



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Белорусский национальный
технический университет

Кафедра «Теория механизмов и машин»

П.П. Анципорович
В.К. Акулич
Е.М. Дубовская

СТРУКТУРА МЕХАНИЗМОВ

*Методическое пособие
к лабораторным работам
по дисциплине «Теория механизмов, машин
и манипуляторов»*

3-е издание

Минск
БНТУ
2017

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Теория механизмов и машин»

П.П. Анципорович
В.К. Акулич
Е.М. Дубовская

СТРУКТУРА МЕХАНИЗМОВ

Методическое пособие
к лабораторным работам
по дисциплине «Теория механизмов, машин
и манипуляторов»

3-е издание

Минск
БНТУ
2017

УДК 621.01(076.5)

ББК 34.41я7

А74

Рецензенты:

А. Т. Скойбеда, А. В. Чигарев

Анципорович, П. П.

А 74 Структура механизмов : методическое пособие к лабораторным работам по дисциплине «Теория механизмов, машин и манипуляторов» / П.П. Анципорович, В. К. Акулич, Е. М. Дубовская. – 3-е изд. – Минск: БНТУ, 2017. – 33 с.

ISBN 978-985-583-044-4.

Методическое пособие предусматривает выполнение двух лабораторных работ «Условные обозначения и структурно-конструктивная классификация механизмов» и «Структурный анализ механизмов». Каждая работа содержит теоретическую часть, описание лабораторной работы и контрольные вопросы.

Рекомендуется студентам инженерно-технических специальностей.

Второе издание выпущено в БНТУ в 2015 г.

УДК 621.01(076.5)

ББК 34.41я7

ISBN 978-985-583-044-4

© Анципорович П.П., Акулич В.К.,
Дубовская Е.М., 2017

© Белорусский национальный
технический университет, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

1. УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СТРУКТУРНО- КОНСТРУКТИВНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ МЕХАНИЗМОВ	4
1.1. Теоретическая часть.....	4
1.2. Лабораторная работа «Условные обозначения и структурно- конструктивная классификация механизмов».....	17
1.3. Контрольные вопросы	21
2. СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ.....	22
2.1. Теоретическая часть.....	22
2.2. Лабораторная работа «Структурный анализ плоских механизмов».....	27
2.3. Контрольные вопросы	32
ЛИТЕРАТУРА	32

1. УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СТРУКТУРНО-КОНСТРУКТИВНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ МЕХАНИЗМОВ

1.1. Теоретическая часть

1.1.1. Основные определения и условные обозначения

Механизм. Механизм – искусственно созданная система тел, предназначенная для получения требуемого движения одного или нескольких тел. Механизмы могут иметь как весьма простое, так и достаточно сложное и разнообразное строение (структуру). Строением их определяются такие важнейшие характеристики, как виды осуществляемых движений, способы их преобразования. Формирование механизма, т.е. соединение отдельных его частей в единую систему, сопровождается наложением связей. Правильное их распределение в строении механизма в сильной степени 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 прежде всего надо знать основные виды современных механизмов, их структурные характеристики, закономерности строения.

Проектирование и исследование механизма начинается с составления его схемы. Различают структурные и кинематические схемы. *Структурная схема* – схема, вычерченная с использованием условных обозначений (ГОСТ 2.770–68). *Кинематическая схема* – схема, выполненная с учетом размеров звеньев.

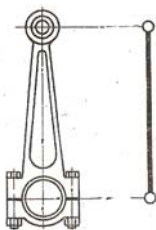


Рис. 1

Основными элементами механизма являются звенья и кинематические пары.

Звенья механизма. *Звеном* называют одно или несколько жестко соединенных друг с другом твердых тел, входящих в состав механизма.

При изображении звеньев на схеме не учитывают их конструктивную форму, а отмечают только положения кинематических пар и геометрические особенности звеньев. Так, например, при изображении на схеме шатуна (рис. 1) не нужно вычерчивать все детали, из которых он состоит, а важно отметить

только положения осей втулок и жесткую связь между ними. В качестве примера на рис. 2, а показан конструктивный чертеж механизма двигателя с компрессором, а соответствующая ему структурная схема показана на рис. 2, б.

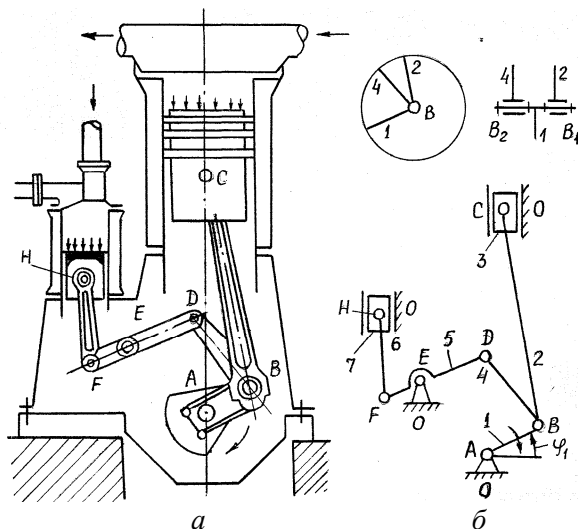


Рис. 2

В зависимости от характера движения и некоторых конструктивных особенностей звенья имеют названия. Ниже приведены наиболее часто применяемые звенья:

- *стойка* – неподвижное звено или условно принимаемое за неподвижное;
- *кривошип* – звено рычажного механизма, совершающее полный оборот вокруг оси, связанной со стойкой;
- *коромысло* – звено рычажного механизма, совершающее неполный оборот вокруг оси, связанной со стойкой;
- *ползун* – звено рычажного механизма, поступательно перемещающееся относительно стойки;
- *шатун* – звено рычажного механизма, совершающее плоскопараллельное движение;
- *кулиса* – подвижное звено рычажного механизма, совершающее вращательное движение относительно неподвижной оси и об-

разующее поступательную пару с другим звеном (кулисным камнем);

- *кулачок* – звено, профиль которого, имея переменную кривизну, определяет движение ведомого звена;
- *зубчатое колесо* – звено с замкнутой системой зубьев, обеспечивающее за свой полный оборот непрерывное движение парного звена.

В табл. 1 приведены условные обозначения в схемах по ГОСТ 2.770–68.

Входным называют звено, которому сообщается движение, преобразуемое механизмом в требуемые движения выходных звеньев.

Выходным называют звено, совершающее движение, для выполнения которого предназначен механизм. Между входным и выходным звеньями могут быть промежуточные звенья.

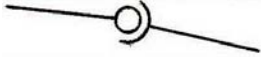

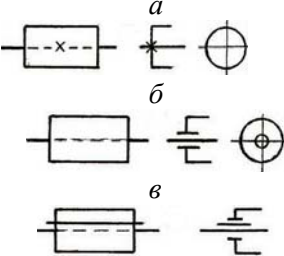
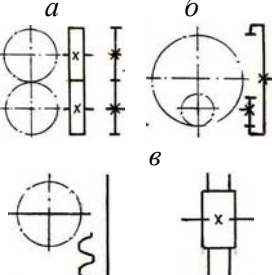
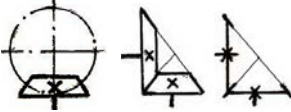
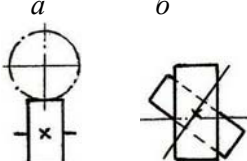
Таблица 1

Условные обозначения в схемах (ГОСТ 2.770–68)

№ пп	Объект изображения		Обозначения
1	2		3
1	З в е н ь я	Рычаг, стержень, ось, вал и т.п.	
2		Звено простое, шатун	
3		Звено сложное с тремя кинематическими парами	
4		Звено сложное с пятью кинематическими парами	
5		<i>a</i> – пара вне оси звена <i>б</i> – пара на оси звена	
6		Стойка (неподвижное звено) <i>a</i> – для вращательной пары <i>б</i> – для поступательной пары	

Продолжение табл. 1

1	2	3
7	Звено, образующее со стойкой вращательную кинематическую пару <i>a</i> – в плоскости движения; <i>б</i> – в плоскости, перпендикулярной плоскости движения	
8	Ползун в неподвижных направляющих	
9	Поршень в цилиндре <i>a</i> – в неподвижном; <i>б</i> – подвижном	
10	Кулачки плоские: <i>a</i> – для поступательного движения; <i>б</i> – для вращательного движения (дисковые)	
11	Кулачки барабанные: <i>a</i> – цилиндрические; <i>б</i> – конические	
12	Толкатели для кулачковых механизмов: <i>a</i> – остроконечные; <i>б</i> – тарельчатые; <i>в</i> – роликовые	
13	Вращательная пара: <i>a</i> – в плоскости вращения; <i>б</i> – в плоскости, перпендикулярной плоскости вращения	
14	Поступательная пара	

1	2		3
15	Кинематические пары	Шаровая пара	
16		Винтовая пара	
17		<p>Соединение звена с валом: <i>a</i> – глухое; <i>б</i> – свободное при вращении; <i>в</i> – подвижное при вращении</p>	
18	Зубчатые механизмы	<p>С параллельными осями (цилиндрические колеса): <i>a</i> – внешнее зацепление; <i>б</i> – внутреннее зацепление; <i>в</i> – реечное зацепление</p>	
19		<p>С пересекающимися осями (конические колеса)</p>	
20		<p>Со скрещивающимися осями: <i>a</i> – червячная передача; <i>б</i> – с винтовыми колесами</p>	

В современном машиностроении широкое применение получили механизмы, в состав которых входят упругие, гибкие, жидкие и газообразные тела.

Кинематические пары. *Кинематической парой* называют соединение двух соприкасающихся звеньев, допускающее их относительное движение. Звенья этой пары могут соприкасаться друг с другом поверхностями, по линии и точками, называемыми *элементами кинематической пары*. Если элементами являются точки или линии, то пары называют *высшими* (рис. 3, б, в), а если поверхности, то *низшими* (рис. 3, а).

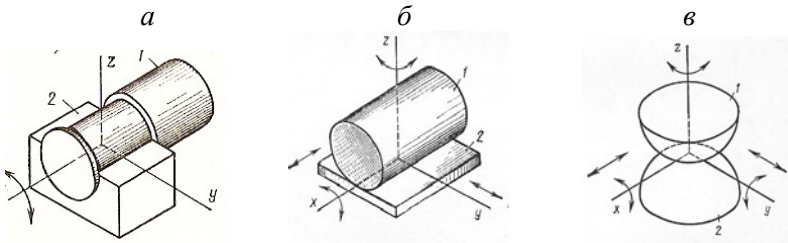


Рис. 3

Существование пары обеспечивается условиями замыкания, сохраняющими постоянство контакта звеньев.

В низших парах обычно осуществлено *геометрическое замыкание*, обусловленное формой соприкасающихся поверхностей, например охват втулкой 2 пальца 1 (см. рис. 3, а). В высших кинематических парах чаще используется *силовое замыкание*, при котором соприкосновение элементов пары обеспечивается силами тяжести или пружиной.

Прочность и износостойкость элементов кинематических пар зависит от формы и конструктивного исполнения их. Низшие пары более износостойки, чем высшие. Это объясняется тем, что поверхности касания элементов низших пар больше, чем в высших. Следовательно, передача одной и той же силы в низшей паре происходит при меньшем удельном давлении и меньших контактных напряжениях, чем в высшей. Износ при прочих равных условиях

пропорционален удельному давлению, поэтому элементы звеньев низших пар изнашиваются медленнее, чем высших.

Высшие пары имеют большое разнообразие форм элементов, поэтому механизмы, в состав которых входят кроме низших пар также и высшие, могут осуществлять требуемые движения с меньшим числом звеньев, меньшими габаритами и при более простой конструкции, чем механизмы с одними низшими парами.

Так как требуемые законы движения выходных звеньев обусловлены формой и конструкцией кинематических пар и их элементов, то для рационального проектирования новых типов механизмов необходимо знать теорию и классификацию кинематических пар.



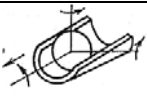


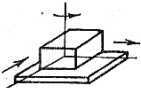

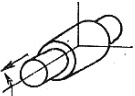

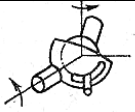


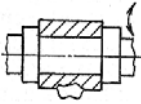
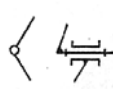
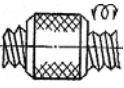
Наиболее широко применяется *классификация пар, в соответствии с которой класс кинематической пары определяется числом налагаемых ею ограничений (условий связей) на относительное движение звеньев*. Так как максимальное число условий связей, допускающее существование двух звеньев в подвижном соединении, равно 5, то все пары делятся на 5 классов. При наложении 6 условий связи относительная подвижность звеньев теряется. Примеры наиболее распространенных кинематических пар приведены в табл. 2

Кинематические цепи. *Кинематической цепью* называют связанную систему звеньев, образующих кинематические пары. Кинематические цепи (КЦ) бывают открытые и замкнутые, плоские и пространственные. *Открытая КЦ* – такая, в которой имеются звенья, входящие только в одну кинематическую пару, в *замкнутой КЦ* каждое звено входит не менее чем в две пары. Если все точки КЦ движутся в параллельных плоскостях, она является плоской.

Кинематическая цепь является основой механизма, для образования его одно из звеньев должно быть неподвижным и должна существовать определенность движения звеньев относительно стойки.

Таблица 2

Кинематические пары

Класс Пары	Число условных связей	Число степеней свободы	Название пары	Рисунок	Условные обозначения	Характеристики пар
1	1	5	Шар-плоскость			Высшая, пятиподвижная
2	2	4	Шар-цилиндр			Высшая, четырехподвижная
3	3	3	Сферическая			Низшая, трехподвижная
3	3	3	Плоскостная			Низшая, трехподвижная
4	4	2	Цилиндрическая			Низшая, двухподвижная
4	4	2	Сферическая с пальцем			Низшая, двухподвижная
5	5	1	Поступательная			Низшая, одноподвижная
5	5	1	Вращательная (шарнир)			Низшая, одноподвижная
5	5	1	Винтовая			Низшая, одноподвижная

1.1.2. Классификация механизмов по структурно-конструктивным признакам

Наиболее полные характеристики механизмов можно получить, рассматривая предложенную академиком И.И. Артоболевским классификацию их по структурно-конструктивным признакам. Данная классификация позволяет обнаружить основные кинематические и конструктивные признаки, а в некоторых случаях и функциональные особенности механизмов. Согласно ей механизмы можно разделить на *рычажные, зубчатые, кулачковые, винтовые, фрикционные, с гибкими связями и прочие*. Кроме того, существует большое число различных комбинированных механизмов, представляющих собой сочетание вышеназванных.

Рычажные механизмы. *Рычажными* называются механизмы, звенья которых образуют *только низшие кинематические пары*. Благодаря разнообразию применяемых в них кинематических пар механизмы могут быть как плоскими, так и пространственными и находят широчайшее применение в технике.

Плоские механизмы в зависимости от уровня сложности получения требуемого закона движения бывают двухзвенные, четырехзвенные, многозвенные (рис. 4). Обязательным звеном в каждом является стойка.

Двухзвенные механизмы имеют одно подвижное звено образующее либо вращательную (рис. 4, *а*), либо поступательную (рис. 4, *б*) пары.

Четырехзвенные механизмы (рис. 4, *в, г, д, е, ж*) более разнообразны за счет различных комбинаций вращательных и поступательных кинематических пар.

Многозвенные механизмы (рис. 4, *з, и*) обладают еще большими возможностями, но проектирование их схем (строение, размеры звеньев) является достаточно сложным.

Пространственные механизмы обеспечивают пространственное движение точек и звеньев. На рис. 5 показаны конструктивная (*а*) и структурная (*б*) схемы механизма универсального шарнира (шарнира Гука) для передачи вращательного движения между валами, оси которых пересекаются.


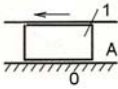
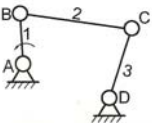
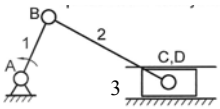
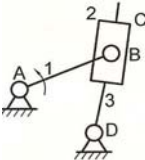
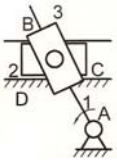
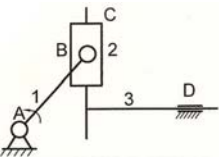
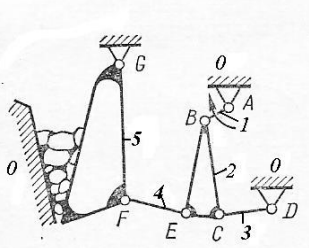
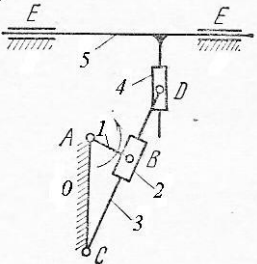
<p>двухзвенные</p>	<p>а)</p>  <p>1 – кривошип</p>	<p>б)</p>  <p>1 – ползун</p>	
<p>четырёхзвенные</p>	<p>в) шарнирный четырехзвенник</p>  <p>1 – кривошип 2 – шатун 3 – коромысло</p>	<p>г) кривошипно-ползунный</p>  <p>1 – кривошип 2 – шатун 3 – ползун</p>	<p>д) кулисный</p>  <p>1 – кривошип 2 – кулисный камень 3 – кулиса</p>
	<p>е) тангенсный</p>  <p>1 – кулиса 2 – ползун 3 – кулисный камень</p>	<p>ж) синусный</p>  <p>1 – кривошип 2 – шатун 3 – ползун</p>	
<p>многозвенные</p>	<p>з) камнедробилка</p> 	<p>и) строгальный станок</p> 	

Рис. 4 Схемы механизмов

На рис. 6 изображена схема механизма манипулятора промышленного робота, являющаяся открытой кинематической цепью.

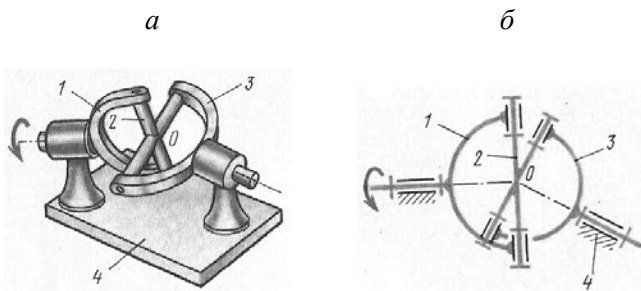


Рис. 5

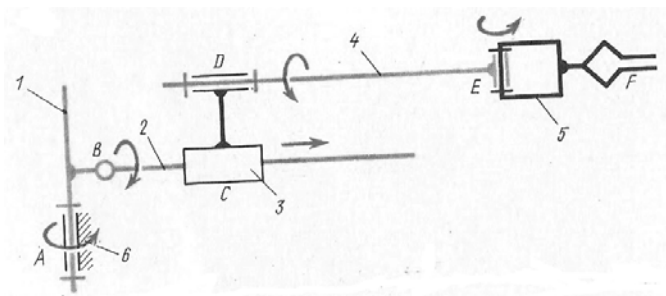


Рис. 6

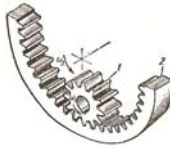
Зубчатые механизмы. Зубчатые механизмы передают вращение от одного вала другому и изменяют величины и направления угловых скоростей. Их называют также *зубчатыми передачами*, поскольку с изменением угловой скорости одновременно меняется и величина передаваемого вращательного момента на ведомых валах.

Зубчатые передачи по геометрическому признаку разделяют на *плоские* и *пространственные*. В плоских зубчатых передачах (рис. 7) оси вращения параллельны и все звенья вращаются в параллельных плоскостях. В пространственных зубчатых передачах (рис. 8) оси вращения звеньев пересекаются или скрещиваются.

а) внешнее зацепление



б) внутреннее зацепление



в) реечное зацепление

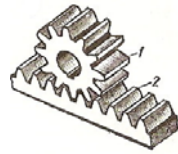


Рис. 7

а) с винтовыми колесами



б) червячная передача



в) гипоидная передача

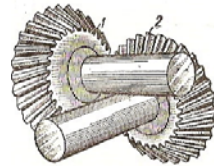


Рис. 8

Условные обозначения приведенных на рис. 7 и рис. 8 передач указаны в табл. 1.

В группу зубчатых относят механизмы прерывистого движения, такие как мальтийские (рис. 9, а) и храповые механизмы (рис. 9, б).

а

б

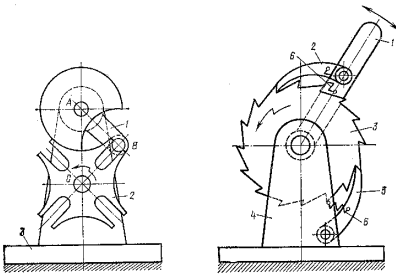


Рис. 9

вращательного движения кулачка 1 в поступательное движение толкателя 2 (а), вращательного движения кулачка 1 во вращательное движение толкателя-коромысла 2 (б), поступательного движе-

Кулачковые механизмы. Кулачковые механизмы позволяют получать достаточно сложные законы движения выходного звена только за счет изменения профиля кулачка, благодаря этому они широко применяются в системах управления машин. На рис. 10 показаны схемы плоских механизмов для преобразования

ния кулачка 1 в поступательное движение толкателя 2 (в), поступательного движения кулачка 1 во вращательное движение толкателя-коромысла 2 (г).

На рис. 11 показаны пространственные механизмы для преобразования вращательного движения кулачка 1 во вращательное движение толкателя-коромысла 2 (а) и поступательное движение толкателя 2 (б).

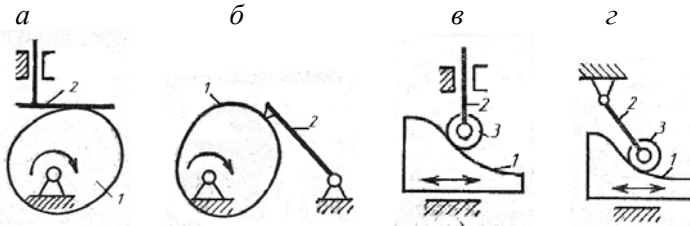


Рис. 10

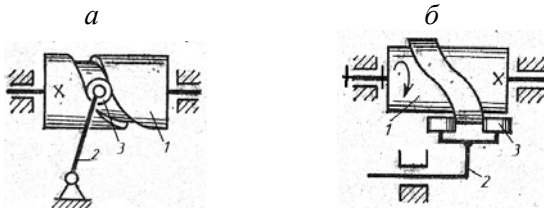


Рис. 11

Винтовые механизмы. К винтовым механизмам относятся механизмы, в которых некоторые звенья имеют винтовое движение, обусловленное вхождением соседних звеньев в винтовую пару. На рис. 12 показан винто-рычажный механизм для перемещения коромысла 5, которое достигается поворотом винта 2 в гайке 3.

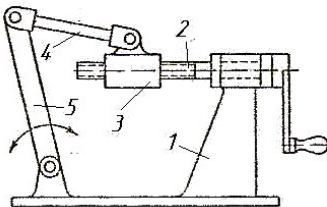


Рис. 12

Фрикционные механизмы. Передача движения в них достигается за счет трения между звеньями. На рис. 13 показаны бесступенчатые передачи для плавного изменения угловой скорости выходного звена. Изменение достигается плавным изменением радиусов качения входного или выходного звеньев.

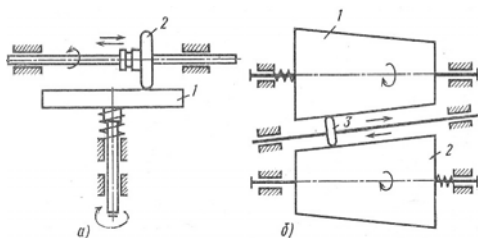


Рис. 13

такта, а их относительное движение осуществляется посредством гибкого звена, в качестве которого используют плоские и клиновидные ремни, цепи, круглые ремни и шнуры. Передача состоит из ведущего 1 и ведомого 2 шкивов, а также замкнутого гибкого звена 3.

Кроме приведенных групп механизмов существует большое число составных или комбинированных, включающих в себя вышеприведенные механизмы.

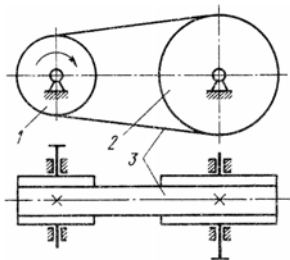


Рис. 14

1.2. Лабораторная работа «Условные обозначения и структурно-конструктивная классификация механизмов»

Целью работы является ознакомление с условными обозначениями, применяемыми при изображении структурных и кинематических схем механизмов и отдельных частей их, а также со структурно-конструктивной классификацией механизмов.

Отчет по лабораторной работе составляется студентом на основе макетов кинематических пар и механизмов, демонстрируемых преподавателем в процессе лабораторного занятия, и материалов, изложенных в п.п. 1.1.1 и 1.1.2 данного пособия.

Форма протокола

Белорусский национальный технический университет
Кафедра «Теория механизмов и машин»

О Т Ч Е Т

по лабораторной работе № 1 а УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СТРУКТУРНО- КОНСТРУКТИВНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ МЕХАНИЗМОВ

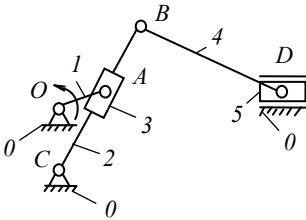
Студент _____ № группы _____ факультет _____

дата _____

Цель работы – ознакомление с условными обозначениями, применяемыми при изображении структурных и кинематических схем механизмов и отдельных частей их, а также со структурно-конструктивной классификацией механизмов.

Рычажные механизмы

I. Плоские



Кинематические пары: $O(0, 1)$; $A(1, 3)$; $B(2, 4)$; $C(2, 0)$; $D(4, 5)$ – вращательные, низшие, одноподвижные; $A(2, 3)$; $D(5, 0)$ – поступательные, низшие, одноподвижные.

Звенья:

0. Стойка – неподвижное звено;

1. Кривошип – совершает вращательное движение вокруг стойки O . Входное звено (ему задается движение);

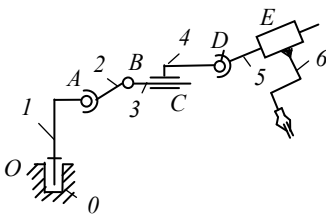
2. Кулиса – совершает вращательное движение вокруг неподвижной оси и образует поступательную кинематическую пару с кулисным камнем;

3. Кулисный камень – образует с кулисой поступательную кинематическую пару;

4. Шатун – совершает плоскопараллельное движение;

5. Ползун – совершает поступательное движение.

II. Пространственные



Кинематические пары: $O(0, 1)$; $B(2, 3)$ – вращательные 5 класса, низшие, одноподвижные; $E(5, 6)$ – поступательная 5 класса, низшая, одноподвижная; $A(1, 2)$ – сферическая 3 класса, низшая, трехподвижная; $C(3, 4)$ – цилиндрическая 4 класса, низшая, двухподвижная; $D(4, 5)$ – сферическая с пальцем 4 класса, низшая, двухподвижная.

Звенья:

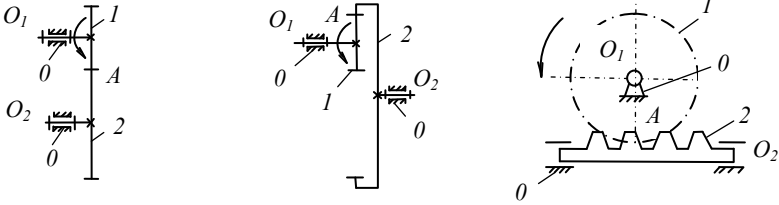
0. Стойка – неподвижное звено;

1, 2, 3, 4, 5, 6 – Рычаги.

Зубчатые механизмы

I. С параллельными осями колес (плоские)

а внешнее зацепление б внутреннее зацепление в реечное зацепление



Кинематические пары: Схемы а и б: $O_1 (0, 1)$; $O_2 (0, 2)$ – вращательные, низшие, одноподвижные; $A (1, 2)$ – высшая. Схема в: $O_1 (0, 1)$ – вращательная, низшая, одноподвижная; $O_2 (0, 2)$ – поступательная, низшая, одноподвижная; $A (1, 2)$ – высшая.

Звенья:

Схемы а и б:

0. Стойка – неподвижное звено;

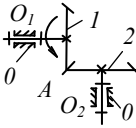
1, 2. Зубчатые колеса.

Схема в: 0. Стойка – неподвижное звено;

1. Зубчатое колесо;

2. Рейка.

II. С пересекающимися осями колес (пространственные)



Кинематические пары: $O_1 (0, 1)$; $O_2 (0, 2)$ – вращательные, низшие, одноподвижные; $A (1, 2)$ – высшая.

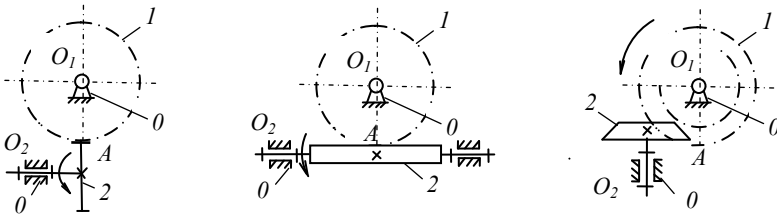
Звенья:

0. Стойка – неподвижное звено;

1, 2. Зубчатые колеса.

III. Со скрещивающимися осями колес (пространственные)

а с винтовыми колесами б червячная передача в гипоидная передача



Кинематические пары: $O_1 (0, 1)$; $O_2 (0, 2)$ – вращательные, низшие, одноподвижные; $A (1, 2)$ – высшая.

Звенья:

0. Стойка – неподвижное звено;

Схема а: 1, 2. Зубчатые колеса;

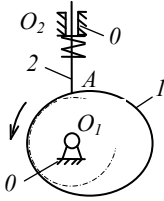
Схема б: 1. Червячное колесо;

2. Цилиндрический червяк;

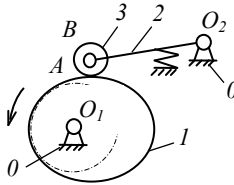
Схема в: 1, 2. Конические зубчатые колеса со спиральным зубом.

Кулачковые механизмы

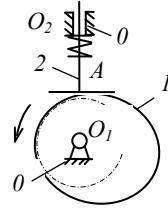
а



б



в



Кинематические пары: Схема а и в: $O_1 (0, 1)$; – вращательная, низшая, одноподвижная; $O_2 (0, 2)$ – поступательная, низшая, одноподвижная; $A (1, 2)$ – высшая.

Схема б: $O_1 (0, 1)$; $O_2 (0, 2)$ $B (3, 2)$ – вращательные, низшие, одноподвижные; $A (1, 3)$ – высшая.

Звенья:

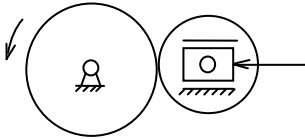
0. Стойка – неподвижное звено;

2. Толкатель;

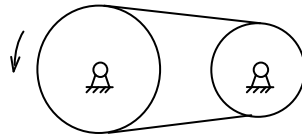
1. Кулачок;

3. Ролик.

Фрикционные механизмы



Механизмы с гибкими связями



Работу выполнил _____ Работу принял _____

1.3. Контрольные вопросы

1. Что такое механизм? Чем отличаются плоские механизмы от пространственных?
2. Что такое звено? Какие бывают звенья в зависимости от характера движения?
3. Чем отличаются структурная и кинематическая схемы механизма?
4. Что такое звено? Какие звенья являются входными и выходными?
5. Что такое кинематическая пара и элементы кинематической пары?
6. В чем отличие высших кинематических пар от низших? Приведите примеры.
7. Как определяется класс кинематической пары? Приведите примеры кинематических пар различных классов.
8. Что называется кинематической цепью? Виды кинематических цепей и примеры их.
9. На какие виды делятся механизмы по структурно - конструктивным признакам?
10. Какой механизм называется рычажным? Приведите пример.
11. Назначение зубчатых механизмов. Приведите примеры плоских и пространственных зубчатых механизмов.
12. Назначение кулачковых механизмов. Разновидности толкателей. Приведите примеры.
13. Особенности винтовых и фрикционных механизмов.
14. Назначение механизмов с гибкими связями. Приведите примеры.

2. СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ

2.1. Теоретическая часть

Число степеней свободы механизма (степень подвижности механизма). Степень подвижности механизма – число независимых друг от друга параметров (обобщенных координат), однозначно определяющих положение звеньев механизма относительно стойки. Обобщенными координатами могут быть либо угловые координаты звеньев, либо линейные координаты точек звена. Звенья, которым задают обобщенные координаты, называются *начальными*. Каждое звено до образования кинематических пар с другими звеньями имеет 6 степеней свободы в пространстве (3 поступательных движения вдоль осей координат и 3 вращательных относительно их). Таким образом, m звеньев имеют $6 \cdot m$ степеней свободы. Если соединить их кинематическими парами, то относительное движение звеньев будет ограничено наложенными условиями связи. Каждая пара 1-го класса налагает одно условие связи, 2-го класса – два условия и т. п.

Стойка, с которой связывают неподвижную систему координат, лишена всех 6 степеней свободы, и, следовательно, рассмотрению подлежат $n = m - 1$ подвижных звеньев. Таким образом, число W степеней свободы звеньев пространственной кинематической цепи относительно стойки (*степень подвижности механизма*) определяется формулой

$$W = 6n - 5p_5 - 4p_4 - 3p_3 - 2p_2 - p_1,$$

где p_5 , p_4 , p_3 – число пар пятого, четвертого, третьего и т.д. классов.

В плоском движении каждое звено может иметь не более трех степеней свободы, а пары налагают лишь два или одно условие связи, поэтому структурная формула плоской кинематической цепи, определяющая число степеней свободы относительно стойки, принимает вид

$$W = 3n - 2p_5 - p_4.$$

Следует обратить внимание, что в плоском движении 2 условия связи налагают все низшие пары независимо от их класса, а высшие пары – 1 условие связи. Поэтому в дальнейшем целесообразно для плоских механизмов степень подвижности W определять по формуле

$$W = 3n - 2p_H - p_B,$$

где p_H – число низших кинематических пар;

p_B – число высших кинематических пар.

В тех случаях, когда в механизме имеются сложные шарниры, соединяющие более двух звеньев, число вращательных пар в них меньше числа соединенных звеньев на единицу (рис. 2, б).

Избыточные (пассивные) связи и лишние степени свободы. Механизмы могут содержать так называемые избыточные связи и местные подвижности, не влияющие на движение механизма в целом и на закон движения выходного звена, но формально изменяющие степень подвижности. В процессе структурного анализа звенья и кинематические пары, создающие такие связи и подвижности, необходимо удалять.

Так, на рис. 15, а в механизме привода колес электровоза звено 4 с кинематическими парами E и F создают пассивную связь, что

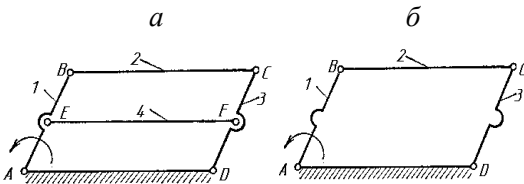


Рис. 15

бы повысить жесткость системы и распределить нагрузку, при этом $W = 0$. После удаления звена 4 (рис. 15, б) получаем действительное значение $W = 1$.

На рис. 16, а в составе кулачкового механизма для уменьшения трения кулачка 1 и толкателя 2 установлен ролик 3, создающий лишнюю степень свободы ($W = 2$). После удаления ролика (рис. 16, б) – $W = 1$.

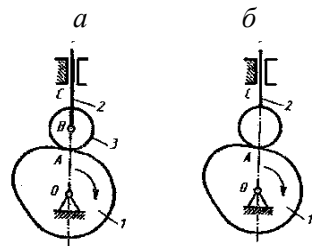


Рис. 16

Основной принцип образования плоских рычажных механизмов. Принцип сформулирован русским ученым Л.В. Ассуром. Суть принципа состоит в том, что *плоский рычажный механизм может быть образован путем присоединения к одному или нескольким механизмам 1-го класса нулевых структурных групп (групп Ассура).*

Механизм 1-го класса (рис. 17) состоит из начального звена 1 и стойки 0, образующих друг с другом низшую кинематическую пару.

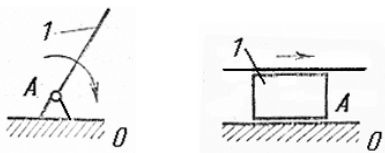


Рис. 17

Степень подвижности механизмов 1-го класса

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

В механизме 1-го класса нет внешней кинематической пары. Присоединение к нему производится внешней кинематической парой группы Ассура.

Структурной группой Ассура называется открытая кинематическая цепь, которая, будучи присоединенной свободными элементами пар к стойке, получает степень подвижности $W_{ГР}$, равную нулю, а при присоединении к механизму не меняет его степень подвижности.

Из определения следует $W_{ГР} = 3n - 2p_H = 0$. Тогда возможное сочетание звеньев и кинематических пар в группах имеет следующий вид:

Число звеньев n	2	4	6
Число пар p_H	3	6	9

В число кинематических пар входят элементы пар, которыми группа Ассура присоединяется к другим звеньям. Простейшая группа Ассура состоит из двух звеньев и трех кинематических пар

(рис. 18, а). При присоединении к стойке (рис. 18, б) ее степень подвижности $W_{ГР} = 0$.

Группы Ассура характеризуются классом и порядком (табл. 3). *Класс группы* определяется высшим классом замкнутого контура, входящего в состав группы, а *класс контура* – числом пар его образующих.

Порядок группы Ассура определяется числом свободных элементов пар, которыми эта группа может присоединяться.

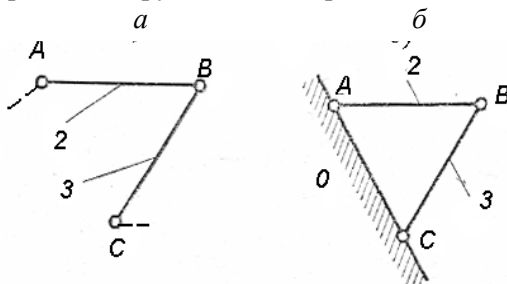


Рис. 18


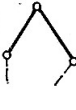





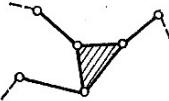
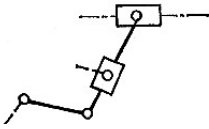
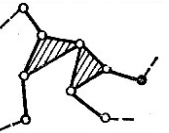
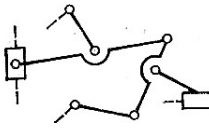
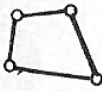

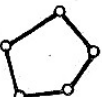
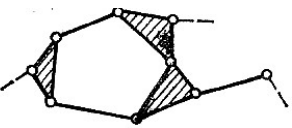
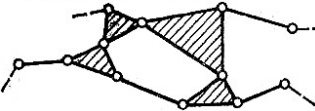
Группа Ассура II класса делится на 5 видов. К первому виду относится группа, в которой все пары вращательные. Остальные виды образуются заменой части вращательных пар на поступательные.

Порядок присоединения групп Ассура описывается формулой строения (образования) механизма. Например, для механизма (рис. 2, б) формула строения имеет следующий вид

$$I(0,1) \begin{cases} \rightarrow II(2,3) \\ \rightarrow II(4,5) \end{cases} \rightarrow II(6,7)$$

Написание формулы строения механизма является важным этапом структурного анализа, так как формула строения показывает последовательность и методы кинематического и силового исследования механизма. Кинематический анализ выполняется в порядке присоединения структурных групп, а силовой расчет – в обратном порядке. Каждый класс групп Ассура имеет свои методы исследования.

Группы Ассура

Класс	Признак (контуры)	Схемы групп Ассура					Порядок
II							2
	Вид	1	2	3	4	5	
III							3
							4
IV							2
V							3
							4

2.2. Лабораторная работа «Структурный анализ плоских механизмов»

Целью работы является овладение навыками составления структурных схем механизмов и их структурного анализа.

Студенту предлагаются для исследования 2 модели механизмов. Первый механизм – рычажный, второй – с высшими кинематическими парами.

Для первого механизма необходимо проделать следующее:

1) ознакомиться с механизмом, установить его назначение (по преобразованию движений), выбрать положение механизма, при котором хорошо видно относительное расположение звеньев;

2) составить структурную схему механизма, пользуясь условными обозначениями звеньев и пар;

3) пронумеровать все звенья (стойку обозначить цифрой 0), кинематические пары обозначить заглавными буквами латинского алфавита, заполнить таблицу кинематических пар в протоколе;

4) подсчитать число подвижных звеньев и кинематических пар. Определить степень подвижности механизма W по формуле Чебышева;

5) если W механизма не совпадает с числом начальных звеньев, то выявить звенья, создающие пассивные связи или лишние степени свободы, и условно удалить их;

6) обозначить начальное звено стрелкой (начальное звено задается преподавателем);

7) разложить механизм на структурные группы Ассура и механизмы 1-го класса. Вычертить каждую группу отдельно, указать ее класс, порядок и вид;

8) написать формулу строения механизма.

Для второго механизма необходимо проделать следующее:

1) ознакомиться с механизмом, установить его назначение (по преобразованию движений), выбрать положение механизма, при котором хорошо видно относительное расположение звеньев;

2) составить структурную схему механизма, пользуясь условными обозначениями звеньев и пар;

3) пронумеровать все звенья (стойку обозначить цифрой 0), кинематические пары обозначить заглавными буквами латинского алфавита, заполнить таблицу кинематических пар в протоколе;

4) подсчитать число подвижных звеньев и кинематических пар, определить степень подвижности механизма W по формуле Чебышева;

5) если W механизма не совпадает с числом начальных звеньев, то выявить звенья, создающие пассивные связи или лишние степени свободы, и вычертить схему механизма, предварительно удалив такие звенья, после чего пересчитать степень подвижности механизма.

Пример. Для исследования предлагается макет рычажного механизма (рис. 19). При его рассмотрении и задании движения звеньям устанавливаем (рис. 20), что он предназначен для преобразования вращательного движения звена 1, совершающего полный оборот вокруг оси A , в возвратно-качательное движение звена 5. В механизме имеется неподвижное звено – стойка 0 и пять подвижных звеньев, образующих 6 вращательных кинематических пар ($A(0, 1)$, $B(1, 2)$, $C(2, 3)$, $D(0, 3)$, $G(0, 5)$, $E(3, 4)$) и одну поступательную пару $F(4, 5)$. Таким образом, степень подвижности механизма равна

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

То, что степень подвижности равна единице, указывает на наличие одного начального звена (звено 1), образующего со стойкой 0 механизм 1-го класса (рис. 21, а). Далее к нему и стойке 0 элементами пар B и D присоединяется группа Ассура (2, 3) (рис. 21, б) и к стойке 0 и звену 3 – группа Ассура (4, 5) (рис. 21, в).

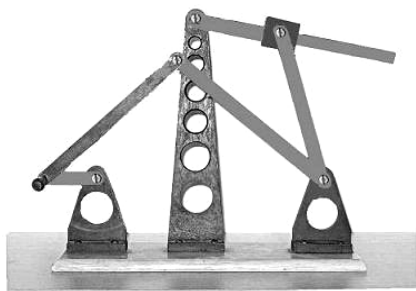


Рис. 19

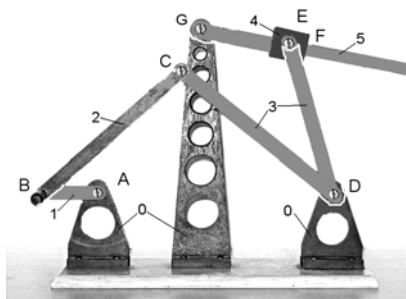


Рис. 20

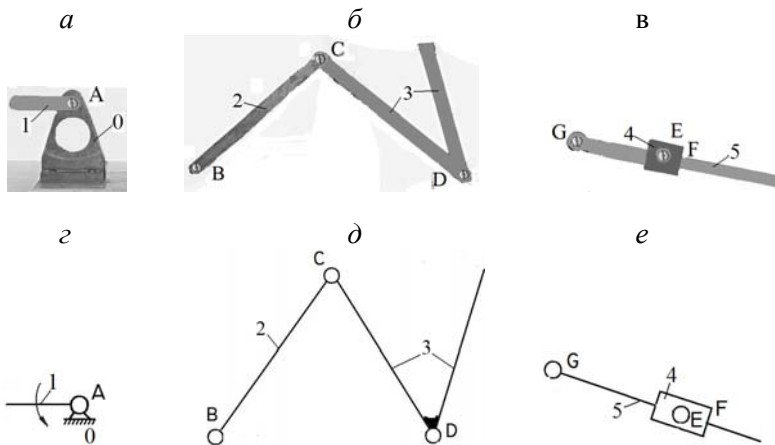


Рис. 21

Приведенные конструктивные элементы на структурных схемах в соответствии с ГОСТ 2.770–68 приобретают вид, показанный на рис. 21, г, д, е, а структурная схема рассмотренного механизма – вид, показанный на рис. 22.

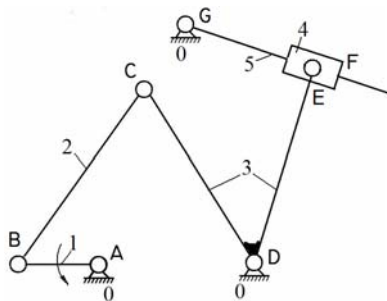


Рис. 22

Формула строения имеет следующий вид

$$I(0, 1) \rightarrow II(2, 3) \rightarrow II(4, 5)$$

Второй механизм, имеющий в своем составе высшие кинематические пары, рассматривается аналогично в соответствии с вышеизложенными требованиями.

Форма протокола

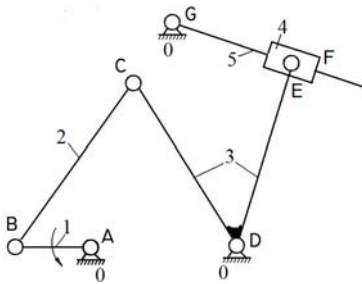
Белорусский национальный технический университет
Кафедра «Теория механизмов и машин»

О Т Ч Е Т
по лабораторной работе № 1
СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ

Студент _____ № группы _____ факультет _____
дата _____

Цель работы – овладение навыками составления структурных схем механизмов и их структурного анализа

Структурная схема механизма



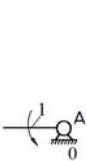
Обозначение кинематической пары	№№ звеньев, образующих пару	Наименование пары
A	0-1	вращат.
B	1-2	вращат.
C	2-3	вращат.
D	3-0	вращат.
E	3-4	вращат.
F	4-5	поступ.
G	5-0	вращат.

Число подвижных звеньев $n = 5$. Число низших пар $p_H = 7$.

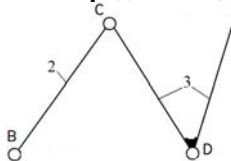
Число высших пар $p_B = 0$.

Число степеней свободы механизма $W = 3n - 2p_H - p_B = 3 \cdot 5 - 2 \cdot 7 - 0 = 1$.

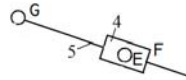
Разложение механизма на группы Ассур с указанием их класса, порядка и вида



Механизм
1 класса



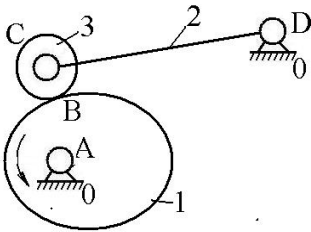
Группа Ассур
2 кл., 2 пор., 1 вида



Группа Ассур
2 кл., 2 пор., 3 вида

Формула строения механизма $I(0, 1) \rightarrow II(2, 3) \rightarrow II(4, 5)$.

Схема механизма с высшими парами



Обозначение кинематической пары	№№ звеньев, образующих пару	Наименование пары
<i>A</i>	<i>0-1</i>	вращат.
<i>B</i>	<i>1-3</i>	высшая
<i>C</i>	<i>2-3</i>	вращат.
<i>D</i>	<i>2-0</i>	вращат.

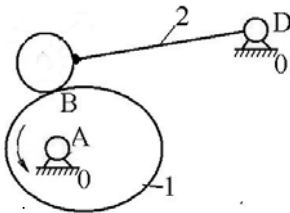
Число подвижных звеньев $n = 3$.

Число низших пар $p_H = 3$.

Число высших пар $p_B = 1$.

Число степеней свободы механизма $W = 3n - 2p_H - p_B = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 3 - 1 = 2$.

Ролик 3, установленный для уменьшения трения в высшей кинематической паре, создает лишнюю степень свободы. Его необходимо удалить путем жесткого соединения со звеном 2.



Обозначение кинематической пары	№№ звеньев, образующих пару	Наименование пары
<i>A</i>	<i>0-1</i>	вращат.
<i>B</i>	<i>1-2</i>	высшая
<i>D</i>	<i>2-0</i>	вращат.

Число подвижных звеньев $n = 2$.

Число низших пар $p_H = 2$.

Число высших пар $p_B = 1$.

Число степеней свободы механизма $W = 3n - 2p_H - p_B = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 2 - 1 = 1$.

Работу выполнил _____ Работу принял _____

2.3. Контрольные вопросы

1. Что такое степень подвижности механизма?
2. Запишите формулу для расчета степени подвижности пространственных механизмов и поясните входящие в нее параметры.
3. Запишите формулу для расчета степени подвижности плоских механизмов и поясните входящие в нее параметры.
4. Что такое избыточные (пассивные) связи и как они влияют на степень подвижности механизма?
5. В каких случаях появляются лишние степени подвижности? Приведите пример.
6. Сформулируйте основной принцип образования механизмов.
7. Из чего состоит механизм 1 класса?
8. Какая кинематическая цепь называется группой Ассура?
9. Какое сочетание звеньев и кинематических пар имеет место в группах Ассура?
10. Как определяется класс, порядок и вид группы Ассура?
11. Приведите примеры групп Ассура 2-го класса.
12. Приведите примеры групп Ассура 3-го класса.
13. Приведите примеры групп Ассура 3-го порядка.
14. Что показывает формула строения механизма?

ЛИТЕРАТУРА

1. Артоболевский, И. И. Теория механизмов / И.И. Артоболевский. – 2-е изд., исправ. – М.: Наука, 1967. – 720 с.
2. Лабораторные работы по теории механизмов и машин / под общ. ред. Е.А. Камцева. – Минск: Выш. шк., 1976. – 176 с.
3. Структура механизмов: учебно-методическое пособие к лабораторным работам по дисциплине «Теория механизмов, машин и манипуляторов» / П.П. Анципорович [и др.]. – 4-е изд., испр. – Минск: БНТУ, 2012. – 33с.
4. Теория механизмов и механика машин / под ред. К.В. Фролова. – 3-е изд. – М.: Высш. шк., 2001. – 496 с.
5. Юдин, В. А. Теория механизмов и машин / В.А. Юдин, Л. В. Петрокас. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1977. – 527 с.

Учебное издание

АНЦИПОРОВИЧ Петр Петрович
АКУЛИЧ Валерий Константинович
ДУБОВСКАЯ Елена Михайловна

СТРУКТУРА МЕХАНИЗМОВ

Методическое пособие
к лабораторным работам
по дисциплине «Теория механизмов, машин
и манипуляторов»

Технический редактор *Е. О. Германович*

Подписано в печать 07.09.2017. Формат 60×84¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 1,93. Уч.-изд. л. 1,50. Тираж 500. Заказ 440.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.