

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра деталей машин и прикладной механики

А.М. Ефанов, Н.В. Зурнаджан, В.Н. Романцов

# **СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ПЛОСКИХ РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ**

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет» в качестве методических указаний для студентов, обучающихся по программе высшего профессионального образования по направлениям подготовки 280700.62 Техносферная безопасность, 151000.62 Технологические машины и оборудование, 151600.62 Прикладная механика, 190600.62 Эксплуатация транспортных технологических машин и комплексов, 151900.62 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств, 160400.62 Ракетные комплексы и космонавтика и по специальности 190109.65 Наземные транспортно-технологические средства.

Оренбург  
2013

УДК 621.01.076  
ББК 34.41 Я 7  
Е90

Рецензент – кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической механики Н.А. Морозов

**Ефанов, А.М.**

Е90 Структурный анализ плоских рычажных механизмов: методические указания / А.М.Ефанов, Н.В. Зурнаджан, В.Н. Романцов ; Оренбургский гос.ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2013.- 24с.

Основное содержание: цель работы; оборудование; порядок выполнения работы; структурные и кинематические схемы механизмов; звенья механизмов; кинематические пары механизмов и их классификация; определение степени подвижности механизма; структурная классификация механизмов; пример структурного анализа; контрольные вопросы; приложение.

Методические указания по курсу «Теория механизмов и машин» предназначены для студентов направления подготовки 280700.62 Техносферная безопасность, 151000.62 Технологические машины и оборудование, 151600.62 Прикладная механика, 190600.62 Эксплуатация транспортных технологических машин и комплексов, 151900.62 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств, 160400.62 Ракетные комплексы и космонавтика и по специальности 190109.65 Наземные транспортно-технологические средства. Всех форм обучения.

УДК 621.01.076  
ББК 34.41 Я 7

© Ефанов А.М.,  
Зурнаджан Н.В.,  
Романцов В.Н., 2013  
© ОГУ, 2013

## Содержание

|  |    |
|--|----|
| Лабораторная работа № 1. Структурный анализ плоских рычажных механизмов..... | 4  |
| 1 Цель работы .....  | 4  |
| 2 Оборудование .....   | 4  |
| 3 Порядок выполнения работы .....  | 4  |
| 4 Теоретическая часть.....   | 5  |
| 4.1 Структурные и кинематические схемы механизмов .....                      | 5  |
| 4.2 Звенья механизмов .....  | 8  |
| 4.3 Кинематические пары механизмов и их классификация .....                  | 9  |
| 4.4 Определение степени подвижности плоских рычажных механизмов .....        | 12 |
| 4.5 Структурная классификация плоских рычажных механизмов .....              | 13 |
| 4.6 Пример структурного анализа механизма .....                              | 16 |
| 5 Контрольные вопросы.....   | 19 |
| Список использованных источников .....                                       | 20 |
| Приложение А (обязательное) .....  | 21 |

# Лабораторная работа № 1. Структурный анализ плоских рычажных механизмов

## 1 Цель работы

1.1 Научиться составлять кинематические схемы механизмов в соответствии с ГОСТ 2.770-68.

1.2 Научиться проводить структурный анализ и классификацию механизмов.

## 2 Оборудование

Для выполнения работы необходимы: реальные механизмы или их модели, чертежные инструменты.

## 3 Порядок выполнения работы

3.1 Ознакомиться с теоретической частью настоящих методических указаний.

3.2 Ознакомиться с механизмом: определить число и название звеньев, название механизма и его назначение, выбрать положение механизма, при котором хорошо видно относительное расположение его звеньев.

3.3 Замерить при помощи линейки длины всех звеньев и координаты неподвижных точек (основная единица измерения длины в системе СИ-м).

3.4 Выбрать масштабный коэффициент  $\mu_e$ , (м/мм) и определить размеры звеньев на чертеже в мм.

3.5 Пользуясь условными обозначениями, вычертить кинематическую схему механизма.

3.6 Пронумеровать все звенья, начиная от входного, подсчитать число подвижных звеньев (результаты п.п. 2...6 свести в таблицу А.1, приложение А).

3.7 Подсчитать число кинематических пар, определить подвижность, класс и вид движения (таблица А.2, приложение А).

3.8 Определить степень подвижности механизма по формуле А.П. Малышева.

3.9 Разложить механизм на структурные группы Ассура, начертить каждую группу отдельно, указать ее класс, порядок и вид (таблица А.3, приложение А).

3.10 Определить класс механизма в целом и написать формулу его строения.

## 4 Теоретическая часть

### 4.1 Структурные и кинематические схемы механизмов

Механизмом называется совокупность подвижно соединенных между собой звеньев, совершающих под действием приложенных к ним сил, определенные целесообразные движения.

Звеном называется совокупность деталей скрепленных друг с другом неподвижно.

Соединение двух соприкасающихся звеньев, допускающее их относительное движение называется кинематической парой.

Для уяснения общего принципа работы, любой механизм может быть представлен структурной схемой, т.е. может быть изображен графически, без учета масштаба, с применением условных обозначений звеньев и кинематических пар установленных ГОСТ 2.770-68 (рисунок 1, 2).

Чтобы изучить движение механизма необходимо знать размеры всех звеньев, направление и частоту вращения входного звена и т.д. Для этого составляют кинематическую схему механизма, которая вычерчивается с применением тех же условных обозначений, в выбранном масштабе, с точным соблюдением всех размеров и форм звеньев, с указанием направления движения входного звена.

Масштабом физической величины называют длину отрезка в мм, изображающую единицу измерения этой величины. Например, длина звена

$l = 400$  мм, на чертеже изображается отрезком  $\bar{l} = 200$  мм (в два раза меньше), масштаб  $M(1:2)$ .

Масштабным коэффициентом  $\mu_\ell$  называется отношение изображаемой единицы физической величины в собственных ей единицах (в данном случае длина звена в м) к длине отрезка на чертеже в мм, изображающую эту величину.

Например, длина звена  $\ell = 400 \text{ мм} = 0,4 \text{ м}$  на чертеже изображается отрезком  $\bar{\ell} = 200 \text{ мм}$ .

Масштабный коэффициент:

$$\mu_\ell = \frac{\ell}{\bar{\ell}} = \frac{0,4}{200} = 0,002 \text{ м/мм}$$

(Масштабный коэффициент  $\mu_\ell = 0,001 \text{ м/мм}$ , соответствует М 1:1).

С учетом выбранного масштабного коэффициента длина любого звена на чертеже будет определяться выражением:

$$\bar{\ell}_i = \frac{\ell_i}{\mu_\ell} \text{ мм.}$$

На рисунке 1 изображена кинематическая схема механизма насоса. Входным звеном является звено 1, которому сообщается угловая скорость  $\omega_1$ , от электродвигателя.

Выходное звено 5 совершает возвратно – поступательное движение, для выполнения которого предназначен механизм.

Масштабный коэффициент  $\mu_\ell = \frac{\ell_i}{\bar{\ell}_i} \text{ м/мм}$ , означает, что 1мм чертежа соответствует  $\mu_\ell$  метрам натуральной длины звеньев.

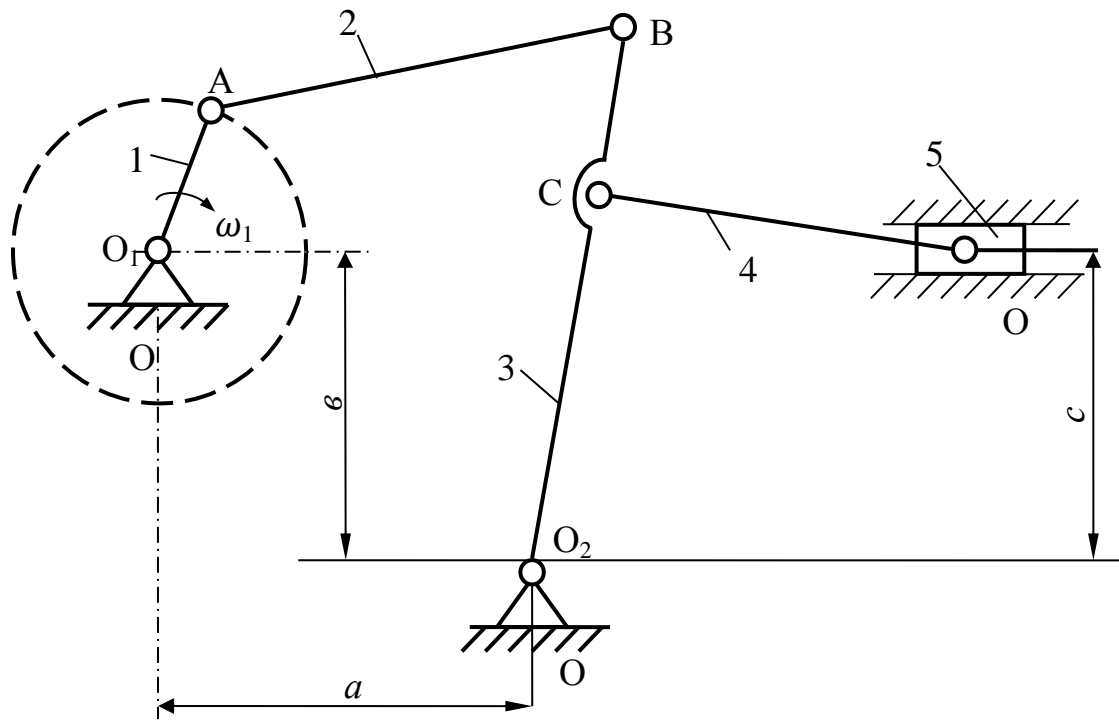


Рисунок 1 – Кинематическая схема механизма

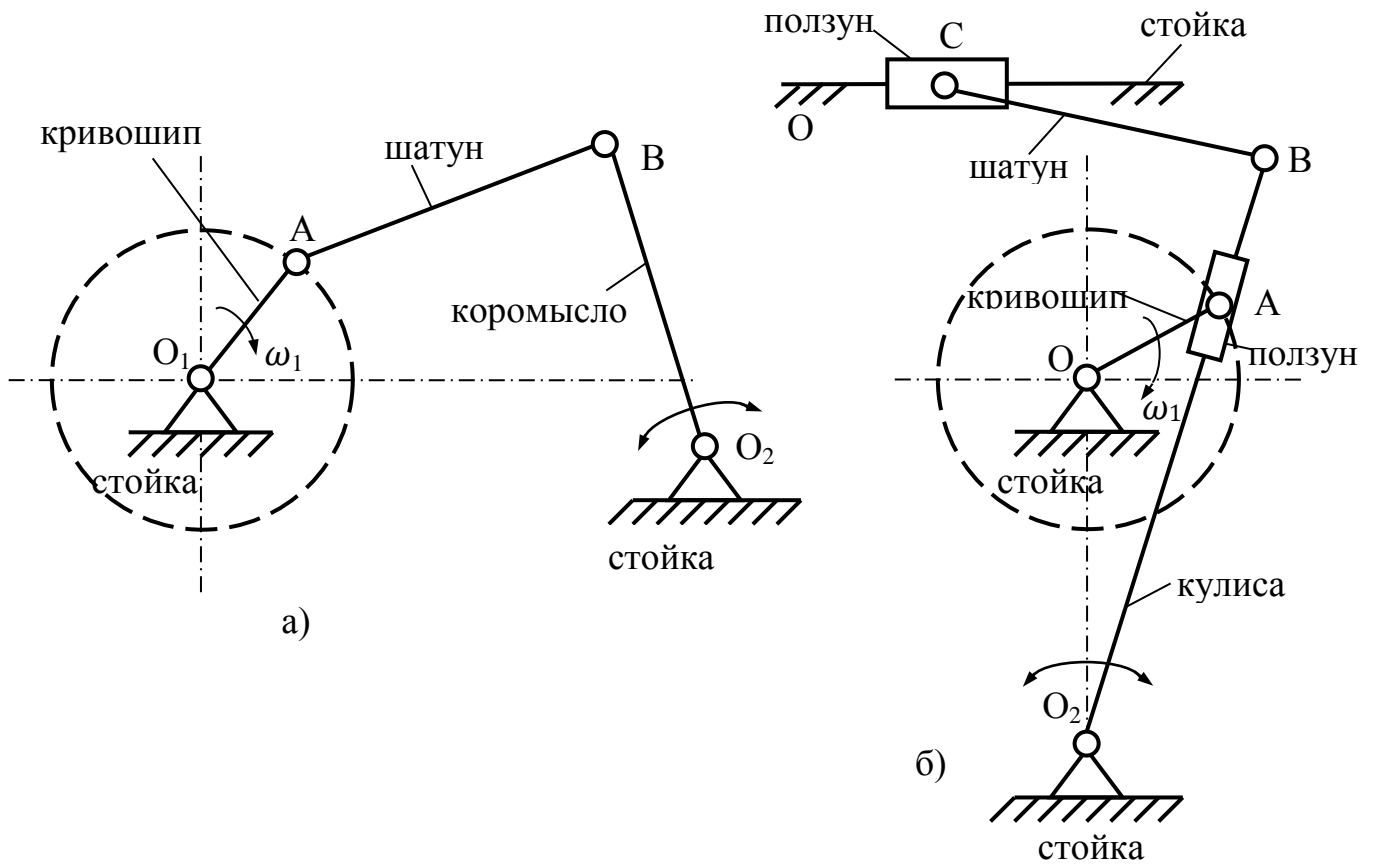


Рисунок 2 – Кинематические схемы

## 4.2 Звенья механизмов

Звеном называется совокупность деталей скрепленных друг с другом неподвижно. Деталью называют простейшую часть механизма, изготовленную без применения сборочных операций (т.е. из одного куска материала).

Любой механизм состоит из нескольких подвижных звеньев. Все неподвижные звенья образуют одну неподвижную систему (одно неподвижное звено) – стойку (например, звено 0 на рисунке 1).

Подвижные звенья на кинематических схемах принято обозначать арабскими цифрами начиная от входного звена.

Названия звеньев определяется видом их движения (рисунок 2).

Кривошипом называется звено, совершающее вращательное движение, то есть, полный оборот вокруг оси вращения, связанной со стойкой.

Шатун – звено, совершающее сложное плоскопараллельное движение.

Коромысло – звено, совершающее неполный оборот вокруг оси, связанной со стойкой (возвратно – вращательное движение).

Ползун – звено, совершающее возвратно - поступательное движение относительно неподвижной направляющей стойки или другого звена.

Кулиса – звено, являющееся подвижной направляющей для ползуна.

Если звено может иметь двойное название, предпочтение следует отдавать более последнему в перечисленной последовательности (кулисе).

Название механизма в целом образуется из названий входного и выходного звеньев.

Например, на рисунке 2 а, кривошипно - коромысловый механизм, на рисунке 2 б, кривошипно – ползунный механизм.



### 4.3 Кинематические пары механизмов и их классификация

Кинематическая пара – это подвижное соединение двух звеньев, допускающее их относительное движение. Поверхности, линии, точки соприкосновения звеньев называются элементами кинематической пары.

Если рассматривать звено, свободно движущееся в пространстве, то оно, как и любое твердое тело, обладает шестью степенями свободы  $N=6$ .

Любое сложное движение звена состоит из шести простейших, т.е., его можно представить как поступательное относительно трех произвольно выбранных координатных осей  $X, Y, Z$  и вращательное относительно этих же осей (рисунок 3).

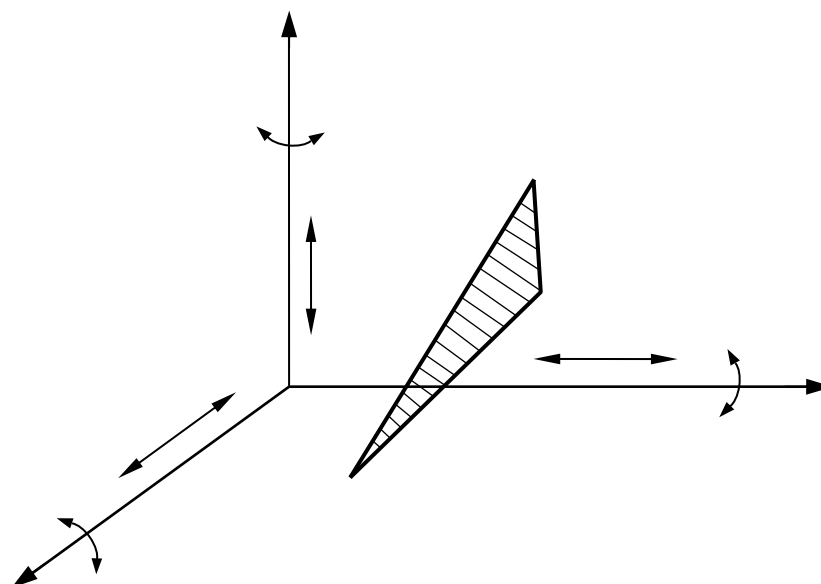


Рисунок 3 – Количество степеней свободы в 3-х мерном пространстве

Любая кинематическая пара ограничивает те или иные относительные движения каждого звена. Эти ограничения называют условиями связи, или просто связями –  $S$ . Очевидно, что число условий связи находится в пределах  $1 \leq S \leq 6$ , т.к., при  $S = 0$  звенья не соприкасаются и кинематическая пара перестает существовать, а

при  $S = 6$  – переходит в жесткое соединение двух звеньев, тогда число степеней свободы звена кинематической пары равно:

$$H = 6 - S$$

и изменяется так же в пределах  $1 \leq H \leq 6$ .

Под степенью свободы принято понимать простейшие движения, которыми может обладать точка или звено кинематической пары.

Число условий связи –  $S$  и число степеней свободы  $H$  являются структурными характеристиками кинематических пар.

На кинематических схемах кинематические пары принято обозначить прописными буквами латинского алфавита, соединение подвижных звеньев со стойкой буквой  $O_1, O_2$ , и т.д. (Рисунок 1).

Кинематические пары классифицируются:

4.3.1 По количеству возможных движений кинематические пары классифицируются на 5 классов (таблица 1). Цифра кинематической пары показывает ее подвижность, а количество условий связи  $S = 6 - H$  – класс кинематической пары. Например:  $P_5$  – пятиподвижная кинематическая пара 1 класса. ( $S = 6 - 5 = 1$ );  $P_1$  – одноподвижная кинематическая пара 5 класса ( $S = 6 - 1 = 5$ ).

4.3.2 По виду элементов кинематические пары классифицируются на высшие – элементы, точка, линия (кинематические пары  $P_5$  (1кл.) и  $P_4$  (2кл.)) и низшие – элементы поверхность (кинематические пары  $P_3$  (3кл.),  $P_2$  (4кл.) и  $P_1$  (5кл.)). (таблица 1)

4.3.3 По виду траектории кинематические пары классифицируются на пространственные – пространственная траектория (кинематические пары  $P_5$  (1кл.),  $P_4$  (2кл.) и  $P_3$  (3кл.) и плоские – плоская траектория (кинематические пары  $P_2$  (4кл.),  $P_1$  (5кл.)), (таблица 1)

Таблица 1 – Классификация кинематических пар

| Рисунок К.П. | Условное обозначение | Элемент К.П.         | Количество движений |        |             |        | Общее количество возможных движений (подвижный К.П.) | Общее количество ограниченных движений. (класс К.П.) | Примечание |
|--------------|----------------------|----------------------|---------------------|--------|-------------|--------|--|--|------------|
|              |                      |                      | Поступат.           |        | Вращательн. |        |  |  |            |
|              |                      |                      | Возм Н              | Огр. S | Возм Н      | Огр. S |  |  |            |
|              |                      | точка                | 2                   | 1      | 3           | -      | 5(P <sub>5</sub> )                                   | 1(1кл.)<br>Вышая К.П.                                |            |
|              |                      | линия                | 2                   | 1      | 2           | 1      | 4(P <sub>4</sub> )                                   | 2(2кл.)<br>Вышая К.П.                                |            |
|              |                      | Поверхн. (плоскость) | 2                   | 1      | 1           | 2      | 3(P <sub>3</sub> )                                   | 3(3кл.)<br>Низшая К.П.                               |            |
|              |                      | Поверхн. (сфера)     | -                   | 3      | 3           | -      | 3(P <sub>3</sub> )                                   | 3(3кл.)<br>Низшая К.П. Вращат.                       |            |
|              |                      | Поверхн.             | 1                   | 2      | 1           | 2      | 2(P <sub>2</sub> )                                   | 4(4кл.)<br>Низшая К.П.                               |            |
|              |                      | Поверхн.             | 1                   | 2      | -           | 3      | 1(P <sub>1</sub> )                                   | 5(5кл.)<br>Низшая К.П. Поступат.                     |            |
|              |                      | Поверхн.             | -                   | 3      | 1           | 2      | 1(P <sub>1</sub> )                                   | 5(5кл.)<br>Низшая К.П. Вращат.                       |            |

#### 4.4 Определение степени подвижности плоских рычажных механизмов

Степень подвижности плоских механизмов определяется по формуле А.П. Малышева:

$$W = 3n - 2P_1 - P_2$$

где  $n$  – число подвижных звеньев,

$P_1$  - число одноподвижных кинематических пар (5 кл.);

$P_2$  - число двухподвижных кинематических пар (4кл.)

Степень подвижности механизма показывает число входных звеньев.

Например, для механизма, изображенного на рисунке 1, имеем:

число подвижных звеньев  $n = 5$ ,

число одноподвижных кинематических пар (5 кл.)  $P_1 = 7$ .

$O_1(0,1)B$ ;  $A(1,2)B$ ;  $B(2,3)B$ ;  $C(3,4)B$ ;  $D(4,5)B$ ;

$O_2(0,3)B$ ;  $O_3(0,5)П$ .

$B$  – вращательная кинематическая пара,

$П$  – поступательная кинематическая пара.

Число двухподвижных кинематических пар (4кл.)  $P_2 = 0$ .

Тогда  $W = 3 \cdot 5 - 2 \cdot 7 = 1$ , т.е. данный механизм имеет одно входное звено.

## 4.5 Структурная классификация плоских рычажных механизмов

По классификации Л.В. Ассура – И.И. Артоболевского стойка и звено, образующие одноподвижную кинематическую пару –  $P_1$  (5кл), вращательную или поступательную, условно называют начальным механизмом 1 класса (рисунок 4).

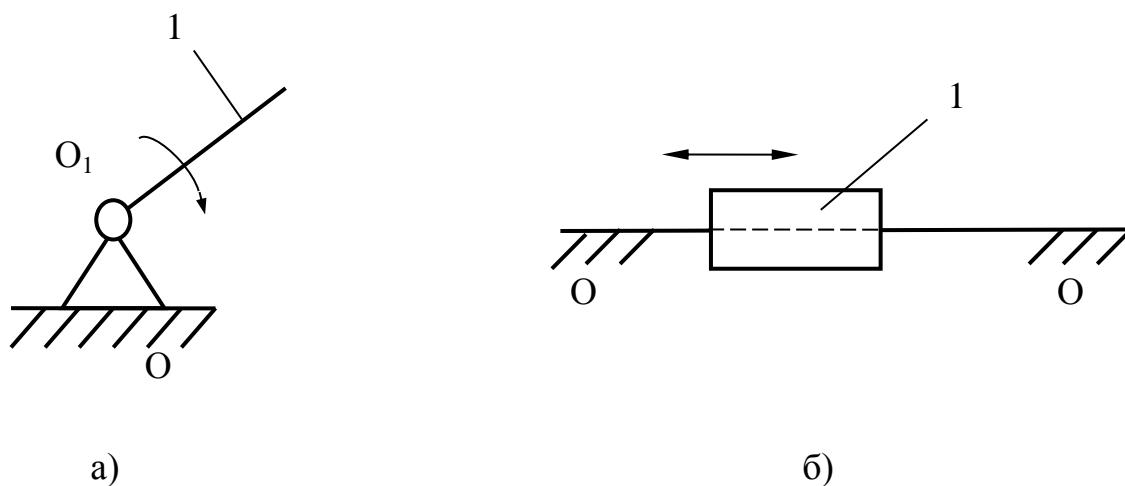


Рисунок 4 – Начальный механизм 1-го класса

$I_1$  – первый вид (рисунок 4а),

$I_2$  – второй вид (рисунок 4б).

Степень подвижности  $W = 3n - 2P_1 = 3 \cdot 1 - 2 \cdot 1 = 1$

К механизмам 1 класса относятся электродвигатели, вентиляторы и т.п.

Более сложные механизмы образуются присоединением к механизму 1 класса структурных групп с нулевой степенью подвижности, которые называются группами Ассура.

Таким образом, для групп Ассура должно выполняться условие:

$$W = 3n - 2P_1 = 0$$

откуда:  $2P_1 = 3 \cdot n$  и  $P_1 = \frac{3}{2} n$ .

Так как число кинематических пар не может быть дробным, то число звеньев групп Ассура должно быть четным, тогда число кинематических пар будет кратно трем, т.е.:

|                |   |   |   |       |
|----------------|---|---|---|-------|
| n              | 2 | 4 | 6 | ..... |
| P <sub>1</sub> | 3 | 6 | 9 | ..... |

Первое сочетание чисел  $n = 2$ ,  $P_1 = 3$ . 1 группа имеющая два звена и три одноподвижные кинематические пары называется группой II класса, 2 порядка или двухповодковой группой (диадой). Присоединение этой группы к другим группам производится двумя внешними (свободными) кинематическими парами. Кинематическая пара, соединяющая звенья данной группы между собой называется внутренней. (Рисунок 5).

Если все три кинематические пары в группе Ассура вращательные (В), то двухповодковая группа будет 1-го вида (1-й модификации) (рисунок 5а). Все последующие виды получают путем замены отдельных вращательных кинематических пар (В) поступательными (П) (рисунок 5).

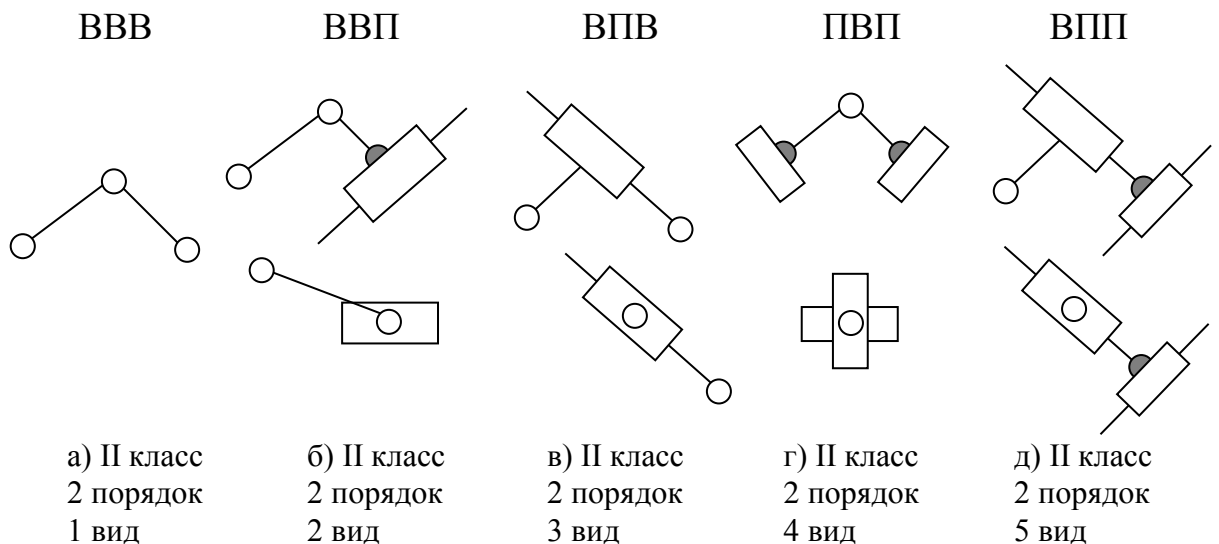


Рисунок 5 – Группы Ассура 2-го класса

Степень подвижности этих групп:

$$W = 3n - 2P_1 = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 3 = 0$$

Присоединение диады 1-го вида к начальному механизму I класса образует четырехзвенный кривошипно-коромысловый механизм. Присоединение диады 2-го вида к механизму I класса образует кривошипно-ползунный механизм. Диады остальных видов с механизмом I класса образуют кулисные механизмы.

Следующее сочетание  $n = 4$ ,  $P_1 = 6$ .

Незамкнутая цепь из четырех звеньев и шести одноподвижных кинематических пар является группой III кл. 3 порядка или трехпорядковой группой (триадом) (рисунок 6). Класс группы Ассур определяется числом кинематических пар в наиболее сложном замкнутом контуре.

Порядок группы Ассур определяется числом внешних свободных кинематических пар. Степень подвижности  $W = 3 \cdot 4 - 2 \cdot 6 = 0$

Отличительным признаком является треугольное звено 2, которое называется базисным.

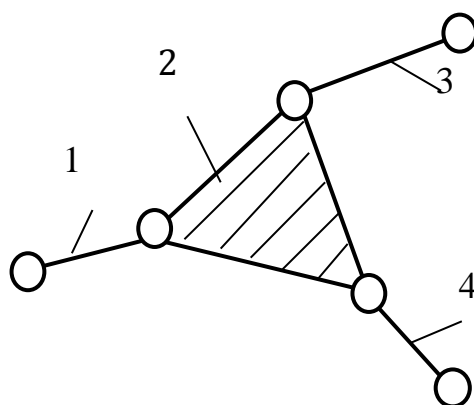


Рисунок 6 – Группа Ассур 3-го класса

Группа III класса, 3 порядка, 1 вида.

Различные виды этих групп можно получить, если вращательные кинематические пары сочетать с поступательными.

Структурные группы более высоких классов в существующих механизмах находят весьма ограниченное применение.

При проведении структурного анализа рекомендуется:

4.5.1 Отсоединять структурные группы, начинать с наиболее удаленных от входного звена.

4.5.2 Отсоединять наиболее простые группы II класса (2 звена и 3 кинематические пары).

4.5.3 Следить за тем, чтобы степень подвижности механизма до и после отделения каждой структурной группы оставалась неизменной.

4.5.4 Помнить, что каждое звено и каждая кинематическая пара могут входить только в одну структурную группу.

#### **4.6 Пример структурного анализа механизма**

Степень подвижности механизма (рисунок 7).

$$W = 3n - 2P_1 = 3 \cdot 5 - 2 \cdot 7 = 1$$

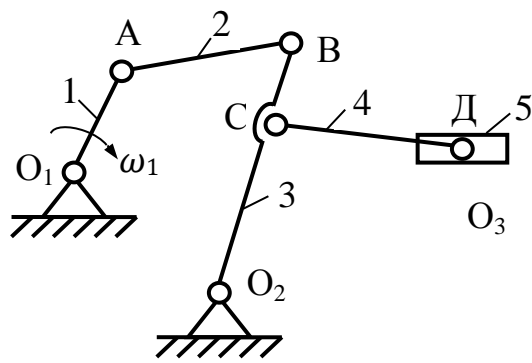
От механизма отделяем наиболее удаленную от входного звена группу Ассура II класса (звенья 5, 4 и кинематические пары ОЗ, Д,С) (рисунок 7 в). Степень подвижности отделенной группы:  $W = 3n - 2P_1 = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 3 = 0$

Это группа II кл., 2 пор., 2 вида.

Степень подвижности оставшегося механизма не изменилась (рисунок 7 б).

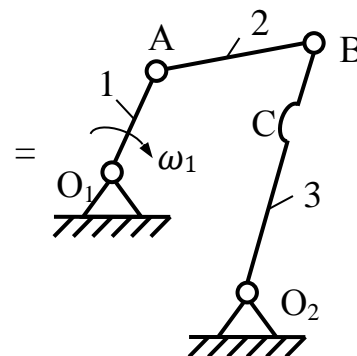
$$W = 3n - 2P_1 = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 4 = 1$$





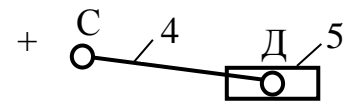
$$W = 3n - 2P_1 = 3 \cdot 5 - 2 \cdot 7 = 1$$

а



$$W = 3n - 2P_1 = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 4 = 1$$

б



$$W = 3n - 2P_1 = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 3 = 0$$

в

Рисунок 7 – Разделение механизма на группы Ассура

От оставшегося четырехзвенного механизма (рисунок 8 а). отделяем следующую группу II класса (звенья 2, 3 и кинематические пары  $O_2, B, A$ ). (Рисунок 8 в). Степень подвижности этой группы II кл., 2 пор., 1 вида

$$W = 3n - 2P_1 = 3 \cdot 2 - 2 \cdot 3 = 0$$

Оставшееся входное звено, шарнирно соединенное со стойкой, является механизмом I класса, 1 вида. (рисунок 8 б).

Степень подвижности:

$$W = 3n - 2P_1 = 3 \cdot 1 - 2 \cdot 1 = 1$$

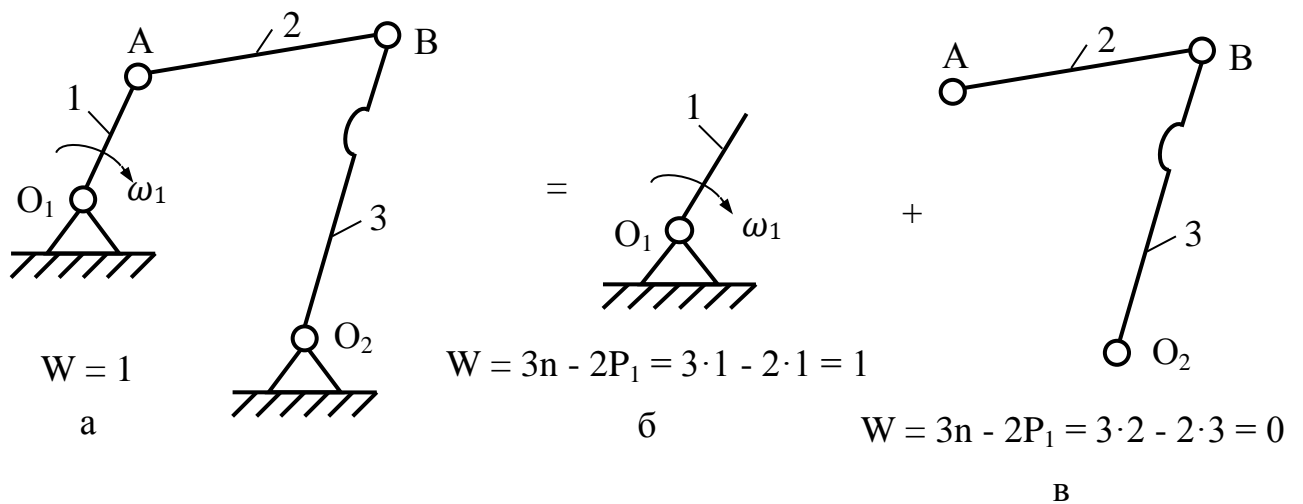


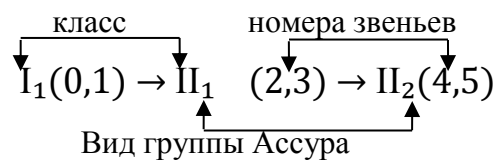
Рисунок 8 – Разделение механизма на группы Ассура

Класс механизма в целом определяется наивысшим классом группы Ассура, входящим в механизм. Поэтому рассмотренный механизм является механизмом II класса.

Структурная формула механизма (порядок сборки)

Структурная формула механизма показывает очередность присоединения групп Ассура к входному (ведущему) звену.

Структурная формула рассмотренного механизма имеет вид:



## **5 Контрольные вопросы**

- 5.1 Что называется звеном? Как присваиваются названия звеньям?
- 5.2 Что называется кинематической парой?
- 5.3 Как определяется класс кинематической пары?
- 5.4 Привести примеры кинематических пар 5-го класса.
- 5.5 Как определяется степень подвижности механизмов?
- 5.6 Что показывает степень подвижности?
- 5.7 Что называется группой Ассура?
- 5.8 Какие сочетания чисел, звеньев и кинематических пар могут иметь место в группах Ассура?
- 5.9 Как определяется класс и порядок групп Ассура?
- 5.10 На какие 5 видов группы Ассура 2 класса?
- 5.11 В каком порядке производится разбивка схемы механизма на ведущую группу и группы Ассура?
- 5.12 Как определяется класс механизма в целом?
- 5.13 Как записывается структурная формула (формула строения) механизма?

## **Список использованных источников**

1. Артоболевский, И.И. Теория механизмов и машин/ И.И. Артоболевский. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: ИД Альянс, 2012. – 640 с.
2. Тимофеев, Г.А. Теория механизмов и машин/ Г.А. Тимофеев. – М.:ЮРАЙТ, 2011. – 351 с.
3. Ефанов, А.М. Теория механизмов и машин/ А.М. Ефанов, В.П. Ковалевский. – Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2006. – 267 с.: ил. 198.
4. Козловский, М.З. Теория механизмов и машин/ М.З. Козловский. – 2-е изд. – М.: Академия, 2008. – 559 с.

## Приложение А

(обязательное)

### Пример выполнения лабораторной работы и оформления отчета

#### Лабораторная работа № 1

#### Составление кинематических схем и структурный анализ

#### плоских рычажных механизмов

##### А.1 Цель работы

Научиться составлять кинематические схемы механизмов в соответствии с ГОСТ 2.770-68 и проводить структурный анализ и классификацию механизмов.

##### А.1.1 Кинематическая схема механизма (рисунок 1)

А.1.1.1 Измеряем при помощи линейки длины подвижных звеньев заданного механизма и координаты неподвижных точек:  $\ell_{O_1A} = 140$  мм = 0,14м и т.д., результаты измерений сводим в таблицу 1.

А.1.1.2 Выбираем масштабный коэффициент построения с таким расчетом, чтобы кинематическая схема уместилась на одном листе:

$$\mu_\ell = 0,005 \text{ м/мм}$$

А.1.1.3 Определяем размеры звеньев на чертеже в выбранном масштабе:

$$\bar{\ell}_{O_1A} = \frac{\ell_{O_1A}}{\mu_\ell} = \frac{0,14}{0,005} = 28 \text{ мм}$$

и т.д. результаты расчетных значений сводим в таблицу 1.

А.1.1.4 По полученным значениям вычерчиваем кинематическую схему механизма. Для этого по горизонтальной оси У-У отмечаем неподвижные точки:  $O_1$ ,  $O_2$  и  $O_3$ .

Проводим окружность радиусом  $O_1A_1$  и из точек А и  $O_2$  делаем засечки соответственно радиусами АВ и  $O_2B$ : получаем точку В.

Из точки  $O_3$  проводим дугу радиусом  $O_3C$  до пересечения с прямой  $OD$ : получаем точку  $C$ .

А.1.1.5 На схеме изображаем крайние положения выходного звена  $O_3C$  (точки возврата), соответствующие тем положениям механизма, когда ведущее звено  $O_1A$  будет лежать на одной прямой со звеном  $AB$ .

Назначение данного механизма – для преобразования вращательного движения входного звена  $O_1A$  в колебательное (вокруг точки  $O_3$ ) движение выходного звена  $O_3C$  на угол  $\Psi_{\max}$ .

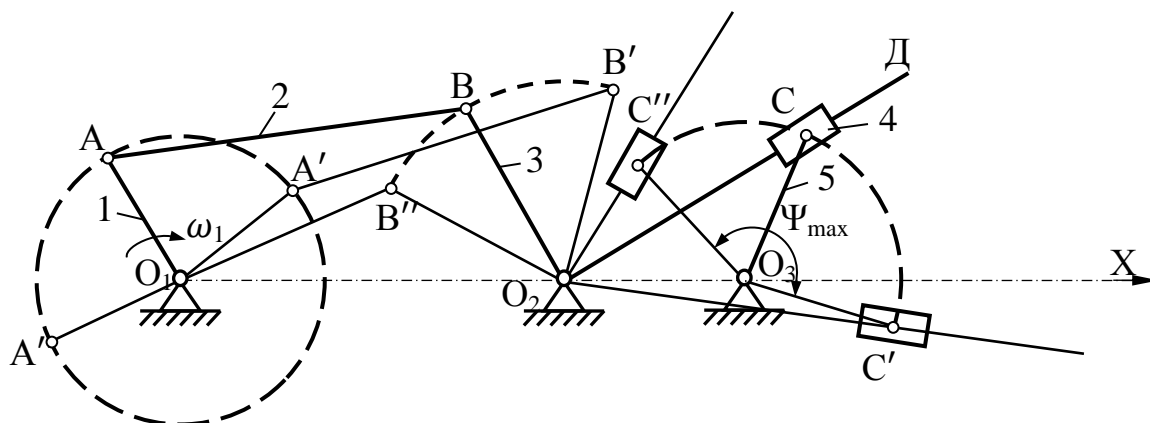


Рисунок А.1 – Кинематическая схема механизма  $\mu_l = 0,005 \frac{м}{мм}$

## А.2 Наименование звеньев и их количество

Таблица А.1 – Наименование звеньев и их количество

| № звена | наименование звена | буквенное обозначение на схеме | действительные размеры   | размеры в масштабе $\mu_l = 0,005 м/мм$  |
|---------|--------------------|--------------------------------|--|--|
| 1       | Кривошип           | $O_1A$                         | $l_{O_1A} = 140 мм = 0,14 м$                                     | $\bar{l}_{O_1A} = \frac{\bar{l}_{O_1A}}{\mu_l} = \frac{0,14}{0,005} = 28 мм$   |
| 2       | Шатун              | $AB$                           | $l_{AB} = 320 мм = 0,32 м$                                       | $\bar{l}_{AB} = \frac{\bar{l}_{AB}}{\mu_l} = \frac{0,32}{0,005} = 64 мм$   |
| 3       | Кулиса             | $BO_2D$                        | $l_{BO_2} = 230 мм = 0,23 м$                                     | $\bar{l}_{BO_2} = \frac{\bar{l}_{BO_2}}{\mu_l} = \frac{0,23}{0,005} = 46 мм$   |
| 4       | Ползун             | $C$                            | -  | -  |
| 5       | Коромысло          | $O_3C$                         | $l_{O_3C} = 160 мм = 0,16 м$                                     | $\bar{l}_{O_3C} = \frac{\bar{l}_{O_3C}}{\mu_l} = \frac{0,16}{0,005} = 32 мм$   |
| 6       | стойка             | $O$                            | $l_{O_1O_2} = 380 мм = 0,38 м$<br>$l_{O_2O_3} = 150 мм = 0,15 м$ | $\bar{l}_{O_1O_2} = \frac{\bar{l}_{O_1O_2}}{\mu_l} = \frac{0,38}{0,005} = 76 мм$<br>$\bar{l}_{O_2O_3} = \frac{\bar{l}_{O_2O_3}}{\mu_l} = \frac{0,15}{0,005} = 30 мм$ |

Всего звеньев – 6, подвижных звеньев –  $n = 5$ .

### А.3 Кинематические пары и их классификация

Таблица А.2 – Кинематические пары и их классификация

| Обозначение КП | Звенья составляющие КП | Вид движения КП | Подвижность КП (класс КП) | Высшая или низшая |
|----------------|------------------------|-----------------|---------------------------|-------------------|
| O <sub>1</sub> | O <sub>1</sub> -1      | вращательное    | P <sub>1</sub> (5кл.)     | низшая            |
| A              | 1-2                    | "-              | "-                        | "-                |
| B              | 2-3                    | "-              | "-                        | "-                |
| O <sub>2</sub> | 0-3                    | "-              | "-                        | "-                |
| C              | 4-5                    | "-              | "-                        | "-                |
| O <sub>3</sub> | 0-5                    | "-              | "-                        | "-                |
| C              | 3-4                    | поступательное  | "-                        | "-                |

одноподвижных КП 5 кл. P<sub>1</sub> = 7

двухподвижных КП 4 кл. P<sub>2</sub> = 0.

### А.4 Определение степени подвижности плоского рычажного механизма по формуле А.П. Малышева:

$$W = 3n - 2P_1 = 3 \cdot 5 - 2 \cdot 7 = 1$$

где n = 5 – число подвижных звеньев;

P<sub>1</sub> = 7 – число одноподвижных кинематических пар 5 класса;

P<sub>2</sub> = 0 – число двухподвижных кинематических пар 4 класса.

Так как степень подвижности механизма равна единице, то механизм имеет одно входное звено (звено I – O<sub>1</sub>A).

## А.5 Разделение механизма на группы Ассура

Таблица А.3 – Разделение механизма на группы Ассура

| Группа         | Эскиз группы Ассура | Звенья, составляющие группу | КП в группе |                   | Степень подвижности | Класс, порядок, вид группы |
|----------------|---------------------|-----------------------------|-------------|-------------------|---------------------|----------------------------|
|                |                     |                             | внутренние  | внешние           |                     |                            |
| Ведущая группа |                     | 0 - 1                       | $O_1$       | -                 | $W = 1$             | 1 кл.<br>1 вид             |
| Ассура         |                     | 2 - 3                       | $B$         | $A, O_2$          | $W = 0$             | 2 кл.<br>2 пор.<br>1 вид   |
| Группы         |                     | 4 - 5                       | $C(4,5)$    | $C(3,4)$<br>$O_3$ | $W = 0$             | 2 кл.<br>2 пор.<br>2 вид   |

В целом механизм II класса.

## А.6 Структурная формула механизма

$$I_1(0,1) \rightarrow II_1(2,3) \rightarrow II_2(4,5)$$

К механизму I класса присоединяется группа Ассура II класса, 2 порядка, 1 вида состоящая из звеньев 2 и 3. К этой группе, в свою очередь, присоединяется группа Ассура II класса, 2 порядка, 2 вида состоящая из звеньев 4 и 5.

Работу выполнил: \_\_\_\_\_

Группа: \_\_\_\_\_

Работу принял: \_\_\_\_\_