

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна  
Должность: проректор по учебной работе  
Дата подписания: 05.06.2023 22:27:26  
Уникальный программный ключ:  
0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e943df4a4851fda56d089

## МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра механики, мехатроники и робототехники

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной работе  
О.Г. Локтионова  
« 30 » 05 2023 г.



## СТРУКТУРНЫЙ И КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПЛОСКОГО РЫЧАЖНОГО МЕХАНИЗМА

Методические рекомендации  
по выполнению лабораторной работы по дисциплине  
ТЕОРИЯ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН  
для студентов направления подготовки 23.03.03 «Эксплуатация  
транспортно-технологических машин и комплексов»

Курск 2023

УДК 621.(076.1)

Составители: С.Ф. Яцун, А.Н. Рукавицын

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент *П.А. Безмен*

**Структурный и кинематический анализ плоского рычажного механизма:** Методические рекомендации по выполнению лабораторной работы по дисциплине: Теория механизмов и машин / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: С.Ф. Яцун, А.Н. Рукавицын – Курск, 2023. – с. 15.

Содержат сведения по вопросам выполнения лабораторной работы студентов, подготовке и оформлению отчетных материалов.

Предназначены для студентов направления подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» всех форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16.

Усл.печ. л. 6,16. Уч.-изд. л. 5,58.

Тираж 30 экз. Заказ 529. Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.  
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	4
1. Общие сведения о рычажных механизмах .....	5
2. Термины и определения.....	5
3. Наименования звеньев механизма.....	9
4. Структурный анализ рычажных механизмов.....	9
5. Порядок выполнения работы.....	12
6. Контрольные вопросы.....	13
Библиографический список .....	14

## **ВВЕДЕНИЕ**

Дисциплина «Теория механизмов и машин» (ТММ) изучает основные методы и алгоритмы анализа и синтеза механизмов и машин, а также систем, разработанных на их основе.

Процесс обучения дисциплине «Теория механизмов и машин» предусматривает достижение поставленных целей посредством реализации ряда задач и основывается на необходимости получения студентом знаний, умений и навыков согласно требованиям ФГОС ВО, на базе которых формируются соответствующие компетенции. В технике широко используются подвижные механические системы, подразделяемые на машины, машинные агрегаты и механизмы.

В обобщенном виде машина – это устройство, создаваемое человеком для использования законов природы с целью облегчения физического и умственного труда. При проектировании новой техники возникает необходимость проведения работ, связанных с анализом и синтезом новой конструкции. Анализ осуществляется при заданных размерах и массе звеньев, когда необходимо определить: скорости, ускорения, действующие силы, напряжения в звеньях и их деформации. В результате может быть произведен проверочный расчет на прочность, выносливость и т.д.

## **Лабораторная работа «СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ РЫЧАЖНОГО МЕХАНИЗМА»**

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ:** изучить методы структурного анализа механизмов, научиться составлять структурные схемы механизмов, выполнить структурный анализ рычажного механизма.

**ОБЪЕКТЫ** выполнения работы - планшеты с моделями рычажных механизмов.

### **1. Общие сведения о рычажных механизмах**

К рычажным относятся механизмы, в состав которых входят только вращательные и поступательные кинематические пары. Благодаря этому рычажные механизмы могут передавать значитель-но большие усилия и мощности по сравнению с любыми другими ме-ханизмами в аналогичных условиях.

Эти механизмы обладают, как правило, достаточно высоким коэффициентом полезного действия, поскольку низшие пары смазываются лучше, чем высшие, и в этих механизмах широко применяются подшипники качения. Звенья рычажных механизмов проще изготовить, чем кулачки или зубчатые колеса. Такие механизмы широко применяются в строгальных и долбежных станках, двигателях внутреннего сгорания, компрессорах, брикетировочных автоматах, ковочных машинах, высадочных автоматах и других машинах.

Рычажные механизмы могут быть плоскими и пространственными. Плоским механизмом называют механизм, у которого точки подвижных звеньев описывают траектории, лежащие во взаимно параллельных плоскостях. У пространственных данное условие не выполняется.

### **2. Термины и определения**

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

Механизм - система тел, предназначенная для преобразования движения одного или нескольких твердых тел в требуемые движения других твердых тел.

Звено механизма - твердое тело, входящее в состав механизма.

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

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

Кинематическая пара относится к высшим парам, если элементом кинематической пары является линия или точка.

Кинематическая пара относится к низшим парам, если элементом кинематической пары является поверхность.

Кинематическая цепь - система звеньев, связанных между собой кинематическими парами.

Без указания размеров схема называется структурной.

Построенная в масштабе схема называется кинематической.

Степень подвижности механизма - число независимых обобщенных координат механизма.

Степень подвижности пространственных механизмов определяется по формуле Сомова-Малышева:

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

Степень подвижности плоских механизмов определяется по формуле Чебышева П.Л.

$$W=3n-2p_5-p_4, \quad (2)$$

В формулах (1) и (2):

$n$  - число подвижных звеньев;

$p_5$  - число кинематических пар пятого класса;

$p_4$  - число кинематических пар четвертого класса;

$p_3$  - число кинематических пар третьего класса;

$p_2$  - число кинематических пар второго класса;

$p_1$  - число кинематических пар первого класса.

Класс кинематической пары (см. таблицу 1) определяется по формуле

$$S=G-H, \quad (3)$$

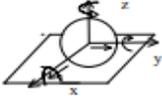
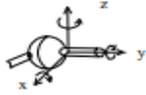
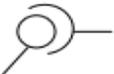
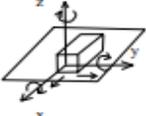
где  $G$  - число возможных движений твердого тела относительно осей пространственной системы координат (три вращательных движения и три поступательных), т.е.  $G=6$ .

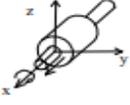
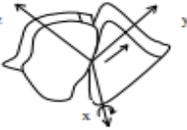
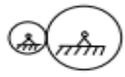
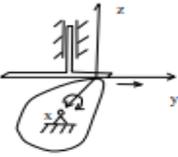
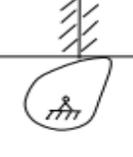
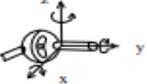
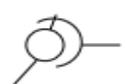
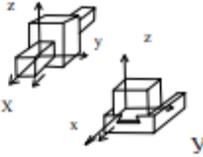
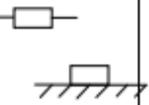
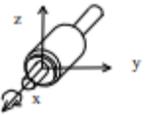
$H$  - число степеней свободы одного звена кинематической пары относительно другого;

$S$  - число возможных ограничений, препятствующих движениям звена кинематической пары относительно координатных осей (число условий связи).

Степень свободы и условия связи, не оказывающие никакого влияния на характер движения механизма, принято называть лишними степенями свободы и пассивными связями.

Таблица 1 – Кинематические пары механизмов

Название пары	Рисунок пары	Условное обозначение пары	Число степеней свободы звена в относительном движении	Вид пары	Число наложенных	Класс пары
1	2	3	4	5	6	7
Шар-плоскость			5	Пяти-подвижная	1	1
Цилиндр-плоскость			4	Четырёх-подвижная	2	2
Сферическая			3	Трёх-подвижная	3	3
Плоскостная			8	Трёх-подвижная	3	3

Цилиндрическая			2	Двух-подвижная	4	4
Зубчатое зацепление			2	Двух-подвижная	4	4
Кулачок-толкатель (кулачковая пара)			2	Двух-подвижная	4	4
Сферическая с пальцем			2	Двух-подвижная	4	4
Поступательная			1	Одно-подвижная	5	5
Вращательная			1	Одно-подвижная	5	5

### 3. Наименования звеньев механизма

Кривошип – звено рычажного механизма, совершающее вращательное движение на полный оборот вокруг неподвижной оси.

Коромысло – звено рычажного механизма, совершающее вращательное движение на неполный оборот вокруг неподвижной оси, т.е. участвующее в качательном движении.

Шатун – звено рычажного механизма, совершающее сложное плоское движение и образующее вращательные пары только с подвижными звеньями.

Ползун – звено рычажного механизма, совершающее поступательное движение и образующее кинематическую пару со стойкой.

Кулиса – звено рычажного механизма, образующее с другим звеном (камнем) поступательную пару. Кулиса может участвовать в поступательном, качательном или вращательном движениях.

Камень – звено рычажного механизма, образующее поступательную пару с кулисой.

Стойка – неподвижное звено рычажного механизма.

### 4. Структурный анализ рычажных механизмов

В теорию механизмов и машин прочно вошла структурная классификация механизмов по Ассур-Артоболовскому. На основе этой классификации можно установить связь между строением (структурой) каждого механизма и методами, а также последовательностью его кинематического и силового расчета. Структурная классификация механизмов практически используется для анализа уже готовых кинематических схем.

Группа Ассур - кинематическая цепь, которая после соединения со стойкой обладает нулевой степенью подвижности. Для группы Ассур справедливо выражение:

$$W=3n-2p_5=0. \quad (4)$$

Если высшие кинематические пары четвертого класса в выражении (4) заменить эквивалентной кинематической цепью с кинематическими парами пятого класса, то его можно привести к виду

$$p_5 = 3/2n. \quad (5)$$

Так как кинематические пары и звенья в кинематических цепях являются числами целыми, то на основании (5) составляется таблица чисел звеньев и кинематических пар, которые объединяются в группы. Таким образом, в группу Ассура всегда входит четное число звеньев, а количество кинематических пар в 1,5 раза больше этого числа.

Таблица 2 - Группы Ассур

$n$ (число подвижных звеньев)	2	4	6	8	...
$p_5$ (число кинематических пар 5-го класса)	3	6	9	12	...

Группы Ассура различаются классом, видом и порядком.

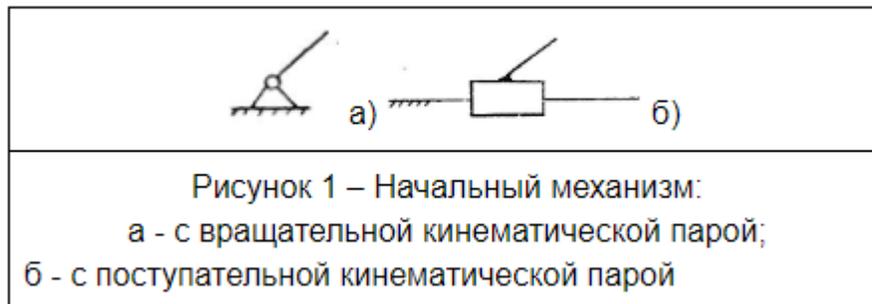
Класс группы Ассура определяется наивысшим классом замкнутого контура, входящего в ее состав.

Класс контура - это число кинематических пар, образующих данный контур.

Порядок группы Ассура - число элементов звеньев, которыми группа Ассура присоединяется к основному механизму.

Заменяющий механизм - механизм, в котором высшие кинематические пары условно заменены низшими.

Начальным (см. рис. 1) называется такой механизм, который образует со стойкой одну кинематическую пару (вращательную или поступательную).



Класс механизма определяется по наивысшему классу группы Ассура, входящей в состав данного механизма.

Для того, чтобы определить класс механизма, его необходимо расчленить на структурные группы Ассура и выделить наивысшую по классу группу.

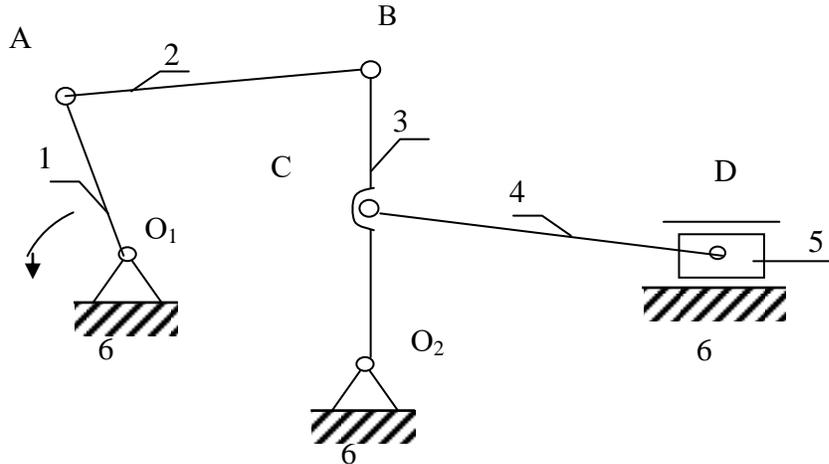


Рисунок 2- Рычажный механизм

Класс механизма определяется для установления его сложности и последующего выбора метода кинематического и силового анализа.

При выполнении структурного анализа механизма производят его разложение на структурные группы. Разложение начинают с отсоединения крайних групп и заканчивают выделением начального механизма

Образование механизма производится в обратном порядке к начальному присоединяется первая структурная группа, а затем последующие группы

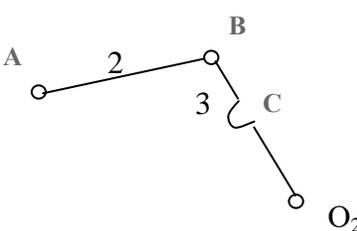
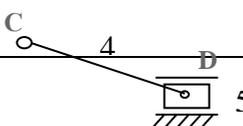
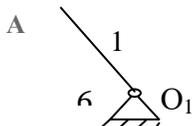
Порядок присоединения структурных групп при образовании выражается формулой строения механизма.

В этой формуле 1,11,111 - классы групп, 2 3 4 5 6 - номера звеньев.

Таблица 3 - Характеристика звеньев и кинематических пар.

№ п/п	Звенья		Кинематические пары		
	Наименование звеньев	Роль звена	Обозначен ия	Звенья, пары	Относит.дв ижение звеньев
1	Кривошип	Ведущее	O <sub>1</sub>	6-1	Вращат.
2	Шатун	Ведомое	A	1-2	- // -
3	Коромысло	- // -	B	2-3	- // -
4	Шатун	- // -	C	3-4	- // -
5	Ползун	- // -	O <sub>2</sub>	6-3	- // -
6	Стойка	Неподв.	Д	6-5	Поступат.

Таблица 4- Характеристика структурных групп механизма

Схема структурной группы	Проверка степ. подв.	Класс группы	Порядок группы
	$W=3n-2P_5=3 \cdot 2-2 \cdot 3=0$	II	II
	$W=3n-2P_5=3 \cdot 2-2 \cdot 3=0$	II	II
	$W=3n-2P_5=3 \cdot 1-2 \cdot 1=1$	I	I

Класс механизма-II, порядок механизма-II.

Формула строения механизма.

$$I(6-1) \text{ — II}(2-3) \text{ — II}(4-5)$$

## 5. Порядок выполнения работы

5.1. Ознакомиться с устройством исследуемого механизма.

Медленно проворачивая ведущее звено механизма, выяснить характер абсолютного и относительного движения остальных звеньев.

Определить экспериментально степень подвижности механизма - число независимых обобщенных координат механизма.

5.2. С помощью условных графических обозначений элементов механизмов и машин изобразить структурную схему механизма.

5.3. Установить, какие звенья входят во вращательные и поступа-тельные кинематические пары, определить названия звеньев по характеру их движения относительно стойки и вид кинематических пар (низшие вращательные или низшие поступательные).

5.4. На структурной схеме обозначить звенья арабскими цифрами, кинематические пары - прописными буквами латинского алфавита. Заполнить таблицы звеньев и кинематических пар механизма (см. раздел 4, таблицы 3 и 2).

5.5. По структурной формуле Чебышева П.Л. определить степень подвижности механизма, и установить начальное звено - звено, которому задается движение. Выявить пассивные звенья и пассивные связи (при наличии).

5.6. Расчленить механизм на структурные группы Ассура, изобразить начальный механизм и группы Ассура (отдельно).

5.7. Определить класс механизма.

5.8. Сделать вывод по работе.

## **6. Контрольные вопросы**

1. Что называется машиной?
2. Что называется механизмом?
3. Что такое звено механизма?
4. Что такое кинематическая пара? Примеры.
5. Как определяется класс кинематической пары?
6. Что называют элементом пары?
7. Какие пары называют высшими, низшими? Примеры.
8. Привести примеры силового и геометрического замыкания кинематических пар.
9. Что называют кинематической цепью?
10. Что называют степенью подвижности механизма?

11. Приведите формулу Сомова-Малышева. Объясните буквенные символы. Укажите цель ее применения.
12. Приведите формулу Чебышева. Объясните буквенные символы, укажите цель ее применения.
13. Дайте определение термина "структурная группа". Приведите примеры групп.
14. Какое звено называют "начальным"?
15. Зачем определяется класс механизма?
- 16 В чем отличие механизма от кинематической цепи? Какие звенья имеет механизм?
- 17 В каком порядке раскладывается механизм на структурные группы?
- 18 Как записывается формула строения механизма?

### **Библиографический список:**

1. Теория механизмов и машин : [учебник для студентов по направлениям подготовки "Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств", "Автоматизация технологических процессов и производств (машиностроение)"] / П. Н. Учаев [и др.] ; под общ. ред. П. Н. Учаева. - Старый Оскол: ТНТ, 2016. - 296 с. - Текст : непосредственный.

2. Яцун, С. Ф. Основы функционирования технических систем: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлениям подготовки 15.03.06 Мехатроника и робототехника, 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств, 15.03.01 Машиностроение, 23.03.01 Технологии транспортных комплексов, 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов, 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника / С. Ф. Яцун, А. Н. Рукавицын, Е. Н. Политов; Юго-Западный государственный университет. - Курск : Университетская книга, 2019. - 195 с. - Текст: непосредственный.

3. Теория механизмов и машин: учебное пособие / М. А. Мерко, А. В. Колотов, М. В. Меснянкин, А. А. Шаронов; Сибирский

федеральный университет. – Красноярск : Сибирский федеральный университет (СФУ), 2015. – 248 с. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=497728> (дата обращения: 06.06.2022). – Режим доступа: по подписке. – Текст: электронный.

4. Яцун, С. Ф. Кинематика, динамика и прочность машин, приборов и аппаратуры: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям 08.06.01 "Техника и технология строительства", 08.04.01 "Строительство" и 06.06.01 "Метрология, стандартизация и сертификация" / С. Ф. Яцун, В. Я. Мищенко, Е. Н. Политов. - Москва: ИНФРА-М : Альфа-М, 2015. - 207 с. - Текст: непосредственный.

5. Локтионова, О. Г. Лекции по теоретической механике: учебное пособие : [для студентов инженерно-технических специальностей всех форм обучения] / О. Г. Локтионова, С. Ф. Яцун, О. В. Емельянова; ЮЗГУ. - Курск: ЮЗГУ, 2014. – 185 с. - Текст: электронный.

6. Социально-экономические аспекты технологической модернизации современного машиностроительного производства : монография / ред. совет: С. Г. Емельянов (пред.) [и др.] ; гл. ред. А. В. Киричек. - М. : Спектр, 2013. - 288 с. - Текст : непосредственный.

7. Андреев, В. И. Техническая механика: учебник / В. И. Андреев, А. Г. Паушкин, А. Н. Леонтьев. - М. : АСВ, 2012. - 251 с. - Текст : непосредственный.

