

# 1. Синтез та аналіз приводу і проектування зубчастої передачі.

Кінематична схема зубчастого приводу механізму зубонарізного верстата показана на рисунку 1.1.

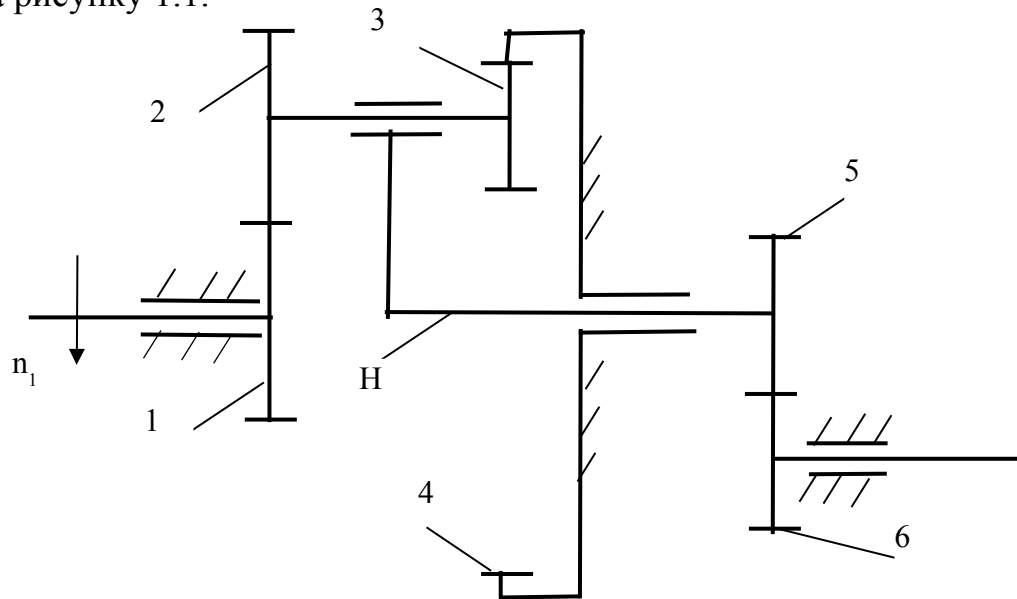


Рисунок 1.1. Кінематична схема редуктора

Вхідні параметри :

Кількість зубців

$$Z_5 = 15; \quad Z_6 = 37.$$

Модуль коліс

$$m = 5 \text{ мм}$$

Число сателітів редуктора

$$P = 3.$$

Частота обертання

$$n_1 = 1950 \text{ хв}^{-1}.$$

Частота головного валу

$$n_8 = n_6 = 195 \text{ хв}^{-1}.$$

## 1.1. Визначення передаточних відношень приводу.

Розраховуємо загальне передаточне відношення редуктора

$$U_{1-6} = -\frac{n_1}{n_6} = 1950/195 = 10;$$

$$U_{1-6} = U_{1-H}^4 * U_{5-6};$$

$$U_{5-6} = -\frac{Z_6}{Z_5} = -\frac{37}{15} = -2,077.$$

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$U_{1-H}^4 = \frac{U_{1-6}}{U_{5-6}} = \frac{10}{2,077} = 4,82;$$

$$U_{1-H}^4 = 1 - U_{1-4}^H = 1 - (-1)^1 \frac{Z_2 * Z_4}{Z_1 * Z_3} = 4,82;$$

$$\frac{Z_2 * Z_4}{Z_1 * Z_3} = 4,82 - 1 = 3,82.$$

## 1.2. Вибір числа зубців механізму приводу

Остаточню приймаємо такі числа зубців коліс

$$Z_4 = 68, Z_3 = 18; \quad Z_2 = 25 \quad Z_1 = 25.$$

Перевіряємо планетарний редуктор за умов:

- співвісності

$$Z_1 + Z_2 = Z_4 - Z_3;$$

$$25 + 25 = 68 - 18;$$

$$50 = 50 \quad \text{умова виконується}$$

- сусідства

$$(Z_1 + Z_2) \sin \frac{\pi}{p} \geq Z_2 + 2;$$

$$(25 + 25) \sin \left( \frac{180}{3} \right) \geq 25 + 2;$$

$$43,3 > 27 \quad \text{умова виконується}$$

складання

$$Q = \frac{Z_1 + Z_4}{p} = \frac{25 + 68}{3} = 31;$$

умова виконується.

Визначаємо дійсне передаточне відношення редуктора

$$U_{1-6}^{\delta} = \left( 1 + \frac{Z_2 * Z_4}{Z_1 * Z_3} \right) * U_{5-6} = \left( 1 + \frac{25 * 68}{25 * 18} \right) * (-2,077) = -9,928.$$

Помилка при розрахунку передаточного відношення

$$\Delta = \frac{U_{H-6}^{\delta} - U_p}{U_{H-6}} \cdot 100\% = \frac{9,928 - 10,0}{9,928} \cdot 100\% = 0,72\% < 4\%.$$

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 1.3. Кінематичне дослідження механізму приводу

Радіуси зубчастих коліс  $r_i = 0,5 * m * Z_i$ , мм.;

$$r_1 = 0,5 * 5 * 25 = 62,5 \text{ мм,}$$

$$r_2 = 0,5 * 5 * 25 = 62,5 \text{ мм,}$$

$$r_3 = 0,5 * 5 * 18 = 45,0 \text{ мм,}$$

$$r_4 = 0,5 * 5 * 68 = 170,0 \text{ мм,}$$

$$r_5 = 0,5 * 5 * 13 = 32,5 \text{ мм,}$$

$$r_6 = 0,5 * 5 * 27 = 67,5 \text{ мм.}$$

Будуємо кінематичну схему редуктора вибравши масштабний коефіцієнт довжини, розрахунки заносимо до таблиці 1.1

$$\mu_l = \frac{r_4}{\bar{r}_4} = \frac{0,17}{85} = 0,002 \frac{\text{м}}{\text{мм}}.$$

Таблиця 1.1. Параметри редуктора

№	Вим.	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	$Z_4$	$Z_5$	$Z_6$
Радіус	м	0.0625	0.0625	0.045	0.17	0.0325	0.0675
Розмір	мм	12.5	12.5	22.5	85	16.25	33.75

Картину лінійних швидкостей будуємо розрахувавши

$$V_A = \omega_1 \cdot r_1 = 204,1 * 0,0625 = 12,76 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

де  $\omega_1 = \frac{\pi * n_1}{30} = \frac{3,14 \cdot 1950}{30} = 204,1 \text{ с}^{-1};$

Масштабний коефіцієнт плану швидкостей

$$\mu_v = \frac{V_A}{\bar{V}_A} = \frac{12,76}{127,6} = 0,1 \frac{\text{м} \cdot \text{с}^{-1}}{\text{мм}}.$$

Діаграму кутових швидкостей будуємо, прийнявши полюсну відстань

$$H = p_w O = 25 \text{ мм.}$$

Масштабний коефіцієнт кутових швидкостей

							Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

$$\mu_w = \frac{\mu_v}{\mu_{t.h}} = \frac{0,1}{0,002 * 25} = 2,0 \frac{c^{-1}}{мм}$$

Графічно визначаємо кутові швидкості коліс

$$\omega_1 = 0 - 1 * \mu_\omega = 102 * 2,0 = 204 c^{-1},$$

$$\omega_{2,3} = 0 - 2,3 * \mu_\omega = 70 * 2,0 = 140,0 c^{-1},$$

$$\omega_{H,5} = 0 - H,5 * \mu_\omega = 21 * 2,0 = 42,0 c^{-1},$$

$$\omega_6 = 0 - 6 * \mu_\omega = 10 * 2,0 = 20,0 c^{-1}.$$

Аналітично визначаємо

$$\omega_1 = 204,1 c^{-1};$$

$$\omega_4 = 0 c^{-1};$$

$$\omega_{2,3} = \frac{\omega_1 * Z_1}{Z_2 + Z_3} = \frac{204,1 * 25}{25 + 18} = 141,7 c^{-1};$$

$$\omega_{H,5} = \frac{\omega_1}{U_{1-H}^4} = \frac{204,1}{4,78} = 42,699 c^{-1};$$

$$\omega_6 = \frac{\omega_5 * Z_5}{Z_6} = \frac{42,699 * 13}{27} = 20,558 c^{-1}.$$

Розрахунки заносимо до таблиці 1.2.

Таблиця 1.2. Кутові швидкості коліс редуктора

№	1	2	3	4	5	6	H
$Z_i$	25	25	18	68	13	27	-
$\omega_{сп}, c^{-1}$	204	140	140	0	42	20	42
$\omega_{ан}, c^{-1}$	204.1	141.7	141.7	0	42.699	20.558	42.699

#### 1.4. Геометричний розрахунок зубчастої пари та креслення зачеплення.

#### ПАРАМЕТРИ ВИХІДНОГО КОНТУРУ

$$\alpha = 20^0; \quad h_a^1 = 1,0; \quad C^* = 0,25.$$

Коефіцієнти зміщення вихідного контуру

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

$$X_{\Sigma} = 1,009; \quad X_5 = 0,55;$$

$$X_6 = X_{\Sigma} - X_5 = 1,009 - 0,55 = 0,458.$$

Крок за ділильним колом

$$P = \pi \cdot m = 3,14 \cdot 5 = 15,7 \text{ мм}$$

Радіуси ділильних кіл

$$r_i = 0,5 \cdot m \cdot Z_c$$

$$r_5 = 0,5 \cdot 5 \cdot 13 = 32,5 \text{ мм},$$

$$r_6 = 0,5 \cdot 5 \cdot 27 = 67,5 \text{ мм}.$$

Радіуси за основним колом

$$r_{bi} = r_i \cdot \cos \alpha; \quad \cos 20^\circ = 0,94;$$

$$r_{b5} = 32,5 \cdot 0,94 = 30,55 \text{ мм};$$

$$r_{b6} = 67,5 \cdot 0,94 = 63,45 \text{ мм}.$$

Крок за основним колом

$$P_B = P \cdot \cos \alpha = 15,7 \cdot 0,94 = 14,785 \text{ мм}$$

Кут зачеплення

$$\text{inv} \alpha_w = \frac{2 X_{\Sigma}}{Z_{\Sigma}} \cdot \text{tg} \alpha + i_{nv} \alpha = \frac{2 \cdot 1,009}{40} \cdot 0,364 + 0,014904 = 0,033$$

де  $\alpha_w = 25^\circ$ ;  $\cos \alpha_w = 0,906$ ;  $\text{tg} \alpha_w = 0,496$ ;  $( ) \text{Sin} = 0,342$ .

Радіуси початкових кіл

$$r_{wi} = 0,5 \cdot m \cdot Z_i \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_w}$$

$$r_{w5} = 0,5 \cdot 5 \cdot 13 \cdot \frac{0,94}{0,906} = 33,72 \text{ мм};$$

$$r_{w6} = 0,5 \cdot 3 \cdot 27 \cdot \frac{0,94}{0,906} = 70,03 \text{ мм};$$

Міжосьова відстань

$$a_w = r_{w5} + r_{w6} = 33,72 + 70,03 = 103,72 \text{ мм},$$

$$a_w^o = r_5 + r_6 = 32,5 + 67,5 = 100 \text{ мм}.$$

Радіуси кіл западин

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$r_{fi} = m \cdot (0,5 \cdot Z_i - h_a^* - C^* + X_i)$$

$$r_{f5} = 5 \cdot (0,5 \cdot 13 - 1 - 0,25 + 0,55) = 29,005 \text{ мм},$$

$$r_{f6} = 5 \cdot (0,5 \cdot 27 - 1 - 0,25 + 0,458) = 63,54 \text{ мм},$$

$$r_{f5}^o = 5 \cdot (0,5 \cdot 13 - 1 - 0,25) = 26,25 \text{ мм},$$

$$r_{f6}^o = 5 \cdot (0,5 \cdot 27 - 1 - 0,25) = 61,25 \text{ мм}.$$

Висота зуба

$$h = a_w - r_{f7} - r_{f8} - C^* \cdot m = 103,723 - 29,005 - 63,005 - 0,25 \cdot 5 = 9,928 \text{ мм},$$

$$h^o = 2,25 \cdot m = 2,25 \cdot 5 = 11,25 \text{ мм}$$

Радіуси кіл вершин

$$r_{ai} = r_{fi} + h;$$

$$r_{a5} = 29,005 + 9,928 = 38,933 \text{ мм},$$

$$r_{a6} = 63,54 + 9,928 = 73,468 \text{ мм},$$

$$r_{a5}^o = 26,25 + 11,25 = 37,5 \text{ мм},$$

$$r_{a6}^o = 61,25 + 11,25 = 72,5 \text{ мм}.$$

Товщина зубців за ділильним колом

$$S_i = m \cdot (0,5 \cdot \pi + 2X_i \operatorname{tg} \alpha)$$

$$S_5 = 5 \cdot (0,5 \cdot 3,14 + 2 \cdot 0,55 \cdot 0,364) = 9,855 \text{ мм},$$

$$S_6 = 5 \cdot (0,5 \cdot 3,14 + 2 \cdot 0,458 \cdot 0,364) = 9,517 \text{ мм},$$

$$S_5^o = S_6^o = m \cdot 0,5 \cdot \pi = 5 \cdot 0,5 \cdot 3,14 = 7,85 \text{ мм}.$$

Товщина зубців за основним колом

$$S_{bi} = 2 \cdot r_{bi} \cdot \left( \frac{S_i}{2 \cdot r_i} + i_{mv} \alpha \right)$$

$$S_{b5} = 2 \cdot 30,55 \cdot \left( \frac{9,855}{2 \cdot 32,5} + 0,014904 \right) = 10,174 \text{ мм},$$

$$S_{b6} = 2 \cdot 63,45 \cdot \left( \frac{9,517}{2 \cdot 67,5} + 0,014904 \right) = 10,837 \text{ мм}.$$

Товщина зубців за початковим колом

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$S_{wi} = 2 \cdot r_{wi} \cdot \left( \frac{S_i}{2 \cdot r_i} + i_{nv} \alpha - i_{nv} \alpha_w \right)$$

$$S_{w5} = 2 \cdot 33,72 \cdot \left( \frac{9,855}{2 \cdot 32,5} + 0,014904 - 0,033 \right) = 9,005 \text{ мм},$$

$$S_{w6} = 2 \cdot 70,033 \cdot \left( \frac{9,517}{2 \cdot 67,5} + 0,014904 - 0,033 \right) = 7,339 \text{ мм}.$$

Крок за початковим колом

$$P_w = P \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_w} = \frac{15,7 * 0,94}{0,906} = 16,329 \text{ мм}.$$

$$P_w = S_{w5} + S_{w6};$$

Перевірка  $P_w = 16,329$ ;  $S_{w5} + S_{w6} = 9,005 + 7,339 = 16,329$ ;

$$\Delta = 0,000 < 0,02.$$

Товщина зубців за колами вершин

$$S_{ai} = 2 \cdot r_{ai} \cdot \left( \frac{S_i}{2 \cdot r_i} + i_{nv} \alpha - i_{nv} \alpha_{ai} \right);$$

$$\text{де } \cos \alpha_i = \frac{r_{bi}}{r_{ai}} ;$$

$$S_{a5} = 2 \cdot 38,933 \cdot \left( \frac{9,855}{2 \cdot 32,5} + 0,014904 - 0,1231 \right) = 3,379 \text{ мм};$$

$$S_{a6} = 2 \cdot 73,468 \cdot \left( \frac{9,517}{2 \cdot 67,5} + 0,014904 - 0,055916 \right) = 4,332 \text{ мм}.$$

Коефіцієнт перекриття

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{r_{a7}^2 - r_{b7}^2} + \sqrt{r_{a8}^2 - r_{b8}^2} - a_w \sin \alpha_w}{\pi \cdot m \cdot \cos \alpha} =$$

$$= \frac{\sqrt{38,933^2 - 30,55^2} + \sqrt{73,468^2 - 63,45^2} - 103,723 * 0,424}{3,14 * 5 * 0,94} = 1,172.$$

Результати розрахунків зводимо в таблицю 1.3, параметрів зачеплення.

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перевірка якості зубців: на не загострення

$$S_{ai} \geq 0,4 \cdot m = 0,4 \cdot 5 = 2 \text{ мм};$$

$$S_{a5} = 3,379 > 2 \text{ мм}; \quad S_{a6} = 4,332 > 2 \text{ мм}.$$

- на відсутність подрізання

$$0,5 \cdot Z_i \cdot \sin^2 \alpha \geq h_a^* - X_i;$$

$$0,5 \cdot 13 \cdot 0,416^2 \geq 1 - 0,55;$$

$$0,716 > 0,449;$$

$$0,5 \cdot 27 \cdot 0,416^2 \geq 1 - 0,458;$$

$$1,579 > 0,542.$$

Перевірка якості зачеплення на коефіцієнт питомих ковзань

$$\lambda_5 = 1 - \frac{\rho_6 \cdot Z_5}{\rho_5 \cdot Z_6}; \quad \lambda_6 = 1 - \frac{\rho_5 \cdot Z_6}{\rho_6 \cdot Z_5}$$

Наприклад, розрахунки зводимо до таблиці 1.4.

$$\lambda_5 = 1 - \frac{\rho_6 \cdot Z_5}{\rho_5 \cdot Z_6} = 1 - 13 \cdot \rho_6 / 27 \cdot \rho_5 = 1 - 0,48 \cdot \rho_6 / \rho_5;$$

$$\lambda_6 = 1 - \frac{\rho_5 \cdot Z_6}{\rho_6 \cdot Z_5} = 1 - 27 \cdot \rho_5 / 13 \cdot \rho_6 = 1 - 2,076 \cdot \rho_5 / \rho_6.$$

Таблиця 1.4 - Коефіцієнт питомих ковзань

№п/п	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\rho_6/\rho_5$	0/10	1/9	2/8	3/7	4/6	5/5	6/4	7/3	8/2	9/1	10/0
$\rho_5/\rho_6$	10/0	9/1	8/2	7/3	6/4	5/5	4/6	3/7	2/8	1/9	0/10
$\lambda_5$	$-\infty$	-4,0	-1,22	-0,29	0,17	0,44	0,63	0,76	0,86	0,94	1,0
$\lambda_6$	1,0	0,81	0,51	0,23	-0,2	-0,8	-1,7	-3,2	-6,2	-15,2	$-\infty$

$$\mu_\lambda = \frac{1}{50} = 0,02 \frac{1}{\text{мм}}.$$

											Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							



Таблиця 1.3 - Параметри зачеплення.

Зачеплен.	Z <sub>5</sub>	Z <sub>6</sub>	M	P	P <sub>B</sub>	r <sub>5</sub>	r <sub>6</sub>	r <sub>b5</sub>	r <sub>b6</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	α <sub>w</sub>	r <sub>w5</sub>	r <sub>w6</sub>
			мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм				мм	мм
Нульове	13	27	5	15.7	14.758	32.5	67.5	30.58	63.45	0	0	20	32.5	67.5
Зміщене	13	27	5	15.7	14.758	32.5	67.5	30.58	63.45	0.55	0.458	25	33.72	70.03
Розмір на креслен.	-	-	23	71	67	148	307	139	287	-	-	-	153	318

a <sub>w</sub>	P <sub>w</sub>	r <sub>f5</sub>	r <sub>f6</sub>	h	r <sub>a5</sub>	r <sub>a6</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>6</sub>	S <sub>w5</sub>	S <sub>w6</sub>	S <sub>b5</sub>	S <sub>b6</sub>	S <sub>a5</sub>	S <sub>a6</sub>	E
мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	
100	16.344	26.25	61.25	11.25	37.5	72.5	7.85	7.85	6.64	5.407	8.29	9.27	3.03	3.6	1.5213
103.7	16.329	29.005	63.54	9.528	38.93	76.93	9.855	9.517	9.005	7.319	10.174	10.836	3.37	4.33	1.172
470	74.2	132	289	43	180	334	45	43	41	33	46	49	15	20	-

Розраховуємо масштабний коефіцієнт довжини для креслення зачеплення

$$\mu_l = \frac{A_w}{A_w} = \frac{0.1037}{471} = 0.00022 \text{ м/мм.}$$

- коефіцієнт перекриття  $E \geq 1,15$

$$\varepsilon = 1,173 > 1,15$$

Контрольні розміри зчеплення

- розмір за постійною хордою

$$S_{ci} = S_i \cdot \cos^2 \alpha$$

$$S_{c5} = 9,855 \cdot 0,88 = 8,708 \text{ мм}$$

$$S_{c6} = 9,517 \cdot 0,88 = 8,409 \text{ мм}$$

$$h_{ci} = r_{ai} - r_i - 0,25 \cdot S_i \cdot \sin 2\alpha$$

$$h_{c5} = 38,933 - 32,5 - 0,25 \cdot 9,855 \cdot 0,6428 = 6,27 \text{ мм}$$

$$h_{c6} = 73,468 - 67,5 - 0,25 \cdot 9,517 \cdot 0,6428 = 5,807 \text{ мм}$$

Довжина загальної нормалі

$$W_i = P_b \cdot n_i + S_{bi}$$

Де  $n_i = \frac{Z_i}{9}$  - цілу частину

$$n_5 = 13/9 = 1,$$

$$n_6 = 27/9 = 3,$$

$$W_5 = 14,758 \cdot 1 + 10,174 = 24,932 \text{ мм}$$

$$W_6 = 14,758 \cdot 3 + 10,837 = 55,11 \text{ мм}$$

### 1.5. Розрахунок та креслення верстатного зачеплення

Висота зуба рейки

$$h_p = 2,5 \cdot m = 2,5 \cdot 5 = 12,5 \text{ мм}$$

Величина зміщення

$$y = mx = 5 \cdot 0,55 = 2,755 \text{ мм}$$

Радіуси округлення зубців

$$r = 0,38 \cdot m = 0,38 \cdot 5 = 1,9 \text{ мм}$$

Статочне зачеплення креслимо з масштабним коефіцієнтом

$$\mu_z = 0,00022 \text{ м / мм.}$$

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		