



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Теоретическая и прикладная механика»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к проведению лабораторной работы

«Структурный анализ механизмов»

по дисциплине

«Теория механизмов и машин»

Авторы:

Камышанов А.И.,

Ровеньков Е.Д.

Ростов-на-Дону, 2022

Аннотация

В компактной форме приводятся теоретические сведения и практические рекомендации, необходимые для выполнения лабораторной работы и оформления протокола.

Предназначены для студентов 2 курса направлений 110800, 051000, 150700, 151000, 190600, специальности 190109 всех форм обучения.

Авторы:

доцент, канд. техн. наук
Камышанов А.И.,

доцент, канд. техн. наук
Ровеньков Е.Д.





Оглавление

ЦЕЛЬ РАБОТЫ	4
ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ	4
КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ	8
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ	15
ВОПРОСЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ РАБОТЫ	16
ЛИТЕРАТУРА.....	16

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью лабораторной работы является формирование у студентов навыков составления структурной и кинематической схемы механизма, условного изображения звеньев кинематических пар, замены высших пар низшими, структурного анализа механизма: определения подвижности и формулы строения.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Теория механизмов и машин - наука, изучающая общие методы структурного, кинематического и динамического анализа и синтеза различных механизмов, механику машин.

Каждая инженерная дисциплина отличается специфической направленностью, которая определяется объектами ее изучения. Для обеспечения взаимопонимания специалистов необходимо знать определения объектов, принятые понятия и условные обозначения, другими словами — «язык общения».

Машина *есть устройство, выполняющее механические движения, для преобразования энергии, материалов и информации в целях замены или облегчения физического или умственного труда человека.*

Машины подразделяются в соответствии с выполняемыми функциями.

Энергетической называется машина для преобразования любого вида энергии в механическую (машина-двигатель) и наоборот — (машина-генератор). *Примеры таких машин — электродвигатель, турбогенератор и др.*

Рабочей называется машина для преобразования материала. Рабочая машина может быть транспортной и технологической.

Транспортной называется машина, в которой преобразование материала заключается только в изменении положения объекта (*подъемный кран, автомобиль и др.*).

Технологической называется машина, в которой преобразование материала заключается в изменении размеров, формы, свойств или состояния объекта (*зерноуборочный комбайн, металлообрабатывающий станок и др.*).

Информационной называется машина для преобразования информации (*центробежный регулятор, арифмометр и др.*).

Машина, как правило, состоит из механизмов.

Механизм *есть система тел для преобразования движения одного или нескольких твердых тел в требуемые движения других твердых тел.*

Механизмы классифицируются по разным признакам. Их подразделяют на механизмы с **низшими парами** (шарнирно-рычажные, винтовые, клиновые механизмы) и **высшими парами** (кулачковые, зубчатые, фрикционные, мальтийские, храповые механизмы). Эти механизмы могут быть **плоскими** и **пространственными**.

Часто в названии механизма отражаются конструктивные признаки и характер движения звеньев, его назначение.

Механизм состоит из звеньев.

Звено — *это неизменное твердое тело, входящее в механизм и состоящее из одной или нескольких деталей, не имеющих относительной подвижности.*

В механизме обязательно есть деталь или группа деталей, жестко связанных с корпусом машины. Такое звено называется **стойкой**. При исследовании механизма со стойкой связывают основную систему координат и считают её неподвижным звеном.

Подвижные звенья различают по характеру движения (*кривошип, ползун и др.*) и по конструктивным признакам (*коленчатый вал, поршень цилиндра и др.*).

Входным называется подвижное звено, которому сообщается движение, преобразуемое механизмом в требуемые движения других звеньев.

Выходное — это звено, совершающее движение, для выполнения которого предназначен механизм.







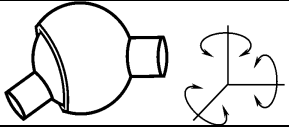

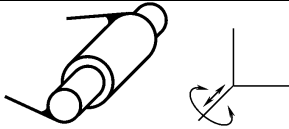
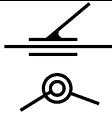
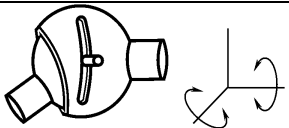

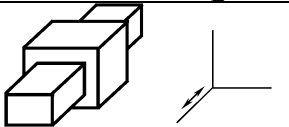
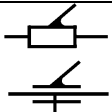
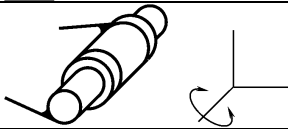

Звенья объединены в механизм кинематическими парами.

Кинематическая пара — *это подвижное соединение двух звеньев. Конструктивно кинематическую пару образуют элементы звеньев в местах их соприкосновения.*

Основным свойством кинематической пары является то, что она накладывает на относительное движение звеньев определенные связи или ограничения (**S**). В общем случае звено (твердое тело) в пространстве обладает шестью (**$H = 6$**) степенями свободы. В табл. 1 приведены значения **H** и **S** с учетом образования звеньями кинематических пар.

Таблица 1

Кинематические пары

<i>H</i>	<i>S</i>	Название	Конструктивное оформление	Условное изображение
5	1	<i>Плоскость—шар</i>		
4	2	<i>Плоскость—цилиндр</i>		
3	3	<i>Плоскостная</i>		
3	3	<i>Сферическая</i>		
2	4	<i>Цилиндрическая</i>		
2	4	<i>Сферическая с пальцем</i>		
1	5	<i>Поступательная</i>		
1	5	<i>Вращательная</i>		

Существует несколько классификаций кинематических пар.

Классификация по Рело. Все кинематические пары подразделяются на низшие и высшие.

Низшей называется кинематическая пара, в которой требуемое относительное движение звеньев может быть получено постоянным соприкосновением её элементов по поверхности; **высшей** — в которой это обеспечивается соприкосновением по линии или в точке.

Классификация по Артоблевскому. Все кинематические пары подразделяются на пары **1, 2, 3, 4 и 5** класса. Класс пары определяется числом условий связи **S** в относительном движении звеньев.

Классификация по Добровольскому. Все кинематические пары подразделяются на **одно-, двух-, трех-, четырех- и пятиподвижные** пары. Класс пары определяется числом степеней свободы **H** в относительном движении звеньев.

Кинематическая цепь — это система звеньев, образующих кинематические пары.

Замкнутой называется кинематическая цепь, звенья которой образуют один или несколько замкнутых контуров.

Сложной называется кинематическая цепь, в которой есть хотя бы одно звено, образующее более двух кинематических пар.

Плоской называется кинематическая цепь, в которой при закреплении одного из звеньев точки всех остальных звеньев описывают плоские траектории.

Закрепление одного из звеньев превращает его в стойку, а кинематическую цепь — в механизм.

Структурной схемой механизма называется схема, на которой указываются стойка, подвижные звенья, виды и взаимное расположение кинематических пар. Структурная схема выполняется без масштаба. Если звено образует две пары — изображается отрезком прямой с условными изображениями кинематических пар по концам отрезка, более двух пар — многоугольником с условными изображениями кинематических пар по вершинам. Условные изображения кинематических пар приведены в табл. 1.

Кинематической схемой механизма называется схема, на которой указываются стойка, подвижные звенья и виды кинематических пар. Кроме того кинематическая схема должна содержать все параметры, необходимые для кинематического анализа, поэтому расположение условных изображений кинематических пар и звеньев должно геометрически соответствовать конструкции механизма. Следовательно, выполняться она должна с использованием масштаба или масштабного коэффициента.

Кинематическим парам на схемах присваиваются буквенные обозначения (прописные буквы латинского алфавита), звеньям — арабские цифры.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Шести степеням свободы тела, свободно движущегося в пространстве, можно поставить в соответствие шесть независимых друг от друга координат, определяющих его положение относительно выбранной системы координат. Они называются *обобщенными*, так как определяют положение всего твердого тела (дают возможность определить положение любой его точки).

Аналогично **обобщенными координатами механизма** называются независимые между собой координаты, определяющие положение всех звеньев механизма относительно стойки. Число обобщенных координат равно числу степеней свободы (подвижности) механизма.

Число степеней свободы пространственного механизма определяется по **структурной формуле (формуле Сомова – Малышева)**:

$$W = 6 \cdot n - 1 \cdot p_1 - 2 \cdot p_2 - 3 \cdot p_3 - 4 \cdot p_4 - 5 \cdot p_5 = 6 \cdot n - \sum_{i=1}^5 i \cdot p_i$$

где 6 — число степеней свободы звена (твердого тела) в пространстве;

n — число подвижных звеньев;

i — число уравнений, связывающих координаты звеньев (совпадает с классом i -той кинематической пары);

p_i — число кинематических пар i -того класса.

В плоском механизме число уравнений, связывающих координаты звеньев, не совпадает с классом кинематической пары. Удобно в этом случае пользоваться **структурной формулой (формулой Чебышева)** в таком виде:

$$W = 3 \cdot n - 1 \cdot p_v - 2 \cdot p_n,$$

где 3 — число степеней свободы звена (твердого тела) на плоскости;

n — число подвижных звеньев;

1 — число уравнений, связывающих координаты звеньев, если их соединяет высшая пара;

2 — число уравнений, связывающих координаты звеньев, если их соединяет низшая пара;

p_v, p_n — число высших и низших пар соответственно.

Структурные формулы используются как при синтезе, так и при анализе механизмов.

Первичный механизм (или механизм 1 класса) об-

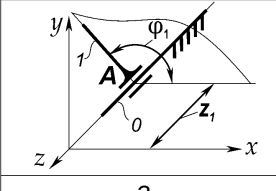
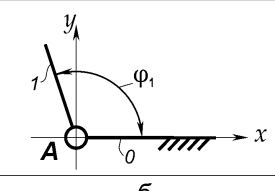
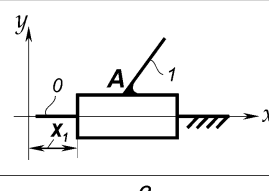
Теория механизмов и машин

разуется стойкой и подвижным звеном.

Подвижное звено в первичном механизме называется *начальным*, его положение определяется в соответствии с подвижностью первичного механизма обобщенной координатой (φ_1 или \mathbf{z}_1 — табл. 2, б, в) или обобщенными координатами (табл. 2, а — φ_1, \mathbf{z}_1)¹.

Таблица 2


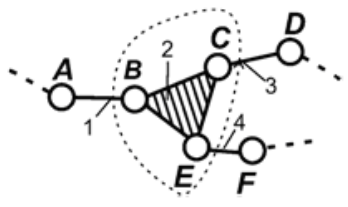
Схемы первичных механизмов

 <p style="text-align: center;">а</p>	 <p style="text-align: center;">б</p>	 <p style="text-align: center;">в</p>
--	--	--

Структурной группой (группой Ассура) называется кинематическая цепь, имеющая число степеней свободы относительно элементов внешних кинематических пар, которыми она может быть присоединена к имеющемуся механизму (в табл. 3 показаны пунктирными линиями), равное нулю. Такая кинематическая цепь не должна распадаться на более простые цепи, отвечающие этому же условию.

Таблица 3

Структурные группы

n	P_H	Схема	Класс	Порядок
2	3		2	2
4	6		3	3

¹ Нижний индекс у обобщенных координат указывает номер звена.

n	p_H	Схема	Класс	Порядок
4	6		4	2

Класс группы определяется числом кинематических пар в контуре (в табл. 3 обведен пунктирной линией), содержащем наибольшее количество пар.

Порядок группы определяется числом внешних кинематических пар, которыми она может быть присоединена к имеющемуся механизму.

Группы 2-го класса подразделяются по видам (табл. 4).

Таблица 4

Виды структурных групп второго класса

Вид	1	2	3	4	5
Схема					

Структурный анализ выполняется для определения подвижности (числа степеней свободы) механизма и его формулы строения.

Структурный анализ начинается с выполнения структурной схемы механизма. На рисунках 1, 2 и 4 представлены кинематические (слева) и структурные (справа) схемы для механизмов с низшими (рис. 1 и 2) и высшими (рис. 4) парами.

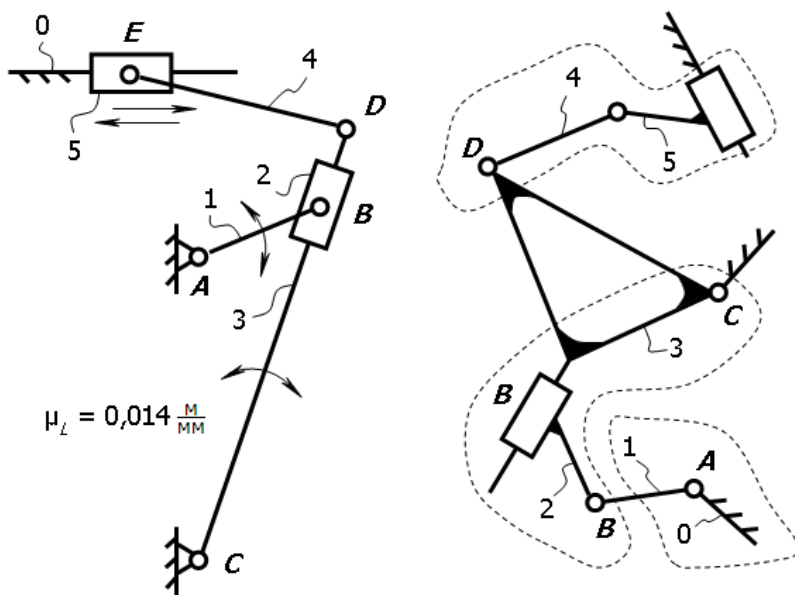


Рис.1. Схемы кулисного механизма.

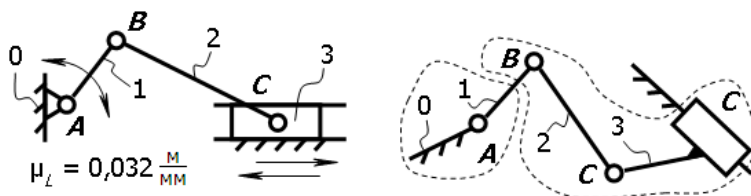


Рис.2. Схемы кривошипно-ползунного механизма.

Пунктирным контуром на структурных схемах выделены первичные механизмы и структурные группы. Так как оси всех вращательных пар параллельны, то это механизмы плоские. Используя формулу Чебышева, можно получить:

— для схемы на рис.1

$$W = 3 \cdot n - 1 \cdot p_B - 2 \cdot p_H = 3 \cdot 5 - 1 \cdot 0 - 2 \cdot 7 = 1;$$

— для схемы на рис.2

$$W = 3 \cdot n - 1 \cdot p_B - 2 \cdot p_H = 3 \cdot 3 - 1 \cdot 0 - 2 \cdot 4 = 1;$$

Теория механизмов и машин

— для схемы на рис.4

$$W = 3 \cdot n - 1 \cdot p_b - 2 \cdot p_n = 3 \cdot 2 - 1 \cdot 1 - 2 \cdot 2 = 1;$$

Структурные группы (табл. 3) содержат только низшие кинематические пары. Если в состав механизма входят высшие пары, необходимо построить схему эквивалентного или заменяющего механизма с низшими парами пятого класса. Замена высшей пары осуществляется путём ввода в механизм дополнительного звена, образующего низшие пары в центрах кривизны элементов высшей пары (рис. 3, звено 3). При этом число степеней свободы исходного механизма с высшими парами и заменяющего механизма не должно измениться.

Если одним из элементов высшей пары является плоскость или прямая, в новом звене заменяющего механизма одной из низших пар будет поступательная.

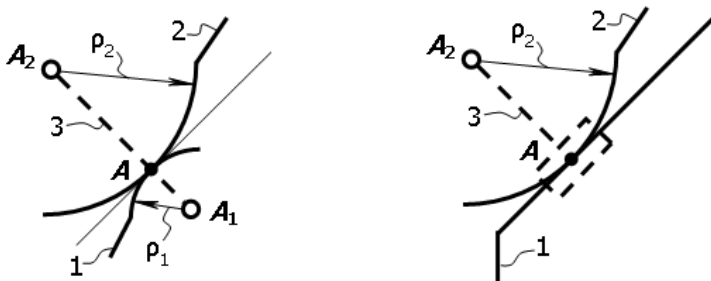


Рис. 3. Замена высших пар низшими.

Каждая замена справедлива для мгновенного положения механизма. В другом положении замена будет аналогичной, но размеры звеньев заменяющей цепи изменятся, т.к. изменятся радиусы кривизны профилей в новой точке контакта. Искусственный прием с заменяющим механизмом может использоваться только для анализа механизмов, но не может быть использован при синтезе.

Для определения формулы строения кулачкового механизма (рис. 4) необходимо провести замену высшей пары **B** низшими и далее проводить структурный анализ заменяющего механизма.

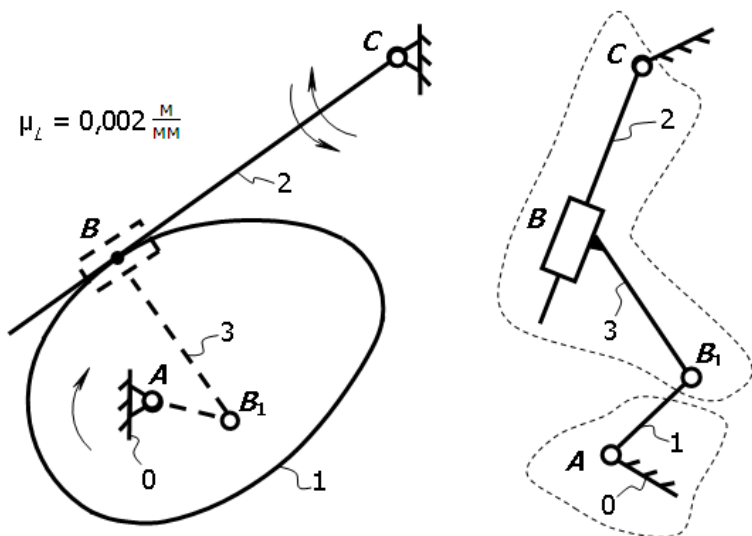


Рис. 4. Схемы кулачкового и заменяющего механизма.

При определении числа степеней свободы механизма необходимо учитывать возможность наличия в нем избыточных связей и лишних степеней свободы. Используем формулу Чебышева для определения подвижности плоского механизма, кинематическая схема которого приведена на рис. 5,а:

$$W = 3 \cdot n - 1 \cdot p_b - 2 \cdot p_n = 3 \cdot 8 - 1 \cdot 1 - 2 \cdot 11 = 1.$$

Звено 7 (ролик) не влияет на характер движения звеньев механизма в целом и дает лишнюю (местную) степень свободы. Наличие в механизме звена 8 приводит к появлению избыточной связи. Механизм будет работоспособен, если будут выполнены следующие условия: $CB = LK = DA$; $CB \parallel LK \parallel DA$. На практике проворачиваемость звеньев в этом случае обеспечивается назначением допусков на размеры звеньев и зазоры в кинематических парах.

На рис. 5,б показана кинематическая схема механизма после исключения избыточных связей и замены высшей пары кинематической цепью, содержащей только низшие пары. На рис. 5,в показана структурная схема механизма. Для схем рис. 5,б,в полу-

чаем:

$$W = 3 \cdot n - 1 \cdot p_b - 2 \cdot p_H = 3 \cdot 7 - 1 \cdot 0 - 2 \cdot 10 = 1.$$

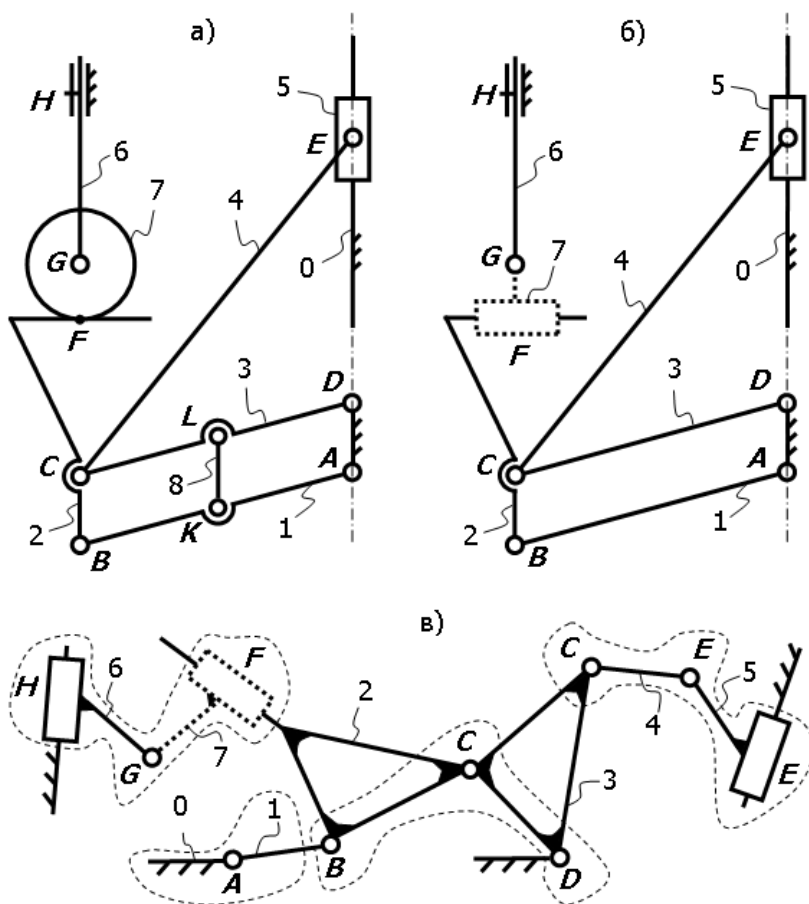


Рис.5. Избыточные связи и лишние степени свободы в механизме

Формулы строения механизмов, выглядят следующим образом (в скобках указаны номера звеньев):

— для схемы на рис. 1:

механизм 2-го класса = механизм 1-го класса (0,1) → группа 2-го класса 3-го вида 2-го порядка (2,3) → группа 2-го класса 2-го вида 2-го порядка (4,5);

Теория механизмов и машин

— для схемы на рис. 2 (формулы можно записывать сокращенно):

$$\text{мех. 2 кл.} = \text{мех. 1 кл.} (0,1) \longrightarrow \text{гр. 2 кл. 2 вида} (2,3);$$

— для схемы на рис. 4:

$$\text{мех. 2 кл.} = \text{мех. 1 кл.} (0,1) \longrightarrow \text{гр. 2 кл. 3 вида} (2,3);$$

— для схемы на рис. 5:

$$\text{мех. 2 кл.} = \text{мех. 1 кл.} (0,1) \longrightarrow \text{гр. 2 кл. 1 вида} (2,3) \begin{cases} \nearrow \text{гр. 2 кл. 4 вида} (7,6) \\ \searrow \text{гр. 2 кл. 2 вида} (4,5) \end{cases}.$$

Класс механизма в целом определяется наивысшим из классов групп, образующих механизм.

Формула строения механизма имеет важное значение для его дальнейшего исследования, так как определяет последовательность кинематического и силового анализа механизма.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Установив надежно на столе макет заданного преподавателем механизма, ознакомиться с механизмом. Найти стойку и входное звено. Сообщив движение входному звену, определить характер движения остальных звеньев. Найти кинематические пары, образованные звеньями со стойкой.

2. Измерить с помощью линейки размеры подвижных звеньев (расстояния между осями вращательных пар) и координаты осей пар, образованных подвижными звеньями со стойкой.

3. Выбрать масштабный коэффициент длины μ_l , определить отрезки, которые будут изображать звенья и координаты осей пар, образованных подвижными звеньями со стойкой.

Используя полученные результаты вычертить кинематическую схему механизма в заданном положении. Указать на схеме масштабный коэффициент длины.

5. Пронумеровать на кинематической схеме механизма звенья арабскими цифрами, а кинематические пары обозначить заглавными буквами латинского алфавита.

6. Составить таблицу подвижных звеньев, указав номер звена и его название (в таблице звенья можно изображать без соблюдения масштаба). Определить число подвижных звеньев.

7. Составить таблицу кинематических пар. Классифицировать пары, используя классификации Артоболевского и Рело. Определить названия кинематических пар, определить количество высших и низших пар.

8. Выявить и удалить (если есть) избыточные связи и лиш-



Теория механизмов и машин

ние степени свободы.

9. Определить принадлежность механизма к плоским или пространственным механизмам. Определить число степеней свободы механизма по соответствующей формуле.

10. Заменить (при наличии) высшие пары низшими, построить структурную схему механизма. Определить число степеней свободы механизма по структурной схеме (оно должно быть таким же, как и в п. 9).

12. Выделить тонкими пунктирными линиями на структурной схеме первичные механизмы и группы Ассура.

14. Написать формулу строения механизма.

15. Определить класс механизма.

16. Оформить отчет и защитить лабораторную работу.

ВОПРОСЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ РАБОТЫ

- Что такое механизм?
- Что называется звеном, входным и выходным?
- Что такое кинематическая пара, элемент пары?
- Как классифицируются пары?
- Что такое кинематическая цепь?
- Что такое первичный механизм или механизм 1 класса?
- Что называется структурной группой или группой Ассура?
- Как определить класс группы Ассура?
- Какое звено называется начальным?
- Каков основной принцип образования механизма?
- Как определить степень свободы механизма?
- Что такое формула строения механизма?
- Как определить класс механизма?
- Чем отличается кинематическая схема механизма от структурной?
- Что такое масштабный коэффициент?

ЛИТЕРАТУРА

1. Теория механизмов и машин. Под ред. К.В.Фролова. -М.:Высш. шк., 2003.-496 с.
2. Теория механизмов и машин. Терминология. Буквенные обозначения величин. М.: «Наука» 1984, Вып.99.