

Задача 1. Структура и классификация механизмов.

Для механизма, представленного на рисунке 1.1, необходимо провести структурное исследование и определить класс механизма по классификации Ассура-Артоболевского.

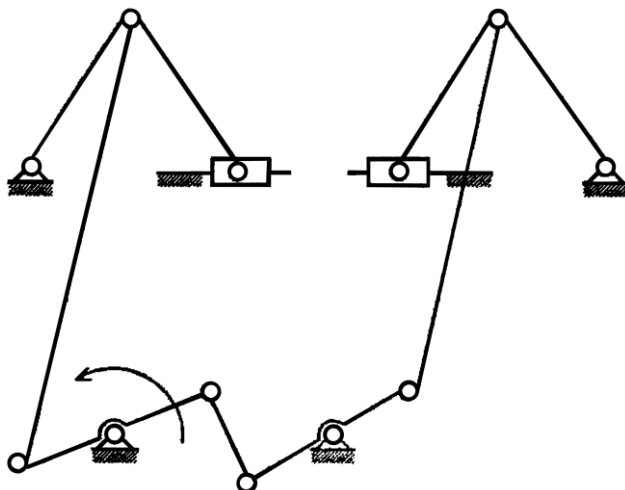


Рисунок 1.1 – Схема механизма

1 Наименование звеньев

Таблица 1.1 - Звенья механизма

Номер звена	Обозначение звена	Название звена	Вид движения звена
0	O, C, H, M	стойка	неподвижная
1	$ОАЕ$	кривошип	вращательное
2	AB	шатун	плоское
3	BC	коромысло	качательное
4	BD	шатун	плоское
5	D	ползун	поступательное
6	EG	шатун	плоское
7	HGF	коромысло	качательное
8	FK	шатун	плоское
9	KM	коромысло	качательное
10	KL	шатун	плоское
11	L	ползун	поступательное

Вывод: Число подвижных звеньев $n = 11$.

Инв. № подл	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата						Лист
										1
					Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дат	

2. Кинематические пары и их модификация.

Таблица 1.2 – Кинематические пары механизма

№ п/п	Обозначение кинематической пары	Звенья составляющие кинематическую пару	Вид относительно движения в паре	Число условных связей (класс)
1	<i>O</i>	0 - 1	вращательное	5 (V кл.)
2	<i>A</i>	1 - 2	вращательное	5 (V кл.)
3	<i>B</i>	2 - 3	поступательное	5 (V кл.)
4	<i>C</i>	0 - 3	вращательное	5 (V кл.)
5	<i>B</i>	1 - 4	вращательное	5 (V кл.)
6	<i>D</i>	4 - 5	вращательное	5 (V кл.)
7	<i>D</i>	3 - 5	поступательное	5 (V кл.)
8	<i>E</i>	1 - 6	вращательное	5 (V кл.)
9	<i>G</i>	6 - 7	вращательное	5 (V кл.)
10	<i>H</i>	0 - 7	вращательное	5 (V кл.)
11	<i>F</i>	7 - 8	вращательное	5 (V кл.)
12	<i>K</i>	8 - 9	вращательное	5 (V кл.)
13	<i>M</i>	9 - 0	вращательное	5 (V кл.)
14	<i>K</i>	9 - 10	вращательное	5 (V кл.)
15	<i>L</i>	10 - 11	вращательное	5 (V кл.)
16	<i>L</i>	0 - 11	поступательное	5 (V кл.)

Вывод: Одноподвижных кинематических пар V кл. $p_5 = 16$, IV кл. $p_4 = 0$.

3. Степень подвижности механизма.

$$W = 3 \cdot n - 2 \cdot p_5 - p_4 = 3 \cdot 11 - 2 \cdot 16 - 0 = 1.$$

где $n = 11$ – число подвижных звеньев;

$p_5 = 16$ – число кинематических пар V класса.


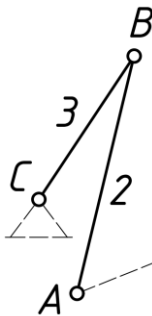
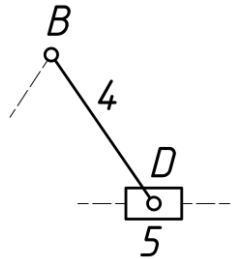
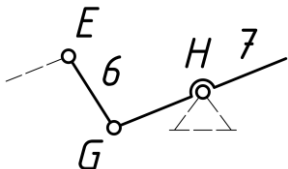
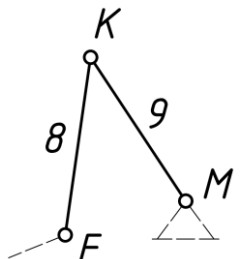
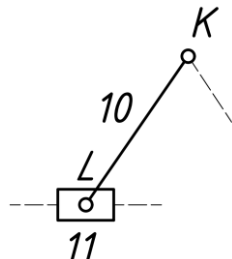
$p_4 = 0$ – число кинематических пар IV класса.

Вывод: так как $W = 1$, механизм имеет одно ведущее звено – 1.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата					
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дат					
					Лист				
					2				

4. Разделение механизма на структурные группы (группы Ассура).

Таблица 1.3. – Структурные группы механизма.

Группа	Эскиз группы	Звенья, составляющие группу	Пары, входящие в группу	Класс, порядок и вид группы
Ведущая (начальный механизм)		0, 1	Вращательная	1 класс
2 группа Ассура		2, 3	Вращательная, вращательная	2 класс 2 порядок 1 вид
3 группа Ассура		4, 5	Вращательная, поступательная	2 класс 2 порядок 2 вид
4 группа Ассура		6, 7	Вращательная, вращательная	2 класс 2 порядок 1 вид
5 группа Ассура		8, 9	Вращательная, вращательная	2 класс 2 порядок 1 вид
6 группа Ассура		10, 11	Вращательная, поступательная	2 класс 2 порядок 2 вид

Вывод: механизм – 2-го класса.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дат	

5. Структурная формула механизма (порядок сборки).

Структурная формула составляется, начиная сведущего звена и присоединением последующих групп Ассура по порядку.

1 кл. (нач. мех. 0-1) → 2 кл. 2 пор. (2,3) → 2 кл. 2 пор. (4,5)

↓

2 кл. 2 пор. (6,7) → 2 кл. 2 пор. (8,9) → 2 кл. 2 пор. (10,11)

Инв. № подл	Подп. и дата				Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дат				Лист
								4

Задача 2. Кинематический анализ рычажных механизмов.

Дана схема механизма.

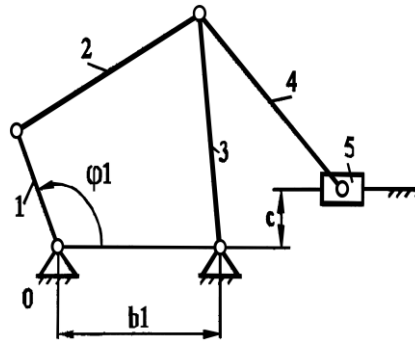


Рисунок 2.1 – Схема механизма

Задание.

Для заданного положения механизма (φ_1) построить планы положений, скоростей и ускорений. Определить положение, скорость и ускорение последнего по номеру звена.

Задачу выполнить:

- графическим методом – методом планов;
- аналитическим методом – погруппным-векторным методом.

Таблица 2.1 – Исходные данные

L_1	L_2	L_3	L_4	b_1	c	φ_1	ω_1
м						град	c^{-1}
0,06	0,15	0,11	0,12	0,12	0,02	90	20

Решение.

1. Метрический синтез.

План положений механизма – это графическое изображение взаимного расположения звеньев механизма за рассматриваемый промежуток времени, выполненное в определенном масштабном коэффициенте.

Построение плана положения начинают с изображения элементов стойки, т.е. шарнирно-неподвижных опор и направляющих. Далее последовательно изображают ведущие звенья в заданных положениях и структурные

Име. № подл	Подп. и дата	Име. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата						Лист
										5
					Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дат	

группы звеньев. Положение подвижных характерных точек определяются с помощью метода засечек.

Для построения кинематической схемы плоского рычажного механизма выберем масштабный коэффициент длин μ_l .

Масштабный коэффициент длин – это отношение какой-либо действительной величины l , взятой в метрах, к длине отрезка l , измеряемого в миллиметрах и изображающего эту величину в составе кинематической схемы.

$$\mu_l = \frac{L_1}{|OA|} = \frac{0,06}{20,0} = 0,003 \text{ м/мм},$$

где l_{OA} – действительная длина кривошипа, м;

$|OA|$ – произвольно выбранная длина кривошипа на чертеже, мм.

Далее переводим длины оставшихся звеньев в мм через масштабный коэффициент длин, используя формулу:

$$|l_i| = \frac{l_i}{\mu_l};$$

где i – обозначение звена, для которого вычисляется длина на кинематической схеме.

Результаты заносим в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Приведённые размеры механизма в мм

$ L_1 $	$ L_2 $	$ L_3 $	$ L_4 $	$ b_1 $	$ c $
20,0	50,0	36,7	40,0	40,0	6,7

По полученным значениям в выбранном масштабном коэффициенте определяем размеры неизвестных звеньев и строим план механизма в масштабе.

2. Определение скоростей точек механизма.

Определим скорость всех обозначенных точек механизма с помощью плана скоростей.

Скорость точки A кривошипа определим по формуле:

$$V_A = \omega_1 \cdot l_{OA} = 20 \cdot 0,06 = 1,2 \text{ м/с}.$$

Выбираем масштаб скоростей:

Инв. № подл	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата					
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дат					
					Лист				
					6				

$$\mu_V = \frac{V_A}{|p_V a|} = \frac{1,2}{80,0} = 0,015 \text{ м/(с} \cdot \text{мм)}.$$

Вектор скорости точки A представляет собой геометрическую сумму вектора скорости точки O и скорости относительного вращательного движения точки A вокруг точки O :

$$\vec{V}_A = \vec{V}_O + \vec{V}_{AO}.$$

Скорость точки \vec{V}_O равна нулю. Скорость \vec{V}_{AO} перпендикулярна звену OA и направлена в сторону вращения этого звена. Откладываем отрезок $|p_V a| = 80,0$ мм.

Скорость точки B :

$$\begin{cases} \vec{V}_B = \vec{V}_A + \vec{V}_{BA} \\ \vec{V}_B = \vec{V}_C + \vec{V}_{BC} \end{cases} \quad (2.1)$$

Скорость \vec{V}_A нам известна, вектор скорости \vec{V}_{BA} направлен перпендикулярно звену AB . Скорость \vec{V}_C равна нулю, вектор скорости \vec{V}_{BC} направлен перпендикулярно звену BC . Поэтому в уравнении (2.1) 2 неизвестных, для которых мы знаем направление. Следовательно, его можно решить графически. Из точки a проведём прямую перпендикулярно звену AB , из полюса p_V проводим прямую перпендикулярно звену BC . Пересечение этих прямых даст точку b .

Скорость точки D :

$$\vec{V}_D = \vec{V}_B + \vec{V}_{DB}. \quad (2.2)$$

Скорость \vec{V}_B нам известна, вектор скорости \vec{V}_{DB} направлен перпендикулярно звену BD , а вектор скорости \vec{V}_D направлен параллельно траектории движения ползуна D . Поэтому в уравнении (2.2) 2 неизвестных, для которых мы знаем направление. Следовательно, его можно решить графически. Из точки b проведём прямую перпендикулярно звену BD , из полюса p_V проводим прямую параллельно траектории движения ползуна D . Пересечение этих прямых даст точку d .

Результаты измерений и расчётов заносим в таблицу 3.

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Подп. и дата				Лист
Инв. № дубл.				Изм.	Лист	№ докум.	7
				Подп.	Дат		

Таблица 3 – Результаты расчётов скоростей

Обозначение скорости	Обозначение скорости на чертеже	Величина вектора скорости на чертеже, мм	Величина скорости, м/с	Обозначение скорости	Обозначение скорости на чертеже	Величина вектора скорости на чертеже, мм	Величина скорости, м/с
V_A	$p_V a$	80,0	1,20	V_{DB}	bd	26,0	0,39
V_{BA}	ab	18,7	0,28	V_D	$p_V d$	104,9	1,57
V_B	$p_V b$	87,8	1,32	-	-	-	-

Зная линейные скорости определим угловые:

$$\omega_2 = \frac{V_{BA}}{L_2} = \frac{0,28}{0,15} = 1,87 \text{ c}^{-1}.$$

$$\omega_3 = \frac{V_B}{L_2} = \frac{1,32}{0,11} = 11,97 \text{ c}^{-1}.$$

$$\omega_4 = \frac{V_{DB}}{L_A} = \frac{0,39}{0,12} = 3,25 \text{ c}^{-1}.$$

3. Определение ускорений точек.

Порядок построения плана ускорений аналогичен плану скоростей. То есть, построив план ускорений ведущего звена, строим последовательно план ускорений для всех структурных групп Ассура, входящих в состав механизма.

Ускорение точки A кривошипа определяем по формуле:

$$a_A = a_A^n = (\omega_1)^2 \cdot l_{OA} = (20)^2 \cdot 0,06 = 24,0 \text{ м/с}^2.$$

Выбираем масштаб ускорений:

$$\mu_a = \frac{a_A}{p_a a} = \frac{24,0}{100,0} = 0,24 \text{ м/(с}^2 \cdot \text{мм)}.$$

Вектор ускорения точки A представляет собой геометрическую сумму вектора ускорения точки O и скорости относительного вращательного движения точки A вокруг точки O :

$$\vec{a}_A = \vec{a}_O + \vec{a}_{AO} = \vec{a}_O + \vec{a}_{AO}^n + \vec{a}_{AO}^\tau = \vec{a}_{AO}^n + \vec{a}_{AO}^\tau.$$

Ускорения \vec{a}_O (стойка неподвижна) \vec{a}_{AO}^r ($\omega_1 = const$) равны нулю. Ускорение \vec{a}_{AO}^n параллельно звену OA и направлено к центру вращения этого звена. Откладываем отрезок $p_a a = 100,0$ мм.

Ускорение точки B :

Подп. и дата		<p>ускорений для всех структурных групп Ассура, входящих в состав механизма.</p> <p>Ускорение точки A кривошипа определяем по формуле:</p> $a_A = a_A^n = (\omega_1)^2 \cdot l_{OA} = (20)^2 \cdot 0,06 = 24,0 \text{ м/с}^2.$ <p>Выбираем масштаб ускорений:</p> $\mu_a = \frac{a_A}{p_a a} = \frac{24,0}{100,0} = 0,24 \text{ м/(с}^2 \cdot \text{мм)}.$ <p>Вектор ускорения точки A представляет собой геометрическую сумму вектора ускорения точки O и скорости относительного вращательного движения точки A вокруг точки O:</p> $\vec{a}_A = \vec{a}_O + \vec{a}_{AO} = \vec{a}_O + \vec{a}_{AO}^n + \vec{a}_{AO}^r = \vec{a}_{AO}^n + \vec{a}_{AO}^r.$ <p>Ускорения \vec{a}_O (стойка неподвижна) \vec{a}_{AO}^r ($\omega_1 = const$) равны нулю. Ускорение \vec{a}_{AO}^n параллельно звену OA и направлено к центру вращения этого звена.</p> <p>Откладываем отрезок $p_a a = 100,0 \text{ мм}$.</p> <p>Ускорение точки B:</p>
Взам. инв. №		
Инв. № дубл.		
Подп. и дата		
Инв. № подл		

Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дат		Лист
						8

$$\begin{cases} \vec{a}_B = \vec{a}_A + \vec{a}_{BA} = \vec{a}_B + \vec{a}_{BA}^n + \vec{a}_{BA}^\tau \\ \vec{a}_B = \vec{a}_C + \vec{a}_{BC} = \vec{a}_B + \vec{a}_{BC}^n + \vec{a}_{BC}^\tau \end{cases} \quad (2.3)$$

$$a_{BA}^n = L_2 \cdot (\omega_2)^2 = 0,15 \cdot (1,87)^2 = 0,52 \text{ м/с}^2 \text{ (в масштабе – 2,2 мм);}$$

$$a_{BC}^n = L_3 \cdot (\omega_3)^2 = 0,11 \cdot (11,97)^2 = 15,77 \text{ м/с}^2 \text{ (в масштабе – 65,7 мм).}$$

Ускорение \vec{a}_A нам известно, вектор ускорения \vec{a}_{BA}^n направлен параллельно звену AB от точки B к точке A , ускорение \vec{a}_{BA}^τ перпендикулярно этому же звену. Ускорение \vec{a}_C равно нулю, вектор ускорения \vec{a}_{BC}^n направлен параллельно звену BC от точки B к точке C , ускорение \vec{a}_{BC}^τ перпендикулярно этому же звену. Поэтому в уравнении (2.3) 2 неизвестных с известными направлениями. Решаем уравнение графически. Из точки a откладываем отрезок an_2 , изображающий на плане ускорение \vec{a}_{BA}^n , а из его конца проводим прямую перпендикулярно звену AB . Из полюса p_a проводим отрезок p_an_3 , изображающий на плане ускорение \vec{a}_{BC}^n , а из его конца проводим прямую перпендикулярно звену BC . Точка пересечения этих прямых даст нам точку b .

Ускорение точки D :

$$\vec{a}_D = \vec{a}_B + \vec{a}_{DB} = \vec{a}_B + \vec{a}_{DB}^n + \vec{a}_{DB}^\tau \quad (2.4)$$

$$a_{DB}^n = L_4 \cdot (\omega_4)^2 = 0,12 \cdot (3,25)^2 = 1,27 \text{ м/с}^2 \text{ (в масштабе – 5,3 мм).}$$

Ускорение \vec{a}_B нам известно, вектор ускорения \vec{a}_{DB}^n направлен параллельно звену BD от точки D к точке B , ускорение \vec{a}_{DB}^τ перпендикулярно этому же звену. Вектор ускорения \vec{a}_D направлен параллельно траектории движения ползуна D . Поэтому в уравнении (2.4) 2 неизвестных с известными направлениями. Решаем уравнение графически. Из точки b откладываем отрезок bn_4 , изображающий на плане ускорение \vec{a}_{DB}^n , а из его конца проводим прямую перпендикулярно звену BD . Из полюса p_a проводим прямую параллельно траектории движения ползуна D . Точка пересечения этих прямых даст нам точку d .

Результаты расчётов заносим в таблицу 4.

Зная линейные ускорения определим угловые:

$$\varepsilon_2 = \frac{a_{BA}^\tau}{L_2} = \frac{9,24}{0,15} = 61,60 \text{ с}^{-2}.$$

$$\varepsilon_3 = \frac{a_{BC}^\tau}{L_3} = \frac{0,24}{0,11} = 2,18 \text{ с}^{-2}.$$

Инв. № подл.	Подп. и дата				Лист
	Взам. инв. №				
	Инв. № дубл.				
	Подп. и дата				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дат	9

$a_D = a_B + a_{DB} = a_B + a_{DB} + a_{DB}.$ (2.4)

$a_{DB}^n = L_4 \cdot (\omega_4)^2 = 0,12 \cdot (3,25)^2 = 1,27 \text{ м/с}^2$ (в масштабе – 5,3 мм).

Ускорение \vec{a}_B нам известно, вектор ускорения \vec{a}_{DB}^n направлен параллельно звену BD от точки D к точке B , ускорение \vec{a}_{DB}^τ перпендикулярно этому же звену. Вектор ускорения \vec{a}_D направлен параллельно траектории движения ползуна D . Поэтому в уравнении (2.4) 2 неизвестных с известными направлениями. Решаем уравнение графически. Из точки b откладываем отрезок bn_4 , изображающий на плане ускорение \vec{a}_{DB}^n , а из его конца проводим прямую перпендикулярно звену BD . Из полюса p_a проводим прямую параллельно траектории движения ползуна D . Точка пересечения этих прямых даст нам точку d .

Результаты расчётов заносим в таблицу 4.

Зная линейные ускорения определим угловые:

$$\varepsilon_2 = \frac{a_{BA}^\tau}{L_2} = \frac{9,24}{0,15} = 61,60 \text{ с}^{-2}.$$
$$\varepsilon_3 = \frac{a_{BC}^\tau}{L_3} = \frac{0,24}{0,11} = 2,18 \text{ с}^{-2}.$$

$$\varepsilon_4 = \frac{a_{DB}^T}{L_4} = \frac{21,24}{0,12} = 177,00 \text{ с}^{-2}.$$

Таблица 4 – Результаты измерений и расчётов ускорений

Обозначение ускорения	Обозначение ускорения на чертеже	Величина вектора ускорения на чертеже, мм	Величина ускорения, м/с ²	Обозначение ускорения	Обозначение ускорения на чертеже	Величина вектора ускорения на чертеже, мм	Величина ускорения, м/с ²
a_A	$p_a a$	100,0	24,00	a_B	$p_a b$	65,8	15,79
a_{BA}^n	$a n_2$	2,2	0,52	a_{DB}^n	$b n_4$	5,3	1,27
a_{BA}^T	$n_2 b$	38,5	9,24	a_{DB}^T	$n_4 d$	88,5	21,24
a_{BA}	ab	38,5	9,24	a_{DB}	bd	88,6	21,26
a_{BC}^n	$p_a n_3$	65,7	15,77	a_D	$p_a d$	46,8	11,23
a_{BC}^T	$n_3 b$	1,0	0,24	-	-	-	-

4. Аналитический метод.

Положение точки A:

$$a_x(\varphi) = L_1 \cdot \cos(\varphi);$$

$$a_y(\varphi) = L_1 \cdot \sin(\varphi).$$

Расстояние между точками A и C:

$$L_{AC}(\varphi) = \sqrt{(b_1 - a_x(\varphi))^2 + (a_y(\varphi))^2}.$$

Угол $\alpha(\varphi)$:

$$\alpha(\varphi) = \arccos \left(\frac{(L_{AC}(\varphi))^2 + (b_1)^2 - (L_1)^2}{2 \cdot L_{AC}(\varphi) \cdot b_1} \right).$$

Угол $\beta(\varphi)$:

$$\beta(\varphi) = \arccos \left(\frac{(L_{AC}(\varphi))^2 + (L_3)^2 - (L_2)^2}{2 \cdot L_{AC}(\varphi) \cdot L_3} \right).$$

Угол $\varphi_3(\varphi)$:

$$\varphi_3(\varphi) = 180^\circ - \alpha(\varphi) - \beta(\varphi).$$

Име. № подл	Подп. и дата	Име. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата					
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дат					
					Лист				
					10				

Положение точки B :

$$b_x(\varphi) = b_1 + L_3 \cdot \cos(\varphi_3(\varphi));$$

$$b_y(\varphi) = L_3 \cdot \sin(\varphi_3(\varphi)).$$

Положение звена 5:

$$d_x(\varphi) = b_x(\varphi) + \sqrt{(L_4)^2 - (b_y(\varphi) - c)^2}.$$

Диаграмма положения звена 5 представлена на рисунке 2.2.

Скорость звена 5:

$$V_D(\varphi) = \frac{d_x(\varphi)}{d\varphi} \cdot \omega_1.$$

Диаграмма скорости звена 5 представлена на рисунке 2.3.

Ускорение звена 5:

$$a_D(\varphi) = \frac{V_D(\varphi)}{d\varphi} \cdot \omega_1.$$

Диаграмма ускорения звена 5 представлена на рисунке 2.4.

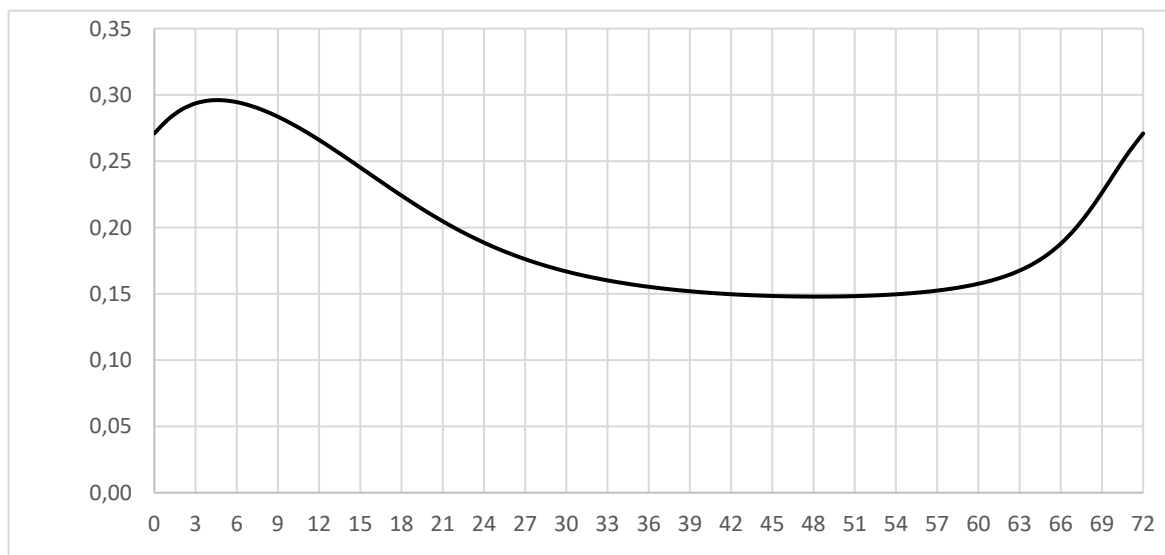


Рисунок 2.2 – Диаграмма перемещений звена 5

Инв. № подл	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата					
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дат					
					Лист 11				

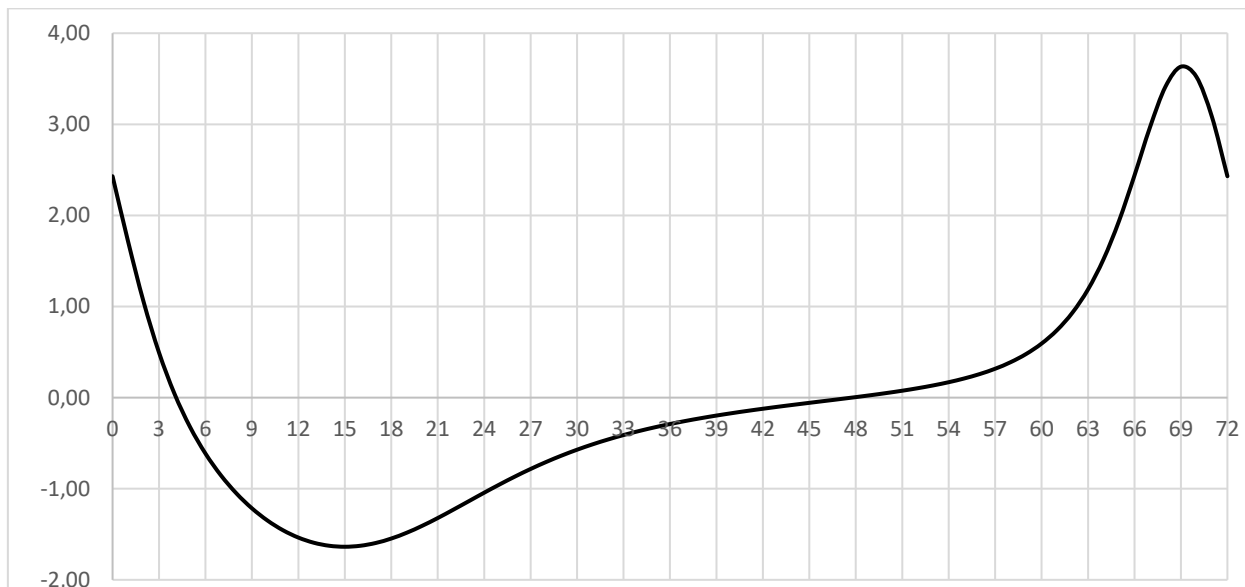


Рисунок 3 – Диаграмма скорости звена 5

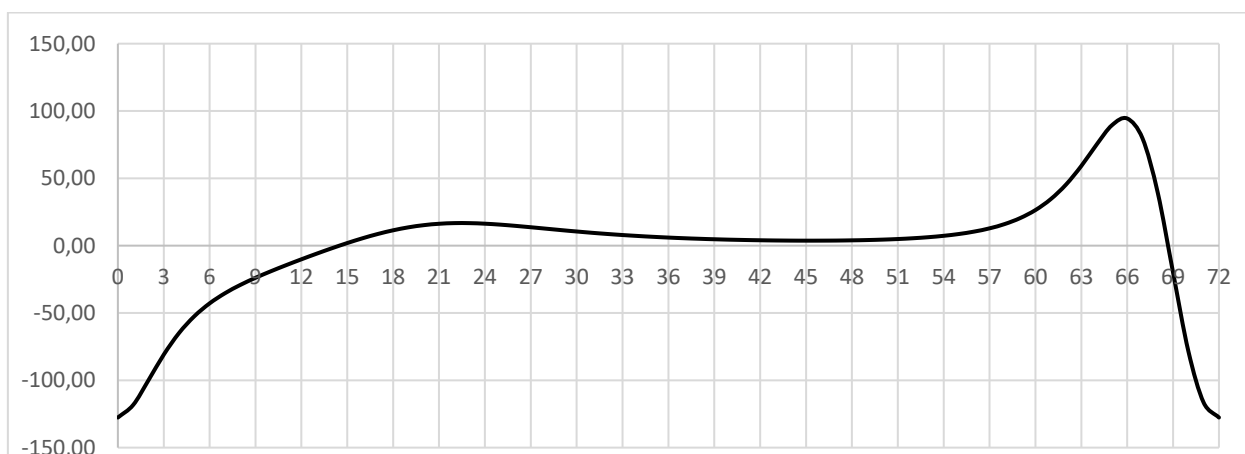


Рисунок 4 – Диаграмма ускорения звена 5

Сравним полученные данные двумя способами. Результаты сравнения приведены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Сравнение результатов

Параметр	Метод планов	Аналитический способ	Погрешность ε , %
Положение	74,70	74,69	0,01
Скорость	1,57	-1,55	1,69
Ускорение	11,23	11,40	1,53

Инв. № подл	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата						Лист
										12
					Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дат	

Задача 3. Кинематический анализ передач.

Дана схема механизма.

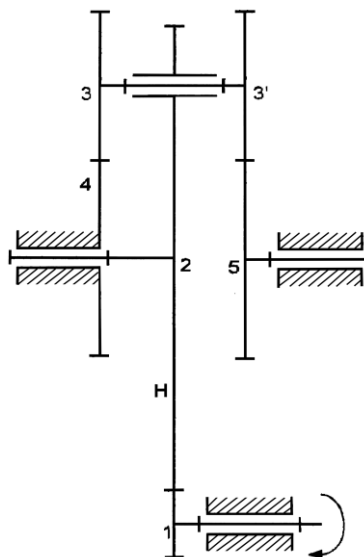


Рисунок 1 – Исходные данные

Задание.

Для заданной схемы редуктора подсчитать его передаточное отношение и вычислить угловые скорости всех звеньев.

Таблица 1 – Исходные данные

n_1	z_1	z_2	z_3	$z_{3'}$	z_4	z_5
об/мин	-					
400	20	80	45	45	59	60

Решение.

1. Структурный анализ.

Число подвижных звеньев $n = 4$.

Число кинематических пар V класса $p_5 = 4$.

Число кинематических пар IV класса $p_4 = 3$.

Степень подвижности механизма:

$$W = 3 \cdot n - 2 \cdot p_5 - p_4 = 3 \cdot 4 - 2 \cdot 4 - 3 = 12 - 8 - 3 = 1.$$

2. Передаточное отношение механизма.

Передаточное отношение находится как произведение передаточных отношений составных частей:

Инв. № подл	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата					
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дат					
					Лист				
					13				

$$u_{15} = u_{1H} \cdot u_{H5}^{(4)}.$$

Первая ступень - простая передача с внешним зацеплением:

$$u_{12} = -\frac{z_2}{z_1} = -\frac{80}{20} = -4.$$

Вторая ступень - двухрядная планетарная передача с двумя внешними зацеплениями.

Передаточное отношение от колеса 5 к колесу 4 при остановленном во-
диле:

$$u_{54}^{(H)} = -\frac{z_{3'}}{z_5} \cdot \left(-\frac{z_4}{z_3}\right) = \frac{z_{3'} \cdot z_4}{z_5 \cdot z_3};$$

$$u_{54}^{(H)} = \frac{\omega_5 - \omega_H}{\omega_4 - \omega_H} = \frac{\omega_5 - \omega_H}{-\omega_H} = 1 - \frac{\omega_5}{\omega_H}.$$

Откуда находим:

$$u_{\text{H5}}^{(4)} = \frac{\omega_{\text{H}}}{\omega_5} = \frac{1}{1-u_{54}^{(\text{H})}} = \frac{1}{1-\frac{z_3'z_4}{z_5'z_3}} = \frac{1}{1-\frac{45.59}{60.45}} = 60.$$

Общее передаточное число:

$$u_{15} = u_{1H} \cdot u_{H5}^{(4)} = (-4) \cdot 60 = -240.$$

3. Кинематический анализ.

Найдём угловые скорости и частоты вращения звеньев.

3.1. Первая ступень.

Колесо 1:

$$\omega_1 = \frac{n_1 \cdot \pi}{30} = \frac{400 \cdot 3,14}{30} = 41,89 \text{ рад/с.}$$

Колесо 2 (водило Н):

$$\omega_2 = \omega_H = \frac{\omega_1}{u_{12}} = \frac{41,89}{-4} = -10,47 \text{ рад/с};$$

$$n_2 = n_H = \frac{n_1}{u_{12}} = \frac{400}{-4} = -100 \text{ об/мин.}$$

Знак “-” показывает, что колесо 2 вращается противоположно колесу 1.

3.2. Вторая ступень.

Колесо 4: $\omega_4 = 0, n_4 = 0$.

Колесо 5:

$$\omega_5 = \frac{\omega_H}{u_{H5}^{(4)}} = \frac{-10,47}{60} = -0,17 \text{ рад/с};$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дат	

3. Кинематический анализ.

Найдём угловые скорости и частоты вращения звеньев.

3.1. Первая ступень.

Колесо 1:

$$\omega_1 = \frac{n_1 \cdot \pi}{30} = \frac{400 \cdot 3,14}{30} = 41,89 \text{ рад/с.}$$

Колесо 2 (водило Н):

$$\omega_2 = \omega_H = \frac{\omega_1}{u_{12}} = \frac{41,89}{-4} = -10,47 \text{ рад/с;}$$

$$n_2 = n_H = \frac{n_1}{u_{12}} = \frac{400}{-4} = -100 \text{ об/мин.}$$

Знак “-” показывает, что колесо 2 вращается противоположно колесу 1.

3.2. Вторая ступень.

Колесо 4: $\omega_4 = 0, n_4 = 0$.

Колесо 5:

$$\omega_5 = \frac{\omega_H}{u_{H5}^{(4)}} = \frac{-10,47}{60} = -0,17 \text{ рад/с;}$$

$$n_5 = \frac{n_H}{u_{H5}^{(4)}} = \frac{-100}{60} = -1,67 \text{ об/мин.}$$

Скорости колёс 3 и 3'.

Передаточное отношение от колеса 3 к колесу 4 при остановленном во-
дилье:

$$u_{34}^{(H)} = -\frac{z_4}{z_3};$$

$$u_{34}^{(H)} = \frac{n_3 - n_H}{n_4 - n_H} = \frac{n_3 - n_H}{-n_H} = 1 - \frac{n_3}{n_H}.$$

Откуда находим:

$$n_3 = n_{3'} = n_H \cdot \left(1 - u_{34}^{(H)}\right) = n_H \cdot \left(1 + \frac{z_4}{z_3}\right) = -100 \cdot \left(1 + \frac{59}{45}\right) =$$

$$= -231,11 \text{ об/мин;}$$

$$\omega_{3'} = \omega_3 = \frac{n_3 \cdot \pi}{30} = \frac{-231,11 \cdot 3,14}{30} = -24,20 \text{ рад/с.}$$

Инв. № подл	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата					
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дат					
					Лист				
					15				

Задача 4. Определение закона движения звена приведения машинного агрегата.

Дано.

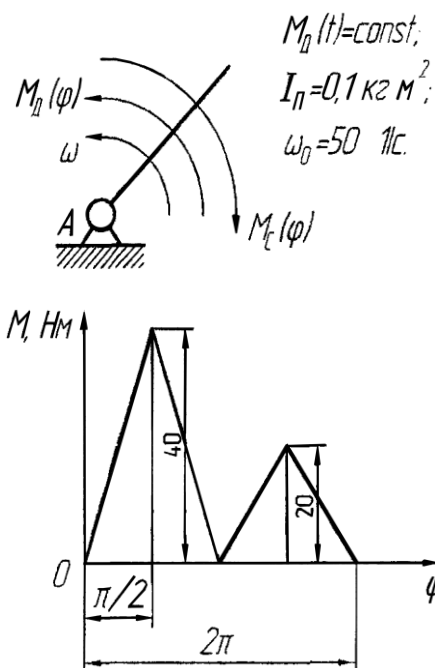


Рисунок 2 – Исходные данные

Задание.

Провести анализ одного цикла установившегося движения. Построить графики приведённого момента сил сопротивления, приведённого момента движущих сил, кинетической энергии угловой скорости и углового ускорения. Рассчитать коэффициент неравномерности движения δ . Принять допустимое значение коэффициента неравномерности $[\delta]$ равным $0,8\delta$.

Решение.

1. Моменты движущих сил и сил сопротивления.

Построим заданную диаграмму моментов сил сопротивления. Масштабы диаграммы примем: $\mu_M = 1,6 \text{ (Н} \cdot \text{м)/мм}$; $\mu_\varphi = \pi/30 \text{ рад/мм}$.

Работы сил сопротивления и движущих сил должны быть равны:

$$A_d = A_c. \quad (1)$$

Ине. № подл.	Подп. и дата	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дат	Лист
Ине. № дубл.	Взам. инв. №						16

Работу сил сопротивления можно найти по графику моментов сил сопротивления, вычислив площадь фигуры, ограниченной осями диаграммы и самой линией графика:

$$A_c = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot M_{c \max} + \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot \frac{M_{c \max}}{2} = \frac{3}{4} \cdot \pi \cdot M_{c \max}. \quad (2)$$

Момент движущих сил неизменен, поэтому работу движущих сил можно найти:

$$A_d = 2 \cdot \pi \cdot M_d. \quad (3)$$

Подставим (2) и (3) в (1) и вычислим величину момента движущих сил:

$$2\pi \cdot M_d = \frac{3}{4} \cdot \pi \cdot M_{c \max};$$

$$M_d = \frac{3}{8} \cdot M_{c \max} = \frac{3}{8} \cdot 40 = 15 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

2. Кинетическая энергия.

Начальная кинетическая энергия:

$$T_0 = \frac{J_{\pi} \cdot (\omega_0)^2}{2} = \frac{0,1 \cdot (50)^2}{2} = 125,0 \text{ Дж}.$$

Кинетическая энергия в произвольном положении:

$$T_j = T_{j-1} + \mu_M \cdot \mu_{\varphi} \cdot F_{j-1}, \quad (4)$$

где j – номер положения ($j = 1..8$);

μ_M, μ_{φ} – масштабы диаграммы момента сил сопротивления;

F_{j-1} – площадь заштрихованной фигуры на рассматриваемом участке.

Результаты расчётов по формуле (4) занесём в таблицу 2. По результатам расчётов строим диаграмму изменения кинетической энергии. Масштаб диаграммы примем: $\mu_T = 5,0 \text{ Дж/мм}$.

3. Угловая скорость.

Угловую скорость в произвольном положении найдём по формуле:

$$\omega_j = \sqrt{\frac{2 \cdot T_j}{J_{\pi}}}. \quad (5)$$

Име. № подл	Подп. и дата	Име. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата						Лист
					Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дат	17

Результаты расчётов по формуле (5) занесём в таблицу 2. По результатам расчётов строим диаграмму изменения угловой скорости. Масштаб диаграммы примем: $\mu_{\omega} = 2,0 \text{ рад}/(\text{с}^{-1} \cdot \text{мм})$.

4. Угловое ускорение.

Угловую скорость в произвольном положении найдём по формуле:

$$\varepsilon_j = \frac{M_{dj} - M_{cj}}{J_{\pi}}. \quad (6)$$

Результаты расчётов по формуле (6) занесём в таблицу 2. По результатам расчётов строим диаграмму изменения углового ускорения. Масштаб диаграммы примем: $\mu_{\varepsilon} = 7,5 \text{ рад}/(\text{с}^{-2} \cdot \text{мм})$.

Таблица 2

№ п/п	$T, \text{Н} \cdot \text{м}$	$\omega, \text{с}^{-1}$	$\varepsilon, \text{с}^{-2}$
0	125,00	50,00	150,00
1	126,96	50,39	-50,00
2	121,07	49,21	-250,00
3	115,18	48,00	-50,00
4	117,14	48,40	150,00
5	121,07	49,21	50,00
6	121,07	49,21	-50,00
7	121,07	49,21	50,00
8	125,00	50,00	150,00

5. Коэффициент неравномерности движения.

Коэффициент неравномерности движения вычислим по формуле:

$$\omega_{\text{ср}} = \frac{\omega_{\text{max}} + \omega_{\text{min}}}{2} = \frac{50,39 + 48,00}{2} = 49,19 \text{ с}^{-1};$$

$$\delta = \frac{\omega_{\text{max}} - \omega_{\text{min}}}{\omega_{\text{ср}}} = \frac{50,39 - 48,00}{49,19} = 0,049.$$

6. Избыточная работа.

Избыточная работа на участке изменения угловых скоростей от ω_{max} до ω_{min} :

$$A_{\text{изб}} = T_1 - T_3 = 126,96 - 115,18 = 11,78 \text{ Дж}.$$

7. Допустимое значение коэффициента неравномерности движения:

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата					
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дат					
					Лист				
					18				

$$[\delta] = 0,8 \cdot \delta = 0,8 \cdot 0,049 = 0,039.$$

8. Момент инерции маховика:

$$J_{\text{м}} = \frac{A_{\text{изб}}}{(\omega_{\text{ср}})^2 \cdot [\delta]} = \frac{11,78}{(49,19)^2 \cdot 0,039} = 0,125 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Инв. № подл	Подп. и дата				Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дат				Лист
								19