



«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Теоретическая и прикладная механика»

ПРАКТИКУМ

по выполнению лабораторной работы
«Структурный анализ плоского механизма»
по дисциплине
«Теория механизмов и машин»

Авторы
Камышанов А.И.,
Ровеньков Е.Д.,
Савенков М.В.

Ростов-на-Дону, 2022

Теория механизмов и машин

Составители: доцент, к. т. н. Камышанов А.И.
доцент, к. т. н. Ровеньков Е.Д.
доцент, к. т. н. Савенков М.В.

Практикум по выполнению лабораторной работы по дисциплине «Теория механизмов и машин»

В практикуме кратко изложены теоретические вопросы, необходимые для успешного выполнения лабораторной работы, рабочее задание и контрольные вопросы.

Предназначен для обучающихся по направлениям и специальностям: 15.03.02, 15.03.05, 23.05.01, 35.03.06

Ответственный за выпуск:
Зав.кафедрой
«Теоретическая и прикладная механика»
проф., д.т.н. Соловьев А.Н.

ВВЕДЕНИЕ	4
ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	4
ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ	4
КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ.....	8
ИНСТРУКЦИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТЫ.....	15
ЦЕЛЬ РАБОТЫ	16
РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ	16
ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	16
МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ	16
ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.....	16
ВОПРОСЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ РАБОТЫ	17
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	18

ВВЕДЕНИЕ

Практикум служит для разъяснения порядка, методики выполнения лабораторной работы по разделу «Структурное исследование механизмов».

Практикум по лабораторной работе способствует получению навыков применения теории при анализе структуры реальных механизмов.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

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 преобразо-

вание 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 **нижними парами** (шарнирно-рычажные, винтовые, клиновые механизмы) и **вышними 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.

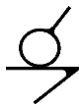
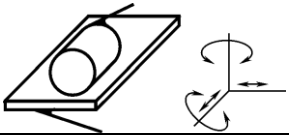


Кинематическая пара — это подвижное соединение двух звеньев.

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

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

Н	S	Название	Конструктивное оформление	Условное изображение
1	5	Вращательная	 	

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 **Артоболовскому**. 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 параметрам 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) при плоском движении;

n — число подвижных звеньев;

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

2 — число уравнений, связывающих координаты звеньев

p_v , — число высших и низших пар соответственно.

p_n — число низших пар соответственно

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

Первичный механизм (или механизм 1 класса или основной механизм) образуется 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 x_1 — табл. 2, б, в) или обобщенными координатами (табл. 2, а — φ_1, z_1)¹.

Структурной группой (группой Ассур) называется кинематическая цепь, имеющая число степеней свободы относительно элементов внешних кинематических пар, которыми она может быть присоединена к имеющемуся механизму (в табл.3

¹ Нижний индекс у обобщенных координат указывает номер звена.

показаны штриховыми линиями), равно нулю. Такая кинематическая цепь не должна распадаться на более простые цепи, отвечающие этому же условию.

Таблица 2

Схемы первичных механизмов

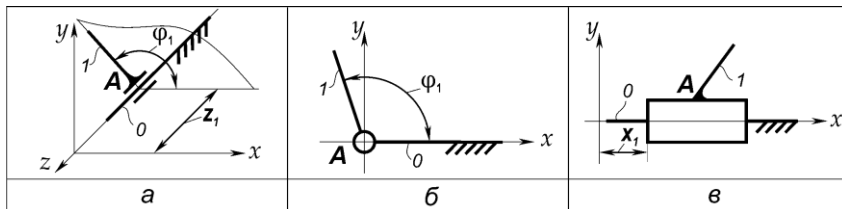
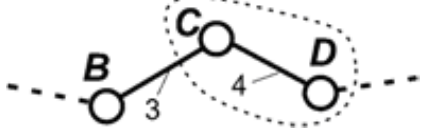
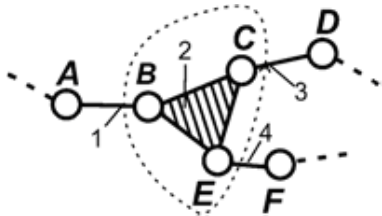
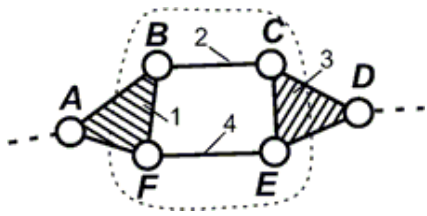


Таблица 3

Структурные группы

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

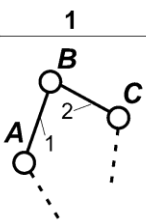
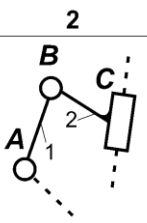
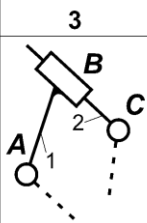
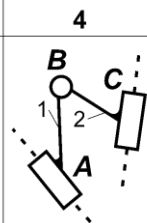
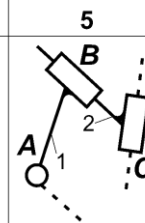
Класс группы определяется числом кинематических пар в контуре (в табл. 3 обведен пунктирной линией), содержащем наибольшее количество пар.

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.

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

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

— для схемы на рис.4

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

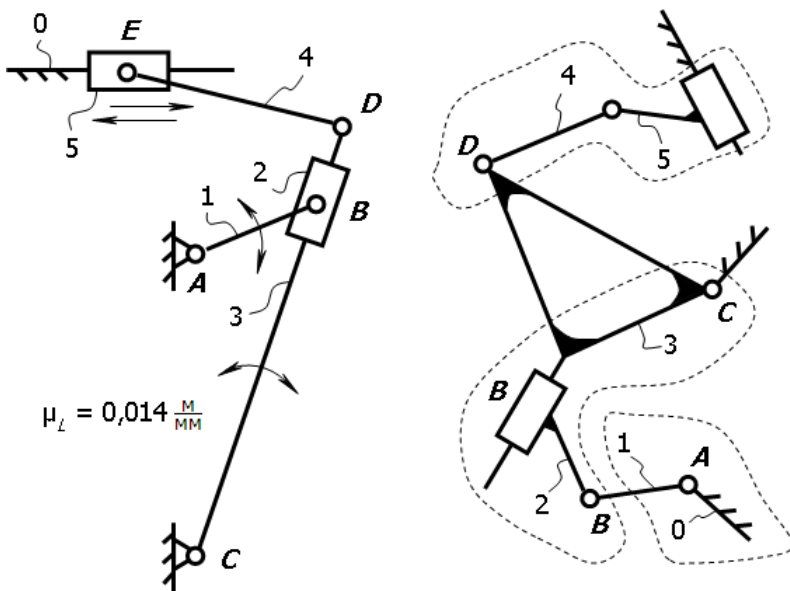


Рис.1. Схемы кулисного механизма.

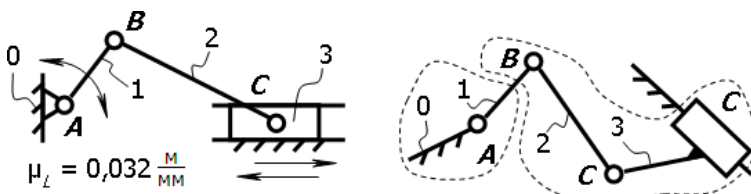


Рис.2. Схемы кривошипно-ползунного механизма.

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.

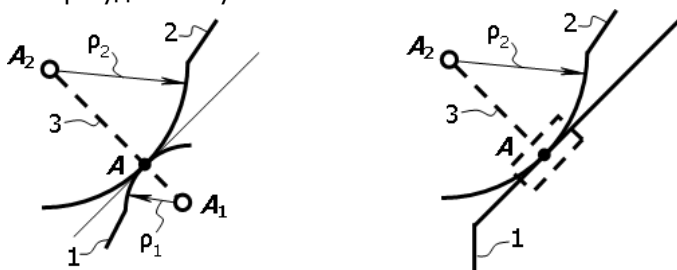


Рис. 3. Замена высших пар низшими.

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.

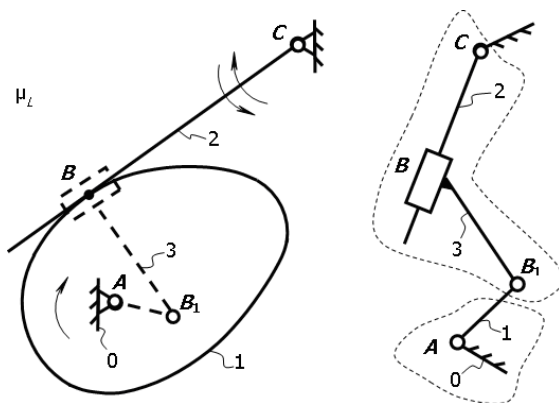


Рис. 4. Схемы кулачкового и заменяющего механизма.

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:

$$W = 3 \cdot n - 1 \cdot p_B - 2 \cdot p_H = 3 \cdot 8 - 1 \cdot 1 - 2 \cdot 11 = 1.$$

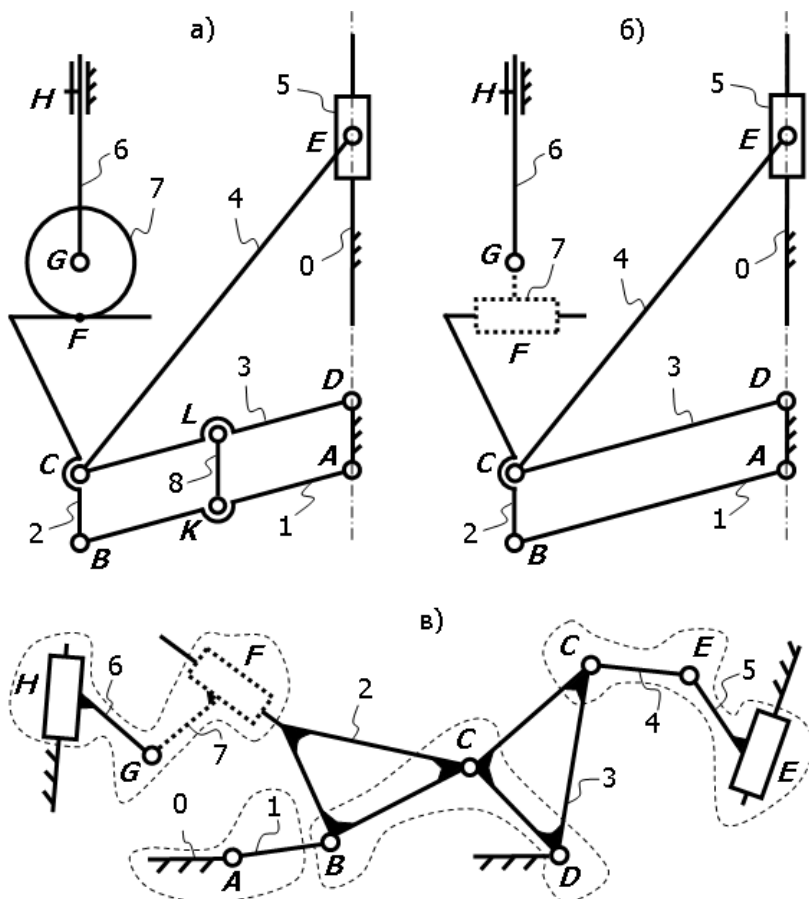


Рис.5. Избыточные связи и лишние степени свободы в механизме

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.

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);

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

мех. 2 кл. = мех. 1 кл. (0,1) → гр. 2 кл. 2 пор. (2,3);

— для схемы на рис. 4:

мех. 2 кл. = мех. 1 кл. (0,1) → гр. 2 кл. 2 пор. (2,3);

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.

ИНСТРУКЦИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТЫ

К выполнению лабораторных работ студенты допускаются только после инструктажа по технике безопасности, противопожарным мерам и росписи в специальном журнале.

Студенты самостоятельно выполняют работы только на специальных лабораторных установках под руководством преподавателя.

Студентам категорически запрещается без разрешения преподавателя включать лабораторное оборудование в электросеть и изменять режим его работы, а также проявлять осторожность в процессе изучения движения звеньев различных механизмов.

При нарушении требований техники безопасности студент отстраняется от дальнейшего выполнения лабораторной работы. Если действия студента не привели к серьезным последствиям, то он может быть вновь допущен к лабораторным занятиям после повторного инструктажа.

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.

РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ

Каждый студент получает индивидуальное задание (соответствующие механизмы, режимы работы, исходные параметры для выполнения лабораторной работы)

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Лабораторная работа проводится в специализированной лаборатории.

К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, освоившие теоретическую часть, цель и порядок выполнения работы. Протокол практикума по лабораторной работе представлен в приложении А.

МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Действующие макеты реальных механизмов, используемые для проведения практикума по лабораторным работам, находящиеся в кафедральной лаборатории, ауд. 1-323.

ПОРЯДОК 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 (т.е. для заданного значения обобщенной координаты). 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 лишние 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?
- Какое звено называется входным?
- Какое звено называется 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-Артоболевского?
- Как определить порядок группы Ассура-Артоболевского?

Теория механизмов и машин

- Какое звено называется начальным?
- Каков принцип образования механизма по Ассур-Артоболовскому ?
- Как определить степени свободы (подвижность) механизма?
- Что такое формула строения механизма?
- Как определить класс механизма?
- Чем отличается кинематическая схема механизма от структурной?
- Что такое масштабный коэффициент?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теория механизмов и машин. Анализ, синтез, расчет/ Ю.Ф. Лачуга, А.М. Баусов, А.Н. Воскресенский, А.М. Абалихин. – М.: Бибком, Транслог, 2015. – 416с.: ил. – (Учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений).

2. Теория механизмов и машин. Под ред. К.В.Фролова. - М. :Высш. шк., 2003.-496 с.

3. Теория механизмов и машин. Терминология. Буквенные обозначения величин. М.: «Наука» 1984, Вып.99

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Кафедра «Теоретическая и прикладная механика»

Лабораторная работа по дисциплине «Теория механизмов и машин»

Структурный анализ плоских механизмов

Группа _____ Студент _____ Преподаватель _____
Фамилия И. О. Фамилия И. О.

Исходные данные: модель механизма № _____

1. Эскиз кинематической схемы механизма.

Подвижные звенья

Номер				
Название				

Кинематические пары и их классификация

Обозначение кинематической пары					
Звенья, образующие пары					
Классификация по Артолеву					
Классификация по Рело					
Относительное движение звеньев пары					

2. Эскиз кинематической схемы механизма после замены высших пар кинематической цепью, содержащей только низшие пары.

Теория механизмов и машин

Подвижные звенья

Номер				
Название				

Кинематические пары и их классификация

Обозначение кинематической пары					
Звенья, образующие пары					
Классификация по Артолеву					
Классификация по Рело					
Относительное движение звеньев пары					

3. Степень подвижности механизма до замены высших пар

4. Степень подвижности механизма после замены высших пар

5. Структурная схема механизма. Выделение механизмов I класса и структурных групп.

6. Формула строения механизма

Выводы.

Для определения положений звеньев механизма необходимо задать _____ о обобщенных (нулю) координат(у).

Иследуемый механизм является механизмом _____ класса

Работу принял преподаватель _____ « ____ » _____ 20__ г.