

1. Структурный и кинематический анализ плоского рычажного механизма

1.1. Структурный анализ механизма

Задан плоский рычажный механизм (рисунок 1) со следующими основными размерами: $L_{OA} = 0,17 \text{ м}$, $L_{AB} = 0,42 \text{ м}$, $L_{AC} = 0,2 \text{ м}$, $L_a = 0 \text{ м}$, $L_b = 0,22 \text{ м}$, $L_c = 0,28 \text{ м}$.

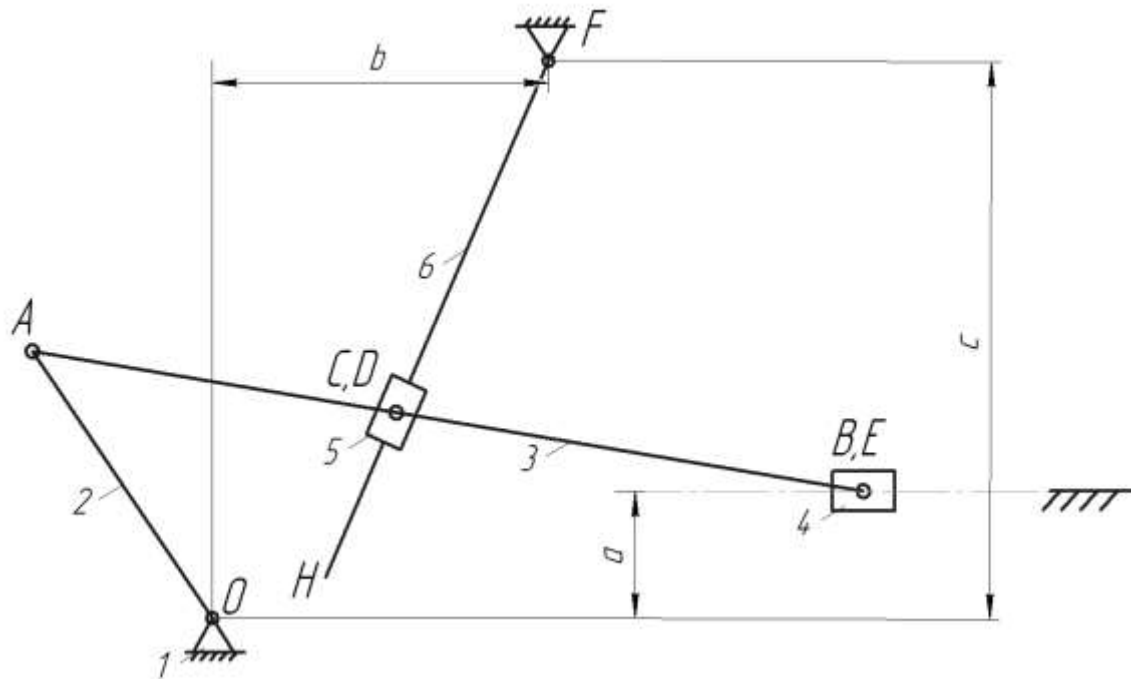
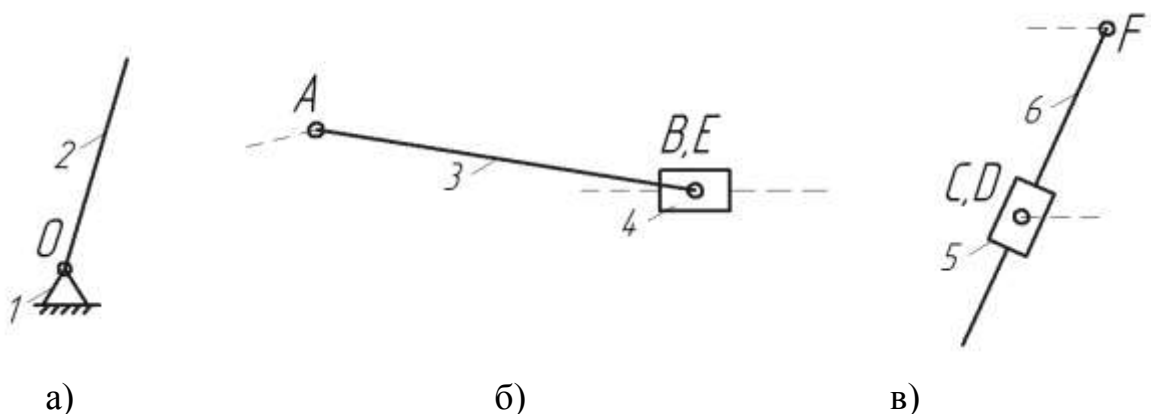


Рисунок 1 – Кинематическая схема механизма.

Выделяем начальный механизм и группы Ассура (рисунок 2).



а) начальный механизм I(1;2); б) группа Ассура II(3;4);

в) группа Ассура II(5;6).

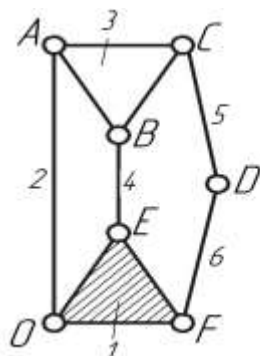
Рисунок 2 – Начальный механизм и группы Ассура.

Составляем формулу строения механизма: $I(1,2) \rightarrow II(3,4) \rightarrow II(5,6)$.

Рассматриваемый механизм 2 класса 2-го порядка.

Структурные схемы механизма приведены на рисунке 3.

Первый тип



второй тип

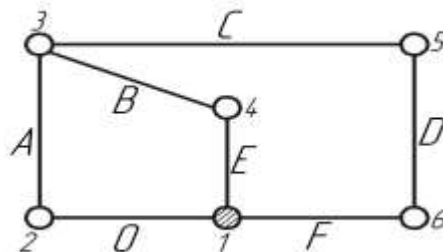


Рисунок 3 – Структурные схемы механизма.

Таблица 1.1 - Таблица звеньев.

№ п/п	№ звена	Наименование звена	Характер движения звена
1	1	Стойка	Неподвижно
2	2	Кривошип	Вращательное
3	3	Шатун	Сложное плоскопараллельное
4	4	Ползун	Поступательное
5	5	Шатун камень-кулисы	Сложное плоскопараллельное
6	6	Коромысло-кулиса	Вращательно-возвратное

Таблица 1.2 - Таблица кинематических пар.

№ п/п	Обозначение	Номера звеньев, обозначающих пару	Наименование	Класс пары
1	O	1-2	Вращательная	✓
2	A	2-3	Вращательная	✓
3	B	3-4	Вращательная	✓
4	E	4-1	поступательная	✓
5	C	3-5	Вращательная	✓
6	D	5-6	поступательная	✓
7	F	6-1	Вращательная	✓

Механизм рычажный, плоский, шестизвенный. Предназначен для преобразования вращательного движения входного звена 2 в поступательное движение выходного звена 4.

Определение числа степеней свободы механизма по формуле Чебышева.

Число подвижных звеньев $K=5$

Число кинематических пар 5 класса $p_5=7$

Число кинематических пар 4 класса $p_4=0$

Число степеней свободы механизма равно: $W = 3k - 2p_5 = 3 \cdot 5 - 2 \cdot 7 = 1$

1.2 Кинематический анализ механизма методом планов

1.2.1 Построение плана положения

В левой части чертежа строятся планы положений механизма для 4 равноотстоящих положений входного звена. За начальное положение принимаем положение кривошипа при угле $\varphi_2 = 30^\circ$.

Определяем масштабный коэффициент плана положений:

$$\mu_L = \frac{L_{OA}}{OA} = \frac{0,17}{85} = 0,002 \frac{м}{мм},$$

где L_{OA} - действительная длина звена OA , м;

OA - изображающий ее отрезок на чертеже, мм.

Определяем на чертеже длины остальных звеньев:

$$AB = \frac{L_{AB}}{\mu_L} = \frac{0,42}{0,002} = 210 \text{ мм}, \quad AC = \frac{L_{AC}}{\mu_L} = \frac{0,2}{0,002} = 100 \text{ мм},$$

$$b = \frac{L_b}{\mu_L} = \frac{0,22}{0,002} = 110 \text{ мм}, \quad c = \frac{L_c}{\mu_L} = \frac{0,28}{0,002} = 140 \text{ мм}.$$

Принимаем длину звена $FH = 200 \text{ мм}$, $L_{FH} = FH \cdot \mu_L = 200 \cdot 0,002 = 0,4 \text{ м}$.

1.2.2. Построение планов скоростей

Выполним подробный расчет для положения 4.

Скорость точки A : $\vec{v}_A = \vec{v}_O + \vec{v}_{AO}$, $\vec{v}_O = 0$, $\vec{v}_{AO} \perp OA$.

$$v_A = \omega_2 \cdot L_{OA} = 12 \cdot 0,17 = 2,04 \text{ м/с}.$$

Определяем масштабный коэффициент планов скоростей:

$$\mu_v = \frac{v_A}{pa} = \frac{2,04}{102} = 0,02 \frac{м \cdot с^{-1}}{мм},$$

где pa - вектор, изображающий скорость точки A .

Строим точку В:
$$\begin{cases} \vec{v}_B = \vec{v}_A + \vec{v}_{BA} \\ \vec{v}_B = \vec{v}_E + \vec{v}_{BE} \end{cases}, \quad \begin{cases} \vec{v}_{BA} \perp AB \\ \vec{v}_E = 0, \vec{v}_{BE} // x - x \end{cases}$$

Через точку (а) на плане скоростей проводим прямую, перпендикулярную звену AB , а через полюс проводим прямую, параллельную оси (х). На пересечении этих прямых получаем искомую точку (b).

Точку В найдем по теореме подобия:

$$\frac{ab}{ac} = \frac{AB}{AC} \Rightarrow ac = \frac{ab \cdot AC}{AB} = \frac{54,5 \cdot 100}{210} = 26 \text{ мм}$$

Строим точку D:
$$\begin{cases} \vec{v}_D = \vec{v}_C + \vec{v}_{DC} \\ \vec{v}_D = \vec{v}_F + \vec{v}_{DF} \end{cases}, \quad \begin{cases} \vec{v}_{DC} // FH \\ \vec{v}_F = 0, \vec{v}_{DF} \perp FH \end{cases}$$

Через точку (с) на плане скоростей проводим прямую, параллельную звену FH , а через полюс проводим прямую, перпендикулярную звену FH . На пересечении этих прямых получаем искомую точку (d).

Точку H найдем по теореме подобия:

$$\frac{fd}{fh} = \frac{FD}{FH} \Rightarrow fh = \frac{fd \cdot FH}{FD} = \frac{100,5 \cdot 200}{180,5} = 111,4 \text{ мм}$$

Находим скорости точек и центров масс:

$$v_B = pb \cdot \mu_v = 107,5 \cdot 0,02 = 2,15 \text{ м/с}$$

$$v_C = pc \cdot \mu_v = 101 \cdot 0,02 = 2,02 \text{ м/с}$$

$$v_D = pd \cdot \mu_v = 100,5 \cdot 0,02 = 2,01 \text{ м/с}$$

$$v_H = ph \cdot \mu_v = 111,5 \cdot 0,02 = 2,23 \text{ м/с}$$

$$v_{S_2} = pS_2 \cdot \mu_v = 51 \cdot 0,02 = 1,02 \text{ м/с}$$

$$v_{S_3} = pS_3 \cdot \mu_v = 101 \cdot 0,02 = 2,02 \text{ м/с}$$

$$v_{S_4} = v_B = 2,15 \text{ м/с}$$

$$v_{S_5} = v_C = 2,02 \text{ м/с}$$

$$v_{S_6} = pS_6 \cdot \mu_v = 56 \cdot 0,02 = 1,12 \text{ м/с}$$

Находим угловые скорости звеньев:

$$\omega_3 = \frac{v_{AB}}{L_{AB}} = \frac{ab \cdot \mu_v}{L_{AB}} = \frac{54,5 \cdot 0,02}{0,42} = 2,6 \text{ рад/с}$$

						Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\omega_5 = \omega_6 = \frac{v_H}{L_{FH}} = \frac{2,23}{0,4} = 5,58 \text{ рад/с}$$

Аналогично строим для остальных положений. Все результаты заносим в таблицы.

Таблица 1.3 – результаты замеров, мм.

№ п/п	pb	pc	pd	ph	pS_2	pS_3	pS_4	pS_5	pS_6	ab
1	69,3	75,5	31,5	47	51	74,5	69,3	75,5	23,5	90
2	69	83,5	55	93,5	51	83	69	83,5	47	54,5
3	32,7	62,7	59	64,5	51	61	32,7	62,7	32	90
4	107,5	101	100,5	111,5	51	101	107,5	101	56	54,5

Таблица 1.4 – результаты скоростей.

№ п/п	v_C	v_B	v_D	v_H	v_{S2}	v_{S3}	v_{S4}	v_{S5}	v_{S6}	ω_3	ω_5, ω_6
	м/с									с ⁻¹	
1	1,386	1,51	0,63	0,94	1,02	1,49	1,386	1,51	0,47	4,29	2,35
2	1,38	1,67	1,1	1,87	1,02	1,66	1,38	1,67	0,94	2,6	4,68
3	0,654	1,254	1,18	1,29	1,02	1,22	0,654	1,254	0,64	4,29	3,23
4	2,15	2,02	2,01	2,23	1,02	2,02	2,15	2,02	1,12	2,6	5,58

1.2.3. Построение плана ускорений

План ускорений выполняем для положения 4.

Ускорение точки А: $\vec{a}_A = \vec{a}_O + \vec{a}_{AO}^n + \vec{a}_{AO}^\tau$, $a_{AO}^\tau = 0$, (т.к. $\omega_2 = const$)

Следовательно $a_A = a_{AO}^n = \omega_2^2 \cdot L_{AO} = 12^2 \cdot 0,17 = 24,5 \text{ м/с}^2$

Определяем масштабный коэффициент плана ускорений:

$$\mu_a = \frac{a_A}{\pi a} = \frac{24,5}{122,5} = 0,2 \frac{\text{м} \cdot \text{с}^{-2}}{\text{мм}}$$

Точку В найдем, решив графически систему уравнений:

$$\begin{cases} \vec{a}_B = \vec{a}_A + \vec{a}_{BA}^n + \vec{a}_{BA}^\tau \\ \vec{a}_B = \vec{a}_E + \vec{a}_{BE}^{омн} \end{cases}$$

$$a_{BA}^n = \omega_3^2 \cdot L_{BA} = 2,6^2 \cdot 0,42 = 2,84 \text{ м/с}^2, \quad a_{BA}^\tau = \frac{a_{BA}^n}{\mu_a} = \frac{2,84}{0,2} = 14,2 \text{ мм}.$$

Точку В найдем по теореме подобия:

$$\frac{ab}{ac} = \frac{AB}{AC} \Rightarrow ac = \frac{ab \cdot AC}{AB} = \frac{109 \cdot 100}{210} = 52 \text{ мм}$$

Точку D найдем, решив графически систему уравнений:

$$\begin{cases} \vec{a}_D = \vec{a}_C + \vec{a}_{DC}^{kop} + \vec{a}_{DC}^{ck} \\ \vec{a}_D = \vec{a}_F + \vec{a}_{DF}^n + \vec{a}_{DF}^r \end{cases}$$

$$a_{DC}^{kop} = 2\omega_5 \cdot v_{DC} = 2 \cdot 5,58 \cdot 0,24 = 2,68 \text{ м/с}^2, \quad c\vec{k}_{DC} = \frac{a_{DC}^{kop}}{\mu_a} = \frac{2,68}{0,2} = 13,4 \text{ мм}$$

$$a_{DF}^n = \omega_6^2 \cdot L_{DF} = 5,58^2 \cdot 0,361 = 11,24 \text{ м/с}^2, \quad f\vec{n}_{DF} = \frac{a_{DF}^n}{\mu_a} = \frac{11,24}{0,2} = 56,2 \text{ мм}$$

Точку H найдем по теореме подобия:

$$\frac{fd}{fh} = \frac{FD}{FH} \Rightarrow fh = \frac{fd \cdot FH}{FD} = \frac{62,5 \cdot 200}{180,5} = 69,3 \text{ мм}$$

Находим ускорения точек и центров масс:

$$a_B = \pi b \cdot \mu_a = 36,5 \cdot 0,2 = 7,3 \text{ м/с}^2$$

$$a_C = \pi c \cdot \mu_a = 74,5 \cdot 0,2 = 14,9 \text{ м/с}^2$$

$$a_D = \pi d \cdot \mu_a = 62,5 \cdot 0,2 = 12,5 \text{ м/с}^2$$

$$a_{S_2} = \pi S_2 \cdot \mu_a = 61,25 \cdot 0,2 = 12,25 \text{ м/с}^2$$

$$a_{S_3} = \pi S_3 \cdot \mu_a = 72 \cdot 0,2 = 14,4 \text{ м/с}^2$$

$$a_{S_4} = a_B = 7,3 \text{ м/с}^2$$

$$a_{S_5} = a_C = 14,9 \text{ м/с}^2$$

$$a_{S_6} = \pi S_6 \cdot \mu_a = 34,5 \cdot 0,2 = 6,9 \text{ м/с}^2$$

Находим угловые ускорения звеньев:

$$\varepsilon_3 = \frac{a_{BA}^r}{L_{BA}} = \frac{(n_{BA}b) \cdot \mu_a}{L_{BA}} = \frac{108 \cdot 0,2}{0,42} = 48,57 \text{ рад/с}^2$$

$$\varepsilon_5 = \varepsilon_6 = \frac{a_{DF}^r}{L_{DF}} = \frac{(n_{DF}d) \cdot \mu_a}{L_{DF}} = \frac{27,5 \cdot 0,2}{0,361} = 15,24 \text{ рад/с}^2$$