

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра механики материалов, конструкций и машин

Г.А. Клещарева

РАЗДЕЛЕНИЕ РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ НА СТРУКТУРНЫЕ ГРУППЫ

Методические указания

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по направлениям подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника 19.03.03 Продукты питания животного происхождения, 19.03.04 Технология продукции и организация общественного питания, 23.03.01 Технология транспортных процессов, 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов

Оренбург
2019

УДК 621.82(076.5)
ББК 34.442я7
К48

Рецензент – доцент, доктор технических наук Ю.А. Чирков

Клещарева, Г.А.

К48 Разделение рычажных механизмов на структурные группы: методические указания / Г.А. Клещарева; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2019. – 23 с.

Методические указания предназначены для выполнения структурного анализа в курсовых проектах, работах и других видах самостоятельной работы по дисциплинам «Теория механизмов и машин», «Механика», «Прикладная механика», для обучающихся по направлениям подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, 19.03.03 Продукты питания животного происхождения, 19.03.04 Технология продукции и организация общественного питания, 23.03.01 Технология транспортных процессов, 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов. Данные указания также могут быть полезны при выполнении отдельных разделов выпускных квалификационных работ.

УДК 621.82(076.5)
ББК 34.442я7

© Клещарева Г.А., 2019
© ОГУ, 2019

Содержание

Введение	4
1 Теоретические основы теории механизмов и машин	5
1.1 Основные понятия и определения	5
1.2 Классификация механизмов и кинематических пар	7
1.3 Группы Ассура	13
1.4 Последовательность структурного анализа	15
1.5 Выбор масштабного коэффициента	15
2 Пример структурного анализа	16
3 Вопросы для самопроверки	21
Список использованных источников	23

Введение

В процессе изучения дисциплин «Теория механизмов и машин», «Механика», «Прикладная механика» обучающиеся получают теоретические знания по расчету, анализу и синтезу встречающихся в практике различных механизмов.

Полученные знания закрепляются выполнением курсовых проектов (работ), расчетно-графических и контрольных работ, а также других видах самостоятельной работы, в которых обучающиеся на практике выполняют расчеты, анализ и синтез механизмов. Разделение механизмов на структурные группы является основой структурного анализа, первой неотъемлемой частью расчетов, выполняемых обучающимися в процессе работы над курсовыми проектами и расчетно-графическими и другими видами работ. В настоящих методических указаниях даны рекомендации, пример структурного анализа типового механизма.

Методические указания способствуют реализации следующих компетенций для направлений: 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника – ОПК-2 способностью применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, при решении профессиональных задач; 19.03.03 Продукты питания животного происхождения, 19.03.04 Технология продукции и организация общественного питания – ОПК-4 готовностью эксплуатировать различные виды технологического оборудования в соответствии с требованиями техники безопасности на пищевых предприятиях, 23.03.01 Технология транспортных процессов, 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов – ОПК-3 готовностью применять систему фундаментальных знаний (математических, естественнонаучных, инженерных и экономических) для идентификации, формулирования и решения технических и технологических проблем эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов.

Данные указания также могут быть полезны при выполнении отдельных разделов выпускных квалификационных работ.

1 Теоретические основы теории механизмов и машин

1.1 Основные понятия и определения

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

Машиной называется механизм, или комплекс согласованно работающих механизмов, для преобразования чего-либо. В зависимости от выполняемых функций машины делятся на три основных вида: вычислительные – для преобразования информации, с целью облегчения физического или умственного труда человека, энергетические (машина – двигатель) для преобразования энергии; и технологические – для преобразования материалов [1], [2].

Технологические машины в свою очередь бывают:

- машины – орудия, производящие работу (рабочие машины);
- транспортные (автомобили);
- транспортирующие (конвейеры).

Машинный агрегат – это совокупность машины-двигателя, передаточного механизма и рабочей машины.

Если машинный агрегат снабжен системой автоматического управления, то имеем *автомат*. *Автоматическая линия* – это совокупность нескольких машинных автоматов. *Завод – автомат* – это совокупность нескольких автоматических линий.

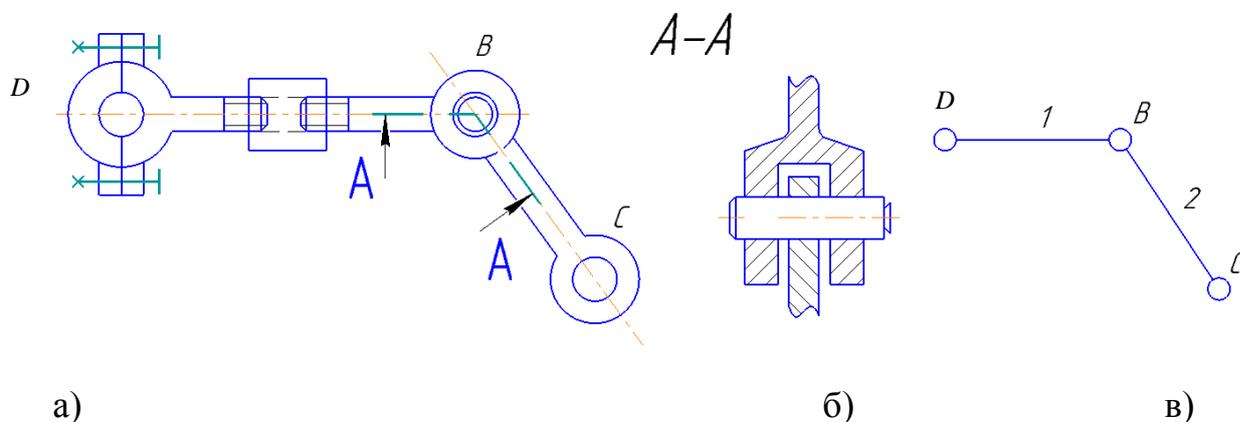
В теории механизмов и машин (ТММ) вместо понятия твердого тела введено понятие звено.

Звеном называется совокупность деталей, скрепленных друг с другом неподвижно.

Деталью машины называют простейшую ее часть, изготовленную без применения сборочных операций (изготовленную из одного куска материала).

Например, шатун в сборе – звено, состоит из нескольких деталей (головка, серьга, болт, гайка) (рисунок 1.1 а).

Подвижное соединение двух звеньев, допускающее их относительное движение, называется *кинематической парой* (КП) (рисунок 1.1 б). Условное изображение звеньев и кинематических пар показаны на рисунке 1.1 в).



а) структурная схема кинематической пары; б) шарнир в разрезе;
в) условное изображение звеньев и КП.

Рисунок 1.1 – Кинематическая пара

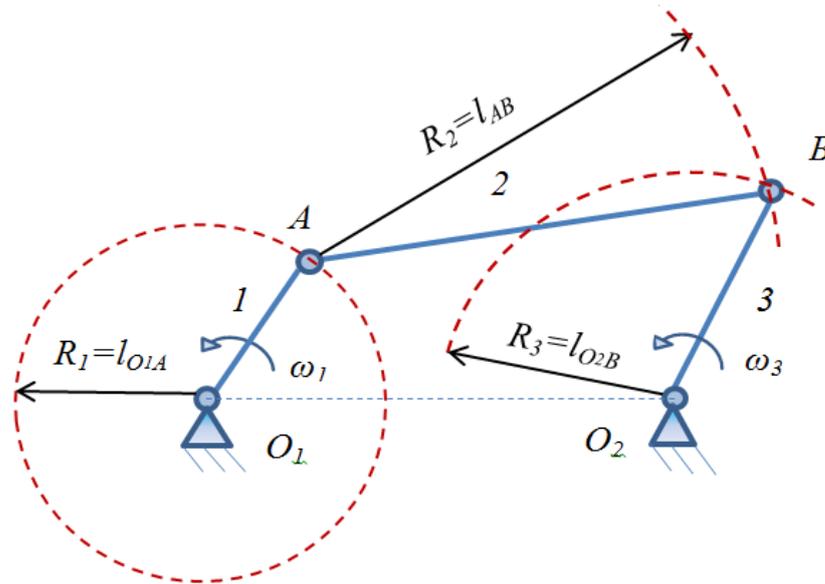
Звенья, к которым приложены силы, приводящие механизм в движение, называют *ведущими* или *входными (вход)*. Все остальные звенья, преобразующие движение ведущего звена, называются *ведомыми* или *выходными (выход)*. На схемах звенья нумеруются арабскими цифрами, начиная с входного.

Названия звеньев определяются видом их движения. На кривошипно-коромысловом механизме (рисунок 1.2 а) изображены следующие звенья:

- звено 1 – *кривошип*, совершающий полный оборот вокруг неподвижной точки стойки O_1 ;
- звено 2 – шатун, совершающий сложное плоскопараллельное движение, не связан со стойкой;
- звено 3 – коромысло, совершающее вращательно-качательное движение вокруг неподвижной точки стойки O_2 ;
- звено 4 – стойка (неподвижно).

1.2 Классификация механизмов и кинематических пар

Название механизма образуется из названий первого и последнего подвижных звеньев. Таким образом, на рисунках 1.2 и 1.3 изображены схемы кривошипно-коромыслового механизма.



A, B – одноподвижные КП (точки промежуточного положения механизма);

O_1, O_2, O_3 – точки крепления механизма со стойкой (одноподвижные КП);

1 – кривошип O_1A длиной l_{O_1A} и радиусом вращения R_1 ;

2 – шатун AB длиной l_{AB} и радиусом вращения R_2 ;

3 – коромысло BO_2 длиной l_{BO_2} и радиусом вращения R_3 ; 4 – стойка O_1O_2 ;

ω_1 – угловая скорость кривошипа, $рад/с$; Ψ – угол качания коромысла, $град$.

Рисунок 1.2 – Построение планов положений кривошипно-коромыслового механизма

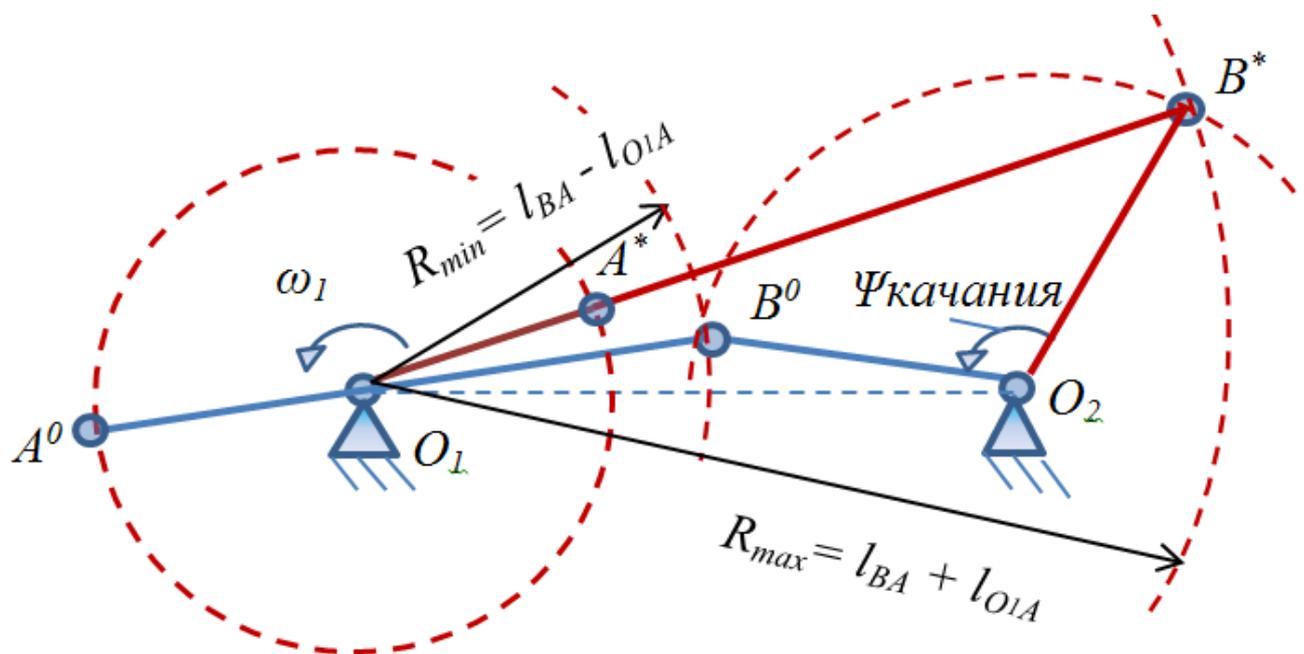
Крайние положения механизма определяют следующим образом:

– крайнее левое положение (начало рабочего хода) (рисунок 1.3)

$$R_{min} = l_{AB} - l_{O_1A};$$

– крайнее правое положение (конец рабочего хода)

$$R_{max} = l_{AB} + l_{O_1A}.$$



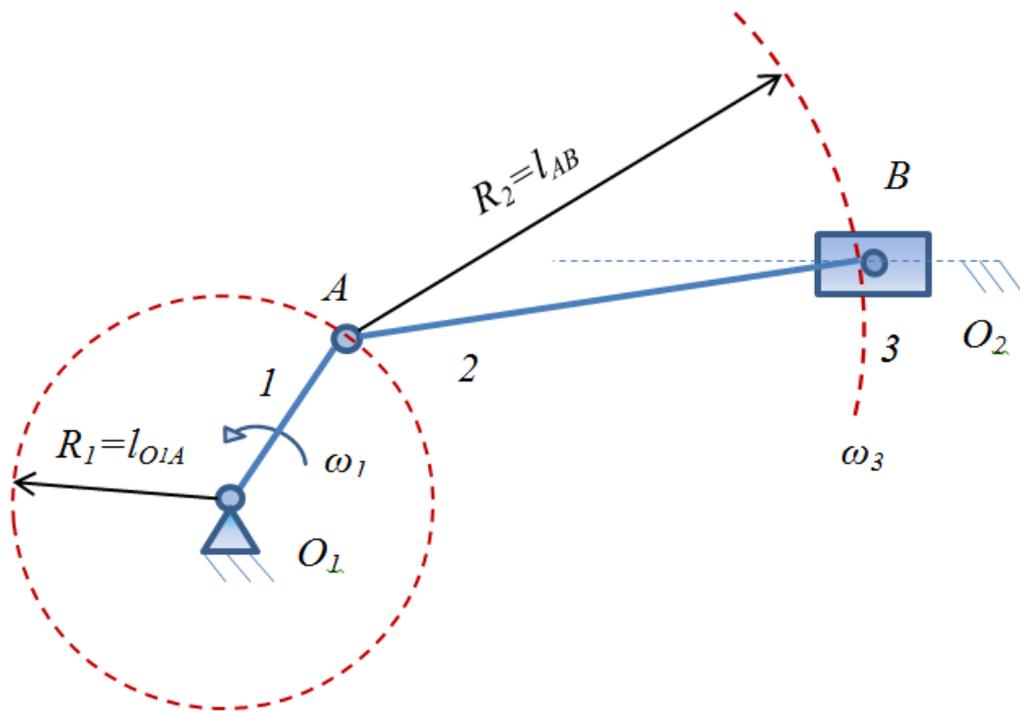
A^0, B^0 – одноподвижные КП (точки начального положения механизма);

A^*, B^* – одноподвижные КП (точки конечного положения механизма).

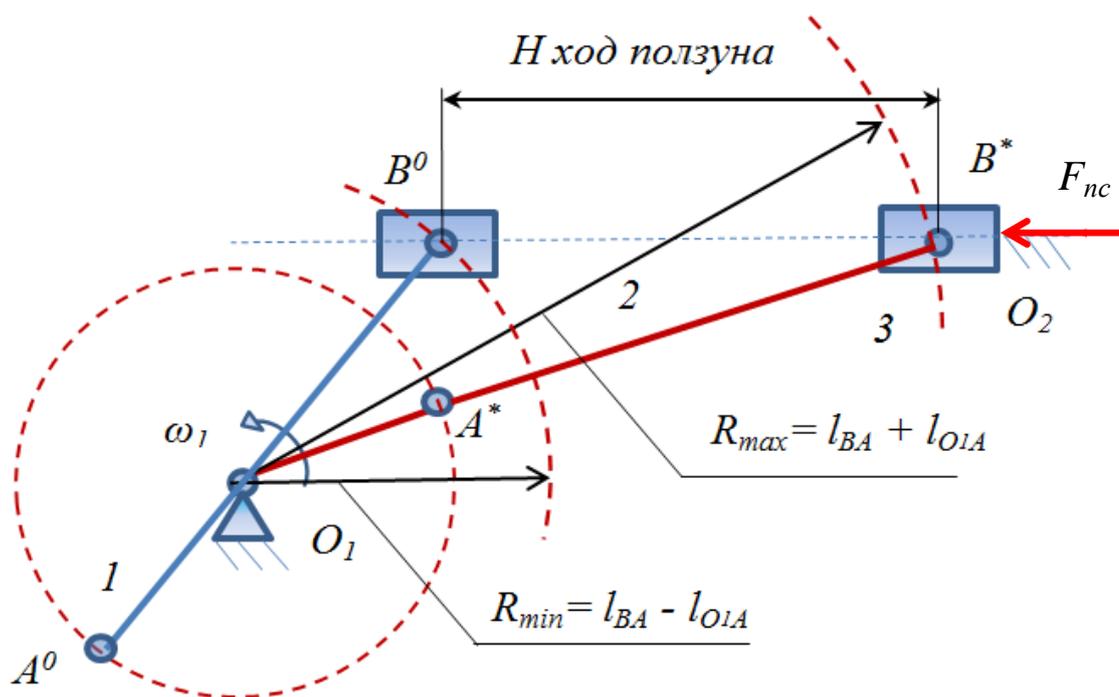
Рисунок 1.3 – Определение крайних положений кривошипно-коромыслового механизма

На кривошипно-ползунном механизме (рисунок 1.4 а) изображены следующие звенья:

- звено 1 – кривошип;
- звено 2 – шатун;
- звено 3 – *ползун*, звено, совершающее возвратно-поступательное движение.



а) построение плана положений



б) определение крайних положений

F_{nc} – сила полезного сопротивления.

Рисунок 1.4 – Кривошипно-ползунный механизм

На кривошипно-кулисном механизме (рисунок 1.5 а) изображены звенья:

- звено 1 – кривошип;
- звено 2 – ползун;
- звено 3 – по виду движения коромысло (по назначению кулиса – является

подвижной направляющей для ползуна.

На схемах кинематические пары обозначаются буквами латинского алфавита.

Поверхности, линии, точки соприкосновения звеньев, называются *элементами кинематической пары*.

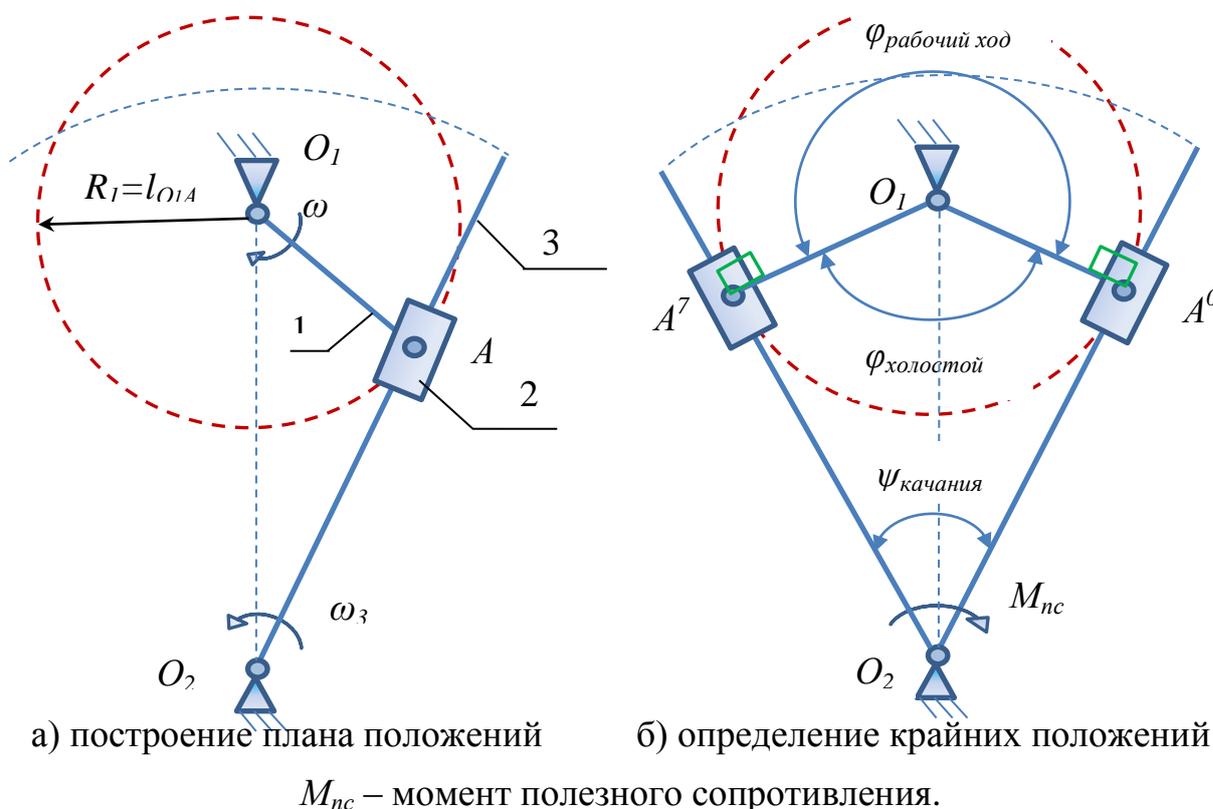


Рисунок 1.5 – Кривошипно-кулисный механизм

В зависимости от числа степеней свободы (количества возможных относительных движений) кинематические пары называются:

- одноподвижными (P_1) – имеющие одну степень свободы;
- двухподвижными (P_2) – имеющие две степени свободы;
- трехподвижными (P_3) – имеющие три степени свободы;
- четырехподвижными (P_4) – имеющие четыре степени свободы;
- пятиподвижными (P_5) – имеющие пять степеней свободы.

В таблице 1.1 даны примеры кинематических пар, их условные изображения, определены их подвижность и класс. Класс кинематической пары определяется числом связей (числом невозможных относительных движений) [3].

Таблица 1.1 – Примеры КП (5 классов по И.И. Артоболовскому)

Рисунок КП	Условное обозначение КП	Элемент КП	Вид движения*				Всего количество возможных движений	Всего количество возможных ограничений (класс КП)	Примечание
			поступательное		вращательное				
			H	S	H	S			
		точка	2	1	3	-	5(P ₅)	1 (I класс)	Высшая КП
		линия	2	1	2	1	4 (P ₄)	2 (II класс)	Высшая КП
		поверхность (плоскость)	2	1	1	2	3 (P ₃)	3 (III класс)	Низшая КП вращательная.
		поверхность (сфера)	-	3	3	-	3 (P ₃)	3 (III класс)	Низшая КП
		поверхность	1	2	1	2	2 (P ₂)	4 (IV класс)	Низшая КП
		поверхность	1	2	-	3	1 (P ₁)	5 (V класс)	Низшая КП поступательная.
		поверхность	-	3	1	2	1 (P ₁)	5 (V класс)	Низшая КП вращательная

* H – вид движения (возможный)
S – вид движения (ограниченный)
– стрелками указаны возможные относительные движения звеньев

1.3 Группы Ассура

Более сложный механизм образуется присоединением к механизму I класса структурных групп с *нулевой степенью подвижности*, которые называются *группы Ассура*, то есть:

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

Откуда

$$3 \cdot n = 2 \cdot P_1,$$

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

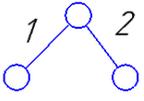
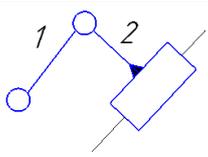
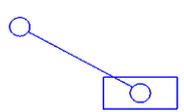
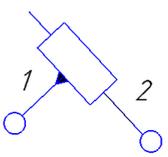
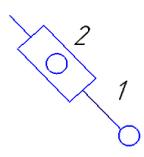
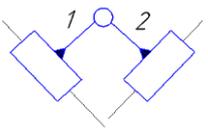
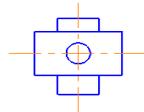
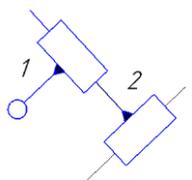
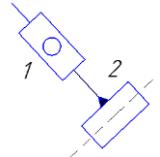
Так как число кинематических пар не может быть дробным, то число звеньев групп Ассура должно быть четным, тогда число кинематических пар будет кратно трем (таблица 1.2).

Таблица 1.2 – Возможные сочетания n и P_1 в группах Ассура

Класс механизмов	II	III	IV	...
Число звеньев групп Ассура n	2	4	6	...
Число кинематических пар P_1	3	6	9	...

Первое сочетание чисел $n = 2$, $P_1 = 3$. Группа, имеющая два звена и три неподвижные кинематические пары – P_1 , называется группой II класса, второго порядка или *двухповодковой группой (диадой)*, так как присоединение этой группы к другим группам (или стойкам) производится двумя свободными поводками. Если все три кинематические пары – вращательные, то двухповодковая группа будет первой модификации (таблица 1.3).

Таблица 1.3 – Группы Ассура второго класса

Обозначение группы Ассура	Условный рисунок группы Ассура	Класс группы Ассура	Порядок группы Ассура	Модификация группы Ассура
ВВВ		II класс	2 порядок	1 модификация
ВВП		II класс	2 порядок	2 модификация
				
ВПП		II класс	2 порядок	3 модификация
				
ПВП		II класс	2 порядок	4 модификация
				
ВПП		II класс	2 порядок	5 модификация
				

1.4 Последовательность структурного анализа

Основой структурного анализа служит структурная схема механизма.

Цель: определить количество и название подвижных звеньев, количество и класс кинематических пар, степень подвижности механизма, разбить механизм на структурные группы, составить структурную формулу механизма [5].

При проведении структурного анализа рекомендуется:

- отсоединять структурные группы, начиная с наиболее удаленных от ведущего звена;
- следить за тем, чтобы степень подвижности механизма до и после отделения каждой структурной группы оставалась неизменной;
- помнить, что каждое звено и каждая кинематическая пара может входить только в одну структурную группу.

1.5 Выбор масштабного коэффициента

В теории механизмов и машин при структурном анализе и построении плана положений удобнее пользоваться понятием *масштабного коэффициента длин* μ_l , м/мм.

Масштабный коэффициент – это отношение действительной длины звена к длине, изображаемой на чертеже (μ_l , м/мм, соответствующий М 1:1 будет равен $\mu_l = 0,001$ м/мм. Выбор масштабного коэффициента рекомендуется производить из следующего стандартного ряда чисел (таблица 1.4).

Таблица 1.4 – Численные значения стандартных чисел масштабных коэффициентов

Диапазоны значений				
0,001	0,002	0,0025	0,004	0,005
0,01	0,02	0,025	0,04	0,05
0,1	0,2	0,25	0,4	0,5
1	2	2,5	4	5
10	20	25	40	50
100	200	250	400	500 и так далее

2 Пример структурного анализа

Исходные данные должны быть взяты из своего варианта кинематической схемы с числовыми значениями необходимых величин, принятых ранее на стадии структурного анализа. Например, схема 11, вариант числовых значений и номер положения механизма для дальнейшего силового анализа – 10 (Таблица 2.2).

Таблица 2.1 – Кинематическая схема кулисного механизма и исходные данные

Схема 11		№	$n_{кр},$ об/мин	$F_{nc},$ кН	$l_x,$ мм	$l_y,$ мм	$l_{O_1A},$ мм	$l_{O_2B},$ мм	$l_{BC},$ мм
		2		1,1	200	350	700	700	1750
		3	70	1,2	200	300	600	600	1500
		4	75	1,3	150	400	800	800	2000
		5	80	1,4	150	400	800	800	2000
		7	90	1,5	150	350	700	700	1750
		8	100	1,6	100	300	600	600	1500
		9	110	1,7	100	250	500	500	1250
$J_{si}, \text{кг}\cdot\text{м}^2$	$J_{si} = 0,2 \cdot m_i \cdot l_i^2$	10	115	1,8	100	200	400	400	1000
$m_i, \text{кг}$	$m_i = g \cdot l_i; m_5 = 3 \cdot m_1; g = 10 (\text{кг}/\text{м})$	11	60	2,0	100	250	500	500	1250

Примечание – в таблице 2.1 приняты следующие обозначения

где $n_{кр}$ – частота вращения кривошипа, об/мин;

F_{nc} – сила полезного сопротивления, кН;

J_{si} – собственные моменты инерции звеньев, кг·м²;

m_i – массы звеньев, кг;

g – масса одного метра звена, кг/м;

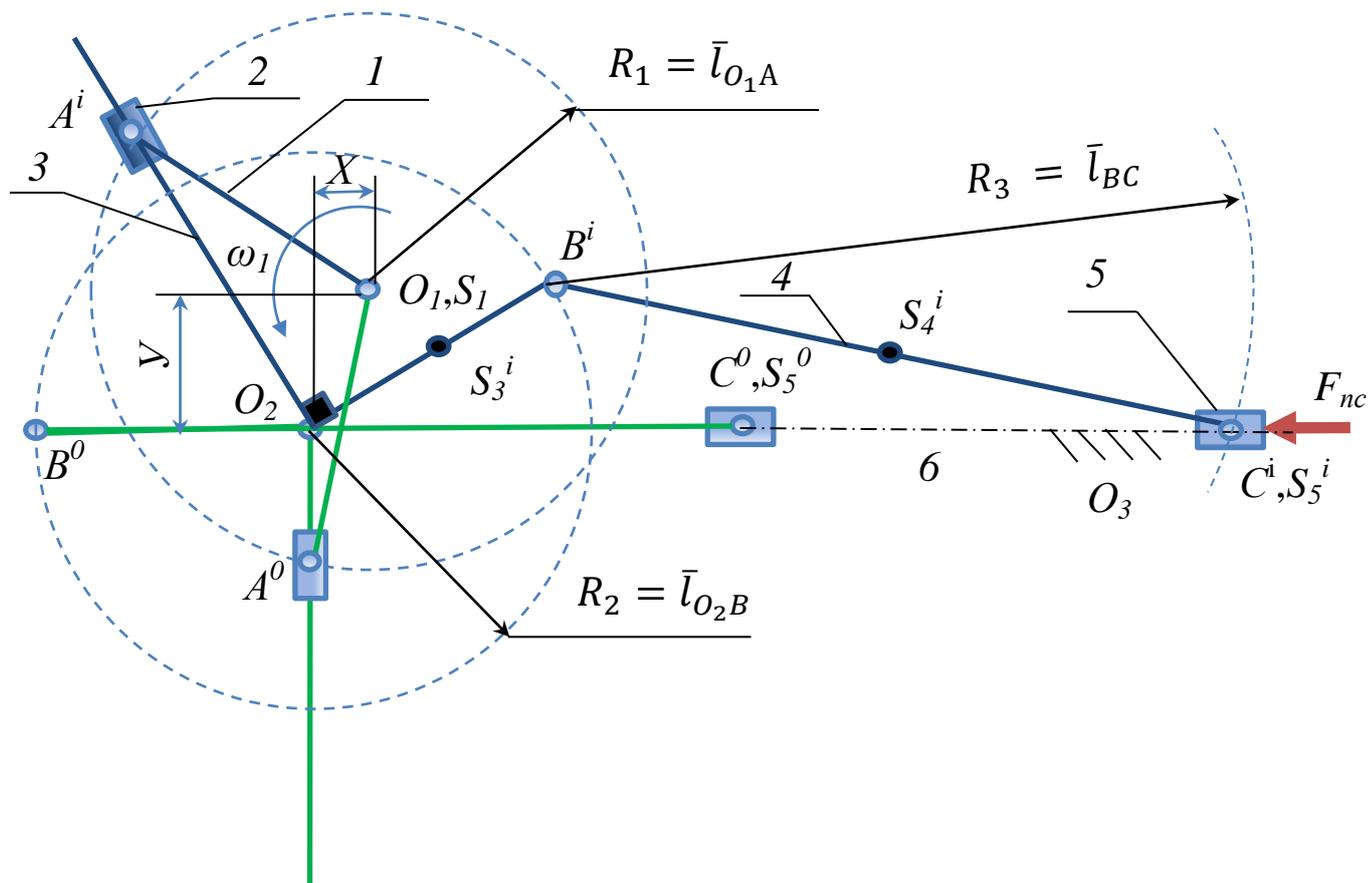
l_x, l_y – координаты точки O_2 относительно O_1 , мм;

$l_{O_1A}, l_{O_2B}, l_{BC}$ – длины звеньев, мм;

S_1, S_3, S_4, S_5 – центры тяжести 1, 3, 4, 5 звеньев соответственно.

Рассмотрим в качестве примера кинематическую схему кулисного механизма (рисунок 2.1).

Данный механизм предназначен для преобразования вращательного движения кривошипа 1 в возвратно-поступательное движение ползуна 5.



1 – кривошип; 2 – ползун; 3 – кулиса; 4 – шатун; 5 – ползун; 6 – стойка;
 O_1, O_2, O_3 – неподвижные точки – точки соединения механизма со стойкой (шарнирно-неподвижные опоры); A, B, C – подвижные кинематические пары;
 X, Y – координаты точки O_2 относительно O_1 ; S_1, S_3, S_4, S_5 – центры тяжести соответствующих звеньев.

Рисунок 2.1 – Кинематическая схема кулисного механизма

Для нахождения величины *масштабного коэффициента*, действительные значения длин звеньев (*в миллиметрах*) сначала необходимо перевести в *метры*, а затем подставлять значения в формулу масштабного коэффициента. Удобнее всего рассчитывать его на примере первого звена (для рассматриваемого механизма – это кривошип, а его действительная длина l_1 , м), *желательно*, чтобы длина кривошипа, изображаемого на чертеже \bar{l}_1 , мм, была от 50 до 100 миллиметров (для удобства и наглядности выполнения чертежа):

$$\mu_\ell = \frac{\ell_1}{\bar{\ell}_1} = \frac{0,4}{100 \dots 50} = 0,004 \dots 0,008 \frac{\text{м}}{\text{мм}}$$

Стандартные значения масштабного коэффициента выбираем из таблицы 1.4:

$$\mu_\ell = 0,005 \frac{\text{м}}{\text{мм}}$$

С учетом выбранного и принятого масштабного коэффициента (таблица 1.4) длина любого звена на чертеже $\bar{\ell}_1$, мм, будет определяться выражением:

$$\bar{\ell}_i = \frac{\ell_i}{\mu_\ell}$$

Для наглядности все результаты структурного анализа сведены в таблицы 2.1 – 2.3.

Таблица 2.2 – Количество и название звеньев механизма

Звено	Наименование звеньев	Буквенное обозначение звеньев	Действительные размеры, м	Масштабные размеры, мм ($\mu_\ell = 0,005 \text{ м/мм}$)
1	кривошип	O ₁ A	$l_{O_1A} = 0,4 \text{ м}$	$\bar{l}_{O_1A} = \frac{l_{O_1A}}{\mu_l} = \frac{0,4}{0,005} = 80$
2	ползун	A	-	-
3	коромысло-кулиса	O ₂ B	$l_{O_2B} = 0,4 \text{ м}$	$\bar{l}_{O_2B} = \frac{l_{O_2B}}{\mu_l} = \frac{0,4}{0,005} = 80$
		O ₂ A ₃	$l_{O_2A_3} = ?$	$\bar{l}_{O_2A_3} = ?$
4	шатун	BC	$l_{BC} = 1 \text{ м}$	$\bar{l}_{BC} = \frac{l_{BC}}{\mu_l} = \frac{1}{0,005} = 200$ $\bar{l}_{BS_4} = \frac{l_{BS_4}}{\mu_l} = \frac{0,5}{0,005} = 100$
5	ползун	C	-	-
6	стойка	O ₁ , O ₂ , O ₃	$l_X = 0,1 \text{ м}$	$\bar{l}_X = \frac{l_X}{\mu_l} = \frac{0,1}{0,005} = 20 \text{ мм}$
			$l_Y = 0,2 \text{ м}$	$\bar{l}_Y = \frac{l_Y}{\mu_l} = \frac{0,2}{0,005} = 40 \text{ мм}$
Всего звеньев в механизме				6
Подвижных звеньев в механизме n				5

Таблица 2.3 – Кинематические пары и их классификация

Обозначение КП	Звенья составляющие КП	Вид движения	Подвижность КП (класс)	Высшая или низшая КП
O_1	1 – 6	вращательное	$P_1(V\text{класс})$	Низшая
A	1 – 2	вращательное	$P_1(V\text{класс})$	Низшая
A	2 – 3	поступательное	$P_1(V\text{класс})$	Низшая
O_2	3 – 6	вращательное	$P_1(V\text{класс})$	Низшая
B	3 – 4	вращательное	$P_1(V\text{класс})$	Низшая
C	4 – 5	вращательное	$P_1(V\text{класс})$	Низшая
O_3	5 – 6	поступательное	$P_1(V\text{класс})$	Низшая
Одноподвижных кинематических пар пятого (V) класса $P_1 = 7$				

Используя формулу А. П. Малышева, определим степень подвижности плоского рычажного механизма.

$$W = 3n - 2P_1 - P_2 = 3 \cdot 5 - 2 \cdot 7 - 0 = 1,$$

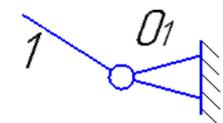
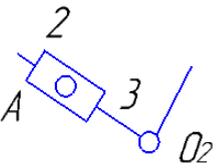
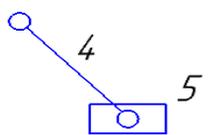
где $n = 5$ – число подвижных звеньев;

$P_1 = 7$ – число одноподвижных КП;

$P_2 = 0$ – число двухподвижных КП.

Так как $W = 1$, механизм имеет одно ведущее звено – 1 кривошип.

Таблица 2.4 – Разделение механизма на структурные группы Ассур

Группа	Эскиз группы	Звенья, составляющие группы	КП в группе		Степень подвижности	Класс, порядок, вид группы
			внутренние	внешние		
ведущая группа		1 – 6	O ₁	–	W=1	I класс 1 порядок 1 вид
I группа Ассур		2 – 3	A ₂ (2–3)	C ₁ (2–1) O ₂ (3–0)	W=0	II класс 2 порядок 3 вид
II группа Ассур		4 – 5	C ₁ (4–5)	B(4–3) O ₃ (5–6)	W=0	II класс 2 порядок 2 вид
В целом данный механизм II класса						

Структурную формулу механизма (порядок сборки) записывают так:

$$I_1(1) \rightarrow II_3(2 - 3) \rightarrow II_2(4 - 5).$$

Это значит, что к механизму I класса, I вида, состоящего из звена 1, присоединяется группа Ассур II класса, 3 модификации, состоящая из звеньев 2 и 3. К этой группе присоединяется группа Ассур II класса, 2 модификации, состоящей из звеньев 4 и 5.

Таким образом проводят структурный анализ механизмов, который является первой частью курсового проекта, работы, а также контрольной и расчетно-графической работы. Примером оформления отчета по первой части курсовых проектов и работ является, непосредственно, данный рассмотренный вариант, то есть полностью пункт 2 настоящих методических указаний.

3 Вопросы для самопроверки

- 1 Структурный анализ заключается в ...
- 2 Кинематическая пара, накладывающая на звено в относительном движении одну геометрическую связь, – это ... пара.
- 3 Кинематическая пара, имеющая две связи, – это ... пара.
- 4 Кинематическая пара, имеющая три связи, – это ... пара.
- 5 Кинематическая пара, имеющая четыре связи, – это ... пара
- 6 Кинематическая пара, имеющая пять связей, – это ... пара.
- 7 Число степеней свободы плоского механизма определяется по формуле:...
- 8 Признаки классификации кинематических пар – ...
- 9 Степень подвижности механизма первого класса ...
- 10 Степень подвижности структурной группы Асура второго класса равна ...
- 11 Механизмы первого класса бывают ...
- 12 Формула Чебышева для определения подвижности плоского механизма:
- 13 Формула для определения подвижности плоского механизма:
- 14 Сочетание $n = 4$, $P_1 = 6$. Незамкнутая цепь из 4-х звеньев и шести одноподвижных кинематических пар – P_1 , является ...
- 15 Условия существования группы Асура имеет вид:
- 16 Сложный механизм образуется присоединением к механизму I класса структурных групп ...
- 17 Если все три кинематические пары вращательные, то двухповодковая группа будет ...
- 18 Если первые две кинематические пары вращательные, а третья поступательная, то двухповодковая группа будет ...
- 19 При структурном анализе НЕ определяют:...
- 20 Групп Асура третьего порядка можно присоединить к механизму первого класса ...
- 21 Сочетание $n = 6$, $P_1 = 9$ означает, что это группа Асура ...

- 22 Присоединение диады второй модификации к механизму I класс образует ...
- 23 Присоединение диады второй модификации к начальному механизму I класса образует ...
- 24 Присоединение диады третьей модификации к начальному механизму I класса образует ...
- 25 Если в состав механизма входят группы различных классов, то класс механизма определяется ... входящей в него группы.
- 26 «Двухповодковая группа» означает, что присоединение этой группы к другим группам (или стойкам) производится двумя ...
- 27 «Диада» означает, что присоединение этой группы к другим группам (или стойкам) производится двумя ...
- 28 «Трехповодковая группа» означает, что эта группа ...
- 29 «Триада» означает, что эта группа ...
- 30 Высшие кинематические пары можно заменить низшими, если ...

Список использованных источников

- 1 Ефанов, А.М. Курс теории механизмов и машин : учебное пособие для студентов вечерней и заочной форм обучения / А.М. Ефанов, С.А. Ефанов. – Оренбург : ОГУ, 2000. – 148 с.
- 2 Ефанов, А.М. Теория механизмов и машин : учебное пособие / А.И. Ефанов, В.П. Ковалевский. – ИПК ГОУ ОГУ, 2006. – 267 с.
- 3 Артоболевский, И.И. Теория механизмов и машин / И.И. Артоболевский. – М. : Наука, 1988. – 638 с.
- 4 Левитский, Н.И. Теория механизмов и машин / Н.И. Левитский. – М. : Наука, 1979. – 576 с.
- 5 Фролов, К.В. Теория механизмов и машин / К.В. Фролов. – М. : Высшая школа, 1999. – 496 с.