

ОПД.Ф.02.03 ТЕОРИЯ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ

Методические указания к лабораторной работе

Методические указания соответствуют ФГОС ВПО по направлению (специальности) 190300.65 «Подвижной состав железных дорог».

Содержат общие подходы к решению задач структурного анализа механизмов. Рассмотрены вопросы строения механизмов, замены высших кинематических пар низшими, выявления избыточных связей и лишних степеней свободы, определение степени подвижности и класса механизма.

Предназначены для студентов 2-го курса всех форм обучения, изучающих дисциплину «Теория механизмов и машин», при выполнении лабораторной работы по структурному анализу механизмов.

ВВЕДЕНИЕ

Современное производство, отличающееся высокой механизацией и автоматизацией, предполагает использование большого количества различных машин и механизмов.

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

Все машины можно разделить на несколько групп:

– *энергетические машины* (электродвигатели, электрогенераторы, турбины, двигатели внутреннего сгорания, паровые машины и т.д.), назначение которых состоит в преобразовании любого вида энергии в механическую или наоборот;

– *рабочие технологические машины* (станки, автоматы, компрессоры, транспортеры и другие.), выполняющие основные технологические функции;

– *информационные машины* (компьютеры, аналого-вычислительные устройства и т.д.), преобразующие информацию и производящие различные вычислительные операции.

Механизм – это система определенным образом взаимосвязанных твердых тел, предназначенная для преобразования движения одного или нескольких тел в требуемые движения других. Механизмами являются различные механические передачи, часы, эллипсографы и т. д.

Наука о машинах и механизмах в основном решает две проблемы: анализ и синтез. *Анализ механизма* состоит в исследовании кинематических и динамических свойств механизма по его заданной схеме; *синтез механизма* – в проектировании схемы механизма по заданным его свойствам.

Структурой машин и механизмов занимались многие крупнейшие ученые мира. Знаменитый математик П.Л. Чебышев опубликовал 15 работ по структуре и синтезу механизмов. Он первым обратил внимание на существование определенного соотношения в механизме между числом звеньев и кинематических пар. В дальнейшем его идеи были развиты в трудах А.П. Малышева, П.О. Сомова, В.В. Добровольского, С.Н. Кожевникова, И.И. Артоболевского, Л.Н. Решетова, Л.Т. Дворникова и др.

Большой вклад в создание и классификацию машин и механизмов внесли Р. Виллис, Л. Бурместер, И.И. Дворников, В.В. Добровольский, С.Н. Кожевников и др.

Вопросам устранения избыточных связей в механизмах посвящены работы Л.Н. Решетова, В.Н. Ермака и др.

Выполнив лабораторную работу, студенты должны приобрести практические навыки структурного анализа механизмов.

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ. ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ПОНЯТИЯ

1.1. Деталь, звено, структурная схема механизма

Целью работы является изучение принципов строения и структурного анализа механизмов.

Любой механизм состоит из деталей, которые определенным образом взаимосвязаны между собой. Деталь – это элементарная часть машины или механизма, изготовленная из однородного материала без сборочных операций. На рис. 1 и 2 изображены эскизы двигателя внутреннего сгорания и сборочной единицы вал – зубчатое колесо. Эти устройства состоят из нескольких деталей: кривошипа 1, шатуна 2, ползуна 3, корпуса 4, коленвала 5, клапана 6, вала 7, шпонки 8, зубчатого колеса 9 и т. д.

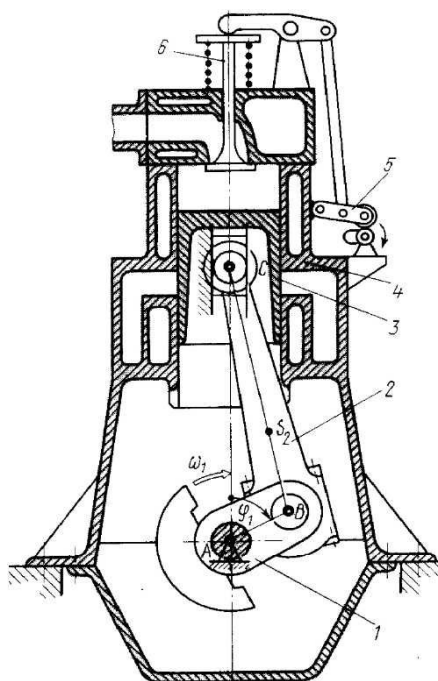


Рис. 1. Двигатель внутреннего сгорания

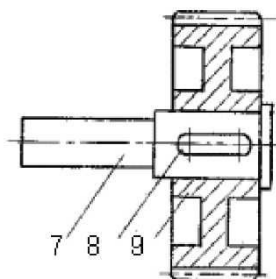


Рис. 2. Сборочная единица

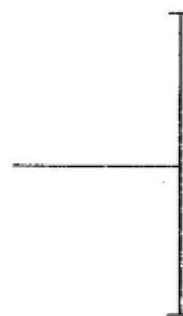


Рис. 3. Звено

С позиции структурного анализа важно иметь информацию не о числе, а о количестве совокупностей (звеньев), объединяющих детали с одинаковым характером движения.

Звеном называется деталь или любая совокупность деталей, не имеющих между собой относительного движения, т. е. движущихся как одно целое. Из чего следует, что сборочная единица вал – зубчатое колесо может быть представлено одним звеном, схематическое изображение кото-

рого приведено на рис. 3. Следовательно, любой механизм необходимо рассматривать как систему звеньев, подвижно-соединенных между собой.

Звенья механизма бывают подвижными и неподвижными. За неподвижное звено принимают то звено, относительно которого изучают законы движения всех других звеньев. Например, в станках – станина, в редукторах – корпус, в автомобилях – кузов.

В зависимости от характера движения и назначения звенья имеют определенные названия. Неподвижное звено называют *стойкой*. *Кривошип* – вращающееся звено механизма, которое совершает полный оборот вокруг неподвижной оси. *Шатун* – звено механизма, образующее подвижные соединения только с подвижными звеньями. *Коромысло* – звено механизма, которое совершает колебательные движения при неполном обороте вокруг неподвижной оси. *Ползун* – звено, образующее поступательное подвижное соединение со стойкой. *Кулисный камень* – звено, образующее поступательное подвижное соединение с кулисой. *Кулиса* – подвижное звено механизма, являющееся направляющей для кулисного камня. *Зубчатое колесо* – звено с замкнутой на ней системой выступов, обеспечивающее взаимодействие с соответствующими выступами другого колеса. *Кулачок* – звено, которое выполнено в виде поверхности переменной кривизны. *Толкатель* – звено кулачкового механизма, взаимодействующее с рабочей поверхностью кулачка и совершающее поступательное движение.

В современном машиностроении применяют машины и механизмы с твердыми (жесткими), упругими (гибкими), жидкими и газообразными телами. К упругим звеньям относятся пружины, мембраны и другие элементы, упругая деформация которых вносит существенные изменения в работу механизма. К гибким звеньям относят ремни, цепи, канаты. К жидким и газообразным относятся масло, вода, газ, воздух и тому подобные вещества. При структурном анализе механизмов рассматриваются только жесткие (твердые) звенья.

Структурная схема механизма – безмасштабное графическое изображение механизма с применением условных обозначений звеньев и кинематических пар. Если структурную схему выполнить в масштабе, то получится *кинематическая схема*.

Структурная схема механизма применяется при структурном анализе и синтезе механизмов, а кинематическая схема используется при кинематическом и силовом анализе механизмов.

На структурных и кинематических схемах механизмов звенья принято обозначать арабскими цифрами, а их подвижные соединения (кинематические пары) – заглавными буквами латинского алфавита.

1.2. Кинематические пары, замена высших кинематических пар низшими

Кинематической парой называется соединение двух соприкасающихся звеньев, допускающее относительное движение. На рис. 4 показаны условные обозначения наиболее распространенных на практике кинематических пар.

Элементами звена называются поверхности, линии или точки звена, по которым оно может соприкаться с другим звеном, образуя кинематическую пару. В зависимости от вида элемента звена различают кинематические пары высшие (элемент звена – точка или линия) и низшие (элемент звена – линия).

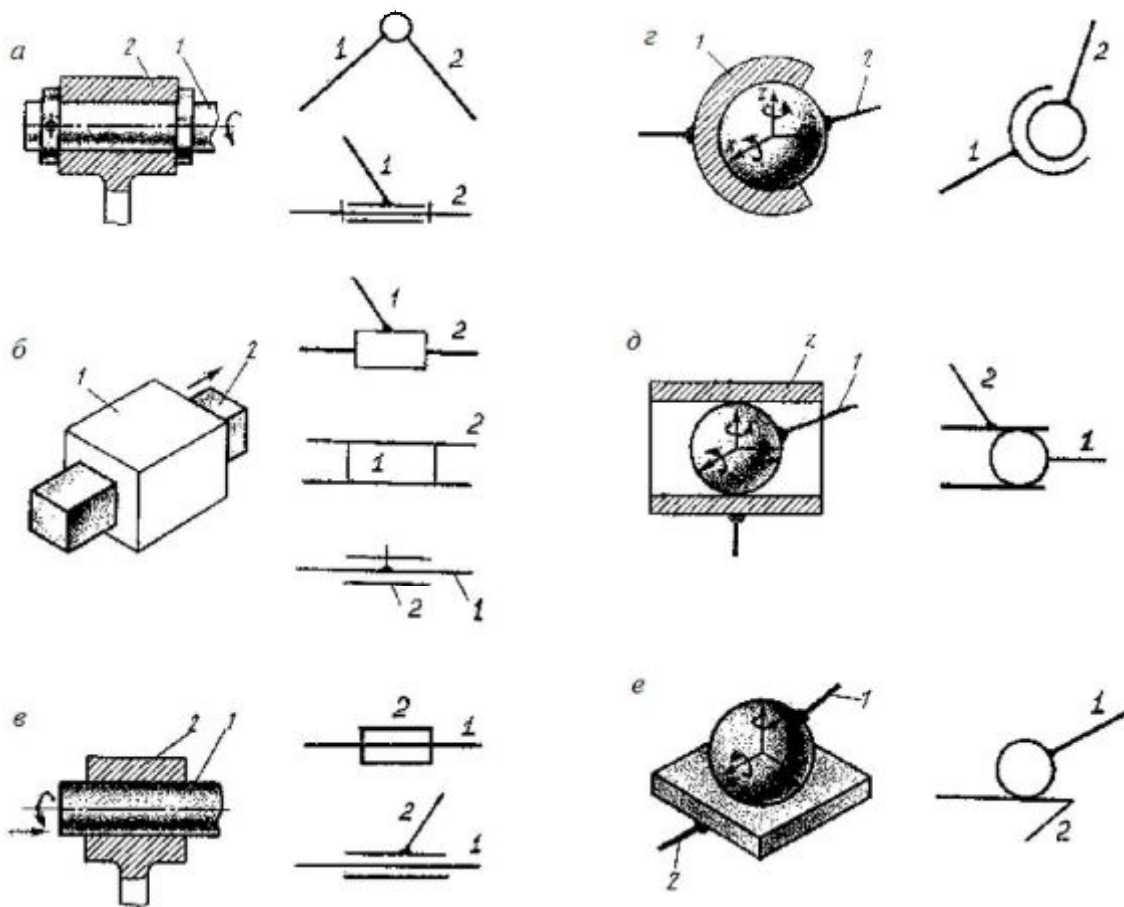


Рис. 4. Кинематические пары: *a* – вращательная одноподвижная (5-го класса, низшая); *б* – поступательная одноподвижная (5-го класса, низшая); *в* – цилиндрическая двухподвижная (4-го класса, низшая); *г* – сферическая трехподвижная (3-го класса, низшая); *д* – шар в цилиндре (2-го класса, высшая); *е* – шар на плоскости (1-го класса, высшая)

Кинематические пары классифицируются также по числу степеней свободы (подвижности) в относительном движении звеньев или по числу условий связей (класс пары по И.И. Артоблеву), накладываемой парой на движение одного звена относительно другого.

При исследовании механизмов с высшими кинематическими парами целесообразно заменять их аналогами с низшими кинематическими парами. Заменяющие механизмы должны быть кинематически эквивалентны заменяемым.

Для построения заменяющих механизмов необходимо выполнить следующие действия.

1. Провести общую нормаль $N-N$ в месте контакта элементов заменяемой высшей кинематической пары.

2. Найти центры кривизны контакта звеньев, образующих эту высшую кинематическую пару.

3. Поместить в найденные центры кривизны вращательные кинематические пары, если радиусы кривизны конечны, и поступательные кинематические пары, если один или оба радиуса бесконечны.

4. Последовательно соединить между собой все ранее существующие и вновь образованные низшие кинематические пары с помощью звеньев.

На рис. 5, *а* приведены примеры механизмов с высшими кинематическими парами и их заменяющие механизмы (рис. 5, *б*).

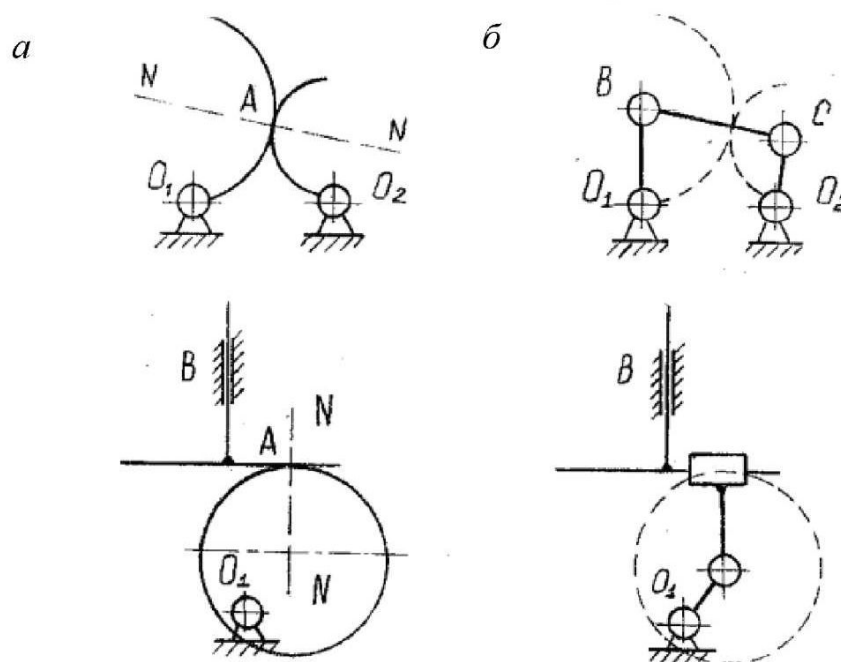


Рис. 5. Механизм с высшей кинематической парой и заменяющий механизм

Заметим, что заменяющие механизмы полностью эквивалентны заменяемым только в рассматриваемый момент времени. Если строить заменяющий механизм для других положений звеньев, то его структура останется той же, но размеры звеньев могут быть другими.

1.3. Кинематические цепи

Кинематической цепью называется связанная система звеньев, образующих между собой кинематические пары.

По области движения звеньев кинематические цепи бывают плоскими или пространственными. В *плоских кинематических цепях* траектории движения точек всех звеньев – плоские кривые, лежащие в параллельных плоскостях. В *пространственных кинематических цепях* точки звеньев механизма описывают пространственные кривые.

По принципу наличия разветвлений кинематические цепи бывают простыми и сложными. *Простой кинематической цепью* называется такая цепь, у которой каждое звено входит не более чем в две кинематические пары. *Сложной кинематической цепью* называется такая цепь, у которой имеется хотя бы одно звено, входящее более чем в две кинематические пары.

Простые и сложные кинематические цепи, в свою очередь, делятся на замкнутые и незамкнутые. *Замкнутой кинематической цепью* называется кинематическая цепь, каждое звено которой входит по крайней мере в две кинематические пары. *Незамкнутой кинематической цепью* кинематическая цепь, в которой есть звенья, входящие только в одну кинематическую пару.

2. СТРУКТУРНЫЕ ФОРМУЛЫ МЕХАНИЗМОВ

Существуют общие закономерности в структуре самых различных механизмов, связывающие число степеней подвижности (свободы) W механизма с числом и видом его кинематических пар. Эти закономерности носят название *структурных формул* механизмов.

Для пространственных механизмов в настоящее время применяется формула А.П. Малышева:

$$W=6n - 5p_1 - 4p_2 - 3p_3 - 2p_4 - p_5, \quad (1)$$

где n – число подвижных звеньев механизма; p_i – число кинематических пар, подвижность которых равна i .

Для плоских механизмов применяется структурная формула П.Л. Чебышева:

$$W = 3n - 2p_1 - p_2. \quad (2)$$

Величина W показывает, сколько должно быть у механизма обобщенных координат. Можно также считать, что величина W определяет количество ведущих звеньев в механизме.

3. ИЗБЫТОЧНЫЕ СВЯЗИ И ЛИШНИЕ СТЕПЕНИ СВОБОДЫ

В некоторых случаях для повышения жесткости конструкции, улучшения условий передачи сил вводятся избыточные (пассивные) связи.

В так называемом «механизме параллельных кривошипов» (рис. 6, а) такой связью является звено 5 с кинематическими парами D и F .

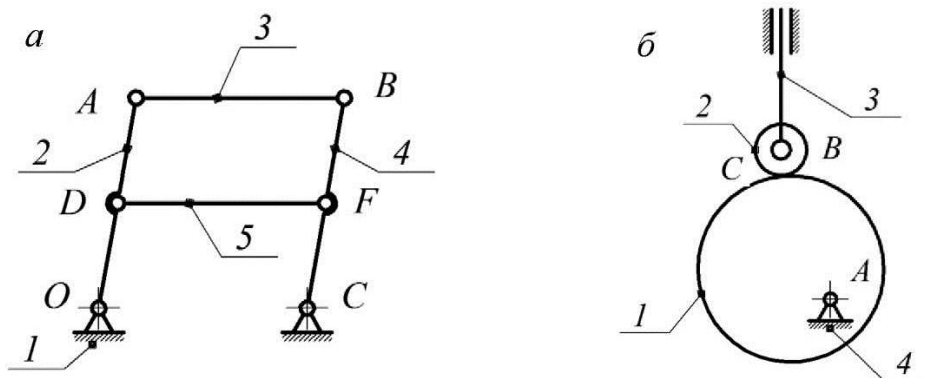


Рис. 6. Механизмы с избыточной связью и лишней степенью свободы

Звенья, вносящие пассивные связи, уменьшают степень подвижности механизма. При определении степени подвижности пассивные связи не учитываются.

Наоборот, когда в механизм вводятся дополнительные звенья, имеющие собственную свободу движения, тогда говорят о лишней степени свободы. Так, степень подвижности кулачкового механизма (рис. 6, б), определенная по формуле (2), равна двум, поскольку в таком механизме три подвижных звена, две одноподвижные и одна двухподвижная кинематическая пара.

Лишнюю степень подвижности механизма вносит свободный поворот ролика вокруг оси вращения без влияния на характер движения механизма в целом. Построив заменяющий механизм, нетрудно убедиться, что он имеет степень подвижности равную единице.

4. ОСНОВЫ СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗА И АНАЛИЗА МЕХАНИЗМОВ ПО МЕТОДУ Л.В. АССУРА

Профессор Л.В. Ассур предложил простой метод синтеза структурных схем плоских механизмов путем последовательного присоединения к первичному механизму особых кинематических цепей – групп. В качестве первичного механизма I класса, принимается простейший двухзвенный механизм, состоящий из подвижного звена, установленного на стойке.


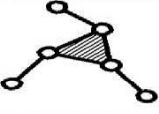
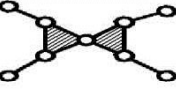
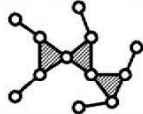
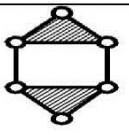
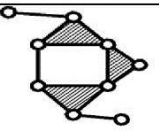
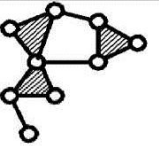
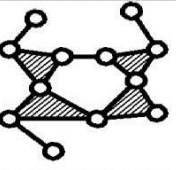
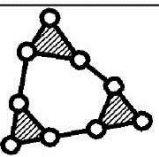
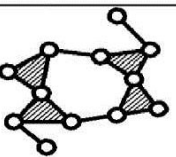
Группой называется кинематическая цепь, которая после присоединения к стойке своими свободными элементами имеет степень подвижности, равную нулю. Кроме того, в группах Ассура все кинематические пары низшие. Следовательно, для группы Ассура структурная формула (2) примет вид:

$$3n - 2p_1 = 0. \quad (3)$$

Из этого уравнения следует, что число звеньев группы всегда четное, а число кинематических пар – кратно трем. В табл. 1 приведены группы Ассура различных классов и порядков.

Таблица 1

Структура групп

Группа	Порядок			
	II	III	IV	V
II класса				
III класса				
IV класса				
V класса				
VI класса				

Класс групп определяется по предложению И.И. Артоболевского числом кинематических пар, входящих в замкнутый контур, образованный внутренними кинематическими парами. Порядок группы определяется числом внешних элементов кинематических пар, которыми группа присоединяется к имеющемуся механизму: первая группа присоединяется к первичному механизму, каждая последующая – к полученному ранее механизму, при этом нельзя присоединять группы к одному звену.

Структурная группа II класса (обычно называемая двухпроводковой группой Ассура) дополнительно классифицируется по видам, различающихся сочетанием вращательных и поступательных пар (рис. 7).

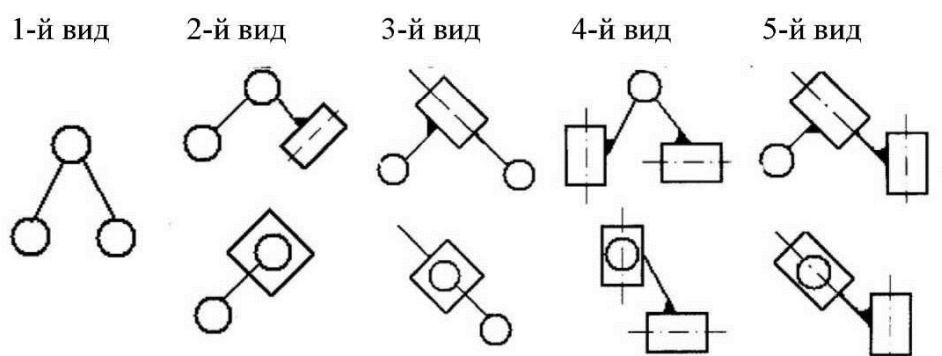


Рис. 7. Структурные группы II класса

Класс и порядок механизма определяются классом и порядком наиболее сложной группы, входящей в состав механизма.

Структурный анализ механизма производится путем расчленения его на структурные группы и первичные механизмы в порядке, обратном образованию механизма.

5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Порядок структурного анализа механизма сводится к выполнению следующих операций.

1. Ознакомиться с принципом действия механизма.
2. Определить, какие из звеньев механизма являются кривошипом, шатуном, ползуном, коромыслом, кулисой или камнем и т. д.
3. Вычертить структурную схему механизма.
4. На структурной схеме механизма пронумеровать звенья арабскими цифрами.
5. Обозначить кинематические пары заглавными буквами латинского алфавита.

6. Определить:
 - число подвижных звеньев механизма n ;
 - тип кинематических пар;
 - количество одноподвижных p_1 и двухподвижных p_2 кинематических пар.
7. Рассчитать степень подвижности механизма W и проанализировать полученный результат.
8. Расчленив механизм на структурные группы Ассура и первичный механизм и вычертить их.
9. Определить для каждой группы Ассура ее класс и порядок по классификации Артоболевского.
10. Определить класс всего механизма.
11. Составить отчет.

ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ ОТЧЕТА

Цель: изучение принципов строения и структурного анализа механизмов.

Оборудование: модели механизмов.

1. Структурная схема

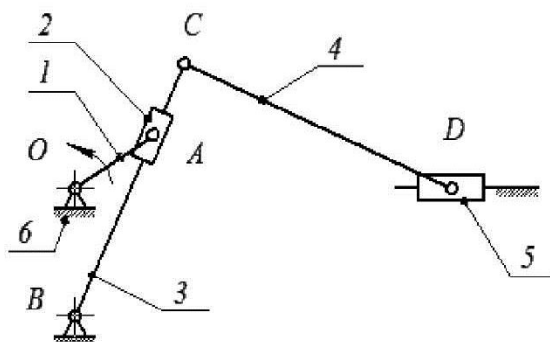


Рис 8. Структурная схема механизма

2. Звенья механизма

Номер звена	Наименование	Подвижность звеньев	Число подвижных звеньев
1	Кривошип	подвижное	$n = 5$
2	Кулисный камень	подвижное	
3	Кулиса	подвижное	
4	Шатун	подвижное	
5	Ползун	подвижное	
6	Стойка	неподвижное	

3. Кинематические пары

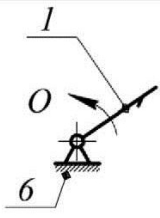
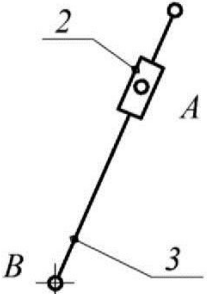
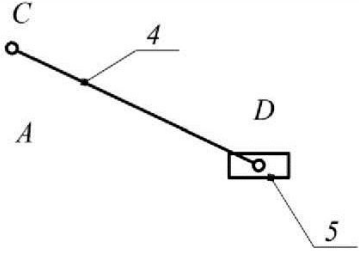
Обозначение	Соединяемые звенья	Тип кинематической пары			Число кинематических пар	
		Вид движения	Характер соединения	Подвижность	Одноподвижных	Двухподвижных
О	1–6	Вращательное	Низшая	Одноподвижная	P ₁ =7	P ₂ =0
А	1–2	Вращательное	Низшая	Одноподвижная		
В	3–6	Вращательное	Низшая	Одноподвижная		
С	3–4	Вращательное	Низшая	Одноподвижная		
Д	4–6	Вращательное	Низшая	Одноподвижная		
	2–3	Поступательное	Низшая	Одноподвижная		
	5–6	Поступательное	Низшая	Одноподвижная		

4. Степень подвижности

$$W = 3n - 2p_1 - p_2 = 3 \cdot 7 - 2 \cdot 7 - 0 = 1.$$

Избыточных связей и лишних степеней свободы нет.

5. Структура механизма

Классификация	Первичный механизм I класса	Группа Ассур II класса, II порядка, 3 вида	Группа Ассур II класса, II порядка, 2 вида
Строение			

Рассматриваемый механизм (рис. 8) II класса II порядка

При структурном анализе механизмов с высшими кинематическими парами, с избыточными связями или с лишними степенями свободы последовательно выполняются пп. 1 до 8. Затем строятся структурные схемы заменяющих механизмов или механизмов с низшими кинематическими парами путем замены высших кинематических пар на низшие и последовательно выполняются операции пп. 8 до 11.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Что такое механизм, кинематическая пара, кинематическая цепь, кинематическая схема, структурная схема?
2. По каким признакам делятся кинематические пары на классы и на виды: низшие, высшие?
3. Укажите различия между структурной и кинематической схемами механизма.
4. Укажите виды кинематических цепей.
5. Как влияют пассивные связи на степень подвижности механизма?
6. Каков принцип образования плоского механизма?
7. Дайте определения группы Ассура.
8. Что характеризует степень подвижности механизма?
9. Напишите формулу Чебышева.
10. Изобразите механизм первого класса.
11. По каким признакам классифицируются группы Ассура?
12. Как определить класс группы Ассура, ее порядок и вид?
13. Как определить класс всего механизма?
14. Приведите пример механизма с лишней степенью подвижности.
15. Приведите примеры замены высшей кинематической пары.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Артоболевский, И.И. Теория механизмов и машин / И.И. Артоболевский. – М. : Наука, 1975. – 638 с.
2. Фролов, К.В. Теория механизмов и машин / К.В. Фролов. – М. : Высш. шк., 1987. – 496 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ. ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И ПОНЯТИЯ.....	4
1.1. Деталь, звено, структурная схема механизма	4
1.2. Кинематические пары, замена высших кинематических пар низшими	6
1.3. Кинематические цепи	8
2. СТРУКТУРНЫЕ ФОРМУЛЫ МЕХАНИЗМОВ	8
3. ИЗБЫТОЧНЫЕ СВЯЗИ И ЛИШНИЕ СТЕПЕНИ СВОБОДЫ	9
4. ОСНОВЫ СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗА И АНАЛИЗА МЕХАНИЗМОВ ПО МЕТОДУ Л.В. АССУРА	10
5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ	11
ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ ОТЧЕТА	12
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	15