), каждая из которых при присоединении свободными элементами к стойке превращается в ферму, т. е. будет иметь подвижность, равную нулю:

$$W = 3n - 2P_5 = 0. \quad (4)$$

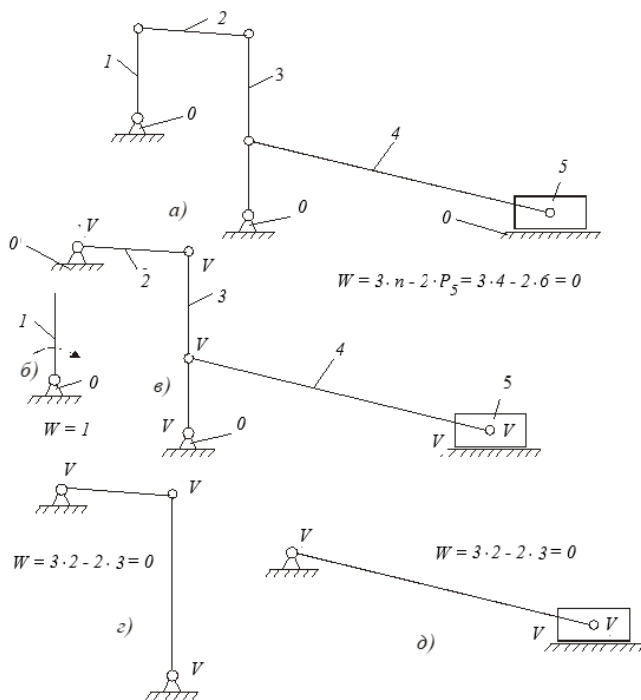


Рис. 5. Последовательность расчленения механизма на составные части: а – шестизвенный механизм; б – ведущая цепь; в – ведомая цепь; г – двухповодковая группа II класса с тремя вращательными кинематическими парами; д – двухповодковая группа II класса с двумя вращательными и одной поступательной кинематической парой

Из зависимости (4) легко установить количество звеньев и кинематических пар, входящих в ведомую цепь плоского рычажного механизма или в отдельные ее составляющие части (см. рис. 5. в, г, д).

$$n = \frac{2}{3} P_5 \cdot \quad (5)$$

Следует обратить внимание, что в соответствии с формулой (5) в ведомую цепь механизма или отдельную ее часть может входить толь-

ко четное число звеньев, соединенных между собой и стойкой числом кинематических пар, делящихся без остатка на три (рис. 5, 6).

Впервые на эту особенность строения механизма указал русский ученый Л. Б. Ассур в начале XX в. Поэтому группы звеньев, отвечающих формуле (5), называются структурными группами, или группами Асура. Если группу Асура присоединить к ведущей цепи (простейшему механизму), то образуется новый механизм, обладающий подвижностью ведущей цепи, а исполнительным станет выходное звено ведомой цепи. Последовательно присоединяя к имеющейся цепи разные структурные группы, можно получить рычажные механизмы, которые будут воспроизводить различные законы движения исполнительных звеньев. Этот метод образования механизмов получил название «Метод наложения структурных групп».

Большое разнообразие кинематических цепей, удовлетворяющих условию (5), вызывает необходимость в классификации структурных групп. В зависимости от числа звеньев, вида кинематических пар и последовательности их расположения в кинематической цепи структурные группы разделяются по классам, порядку и виду. Каждый класс структурных групп имеет особенности в расчете кинематических и динамических параметров механизма.

1.5.2. Классификация структурных групп механизмов

Отличительной особенностью структурных групп является наличие в них свободных кинематических пар и пар, с помощью которых звенья в группе соединяются в замкнутые контуры.

Эта особенность положена в основу подразделения структурных групп по классам, порядку и видам. Примеры классификации структурных групп приведены на рис. 6.

Классы структурной группы:

а) в группах II класса каждое звено входит только в две кинематические пары (рис. 6, а, б, в, г);

б) к III классу относятся структурные группы, в которых есть звенья, входящие в три кинематические пары (рис. 6, д);

в) к IV классу и выше относятся структурные группы, имеющие замкнутые контуры. По количеству звеньев, создающих данный контур, определяется класс группы (рис. 6, е).

Порядок структурной группы определяется числом свободных элементов кинематических пар, которыми группа присоединяется к механизму. Очевидно, что все группы II класса имеют второй порядок.

Примеры структурных групп, относящихся к различным классам, представлены на рис. 6.

На рис. 6, *a*, *б*, *в*, *г* представлены группы, относящиеся ко II классу. Можно видеть, что каждое звено входит только в две кинематические пары.

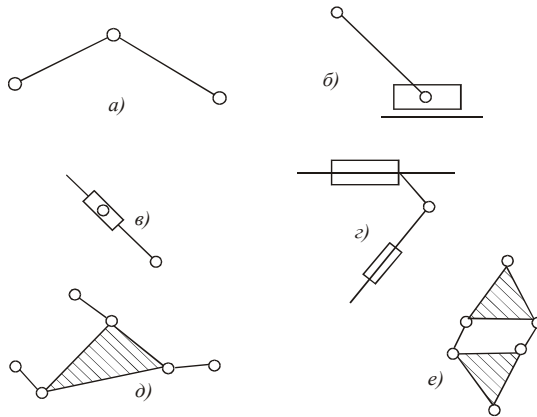


Рис. 6. Схемы структурных групп

Структурная группа, относящаяся к III классу, представлена на рис. 6, *д*. В данной группе три звена могут входить в две кинематические пары, а одно звено (заштрихованное) – в три кинематические пары.

На рис. 6, *е* представлена структурная группа, относящаяся к IV классу. В данной группе есть замкнутый контур, образованный четырьмя звеньями. Числом звеньев, образующих замкнутый контур, и определяется класс структурной группы.

Структурные группы II класса подразделяются на виды.

Вид структурной группы определяется видом и последовательностью расположения кинематических пар, входящих в структурную группу. Так, структурная группа (рис. 6, *a*) имеет только вращательные кинематические пары, следовательно, данная группа имеет вид ВВВ. Структурная группа (рис. 6, *б*) имеет вращательную и поступательную кинематические пары – ВВП (структурные группы, рис. 6, *в* – ВПВ; *г* – ПВП).

1.5.3. Формула строения механизма

Наибольшее распространение в машиностроении получили двухповодковые структурные группы II класса. Класс механизма определяется высшим классом структурной группы, входящей в этот механизм. Механизмы различных классов имеют различные методы кинематиче-

ского и силового расчета. Состав и последовательность присоединения групп Ассура в механизме определяется его формулой строения.

Например, строение шестизвенного механизма (см. рис. 5) можно представить формулой

$$I \begin{matrix} (0-1) \\ B \end{matrix} \xrightarrow{B} II \begin{matrix} (2-3) \\ B \end{matrix} \xrightarrow{B} II \begin{matrix} (4-5-0) \\ B \quad \Pi \end{matrix} \quad (6)$$

где В – означает связь между звеньями с помощью вращательных кинематических пар V класса (шарнирное соединение);

П – связь между звеньями осуществляется с помощью поступательной кинематической пары;

«→» – связь в узловых точках механизма, в которых присоединяются группы Ассура.

Из формулы строения следует, что шестизвенный механизм состоит из начального механизма I класса, включающего стойку 0 и кривошип 1. К кривошипу 1 последовательно присоединена структурная группа II класса, состоящая из звеньев 2 и 3. Звено 3 соединено кинематическими парами со звеньями 2 и 0. К звену 3 последовательно присоединена группа Ассура II класса, состоящая из звеньев 4 и 5. Звено 5 замыкается на стойку. Следовательно, это механизм II класса, имеющий одно входное звено. Кинематический анализ начинается с определения кинематических характеристик узловых точек кривошипа, и последовательно в соответствии с формулой строения определяются кинематические параметры всех узловых точек механизма, включая исполнительное звено. Силовой анализ механизма выполняется в обратной последовательности.

При разложении механизма на структурные группы следует обратить внимание на то, что:

а) каждое звено и каждая кинематическая пара в структурном анализе учитывается только один раз, т. е. одно и то же звено и одна и та же кинематическая пара могут быть отнесены только к одной структурной группе;

б) если в узловой точке расчетной схемы сходятся m звеньев, то эта узловая точка содержит кинематических пар $Z = m - 1$.

2. СОСТАВЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ СХЕМ И СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ

2.1. Цель и задачи лабораторной работы

Цель работы: а) овладеть практическими навыками перехода от реального механизма к его расчетной модели (структурной схеме);

б) по заданной структурной схеме уяснить принцип работы реального механизма и определить функциональное назначение звеньев; уяснить принцип построения (сборки) механизма.

Задачи структурного анализа.

Для достижения поставленных целей необходимо решить задачи структурного анализа:

1) дать классификацию звеньев по виду абсолютного движения или по виду траекторий узловых точек звеньев;

2) дать классификацию кинематических пар по виду относительно движения звеньев (движение звеньев относительно друг друга);

3) определить число степеней подвижности механизма; назначить входные (ведущие) и выходные (исполнительные) звенья;

4) разложить механизм на структурные группы, дать классификацию групп (класс, порядок и вид); составить формулу строения группы;

5) составить структурную формулу (формулу сборки) механизма.

Оборудование: 1) действующая модель реального механизма; 2) структурная схема плоского рычажного механизма; 3) стандартный набор чертежного инструмента; 4) журнал (тетрадь) для оформления лабораторных работ.

Последовательность выполнения лабораторной работы.

1. Ознакомиться с механизмом: определить узловые точки механизма, установить его возможное назначение; проворачиванием входного звена определить вид траекторий узловых точек механизма, а по траекториям – вид абсолютного движения звеньев (движение звеньев относительно неподвижной системы отсчета); используя рекомендации (см. табл. 1, 2, 3), дать классификацию звеньев, уяснить их условное изображение на чертеже, подсчитать число подвижных звеньев.

2. Используя метод мгновенной остановки одного из звеньев и мысленного перерезания около узлов точки второго звена, определить вид допускаемых относительных движений звеньев (движений звеньев друг относительно друга вокруг узловой точки); определить класс и вид кинематической пары.

3. Вычертить схему механизма (без учета реальных размеров) в таком положении, чтобы четко были видны линии, изображающие все звенья и все кинематические пары; звенья пронумеровать цифрами; стойке присвоить номер «0», кривошипу «1» и т. д. до исполнительно-

го звена. Узловые точки (центры шарниров) обозначить заглавными латинскими буквами.

4. Определить тип механизма: если механизм пространственный, определить степень подвижности по формуле (2); для определения степени подвижности плоского механизма использовать формулу (3).

5. В соответствии со степенью подвижности назначить входные и исполнительные звенья. Входные звенья на структурной схеме обозначить круговыми стрелками при вращательном движении (для кривошипа) и векторными стрелками при входном ползуне.

6. Начиная с исполнительного звена, разложить механизм на структурные группы; определить класс, порядок и вид структурной группы, используя для этого рис. 5 и 6, составить формулу строения структурной группы.

7. Определить класс и формулу строения входных звеньев.

8. Составить структурную формулу строения механизма.

9. По результатам пунктов 1 – 8 заполнить таблицы отчета.

10. Аналогично разобрать (прочитать) структурную схему плоского механизма.

11. Оформить отчет по лабораторной работе и продумать ответы на контрольные вопросы.

Пример оформления отчета к лабораторной работе по структурному анализу механизма (см. рис. 7) представлен в табл. 4, 5, 6.

2.2. Пример выполнения лабораторной работы структурного анализа рычажного механизма

На рис. 7 представлена схема кривошипно-кулисного механизма с качающейся кулисой. В данном механизме кривошип I через муфту, установленную на валу A , соединяется с выходным валом зубчатого механизма передач. Выходной вал механизма передач соединяется с двигателем внутреннего сгорания или электродвигателем. Вращение от вала двигателя через зубчатый механизм передается на кривошип I , который совершает полный оборот вокруг оси A .

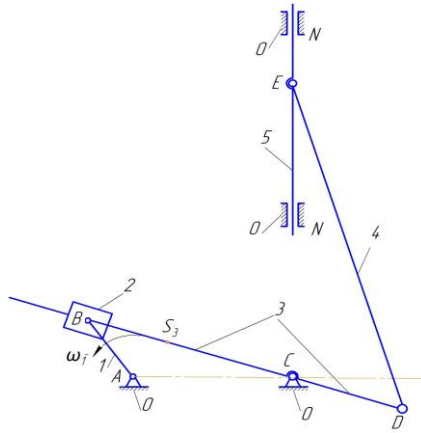


Рис. 7. Структурная схема кулисного механизма

Ползун 2 (камень 2) в точке B образует с кривошипом 1 (AB) вращательную, а с кулисой 3 (BCD) – поступательную кинематическую пару. Такое сочетание кинематических пар позволяет абсолютное движение (движение вместе с кривошипом) точки B ползуна представить как относительное поступательное движение вдоль плеча кулисы BC и переносное вращательное движение вместе с кулисой вокруг неподвижного шарнира C . Движение от кулисы 3 через шатун 4 передается на ползун 5. Ползун 5 совершает возвратно-поступательное движение и выполняет заданный технологический процесс. На траектории движения ползуна 5 можно выделить две характерные точки: нижнюю мертвую точку (HMT) и верхнюю мертвую точку (BMT). В этих точках ползун меняет направление движения. При движении ползуна от верхней мертвой точки до нижней выполняется технологический процесс (рабочий ход). Обратный ход ползуна совершается вхолостую.

В зависимости от размеров звеньев и формы исполнительного звена (ползуна 5) данный механизм может применяться в прессах, насосах, иногда в компрессорах и других рабочих машинах (РМ). Схема рабочего органа, изображенная на рис. 7, может быть применена в зубодолбежных, строгальных, хонинговальных и других металлообрабатывающих станках.

Задача структурного исследования состоит в том, чтобы установить:

а) число степеней свободы (подвижности) механизма или число его ведущих звеньев;

б) число структурных групп (групп Ассур), входящих в состав механизма, определить их класс и порядок;

в) формулу строения механизма и наметить последовательность кинематического и силового расчетов механизма.

Результаты структурного исследования записываются в виде краткой формулы строения механизма.

Таблица 4. Классификация звеньев механизма


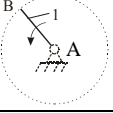
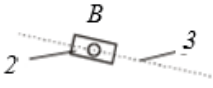
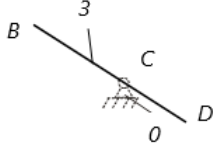
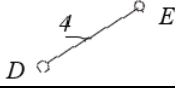
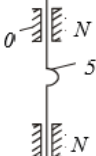
№ звена	Условное обозначение	Вид движения	Наименование
0		–	Стойка
1		Вращательное, полный оборот вокруг стойки	Кривошип
2		Поступательное	Ползун
3		Вращательное, неполный оборот	Кулиса
4		Плоскопараллельное	Шатун
5		Поступательное	Ползун

Таблица 5. Классификация кинематических пар

№ п. п.	Условное обозначение	Номер звеньев составляющих к. п.	Допустимый вид относительного движения	Вид к. п.	Класс к. п.
1	A	0 – 1	Вращательное	B	V
2	B	1 – 2	Вращательное	B	V
3	B'	2 – 3	Поступательное	П	V
4	C	3 – 0	Вращательное	B	V
5	D	3 – 4	Вращательное	B	V
6	E	4 – 5	Вращательное	B	V
7	N	5 – 0	Поступательное	П	V

4. Степень подвижности механизма определяется по формуле П. Л. Чебышева, назначаются входное и выходное звенья.

Для механизма (рис. 7) степень подвижности определяется по формуле (3).

$$W = 3n - 2P_5 - P_4 = 3 \cdot 5 - 2 \cdot 7 = 1.$$

Входным является звено 1 – кривошип, выходным – звено 5 – ползун.

Если степень подвижности механизма не совпадает с числом ведущих звеньев, необходимо выявить звенья, создающие пассивные связи или лишние степени подвижности, и условно удалить их, разложить механизм на структурные группы Ассура, заполнить табл. 6.

Таблица 6. Классификация структурных групп

Номер звеньев, составляющих группу	Схема структурной группы	Класс группы	Порядок группы	Вид
4–5		II	2	ВВП
2–3		II	2	ВВП
0–1				Механизм I-го класса

В механизме, изображенном на рис. 7, можно выделить две структурные группы. Первая структурная группа состоит из звеньев 4 – 5 (шатун – ползун), вторая – из звеньев 2 – 3 (ползун – кулиса). Звено 1 представляет механизм I класса.

В конце лаб. работы необходимо определить класс механизма и написать формулу его строения.

Механизм, представленный на рис. 7, относится к механизму II класса.

Формула строения механизма имеет вид:

$$I(0-1) \longrightarrow II_2 \text{ ВПВ}(2-3) \xrightarrow{(0)} II_2 \text{ ВВП}(4-5) \xrightarrow{(0)}$$

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется механизмом, машиной, звеном?
2. По каким признакам классифицируются звенья?
3. Что называют кинематической парой и какие признаки положены в основу их классификации?
4. Как подразделяются кинематические пары по числу условий связи, налагаемых на относительное движение звеньев?
5. Какие кинематические пары относятся к низшим, высшим?
6. Какие механизмы называются рычажными?
7. Какие задачи решаются в ходе структурного анализа механизмов?
8. Как рассчитать степень подвижности плоского механизма?
9. В чем сущность структурной классификации плоских механизмов?
10. Что называют кинематической цепью, какие виды кинематических цепей используют для образования механизмов манипуляторов?
11. В чем заключается задача структурного синтеза механизмов?
12. Объясните физический смысл числовых коэффициентов в структурной формуле определения степени подвижности пространственного и плоского механизмов.
13. Что называется группой Ассур? Каким требованиям отвечает группа Ассур? Приведите примеры простейших структурных групп.

14. В чем заключается метод образования механизмов с требуемым законом движения выходного звена?

15. Какие звенья механизма называются входными, выходными, ведущими, ведомыми, исполнительными?

16. Какова связь между степенью свободы механизма и числом входных звеньев? Число степеней свободы механизма равно двум. Может ли этот механизм иметь одно входное звено и два выходных?

17. Как определяется порядок и класс структурных групп, класс механизмов?

18. Укажите принцип составления и цель формулы структурного строения механизмов.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	
Список рекомендуемой литературы	
1. Основные понятия и определение.....	4
1.1. Физические модели механизмов и машин.....	4
1.2. Классификация звеньев механизма.....	6
1.3. Кинематические пары, их свойства и классификация.....	8
1.4. Степень свободы механизмов.....	12
1.5. Структура и классификация плоских механизмов.....	15
2. Составление расчетных схем и структурный анализ механиз- мов.....	20
2.1. Цель и задачи лабораторной работы.....	20
2.2. Пример выполнения лабораторной работы (структурный анализ рычажного механизма)	21
Контрольные вопросы.....	25