



*Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу*

ЗМ 8. Черв'ячні передачі

Рачкевич Руслан

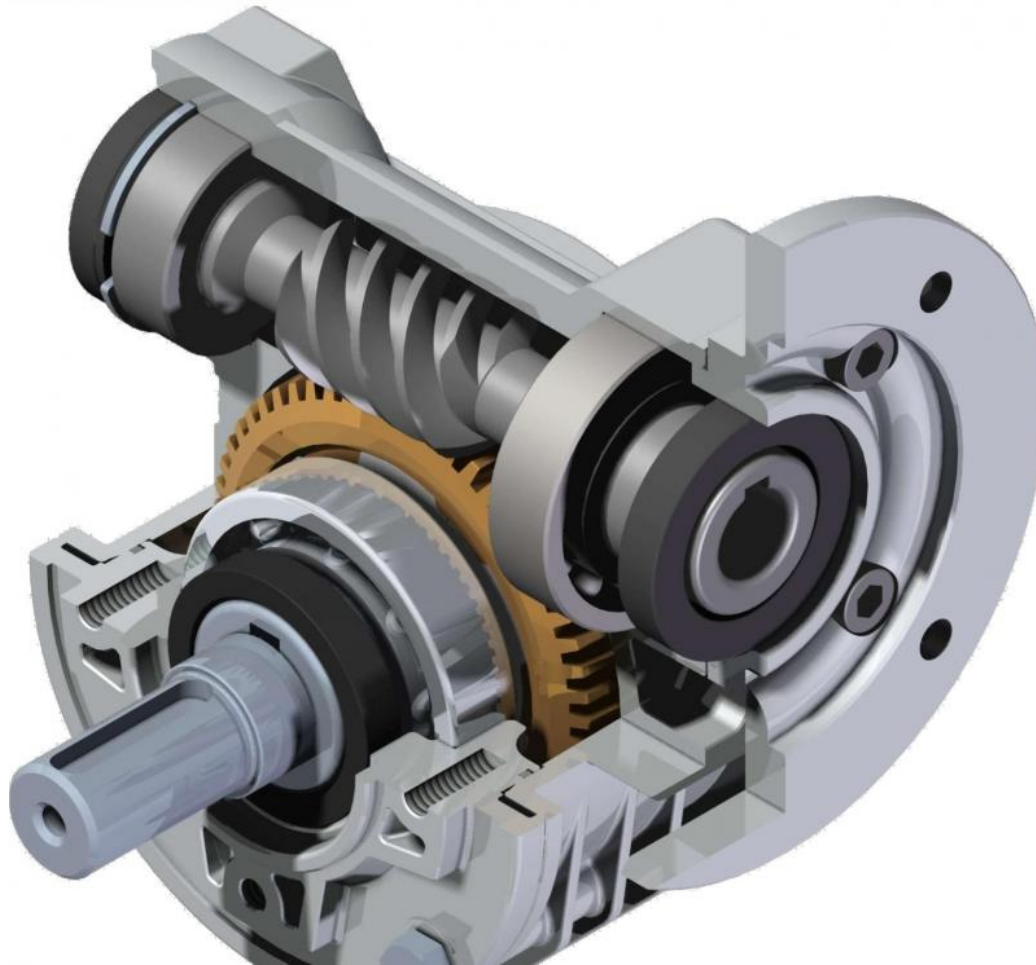
Тематичний план лекції

8.1) Загальні відомості та класифікація черв'ячних передач. Кінематичний і геометричний розрахунок передачі.

8.2) Навантаження на зубці черв'ячного колеса. Розрахунок зубців черв'ячного колеса на контактну втому й втому при згині. Проектний розрахунок черв'ячної передачі.

Загальні відомості та класифікація черв'ячних передач

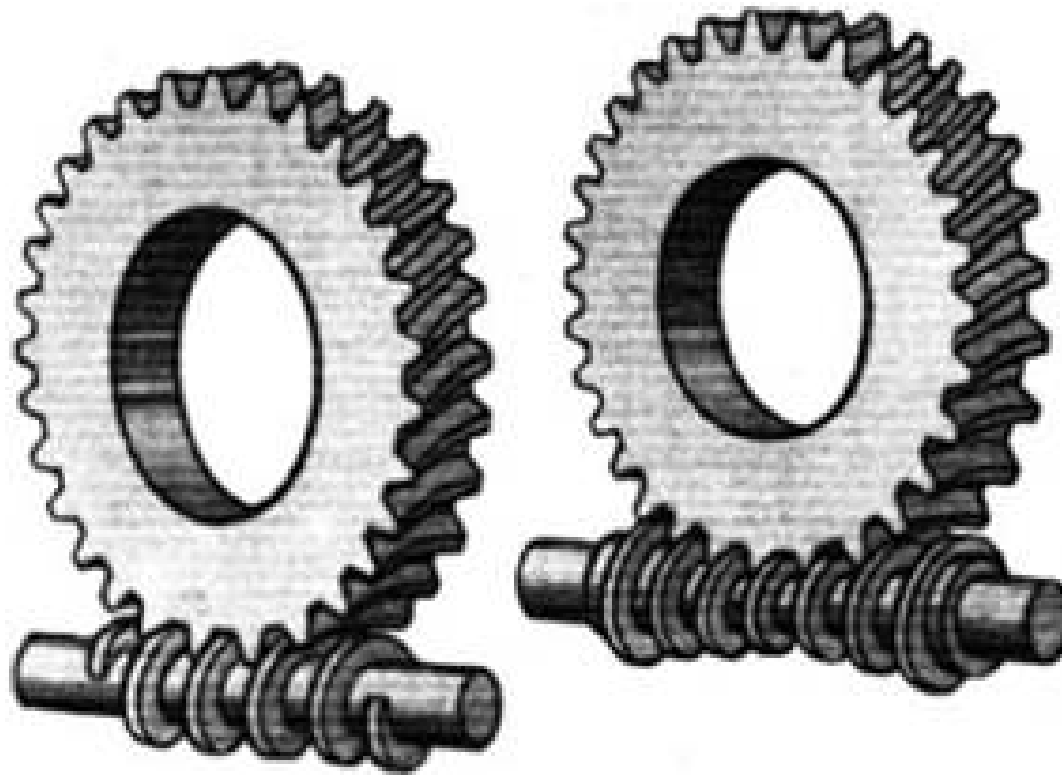
Черв'ячна передача складається з **черв'яка**, що має форму гвинта, та **черв'ячного колеса**.



$$u=7\ldots 100$$

Загальні відомості та класифікація черв'ячних передач

Поділ за формою ділильної поверхні черв'яка

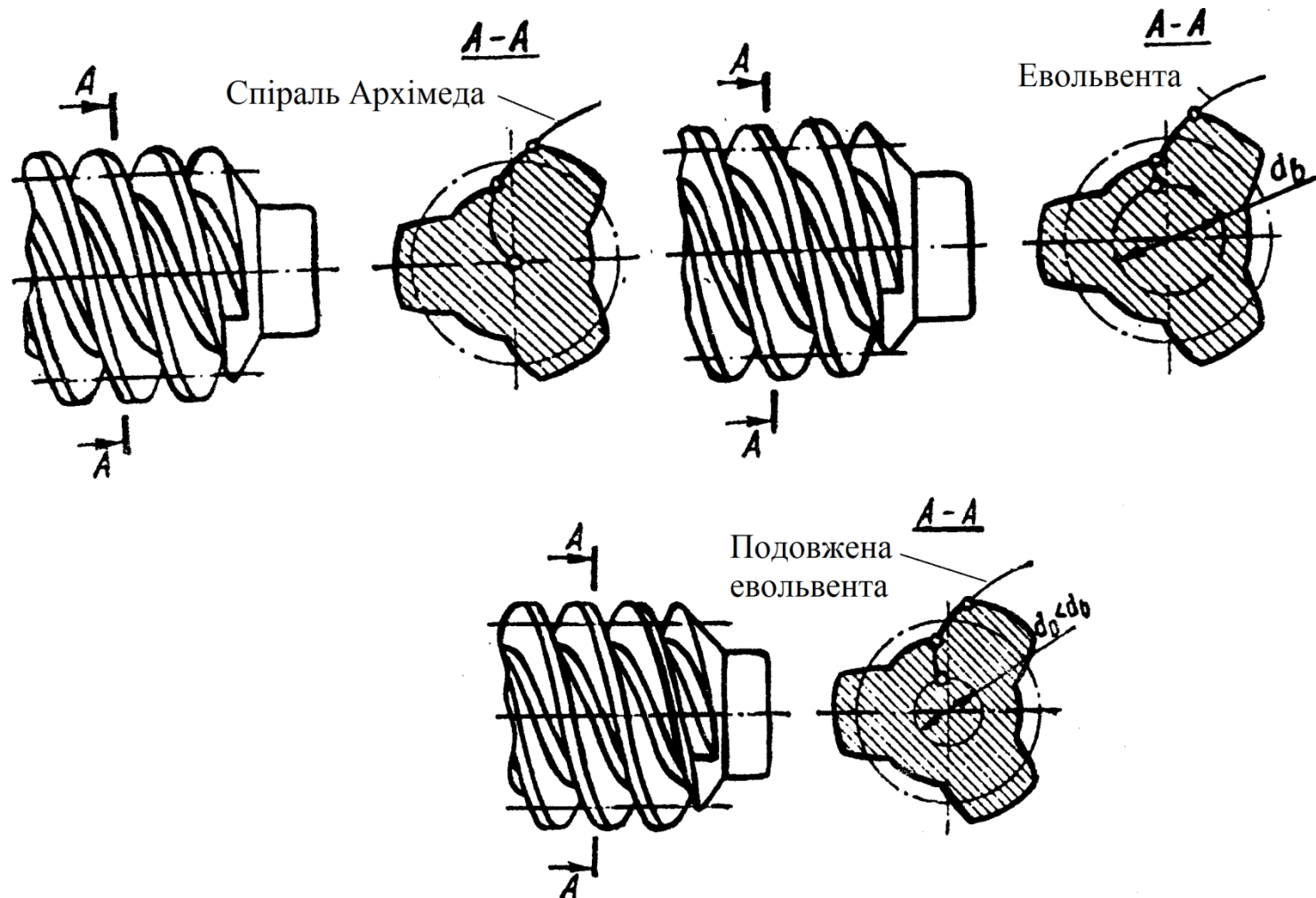


а) Циліндрична

б) Глобоїдна

Загальні відомості та класифікація черв'ячних передач

Поділ за формою профілю витків черв'яка у торцевій площині:
а) архімедові; б) конволютні; с) евольвентні

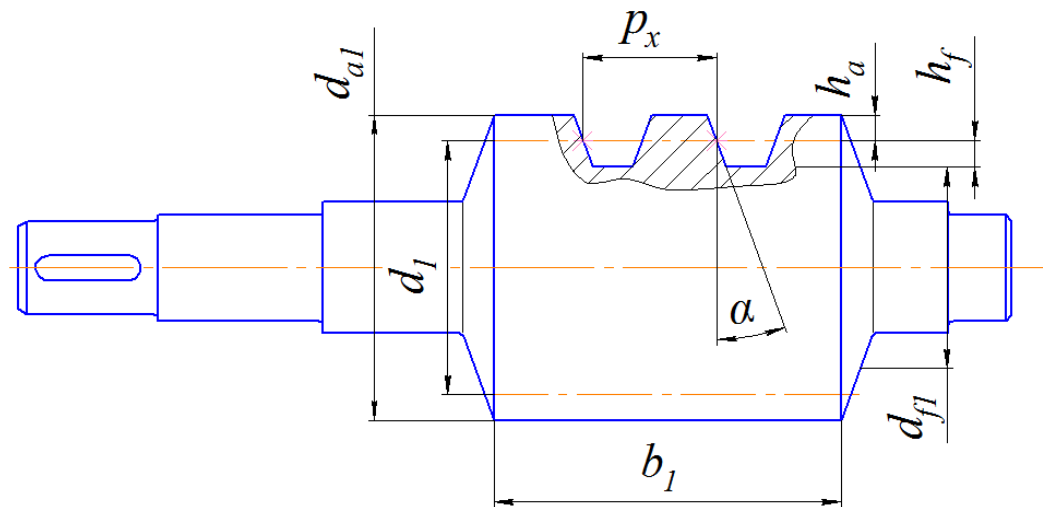


Загальні відомості та класифікація черв'ячних передач

Поділ за розміщенням черв'яка відносно черв'ячного колеса:
а) верхнім; б) нижнім; в) бічним



Кінематичний і геометричний розрахунок передачі



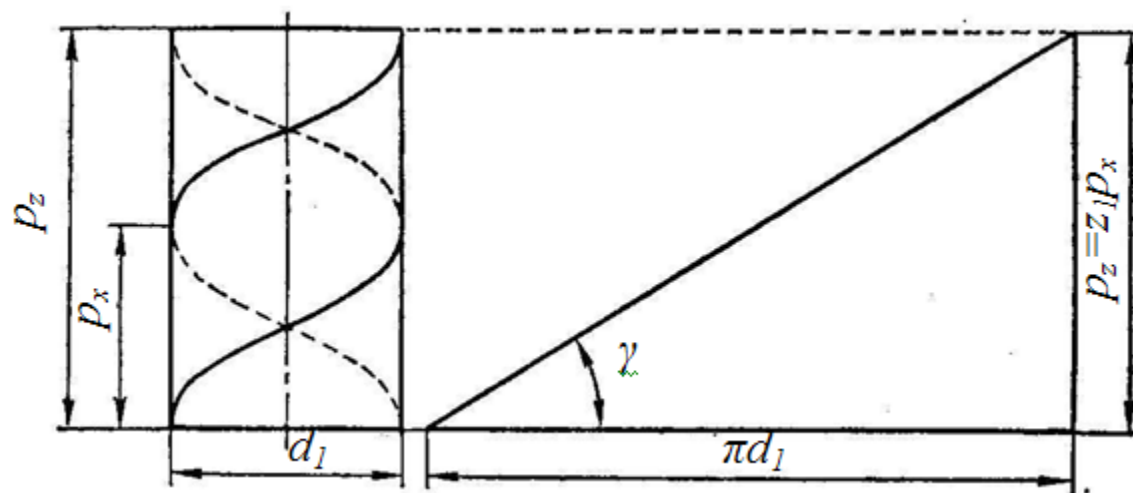
p_x — осьовий крок;

z_1 — кількість витків;

$p_z = z_1 p_x$ — хід гвинтової лінії;

$\frac{p_x}{\pi} = m$ — модуль;

γ - дільний кут підйому витка черв'яка $q = \frac{d_1}{m}$ — коефіцієнт діаметру червяка.

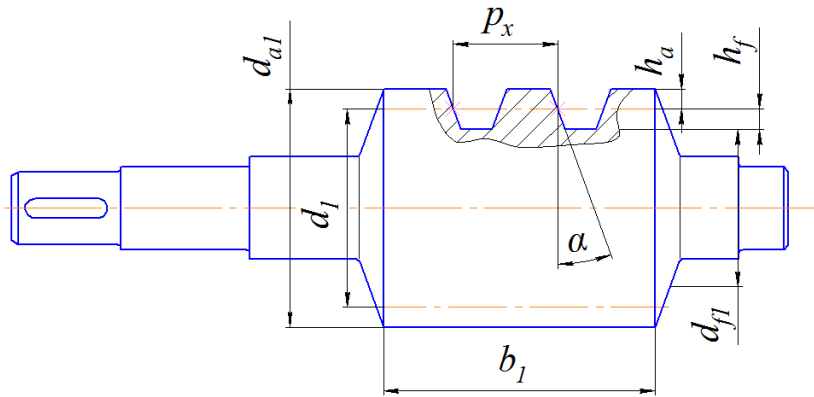


$$d_1 = m q,$$

$$t q \gamma = \frac{p_z}{\pi d_1} = \frac{z_1 \pi m}{\pi q m} = \frac{z_1}{q}.$$

Кінематичний і геометричний розрахунок передачі

$$h_a^* = 1; h_f^* = 1,2; s^* = 0,5\pi$$



$$h_a = h_a^* m = 1m;$$

$$h_f = h_f^* m = 1,2m;$$

$$s = 0,5\pi m ;$$

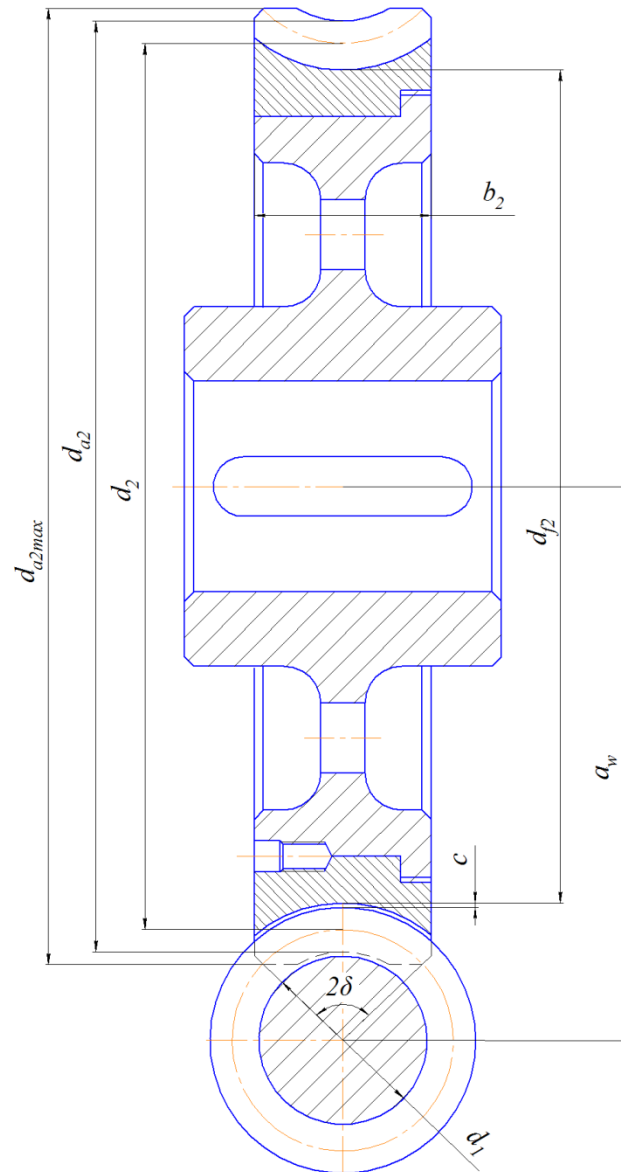
$$d_{a1} = d_1 + 2 h_a^* m = d_1 + 2 m;$$

$$d_{f1} = d_1 - 2 h_f^* m = d_1 - 2,4 m;$$

$$b_1 \geq (11 + 0,06z_2)m; z_1 = 1 \text{ або } z_1 = 2;$$

$$b_1 \geq (12,5 + 0,09z_2)m; z_1 = 4.$$

Кінематичний і геометричний розрахунок передачі



$$d_2 = m z_2;$$

$$d_{a2} = d_2 + 2 h_a^* m = d_2 + 2 m;$$

$$d_{f2} = d_2 - 2 h_f^* m = d_2 - 2,4 m;$$

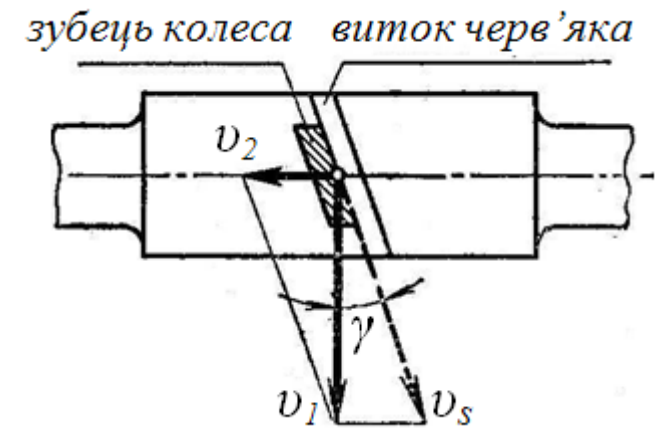
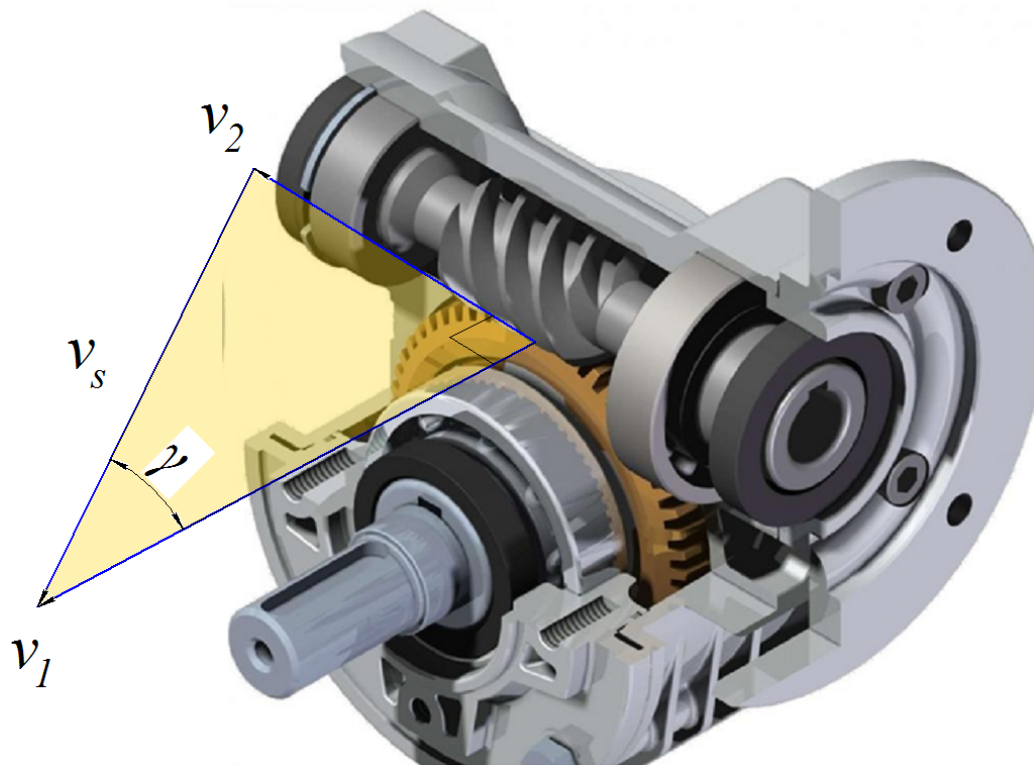
$$b_2 \geq 0,75 d_{a2}; z_1 = 1 \text{ або } z_1 = 2;$$

$$b_2 \geq 0,67 d_{a1}; z_1 = 4.$$

$$a_w = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{m(q + z_2)}{2}.$$

Кінематичний і геометричний розрахунок передачі

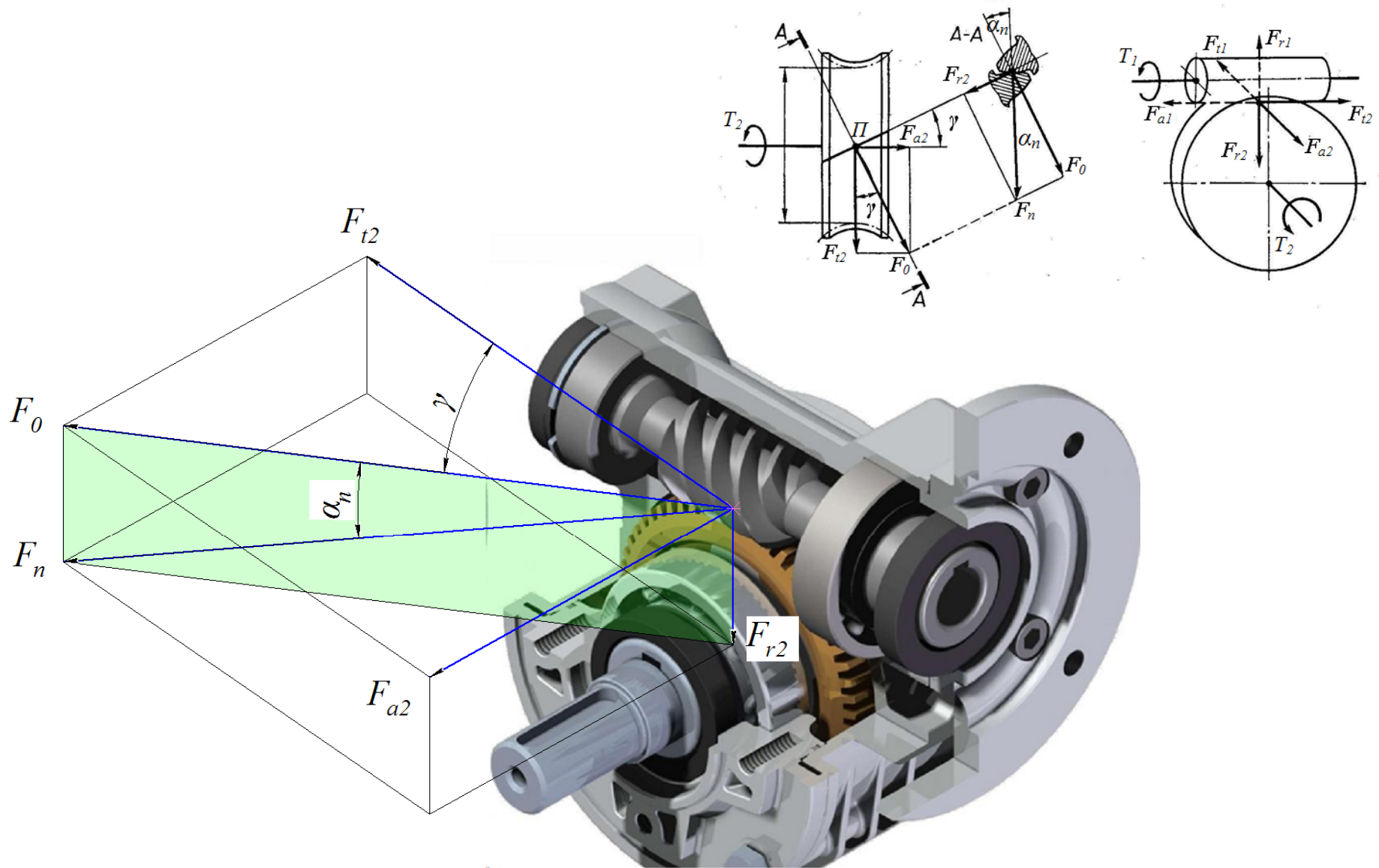
$$u = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{d_2}{m q \operatorname{tg} \gamma} = \frac{d_2}{m \frac{d_1}{m} \operatorname{tg} \gamma} = \frac{d_2}{d_1 \operatorname{tg} \gamma}.$$



$$\vec{v}_s = \vec{v}_1 - \vec{v}_2;$$

$$\cos \gamma = \frac{v_1}{v_s}, v_s = \frac{v_1}{\cos \gamma} = \frac{0,5 d_1 \omega_1}{\cos \gamma}.$$

Навантаження на зубці черв'ячного колеса



Навантаження на зубці черв'ячного колеса

12

Коефіцієнт, що враховує розподіл навантаження по ширині вінця

$$F_{t2} = \frac{2T_2}{d_2};$$

Максимальне значення питомої сили розподіленої по лінії контакту

$$q = \frac{F_n}{l_\Sigma} K_\beta K_v;$$

Коефіцієнт динамічного навантаження

$$\frac{F_{a2}}{F_{t2}} = \operatorname{tg} \gamma; \quad F_{a2} = F_{t2} \operatorname{tg} \gamma;$$

Сумарна довжина лінії контакту

$$l_\Sigma = \frac{b_2 \varepsilon_\alpha}{\cos \gamma};$$

Торцовий коефіцієнт перекриття

$$\frac{F_{t2}}{F_0} = \cos \gamma; \quad F_0 = \frac{F_{t2}}{\cos \gamma};$$

$$q = \frac{F_{t2}}{\cos \gamma \cos \alpha_n l_\Sigma} K_\beta K_v;$$

$$\frac{F_{r2}}{F_0} = \operatorname{tg} \alpha_n; \quad F_{r2} = F_0 \operatorname{tg} \alpha_n; \quad F_{r2} = \frac{F_{t2}}{\cos \gamma} \operatorname{tg} \alpha_n;$$

$$q = \frac{F_{t2} \cos \gamma}{\cos \gamma \cos \alpha_n b_2 \varepsilon_\alpha} K_\beta K_v;$$

$$\frac{F_0}{F_n} = \cos \alpha_n; \quad F_n = \frac{F_0}{\cos \alpha_n}; \quad F_n = \frac{F_{t2}}{\cos \gamma \cos \alpha_n};$$

$$q = \frac{F_{t2}}{b_2 \varepsilon_\alpha \cos \alpha_n} K_\beta K_v;$$

$$F_{t1} = F_{a2}; \quad F_{a1} = F_{t2}.$$

Питома колова сила

$$w_t = \frac{F_{t2}}{b_2} K_\beta K_v;$$

$$q = \frac{w_t}{\varepsilon_\alpha \cos \alpha_n}.$$

Навантаження на зубці черв'ячного колеса

Залежність x від режиму навантаження:

$x=1$ – постійний;

$x=0,77$ – важкий;

$x=0,6$ – середній рівномірний;

$x=0,5$ – середній нормальний;

$x=0,31$ – легкий.

$$q_H = \frac{w_{Ht}}{\varepsilon_\alpha \cos \alpha_n};$$

$$q_F = \frac{w_{Ft}}{\varepsilon_\alpha \cos \alpha_n};$$

$$w_{Ht} = \frac{F_{t2}}{b_2} K_{H\beta} K_{Hv}; \quad w_{Ft} = \frac{F_{t2}}{b_2} K_{F\beta} K_{Fv}.$$

$$K_{H\beta} = K_{F\beta}; \quad K_{Hv} = K_{Fv}$$

$$K_{H\beta} = K_{F\beta} = 1 + \left(\frac{z_2}{\Theta} \right)^3 (1 - x).$$

Коефіцієнт деформації черв'яка θ

Число витків черв'яка	Коефіцієнт деформації θ при коефіцієнті діаметра q						
	8	9	10	12	12,5	14	16
1	72	89	108	138	157	179	194
2	57	71	86	112	125	149	163
4	47	58	70	93	101	120	131

Коефіцієнт K_v динамічного навантаження для черв'ячної передачі

Степінь точності передачі	Коефіцієнти K_v при швидкості ковзання v_s м/с			
	$\geq 1,5$	1,5...3,0	3,0...7,5	7,5...12
6	—	—	1,0	1,1
7	1,0	1,0	1,1	1,2
8	1,15	1,25	1,4	—
9	1,25	—	—	—

Матеріали для виготовлення черв'яка та черв'ячного колеса

Наявність високих швидкостей ковзання у зачепленні вимагають від матеріалів черв'ячної передачі високі антифрикційні властивості і стійкість до заїдання.

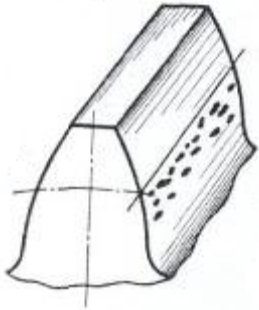
Черв'яки найчастіше виготовляють із якісних вуглецевих сталей (**45, 50**), а у передачах відповідального призначення – із легованих сталей (**40X, 40XH, 35XГСА, 40Г2** та інші). Термообробка до твердості з подальшим шліфуванням та поліруванням робочих поверхонь витків, що суттєво підвищує несучу здатність і довговічність.

Вінці **черв'ячних коліс** виготовляють переважно з бронзи, а інколи з латуні та чавуну. Олов'яні бронзи **Бр010А1Ф1, Бр010Ф1** є хорошими матеріалами для роботи на високих швидкостях ковзання ($v > 5$ м/с), однак вони є дорогими та дефіцитними. Менш дорогі є безолов'яні бронзи **БрА10Ж4Н4, БрА9Ж3Л** та інші. Вони мають достатньо високу міцність, але гірші антифрикційні властивості. Застосовуються при середніх швидкостях ковзання $v = (2...5)$ м/с.

Для малонавантажених та тихохідних ($v \leq 2$ м/с) черв'ячних передач черв'ячні колеса можуть виготовлятися із чавуну (**СЧ15, СЧ18**) або пластмас (текстоліту, поліамідів).

Конструктивно черв'яки виготовляють у більшості випадків за одно з валом. З метою економії кольорових металів черв'ячні колеса виготовляють із двох частин: бронзового вінця, який кріпиться до колісного центра болтами або на відповідній посадці. При малих діаметрах черв'ячних коліс або чавунних колесах черв'ячні колеса виготовляють суцільними.

Розрахунок зубців черв'ячного колеса на контактну втому й втому при згині



Формула Герца (Hertz) для розрахунку контактних напружень при стисканні двох циліндрів:

$$\sigma_H = Z_E \sqrt{\frac{q}{2\rho_{3\phi}}} \leq \sigma_{HP}$$

$$\rho_1 = \infty \quad \rho_2 = \frac{d_2 \sin \alpha_n}{2 \cos \gamma} \quad \frac{1}{\rho_{3\phi}} = \frac{1}{\infty} + \frac{2 \cos \gamma}{d_2 \sin \alpha_n} = \frac{2 \cos \gamma}{d_2 \sin \alpha_n}$$

Коефіцієнт, що враховує механічні властивості черв'яка і черв'ячного колеса

$$\sigma_H = Z_E \sqrt{\frac{w_{Ht}}{\varepsilon_\alpha \cos \alpha_n} \frac{2 \cos \gamma}{2 d_2 \sin \alpha_n}} \leq \sigma_{HP}$$

$$\sigma_H = Z_E \sqrt{\frac{w_{Ht}}{\varepsilon_\alpha \cos \alpha_n} \frac{\cos \gamma}{d_2 \sin \alpha_n}} \leq \sigma_{HP}$$

$$\sigma_H = Z_E \sqrt{\frac{2 w_{Ht}}{\varepsilon_\alpha} \frac{\cos \gamma}{d_2 \sin 2\alpha_n}} \leq \sigma_{HP}$$

$$\sigma_H = Z_E \sqrt{\frac{2 \cos \gamma}{\sin 2\alpha_n}} \cdot \sqrt{\frac{1}{\varepsilon_\alpha}} \cdot \sqrt{\frac{w_{Ht}}{d_2}} \leq \sigma_{HP}$$

$$\sigma_H = Z_E Z_H Z_\varepsilon \sqrt{\frac{w_{Ht}}{d_2}} \leq \sigma_{HP}$$

Розрахунок зубців черв'ячного колеса на контактну втому й втому при згині

$$\sigma_H = Z_E Z_H Z_\varepsilon \sqrt{\frac{w_{Ht}}{d_2}} \leq \sigma_{HP}$$

Z_E – коефіцієнт, що враховує механічні властивості черв'яка і черв'ячного колеса:

210 МПа^{1/2} – для поєднання матеріалів сталь – бронза;

215 МПа^{1/2} – для матеріалів сталь-чавун;

$Z_H = 1,8$ для усереднених значень γ ;

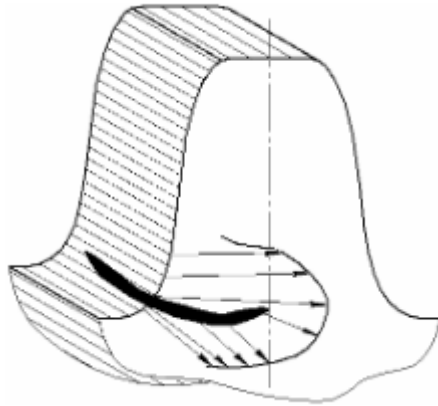
Z_ε – коефіцієнт сумарної довжини контактних ліній у зачепленні; у розрахунках його беруть рівним 0,75 (для мінімального значення $\varepsilon_\alpha = 1,8$).

Розрахунок зубців черв'ячного колеса на контактну втому й втому при згині

Коефіцієнт форми
зубців

Коефіцієнт нахилу зубців
черв'ячного колеса

Коефіцієнт перекриття
зубців



$$\sigma_F = Y_F Y_\beta Y_\varepsilon \frac{W_{Ft}}{m} \leq \sigma_{FP} \quad z_{v2} = z_2 / \cos^3 \gamma$$

z_v	Y_F	z_v	Y_F	z_v	Y_F
28	1,8	37	1,61	60	1,40
30	1,76	40	1,55	80	1,34
32	1,71	45	1,48	100	1,30
35	1,64	50	1,45	150	1,27

$$Y_\beta = \left(1 - \frac{\gamma}{140^\circ}\right) \frac{1}{\cos \gamma} \quad Y_\beta = 0,95 \text{ при } \gamma = 10^\circ$$

$$Y_\varepsilon = 0,75$$

Проектний розрахунок черв'ячної передачі

Задано: u – передаточне число; z_1 – число витків черв'яка; T_2 – крутний момент на черв'ячному колесі; σ_{HP} – допустиме контактне напруження

➡ $z_2 = u z_1$ ($z_{2\min} = 28$; $z_{2\max} = 80$). Рідше $z_2 = 100 \dots 150$.

➡ $q = (0,22 \dots 0,40) z_2$

m , мм	q	m , мм	q
2	8; 10; 12; 12,5; 16; 20	6	9; 10
2,5	8; 10; 12; 12,5; 16; 20	6,3	8; 10; 12,5; 14; 16; 20
3	10; 12	7	12
3,15	8; 10; 12,5; 16; 20	8	8; 10; 12,5; 16; 20
3,5	10; 12*; 14*	10	8; 10; 12,5; 16; 20
4	8; 9; 10; 12*; 12,5; 16; 20	12,5	8; 10; 12,5; 16; 20
5	8; 10; 12,5; 16; 20	16	8; 10; 12,5; 16
* Тільки для числа витків $q=1$.			

Проектний розрахунок черв'ячної передачі

$$\Rightarrow a_w = K_a \left(\frac{z_2}{q} + 1 \right) \sqrt[3]{\frac{T_2 K_{H\beta} q^2}{z_2^2 \sigma_{HP}^2}}$$

$$K_a = \sqrt[3]{\frac{2 \times 10^3 K_{Hv}}{0,75 \cdot 8} (Z_E Z_H Z_\varepsilon)^2}$$

$K_a = 310 \text{ МПа}^{1/3}$ - для матеріалів сталь-бронза;

$K_a = 315 \text{ МПа}^{1/3}$ – для матеріалів сталь-чавун.

$$\Rightarrow m' = \frac{2 a_w}{q + z_2} \Rightarrow m - \text{узгоджене з стандартним значенням.}$$

Дякую за увагу!