


Казанский государственный аграрный университет

0711


Кафедра ОИД

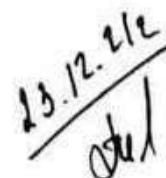
Пояснительная записка к курсовому проекту
по ТММ

Выполнил: студент группы Б201-01


Волкова А.П.

Проверил: доцент Гургенидзе З.Д.

Казань 2021

23.12.21


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 Исходные данные

№ звена	1	2	3	4	5
Название	Кривошип	Шатун	Балансир	Кулиса	Ползун
Масса, кг	-	$m_2=20$	$m_3=30$	$m_4=15$	-
Момент инерции кгм ²	-	$J_2=1,8$	$J_3=2,0$	$J_4=1,0$	-

Масштаб длины $K_L=0,005$ м/мм

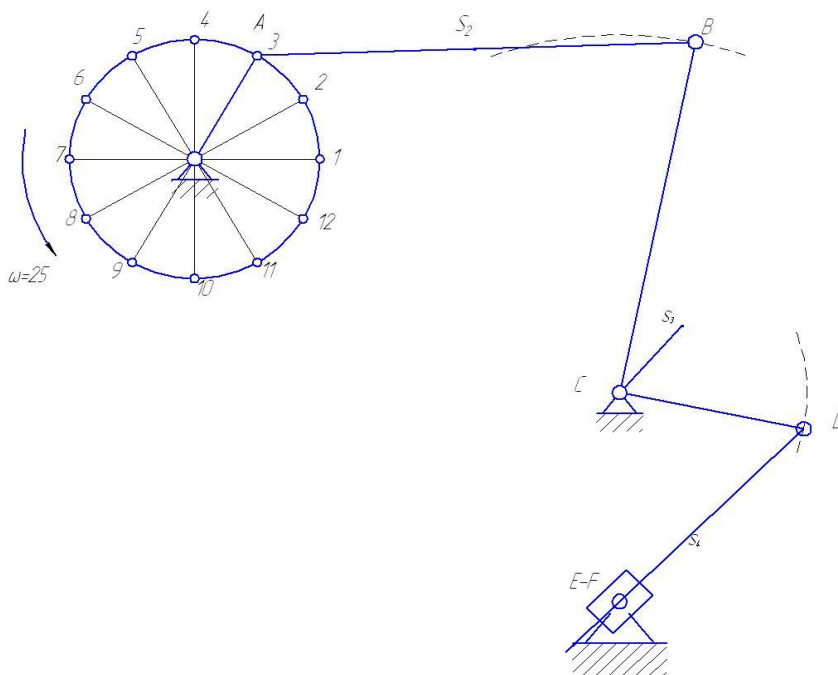


Рисунок 1.1 – схема механизма

1.2 Построение планов скоростей и ускорений

На рисунке представлена схема механизма, начерченная в масштабе K_L (м/мм). Пусть кривошип I этого механизма вращается с постоянной угловой скоростью ω_1 , (рад/с). Требуется определить скорости и ускорения точек, угловые скорости и ускорения звеньев механизма.

Величина скорости точки A (м/с) определяется по формуле,

$$V_A = \omega_1 \cdot l_1 = 0,2 \cdot 25 = 5 \text{ м/с}$$

где $l_1 = OA \cdot K_L$ - длина кривошипа, м; OA - отрезок на чертеже (мм), изображающий в масштабе K_L длину кривошипа. Направление скорости по касательной к траектории точки A в сторону угловой скорости.

Затем определяется скорость точки B, которую можно рассматривать как состоящую из переносной скорости V_A и относительной V_{BA} т-е.

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

В этом уравнении известны величины и направление \vec{V}_A , а также направление \vec{V}_B ($\vec{V}_B \perp BC$) и \vec{V}_{BA} ($\vec{V}_{BA} \perp AB$)

Для определения неизвестных строится план скоростей. Подсчитывается масштаб скорости (м/с мм)

$$K_V = \frac{V_A}{Oa} = \frac{5}{70} = 0,07 \text{ м/с мм}$$

где Oa - отрезок, изображающий на чертеже скорость V_A . (по заданию $Oa = 70$ мм).

Из произвольно взятой на чертеже точки O откладывается от резок Oa перпендикулярно OA . Через точку a , проводится прямая перпендикулярно AB , а через точку O - прямая перпендикулярно BC . Полученная от пересечения этих прямых точка v определяет длины отрезков Ov и av , которые изображают на чертеже скорости \vec{V}_B и \vec{V}_{BA}

Величины этих скоростей (м/с)

$$\vec{V}_B = ov \cdot K_V = 61 \cdot 0,07 = 4,27 \text{ м/с}$$

$$V_{BA} = av \cdot K_V = 23 \cdot 0,07 = 1,61 \text{ м/с}$$

Скорость точки D определяется из уравнения

$$\vec{V}_D = \vec{V}_E + \vec{V}_{DE}$$

Величина скорости \vec{V}_D находится из пропорции

$$\frac{\vec{V}_D}{\vec{V}_B} = \frac{DC}{BC} \text{ и, следовательно,}$$

$$\vec{V}_D = \vec{V}_B \frac{DC}{BC} = 4,27 \cdot \frac{0,3}{0,6} = 2,13 \text{ м/с}$$

Из уравнения известны величины и направление \vec{V}_D , а также направление \vec{V}_E ($\vec{V}_E \parallel ED$) и \vec{V}_{DE} ($\vec{V}_{DE} \perp DE$)

$$\vec{V}_E = oe \cdot K_V = 25,3 \cdot 0,07 = 1,77 \text{ м/с}$$

$$\vec{V}_{DE} = de \cdot K_V = 16,9 \cdot 0,07 = 1,183 \text{ м/с}$$

Скорость точки S_2 определяется из уравнения

$$\vec{V}_{S_2} = \vec{V}_B + \vec{V}_{S_2B}$$

Величина скорости \vec{V}_{S_2B} находится из пропорции

$$\frac{\vec{V}_{S_2B}}{\vec{V}_{BA}} = \frac{S_2B}{BA} \text{ и, следовательно}$$

$$\vec{V}_{S_2B} = V_{BA} \cdot \frac{S_2B}{BA} = 1,61 \cdot \frac{1}{2} = 0,805 \text{ м/с}$$

$$\vec{V}_{S_2} = s_2b \cdot K_V = 64,7 \cdot 0,07 = 4,529 \text{ м/с}$$

Величина скорости S_3 находится из пропорции

$$\frac{\vec{V}_{S_3}}{\vec{V}_B} = \frac{S_3C}{BC} \text{ и, следовательно,}$$

$$\vec{V}_{S_3} = \vec{V}_B \frac{S_3C}{BC} = 4,27 \cdot \frac{0,15}{0,6} = 1,0675 \text{ м/с}$$

Скорость точки S_4 определяется из уравнения

$$\vec{V}_{S_4} = \vec{V}_D + \vec{V}_{S_4D}$$

Величина скорости \vec{V}_{S_4D} находится из пропорции

$$\frac{\vec{V}_{S_4D}}{\vec{V}_{DE}} = \frac{S_4D}{DE} \text{ и, следовательно,}$$

$$\vec{V}_{S_4D} = \vec{V}_{DE} \frac{S_4D}{DE} = 1,183 \cdot \frac{0,25}{0,412} = 0,71m/c$$

$$\vec{V}_{S_4} = s_4 \cdot \omega \cdot K_V = 26 \cdot 0,07 = 1,82m/c$$

Угловые скорости звеньев (рад/с): шатуна, балансира, и кулисы соответственно

$$\omega_2 = \frac{V_{BA}}{l_{BA}} = \frac{1,61}{0,7} = 2,3c^{-1}$$

$$\omega_3 = \frac{V_B}{l_3} = \frac{4,27}{0,6} = 7,11c^{-1}$$

$$\omega_{4,5} = \frac{V_{ED}}{l_{ED}} = \frac{1,183}{0,412} = 2,87c^{-1}$$

Таблица 1.1 Значения скоростей 12 положений

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
\vec{V}_B	1,46	2,16	4,27	4,9	4,36	2,99	1,22	0	2,48	4,44	5,89	5,04
\vec{V}_{BA}	5,56	3,57	1,61	0,18	1,88	3,49	4,63	0	3,68	0,93	3,02	5,88
\vec{V}_D	0,73	1,07	2,13	2,45	2,18	1,49	0,61	0	1,24	2,22	2,95	2,52
\vec{V}_E	0,64	0,94	1,77	1,89	1,54	0,98	0,38	0	0,79	1,53	2,25	2,11
\vec{V}_{DE}	0,35	0,53	1,18	1,56	1,54	1,13	0,48	0	0,95	1,6	1,9	1,38
\vec{V}_{S_2}	2,31	3,34	4,52	4,9	4,54	3,66	2,72	2,45	3,42	4,65	5,2	4,01
\vec{V}_{S_3}	0,36	0,54	1,07	1,23	1,09	0,75	0,31	0	0,62	1,1	1,47	1,26
\vec{V}_{S_4}	0,66	0,96	1,82	0,56	1,64	1,05	0,41	0	0,86	1,63	2,41	2,16
\vec{V}_{S_2B}	2,8	1,79	0,85	0,09	0,94	1,74	2,32	0	1,84	0,46	1,51	2,94
\vec{V}_{S_4D}	0,21	0,35	0,71	1,03	0,98	0,73	0,32	0	0,62	1,06	0,98	0,91
ω_2	2,1	3,1	2,3	7,0	6,2	4,3	1,7	0	3,5	6,3	8,4	7,2
ω_3	9,3	6,0	7,1	0,3	3,1	5,8	7,7	0	6,1	1,6	5,0	9,8
$\omega_{4,5}$	0,9	1,4	2,87	3,4	3,1	2,2	0,9	0,0	1,8	3,2	4,2	3,4

Перейдем к определению ускорений. Ускорение точки А находится по формуле (м/с²)

$$a_A = a_A^n = \omega_1^2 \cdot l_1 = 25^2 \cdot 0,2 = 125m/c^2$$

Ускорение точки В определяется из уравнения

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

Поскольку точка В движется по дуге, то ускорение a_B будет состоять из нормальной a_B^n и тангенциальной a_B^τ составляющих, т.е.

$$a_B = a_B^n + a_B^\tau$$

поэтому окончательно будем иметь

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

Где $a_B^\tau \perp BC$ и $a_{BA}^n \perp AB$; составляющая a_B^n направлена по балансиру ВС от точки В к С и составляющая a_{BA}^n по шатуну ВА от точки В к А

Ускорения a_B^n и a_{BA}^n вычисляются по формулам (м/с²)

$$a_B^n = \frac{V_B^2}{l_3} = \frac{4,27^2}{0,6} = 30,3 \text{ м/с}^2$$

$$a_{BA}^n = \frac{V_{BA}^2}{l_2} = \frac{1,61^2}{0,7} = 3,7 \text{ м/с}^2$$

Для решения уравнений выбираем масштаб:

$$K_a = \frac{K_V^2}{K_L} = \frac{0,07^2}{0,005} = 0,98 \text{ м/с}^2 \cdot \text{мм}$$

Вычисляем отрезки

$$Z_A = \frac{a_A}{K_a} = \frac{125}{0,98} = 127,5 \text{ мм}$$

$$Z_{BA}^n = \frac{a_{BA}^n}{K_a} = \frac{3,7}{0,98} = 3,8 \text{ мм}$$

$$Z_B^n = \frac{a_B^n}{K_a} = \frac{30,3}{0,98} = 30,9 \text{ мм}$$

Определим численное значение тангенциальных ускорений

$$a_B^\tau = Z_B^\tau \cdot K_a = 65,6 \cdot 0,98 = 64,2 \text{ м/с}^2$$

$$a_{BA}^\tau = Z_{BA}^\tau \cdot K_a = 93,5 \cdot 0,98 = 91,6 \text{ м/с}^2$$

$$a_B = Z_B \cdot K_a = 72,5 \cdot 0,98 = 71,05 \text{ м/с}^2$$

$$a_{BA} = Z_{BA} \cdot K_a = 93,5 \cdot 0,98 = 91,6 \text{ м/с}^2$$

Ускорение точки D находится из пропорции

$$\frac{a_D}{a_B} = \frac{DC}{BC} \text{ и, следовательно,}$$

$$a_D = a_B \frac{DC}{BC} = 71,05 \cdot \frac{0,3}{0,6} = 35,5 \text{ м/с}^2$$

Теперь найдем ускорение точки E, принадлежащей кулисе 4 и совпадающей в данный момент с неподвижной точкой F, для чего запишем два уравнения

$$\begin{cases} a_E = a_D + a_{ED}^n + a_{ED}^\tau \\ a_E = a_F + a_{EF} + a_{кор} = a_{кор} + a_{EF} \end{cases}$$

Значения составляющих a_{ED}^n и ускорения $a_{кор}$ определяются по формулам

$$a_{ED}^n = \frac{V_{ED}^2}{l_{ED}} = \frac{1,183^2}{0,412} = 3,45 \text{ м/с}^2$$

$$a_{кор} = 2 \cdot \omega_5 \cdot V_{EF} = 2 \cdot 2,88 \cdot 1,75 = 10,08 \text{ м/с}^2$$

Найдем длины отрезков

$$Z_{ED}^n = \frac{a_{ED}^n}{K_a} = \frac{3,45}{0,98} = 3,5 \text{ мм}$$

$$Z_{кор} = \frac{a_{кор}}{K_a} = \frac{10,08}{0,98} = 10,28 \text{ мм}$$

Определим численное значение ускорений

$$a_{ED}^\tau = Z_{ED}^\tau \cdot K_a = 20,8 \cdot 0,98 = 20,3 \text{ м/с}^2$$

$$a_{ED} = Z_{ED} \cdot K_a = 21 \cdot 0,98 = 20,5 \text{ м/с}^2$$

Ускорение точки S₂ определяется из уравнения

$$a_B = a_{S_2} + a_{BS_2}$$

Где ускорение a_{BS_2} определяется из пропорции

$$\frac{a_{BS_2}}{a_{BA}} = \frac{BS_2}{BA} \text{ и, следовательно,}$$

$$a_{BS_2} = a_{BA} \frac{BS_2}{BA} = 91,6 \cdot \frac{1}{2} = 45,8 \text{ м/с}^2$$

$$a_{S_2} = Z_{S_2} \cdot K_a = 92,5 \cdot 0,98 = 90,65 \text{ м/с}^2$$

Величина ускорения S_3 находится из пропорции

$$\frac{a_{S_3}}{a_B} = \frac{S_3C}{BC} \text{ и, следовательно,}$$

$$a_{S_3} = a_B \frac{S_3C}{BC} = 71,05 \cdot \frac{0,15}{0,6} = 17,7 \text{ м/с}^2$$

ускорение точки S_4 определяется из уравнения

$$a_{S_4} = a_D + a_{S_4D}$$

Величина ускорения \vec{V}_{S_4D} находится из пропорции

$$\frac{a_{S_4D}}{a_{DE}} = \frac{S_4D}{DE} \text{ и, следовательно,}$$

$$a_{S_4D} = a_{DE} \frac{S_4D}{DE} = 20,5 \cdot \frac{0,25}{0,412} = 12,4 \text{ м/с}^2$$

$$a_{S_4} = Z_{S_4} \cdot K_a = 27,3 \cdot 0,98 = 26,7 \text{ м/с}^2$$

Угловые ускорения звеньев (рад/с²): шатуна, балансира и кулисы

$$\xi_2 = \frac{a_{BA}^{\tau}}{l_{BA}} = \frac{91,63}{0,7} = 130,9 \text{ с}^{-2}$$

$$\xi_3 = \frac{a_B}{l_3} = \frac{64,2}{0,6} = 107 \text{ с}^{-2}$$

$$\xi_2 = \frac{a_{DE}^{\tau}}{l_{DE}} = \frac{19,6}{0,41} = 47,8 \text{ с}^{-2}$$

1.3 Определение радиуса кривизны траектории точки

Найдем радиус кривизны траектории на примере точки S_2 . Он вычисляется по формуле

$$\rho_S = \frac{V_S^2}{a_S^n} = \frac{4,52}{83,8} = 0,05 \text{ м}$$

Чтобы показать центр кривизны, найдем отрезок (мм)

$$\rho'_S = \frac{\rho_S}{K_L} = \frac{0,05}{0,005} = 10 \text{ мм}$$

и отложим его от точки S_2 параллельно Z_S^n в сторону направления этого вектора.

1.4 Построение графиков скорости и ускорения

$$K_T = \frac{T}{A} = \frac{0,88}{120} = 0,007$$

$$K_\omega = \frac{K_V}{BC \cdot K_L} = \frac{0,07}{0,6 \cdot 0,005} = 23,3$$

$$K_\varphi = \frac{2\pi}{A} = \frac{2 \cdot 3,14}{120} = 0,05$$

$$K_a = \frac{K_V}{b \cdot K_T} = \frac{0,07}{20 \cdot 0,007} = 5$$

1.5 Определение сил в кинематических парах и внешнего момента, приложенного к кривошину

Определим главный вектор и главный момент сил, приложенных к каждому из звеньев, по формулам

$$R_2 = m_2 \cdot a_{S2} = 20 \cdot 90,65 = 1842,4H$$

$$R_3 = m_3 \cdot a_{S3} = 30 \cdot 35,28 = 1058,4H$$

$$R_4 = m_4 \cdot a_{S4} = 15 \cdot 20,58 = 309,7H$$

$$M_2 = J_2 \cdot \xi_{S2} = 1,8 \cdot 140,9 = 235,6Hm$$

$$M_3 = J_3 \cdot \xi_{S3} = 2 \cdot 107 = 214Hm$$

$$M_4 = J_4 \cdot \xi_{S4} = 1,8 \cdot 140,9 = 235,6Hm$$

а линия действия параллельна ускорения a_s и смещена от него на расстояние (м)

$$H_2 = \frac{J_2 \cdot \xi_{S2}}{m_2 \cdot a_{S2}} = \frac{235,6}{1842,4} = 0,127m$$

$$H_3 = \frac{J_3 \cdot \xi_{S3}}{m_3 \cdot a_{S3}} = \frac{214}{1058,4} = 0,202m$$

$$H_4 = \frac{J_4 \cdot \xi_{S4}}{m_4 \cdot a_{S4}} = \frac{47,8}{309,7} = 0,154m$$

в ту сторону, чтобы момент от равнодействующей относительно центра масс S совпадал с направлением углового ускорения ξ_s звена.

Это расстояние на схеме изображается отрезками (мм)

$$h_2 = \frac{H_2}{K_L} = \frac{0,127}{0,005} = 25,4mm$$

$$h_3 = \frac{H_3}{K_L} = \frac{0,202}{0,005} = 40,4mm$$

$$h_4 = \frac{H_4}{K_L} = \frac{0,154}{0,005} = 30,8mm$$

Найдем величину силы Q_{45} (Н). Для этого на основании теоремы Варииона составим относительно точки D (центра шарнира) уравнение моментов сил, приложенных к звену 4, считая моменты, действующие против часовой стрелки, и получим

$$R_4 \cdot Dr_4 = G_4 \cdot Dg_4 + Q_{45} \cdot ED$$

$$Q_{45} = \frac{1}{ED} \cdot (R_4 \cdot Dr_4 - G_4 \cdot Dg_4) = \frac{1}{82,4} (309,7 \cdot 0,97 - 147 \cdot 36) = -60,57H$$

Для определения силы Q_{42} составим векторное уравнение

$$R_4 = G_4 + Q_{45} + Q_{42}$$

масштаб $K=6H/мм$

Отсюда имеем

$$Q_{42} = Y_4 \cdot K = 70 \cdot 6 = 420H$$

$$Q_{34} = -Q_{42}$$

Рассмотрим совместно звенья 2 и 3.

Составляющую Q_{21}^r найдем из уравнения моментов относительно точки В сил, приложенных к звену 2, которое имеет вид

$$R_2 \cdot Br_2 = -Q_{21}^r \cdot BA + G_2 \cdot Bg_2$$

$$Q_{21}^r = \frac{1}{BA} (G_2 \cdot Bg_2 - R_2 \cdot Br_2) = \frac{1}{140} (196 \cdot 70 - 1842,4 \cdot 70) = -849,5H$$

Из уравнения моментов относительно точки В сил, приложенных к звену 3,

$$-R_3 \cdot Br_3 = G_3 \cdot Bg_3 - Q_{43} \cdot Bg_{43} - Q_{36}^r \cdot BC$$

$$Q_{36}^r = \frac{1}{BC} (R_3 \cdot Br_3 + G_3 \cdot Bg_3 - Q_{43} \cdot Bg_{43}) = \frac{1}{120} (1058,4 \cdot 52 + 294 \cdot 4 - 420 \cdot 57) = 268,9H$$

Для определения составляющих Q_{21}^n и Q_{36}^n составим уравнение сил, приложенных к звеньям 2 и 3

$$R_2 + R_3 = G_2 + Q_{21}^n + Q_{21}^r + G_3 + Q_{36}^n + Q_{36}^r + Q_{34}$$

Масштаб $20H/мм$

Из уравнения мы имеем

$$Q_{21} = Y_{21} \cdot K = 118 \cdot 20 = 2360H$$

$$Q_{21} = -Q_{12}$$

$$R_1 = Q_{12} + Q_{16}$$

$$M_1 = Q_{12} (Oa \cdot K_L) = 2360(40 \cdot 0,005) = 472Hм$$

1.6 Определение внешнего момента, приложенного к кривошипу, с помощью рычага Н.Е. Жуковского

Составим относительно точки О уравнение моментов

$$-R_2 \cdot Or_2 - R_3 \cdot Or_3 - R_4 \cdot Or_4 = G_2 \cdot Og_2 + G_3 \cdot Og_3 + G_4 \cdot Or_4 - P_y \cdot Op$$

$$P_y = \frac{1}{Op} (R_2 \cdot Or_2 + R_3 \cdot Or_3 + R_4 \cdot Or_4 + G_2 \cdot Og_2 + G_3 \cdot Og_3 + G_4 \cdot Or_4) = 2290H$$

$$M'_1 = P_y \cdot l_1 = P_y (Oa \cdot K_L) = 2290 \cdot (40 \cdot 0,005) = 458Hм$$

Определим относительную погрешность

$$\Delta M_1 = \frac{M'_1 - M_1}{M'_1} = \frac{458 - 472}{458} \cdot 100\% = 3\%$$

2. Кулачковый механизм

2.1 Исходные данные

Кулачек		Толкатель		
Участок	Угол поворота	Перемещение	Скорость	Ускорение
0 – 1	80	0...0,035м		Постоянная
1 – 2	20	0,035м	Нет	Нет
2 – 3	60	0,035...0м		Постоянная
3 - 4	200	Нет	Нет	Нет

$$m = 5,2 \text{ кг}$$

$$\mu = 0,25$$

$$K_L = 0,001 \text{ м/мм}$$

$$\delta_g = 28^\circ$$

2.2 Построение графиков ускорения, скорости и перемещения толкателя

Масштаб угла поворота (рад/мм)

$$K_\varphi = \frac{\pi}{180} \cdot \frac{\varphi_P}{A} = \frac{3,14}{180} \cdot \frac{160}{160} = 0,017$$

Масштаб времени (с/мм)

$$K_T = \frac{\pi \cdot \varphi_P}{180 \cdot A \cdot \omega} = \frac{K_\varphi}{\omega} = \frac{0,017}{20} = 0,00087$$

$$Y_m = \frac{S_m}{K_L} = \frac{0,035}{0,001} = 35$$

$$a = \frac{Y_{1m}^1 \cdot OC}{2 \cdot Y_m} = \frac{35 \cdot 35}{2 \cdot 35} = 17,5$$

Масштаб скорости и ускорения

$$K_V = \frac{K_L}{a \cdot K_T} = \frac{0,001}{17,5 \cdot 0,00087} = 0,065 \text{ м/с}$$

$$K_a = \frac{K_V}{b \cdot K_T} = \frac{0,065}{35 \cdot 0,00087} = 2,15 \text{ м/с}^2$$

2.3 Определение недостающих параметров механизма

$$Z_0 = \sqrt{\left(\frac{S' + e}{\text{tg} \delta_g} - S \right)^2 + e^2}$$

Где

$$S' = Y_{1m}' \cdot K_V' = 35 \cdot 0,00325 = 0,11375 \text{ м}$$

$$K_V' = \frac{K_V}{\omega} = \frac{0,065}{20} = 0,00325 \text{ м/мм}$$

$$e = -0,01 \text{ м}$$

$$\delta_g = 28^\circ$$

$$S = Y \cdot K_L = 79,3 \cdot 0,001 = 0,0793 \text{ м}$$

$$Z_0 = \sqrt{\left(\frac{0,11375 - 0,01}{\operatorname{tg} 28} - 0,0793\right)^2 + 0,01^2} = 0,09 \text{ м}$$

$$r = Z_0 - r_0 = 0,09 - 0,07 = 0,02 \text{ м}$$

Построение профиля кулачка

$$r = 0,02 \text{ м} \quad R_p = 20 \text{ мм}$$

$$r_0 = 0,07 \text{ м} \quad R_r = 70 \text{ мм}$$

$$e = 0,01 \text{ м} \quad R_e = 10 \text{ мм}$$

Кинематический и силовой анализ (4)

Определяем скорость толкателя

$$V_A = \omega \cdot OA \cdot K_L = 20 \cdot 82 \cdot 0,001 = 1,64 \text{ м/с}$$

$$K_V = \frac{V_A}{Oa} = \frac{1,64}{70} = 0,023 \text{ м/с мм}$$

$$V_B = V_A + V_{BA}$$

$$\vec{V}_B = \omega v \cdot K_V = 61 \cdot 0,023 = 1,42 \text{ м/с}$$

$$V_{BA} = \omega v \cdot K_V = 23 \cdot 0,023 = 1,61 \text{ м/с}$$

Определение ускорение толкателя

$$a_A = \omega^2 \cdot OA \cdot K_L = 20^2 \cdot 82 \cdot 0,001 = 32,8 \text{ м/с}^2$$

$$K_a = \frac{a_A}{Z_a} = \frac{32,8}{70} = 0,46 \text{ м/с}^2 \text{ мм}$$

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

$$a_{BA}^n = \frac{V_{BA}^2}{l_{BA}} = \frac{1,61}{0,082} = 31,6 \text{ м/с}^2$$

$$Z_{BA}^n = \frac{a_{BA}^n}{K_a} = \frac{31,6}{0,46} = 68,7 \text{ м/с}^2$$

$$a_B = \omega v \cdot K_a = 100 \cdot 0,46 = 46 \text{ м/с}^2$$

$$a_{BA}^{\tau} = \omega v \cdot K_a = 70 \cdot 0,46 = 32,2 \text{ м/с}^2$$

Определение сил

$$\varphi' = \operatorname{arctg} \mu = \operatorname{arctg} 0,25 = 14^\circ$$

$$\bar{R} = \bar{Q}_B + \bar{Q}_C + \bar{Q}_D + \bar{Q}_{np}$$

$$R = m \cdot a_B = 5,2 \cdot 46 = 239,2 \text{ Н}$$

$$Q_{np} = 595,5 \text{ Н}$$

$$K = \frac{Q_{np} - R}{OC} = \frac{595,5 - 239,2}{50,4} = 7 \text{ Н/мм}$$

$$Q_B = (Q_B) \cdot K = 91,5 \cdot 7 = 640,5 \text{ Н}$$

$$Q_C = (Q_C) \cdot K = 77,2 \cdot 7 = 540,4 \text{ Н}$$

$$Q_D = (Q_D) \cdot K = 22,6 \cdot 7 = 158,2 \text{ Н}$$

$$R = (R) / K = 239,2 / 7 = 34,2 \text{ мм}$$

Кинематический и силовой анализ (13)

Определяем скорость толкателя

$$V_A = \omega \cdot OA \cdot K_L = 20 \cdot 82 \cdot 0,001 = 1,64 \text{ м/с}$$

$$K_V = \frac{V_A}{Oa} = \frac{1,64}{70} = 0,023 \text{ м/с мм}$$

$$V_B = V_A + V_{BA}$$

$$\vec{V}_B = \omega v \cdot K_V = 69,5 \cdot 0,023 = 1,59 \text{ м/с}$$

$$V_{BA} = av \cdot K_V = 73,5 \cdot 0,023 = 1,69 \text{ м/с}$$

Определение ускорение толкателя

$$a_A = \omega^2 \cdot OA \cdot K_L = 20^2 \cdot 82 \cdot 0,001 = 32,8 \text{ м/с}^2$$

$$K_a = \frac{a_A}{Z_a} = \frac{32,8}{70} = 0,46 \text{ м/с}^2 \text{ мм}$$

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

$$a_{BA}^n = \frac{V_{BA}^2}{l_{BA}} = \frac{1,69}{0,082} = 31,6 \text{ м/с}^2$$

$$Z_{BA}^n = \frac{a_{BA}^n}{K_a} = \frac{31,6}{0,46} = 68,7 \text{ м/с}^2$$

$$a_B = \omega v \cdot K_a = 124,4 \cdot 0,46 = 57,2 \text{ м/с}^2$$

$$a_{BA} = av \cdot K_a = 69 \cdot 0,46 = 31,7 \text{ м/с}$$

Определение сил

$$\varphi' = \arctg \mu = \arctg 0,25 = 14^\circ$$

$$\bar{R} = \bar{Q}_B + \bar{Q}_C + \bar{Q}_D + \bar{Q}_{np}$$

$$R = m \cdot a_B = 5,2 \cdot 46 = 239,2 \text{ Н}$$

$$Q_{np} = 1000 \text{ Н}$$

$$K = \frac{Q_{np} - R}{OC} = \frac{1000 - 239,2}{89,6} = 8,4 \text{ Н/мм}$$

$$Q_B = (Q_B) \cdot K = 76 \cdot 8,4 = 638,4 \text{ Н}$$

$$Q_C = (Q_C) \cdot K = 71,3 \cdot 8,4 = 592,6 \text{ Н}$$

$$Q_D = (Q_D) \cdot K = 30 \cdot 8,4 = 252 \text{ Н}$$

$$R = (R) / K = 239,2 / 8,4 = 28,5 \text{ мм}$$

3. Механизм с зубчатыми колесами

3.1 Исходные данные

$U_{4/2} = Z_2 / Z_4$	Модуль m	Масштаб
1,15	3	10:1

1. обработка способом копирования
2. $\alpha = 20^0$
3. $h_a = m$
 $h_f = 1,25 \cdot m$
4. зацепление внешнее

Определение наименьших чисел зубьев колес

Пусть $d_4 = 200\text{мм}$ тогда диаметр начальной окружности большого колес

$$d_2 = U_{4/2} \cdot d_4 = 1,15 \cdot 200 = 230\text{мм}$$

Минимальное число зубьев меньшего колеса

$$Z_{4\min} = \frac{d_4}{h_a} = \frac{200}{1,57} = 12,7 \quad \text{принимаем } (Z_{4\min} = 13)$$

$$Z_{2\min} = U_{4/2} \cdot Z_{4\min} = 1,15 \cdot 13 = 15$$

Построение профилей зубьев

$$d_2 = m \cdot z_2 = 3 \cdot 15 = 45\text{мм}$$

$$d_4 = m \cdot z_3 = 3 \cdot 13 = 39\text{мм}$$

$$d_{a2} = d_2 + 2 \cdot h_a = 45 + 2 \cdot 3 = 51\text{мм}$$

$$d_{a4} = d_4 + 2 \cdot h_a = 39 + 2 \cdot 3 = 45\text{мм}$$

$$d_{f2} = d_2 - 2 \cdot h_f = 45 - 2 \cdot 1,25 \cdot 3 = 37,5\text{мм}$$

$$d_{f4} = d_4 - 2 \cdot h_f = 39 - 2 \cdot 1,25 \cdot 3 = 31,5\text{мм}$$

Определим шаг

$$P = m \cdot \pi = 3 \cdot 3,14 = 9,42\text{мм}$$

Коэффициент перекрытия

$$\xi = \frac{AB}{P \cdot \cos x} = \frac{12,95}{9,42 \cdot \cos 20^0} = 1,4$$

Определим число сателлитов

$$n_B = 2(z_2 + z_4) = 2(15 + 13) = 2 \cdot 28 = 2 \cdot 2 \cdot 7$$

Следовательно на основании этих данных планетарный механизм может иметь 2; 4; 6 симметрично расположенных сателлитов

4. Расчет маховика

4.1 Определение момента инерции маховика

Построение положение механизма графиков скорости и ускорения ползуна.

Выбираем масштаб

$$K_L = 0,003 \text{ м / мм}$$

$$l_{OA} = \frac{0,150}{0,003} = 50 \text{ мм}$$

$$l_{AB} = \frac{0,750}{0,003} = 250 \text{ мм}$$

$$l_{AS_2} = \frac{0,250}{0,003} = 83 \text{ мм}$$

Выбираем масштаб скорости

$$K_V = \omega_1 \cdot K_L = 26 \cdot 0,003 = 0,078 \text{ м / с} \cdot \text{мм}$$

$$\omega_1 = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{3,14 \cdot 250}{30} = 26 \text{ рад / с}$$

Определим ускорение точки В

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

$$\lambda = \frac{r}{l} = \frac{150}{750} = 0,2$$

Масштаб ускорения определяется по формуле

$$K_a = \omega_1^2 \cdot K_L = 26^2 \cdot 0,003 = 2,028 \text{ м / с}^2 \cdot \text{мм}$$

$$Y_B'' = \frac{a_B}{K_a} = OA \cdot \cos \alpha + OA \cdot \lambda \cdot \cos 2\alpha = Y_B'' + Y_{2B}''$$

$$Y_1'' = oa = OA \cdot \cos \alpha$$

$$\rho = OA \cdot \lambda = 50 \cdot 0,2 = 10 \text{ мм}$$

4.2 Вычерчивание индикаторной диаграммы и построение графиков сил приложенных к ползунку

Сила Р, с которой под действием на поршень определяется из выражения

$$\begin{aligned} P &= P_{\text{л}} \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} - P_{\text{п}} \cdot \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} - P_{\text{ам}} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \\ &= Z_{\text{л}} \cdot K_i \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} - Z_{\text{п}} \cdot K_i \cdot \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} - 10^5 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \end{aligned}$$

Где

$$\frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,22^2}{4} = 0,038$$

$$\frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} = \frac{3,14 \cdot (0,22^2 - 0,04^2)}{4} = 0,037$$

$$\frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,04^2}{4} = 0,0013$$

Подсчитав по формуле значения Р для каждого положения механизма выбираем масштаб

$$Z_P = \frac{P}{K}$$

$$K_i = 600 \text{ Н / мм}$$

После этого определяем силу Q по формуле

$$Q = P - R$$

$$Q = Z_P \cdot K - m \cdot K_a \cdot Y_B''$$

Здесь

$$m = m_3 + m_2 \frac{SA}{AB} = 4,2 + 6 \frac{250}{750} = 6,2 \text{ кг}$$

Разделив каждый член выражения на масштаб силы K, получим отрезок, которым в указанным масштабе изображается на графике сила Q,

$$Z_Q = \frac{Q}{K} = Z_P - Z_R$$

$$\text{Где } Z_R = \frac{m \cdot K_a}{K} \cdot Y_B''$$

Величину Z_R можно определить графическим способом, для чего введем обозначения

$$\text{tg} \beta = \frac{m \cdot K_a}{K} = \frac{6,2 \cdot 2,028}{600} = 0,02$$

$$\beta = 1,2$$

4.3 Построение графиков моментов приложенных к кривошпицу

Построим график активного момента

$$M_{акт} = Q \cdot \frac{V_B}{\omega_1} = Q \cdot r \cdot \frac{V_B}{V_A} = K \cdot r \cdot Z_Q \cdot \frac{Y_B'}{Oa}$$

Масштаб момента

$$K_M = K \cdot r = 600 \cdot 0,15 = 90 \text{ Н} \cdot \text{м / мм}$$

$$Y_{акт} = \frac{M_{акт}}{K_M} = Z_Q \cdot \frac{Y_B'}{OA}$$

$$K_a = \frac{2\pi}{a} = 0,026$$

$$Y_{снр} = \frac{M_{снр}}{K_M} = \frac{f}{a} = \frac{900}{240} = 3,75$$

4.4 Определение индикаторной мощности и момента инерции

$$N = \frac{M \cdot n}{9740} = \frac{K_M \cdot Y_{снр} \cdot n}{9740} = \frac{90 \cdot 3,75 \cdot 250}{9740} = 8,66 \text{ кВт}$$

Момент инерции вращающегося звена

$$J = \frac{K_M \cdot K_a \cdot f_{\delta}}{\omega_{ср}^2 \cdot \delta} = \frac{90 \cdot 0,0262 \cdot 900}{676 \cdot 0,008} = 3,9 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

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

ЛИТЕРАТУРА.

1. Шитиков Б.В. Основы теории механизмов. Выпуск 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.