

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

СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ

Методические указания

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательным программам высшего образования по специальности 15.05.01 Проектирование технологических машин и комплексов и направлениям подготовки 15.03.01 Машиностроение, 15.03.02 Технологические машины и оборудование, 15.03.03 Прикладная механика, 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств, 15.03.06 Мехатроника и робототехника, 12.03.04 Биотехнические системы и технологии

Оренбург
2018

УДК 621.82(076.5)
ББК 34.442я7
К48

Рецензент – профессор, доктор технических наук А.Н. Поляков

Клещарёва, Г.А.

К48 Структурный анализ рычажных механизмов: методические указания /
Г.А. Клещарева; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2018. – 29 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», «Машиноведение», «Основы проектирования» для обучающихся по образовательным программам высшего образования по специальности 15.05.01 Проектирование технологических машин и комплексов и направлениям подготовки 15.03.01 Машиностроение, 15.03.02 Технологические машины и оборудование, 15.03.03 Прикладная механика, 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств, 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств, 15.03.06 Мехатроника и робототехника, 12.03.04 Биотехнические системы и технологии. Данные указания также могут быть полезны при выполнении отдельных разделов выпускных квалификационных работ.

УДК 621.82(076.5)
ББК 34.442я7

© Клещарева Г.А., 2018
© ОГУ, 2018

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.....	12
1.4 Последовательность структурного анализа	14
1.5 Выбор масштабного коэффициента	14
2 Пример структурного анализа	15
3 Вопросы для самопроверки	19
4 Исходные данные на проектирование	21
Список использованных источников	29

Введение

В процессе изучения дисциплин «Теория механизмов и машин», «Механика» «Машиноведение», «Прикладная механика» обучающиеся получают теоретические знания по расчету, анализу и синтезу, встречающихся в практике различных механизмов. Полученные знания закрепляются выполнением курсовых проектов (работ) и расчетно-графических работ, в которых обучающиеся на практике выполняют расчеты, анализ и синтез механизмов. Структурный анализ является первой неотъемлемой частью расчетов, выполняемых обучающимися в процессе работы над курсовыми проектами и расчетно-графическими работами. Результаты структурного анализа являются исходными данными для дальнейшей работы при выполнении проектов и расчетно-графических работ. В настоящих методических указаниях даны рекомендации, пример структурного анализа типового механизма.

Методические указания способствуют реализации некоторых компетенций: ОПК-4 готовностью применять современные средства выполнения и редактирования изображений и чертежей и подготовки конструкторско-технологической документации; ОПК-1 способностью к приобретению с большой степенью самостоятельности новых знаний с использованием современных образовательных и информационных технологий; ОПК-2 владением физико-математическим аппаратом, необходимым для описания мехатронных и робототехнических систем.

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 являются:

- 1) энергетическими (машина – двигатель) для преобразования энергии;
- 2) технологическими – для преобразования материалов:
 - машины – орудия, производящие работу (рабочие машины);
 - транспортные (автомобили);
 - транспортирующие (конвейеры).
- 3) вычислительными – для преобразования информации, с целью облегчения физического или умственного труда человека.

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.

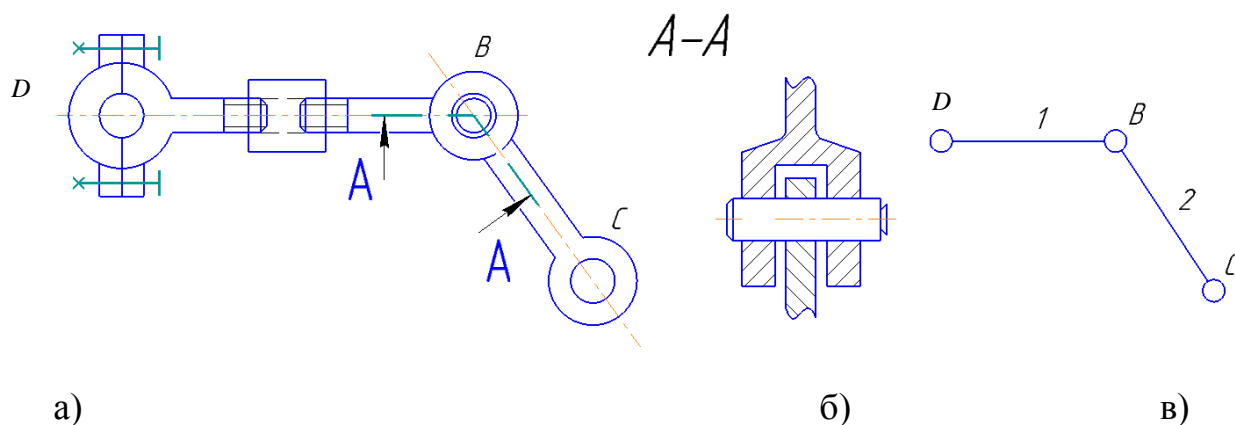
В теории механизмов и машин (ТММ) вместо понятия твердого тела введено понятие звено.

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 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

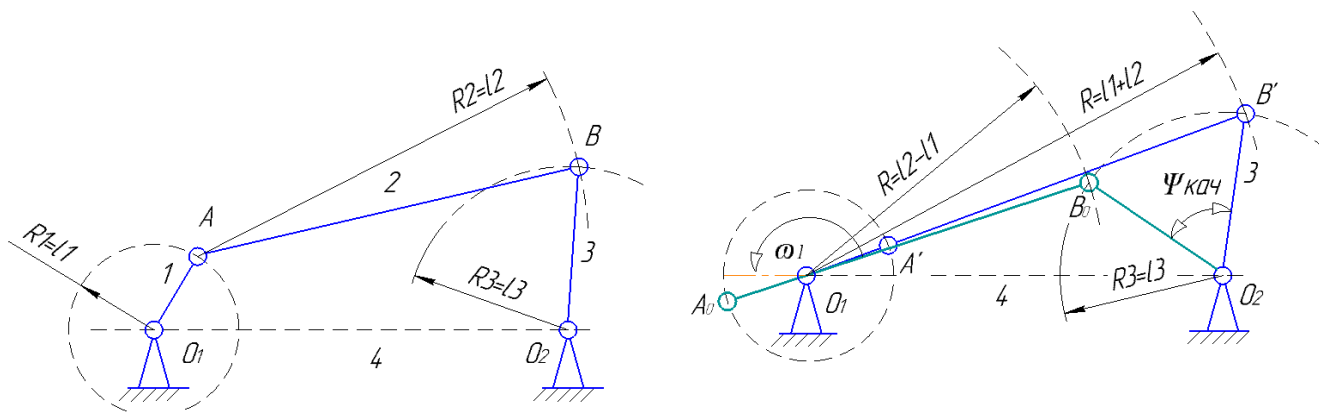
Звенья, к которым приложены силы, приводящие механизм в движение, называют *ведущими* или *входными (вход)*. Все остальные звенья, преобразующие движение ведущего звена, называются *ведомыми* или *выходными (выход)*. На схемах звенья нумеруются арабскими цифрами, начиная с входного.

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 рисунке 1.2 а изображена схема кривошипно-коромыслового механизма в двух положениях.



а) построение плана положений

б) определение крайних положений

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

A₀, B₀ – одноподвижные КП (точки начального положения механизма);

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

O₁, O₂, O₃ – точки контакта механизма со стойкой (одноподвижные КП);

1 – кривошип O₁A длиной l_1 и радиусом вращения R_1 ;

2 – шатун АВ длиной l_2 и радиусом вращения R_2 ;

3 – коромысло BO₂ длиной l_3 и радиусом вращения R_3 ; 4 – стойка O₁O₂;

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

Рисунок 1.2 – Кривошипно-коромысловый механизм

Крайние положения механизма определяют:

крайнее левое положение

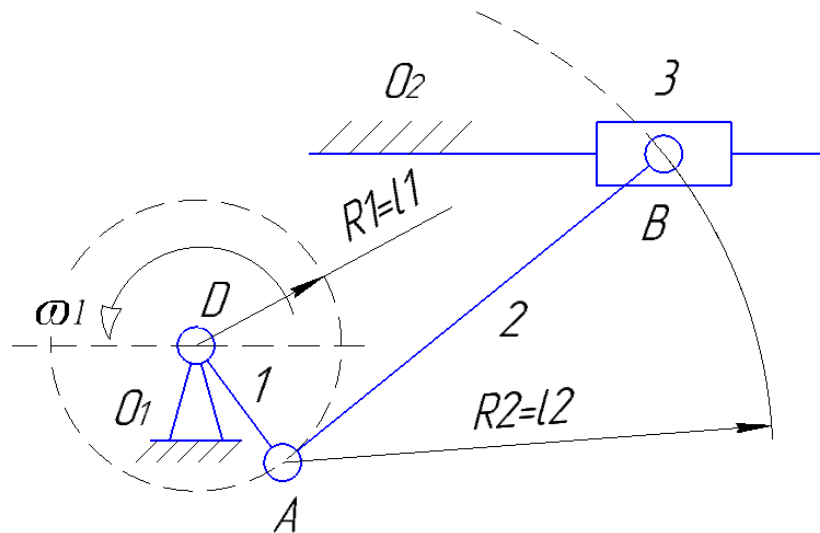
$$R = l_2 - l_1$$

крайнее правое положение

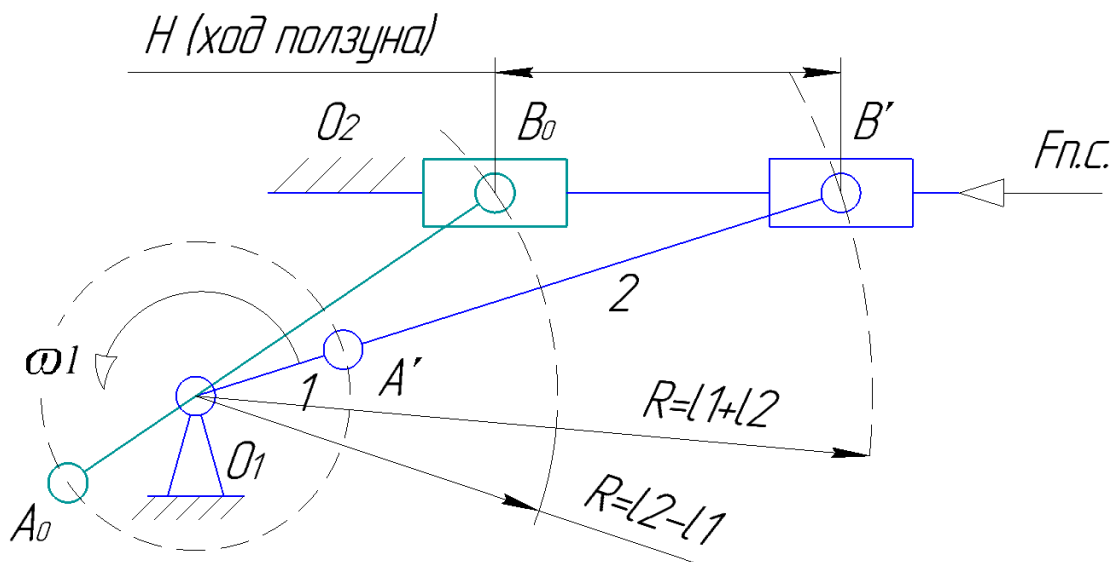
$$R = l_2 + l_1$$

На кривошипно-ползунном механизме (рисунок 1.3 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

$F_{п.с.}$ – сила полезного сопротивления.

Рисунок 1.3 – Кривошипно-ползунный механизм

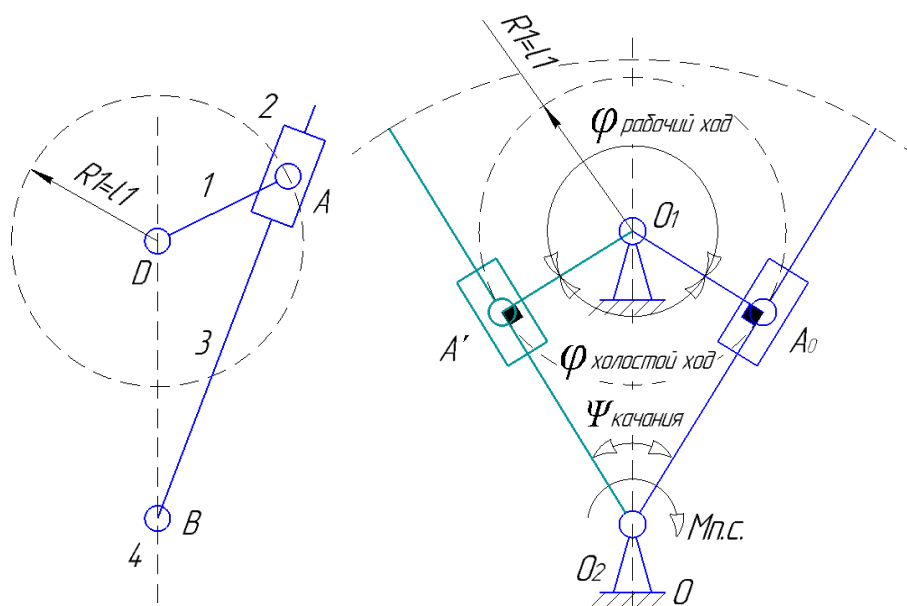
На кривошипно-кулисном механизме (рисунок 1.4 а) изображены звенья:

- 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*.



- а) построение плана положений б) определение крайних положений

$M_{п.с.}$ – момент полезного сопротивления.

Рисунок 1.4 – 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).

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:

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

Откуда

$$3n = 2P_1,$$

$$P_1 = (3/2)n.$$

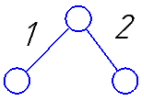
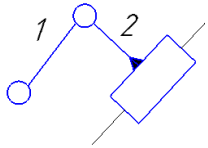
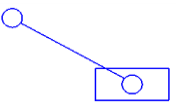
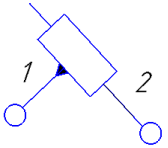
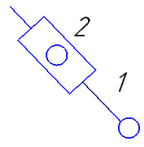
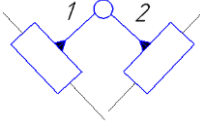
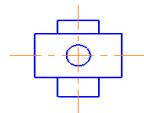
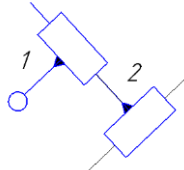
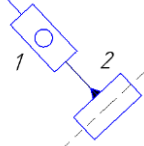
Так как число кинематических пар не может быть дробным, то число звеньев групп Ассура должно быть четным, тогда число кинематических пар будет кратно трем (таблица 1.2).

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 одноподвижные 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 Ассур второго класса

Обозначение группы Ассур	Условный рисунок группы Ассур	Класс группы Ассур	Порядок группы Ассур	Модификация группы Ассур
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.

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

Масштабом физической величины называют длину отрезка в мм, изображающую единицу измерения этой величины. Например, длина звена $l_1 = 400$ мм, на чертеже изображается отрезком $\bar{l} = 200$ мм (в два раза меньше), масштаб М (1:2). В теории механизмов и машин при структурном анализе и построении плана положений удобнее пользоваться понятием *масштабного коэффициента длины* μ_l , м/мм.

Масштабный коэффициент – это отношение действительной длины звена к длине, изображаемой на чертеже ($\mu_l, \frac{м}{мм}$, 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 – Стандартный ряд чисел для значений масштабного коэффициента

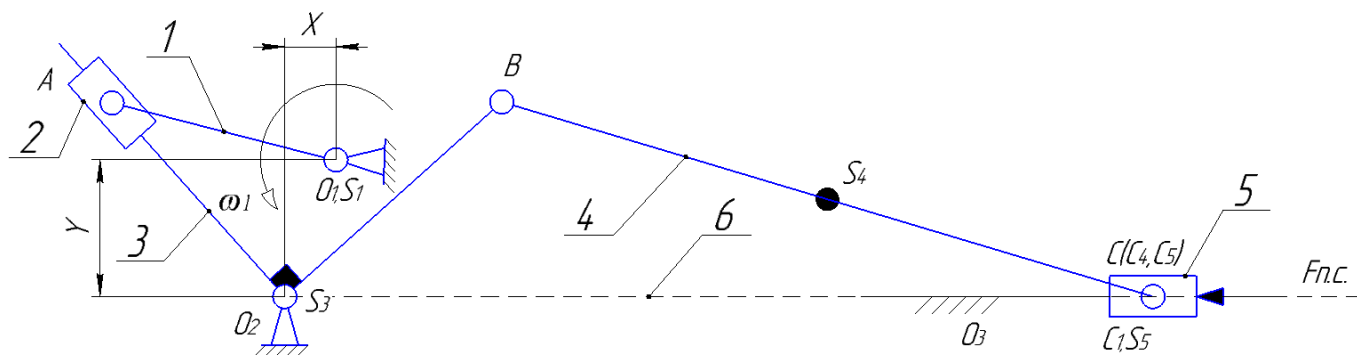
0,001	0,002	0,0025	0,004	0,005
0,01	0,02	0,025	0,04	0,05
0,1	0,2	0,25	0,4	0,5
1	2	2,5	4	5
10	20	25	40	50
100	200	250	400	500 и так далее

2 Пример структурного анализа

Рассмотрим в качестве примера структурную схему механизма (рисунок 2.1) строгального станка. Исходные данные необходимо брать из пункта 4.

Вариант	$n_{кр},$ об/ мин	$F_{п.с.},$ кН	$J_{si},$ кг·м ²	$m_i,$ кг	$X, м$	$Y, м$	$l_{O_1A},$ м	$l_{O_2B},$ м	$l_{BC},$ м
1	60	1,0	$J_{si} = 0,2 \cdot m_i \cdot l_i^2$	$m_i = g \cdot l_i; m_5 = 3 \cdot m_1; g = 10 \text{ (кг/м)}$	0,15	0,3	0,6	$l_{O_2B} = l_{O_1A}$	$l_{BC} = 2,5 \cdot l_{O_1A}$
2	65	1,1			0,2	0,35	0,7		
3	70	1,2			0,2	0,3	0,6		
4	75	1,3			0,15	0,4	0,8		
5	80	1,4			0,15	0,4	0,8		
7	90	1,5			0,15	0,35	0,7		
8	100	1,6			0,1	0,3	0,6		
9	110	1,7			0,1	0,25	0,5		
10	115	1,8			0,1	0,2	0,4		
11	60	2,0			0,1	0,25	0,5		

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;

X, Y – координаты точки O_2 относительно O_1 ; S_1, S_3, S_4, S_5 – центры тяжести звеньев.

Рисунок 2.1 – Структурная схема механизма строгального станка

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):

$$\mu_l = \frac{l_1}{\bar{l}_1} = \frac{0,8}{100 \dots 50} = 0,008 \dots 0,016 \frac{\text{м}}{\text{мм}}.$$

Стандартные значения масштабного коэффициента выбираем из таблицы 1.4:

$$\mu_l = 0,01 \frac{\text{м}}{\text{мм}}.$$

С учетом выбранного и принятого масштабного коэффициента (таблица 1.4) длина любого звена на чертеже будет определяться выражением:

$$\bar{l}_i = \frac{l_i}{\mu_l} \text{ мм.}$$

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

Таблица 2.1 – Количество и название звеньев механизма

Звено	Наименование	Буквенное обозначение	Действительные размеры	Масштабные размеры
1	кривошип	O_1A	$l_{O_1A} = 0,8 \text{ м}$	$\bar{l}_{O_1A} = \frac{0,8}{0,01} = 80 \text{ мм}$
2	ползун	A	-	-
3	коромысло-кулиса	O_2B	$l_{O_2B} = 0,8 \text{ м}$	$\bar{l}_{O_2B} = \frac{0,8}{0,01} = 80 \text{ мм}$
		O_2A_3	$l_{O_2A_3} = ?$	$\bar{l}_{O_2A_3} = ?$
4	шатун	BC	$l_{BC} = 2 \text{ м}$	$\bar{l}_{BC} = \frac{2}{0,01} = 200 \text{ мм}$
5	ползун	C	-	-
6	стойка	$O_1O_2O_3$	$l_X = 0,15 \text{ м}$	$\bar{l}_X = \frac{0,15}{0,01} = 15 \text{ мм}$
			$l_Y = 0,4 \text{ м}$	$\bar{l}_Y = \frac{0,4}{0,01} = 40 \text{ мм}$
Всего звеньев в механизме				6
Подвижных звеньев в механизме n				5

Таблица 2.2 – 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.

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

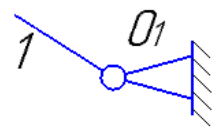
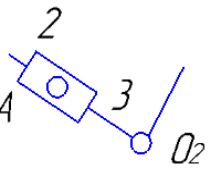
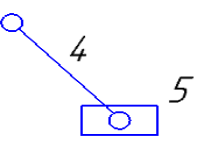
где $n = 5$ – число подвижных звеньев;

$P_1 = 7$ – число одноподвижных КП;

$P_2 = 0$ – число двухподвижных КП.

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

Таблица 2.3 – 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.

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 ...

4 Исходные данные на проектирование

Таблица 4.1 – Схемы и варианты заданий на проектирование

Схема 1	Вариант	$n_{кр},$ об/ мин	$F_{п.с},$ Н	$J_{si},$ кг·м ²	$m_i,$ кг	$Y_1,$ мм	$Y_2,$ мм	$l_{O_1A},$ мм	$l_{O_2B},$ мм	$l_{O_2S_3},$ мм
	1	80	600	$J_{si} = 0,2 \cdot m_i \cdot l_i^2$	$m_i = g \cdot l_i; m_5 = 3 \cdot m_i; g = 10$ (кг/м)	360	440	125	700	250
	2	85	500			400	460	140	770	275
	3	90	700			425	490	150	820	250
	4	95	750			480	530	170	930	350
	5	100	770			510	560	180	990	350
	7	105	740			570	600	185	1120	400
	8	75	720			510	580	175	1050	350
	9	70	700			500	560	165	1150	300
	10	60	650			490	550	160	1100	250
	11	65	500			470	520	155	1050	400

Схема 2	Вариант	$n_{кр},$ об/ мин	$F_{п.с},$ Н	$J_{si},$ кг·м ²	$m_i,$ кг	$X,$ мм	$Y,$ мм	$l_{O_1A},$ мм	$l_{O_2B},$ мм	$l_{BC},$ мм
	1	40	500	$J_{si} = 0,2 \cdot m_i \cdot l_i^2$	$m_i = g \cdot l_i; m_5 = 3 \cdot m_i; g = 10$ (кг/м)	150	25	80	200	160
	2	45	600			400	60	250	600	500
	3	50	780			180	30	100	250	300
	4	55	800			350	80	220	500	450
	5	60	900			280	40	150	350	300
	7	65	970			350	50	200	500	520
	8	70	980			320	55	180	450	350
	9	75	990			300	50	150	400	320
	10	80	900			200	30	100	250	200
	11	85	950			150	27	90	220	300

Схема 3	Вариант	$n_{кр},$ об/ мин	$F_{п.с},$ Н	$J_{si},$ кг·м ²	$m_i,$ кг	$X,$ мм	$l_{O_1A},$ мм	$l_{AB},$ мм	$l_{AS_2},$ мм
	1	75	1000	$J_{si} = 0,2 \cdot m_i \cdot l_i^2$	$m_i = g \cdot l_i; m_3 = 3 \cdot m_i; g = 10$ (кг/м)	210	180	700	300
	2	80	1200			300	250	900	350
	3	85	1250			150	120	400	150
	4	90	950			180	150	500	200
	5	95	1100			200	170	600	250
	7	100	1150			250	220	800	350
	8	65	1300			230	200	750	300
	9	60	135			270	240	850	320
	10	75	1400			100	80	300	100
	11	70	1500			120	100	350	150

Продолжение таблицы 3.1

Схема 4		Вариант	$n_{кр.}$ об/ мин	$F_{п.с.}$ Н	$J_{si.}$ кг·м ²	m_i кг	X_1 мм	X_2 мм	l_{O1A} мм
		1	80	1000	$J_{si} = 0,2 \cdot m_i \cdot l_i^2$	$m_i = g \cdot l_i; m_3 = 3 \cdot m_i; g = 10 \text{ (кг/м)}$	500	400	200
		2	70	1200			550	420	210
		3	75	1300			500	440	220
		4	90	1400			520	460	230
		5	95	1500			550	480	240
		7	100	1600			600	500	250
		8	110	1500			600	520	260
		9	65	1700			650	540	270
		10	60	1800			650	560	280
		11	85	200			650	540	290

Схема 5		Вариант	$n_{кр.}$ об/ мин	$F_{п.с.}$ Н	$J_{si.}$ кг·м ²	m_i кг	X_1 мм	Y мм	l_{O1A} мм	l_{AB} мм
		1	70	800	$J_{si} = 0,2 \cdot m_i \cdot l_i^2$	$m_i = g \cdot l_i; m_3 = 3 \cdot m_i; g = 10 \text{ (кг/м)}$	250	50	0,4	1,5
		2	75	850			80	20	0,15	0,4
		3	80	900			200	50	0,3	1,0
		4	85	850			150	10	0,3	0,9
		5	90	600			50	20	0,1	0,3
		7	95	700			180	60	0,3	1,1
		8	65	650			100	30	0,15	0,6
		9	70	800			200	120	0,35	1,0
		10	75	700			100	40	0,18	0,6
		11	80	900			120	30	0,2	0,4

Схема 6		Вариант	$n_{кр.}$ об/ мин	$F_{п.с.}$ Н	$J_{si.}$ кг·м ²	m_i кг	X мм	Y мм	l_{O1A} мм	l_{O2B} мм	l_{BC} мм
		1	90	700	$J_{si} = 0,2 \cdot m_i \cdot l_i^2$	$m_i = g \cdot l_i; m_5 = 3 \cdot m_i; g = 10 \text{ (кг/м)}$	400	50	200	560	440
		2	95	800			400	60	220	600	500
		3	100	900			500	70	240	640	650
		4	110	950			550	70	260	760	690
		5	60	850			600	80	280	800	700
		7	65	950			390	40	200	540	400
		8	70	900			480	50	210	620	500
		9	75	800			510	50	240	650	550
		10	80	850			400	40	220	550	450
		11	85	950			420	45	190	530	480

Продолжение таблицы 3.1

Схема 7		Вариант	$n_{кр},$ об/ мин	$F_{п.с.},$ Н	$J_{si},$ кг·м ²	$m_i,$ кг	$X_1,$ мм	$X_2,$ мм	$l_{O1A},$ мм	$l_{O2B},$ мм	$l_{BC},$ мм
	1	65	800	$J_{si} = 0,2 \cdot m_i \cdot l_i^2$	$m_i = g \cdot l_i; m_5 = 3 \cdot m_i; g = 10$ (кг/м)	150	90	50	110	120	
	2	70	850			180	90	60	120	130	
	3	75	880			150	100	60	130	140	
	4	80	900			220	100	70	130	140	
	5	85	980			230	110	70	140	140	
	7	90	970			240	110	80	140	150	
	8	95	900			480	120	80	150	130	
	9	100	990			210	110	90	130	110	
	10	105	970			200	120	70	120	110	
	11	60	950			170	90	60	110	100	

Схема 8		Вариант	$n_{кр},$ об/ мин	$F_{п.с.},$ Н	$J_{si},$ кг·м ²	$m_i,$ кг	$X,$ мм	$Y,$ мм	$l_{O1A},$ мм	$l_{AB},$ мм	$l_{AS2},$ мм
	1	100	1000	$J_{si} = 0,2 \cdot m_i \cdot l_i^2$	$m_i = g \cdot l_i; m_5 = m_3 = 3 \cdot m_1; g = 10$ (кг/м)	700	0	250	$l_{AB} = X + l_{O1A} + 100$	$l_{AS2} = 0,5 \cdot l_{AB}$	
	2	95	800			750	100	250			
	3	90	900			700	150	300			
	4	85	1200			600	100	350			
	5	80	1400			650	150	400			
	7	75	1600			620	120	250			
	8	70	1700			680	100	360			
	9	65	1800			700	150	300			
	10	60	2000			750	160	350			
	11	55	1400			60	0	340			

Схема 9		Вариант	$n_{кр},$ об/ мин	$F_{п.с.},$ кН	$J_{si},$ кг·м ²	$m_i,$ кг	$X_1,$ мм	$X_2,$ мм	$l_{O1A},$ мм	$l_{AC},$ мм	$l_{CD},$ мм	$l_{AS2},$ мм
	1	65	1,2	$J_{si} = 0,2 \cdot m_i \cdot l_i^2$	$m_i = g \cdot l_i; m_5 = m_3 = 3 \cdot m_1; g = 10$ (кг/м)	400	600	200	1000	500	300	
	2	60	1,4			450	680	200	1100	400	400	
	3	75	1,6			500	750	220	1200	600	500	
	4	70	1,7			510	770	230	1300	650	550	
	5	85	1,8			520	740	250	1400	700	600	
	7	80	1,9			540	780	280	1350	500	600	
	8	95	1,8			580	800	290	1450	750	680	
	9	90	2,0			600	850	300	1500	780	700	
	10	105	1,6			450	720	210	1200	500	500	
	11	110	1,5			400	700	200	1300	550	550	

Продолжение таблицы 3.1

Схема 10		Вариант	$n_{кр},$ об/ мин	$F_{п.с},$ кН	$J_{si},$ кг·м ²	$m_i,$ кг	$Y,$ мм	$l_{O1A},$ мм	$l_{O2B},$ мм	$l_{BC},$ мм	$l_{O2S3},$ мм
		1	70	0,8	$J_{si} = 0,2 \cdot m_i \cdot l_i^2$	$m_i = g \cdot l_i; m_5 = 3 \cdot m_i; g = 10 \text{ (кг/м)}$	65	210	335	925	135
		2	75	0,9			50	220	340	950	140
		3	80	1,0			45	235	350	970	150
		4	85	1,1			60	225	320	980	130
		5	90	1,2			55	210	300	900	120
		7	95	1,3			60	260	390	1100	190
		8	100	1,2			45	185	270	920	130
		9	110	1,1			50	200	300	900	120
		10	60	1,0			50	225	325	970	125
		11	65	0,9			50	230	360	950	160

Схема 11		Вариант	$n_{кр},$ об/ мин	$F_{п.с},$ кН	$J_{si},$ кг·м ²	$m_i,$ кг	$X,$ мм	$Y,$ мм	$l_{O1A},$ мм	$l_{O2B},$ мм	$l_{BC},$ мм
		1	60	1,0	$J_{si} = 0,2 \cdot m_i \cdot l_i^2$	$m_i = g \cdot l_i; m_5 = 3 \cdot m_i; g = 10 \text{ (кг/м)}$	150	300	600	$l_{O2B} = l_{O1A}$	$l_{BC} = 2,5 \cdot l_{O1A}$
		2	65	1,1			200	350	700		
		3	70	1,2			200	300	600		
		4	75	1,3			150	400	800		
		5	80	1,4			150	400	800		
		7	90	1,5			150	350	700		
		8	100	1,6			100	300	600		
		9	110	1,7			100	250	500		
		10	115	1,8			100	200	400		
		11	60	2,0			100	250	500		

Схема 12		Вариант	$n_{кр},$ об/ мин	$F_{п.с},$ Н	$J_{si},$ кг·м ²	$m_i,$ кг	$l_{O1O2},$ мм	$l_{O1A},$ мм	$l_{O1B},$ мм	$l_{BC},$ мм	$l_{O2S3},$ мм
		1	75	1,0	$J_{si} = 0,2 \cdot m_i \cdot l_i^2$	$m_i = g \cdot l_i; m_5 = 3 \cdot m_i; g = 10 \text{ (кг/м)}$	300	100	100	450	150
		2	80	1,1			350	120	120	500	200
		3	85	1,2			400	125	125	520	220
		4	90	1,25			450	120	120	540	250
		5	95	1,3			500	135	135	560	300
		7	100	1,35			550	110	110	580	320
		8	60	1,40			600	150	150	600	340
		9	85	1,45			650	160	160	620	360
		10	105	1,5			700	165	165	640	380
		11	70	1,6			750	170	170	660	400

Продолжение таблицы 3.1

Схема 13		Вариант	$n_{кр.}$ об/ мин	$F_{п.с.}$ Н	$J_{si.}$ кг·м ²	m_i кг	Y мм	l_{O1A} мм	l_{BO2} мм	l_{BC} мм
		1	70	300	$J_{si} = 0,2 \cdot m_i \cdot l_i^2$	$m_i = g \cdot l_i; m_5 = 3 \cdot m_1; g = 10$ (кг/м)	50	230	360	950
		2	75	320			50	225	325	970
		3	80	350			50	200	300	900
		4	85	370			45	175	270	920
		5	90	400			60	260	490	1150
		7	95	380			55	210	300	900
		8	100	350			60	225	320	980
		9	105	340			45	235	350	970
		10	110	370			50	220	340	950
		11	65	300			65	210	335	925

Схема 14		Вариант	$n_{кр.}$ об/ мин	$F_{п.с.}$ кН	$J_{si.}$ кг·м ²	m_i кг	X_1 мм	X_2 мм	Y мм	l_{O1A} мм	l_{AB} мм	l_{BO2} мм	l_{O2S3} мм
		1	70	0,4	$J_{si} = 0,2 \cdot m_i \cdot l_i^2$	$m_i = g \cdot l_i; m_5 = 3 \cdot m_1; g = 10$ (кг/м)	200	380	180	80	300	240	100
		2	75	0,42			220	340	220	90	350	300	100
		3	80	0,43			350	380	270	100	400	350	150
		4	85	0,44			360	450	280	120	450	380	180
		5	90	0,46			380	420	290	120	460	400	150
		7	95	0,48			250	370	290	120	440	370	170
		8	100	0,56			200	350	260	90	390	340	140
		9	110	0,52			210	360	270	100	350	350	150
		1	60	0,54			250	400	300	100	400	360	160
		1	65	0,56			280	420	310	110	410	360	160

Схема 15		Вариант	$n_{кр.}$ об/ мин	$F_{п.с.}$ Н	$J_{si.}$ кг·м ²	m_i кг	Y мм	l_{O1A} мм	l_{BO2} мм	l_{BC} мм
		1	70	800	$J_{si} = 0,2 \cdot m_i \cdot l_i^2$	$m_i = g \cdot l_i; m_5 = 3 \cdot m_1; g = 10$ (кг/м)	150	100	90	300
		2	80	850			180	120	100	320
		3	85	900			210	140	75	400
		4	90	1000			220	150	80	350
		5	100	1100			240	160	90	420
		7	110	1200			250	170	85	370
		8	115	1300			270	180	90	360
		9	120	1400			200	130	60	380
		10	60	1500			160	110	50	350
		11	65	1600			170	100	70	320

Продолжение таблицы 3.1

Схема 16		Вариант	$n_{кр.}$ об/ мин	$Fn.c.$ Н	$J_{si.}$ кг·м ²	m_i кг	l_{O1O2} мм	l_{O1A} мм	l_{BO2} мм	l_{BC} мм
		1	65	700	$J_{si} = 0,2 \cdot m_i \cdot l_i^2$	$m_i = g \cdot l_i; m_5 = 3 \cdot m_1; g = 10$ (кг/м)	400	120	200	500
		2	70	800			400	170	200	600
		3	60	750			400	200	220	700
		4	85	850			500	150	250	600
		5	90	900			500	180	250	700
		7	80	950			500	200	250	800
		8	95	1000			600	250	300	700
		9	100	950			600	300	300	700
		10	105	900			600	350	300	800
		11	110	1200			700	400	300	900

Схема 17		Вариант	$n_{кр.}$ об/ мин	$Fn.c.$ кН	$J_{si.}$ кг·м ²	m_i кг	Y_1 мм	Y_2 мм	l_{O1A} мм	l_{BO2} мм	l_{BC} мм	l_{BS4} мм	l_{O2S3} мм
		1	75	0,8	$J_{si} = 0,2 \cdot m_i \cdot l_i^2$	$m_i = g \cdot l_i; m_5 = 3 \cdot m_1; g = 10$ (кг/м)	700	320	250	1100	400	150	400
		2	80	0,9			760	400	300	1250	500	200	500
		3	85	1			780	275	275	1050	450	150	450
		4	90	1,1			800	450	320	1350	550	200	550
		5	95	1,2			850	550	350	1450	600	250	600
		7	60	1,3			900	570	370	1480	650	250	650
		8	65	1,2			900	580	380	1550	700	250	700
		9	70	1,1			850	500	390	1550	700	300	700
		10	75	1			950	600	400	1600	650	300	750
		11	80	0,9			950	650	380	1650	750	300	750

Схема 18		Вариант	$n_{кр.}$ об/ мин	$Fn.c.$ Н	$J_{si.}$ кг·м ²	m_i кг	Y мм	l_{O1A} мм	l_{BO2} мм	l_{BC} мм	l_{BS4} мм	l_{O2S3} мм
		1	70	200	$J_{si} = 0,2 \cdot m_i \cdot l_i^2$	$m_i = g \cdot l_i; m_5 = 3 \cdot m_1; g = 10$ (кг/м)	120	250	500	100	500	200
		2	75	250			125	260	520	820	410	220
		3	80	300			130	270	540	840	420	230
		4	85	350			135	280	560	860	340	240
		5	90	400			140	290	580	880	440	250
		7	75	450			145	300	600	900	450	260
		8	100	400			150	310	620	920	460	270
		9	60	300			155	320	640	940	470	280
		10	65	250			160	330	660	960	480	290
		11	105	200			170	340	680	980	490	300

Продолжение таблицы 3.1

Схема 19		Вариант	$n_{кр},$ об/ мин	$M_{nc},$ Н·м	$J_{si},$ кг·м ²	$m_i,$ кг	$Y,$ мм	$X,$ мм	$l_{O1A},$ мм	$l_{BO2},$ мм	$l_{BC},$ мм
	1	75	0,8	$J_{si} = 0,2 \cdot m_i \cdot l_i^2$	$m_i = g \cdot l_i; m_5 = 3 \cdot m_i; g = 10 \text{ (кг/м)}$	620	660	220	690	1000	
	2	80	0,9			650	680	230	700	1000	
	3	85	0,85			640	680	230	710	1100	
	4	90	0,95			680	700	240	730	1300	
	5	100	1,0			780	800	270	830	1050	
	7	110	1,1			640	660	220	700	1030	
	8	120	1,2			620	660	230	600	1000	
	9	60	1,3			640	680	220	650	1100	
	1	65	1,25			680	700	230	680	1150	
	1	70	1,15			780	800	2400	750	1300	

Схема 20		Вариант	$n_{кр},$ об/ мин	$M_{nc},$ Н·м	$J_{si},$ кг·м ²	$m_i,$ кг	$l_{O1O2},$ мм	$l_{O1O3},$ мм	$l_{O1A},$ мм	$l_{BO2},$ мм	$l_{O2S3},$ мм
	1	75	1,0	$J_{si} = 0,2 \cdot m_i \cdot l_i^2$	$m_i = g \cdot l_i; g = 10 \text{ (кг/м)}$	60	250	140	150	200	
	2	80	1,1			100	300	180	200	250	
	3	85	1,2			100	400	220	250	300	
	4	90	1,2			150	400	250	300	300	
	5	95	1,3			20	100	50	80	80	
	7	100	1,3			40	150	80	100	100	
	8	110	1,4			50	200	100	120	180	
	9	60	1,4			60	250	120	140	220	
	10	65	1,5			70	300	150	180	250	
	11	70	1,6			100	350	200	230	300	

Схема 21		Вариант	$n_{кр},$ об/ мин	$M_{nc},$ Н·м	$J_{si},$ кг·м ²	$m_i,$ кг	$X_1,$ мм	$X_2,$ мм	$Y,$ мм	$l_{O1A},$ мм	$l_{BO2},$ мм	$l_{BC},$ мм
	1	100	600	$J_{si} = 0,2 \cdot m_i \cdot l_i^2$	$m_i = g \cdot l_i; g = 10 \text{ (кг/м)}$	300	подобрать	650	550	$l_{O2B} = 3 \cdot l_{O1A}$	$l_{BC} = 3 \cdot l_{O1A}$	
	2	90	700			250		600	450			
	3	95	800			300		600	500			
	4	85	850			250		550	400			
	5	70	750			200		500	350			
	7	75	800			200		400	300			
	8	60	900			150		300	250			
	9	65	950			150		250	200			
	10	80	800			100		200	150			
	11	70	600			100		150	100			

Продолжение таблицы 3.1

Схема 22		Вариант	$n_{кр.}$ об/мин	$M_{нс.}$ Н·м	$J_{si.}$ кг·м ²	m_i кг	X_1 мм	X_2 мм	l_{O1A} мм	l_{AB} мм	l_{BO2} мм	l_{O3C2} мм
	1	60	0,5	$J_{si} = 0,2 \cdot m_i \cdot l_i^2$	$m_i = g \cdot l_i; g = 10 \text{ (кг/м)}$	380	140	140	320	500	300	
	2	65	0,6			420	140	150	350	400	400	
	3	70	0,7			460	150	160	360	600	500	
	4	80	0,8			510	170	180	380	650	550	
	5	85	0,7			560	190	200	400	700	600	
	7	90	0,6			610	210	210	420	500	600	
	8	100	0,5			670	230	210	440	750	680	
	9	110	0,40			740	250	220	450	780	700	
	10	115	0,45			750	250	210	460	500	500	
	11	120	0,5			270	260	180	450	550	550	

Схема 23		Вариант	$n_{кр.}$ об/мин	$M_{нс.}$ Н·м	$J_{si.}$ кг·м ²	m_i кг	l_{O1O3} мм	l_{O1A} мм	l_{O1C} мм	l_{AB} мм	l_{AS2} мм	l_{O3C2} мм
	1	-	0,4	$J_{si} = 0,2 \cdot m_i \cdot l_i^2$	$m_i = g \cdot l_i; m_3 = 3 \cdot m_1; g = 10 \text{ (кг/м)}$	750	170	170	660	200	400	
	2	65	0,5			700	160	160	640	200	380	
	3	70	0,6			650	150	150	620	300	360	
	4	80	0,7			600	160	160	600	250	340	
	5	85	0,8			550	150	150	580	200	320	
	7	90	0,9			500	140	140	500	180	300	
	8	100	1,0			450	130	130	540	180	250	
	9	110	0,95			400	120	120	520	160	220	
	10	115	0,85			350	120	120	500	160	200	
	11	120	0,75			300	100	100	450	160	150	

Схема 24		Вариант	$n_{кр.}$ об/мин	$M_{нс.}$ Н·м	$J_{si.}$ кг·м ²	m_i кг	X мм	Y мм	l_{O1A} мм	l_{AB} мм	l_{BS4} мм
	1	70	400	$J_{si} = 0,2 \cdot m_i \cdot l_i^2$	$m_i = g \cdot l_i; m_3 = 3 \cdot m_1; g = 10 \text{ (кг/м)}$	200	150	100	300	100	
	2	80	500			300	200	150	450	120	
	3	65	600			400	300	200	600	140	
	4	60	650			500	400	400	250	750	200
	5	70	700			500	450	300	900	220	
	7	75	750			600	500	350	1000	250	
	8	85	80			650	500	400	1100	250	
	9	95	850			700	600	450	1200	300	
	10	100	900			800	700	500	1300	300	
	11	105	950			900	750	550	1400	400	

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. – 638с.
- 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.
- 6 Попов, С. А. Курсовое проектирование по теории механизмов и машин / С. А. Попов – М. : Высшая школа, 1986.