

**ОПД.Ф.02.03 ТЕОРИЯ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ
СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ РЫЧАЖНОГО
МЕХАНИЗМА**

Методические указания к лабораторной работе

Введение

Теория механизмов и машин – наука, изучающая строение, кинематику и динамику механизмов и машин в связи с их анализом и синтезом.

Движение механизмов зависит от их строения и сил, на них действующих. Поэтому при изложении теории механизмов курс разделен на следующие части:

1. Структурный анализ механизмов.
2. Кинематический анализ механизмов.
3. Динамический анализ механизмов.
4. Синтез механизмов.

Строением (структурой) механизма определяются важнейшие его характеристики: виды осуществляемых движений, способы их преобразования, число степеней свободы. Формирование механизма, т.е. соединение отдельных его частей в единую систему, сопровождается наложением связей.

Правильное их распределение в строении механизма предопределяет его надежную эксплуатацию. Поэтому при проектировании нужно из множества разнообразных механизмов выбрать самый подходящий и правильно подобрать его основные структурные элементы. А для этого надо знать основные виды современных механизмов, их структурные характеристики, закономерности их строения.

Цель лабораторной работы:

- изучить условные изображения звеньев и кинематических пар;
- ознакомиться со структурной классификацией механизмов по Ассур-Артоболовскому;
- приобрести навыки в построении кинематических и структурных схем механизмов.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1. Понятия: машина, механизм, звено

Машина – устройство, создаваемое человеком для изучения и использования законов природы с целью облегчения физического и умственного труда, увеличения его производительности и облегчения путем частичной или полной замены человека в его трудовых и физиологических функциях. Или кратко: машина есть устройство, выполняющее механические движения для преобразования энергии, материалов и информации.

Механизм – система тел, предназначенная для преобразования движения одного или нескольких тел в требуемое движение других тел.

Звено – одно или несколько жестко соединенных твердых тел, входящих в состав механизма.

Стойка – неподвижное или принимаемое за неподвижное звено.

Входное звено – звено, которому сообщается движение, преобразуемое в дальнейшем в требуемое движение других звеньев.

Выходное звено – звено, совершающее движение, для выполнения которого предназначен механизм.

Кривошип – звено, совершающее полный оборот вокруг неподвижной оси.

Коромысло – звено, совершающее качательное движение вокруг неподвижной оси.

Шатун – звено, совершающее плоскопараллельное движение и связанное с подвижными звеньями.

Ползун – звено, совершающее прямолинейно-поступательное движение в неподвижных направляющих.

Кулиса – звено, являющееся подвижной направляющей, т.е. звено, вращающееся вокруг неподвижной оси и образующее с другим подвижным звеном поступательную пару.

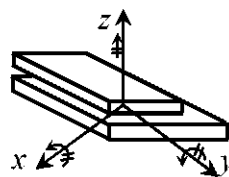
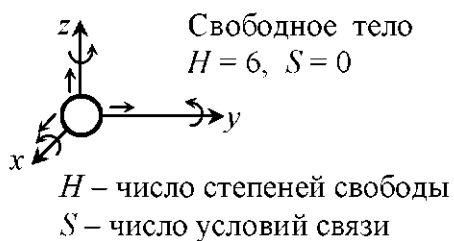
Камень кулисы – звено, совершающее поступательное движение по подвижной направляющей.

1.2. Кинематические пары и их классификация

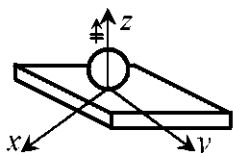
Кинематическая пара – подвижное соединение двух соприкасающихся звеньев, допускающее их относительное движение.

Элементы кинематической пары – совокупность поверхностей, линий и отдельных точек звена, по которым оно может соприкасаться с другим звеном, образуя кинематическую пару.

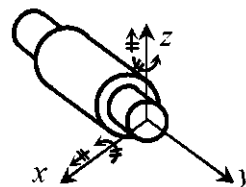
Пространственные пары



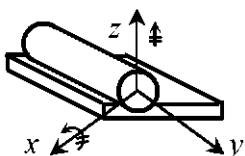
Пара III класса низшая плоскостная
 $H=3, S=3$



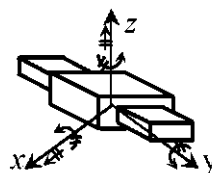
Пара I класса высшая точечная
 $H=5, S=1$



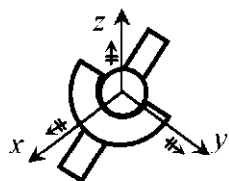
Пара IV класса низшая цилиндрическая
 $H=2, S=4$



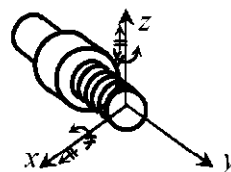
Пара II класса высшая линейчатая
 $H=4, S=2$



Пара V класса низшая поступательная
 $H=1, S=5$

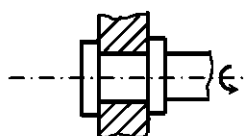


Пара III класса низшая сферическая
 $H = 3, S = 3$

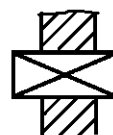


Пара V класса низшая винтовая
 $H=1, S=5$

Плоские пары



Пара V класса низшая вращательная
 $H=1, S=5$



Пара V класса низшая поступательная
 $H=1, S=5$

Рис. 1. Классификация кинематических пар

Низшая пара – кинематическая пара, в которой требуемое относительное движение звеньев может быть получено постоянным соприкосновением ее элементов по поверхности.

Высшая пара – кинематическая пара, в которой требуемое относительное движение звеньев может быть получено только соприкосновением ее элементов по линиям и в точках.

Число степеней свободы механической системы называется число независимых возможных перемещений системы. По числу степеней свободы все кинематические пары подразделяются на одно-, двух-, трех-, четырех-, и пятиподвижные.

Число условий связи – число ограничений, наложенных на относительное движение звеньев. Сумма числа связей и числа степеней свободы всегда равна 6, т.е. числу степеней свободы твердого тела.

Кинематические пары делятся на 5 классов. Номер класса пар совпадает с числом условий связи, налагаемых ими на относительное движение их звеньев (рис. 2 - 7).

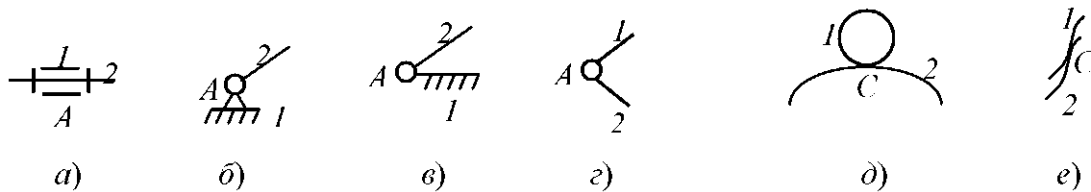


Рис. 2. Условное обозначение кинематических пар:

a, б, в, г – вращательных низших V класса; *д, е* – высших IV класса

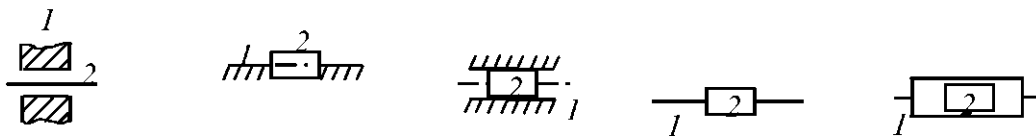


Рис. 3. Условное обозначение поступательных низших кинематических пар V класса

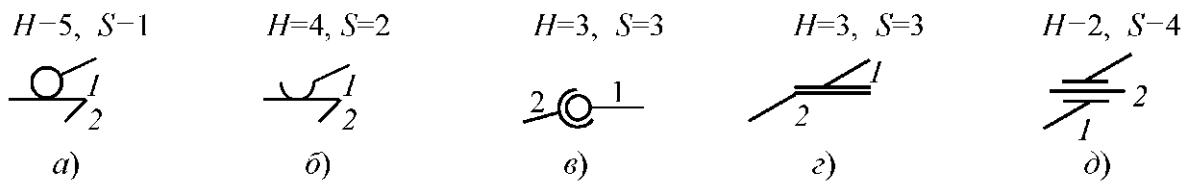


Рис. 4. Условные обозначения кинематических пар:

a – высших I класса; *б* – высших II класса; *в, г* – низших III класса; *д* – низших IV класса

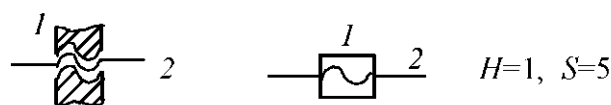


Рис. 5. Условные обозначения винтовых низших кинематических пар V класса

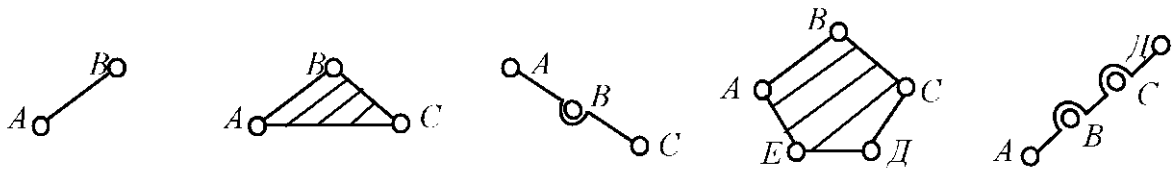


Рис. 6. Условные изображения звеньев

1.3. Условные изображения механизма

Кинематическая схема механизма дает полное представление о структуре механизма и определяет его кинематические свойства. Она является графическим изображением механизма посредством условных обозначений звеньев и кинематических пар с указанием размеров, которые необходимы для кинематического анализа механизма. Кинематическая схема вычерчивается в масштабе, звенья изображаются отрезками прямых линий и нумеруются арабскими цифрами. Кинематические пары обозначаются большими буквами латинского алфавита.

Структурная схема отличается от кинематической тем, что вычерчивается без масштаба, в ней поступательные пары условно заменены вращательными и высшие – низшими.

1.4. Кинематические пары и их классификация

Кинематическая цепь – связанная система звеньев, образующих между собой кинематические пары (рис. 7).

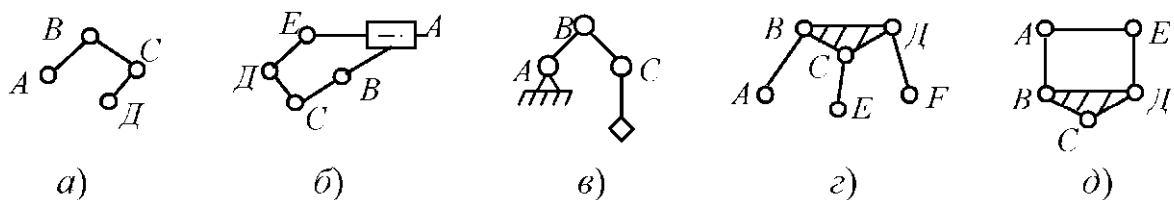


Рис. 7. Кинематические цепи:

a, б, в – простые; *г, д* – сложные; *б, д* – замкнутые; *а, в, г* – незамкнутые

Плоские кинематические цепи – цепи, в которых звенья совершают плоское движение, параллельное одной и той же неподвижной плоскости.

Пространственные кинематические цепи – цепи, в которых звенья перемещаются по траекториям, лежащим в пересекающихся плоскостях.

Простая кинематическая цепь – цепь, у которой звено входит не более чем в две кинематические пары.

Сложная кинематическая цепь – цепь, в которой имеется хотя бы одно звено, входящее более чем в две кинематические пары.

Замкнутая кинематическая цепь – цепь, звенья которой образуют один или несколько замкнутых контуров, каждое звено этой цепи входит по крайней мере в две кинематические пары.

Незамкнутая кинематическая цепь – цепь, звенья которой не образуют замкнутых контуров, есть звенья, входящие только в одну кинематическую пару. Эти звенья используются в механических манипуляторах и педипуляторах, заменяющих руки или ноги человека, а также шагающих машинах, роботах и других устройствах.

Обобщенными координатами механизма называются независимые между собой координаты, определяющие положения всех звеньев механизма относительно стойки.

Число обобщенных координат механизма равно числу степеней свободы механизма.

Степень подвижности – число степеней свободы кинематической цепи относительно звена, принятого за неподвижное.

Для пространственных механизмов (формула Сомова – Малышева)

$$W = 6 \cdot n - 5 \cdot P_5 - 4 \cdot P_4 - 3 \cdot P_3 - 2 \cdot P_2 - 1 \cdot P_1; \quad (1)$$

для плоских механизмов (формула Чебышева)

$$W = 3 \cdot n - 2 \cdot P_5 - 1 \cdot P_4, \quad (2)$$

где n – число подвижных звеньев; P_5, P_4, P_3, P_2, P_1 – соответственно число кинематических пар V, IV, III, II и I класса.

Степень подвижности указывает число входных звеньев.

В основном в конструкциях машин и приборов используются механизмы с одной степенью подвижности. Это значит, что одному из звеньев механизма предписывается относительно стойки какой-либо вполне определенный закон движения. При этом все остальные звенья механизма получают вполне определенные движения, являющиеся функциями заданного.

В некоторых конструкциях машин находят применение механизмы с двумя и более степенями подвижности. Если механизм обладает двумя степенями подвижности, то необходимо задать одному из звеньев два независимых движения относительно стойки или двум звеньям по одному независимому движению относительно стойки. Кроме степеней свободы звеньев и связей, активно воздействующих на характер движения механизмов, в них могут встретиться степени свободы и условия связи, не оказывающие никакого влияния на характер движения механизма в целом.

Такие степени свободы называются лишними степенями свободы, а связи – избыточными (пассивными) связями.

При расчете степени подвижности механизмов следует исключать звенья, которые накладывают избыточные связи (рис. 8) и вносят лишние степени свободы (рис. 9).

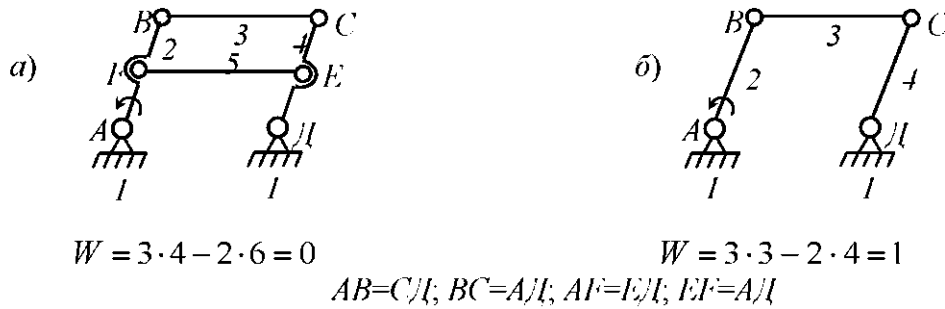


Рис. 8. Механизм с избыточной (пассивной) связью:
 а – исходная схема; б – после устранения избыточной связи (звено 5)



Рис. 9. Механизм с лишней степенью свободы:
 а – исходная схема; б – после исключения лишней степени свободы (звено 3)

При изучении структуры и кинематики плоских механизмов удобно заменять высшие пары кинематическими цепями или звеньями, входящими только в низшие вращательные и поступательные пары V класса так, чтобы механизм, полученный после замены, обладал прежней степенью подвижности и чтобы сохранились относительные в рассматриваемом положении движения всех его звеньев (рис. 10).

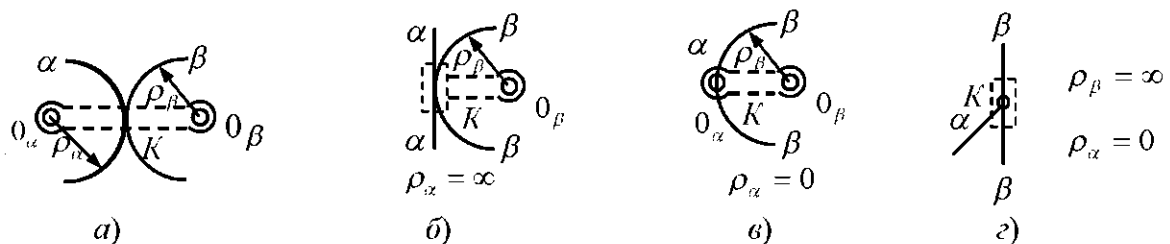


Рис. 10. Замена кинематической пары IV класса одним звеном, входящим в две кинематические пары V класса: K – заменяющее звено; $\alpha\alpha, \beta\beta$ – элементы кинематической пары IV класса; O_α, O_β – центры кривизны элементов пары IV класса; ρ_α, ρ_β – радиусы кривизны этих элементов

1.5. Строение плоских рычажных механизмов по Ассур

Плоские и пространственные механизмы образуются путем наложения структурных групп – групп Ассура (рис. 11 – 13).

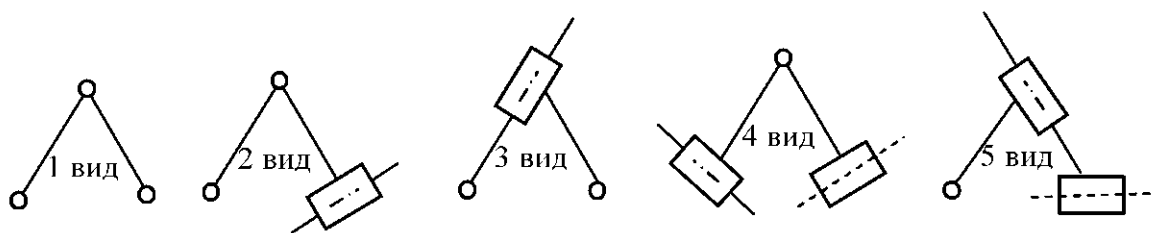


Рис. 11. Двухповодковые группы Ассура II класса 2 порядка

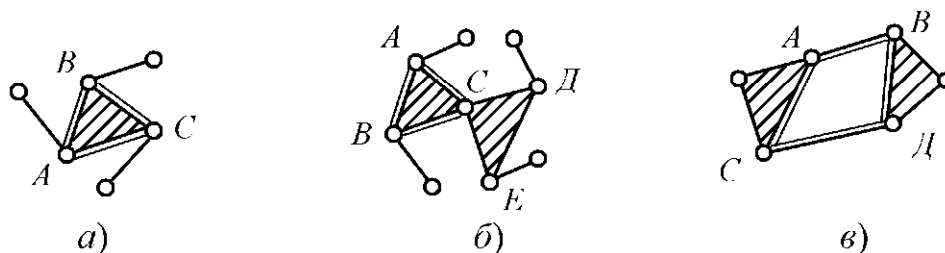


Рис. 12. Группы Ассура:
a – III класса 3 порядка; *б* – III класса 4 порядка; *в* – IV класса 2 порядка



Рис. 13. Группы Ассура:
a – IV класса 4 порядка; *б* – V класса 3 порядка

Первичный механизм (рис. 14), или механизм I класса, включает в себя стойку и входные звенья, число которых в плоских механизмах с низшими парами равно его степени подвижности.

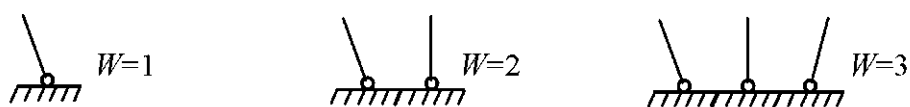


Рис. 14. Первичные механизмы, группы I класса

Группа Ассура – кинематическая цепь с нулевой степенью подвижности относительно тех звеньев, с которыми входят в кинематические пары свободные элементы ее звеньев, и не распадающаяся на более простые цепи, обладающие также нулевой степенью подвижности.

Класс группы определяется классом контура, входящего в нее. Класс контура определяется числом кинематических пар, в которые входят образующие его звенья.

Порядок группы определяется числом элементов звеньев, которыми группа присоединяется к основному механизму.

Вид группы определяется числом и расположением в группе вращательных и поступательных пар.

Класс и порядок механизма определяется по классу и порядку наиболее сложной группы, входящей в его состав.

1.6. Структурный анализ механизмов по Ассуру-Артоболовскому

Структурный анализ механизмов по Ассуру-Артоболовскому проводится в следующей последовательности:

- вычертить кинематическую схему механизма;
- определить степень подвижности механизма;
- назначить первичный механизм – стойка и входные звенья;
- выделить группы Ассура, определить их класс, вид и последовательность присоединения их к первичному механизму;
- по классу высшей группы определить класс механизма.

Формула строения механизма – координированная запись состава, класса и порядка первичного механизма, групп Ассура и связей между ними. В формуле римскими цифрами обозначается класс механизма, указывается порядок, вид, номера звеньев, входящих в механизм I класса, и группы Ассура.

1.7. Пример структурного анализа

Рассмотрим кинематическую схему (рис. 15) двигателя внутреннего сгорания с приводом к компрессору.

Кривошип 2 входит во вращательную пару V класса со стойкой 1. Шатун 3 входит во вращательную пару V класса с кривошипом 2 и во вращательную пару V класса с ползуном (поршнем) 4. Ползун 4 входит в поступательную пару V класса с цилиндром, жестко скрепленным со стойкой 1. С шатуном 3 во вращательную пару V класса входит звено 5 (шатун), входящее во вращательную пару V класса со звеном 6. Звено 6 (коромысло) входит во вращательную пару V класса со стойкой 1 и во

вращательную пару V класса с шатуном 7 компрессора. Шатун 7 входит во вращательную пару V класса с поршнем компрессора (ползуном) 8, который в свою очередь входит в поступательную пару V класса с цилиндром, жестко скрепленным со стойкой 1.

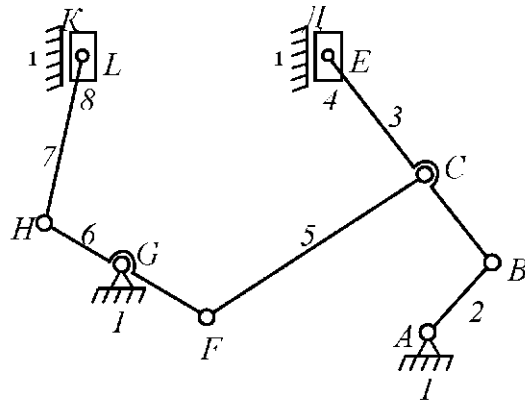


Рис. 15. Кинематическая схема механизма

Механизм состоит из семи подвижных звеньев, восьми вращательных (A, D, C, D, F, G, H, K) и двух поступательных (E, L) пар V класса.

В механизме отсутствуют лишние степени свободы и пассивные связи. Степень подвижности механизма определим по формуле (2):

$$W = 3 \cdot n - 2 \cdot P_5 - 1 \cdot P_4 = 3 \cdot 7 - 2 \cdot 10 - 1 \cdot 0 = 1,$$

где $n = 7, P_5 = 10, P_4 = 0$, т.е. механизм обладает одной степенью подвижности и, следовательно, должен иметь одно входное звено.

Для определения класса механизма и порядка присоединения групп составим структурную схему (рис. 16) и запишем структурную формулу.

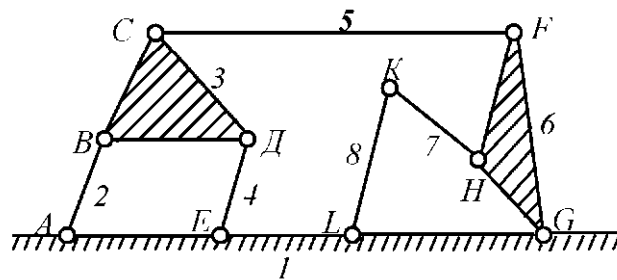


Рис. 16. Структурная схема механизма

Если за входное звено принять звено 2 (кривошип двигателя), то структурная формула механизма будет иметь вид

$$\frac{1-2}{I,1} \rightarrow \frac{3-4}{II,2,2} \rightarrow \frac{5-6}{II,2,1} \rightarrow \frac{7-8}{II,2,2}$$

и механизм должен быть отнесен к механизмам II класса.

Если за входное звено принять звено 8 (поршень компрессора), то структурная формула будет иметь вид

$$\frac{I,1}{1-8} \rightarrow \frac{7-6}{II,2,2} \rightarrow \frac{2-3-4-5}{III,3}$$

и механизм следует отнести к механизмам III класса.

2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1. Содержание работы

Рассмотреть не менее двух многозвенных механизмов, определить число звеньев и кинематических пар, составить кинематическую схему механизма в масштабе по размерам, снятым с натуры или с конструктивного чертежа. Определить степень подвижности механизма, выявить пассивные связи и лишние степени свободы, определить класс и порядок механизма. Составить отчет.

2.2. Оборудование и приборы

Образец производственной машины или ее модель, модель механизма, конструктивный чертеж узла или общего вида машины.

2.3. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с механизмом.
2. Медленно двигая ведущее звено, проследить за движением ведомых звеньев. Установить назначение механизма по виду преобразования движения (например, преобразование поступательного движения во вращательное).
3. Выделить неподвижные звенья. Построить на черновике эскиз кинематической схемы механизма, присоединяя к неподвижному звену-стойке ведущее и все последующие звенья механизма. Пронумеровать звенья, кинематические пары обозначить буквами.
4. Установить число подвижных звеньев, число и вид кинематических пар.
5. Определить степень подвижности W . Обратит внимание на необходимость совпадения степени подвижности и количества ведущих звеньев механизма.

6. Исключить из состава механизма пассивные связи и лишние степени свободы, если они имеются в данном механизме.
 7. Произвести условную замену каждой высшей пары низшими и вычертить заменяющую схему механизма.
 8. Построить структурную схему механизма.
 9. Выделить на структурной схеме механизма структурные группы.
 10. Составить формулу строения механизма, отражающую порядок присоединения структурных групп к исходному механизму и друг к другу.
 11. Провести аналогичный анализ второго механизма.
 12. Оформить отчет.
- Надписи и подписи выполнять чертежным шрифтом.

Контрольные вопросы

1. Что называется звеном, какие виды звеньев существуют?
2. Что называется кинематической парой, как их классифицируют?
3. Что называют кинематической цепью, какие виды их существуют?
4. Что называют механизмом, какие виды их различают?
5. Как рассчитать число степеней свободы пространственного и плоского механизмов?
6. Что собой представляют избыточные связи?
7. Что называется группой Ассура, какие их типы различают?
8. Как образуется механизм из группы Ассура?
9. Условные обозначения звеньев и кинематических пар.

Библиографический список

1. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин. – М.: Наука, 1988. – С. 19-63.
2. Артоболевский И.И., Эдельштейн Б.В. Сборник задач по теории механизмов и машин. – М.: Наука, 1973. – С. 7-33.
3. Баранов Г.Г. Курс теории механизмов и машин. – М.: Машиностроение, 1975. – С. 13-40.
4. Белоконев И.М. Теория механизмов и машин. – М.: Дрофа, 2004. – С. 5-17.
5. Гавриленко В.А. Теория механизмов. – М.: Высшая школа, 1973. – С. 7-46.
6. Зиновьев В.А. Курс теории механизмов и машин. – М.: Наука, 1972. – С. 13-17.
7. Кожевников С.Н. Теория механизмов и машин. – М.: Машиностроение, 1973. – С. 37-68.
8. Кореняко А.С. Теория механизмов и машин. – Киев: Выща школа, 1976. – С. 7-36.
9. Левитская О.Н., Левитский Н.И. Курс теории механизмов и машин. – М.: Высшая школа, 1978. – С. 4-32.
10. Смелягин А.И. Теория механизмов и машин. – М.: ИНФРА-М, 2006. – С. 14-72.
11. Смирнов Г.А. Механика машин. – М.: Высшая школа, 1996. – С. 7-32.
12. Фролов К.В. Теория механизмов и машин. – М.: Высшая школа, 1987. – С. 18-58.
13. Юдин В.А., Петрокас Л.В. Теория механизмов и машин. – М.: Высшая школа, 1977. – С.15-36.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	4
2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	13
Контрольные вопросы	14
Библиографический список.....	15