

Казанский государственный аграрный университет

Кафедра ОИД

Пояснительная записка к курсовому проекту
по ТММ

Выполнил: студент группы

Проверил: старший преподаватель Гургенидзе З.Д.

Казань 2018

Содержание	Стр.
1. Шарнирно-рычажный механизм.	
1.1 Исходные данные.	4
1.2 Построение планов скоростей и ускорений	4
1.3 Определение радиуса кривизны траектории точки	8
1.4 Построение графиков скорости и ускорения	8
1.5 Определение сил в кинематических парах и внешнего момента, приложенного к кривошипу	9
1.6 Определение внешнего момента, приложенного к кривошипу, с помощью рычага Н.Е. Жуковского	10
2. Кулачковый механизм.	
2.1 Исходные данные	12
2.2 Построение графиков ускорения, скорости и перемещения толкателя	12
2.3 Определение недостающих параметров механизма	13
3. Механизм с зубчатыми колесами	
3.1 Исходные данные	16
3.2 Определение наименьших чисел зубьев колес.	16
3.3 Построение профилей зубьев	17
3.4 Определим число сателлитов	17
Список использованной	18

ВВЕДЕНИЕ

Цель курсового проектирования - овладение студентами методикой и навыками самостоятельного решения конкретных инженерных задач, связанных с исследованием и проектированием механизмов, на основе приобретенных знаний при изучении теоретического курса. Курсовое проектирование способствует закреплению, углублению и обобщению знаний полученных студентами за время обучения, развивает самостоятельность и творческую инициативу и прививает навыки научно исследовательской работы.

1. ШАРНИРНО-РЫЧАЖНЫЙ МЕХАНИЗМ

1.1 Задание на проектирование

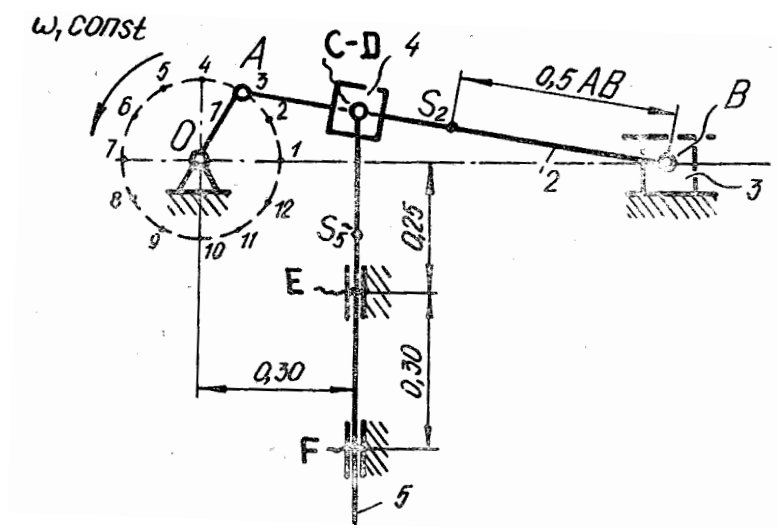


Рисунок 1.1 – Схема механизма

1.1 Исходные данные

№ звена	1	2	3	4	5
Название	Кривошип	Шатун	Балансир	Кулиса	Ползун
Масса, кг	-	$m_2=30$	$m_3=8$	$m_4=5$	35
Момент инерции $кг \cdot м^2$	-	$J_2=2,5$	-	-	-

$$k_L = 0.005 м / мм;$$

$$\beta = 50^\circ;$$

$$V_B^{CP} = 3.35 м / с;$$

$$\lambda = 5.0;$$

$$\omega_1 = 35 \text{ рад} / с;$$

положения механизма: 10, 12.

1.2. Синтез механизма.

$$\lambda = \frac{l_2}{l_1};$$

где l_1 - радиус кривошипа;
 l_2 - длина шатуна.

$$V_B^{CP} = \frac{S}{T_{II}}, \quad (1)$$

где T_{II} – время полуоборота.

$$S = 2 \cdot l_1; \quad (2)$$

$$T_{II} = \frac{T}{2} = \frac{2 \cdot \pi}{2 \cdot \omega_1} = \frac{\pi}{\omega_1}. \quad (3)$$

Подставим выражение (2) и (3) в формулу (1) и получим:

$$V_B^{CP} = \frac{2 \cdot l_1 \cdot \omega_1}{\pi}.$$

Откуда:

$$l_1 = \frac{V_B^{CP} \cdot \pi}{2 \cdot \omega_1} = 1.57 \cdot \frac{V_B^{CP}}{\omega_1} = 1.57 \cdot \frac{3.35}{35} = 0.15 \text{ м.}$$

$$l_2 = l_1 \cdot \lambda = 0.15 \cdot 5 = 0.75 \text{ м.}$$

1.3. Кинематический анализ.

Построение планов скоростей точек и звеньев.

Для положения 12.

$$V_A = \omega_1 \cdot l_{OA} = 35 \cdot 0.15 = 5.25 \text{ м/с};$$

$$k_V = \frac{V_A}{oa} = \frac{5.25}{70} = 0.075 \text{ м/с} \cdot \text{мм.}$$

$$\overline{V_B} = \overline{V_A} + \overline{V_{BA}};$$

$$//mn \perp OA \perp BA$$

$$V_{BA} = k_V \cdot ab = 0.075 \cdot 60.9 = 4.57 \text{ м/с};$$

$$V_B = k_V \cdot ob = 0.075 \cdot 41.1 = 3.08 \text{ м/с.}$$

$$\frac{V_{S_2A}}{V_{BA}} = \frac{S_2A}{BA} \Big| \div k_V; \quad \frac{s_2a}{ba} = \frac{S_2A}{BA}; \quad s_2a = \frac{S_2A}{BA} \cdot ba = \frac{75}{150} \cdot 60.9 = 30.45 \text{ мм};$$

$$V_{S_2A} = k_V \cdot as_2 = 0.075 \cdot 30.45 = 2.28 \text{ м/с};$$

$$V_{S_2} = k_V \cdot os_2 = 0.075 \cdot 48.7 = 3.65 \text{ м/с.}$$

$$\frac{V_{CA}}{V_{BA}} = \frac{CA}{BA} \Big| \div k_V; \quad \frac{ca}{ba} = \frac{CA}{BA}; \quad ca = \frac{CA}{BA} \cdot ba = \frac{32.2}{150} \cdot 60.9 = 13.1 \text{ мм};$$

$$V_{CA} = k_v \cdot ac = 0.075 \cdot 13.1 = 0.98 \text{ м/с};$$

$$V_C = k_v \cdot oc = 0.075 \cdot 59.9 = 4.49 \text{ м/с}.$$

$$\omega_2 = \frac{V_{BA}}{l_{BA}} = \frac{4.57}{0.75} = 6.09 \text{ с}^{-1}.$$

$$\overline{V_D} = \overline{V_C} + \overline{V_{DC}};$$

$$// \text{mm} \quad // \text{AB}$$

$$V_{DC} = k_v \cdot cd = 0.075 \cdot 36.5 = 2.74 \text{ м/с};$$

$$V_D = k_v \cdot od = 0.075 \cdot 43.9 = 3.29 \text{ м/с}.$$

$$V_{S_5} = V_D = 3.29 \text{ м/с}.$$

Значения линейных и угловых скоростей для остальных положений точек и звеньев приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Значения линейных и угловых скоростей.

Скорости точек и звеньев	Положения механизма											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\omega_1, \text{с}^{-1}$	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0
$V_A, \text{м/с}$	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25	5,25
$V_{BA}, \text{м/с}$	5,25	4,57	2,66	0,00	2,66	4,57	5,25	4,57	2,66	0,00	2,66	4,57
$V_B, \text{м/с}$	0,00	3,08	5,01	5,25	4,08	2,17	0,00	2,17	4,08	5,25	5,01	3,08
$V_{S_{2A}}, \text{м/с}$	2,63	2,28	1,33	0,00	1,33	2,28	2,63	2,28	1,33	0,00	1,33	2,28
$V_{S_2}, \text{м/с}$	2,63	3,65	4,96	5,25	4,51	3,30	2,63	3,30	4,51	5,25	4,96	3,65
$V_{CA}, \text{м/с}$	1,05	0,98	0,81	0,00	1,35	2,64	3,15	2,64	1,35	0,00	0,81	0,98
$V_C, \text{м/с}$	4,20	4,49	5,03	5,25	4,50	3,05	2,10	3,05	4,50	5,25	5,03	4,49
$\omega_2, \text{с}^{-1}$	7,00	6,09	3,55	0,00	3,55	6,09	7,00	6,09	3,55	0,00	3,55	6,09
$V_{DC}, \text{м/с}$	0,00	2,74	4,76	5,36	4,38	2,37	0,00	2,37	4,38	5,36	4,76	2,74
$V_D, \text{м/с}$	4,20	3,29	1,00	1,07	2,06	2,16	2,10	2,16	2,06	1,07	1,00	3,29
$V_{S_5}, \text{м/с}$	4,20	3,29	1,00	1,07	2,06	2,16	2,10	2,16	2,06	1,07	1,00	3,29

Построение планов ускорений точек и звеньев.

Для положения 10.

$$a_A = \omega_1^2 \cdot l_{OA} = 35^2 \cdot 0.15 = 183.8 \text{ м/с}^2;$$

$$k_a = 2 \text{ м/с}^2 \cdot \text{мм};$$

$$z_A = \frac{a_A}{k_a} = \frac{183.8}{2} = 91.9 \text{ мм}.$$

$$\overline{a_B} = \overline{a_A} + \overline{a_{BA}^n} + \overline{a_{BA}^r};$$

$$// \text{mm} \quad // \text{OA} \quad // \text{BA} \quad \perp \text{BA}$$

$$a_{BA}^n = \frac{V_{BA}^2}{l_{BA}} = \frac{0.00^2}{0.75} = 0.0 \text{ м/с}^2;$$

$$z_{BA}^n = \frac{a_{BA}^n}{k_a} = \frac{0}{2} = 0 \text{ мм.}$$

$$a_{BA}^{\tau} = z_{BA}^{\tau} \cdot k_a = 93.8 \cdot 2 = 187.6 \text{ м/с}^2;$$

$$a_{BA} = z_{BA} \cdot k_a = 93.8 \cdot 2 = 187.6 \text{ м/с}^2;$$

$$a_B = z_B \cdot k_a = 18.8 \cdot 2 = 37.6 \text{ м/с}^2.$$

$$\frac{a_{S_2A}}{a_{BA}} = \frac{AS_2}{AB} \Big| \div k_a; \quad \frac{a's_2'}{a'b'} = \frac{AS_2}{AB}; \quad a's_2' = \frac{AS_2}{AB} \cdot a'b' = \frac{75}{150} \cdot 93.8 = 46.9 \text{ мм};$$

$$a_{S_2A} = z_{S_2A} \cdot k_a = 46.9 \cdot 2 = 93.8 \text{ м/с}^2;$$

$$a_{S_2} = z_{S_2} \cdot k_a = 46.9 \cdot 2 = 93.8 \text{ м/с}^2.$$

$$\frac{a_{CA}}{a_{BA}} = \frac{AC}{AB} \Big| \div k_a; \quad \frac{a'c'}{a'b'} = \frac{AC}{AB}; \quad a'c' = \frac{AC}{AB} \cdot a'b' = \frac{61.3}{150} \cdot 93.8 = 38.3 \text{ мм};$$

$$a_{CA} = z_{CA} \cdot k_a = 38.3 \cdot 2 = 76.6 \text{ м/с}^2;$$

$$a_C = z_C \cdot k_a = 54.9 \cdot 2 = 109.8 \text{ м/с}^2.$$

$$\varepsilon_2 = \frac{a_{BA}^{\tau}}{l_{BA}} = \frac{93.8}{0.75} = 125.1 \text{ с}^{-2}.$$

$$\overline{a_D} = \overline{a_C} + \overline{a_{DC}} + \overline{a_{\text{кор}}};$$

$$// \text{mn} \quad // \text{AB}$$

$$a_{\text{кор}} = 2 \cdot \omega_{\text{нпр}} \cdot V_{\text{отн}} = 2 \cdot \omega_2 \cdot V_{DC} = 2 \cdot 0.00 \cdot 5.36 = 0.0 \text{ м/с}^2;$$

$$z_{\text{кор}} = \frac{a_{\text{кор}}}{k_a} = \frac{0.0}{2} = 0 \text{ мм.}$$

$$a_{DC} = z_{DC} \cdot k_a = 7.8 \cdot 2 = 15.6 \text{ м/с}^2;$$

$$a_D = z_D \cdot k_a = 52.8 \cdot 2 = 105.6 \text{ м/с}^2.$$

$$a_{S_5} = a_D = 105.6 \text{ м/с}^2.$$

Для положения 12.

$$a_A = \omega_1^2 \cdot l_{OA} = 35^2 \cdot 0.15 = 183.8 \text{ м/с}^2;$$

$$k_a = 2 \text{ м/с}^2 \cdot \text{мм};$$

$$z_A = \frac{a_A}{k_a} = \frac{183.8}{2} = 91.9 \text{ мм.}$$

$$\overline{a_B} = \overline{a_A} + \overline{a_{BA}^n} + \overline{a_{BA}^{\tau}};$$

$$// \text{mn} \quad // \text{OA} \quad // \text{BA} \quad \perp \text{BA}$$

$$a_{BA}^n = \frac{V_{BA}^2}{l_{BA}} = \frac{4.57^2}{0.75} = 27.8 \text{ м/с}^2;$$

$$z_{BA}^n = \frac{a_{BA}^n}{k_a} = \frac{27.8}{2} = 13.9 \text{ мм.}$$

$$a_{BA}^r = z_{BA}^r \cdot k_a = 44.8 \cdot 2 = 89.6 \text{ м/с}^2;$$

$$a_{BA} = z_{BA} \cdot k_a = 46.9 \cdot 2 = 93.8 \text{ м/с}^2;$$

$$a_B = z_B \cdot k_a = 88.9 \cdot 2 = 177.8 \text{ м/с}^2.$$

$$\frac{a_{S_2A}}{a_{BA}} = \frac{AS_2}{AB} \quad \Big| \quad \div k_a; \quad \frac{a's_2'}{a'b'} = \frac{AS_2}{AB}; \quad a's_2' = \frac{AS_2}{AB} \cdot a'b' = \frac{75}{150} \cdot 46.9 = 23.45 \text{ мм};$$

$$a_{S_2A} = z_{S_2A} \cdot k_a = 23.45 \cdot 2 = 46.9 \text{ м/с}^2;$$

$$a_{S_2} = z_{S_2} \cdot k_a = 87.3 \cdot 2 = 174.6 \text{ м/с}^2.$$

$$\frac{a_{CA}}{a_{BA}} = \frac{AC}{AB} \quad \Big| \quad \div k_a; \quad \frac{a'c'}{a'b'} = \frac{AC}{AB}; \quad a'c' = \frac{AC}{AB} \cdot a'b' = \frac{34.2}{150} \cdot 46.9 = 10.7 \text{ мм};$$

$$a_{CA} = z_{CA} \cdot k_a = 10.7 \cdot 2 = 21.4 \text{ м/с}^2;$$

$$a_C = z_C \cdot k_a = 89.1 \cdot 2 = 178.2 \text{ м/с}^2.$$

$$\varepsilon_2 = \frac{a_{BA}^r}{l_{BA}} = \frac{89.6}{0.75} = 119.5 \text{ с}^{-2}.$$

$$\overline{a_D} = \overline{a_C} + \overline{a_{DC}} + \overline{a_{\text{кор}}};$$

// **mn** // **AB**

$$a_{\text{кор}} = 2 \cdot \omega_{\text{неп}} \cdot V_{\text{отн}} = 2 \cdot \omega_2 \cdot V_{DC} = 2 \cdot 6.09 \cdot 2.74 = 33.4 \text{ м/с}^2;$$

$$z_{\text{кор}} = \frac{a_{\text{кор}}}{k_a} = \frac{33.4}{2} = 16.7 \text{ мм.}$$

$$a_{DC} = z_{DC} \cdot k_a = 83.8 \cdot 2 = 167.6 \text{ м/с}^2;$$

$$a_D = z_D \cdot k_a = 60.5 \cdot 2 = 121 \text{ м/с}^2.$$

$$a_{S_5} = a_D = 121 \text{ м/с}^2.$$

Определение радиусов кривизны траекторий точек.

Для положения 10.

$$\rho_{S_2} = \frac{V_{S_2}^2}{a_{S_2}^n} = \frac{5.25^2}{92} = 0.300 \text{ м};$$

$$a_{S_2}^n = z_{S_2}^n \cdot k_a = 46 \cdot 2 = 92 \text{ м/с}^2;$$

$$\rho_{S_2}' = \frac{\rho_{S_2}}{k_L} = \frac{0.300}{0.005} = 60 \text{ мм.}$$

Для положения 12.

$$\rho_{S_2} = \frac{V_{S_2}^2}{a_{S_2}^n} = \frac{3.65^2}{141} = 0.094 \text{ м};$$

$$a_{S_2}^n = z_{S_2}^n \cdot k_a = 70.5 \cdot 2 = 141 \text{ м/с}^2;$$

$$\rho_{S_2}' = \frac{\rho_{S_2}}{k_L} = \frac{0.094}{0.005} = 18.8 \text{ мм.}$$

1.4. Силовой анализ.

Для положения 12.

$$R_2 = m_2 \cdot a_{S_2} = 30 \cdot 174.6 = 5238 \text{ Н};$$

$$G_2 = m_2 \cdot g = 30 \cdot 9.8 = 294 \text{ Н};$$

$$H_2 = \frac{J_2 \cdot \varepsilon_2}{m_2 \cdot a_{S_2}} = \frac{2.5 \cdot 119.5}{30 \cdot 174.6} = 0.057 \text{ м};$$

$$h_2 = \frac{H_4}{k_L} = \frac{0.057}{0.005} = 11.4 \text{ мм.}$$

$$R_3 = m_3 \cdot a_B = 8 \cdot 177.8 = 1422 \text{ Н};$$

$$G_3 = m_3 \cdot g = 8 \cdot 9.8 = 78.4 \text{ Н};$$

$$R_4 = m_4 \cdot a_D = 5 \cdot 121 = 605 \text{ Н};$$

$$G_4 = m_4 \cdot g = 5 \cdot 9.8 = 49 \text{ Н.}$$

$$R_5 = m_5 \cdot a_{S_5} = 35 \cdot 121 = 4235 \text{ Н};$$

$$G_5 = m_5 \cdot g = 35 \cdot 9.8 = 343 \text{ Н.}$$

$\sum M_f$ (для звеньев 4 и 5):

$$-R_4 \cdot fF - R_5 \cdot fF = G_4 \cdot Ff + G_5 \cdot Ff - N_E \cdot n_e f;$$

$$N_E = \frac{R_4 \cdot fF + R_5 \cdot fF + G_4 \cdot Ff + G_5 \cdot Ff}{n_e f} =$$
$$= \frac{605 \cdot 9.9 + 4235 \cdot 9.9 + 49 \cdot 9.9 + 343 \cdot 9.9}{60} = 863 \text{ Н.}$$

$\sum M_e$ (для звеньев 4 и 5):

$$-R_4 \cdot eE - R_5 \cdot eE = G_4 \cdot eE + G_5 \cdot eE - N_F \cdot f^e e;$$

$$N_F = \frac{R_4 \cdot eE + R_5 \cdot eE + G_4 \cdot eE + G_5 \cdot eE}{f^e e} =$$
$$= \frac{605 \cdot 3.9 + 4235 \cdot 3.9 + 49 \cdot 3.9 + 343 \cdot 3.9}{60} = 340 \text{ Н.}$$

$\sum M_F$ (для звеньев 4 и 5):

$$R_4 \cdot 0 + R_5 \cdot 0 = G_4 \cdot 0 + G_5 \cdot 0 - N_E \cdot EF + N_4 \cdot r_4 F;$$

$$N_4 = \frac{R_4 \cdot 0 + R_5 \cdot 0 - G_4 \cdot 0 - G_5 \cdot 0 + N_E \cdot EF}{r_4 F} =$$

$$= \frac{605 \cdot 0 + 4235 \cdot 0 - 49 \cdot 0 - 343 \cdot 0 + 863 \cdot 60}{9.8} = 5284 H.$$

$$\overline{N}_2 = -\overline{N}_4 (N_2 = N_4 = 5284 H).$$

$\sum M_A$ (для звеньев 2 и 3):

$$R_2 \cdot r_2 A + R_3 \cdot r_3 A = -G_2 \cdot g_2 A - G_3 \cdot g_3 A - N_2 \cdot CA + N_3 \cdot BA;$$

$$N_3 = \frac{R_2 \cdot r_2 A + R_3 \cdot r_3 A + G_2 \cdot g_2 A + G_3 \cdot g_3 A + N_2 \cdot CA}{BA} =$$

$$= \frac{5238 \cdot 14.5 + 1422 \cdot 14 + 294 \cdot 74.6 + 78.4 \cdot 149.1 + 5284 \cdot 34.2}{150} = 2068 H.$$

$$k_Q = 50 H / мм.$$

$$\overline{R}_2 + \overline{R}_3 = \overline{N}_2 + \overline{N}_3 + \overline{G}_2 + \overline{G}_3 + \overline{Q}_{2A};$$

$$Q_{2A} = y_{Q_{2A}} \cdot k_Q = 171.4 \cdot 50 = 8570 H;$$

$$\overline{Q}_{1A} = -\overline{Q}_{2A} (Q_{1A} = Q_{2A} = 8570 H).$$

$$\overline{R}_1 = \overline{Q}_{1A} + \overline{Q}_{16} (R_1 = 0);$$

$$\overline{Q}_{16} = -\overline{Q}_{1A} (Q_{16} = Q_{1A} = 8570 H).$$

$$M_1 = Q_{1A} \cdot oa \cdot k_L = 8570 \cdot 2.7 \cdot 0.005 = 115.7 H \cdot м.$$

Определение момента M_1 с помощью рычага Жуковского.

$$R_2 \cdot r_2 o + R_3 \cdot bo - R_4 \cdot do - R_5 \cdot s_5 o = G_2 \cdot g_2 o + G_3 \cdot 0 + G_4 \cdot do + G_5 \cdot s_5 o - P_y \cdot oa;$$

$$P_y = \frac{-R_2 \cdot r_2 o - R_3 \cdot bo + R_4 \cdot do + R_5 \cdot s_5 o + G_2 \cdot og_2 + G_3 \cdot 0 + G_4 \cdot do + G_5 \cdot s_5 o}{oa} =$$

$$= \frac{-5238 \cdot 24 - 1422 \cdot 41.1 + 605 \cdot 43.9 + 4235 \cdot 43.9 + 294 \cdot 30.3 + 78.4 \cdot 0}{70} +$$

$$+ \frac{49 \cdot 43.9 + 343 \cdot 43.9}{70} = 777.7 H.$$

$$M_1' = P_y \cdot l_{OA} = 777.7 \cdot 0.15 = 116.7 H \cdot м.$$

Определяем относительную погрешность:

$$\Delta M_1' = \frac{|M_1' - M_1|}{M_1'} \cdot 100\% = \frac{|116.7 - 115.7|}{116.7} \cdot 100\% = 0.9\%.$$

2. МЕХАНИЗМ КУЛАЧКОВЫЙ

2.1. Задание на проектирование

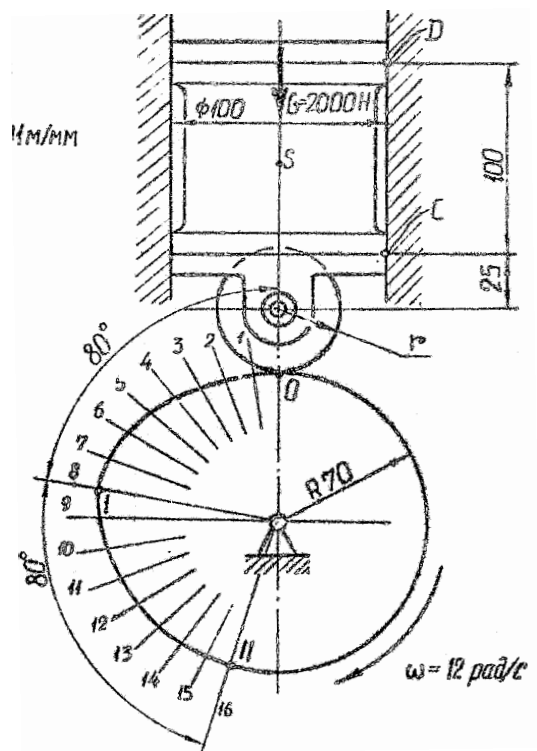


Рисунок 2.1 – Схема механизма.

$$k_L = 0.001 \text{ м/мм};$$

$$\mu = 0.25; \quad \delta_0 = 26^\circ;$$

положения механизма: 2.

Кулачок		Толкатель		
Участок	Угол повор.	Перемещение	Скорость	Ускорение
0 – I	80°	0...0,040м		Постоянно
I - II	80°	0,040...0м	Постоянна	Нет
II - 0	200°	Нет	Нет	Нет

2.2. Профилирование кулачка

Построение графиков ускорения, скорости и перемещения толкателя.

Отрезок A (мм) определяется по формуле:

$$A = 10 \cdot N = 10 \cdot 16 = 160 \text{ мм.}$$

Отрезок A изображает угол поворота кулачка, соответствующий профильному углу $\varphi_P = 160^\circ$.

Масштаб угла поворота определяется по следующей формуле:

$$k_\varphi = \frac{\pi}{180} \cdot \frac{\varphi_P}{A} = \frac{\pi}{180} \cdot \frac{160}{160} = 0.0175 \text{ рад/мм.}$$

Масштаб времени определяется по следующему выражению:

$$k_t = \frac{\pi \cdot \varphi_P}{180 \cdot A \cdot \omega} = \frac{k_\varphi}{\omega} = \frac{0.0175}{12} = 0.00145 \text{ с/мм.}$$

Определяем отрезок a :

$$a = \frac{y'_{1m} \cdot oc}{2 \cdot y_m} = \frac{40 \cdot 80}{2 \cdot 40} = 40 \text{ мм,}$$

$$y_m = \frac{S_m}{k_L} = \frac{0.040}{0.001} = 40 \text{ мм.}$$

Высота y'_{2m} определяется из условия равенства площадей треугольника и прямоугольника:

$$S_{0-I} = S_{I-II},$$

$$0.5 \cdot oc \cdot y'_{1m} = I \cdot II \cdot y'_{2m},$$

$$y'_{2m} = \frac{oc \cdot y'_{1m}}{2 \cdot I \cdot II} = \frac{80 \cdot 40}{2 \cdot 80} = 20 \text{ мм.}$$

Масштаб скорости:

$$k_v = \frac{k_L}{a \cdot k_t} = \frac{0.001}{40 \cdot 0.00145} = 0.02 \text{ м/с} \cdot \text{мм.}$$

Масштаб ускорения:

$$k_a = \frac{k_v}{b \cdot k_t} = \frac{0.02}{30 \cdot 0.00145} = 0.46 \text{ м/с}^2 \cdot \text{мм.}$$

Определение недостающих параметров механизма.

$$z_0 = \sqrt{\left(\frac{S'+e}{\text{tg} \delta_0} - S \right)^2 + e^2}.$$

$S' = y'_{1m} \cdot k'_v = 40 \cdot 0.00143 = 0.057 \text{ м}$ - аналог скорости,

$$k'_v = \frac{k_v}{\omega} = \frac{k_L}{a \cdot k_\phi} = \frac{0.001}{40 \cdot 0.0175} = 0.00143 \text{ м/мм.}$$

$e = 0 \text{ м}$;

$\delta_\delta = 26^\circ$;

$S = y \cdot k_L = 20 \cdot 0.001 = 0.02 \text{ м}$ - перемещение толкателя.

$$z_0 = \sqrt{\left(\frac{0.057 + 0}{\text{tg } 26^\circ} - 0.02 \right)^2 + 0^2} = 0.097 \text{ м.}$$

$$r = z_0 - r_0 = 0.097 - 0.070 = 0.027 \text{ м.}$$

Построение профиля кулачка.

$$r = 0.027 \text{ м}, \quad R_p = \frac{r}{k_L} = \frac{0.027}{0.001} = 27 \text{ мм};$$

$$r_0 = 0.070 \text{ м}, \quad R_r = \frac{r_0}{k_L} = \frac{0.070}{0.001} = 70 \text{ мм.}$$

2.3. Кинематический и силовой анализы.

Рассмотрим положение 2.

Определяем скорость толкателя.

$$V_A = \omega \cdot OA \cdot k_L = 12 \cdot 111 \cdot 0.001 = 1.33 \text{ м/с};$$

$$k_v = \frac{V_A}{oa} = \frac{1.33}{70} = 0.02 \text{ м/с} \cdot \text{мм.}$$

$$\overline{V_B} = \overline{V_A} + \overline{V_{BA}}, \quad V_{BA} = ba \cdot k_v = 63.4 \cdot 0.02 = 1.27 \text{ м/с};$$

$$// \text{mn} \perp OA \perp BA \quad V_B = ob \cdot k_v = 17.5 \cdot 0.02 = 0.35 \text{ м/с.}$$

Определяем ускорение толкателя:

$$a_A = \omega^2 \cdot OA \cdot k_L = 12^2 \cdot 111 \cdot 0.001 = 16 \text{ м/с}^2;$$

$$k_a = \frac{a_A}{o'a'} = \frac{16}{64} = 0.25 \text{ м/с}^2 \cdot \text{мм.}$$

$$\overline{a_B} = \overline{a_A} + \overline{a_{BA}^n} + \overline{a_{BA}^r}, \quad a_{BA}^n = \frac{V_{BA}^2}{BA \cdot k_L} = \frac{1.27^2}{206.5 \cdot 0.001} = 7.8 \text{ м/с}^2;$$

$$// \text{mn} \quad // OA \quad // BA \perp BA \quad z_{BA}^n = \frac{a_{BA}^n}{k_a} = \frac{7.8}{0.25} = 31.2 \text{ мм.}$$

$$a_{BA} = z_{BA} \cdot k_a = 39.3 \cdot 0.25 = 9.8 \text{ м/с}^2;$$

$$a_B = z_B \cdot k_a = 32 \cdot 0.25 = 8 \text{ м/с}^2.$$

Определение сил.

$$\varphi' = \operatorname{arctg} \mu = \operatorname{arctg} 0.25 = 14^\circ.$$

$$\sum M_{C'} : -Q_B \cdot x \cdot \sin \delta + Q_D \cdot l \cdot \cos \varphi' = 0,$$

$$\text{или } Q_B \cdot x \cdot \sin \delta = Q_D \cdot l \cdot \cos \varphi'.$$

$$\sum M_{D'} : -Q_B \cdot (x+l) \cdot \sin \delta + Q_C \cdot l \cdot \cos \varphi' = 0,$$

$$\text{или } Q_B \cdot (x+l) \cdot \sin \delta = Q_C \cdot l \cdot \cos \varphi'.$$

$$\Rightarrow \frac{Q_B \cdot \sin \delta}{l} = \frac{Q_D \cdot \cos \varphi'}{x} = \frac{Q_C \cdot \cos \varphi'}{x+l}.$$

$$\overline{R} = \overline{Q_B} + \overline{Q_C} + \overline{Q_D} + \overline{G}.$$

$$R = m \cdot a_B = \frac{G \cdot a_B}{g} = \frac{2000 \cdot 8}{9.8} = 1633 \text{ H}.$$

$$K = \frac{G + R}{oc} = \frac{2000 + 1633}{337.5} = 10.8 \text{ H / мм}.$$

$$Q_B = (\overline{Q_B}) \cdot K = 382 \cdot 10.8 = 4126 \text{ H};$$

$$Q_C = (\overline{Q_C}) \cdot K = 116 \cdot 10.8 = 1253 \text{ H};$$

$$Q_D = (\overline{Q_D}) \cdot K = 12.9 \cdot 10.8 = 139 \text{ H}.$$

$$(\overline{R}) = \frac{R}{K} = \frac{1633}{10.8} = 51.7 \text{ мм}.$$

3. ПЕРЕДАЧА ЗУБЧАТАЯ

3.1. Задание на проектирование

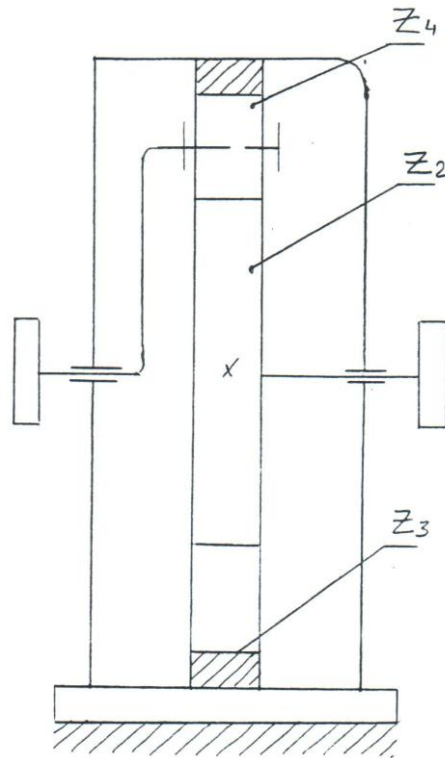


Рисунок 3.1 – Схема механизма

$$u_{4/2} = 1,31;$$

$$m = 6\text{мм};$$

$$\alpha = 20^\circ;$$

$$h_a = m;$$

$$h_f = 1,25m;$$

масштаб: 5:1;

обработка долбяком;

$$z_d = 19;$$

зацепление внутреннее.

3.2. Расчет параметров.

Определяем наименьшие числа колес.

Определяем диаметр начальной окружности долбяка:

$$d_o = m \cdot z_o = 6 \cdot 19 = 114 \text{ мм.}$$

Определяем диаметр окружности вершин зубьев:

$$d_{oa} = d_o + 2 \cdot h_{oa} = d_o + 2 \cdot h_f = 114 + 2 \cdot 1.25 \cdot 6 = 129 \text{ мм.}$$

Находим наименьшее число зубьев меньшего колеса:

$$z_4 = \frac{2 \cdot O_4 P}{m} = \frac{2 \cdot 48.8}{6} = 16.3. \text{ Принимаем } z_4 = 16.$$

$$z_2 = u_{4/2} \cdot z_4 = 1.31 \cdot 16 = 20.96. \text{ Принимаем } z_2 = 21.$$

Определяем число зубьев зубчатого венца:

$$z_3 = 2 \cdot z_4 + z_2 = 2 \cdot 16 + 21 = 53.$$

Построение профилей зубьев.

$$d_3 = m \cdot z_3 = 6 \cdot 53 = 318 \text{ мм;}$$

$$d_4 = m \cdot z_4 = 6 \cdot 16 = 96 \text{ мм;}$$

$$d_{a3} = d_3 - 2 \cdot h_a = d_3 - 2 \cdot m = 318 - 2 \cdot 6 = 306 \text{ мм;}$$

$$d_{a4} = d_4 + 2 \cdot h_a = d_4 + 2 \cdot m = 96 + 2 \cdot 6 = 108 \text{ мм;}$$

$$d_{f3} = d_3 + 2 \cdot h_f = d_3 + 2 \cdot 1.25 \cdot m = 318 + 2 \cdot 1.25 \cdot 6 = 333 \text{ мм;}$$

$$d_{f4} = d_4 - 2 \cdot h_f = d_4 - 2 \cdot 1.25 \cdot m = 96 - 2 \cdot 1.25 \cdot 6 = 81 \text{ мм.}$$

Определяем шаг:

$$P = m \cdot \pi = 6 \cdot 3.14 = 18.84 \text{ мм.}$$

Коэффициент перекрытия:

$$\varepsilon = \frac{AB}{P \cdot \cos \alpha} = \frac{32.36}{18.84 \cdot \cos 20^\circ} = 1.83.$$

Определение числа сателлитов.

Наибольшее число сателлитов $n_{\max} = 6$.

Из условия сборки находим возможное число симметрично расположенных сателлитов.

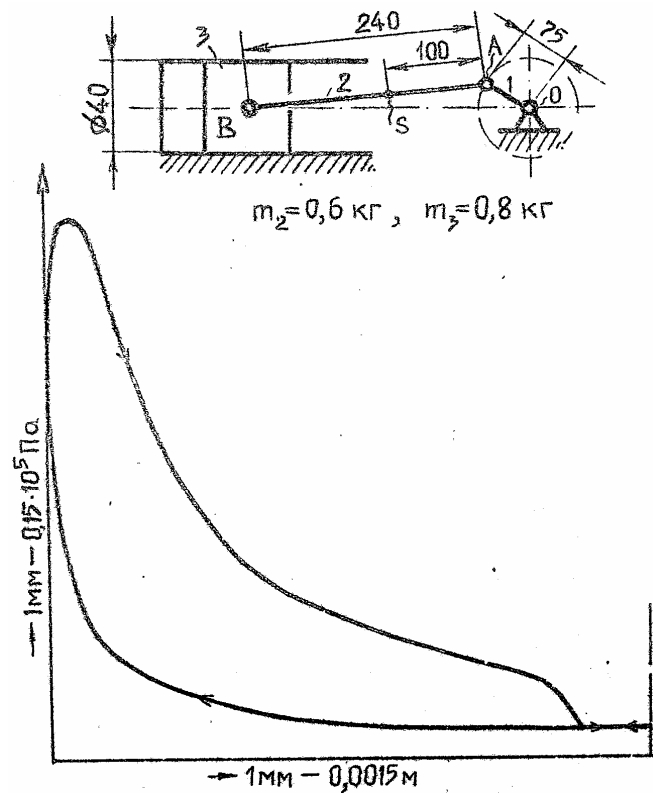
$$n_B = 2 \cdot (z_2 + z_4) = 2 \cdot (21 + 16) = 2 \cdot 37 = 2 \cdot 37.$$

Следовательно, на основании этих данных, планетарный механизм может иметь 2 симметрично расположенных сателлита.

4. РАСЧЕТ МАХОВИКА

4.1. Задание на проектирование

Одноцилиндровый горизонтальный двухтактный двигатель.



$$n = 1000 \text{ мин}^{-1};$$

$$\delta = 1/150.$$

4.2. Построение положений механизма.

Определяем масштаб скорости:

$$k_v = \omega_1 \cdot k_L = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \cdot k_L = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 1000}{60} \cdot 0.0015 = 0.157 \text{ м/с} \cdot \text{мм}.$$

Скорость точки В будет определяться по формуле:

$$V_B = ob \cdot k_v.$$

Для построения ускорения точки В используется формула:

$$a_B = \omega_1 \cdot r \cdot (\cos \alpha + \lambda \cdot \cos 2\alpha),$$

где $\lambda = \frac{r}{l} = 0.3125;$

r – радиус кривошипа;

l – длина шатуна.

Масштаб ускорения определяется по следующей формуле:

$$k_a = \omega_1^2 \cdot k_L = 16.4 \text{ м/с}^2 \cdot \text{мм}.$$

Тогда отрезок, которым изображается ускорение точки В имеет вид:

$$y'' = \frac{a_B}{k_a} = OA \cdot \cos \alpha + OA \cdot \lambda \cdot \cos 2\alpha = y''_{1B} + y''_{2B}.$$

Первый отрезок – это проекция ОА на ОА₀, то есть:

$$y''_{1B} = a_O = OA \cdot \cos \alpha.$$

Для определения второго отрезка необходимо из точки О как из центра провести окружность радиуса

$$\rho = OA \cdot \lambda = 50 \cdot 0.3125 = 15.625 \text{ мм},$$
 а затем из точки С опустить на ОА₀

перпендикуляр С₀, тогда:

$$y''_{2B} = CO = \rho \cdot \cos 2\alpha.$$

4.3. Вычерчивание индикаторной диаграммы.

Сила Р определяется из выражения:

$$P = P_L - P_{II},$$

где $P_L = \frac{p_L \cdot \pi \cdot D^2}{4}$ - давление на поршень слева;

$$P_{II} = \frac{p_{AT} \cdot \pi \cdot D^2}{4}$$
 - давление на поршень справа;

$$p_L = k_i \cdot z_L$$
 - давление в левой полости.

Подставив эти выражения в первую формулу получим зависимость для определения силы Р в окончательном виде:

$$P = \frac{p_L \cdot \pi \cdot D^2}{4} - \frac{p_{AT} \cdot \pi \cdot D^2}{4} =$$

$$= z_L \cdot k_i \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} - 10^5 \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4};$$

$$z_P = \frac{P}{K};$$

$$K = 20H / \text{мм.}$$

$P_0=1085H;$	$z_0=54,3\text{мм};$	$P_{12}=-49H;$	$z_{12}=-2,5\text{мм};$
$P_1=1575H;$	$z_1=78,8\text{мм};$	$P_{13}=-49H;$	$z_{13}=-2,5\text{мм};$
$P_2=1439H;$	$z_2=72,0\text{мм};$	$P_{14}=-49H;$	$z_{14}=-2,5\text{мм};$
$P_3=881H;$	$z_3=44,1\text{мм};$	$P_{15}=-49H;$	$z_{15}=-2,5\text{мм};$
$P_4=520H;$	$z_4=26,0\text{мм};$	$P_{16}=-49H;$	$z_{16}=-2,5\text{мм};$
$P_5=350H;$	$z_5=17,5\text{мм};$	$P_{17}=-49H;$	$z_{17}=-2,5\text{мм};$
$P_6=248H;$	$z_6=12,4\text{мм};$	$P_{18}=-39H;$	$z_{18}=-2,0\text{мм};$
$P_7=173H;$	$z_7=8,7\text{мм};$	$P_{19}=-14H;$	$z_{19}=-0,7\text{мм};$
$P_8=118H;$	$z_8=5,9\text{мм};$	$P_{20}=31H;$	$z_{20}=1,6\text{мм};$
$P_9=-49H;$	$z_9=-2,5\text{мм};$	$P_{21}=108H;$	$z_{21}=5,4\text{мм};$
$P_{10}=-49H;$	$z_{10}=-2,5\text{мм};$	$P_{22}=239H;$	$z_{22}=12,0\text{мм};$
$P_{11}=-49H;$	$z_{11}=-2,5\text{мм};$	$P_{23}=581H;$	$z_{23}=29,1\text{мм.}$

После этого определяем силу Q графическим способом, для чего вводим обозначения:

$$\text{tg}\beta = \frac{m \cdot k_a}{K};$$

$$z_R = y''_B \cdot \text{tg}\beta;$$

$$m = m_3 + m_2 \cdot \frac{SA}{BA} = 0.8 + 0.6 \cdot \frac{100}{240} = 1.05 \text{ кг};$$

$$z_Q = \frac{Q}{K} = z_P - z_R;$$

$$\beta = \arctg\left(\frac{m \cdot k_a}{K}\right) = \arctg\left(\frac{1.05 \cdot 16.4}{20}\right) = 40.7^\circ.$$

4.4. Построение графиков моментов.

Сначала строится график $M_{\text{снр}}$ по формуле:

$$M_{\text{снр}} = Q \cdot \frac{V_B}{\omega_1} = Q_r \cdot \frac{V_B}{V_A} = K \cdot r \cdot z_Q \cdot \frac{y'_B}{OA}.$$

Масштаб момента определяется по формуле:

$$k_M = K \cdot r = 20 \cdot 0.075 = 1.5H / \text{мм.}$$

Масштаб угла поворота:

$$k_\alpha = \frac{2 \cdot \pi}{a} = \frac{2 \cdot 3.14}{240} = 0.026 \text{ рад/мм.}$$

Подсчитаем отрезок $y_{\text{снр}}$ для всех положений:

$y^0_{\text{снр}}=0,0\text{мм};$	$y^6_{\text{снр}}=25,8\text{мм};$	$y^{12}_{\text{снр}}=0,0\text{мм};$	$y^{18}_{\text{снр}}=-11,4\text{мм};$
$y^1_{\text{снр}}=8,2\text{мм};$	$y^7_{\text{снр}}=28,7\text{мм};$	$y^{13}_{\text{снр}}=-5,8\text{мм};$	$y^{19}_{\text{снр}}=0,2\text{мм};$
$y^2_{\text{снр}}=16,5\text{мм};$	$y^8_{\text{снр}}=26,6\text{мм};$	$y^{14}_{\text{снр}}=-11,5\text{мм};$	$y^{20}_{\text{снр}}=12,5\text{мм};$
$y^3_{\text{снр}}=11,1\text{мм};$	$y^9_{\text{снр}}=17,0\text{мм};$	$y^{15}_{\text{снр}}=-17,0\text{мм};$	$y^{21}_{\text{снр}}=20,3\text{мм};$
$y^4_{\text{снр}}=10,6\text{мм};$	$y^{10}_{\text{снр}}=11,5\text{мм};$	$y^{16}_{\text{снр}}=-20,0\text{мм};$	$y^{22}_{\text{снр}}=18,9\text{мм};$
$y^5_{\text{снр}}=18,4\text{мм};$	$y^{11}_{\text{снр}}=5,8\text{мм};$	$y^{17}_{\text{снр}}=-18,5\text{мм};$	$y^{23}_{\text{снр}}=7,3\text{мм.}$

Затем строим график $M_{акт} = f_2(\alpha)$. Для этого определяем отрезок:

$$y_{акт} = \frac{M_{акт}}{k_M} = \frac{f}{a} = \frac{1566}{240} = 6.5 \text{ мм.}$$

Резльтирующий момент $M_R = M_{акт} + M_{ср}$ или $y_R = y_{акт} + y_{ср}$.

4.5. Определение индикаторной мощности.

Индикаторная мощность определяется по формуле:

$$N = \frac{M \cdot n}{9740} = \frac{k_M \cdot y_{акт} \cdot n}{9740} = \frac{1.5 \cdot 6.5 \cdot 1000}{9740} = 1 \text{ кВт.}$$

Момент инерции вращающего звена (кривошипа) вычисляется по формуле:

$$J = \frac{k_M \cdot k_\alpha \cdot f_\delta}{\omega_{ср}^2 \cdot \delta} = \frac{1.5 \cdot 0.026 \cdot 1096}{104.7^2 \cdot \frac{1}{150}} = 0.6 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$