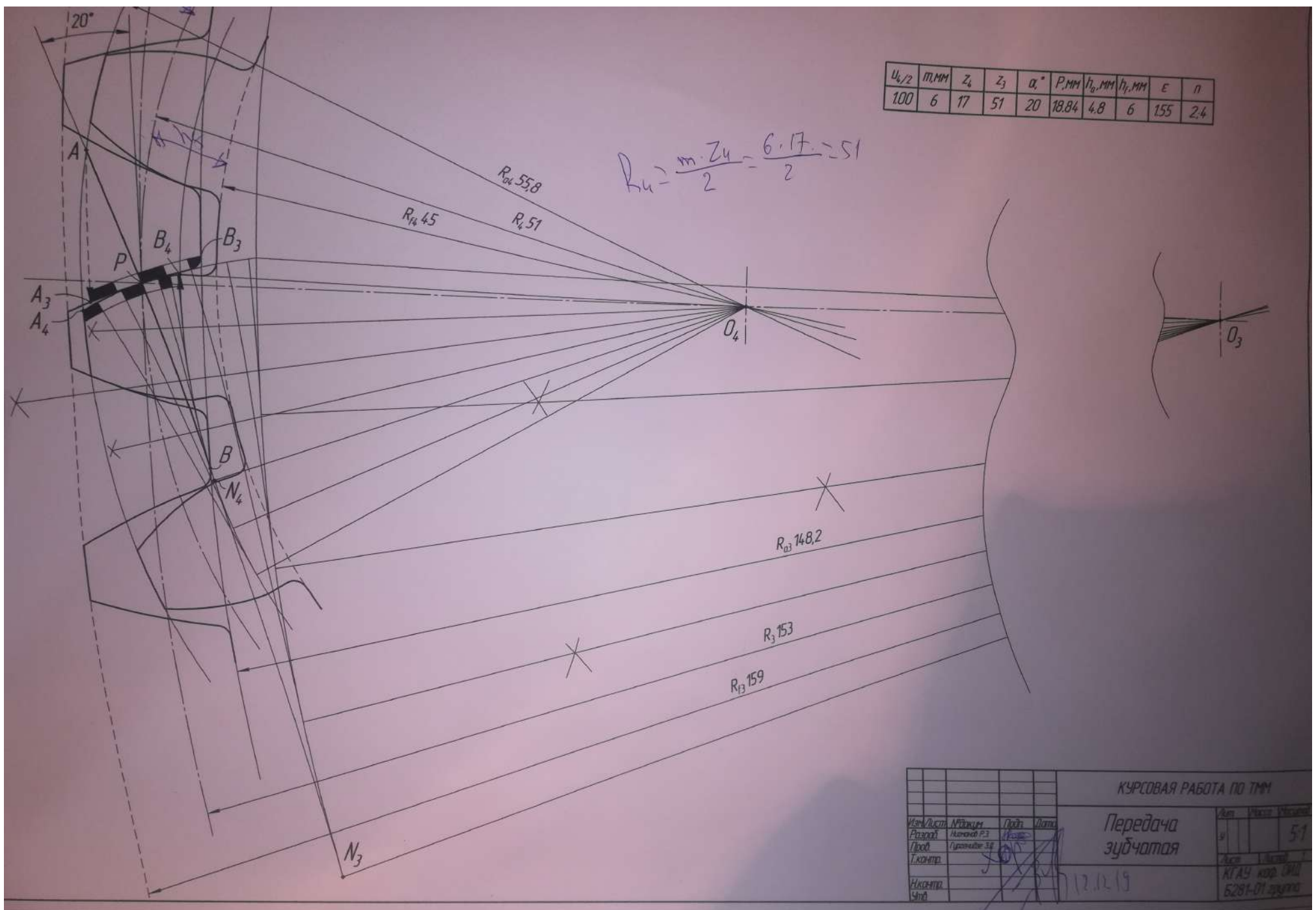


Курсовая работа по ТМ					
Имя Фамилия	ИП	Группа	Дата	Школьно-выпускной механизм	Стр. 91
Имя Фамилия	ИП	Группа	Дата	№ 45 курс ДИП	5281-01
Имя Фамилия	ИП	Группа	Дата	7.11.19	Стр. 91

$u_{4/2}$	$m, \text{mm}$	$z_4$	$z_3$	$\alpha, ^\circ$	$r, \text{mm}$	$h_a, \text{mm}$	$h_f, \text{mm}$	$\epsilon$	$\eta$
1.00	6	17	51	20	18.84	4.8	6	1.55	2.4

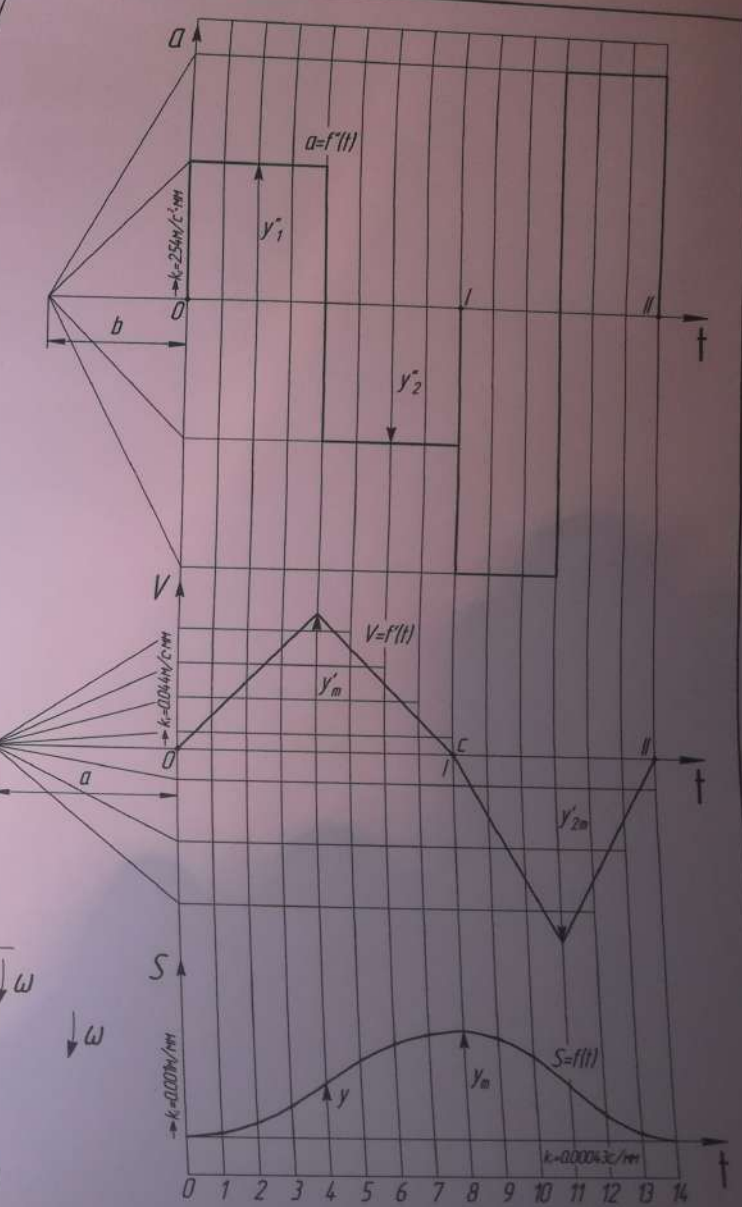
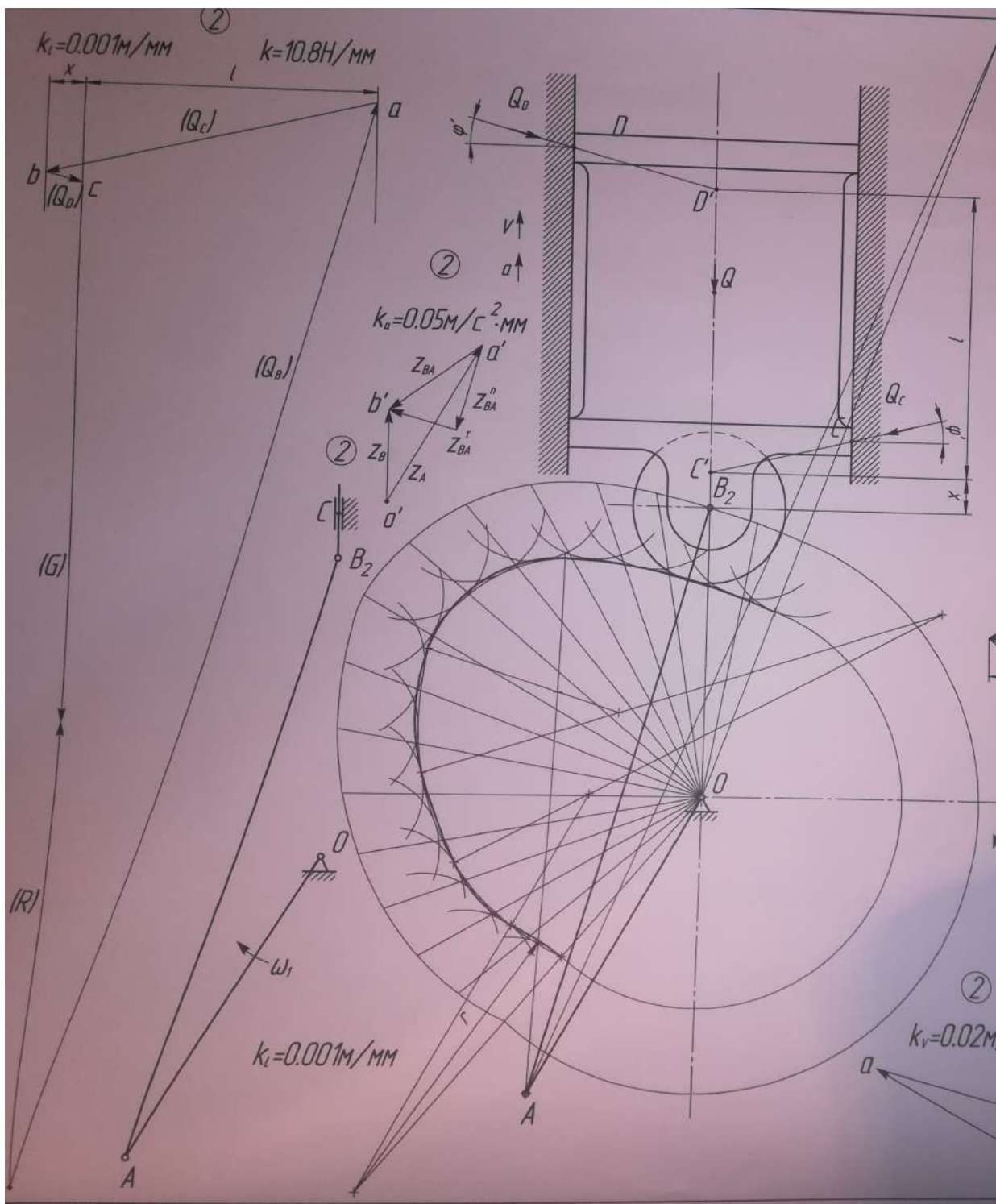
$$R_{u4} = \frac{m \cdot z_4}{2} = \frac{6 \cdot 17}{2} = 51$$



КУРСОВАЯ РАБОТА ПО ТММ				№	Дата
Имя/Фамилия	Иванов П.С.	Преподаватель	Иванов	51	
Роль	Студент	Проверка			
Тема	Курсовая работа	Дата	12.12.19		
Инициалы		Подпись			

Передаточная  
зубчатая

№ 51  
КТ АЧ курс ТММ  
БЭТ-01 группа

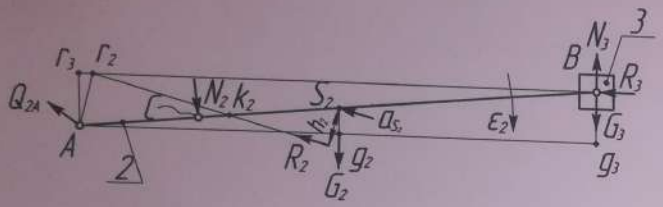


КУРСОВАЯ РАБОТА ПО ТММ

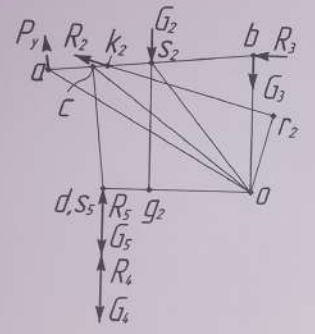
МЕХАНИЗМ  
КУЛОЧКОВЫЙ

№	Имя	Фамилия	Дата
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			

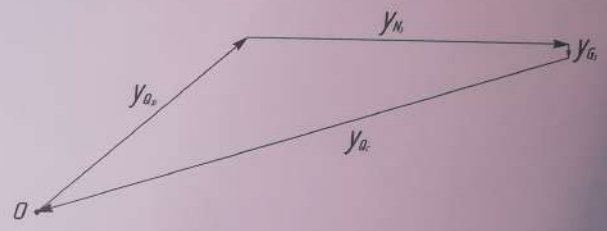




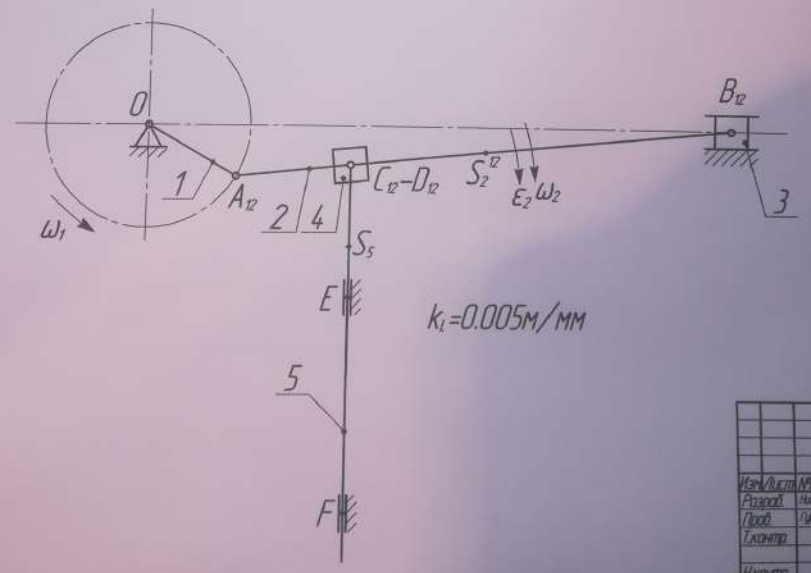
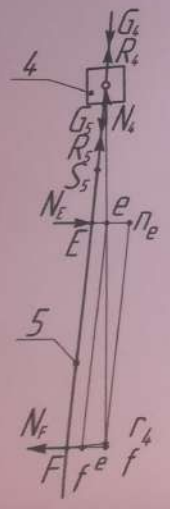
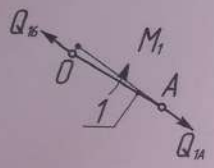
Рычаг Жуковского (12)



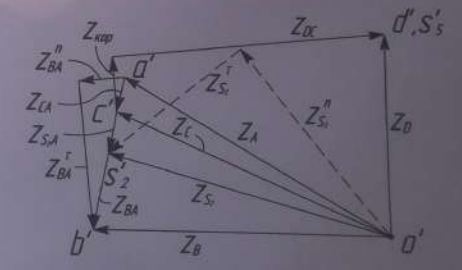
$k_a = 50 \text{ H/mm}$



(12)  
 $k_a = 2 \text{ M/c}^2 \cdot \text{mm}$



$k_1 = 0.005 \text{ M/mm}$

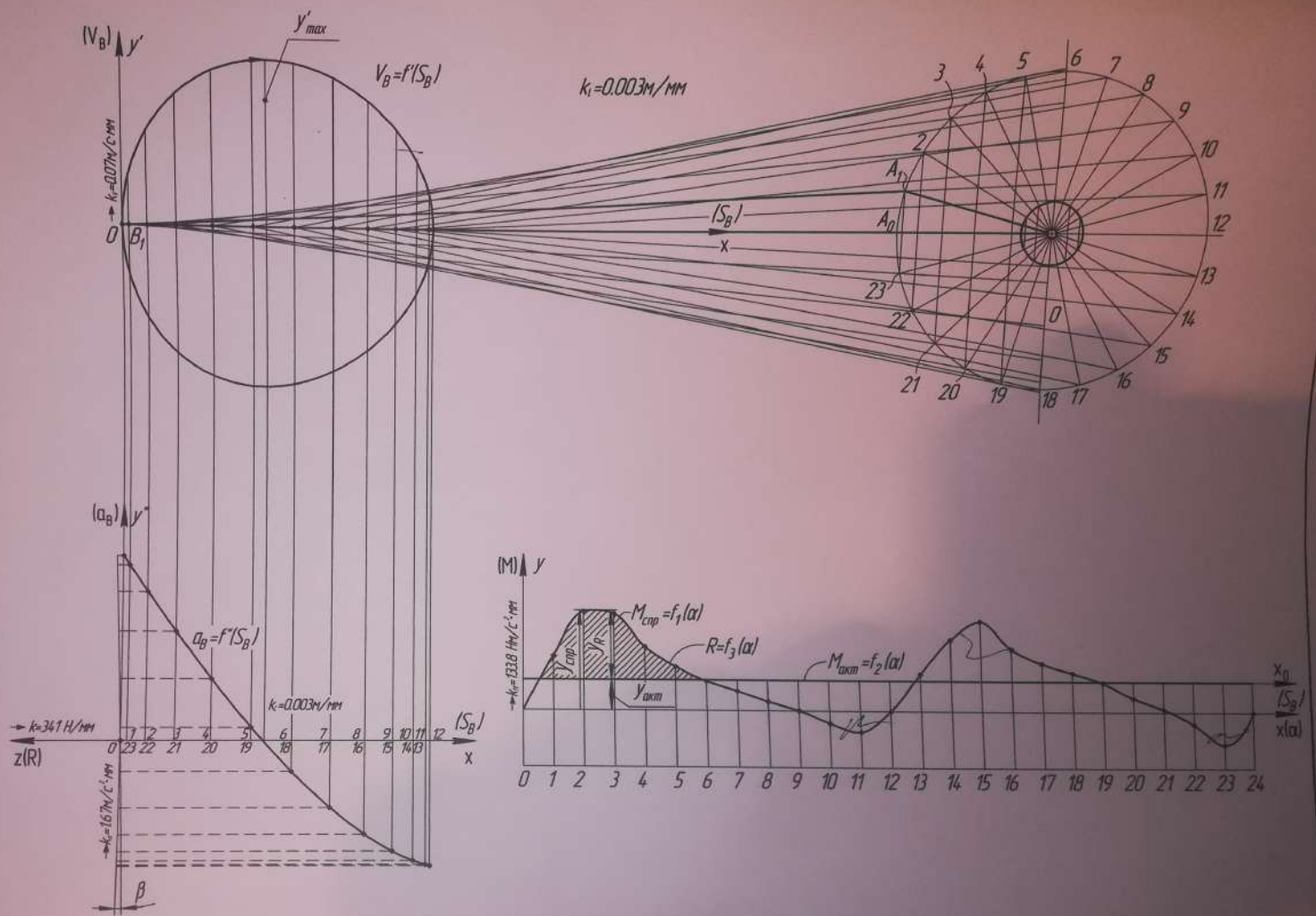
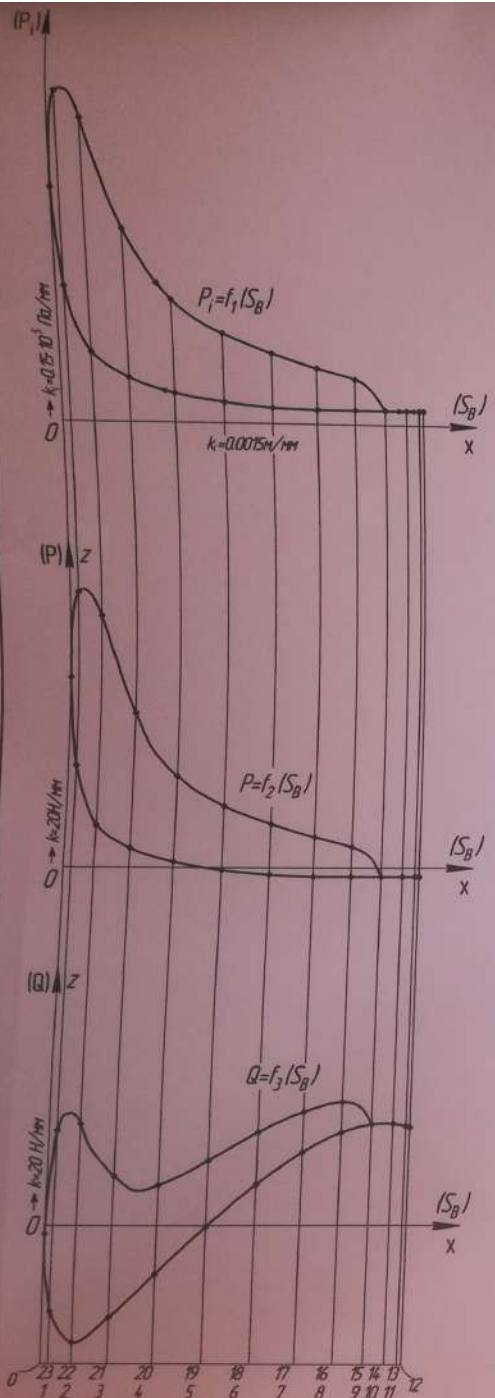


КУРСОВАЯ РАБОТА ПО ТММ									
Имя/Фамилия	Матрица	Подп.	Дата	Шарнирно-рычажный механизм	Лист	Масштаб	Масштаб	Масштаб	Масштаб
Резаев	Николаев Р.З.			Шарнирно-рычажный механизм	1				
Плод	Давыдов С.В.								
Лакотко									
Николаев									
Чиб									

Шарнирно-рычажный механизм

7.11.19

Лист 2 из 2  
КТАУ каф. ОМД  
Б281-01 группа



D, мм	S, мм	$n_{\text{лин}}$	$m_2, \text{кг}$	$m_3, \text{кг}$	$\delta$	N, кВт	$L, \text{км}^2$
40	150	1000	0.6	0.8	1/150	0.6	1.0

КУРСОВАЯ РАБОТА ПО ТММ

Расчет  
маховика

Имя/Фамилия	Минусин	Пол	Муж
Результат	Начало Р.З.	Итого	
Лист	Границы 3.0		
Тема	0.10		
Исполнитель			
Дата	23.12.19		

Лист 1 из 1  
ИТ/АУ каф. ОИД  
6281-01 группа

Казанский Государственный Аграрный Университет

Кафедра ОИД

ОТГ  
*[Signature]* 23.12.2019

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ ПО ТММ.

Выполнил: студент Б281-01 группы  
Проверил:

*[Signature]* Низманов Р.Э.  
Гургенидзе З.Д.

Казань 2019



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

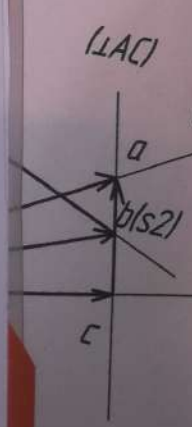
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

ЛИТЕРАТУРА.

стр

4

Изм./Лист	№ докум.
Разр.:	Иванов Р.
Проб.	Гуревича
Контр.	
Контр.	
Итд.	



## 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

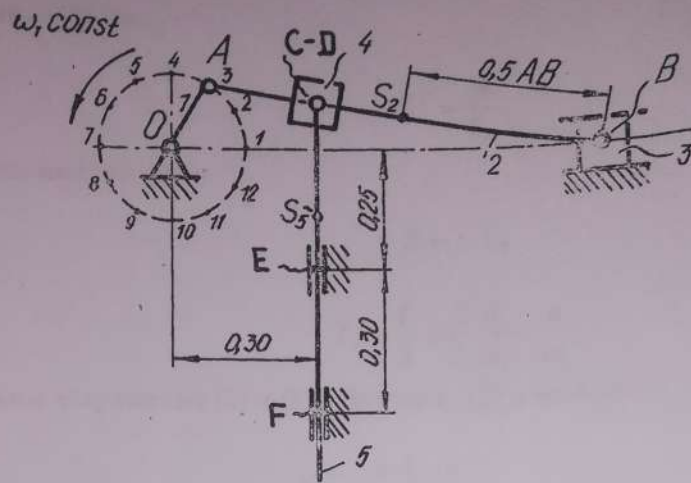


Рисунок 1.1 – Схема механизма.

Дано:

$$m_2 = 30 \text{ кг}; \quad m_3 = 8,0 \text{ кг}; \quad m_4 = 5,0 \text{ кг}; \quad m_5 = 35 \text{ кг};$$

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

$$k_L = 0,005 \text{ М/мм};$$

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

$$V_B^{CP} = 3,35 \text{ м/с};$$

$$\lambda = 5,0;$$

$$\omega_1 = 35 \text{ рад/с};$$

положения механизма: 10, 12.

1.2. Синтез механизма.

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

- е  $l_1$  - радиус кривошипа;  
 $l_2$  - длина шатуна.

(1)

$$V_B^{CP} = \frac{S}{T_{\Pi}},$$

- е  $T_{\Pi}$  - время полуоборота.

(2)

$$S = 2 \cdot l_1;$$

(3)

$$T_{\Pi} = \frac{T}{2} = \frac{2 \cdot \pi}{2 \cdot \omega_1} = \frac{\pi}{\omega_1}.$$

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

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

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.

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

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

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

$$// \text{nn} \perp OA \perp BA$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

// nn // AB

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

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

$$V_{S_3} = V_D = 3.29 \text{ м/с}.$$

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
$V_{S_2A}, \text{м/с}$	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
$V_{S_3}, \text{м/с}$	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.

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

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

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



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

// nn // OA // BA  $\perp$  BA

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

// nn // AB

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

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

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

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

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

Для положения 12.

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

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

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

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

$$// \text{nn} // \text{OA} // \text{BA} \perp \text{BA}$$

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

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

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

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

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

$$\frac{a_{S_2A}}{a_{BA}} = \frac{AS_2}{AB} \mid \div k_a; \quad \frac{a'_{S_2}}{a'b'} = \frac{AS_2}{AB}; \quad a'_{S_2} = \frac{AS_2}{AB} \cdot a'b' = \frac{75}{150} \cdot 46.9 = 23.45 \text{ мм};$$

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

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

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

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

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

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

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

$$// \text{nn} // \text{AB}$$

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

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

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

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

$$a_{S_3} = a_D = 121 \text{ м/с}^2.$$

**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.

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

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

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

$$h_2 = \frac{H_2}{k_L} = \frac{0.057}{0.005} = 11.4 \text{ мм.}$$

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

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

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

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

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

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

$\sum M_f$  (для звеньев 4 и 5):

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



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

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

$\sum M_e$  (для звеньев 4 и 5):

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

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

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

$\sum M_F$  (для звеньев 4 и 5):

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

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

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

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

$\sum M_A$  (для звеньев 2 и 3):

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

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

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

$$k_Q = 50H / \text{мм}.$$

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

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

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

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

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

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

Определение момента  $M_1$  с помощью рычага Жуковского.

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

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

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

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

$$M_1' = P_y \cdot l_{oa} = 777.7 \cdot 0.15 = 116.7 H \cdot m.$$

**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

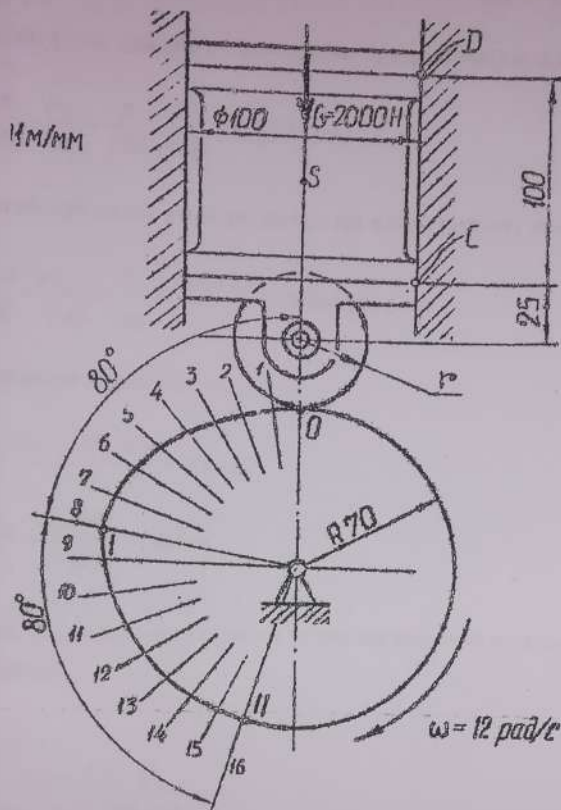


Рисунок 2.1 – Схема механизма.

$$k_L = 0.001 \text{ м/мм};$$

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

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:

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

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

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

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.

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

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

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

$$e = 0 \text{ м;}$$

$$\delta_0 = 26^\circ;$$

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

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

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

**Построение профиля кулачка.**

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

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

### 2.3. Кинематический и силовой анализы.

Рассмотрим положение 2.

**Определяем скорость толкателя.**

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

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

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

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

**Определяем ускорение толкателя:**

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

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

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

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

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

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

**Определение сил.**

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

$$\sum M_C: -Q_B \cdot x \cdot \sin \delta + Q_D \cdot l \cdot \cos \varphi' = 0,$$

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

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

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

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

$$\bar{R} = \bar{Q}_B + \bar{Q}_C + \bar{Q}_D + \bar{G}.$$

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

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

$$Q_B = (\bar{Q}_B) \cdot K = 382 \cdot 10.8 = 4126H;$$

$$Q_C = (\bar{Q}_C) \cdot K = 116 \cdot 10.8 = 1253H;$$

$$Q_D = (\bar{Q}_D) \cdot K = 12.9 \cdot 10.8 = 139H.$$

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

### 3. ПЕРЕДАЧА ЗУБЧАТАЯ

#### 3.1. Задание на проектирование

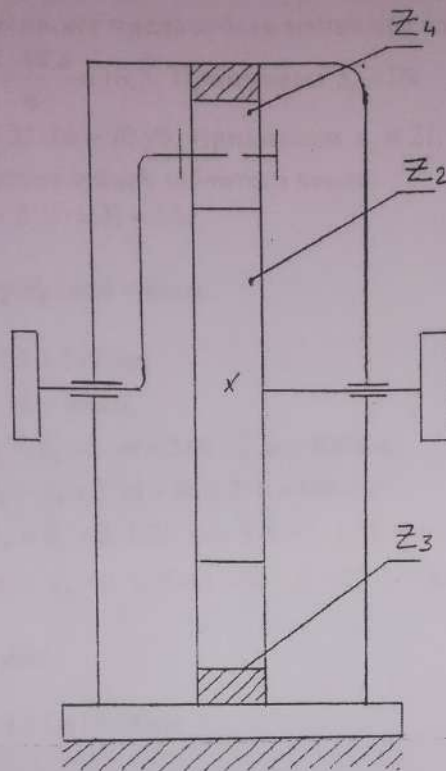


Рисунок 3.1 – Схема механизма.

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

$$m = 6\text{мм};$$

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

$$h_a = m;$$

$$h_f = 1,25m;$$

масштаб: 5:1;

обработка долбяком;

$$z_o = 19;$$

зацепление внутреннее.

#### 3.2. Расчет параметров.

Определяем наименьшие числа колес.



Определяем диаметр начальной окружности долбяка:

$$d_0 = m \cdot z_0 = 6 \cdot 19 = 114 \text{ мм.}$$

Определяем диаметр окружности вершин зубьев:

$$d_{da} = d_0 + 2 \cdot h_{da} = d_0 + 2 \cdot h_f = 114 + 2 \cdot 1.25 \cdot 6 = 129 \text{ мм.}$$

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.

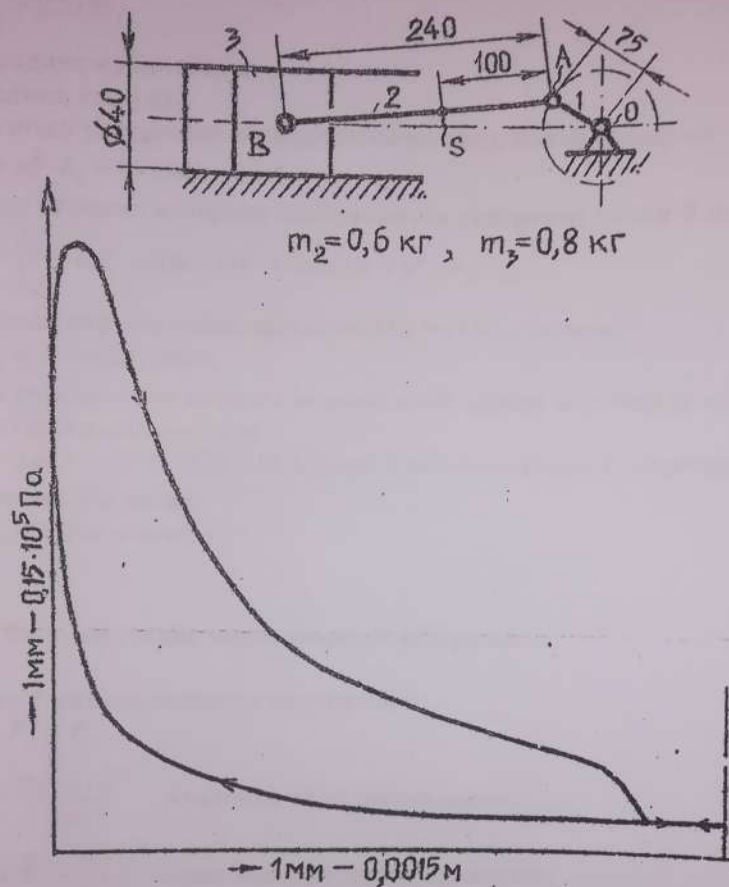
$$n_B = 2 \cdot (z_2 + z_4) = 2 \cdot (21 + 16) = 2 \cdot 37 = 2 \cdot 37.$$

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:

$$V_B = \omega_B \cdot k_V.$$

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 ОА<sub>0</sub>, то есть:

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

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 ОА<sub>0</sub> перпендикуляр С<sub>0</sub>, 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;

$$P_L = k_1 \cdot z_L$$
 – давление в левой полости.

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

$$P = \frac{P_L \cdot \pi \cdot D^2}{4} - \frac{P_{AT} \cdot \pi \cdot D^2}{4} =$$

$$= z_L \cdot k_1 \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} - 10^5 \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4};$$

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

$$K = 20 \text{ Н/мм.}$$

$P_0 = 1085 \text{ Н;}$	$z_0 = 54,3 \text{ мм;}$	$P_{12} = -49 \text{ Н;}$	$z_{12} = -2,5 \text{ мм;}$
$P_1 = 1575 \text{ Н;}$	$z_1 = 78,8 \text{ мм;}$	$P_{13} = -49 \text{ Н;}$	$z_{13} = -2,5 \text{ мм;}$
$P_2 = 1439 \text{ Н;}$	$z_2 = 72,0 \text{ мм;}$	$P_{14} = -49 \text{ Н;}$	$z_{14} = -2,5 \text{ мм;}$
$P_3 = 881 \text{ Н;}$	$z_3 = 44,1 \text{ мм;}$	$P_{15} = -49 \text{ Н;}$	$z_{15} = -2,5 \text{ мм;}$



$P_4=520H;$	$z_4=26,0MM;$	$P_{16}=-49H;$	$z_{16}=-2,5MM;$
$P_5=350H;$	$z_5=17,5MM;$	$P_{17}=-49H;$	$z_{17}=-2,5MM;$
$P_6=248H;$	$z_6=12,4MM;$	$P_{18}=-39H;$	$z_{18}=-2,0MM;$
$P_7=173H;$	$z_7=8,7MM;$	$P_{19}=-14H;$	$z_{19}=-0,7MM;$
$P_8=118H;$	$z_8=5,9MM;$	$P_{20}=31H;$	$z_{20}=1,6MM;$
$P_9=-49H;$	$z_9=-2,5MM;$	$P_{21}=108H;$	$z_{21}=5,4MM;$
$P_{10}=-49H;$	$z_{10}=-2,5MM;$	$P_{22}=239H;$	$z_{22}=12,0MM;$
$P_{11}=-49H;$	$z_{11}=-2,5MM;$	$P_{23}=581H;$	$z_{23}=29,1MM.$

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

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

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

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

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

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

#### 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:

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

Масштаб угла поворота:

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

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

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

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



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

Результирующий 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:

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

## 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.