

3. Синтез та аналіз приводу і проектування зубчастої передачі.

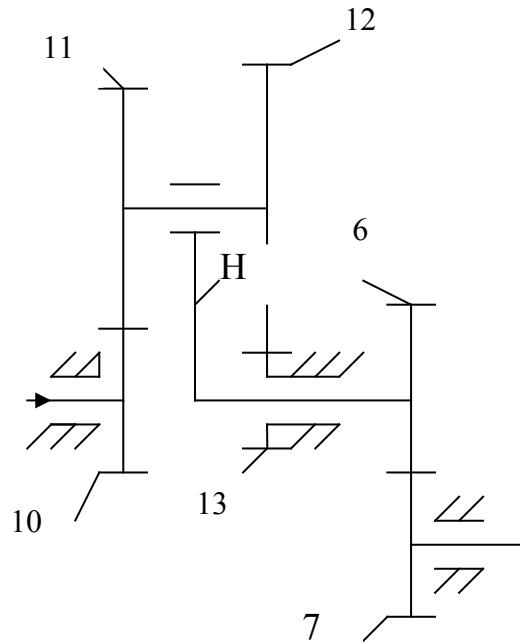


Рисунок 3.1. Схема редуктора

Вхідні параметри :

Кількість зубців $Z_7 = 32$; $Z_6 = 15$.

Модуль коліс $m = 5$ мм

Число сателітів редуктора $P = 3$.

Частота обертання $\omega_{10} = 115$ с⁻¹.

Частота головного валу $\omega_1 = 8$ с⁻¹.

3.1. Визначення передаточних відношень приводу.

$$U_{10-1} = U_{10-7} = -\frac{\omega_{10}}{\omega_1} = -115/8 = -14,375;$$

$$U_{10-1} = U'^{13}_{10-H} * U_{6-7} = -14,375;$$

$$U_{6-7} = -\frac{Z_7}{Z_6} = -\frac{32}{15} = -2,13;$$

$$U'^{13}_{10-H} = \frac{U_{10-1}}{U_{6-7}} = \frac{-14,375}{-2,13} = 6,749;$$

$$U'^{13}_{10-H} = 1 - U^H_{10-13} = 1 - (1)^2 \frac{Z_{11}}{Z_{10}} * \frac{Z_{13}}{Z_{12}} = 6,749;$$

$$\frac{Z_{11}}{Z_{10}} * \frac{Z_{13}}{Z_{12}} = 6,749 + 1 = 7,749.$$

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2. Вибір числа зубців механізму приводу

Приймаю $Z_{11} = 50$; $Z_{10} = 18$; $Z_{12} = 18$; $Z_{13} = 50$.

Перевіряємо планетарний редуктор за умов:

- співвісності

$$Z_{11} + Z_{10} = Z_{13} + Z_{12}$$

$$50 + 18 = 50 + 18$$

$$68 = 68 \quad \text{умова виконується}$$

- сусідства

$$(Z_{13} + Z_{12}) \sin \frac{\pi}{P} \geq Z_{12} + 2;$$

$$(50 + 18) \sin \left(\frac{180}{3} \right) \geq 18 + 2;$$

$$58,9 > 20 \quad \text{умова виконується}$$

Остаточно маємо числа зубців редуктора

$$Z_{11} = 50; \quad Z_{10} = 18; \quad Z_{12} = 18; \quad Z_{13} = 50.$$

Помилка при розрахунку передаточного відношення

$$U_{10-7}^{\text{д}} = U_{10-Н} * U_{6-7} = (1 - Z_{11} * Z_{13} / Z_{10} * Z_{12}) * (-Z_7 / Z_6) =$$

$$(1 - 50 * 50 / 18 * 18) * (-32 / 15) = 14,327;$$

$$\Delta U\% = |U_{10-7}^{\text{д}} - U_{10-7}| * 100\% / U_{10-7}^{\text{д}} =$$

$$|14,327 - 14,375| * 100 / 14,327 = 0,33\% < 4\%.$$

3.3. Кінематичне дослідження механізму приводу

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

$$R_6 = 0,5 * 5 * 15 = 37,5 \text{ мм},$$

$$R_7 = 0,5 * 5 * 32 = 80 \text{ мм},$$

$$R_{10} = 0,5 * 5 * 18 = 45 \text{ мм},$$

$$R_{11} = 0,5 * 5 * 50 = 125 \text{ мм},$$

$$R_{12} = 0,5 * 5 * 18 = 45 \text{ мм},$$

$$R_{13} = 0,5 * 5 * 50 = 125 \text{ мм}.$$

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

Будуємо кінематичну схему редуктора вибравши масштабний коефіцієнт довжини розміри коліс в таблиці 3.1

$$\mu_l = \frac{R_{11}}{R_{11}} = \frac{0,125}{62,5} = 0,002 \frac{м}{мм}$$

Таблиця 3.1. Параметри зубчастих коліс

№	Вим.	Z_6	Z_7	Z_{10}	Z_{11}	Z_{12}	Z_{13}
Радіус	м	0,0375	0,08	0,045	0,125	0,045	0,125
Розмір	мм	18,75	40	22,5	62,5	22,5	62,5

Картину лінійних швидкостей будуємо розраховавши точки А

$$V_A = \omega_{10} * r_{10} = 115 * 0,045 = 5,175 \frac{м}{с}$$

Масштабний коефіцієнт картини лінійних швидкостей

$$\mu_V = \frac{V_A}{\bar{V}_A} = \frac{5,175}{103,5} = 0,05 \frac{м \cdot с^{-1}}{мм}$$

Кутові швидкості будуємо, прийнявши полюсну відстань $H = 25$ мм.

Масштабний коефіцієнт кутових швидкостей

$$\mu_w = \frac{\mu_V}{\mu_l * H} = \frac{0,05}{0,002 * 25} = 1,0 \frac{с^{-1}}{мм}$$

Графічно визначаємо

$$\omega_9 = \omega_{10} = 0 - 9 * \mu_w = 115 * 1 = 115 с^{-1},$$

$$\omega_H = \omega_6 = 0 - H - 6 * \mu_w = 17 * 1 = 17 с^{-1};$$

$$\omega_{11} = \omega_{12} = 0 - 11 - 12 * \mu_w = 179 * 1 = 179,0 с^{-1},$$

$$\omega_7 = 0 - 7 * \mu_w = 8 * 1 = 8,0 с^{-1}.$$

Аналітично визначаємо

$$\omega_9 = \omega_{10} = 115 с^{-1};$$

$$\omega_{13} = 0 с^{-1};$$

$$\omega_H = \frac{\omega_9}{U_{10-H}^{13}} = \frac{115}{6,716} = 17,1 с^{-1}; \quad \omega_H = \omega_6 = 17,1 с^{-1};$$

$$\omega_7 = \frac{\omega_6}{U_{6-7}} = \frac{17,1}{-2,13} = 8,03 с^{-1}.$$

										Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

Розрахунки зводимо до таблиці 3.2

Таблиця 3.2. Параметри редуктора

№	Z_6	Z_7	Z_{10}	Z_{11}	Z_{12}	Z_{13}	H
Z_i	15	32	18	50	18	50	-
ω_{ep}, c^{-1}	17	8	115	179	179	0	17
ω_{an}, c^{-1}	17,1	8,03	115	179,68	179,68	0	17,1

3.4. 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

$$X_\Sigma = 0,937; \quad X_6 = 0,519;$$

$$X_7 = X_\Sigma - X_6 = 0,937 - 0,519 = 0,418.$$

Крок за ділительним колом

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

Радіуси ділительних кіл

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

$$R_6 = 0,5 \cdot 5 \cdot 15 = 37,5 \text{ мм.}$$

$$R_7 = 0,5 \cdot 5 \cdot 32 = 80,0 \text{ мм.}$$

Радіуси за основним колом

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

$$r_{b6} = 37,5 \cdot 0,94 = 35,25 \text{ мм.}$$

$$r_{b7} = 80 \cdot 0,94 = 75,2 \text{ мм.}$$

Крок за основним колом

$$P_B = P \cdot \cos \alpha = 15,7 \cdot 0,94 = 14,758 \text{ мм.}$$

Кут зачеплення

$$\text{inv} \alpha_w = \frac{2X_\Sigma}{Z_\Sigma} \cdot \text{tg} \alpha + \text{inv} \alpha = \frac{2 \cdot 0,937}{47} \cdot 0,364 + 0,014904 = 0,0294;$$

Арк.

$$\text{де } \alpha_w = 24^{\circ}46'; \quad \cos \alpha_w = 0,908; \quad \operatorname{tg} \alpha_w = 0,46. \quad \sin \alpha_w = 0.418.$$

Радіуси початкових кіл

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

$$r_{w6} = 0,5 \cdot 15 \cdot \frac{0,94}{0,908} = 38,82 \text{ мм}; \quad ;$$

$$r_{w7} = 0,5 \cdot 5 \cdot 32 \cdot \frac{0,94}{0,908} = 82,82 \text{ мм}; \quad .$$

Міжосьова відстань

$$a_w = r_{w6} + r_{w7} = 38,82 + 82,82 = 121,64 \text{ мм};$$

$$a_w^o = r_6 + r_7 = 37,5 + 80,0 = 117,5 \text{ мм}.$$

Радіуси кіл западин

$$r_{f6} = m(0,5Z_6 - h_a^* - C^* + X_6) = 5(0,5 \cdot 15 + 0,519 - 1 - 0,25) = 33,84 \text{ мм};$$

$$r_{f7} = m(0,5Z_7 - h_a^* - C^* + X_7) = 5(0,5 \cdot 32 + 0,418 - 1 - 0,25) = 75,84 \text{ мм}.$$

Висота зуба коліс

$$h = a_w - r_{f7} - r_{f6} - C^* \cdot m = 121,64 - 75,84 - 33,84 - 5 \cdot 0,25 = 10,71 \text{ мм};$$

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

Радіуси кіл вершин

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

$$r_{a6} = 33,84 + 10,71 = 44,55 \text{ мм};$$

$$r_{a7} = 75,84 + 10,71 = 86,55 \text{ мм};$$

$$r_{a6}^o = 37,5 + 11,25 = 48,75 \text{ мм};$$

$$r_{a7}^o = 80 + 11,25 = 91,25 \text{ мм}.$$

Товщина зубців за ділильним колом

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

$$S_6 = 5 \cdot (0,5 \cdot 3,14 + 2 \cdot 0,519 \cdot 0,364) = 9,74 \text{ мм};$$

$$S_7 = 5 \cdot (0,5 \cdot 3,14 + 2 \cdot 0,418 \cdot 0,364) = 9,37;$$

$$S_7^o = S_6^o = m \cdot 0,5 \cdot \pi = 5 \cdot 0,5 \cdot 3,14 = 7,85 \text{ мм}.$$

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Товщина зубців за основним колом

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

$$S_{b6} = 2 \cdot 35,25 \cdot \left(\frac{9,74}{2 \cdot 37,5} + 0,014904 \right) = 10,2 \text{ мм};$$

$$S_{b7} = 2 \cdot 75,2 \cdot \left(\frac{9,37}{2 \cdot 80} + 0,014904 \right) = 11,04 \text{ мм}.$$

Товщина зубців за початковим колом

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

$$S_{w6} = 2 \cdot 38,82 \cdot \left(\frac{9,74}{2 \cdot 37,5} + 0,014904 - 0,0294 \right) = 8,96 \text{ мм};$$

$$S_{w7} = 2 \cdot 82,82 \cdot \left(\frac{9,37}{2 \cdot 80} + 0,014904 - 0,0294 \right) = 7,29 \text{ мм}.$$

Крок за початковим колом

$$P_w = P \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_w} = \frac{15,7 \cdot 0,939}{0,908} = 16,25 \text{ мм}.$$

$$P_w = S_{w6} + S_{w7};$$

Перевірка $P_w = 16,25$; $S_{w6} + S_{w7} = 8,96 + 7,29 = 16,25$;

$$\Delta = 0,01 < 0,02.$$

Товщина зубців за колами вершин

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

де $\cos \alpha_{a6} = r_{b6} / r_{a6} = 35,25 / 44,55 = 0,791$; $\alpha_{a6} = 37^\circ 42'$; $inv \alpha_{a6} = 0,1149$;

$\cos \alpha_{a7} = r_{b7} / r_{a7} = 75,2 / 86,55 = 0,869$; $\alpha_{a7} = 29^\circ 42'$; $inv \alpha_{a7} = 0,052$

$$S_{a6} = 2 \cdot 44,5 \cdot \left(\frac{9,74}{2 \cdot 37,5} + 0,014904 - 0,1149 \right) = 2,66 \text{ мм};$$

$$S_{a7} = 2 \cdot 86,55 \cdot \left(\frac{9,37}{2 \cdot 80} + 0,014904 - 0,052 \right) = 3,71 \text{ мм}.$$

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт перекриття зачеплення

$$\varepsilon_{6-7} = \frac{\sqrt{r_{a6}^2 - r_{b6}^2} + \sqrt{r_{a7}^2 - r_{b7}^2} - a_w * \sin \alpha_w}{\pi * m * \cos \alpha_w} =$$

$$= \frac{\sqrt{44,55^2 - 35,25^2} + \sqrt{86,55^2 - 75,2^2} - 121,64 * 0,418}{3,14 * 5 * 0,939} = 1,249 > [1,15].$$

Результати розрахунків зводимо в таблицю 3.3. параметрів зачеплення.

Перевірка якості зубців: - на не загострення $S_a > 0,4 * m = 0,4 * 5 = 2,0$ мм

$$S_{a6} = 2,66 > 2,0 \text{ мм};$$

$$S_{a7} = 3,71 > 2,0 \text{ мм}.$$

- на відсутність підрізання

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

$$0,5 \cdot 15 \cdot 0,416^2 \geq 1 - 0,519;$$

$$1,29 > 0,481;$$

$$0,5 \cdot 32 \cdot 0,416^2 \geq 1 - 0,418;$$

$$2,77 > 0,582.$$

Перевірка якості зачеплення - коефіцієнт питомих ковзань

$$\lambda_6 = 1 - \frac{\rho_7 \cdot Z_6}{\rho_6 \cdot Z_7}; \quad \lambda_7 = 1 - \frac{\rho_6 \cdot Z_7}{\rho_7 \cdot Z_6}$$

Наприклад : $\lambda_6 = 1 - \frac{\rho_7 \cdot Z_6}{\rho_6 \cdot Z_7} = 1 - 15 * \rho_7 / 32 * \rho_6 = 1 - 0,47 * \rho_7 / \rho_6;$

$$\lambda_7 = 1 - \frac{\rho_6 \cdot Z_7}{\rho_7 \cdot Z_6} = 1 - 32 * \rho_6 / 15 * \rho_7 = 1 - 2,13 * \rho_6 / \rho_7.$$

Розрахунки коефіцієнтів питомих ковзань зводимо до таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 - Коефіцієнт питомих ковзань

X ^T	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ρ_8 / ρ_7	$\frac{0}{10}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{2}{8}$	$\frac{3}{7}$	$\frac{4}{6}$	$\frac{5}{5}$	$\frac{6}{4}$	$\frac{7}{3}$	$\frac{8}{2}$	$\frac{9}{1}$	$\frac{10}{0}$
λ_5	$-\infty$	-2,15	-0,4	0,18	0,48	0,65	0,76	0,85	0,91	0,96	1
ρ_7 / ρ_8	$\frac{10}{0}$	$\frac{9}{1}$	$\frac{8}{2}$	$\frac{7}{3}$	$\frac{6}{4}$	$\frac{5}{5}$	$\frac{4}{6}$	$\frac{3}{7}$	$\frac{2}{8}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{0}{10}$
λ_6	1	0,68	0,29	-0,22	-0,9	-1,86	-3,29	-5,67	-10,43	-24,71	$-\infty$

Масштабний коефіцієнт для коефіцієнтів питомих ковзань

											Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

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

Масштабний коефіцієнт для креслення зачеплення

$$\mu_\ell = \frac{a_w}{a_w} = \frac{0,12164}{446,56} = 0.00025 \frac{\text{м}}{\text{мм}}$$

Контрольні розміри зчеплення

- розмір за постійною хордою

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

$$S_{\ell 6} = 9,74 * 0,88 = 8,57 \text{мм};$$

$$S_{\ell 7} = 9,37 * 0,88 = 8,24 \text{мм};$$

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

$$h_{c6} = 44,55 - 37,5 - 0,25 * 9,74 * 0,6428 = 5,48 \text{мм};$$

$$h_{c7} = 86,55 - 80 - 0,25 * 9,37 * 0,6428 = 5,03 \text{мм}.$$

Довжина загальної нормалі

$$W_i = P_b * n_i + S_{bi}.$$

$$n_6 = 15/9 = 1,67;$$

$$n_7 = 35/9 = 3,55;$$

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

$$W_6 = 14,76 * 1 + 10,2 = 24,96 \text{мм};$$

$$W_7 = 14,76 * 3 + 11,4 = 55,68 \text{мм}.$$

3.5. Розрахунок та креслення станочного зачеплення

Висота зуба рейки

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

Величина зміщення

$$y = mx = 5 * 0,519 = 1,297 \text{мм}.$$

Радіуси округлення зубців

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

Статочне зачеплення креслимо з масштабним коефіцієнтом

$$\mu_z = 0,25 * 10^{-3} \text{ м / мм}.$$

						Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Змін.
Арк.
№ докум.
Підпис
Дата

Таблиця 3.3. - Параметри зачеплення.

Тип Зачепленн я	Z ₆	Z ₇	m мм	P мм	P _B мм	R ₆ мм	R ₇ Мм	r _{b6} мм	r _{b7} мм	X ₇	X ₆	α _W	r _{w6} мм	r _{w7} Мм
Нульове	15	32	5	15,7	14,76	37,5	80	35,25	75,2	0	0	20	37,5	80
Зміщене	15	32	5	15,7	14,76	37,5	80	35,25	75,2	0,519	0,418	24°46'	38,82	82,82
Розмір на креслен.	-	-	20	62,8	59,04	150	320	141,5	300,8	-	-	-	155,3	331,3

a _w мм	P _w мм	r _{f6} мм	r _{f7} мм	h мм	r _{a6} мм	r _{a7} мм	S ₆ мм	S ₇ мм	S _{w6} мм	S _{w7} мм	S _{b6} мм	S _{b7} мм	S _{a6} мм	S _{a7} мм	E ₆₋₇
117,5	15,7	31,25	73,25	11,25	48,75	91,25	7,85	7,85	7,85	7,85	7,39	7,39	2,15	2,45	0,985
121,64	16,25	33,84	75,84	10,71	44,53	86,55	9,74	9,37	8,96	7,29	10,2	11,4	2,66	3,71	1,249
486,56	65	135,36	303,4	42,84	178,1	346,2	38,96	37,48	35,84	29,16	40,8	45,6	10,64	14,84	

Арк.

