

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Казанский государственный аграрный университет

Кафедра ОМБ

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
к курсовой работе по ТММ

Выполнил: студент Б291-01 группы
Проверил:

Фаттахов А.Г.
Гургенидзе Э.Д.

Казань - 2020

СОДЕРЖАНИЕ.

ВВЕДЕНИЕ.

1. МЕХАНИЗМ ШАРНИРНО-РЫЧАЖНЫЙ.

1.1. Задание на проектирование

1.2. Синтез механизма

1.3. Кинематический анализ

1.4. Силовой анализ

2. МЕХАНИЗМ КУЛАЧКОВЫЙ.

2.1. Задание на проектирование

2.2. Профилирование кулачка

2.3. Кинематический и силовой анализы

3. ПЕРЕДАЧА ЗУБЧАТАЯ.

3.1. Задание на проектирование

3.2. Расчет параметров

4. РАСЧЕТ МАХОВИКА.

4.1. Задание на проектирование

4.2. Построение положений механизма

4.3. Вычерчивание индикаторной диаграммы

4.4. Построение графиков моментов

4.5. Определение индикаторной мощности

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

ЛИТЕРАТУРА.

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

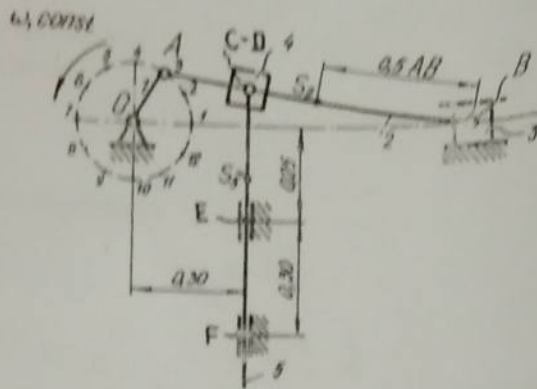


Рисунок 1.1 – Схема механизма.

Дано:

$$m_2 = 30 \text{ кг}; \quad m_1 = 8,0 \text{ кг}; \quad m_3 = 5,0 \text{ кг}; \quad m_4 = 35 \text{ кг};$$

$$J_2 = 2,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$k_1 = 0,005 \text{ м/мм};$$

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

$$V_n^{\text{ср}} = 3,35 \text{ м/с};$$

$$\lambda = 5,0;$$

$$\omega_1 = 35 \text{ рад/с};$$

положения механизма: 10, 12.

1.2. Синтез механизма.

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

где l_1 - радиус кривошипа;
 l_2 - длина шатуна.

(1)

$$V_{\text{ср}} = \frac{S}{T_{\text{п}}}$$

где $T_{\text{п}}$ - время полуоборота.

(2)

$$S = 2 \cdot l_1;$$

(3)

$$T_{\text{п}} = \frac{T}{2} = \frac{2 \cdot \pi}{2 \cdot \omega_1} = \frac{\pi}{\omega_1}$$

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

$$V_{\text{ср}} = \frac{2 \cdot l_1 \cdot \omega_1}{\pi}$$

Откуда:

$$l_1 = \frac{V_{\text{ср}} \cdot \pi}{2 \cdot \omega_1} = 1,57 \cdot \frac{V_{\text{ср}}}{\omega_1} = 1,57 \cdot \frac{3,35}{35} = 0,15 \text{ м.}$$

$$l_2 = l_1 \cdot \lambda = 0,15 \cdot 5 = 0,75 \text{ м.}$$

1.3. Кинематический анализ.

Построение планов скоростей точек и звеньев.

Для положения 12.

$$V_A = \omega_1 \cdot l_{OA} = 35 \cdot 0,15 = 5,25 \text{ м/с;}$$

$$k_v = \frac{V_B}{\omega_1} = \frac{5,25}{70} = 0,075 \text{ м/с} \cdot \text{мм.}$$

$$\vec{V}_B = \vec{V}_A + \vec{V}_{BA};$$

$$\omega_1 \perp OA \perp BA$$

$$V_{BA} = k_v \cdot ab = 0,075 \cdot 60,9 = 4,57 \text{ м/с;}$$

$$V_B = k_v \cdot ob = 0,075 \cdot 41,1 = 3,08 \text{ м/с.}$$

$$\frac{V_{BA}}{V_{BA}} = \frac{S_2 A}{BA} \mid + k_v; \quad \frac{s_2 a}{ba} = \frac{S_2 A}{BA}; \quad s_2 a = \frac{S_2 A}{BA} \cdot ba = \frac{75}{150} \cdot 60,9 = 30,45 \text{ мм;}$$

$$V_{S_1A} = k_V \cdot as_2 = 0.075 \cdot 30.45 = 2.28 \text{ м/с};$$

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

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

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

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

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

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

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

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

$$V_{S_3} = V_D = 3.29 \text{ м/с}.$$

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
$V_{S_1A}, \text{м/с}$	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
$V_{S_3}, \text{м/с}$	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.

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

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

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

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

$$\parallel nm \quad \parallel OA \quad \parallel BA \quad \perp BA$$

$$a_{BA}^n = \frac{V_{BA}^2}{l_{BA}} = \frac{0.00^2}{0.75} = 0 \text{ м/с}^2;$$

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

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

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

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

$$\frac{a_{S_2A}}{a_{BA}} = \frac{AS_2}{AB} \quad | \quad \div k_a; \quad \frac{a'_{S_2}}{a'b'} = \frac{AS_2}{AB}; \quad a'_{S_2} = \frac{AS_2}{AB} \cdot a'b' = \frac{75}{150} \cdot 93.8 = 46.9 \text{ мм};$$

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

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

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

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

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

$$\epsilon_2 = \frac{a_{BA}^t}{l_{BA}} = \frac{93.8}{0.75} = 125.1 \text{ с}^{-2}.$$

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

$$\parallel nn \quad \parallel AB$$

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

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

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

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

$$a_N = a_D = 105.6 \text{ м/с}^2.$$

Для положения 12.

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

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

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

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

$$\parallel \text{OA} \parallel \text{BA} \perp \text{BA}$$

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

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

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

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

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

$$\frac{a_{S_1A}}{a_{BA}} = \frac{AS_1}{AB} \parallel + k_a; \quad \frac{a_{S_2}}{ab} = \frac{AS_2}{AB}; \quad a_{S_2} = \frac{AS_2}{AB} \cdot ab = \frac{75}{150} \cdot 46.9 = 23.45 \text{ мм.}$$

$$a_{S_1A} = z_{S_1A} \cdot k_a = 23.45 \cdot 2 = 46.9 \text{ м/с}^2;$$

$$a_{S_1} = z_{S_1} \cdot k_a = 87.3 \cdot 2 = 174.6 \text{ м/с}^2.$$

$$\frac{a_{CA}}{a_{BA}} = \frac{AC}{AB} \parallel + k_a; \quad \frac{a_C}{ab} = \frac{AC}{AB}; \quad a_C = \frac{AC}{AB} \cdot ab = \frac{34.2}{150} \cdot 46.9 = 10.7 \text{ мм.}$$

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

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

$$\varepsilon_2 = \frac{a_{BA}^n}{l_{BA}} = \frac{27.8}{0.75} = 119.5 \text{ с}^{-2}.$$

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

// AB

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

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

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

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

$$a_{S_1} = a_D = 121 \text{ м/с}^2.$$

Определение радиусов кривизны траекторий точек.

Для положения 10.

$$\rho_{S_1} = \frac{V_{S_1}^2}{a_{S_1}^n} = \frac{5.25^2}{92} = 0.300 \text{ м};$$

$$a_{S_1}^n = z_{S_1}^n \cdot k_a = 46 \cdot 2 = 92 \text{ м/с}^2;$$

$$\rho_{S_1} = \frac{\rho_{S_1}}{k_t} = \frac{0.300}{0.005} = 60 \text{ мм.}$$

Для положения 12.

$$\rho_{S_1} = \frac{V_{S_1}^2}{a_{S_1}^n} = \frac{3.65^2}{141} = 0.094 \text{ м};$$

$$a_{S_1}^n = z_{S_1}^n \cdot k_a = 70.5 \cdot 2 = 141 \text{ м/с}^2;$$

$$\rho_{S_1} = \frac{\rho_{S_1}}{k_t} = \frac{0.094}{0.005} = 18.8 \text{ мм.}$$

1.4. Силовой анализ.

Для положения 12.

$$R_2 = m_2 \cdot a_{s_2} = 30 \cdot 174.6 = 5238H;$$

$$G_2 = m_2 \cdot g = 30 \cdot 9.8 = 294H;$$

$$H_2 = \frac{J_2 \cdot \varepsilon_2}{m_2 \cdot a_{s_2}} = \frac{2.5 \cdot 119.5}{30 \cdot 174.6} = 0.057m;$$

$$h_2 = \frac{H_2}{k_2} = \frac{0.057}{0.005} = 11.4mm.$$

$$R_3 = m_3 \cdot a_B = 8 \cdot 177.8 = 1422H;$$

$$G_3 = m_3 \cdot g = 8 \cdot 9.8 = 78.4H;$$

$$R_4 = m_4 \cdot a_D = 5 \cdot 121 = 605H;$$

$$G_4 = m_4 \cdot g = 5 \cdot 9.8 = 49H.$$

$$R_5 = m_5 \cdot a_{s_5} = 35 \cdot 121 = 4235H;$$

$$G_5 = m_5 \cdot g = 35 \cdot 9.8 = 343H.$$

$\sum M_f$ (для звеньев 4 и 5):

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

$$N_E = \frac{R_4 \cdot fF + R_5 \cdot fF + G_4 \cdot Ff + G_5 \cdot Ff}{n_f}$$

$$= \frac{605 \cdot 9.9 + 4235 \cdot 9.9 + 49 \cdot 9.9 + 343 \cdot 9.9}{60} = 863H.$$

$\sum M_e$ (для звеньев 4 и 5):

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

$$N_F = \frac{R_4 \cdot eE + R_5 \cdot eE + G_4 \cdot eE + G_5 \cdot eE}{f'e}$$

$$= \frac{605 \cdot 3.9 + 4235 \cdot 3.9 + 49 \cdot 3.9 + 343 \cdot 3.9}{60} = 340H.$$

$\sum M_f$ (для звеньев 4 и 5):

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

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

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

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

$\sum M_s$ (для звеньев 2 и 3):

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

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

$$= \frac{5238 \cdot 14.5 + 1422 \cdot 14 + 294 \cdot 74.6 + 78.4 \cdot 149.1 + 5284 \cdot 34.2}{150} = 20688 \text{ Н}$$

$$k_Q = 50 \text{ Н / мм}$$

$$\bar{R}_2 + \bar{R}_3 = \bar{N}_2 + \bar{N}_3 + \bar{G}_2 + \bar{G}_3 + \bar{Q}_{2,3}$$

$$Q_{2,3} = y_{Q_{2,3}} \cdot k_Q = 171.4 \cdot 50 = 8570 \text{ Н}$$

$$\bar{Q}_{1,4} = -\bar{Q}_{2,3} (Q_{1,4} = Q_{2,3} = 8570 \text{ Н})$$

$$\bar{R}_1 = \bar{Q}_{1,4} + \bar{Q}_{1,6} (R_1 = 0)$$

$$\bar{Q}_{1,6} = -\bar{Q}_{1,4} (Q_{1,6} = Q_{1,4} = 8570 \text{ Н})$$

$$M_1 = Q_{1,4} \cdot oa \cdot k_i = 8570 \cdot 2.7 \cdot 0.005 = 115.7 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Определение момента M_1 с помощью рычага Жуковского.

$$R_2 \cdot r_2 o + R_3 \cdot bo - R_4 \cdot do - R_5 \cdot s_2 o = G_2 \cdot g_2 o + G_3 \cdot 0 + G_4 \cdot do + G_5 \cdot s_2 o - P_5 \cdot oa$$

$$P_5 = \frac{-R_2 \cdot r_2 o - R_3 \cdot bo + R_4 \cdot do + R_5 \cdot s_2 o + G_2 \cdot g_2 o + G_3 \cdot 0 + G_4 \cdot do + G_5 \cdot s_2 o}{oa} =$$

$$= \frac{-5238 \cdot 24 - 1422 \cdot 41.1 + 605 \cdot 43.9 + 4235 \cdot 43.9 + 294 \cdot 30.3 + 78.4 \cdot 0 + 49 \cdot 43.9 + 343 \cdot 43.9}{70} = 777.7 \text{ Н}$$

$$M_1 = P_5 \cdot l_{ox} = 777.7 \cdot 0.15 = 116.7 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

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

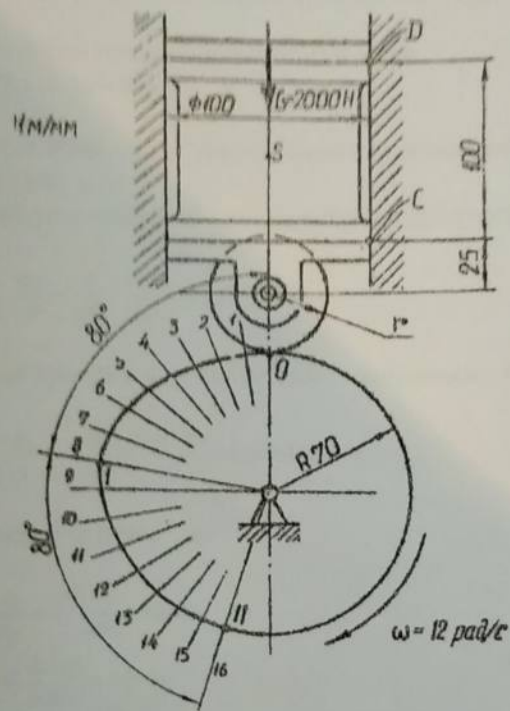


Рисунок 2.1 – Схема механизма.

$$k_z = 0.001 \text{ м/мм};$$

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

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 прямоугольника:

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

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

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

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.

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

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

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

$$e = 0 \text{ м,}$$

$$\delta_0 = 26^\circ,$$

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

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

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

Построение профиля кулачка.

$$r = 0.027 \text{ м, } R_r = \frac{r}{k_\lambda} = \frac{0.027}{0.001} = 27 \text{ мм,}$$

$$r_0 = 0.070 \text{ м, } R_0 = \frac{r_0}{k_\lambda} = \frac{0.070}{0.001} = 70 \text{ мм.}$$

2.3. Кинематический и силовой анализы.

Рассмотрим положение 2.

Определяем скорость толкателя.

$$V_A = \omega \cdot OA \cdot k_\lambda = 12 \cdot 111 \cdot 0.001 = 1.33 \text{ м/с,}$$

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

$$\vec{V}_A = \vec{V}_A + \vec{V}_{AM}, \quad V_{AM} = ba \cdot k_v = 63.4 \cdot 0.02 = 1.27 \text{ м/с,}$$

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

Определяем ускорение толкателя:

$$a_\lambda = \omega^2 \cdot OA \cdot k_\lambda = 12^2 \cdot 111 \cdot 0.001 = 16 \text{ м/с}^2;$$

$$k_1 = \frac{0.1}{16} = 0.00625 \text{ m/s}^2$$

$$k_2 = \frac{0.1 + 0.1}{1.27} = \frac{0.2}{1.27} = 0.15748 \text{ m/s}^2$$

$$m_1 = 1.01 \text{ kg}, \quad k_1 = \frac{0.1}{1.01} = 0.099 \text{ m/s}^2$$

$$m_2 = 30.3 \text{ kg}, \quad k_2 = \frac{0.25}{30.3} = 0.00825 \text{ m/s}^2$$

$$m_3 = 33 \text{ kg}, \quad k_3 = \frac{0.25}{33} = 0.00758 \text{ m/s}^2$$

(Impulsionsen sind)

$$p = \text{arctg}(0.25) = 14^\circ$$

$$\sum M_1 = -G_1 \cdot x \cdot \sin \theta + G_2 \cdot l \cdot \cos \theta = 0$$

$$\text{mit } G_1 \cdot x \cdot \sin \theta = G_2 \cdot l \cdot \cos \theta$$

$$\sum M_2 = -G_2 \cdot (x+l) \cdot \sin \theta + G_1 \cdot l \cdot \cos \theta = 0$$

$$\text{mit } G_2 \cdot (x+l) \cdot \sin \theta = G_1 \cdot l \cdot \cos \theta$$

$$\frac{l}{G_1 \cdot \sin \theta} = \frac{x}{G_2 \cdot \cos \theta} = \frac{l}{x+l}$$

$$x = \frac{G_1 \cdot l}{G_2} = \frac{1633 \cdot 0.2}{9.8} = 33.2 \text{ m}$$

$$x = \frac{G_1 + G_2}{G_2} \cdot \frac{2000 + 1633}{337.5} = 10.8 \text{ m/ann}$$

$$G_1 = (G_2) \cdot x = 382 \cdot 10.8 = 4126 \text{ H}$$

$$G_1 = (G_2) \cdot x = 116 \cdot 10.8 = 1253 \text{ H}$$

$$G_1 = (G_2) \cdot x = 12.9 \cdot 10.8 = 139 \text{ H}$$

$$(x) = \frac{x}{10.8} = \frac{1633}{317 \text{ mm}}$$

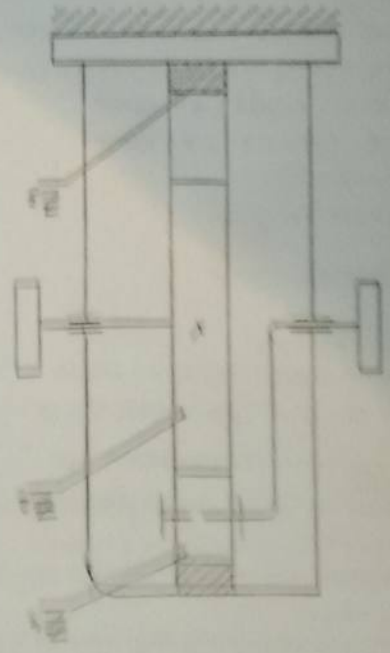


Рисунок 3.1 – Схема механизма.

$n_{1,2} = 1,31;$

$m = 6\text{MM};$

$\alpha = 20^\circ;$

$h_2 = m;$

$h_1 = 1,25m;$

маштаб: 5:1;

обработка долјаком;

$z_2 = 19;$

зацепление внутреннее.

3.2. Расчет параметров.

Определяем наименьшее число колес.

$$d_a = m \cdot z_a = 6 \cdot 19 = 114 \text{ мм}$$

Определяем диаметр начальной окружности *подборка* $z_1 = 16$.

$$d_{a0} = d_a + 2 \cdot h_a = d_a + 2 \cdot h_f = 114 + 2 \cdot 1.25 \cdot 6 = 129 \text{ мм}$$

Находим наименьшее число зубьев *меньше* $z_2 = 21$.

$$z_2 = \frac{2 \cdot O_d P}{m} = \frac{2 \cdot 48.8}{6} = 16.3. \text{ Принимаем } z_2 = 21.$$

$$z_1 = u_{12} \cdot z_2 = 1.31 \cdot 16 = 20.96. \text{ Принимаем } z_1 = 21.$$

Определяем число зубьев *зубчатого венца*.

$$z_3 = 2 \cdot z_1 + z_2 = 2 \cdot 21 + 21 = 53.$$

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.

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

Из условия сборки найдем возможное число сателлитов $n_s = 6$.

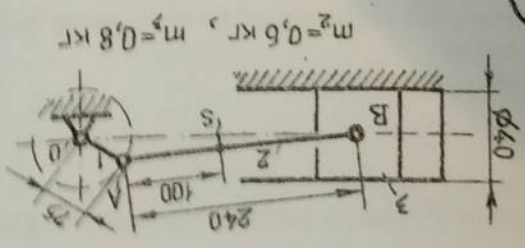
Ожидаемых сателлитов.

$$n_s = 2 \cdot (z_2 + z_1) = 2 \cdot (21 + 16) = 2 \cdot 37 = 2 \cdot 37.$$

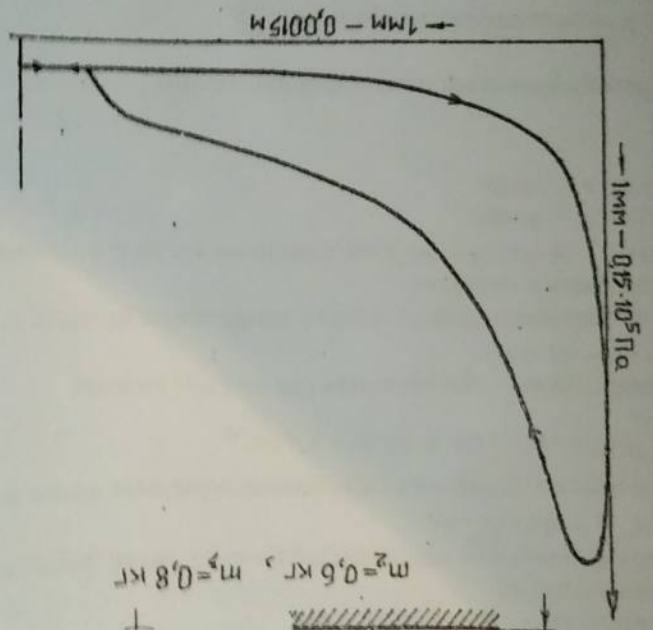
Следовательно, на основании этих данных, планетарный механизм имеет 2 симметрично расположенных сателлита.

4. РАСЧЕТ МАХОВИКА
4.1. Задание на проектирование

Одноцилиндровый горизонтальный двухтактный двигатель.



$m_2 = 0,6 \text{ кг}$, $m_3 = 0,8 \text{ кг}$



$n = 1000 \text{ мин}^{-1}$

$\lambda = 1/150$

4.2. Построение положений механизма.

Определим 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:

$$V_B = \omega_B \cdot k_B$$

Для построения ускорения точки В используется формула:

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

$$\lambda = \frac{l}{r} = 0.3125$$

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:

$$y''_B = \frac{a_B}{k_a} = O_4A \cdot \cos \alpha + O_4B \cdot \lambda \cdot \cos 2\alpha = y''_{B1} + y''_{B2}$$

Первый отрезок - это проекция O_4A на O_4y, то есть:

$$y''_{B1} = aO = O_4A \cdot \cos \alpha$$

Для определения второго отрезка необходимо из точки O как из центра

места окружность радиуса

$$r = O_4A \cdot \lambda = 50 \cdot 0.3125 = 15.625 \text{ мм}, \text{ а затем из точки C опустить на } O_4y$$

перпендикуляр C_0, тогда:

$$y''_{B2} = CC_0 = r \cdot \cos 2\alpha$$

4.3. Вычерчивание индикаторной диаграммы.

Сила P определяется из выражения:

$$P = P_1 - P_2$$

$P_1 = P_1 \cdot \frac{1}{B^2 \cdot x \cdot D^2}$ - давление на поршень слева;

$P_2 = P_2 \cdot \frac{1}{B^2 \cdot x \cdot D^2}$ - давление на поршень справа;

$P_1 = k_1 \cdot z_1$ - давление в левой полости;

Постоянные эти выражения в первую очередь формулы получать зависимость для

изменения силы P в окончательном виде:

$$P = \frac{1}{B^2 \cdot x \cdot D^2} \cdot \frac{1}{B^2 \cdot x \cdot D^2} = \frac{1}{B^4 \cdot x^2 \cdot D^4}$$

$$z_1 = k_1 \cdot \frac{1}{x \cdot D^2} - 10^5 \cdot \frac{1}{x \cdot D^2}$$

$$z_2 = \frac{K}{D}$$

$$K = 20 \text{ H / мм}$$

$P_0 = 108 \text{ SH}$	$Z_0 = 54,3 \text{ мм}$	$P_{11} = 49 \text{ H}$	$Z_{11} = 2,5 \text{ мм}$
$P_1 = 157 \text{ SH}$	$Z_1 = 78,8 \text{ мм}$	$P_{12} = 49 \text{ H}$	$Z_{12} = 2,5 \text{ мм}$
$P_2 = 143 \text{ SH}$	$Z_2 = 72,0 \text{ мм}$	$P_{13} = 49 \text{ H}$	$Z_{13} = 2,5 \text{ мм}$
$P_3 = 88 \text{ SH}$	$Z_3 = 44,1 \text{ мм}$	$P_{14} = 49 \text{ H}$	$Z_{14} = 2,5 \text{ мм}$
$P_4 = 52 \text{ SH}$	$Z_4 = 26,0 \text{ мм}$	$P_{15} = 49 \text{ H}$	$Z_{15} = 2,5 \text{ мм}$
$P_5 = 35 \text{ SH}$	$Z_5 = 17,5 \text{ мм}$	$P_{16} = 49 \text{ H}$	$Z_{16} = 2,5 \text{ мм}$
$P_6 = 24 \text{ SH}$	$Z_6 = 12,4 \text{ мм}$	$P_{17} = 49 \text{ H}$	$Z_{17} = 2,5 \text{ мм}$
$P_7 = 17 \text{ SH}$	$Z_7 = 8,7 \text{ мм}$	$P_{18} = 49 \text{ H}$	$Z_{18} = 2,5 \text{ мм}$
$P_8 = 11 \text{ SH}$	$Z_8 = 5,9 \text{ мм}$	$P_{19} = 49 \text{ H}$	$Z_{19} = 2,5 \text{ мм}$
$P_9 = 49 \text{ H}$	$Z_9 = 2,5 \text{ мм}$	$P_{20} = 108 \text{ H}$	$Z_{20} = 5,4 \text{ мм}$
$P_{10} = 49 \text{ H}$	$Z_{10} = 2,5 \text{ мм}$	$P_{21} = 239 \text{ H}$	$Z_{21} = 12,0 \text{ мм}$
$P_{11} = 49 \text{ H}$	$Z_{11} = 2,5 \text{ мм}$	$P_{22} = 581 \text{ H}$	$Z_{22} = 29,1 \text{ мм}$

После того определим силу Q графическим способом, для чего нам обозначим:

$$\cos \beta = \frac{m}{K} \cdot \frac{K}{K}$$

$$z_2 = y' \cdot \cos \beta$$

$$m = m_1 + m_2 = \frac{SA}{100} = 0,8 + 0,6 = 1,4 \text{ мм}$$

$$z_0 = \frac{K}{O} = z_1 - z_2$$

$$\beta = \arcsin \left(\frac{m}{K} \right) = \arcsin \left(\frac{1,05}{16,4} \right) = 3,7^\circ$$

4.4. Построение графика моментов

Сначала строится график $M_{оп}$ по формуле:

$$M_{оп} = Q \cdot \frac{L}{L} - Q \cdot \frac{L}{L} = K \cdot r \cdot z_0 \cdot \frac{L}{L}$$

Момент момента определяется по формуле:

$$K \cdot r = 20 \cdot 0,075 = 1,5 \text{ H / мм}$$

Момент утя порога:

$$K \cdot r = \frac{r}{2 \cdot K} = \frac{240}{2 \cdot 14} = 0,026 \text{ мм / мм}$$

Подсчитаем отрезок $y_{\text{ср}}^i$ для всех положений:

$y_0^{\text{ср}} = 0,0 \text{ мм};$	$y_6^{\text{ср}} = 25,8 \text{ мм};$	$y_{12}^{\text{ср}} = 0,0 \text{ мм};$	$y_{18}^{\text{ср}} = 11,4 \text{ мм};$
$y_1^{\text{ср}} = 8,2 \text{ мм};$	$y_7^{\text{ср}} = 28,7 \text{ мм};$	$y_{13}^{\text{ср}} = -5,8 \text{ мм};$	$y_{19}^{\text{ср}} = 0,2 \text{ мм};$
$y_2^{\text{ср}} = 16,5 \text{ мм};$	$y_8^{\text{ср}} = 26,0 \text{ мм};$	$y_{14}^{\text{ср}} = -11,5 \text{ мм};$	$y_{20}^{\text{ср}} = 12,5 \text{ мм};$
$y_3^{\text{ср}} = 11,1 \text{ мм};$	$y_9^{\text{ср}} = 17,0 \text{ мм};$	$y_{15}^{\text{ср}} = -11,5 \text{ мм};$	$y_{21}^{\text{ср}} = 20,3 \text{ мм};$
$y_4^{\text{ср}} = 11,1 \text{ мм};$	$y_{10}^{\text{ср}} = 17,0 \text{ мм};$	$y_{16}^{\text{ср}} = -17,0 \text{ мм};$	$y_{22}^{\text{ср}} = 18,9 \text{ мм};$
$y_5^{\text{ср}} = 10,6 \text{ мм};$	$y_{11}^{\text{ср}} = 11,5 \text{ мм};$	$y_{17}^{\text{ср}} = -20,0 \text{ мм};$	$y_{23}^{\text{ср}} = 7,3 \text{ мм};$
$y_{11}^{\text{ср}} = 18,4 \text{ мм};$	$y_{18}^{\text{ср}} = 5,8 \text{ мм};$	$y_{24}^{\text{ср}} = 18,5 \text{ мм};$	

Затем строим график $M_{\text{ан}} = f_i(\alpha)$. Для этого определяем отрезок: $y_{\text{ан}} = \frac{M_{\text{ан}}}{k_n} = \frac{a}{f} = \frac{240}{1566} = 6,5 \text{ мм}.$

Результатирующий момент $M_R = M_{\text{ан}} + M_{\text{ср}}$ или $y_R = y_{\text{ан}} + y_{\text{ср}}.$

4.5. Определение индикаторной мощности.

Индикаторная мощность определяется по формуле:

$$N = \frac{M \cdot n}{9740} = \frac{k_n \cdot y_{\text{ан}} \cdot n}{9740} = \frac{1,5 \cdot 6,5 \cdot 1000}{9740} = 1 \text{ кВт}.$$

Момент инерции вращающегося звена (кривошипа) вычисляется по формуле:

$$J = \frac{k_n \cdot k_s \cdot f_s \cdot \omega_s^2 \cdot \delta}{1,5 \cdot 0,026 \cdot 1096} = \frac{104,7^2 \cdot \frac{1}{150}}{0,6 \text{ кг} \cdot \text{м}^2}.$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

В процессе проектирования мы приобрели умение пользоваться вычислительной техникой, табличными материалами, номограммами, справочной и другой литературой. А также усвоили основные навыки, правила, приемы ступенчатого, кинематического и динамического анализа механизмов и их синтеза. В конечном итоге, мы приобрели опыт оформления как конструкторских и технологических расчетов и работ, так и защиты проекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шитиков Б.В. Основы теории механизмов. Владыск V. Издание II. Казань 1970 г.
2. Артоболевский Иш. Теория механизмов. Издание II. Изд-во: «Наука». Москва 1967 г.
3. Методические указания к курсовому проекту по «Теории механизмов и машин». Часть I. КСХИ. Казань 1991 г.
4. Методические указания к курсовому проекту по «Теории механизмов и машин». Часть I. КСХИ. Казань 1991 г.
5. Методические указания к курсовому проекту по «Теории механизмов и машин». Часть II. КСХИ. Казань 1991 г.
6. Методические указания к курсовому проекту по «Теории механизмов и машин». Часть III. КСХИ. Казань 1991 г.
7. Методические указания к курсовому проекту по «Теории механизмов и машин». Часть IV. КСХИ. Казань 1991 г.