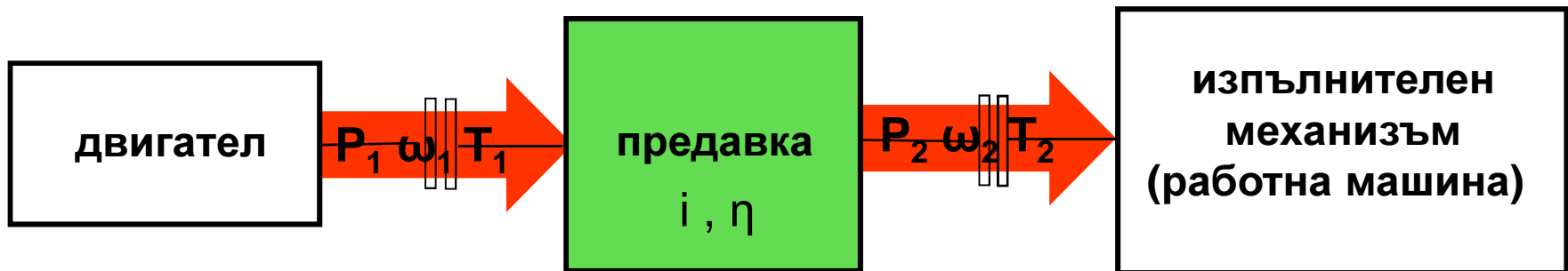


Въпрос № 7

**МЕХАНИЧНИ ПРЕДАВКИ – ОБЩИ
ХАРАКТЕРИСТИКИ И К.П.Д. ЗЪБНИ ПРЕДАВКИ –
КЛАСИФИКАЦИИ. ГЕОМЕТРИЧНИ
ЗАВИСИМОСТИ ПРИ ЦИЛИНДРИЧНИ ЗЪБНИ
КОЛЕЛА С ПРАВИ ЗЪБИ**

МЕХАНИЧНИ ПРЕДАВКИ

Предназначение – служат за предаване и преобразуване на енергия от силовата машина (двигателят) към работната машина

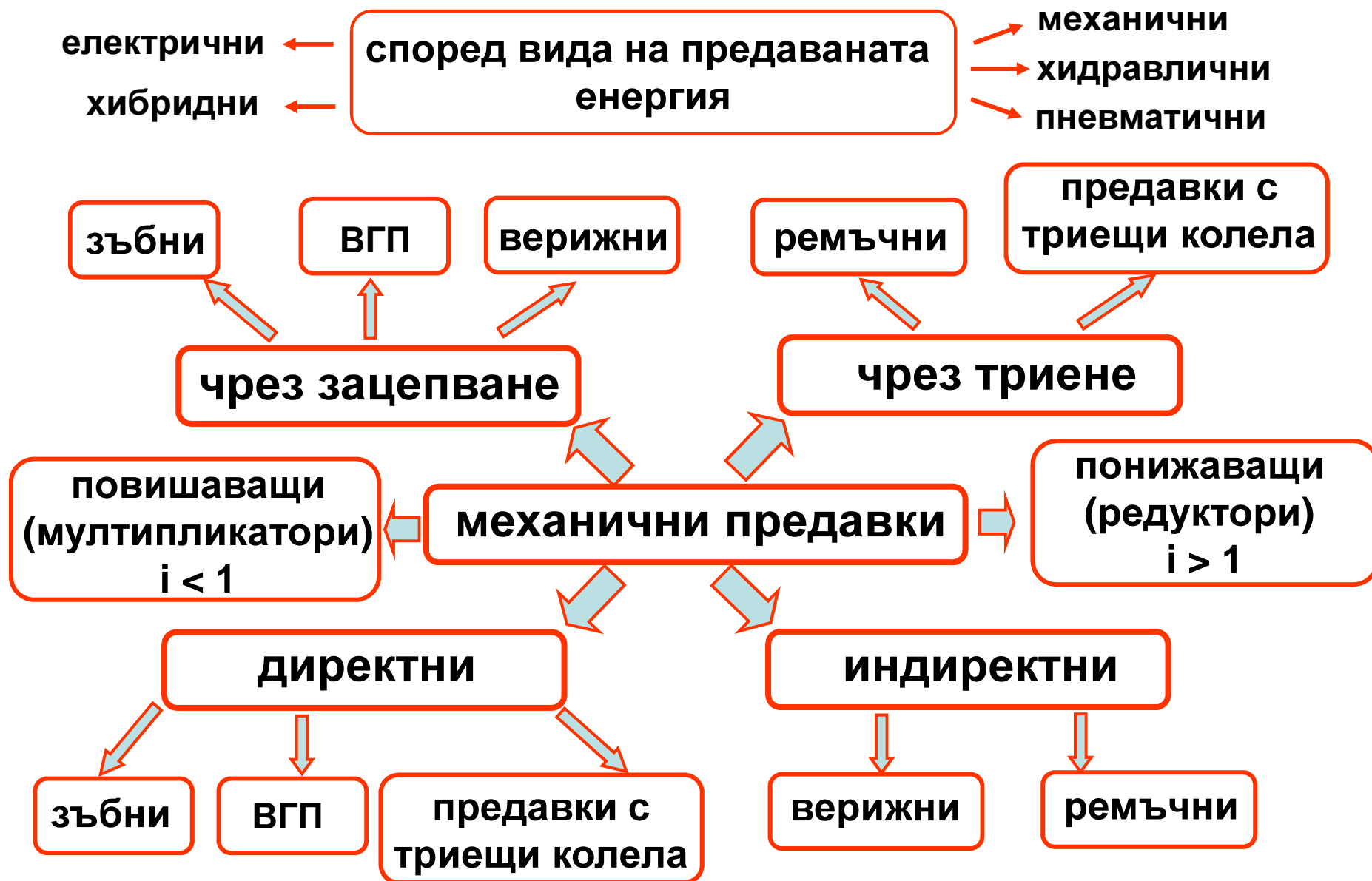


Предавателно отношение $i = \frac{\omega_1}{\omega_2}$ $(i = const)$
 $(i \neq const)$

Коефициент на полезно действие $\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{\omega_2 T_2}{\omega_1 T_1} = \frac{T_2}{iT_1}$

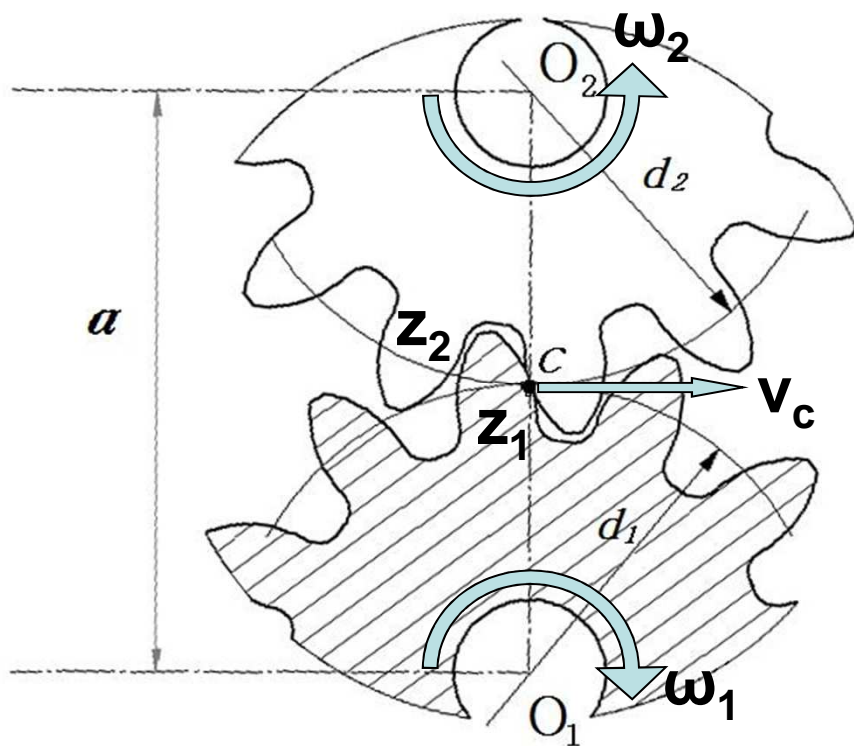
$$T_2 = i\eta T_1$$

Класификации на предавките



ЗЪБНИ ПРЕДАВКИ

Директни предавки , работещи чрез зъбно зацепване , като профилите на зъбите отговарят на специални изисквания.



$$v_c = \omega_1 \frac{d_1}{2} = \omega_2 \frac{d_2}{2}$$

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{z_2}{z_1} = const$$

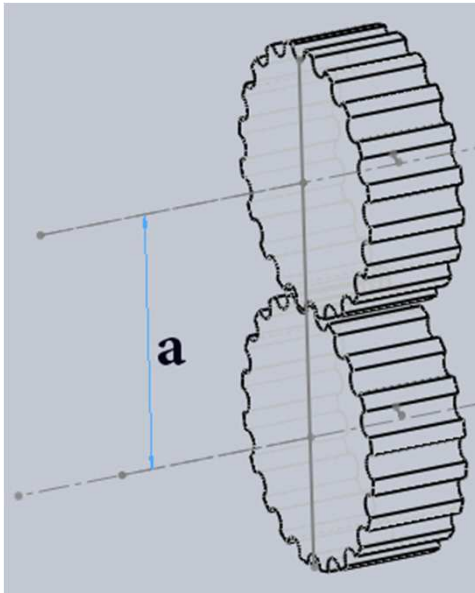
предавателно отношение

$$u = \frac{d_\Gamma}{d_M} = \frac{z_\Gamma}{z_M} \geq 1$$

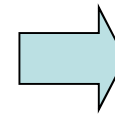
предавателно число

Класификации на зъбните предавки

1. Според взаимното разположение на осите на зъбните колела

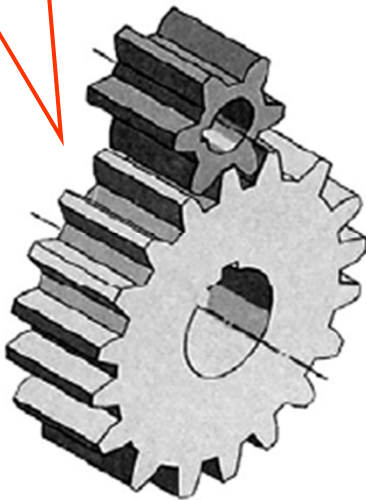


A) с успоредни оси



**Цилиндрична
предавка**

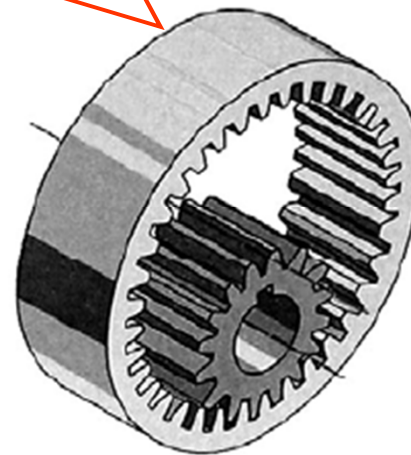
прави зъби



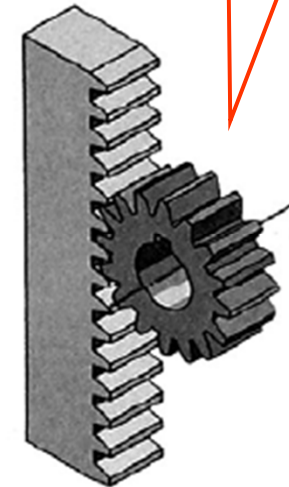
наклонени зъби



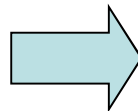
вътрешно зацепване



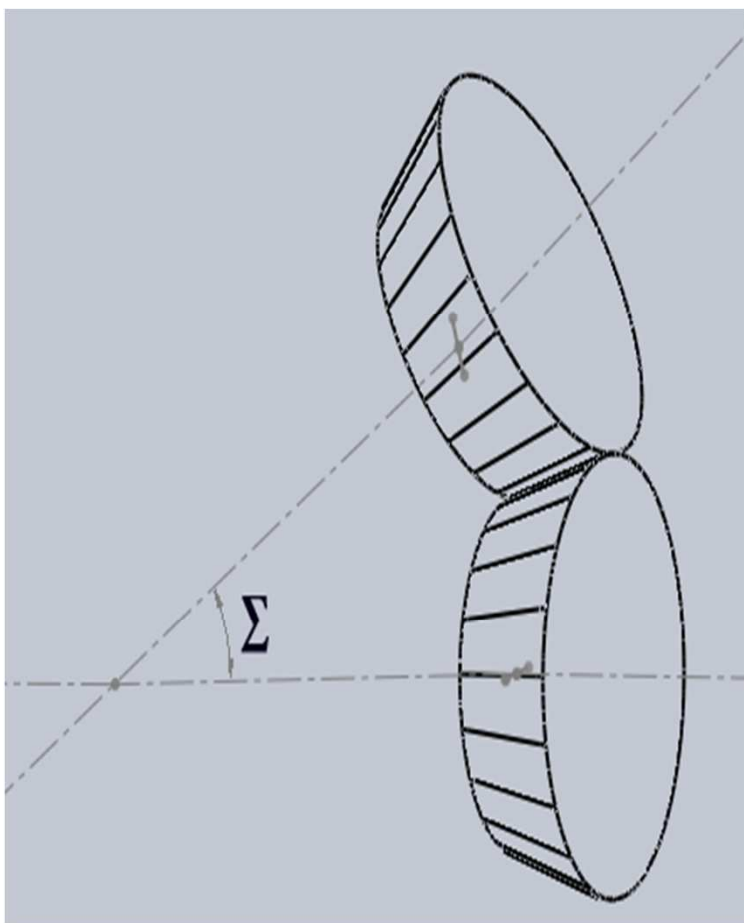
**зъбно-реечна
предавка**



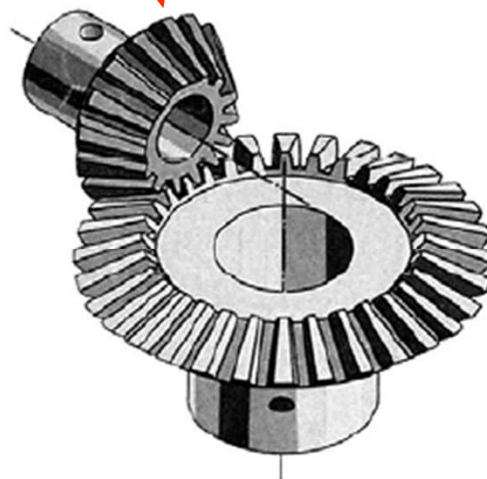
В) С пресичащи се оси



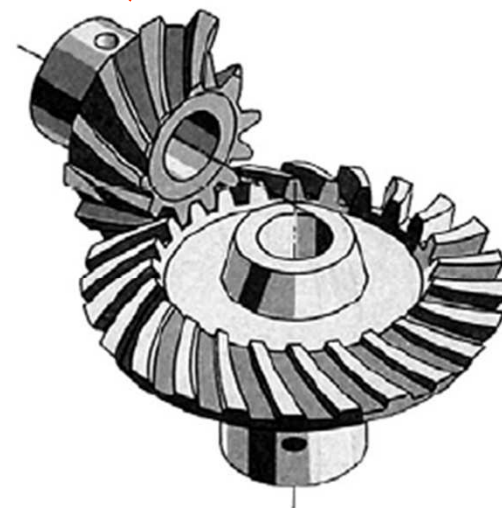
Конусна зъбна предавка



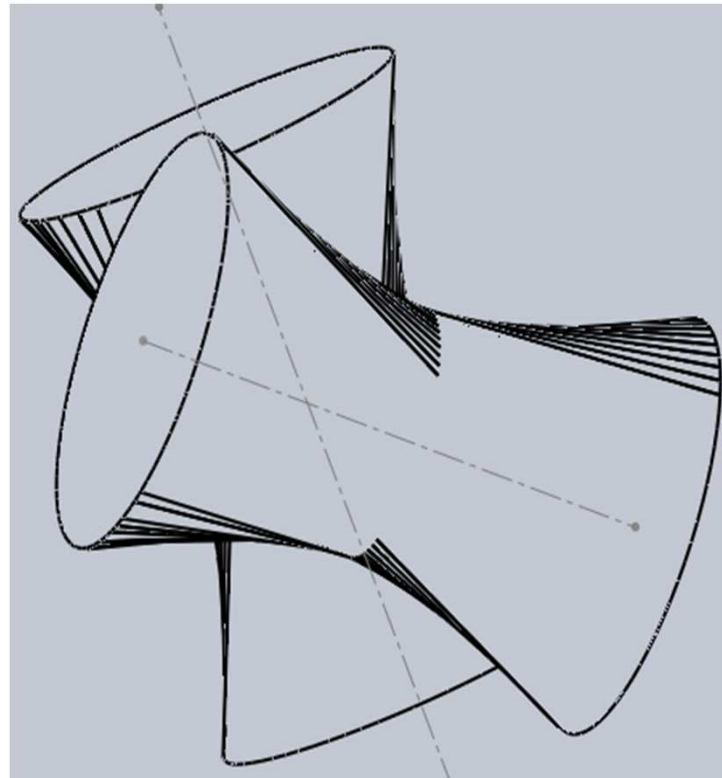
с прави зъби



с наклонени зъби



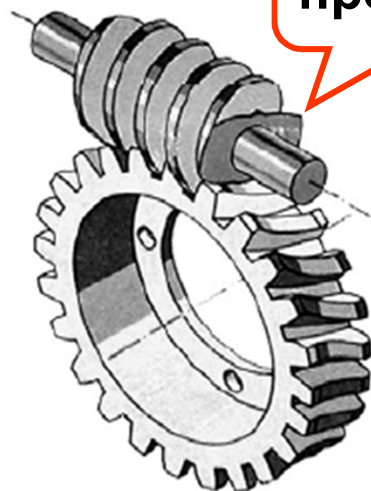
С) С кръстосани оси



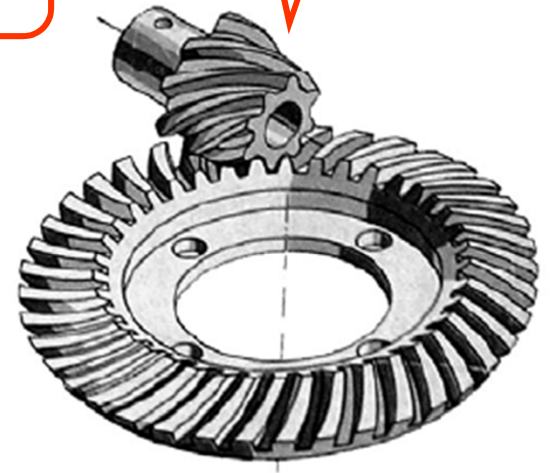
**Предавка с винтови
зъби**



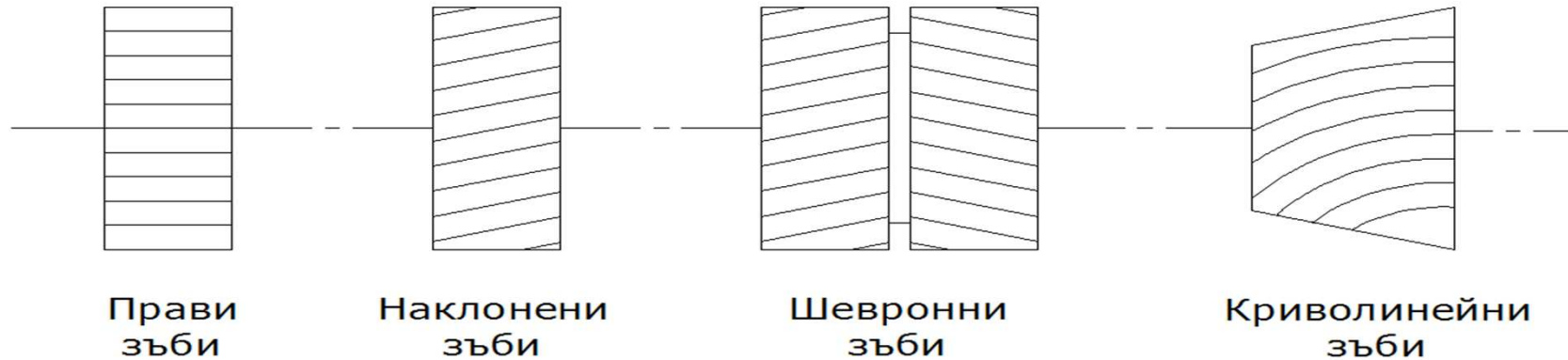
**Червячна
предавка**



**Хипоидна
предавка**



2. Според надлъжната линия на зъбите



3. Според вида на зацепване

еволюентно
циклоидно
цевно
зацепване на Новиков

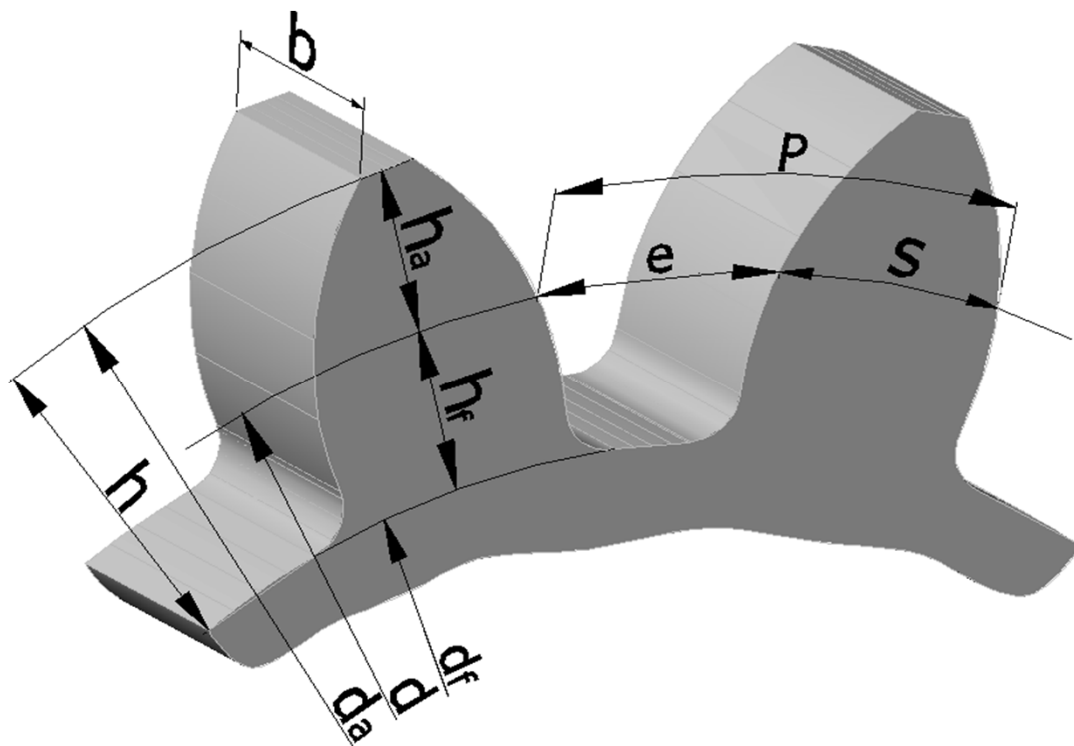
4. Според предназначението

силови – за големи мощности
кинематични – за точно i

{ понижавачи (редуктори) $i > 1$
{ повишаващи (мултипликатори) $i < 1$

{ за въртливо / въртливо д-е
{ за въртливо / постъпателно

ГЕОМЕТРИЧНИ ЗАВИСИМОСТИ ПРИ ЗЪБНИ КОЛЕЛА С ПРАВИ ЗЪБИ !!!

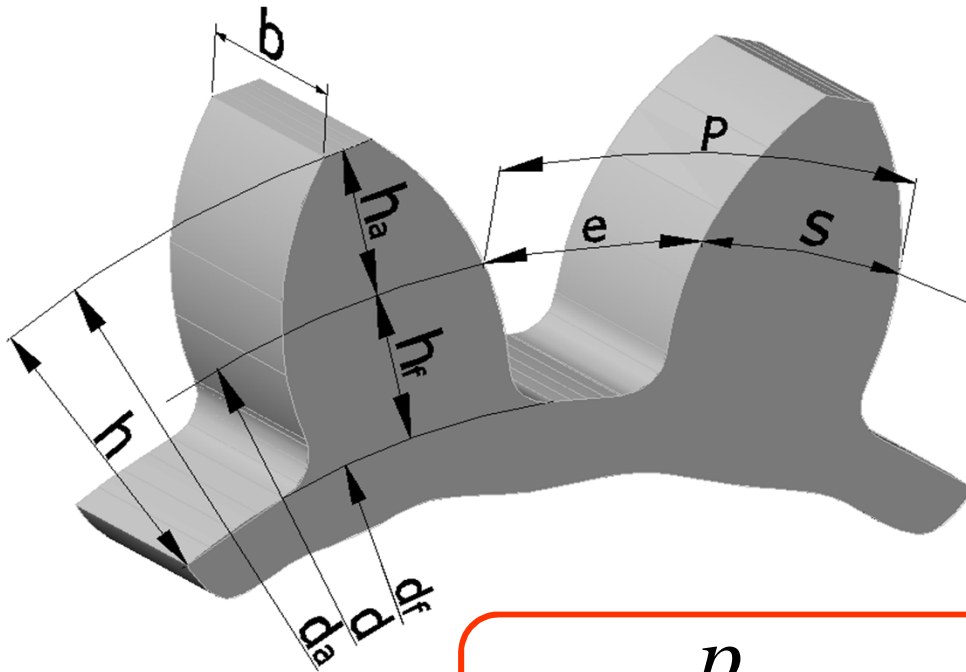


d_a – диаметър на
върховата окръжност

d_f – диаметър на
петовата окръжност

d – диаметър на
делителната окръжност

Делителната окръжност (d) е окръжността , по която дебелината на зъбите s равна на ширината на междузъбията e !



p – стъпка по делителната окръжност (окръжна стъпка)

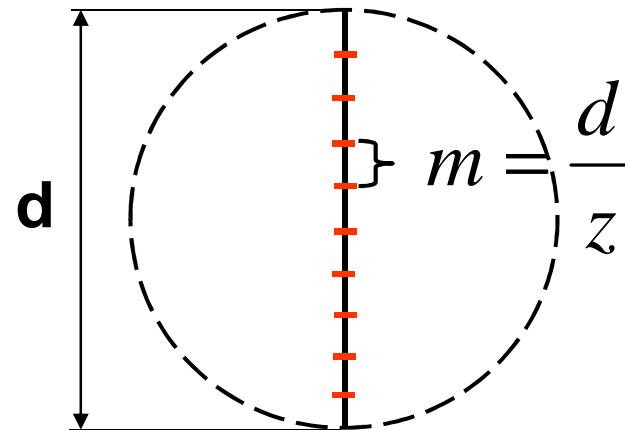
$$\pi d = pz \Rightarrow d = \frac{p}{\pi} z = mz$$

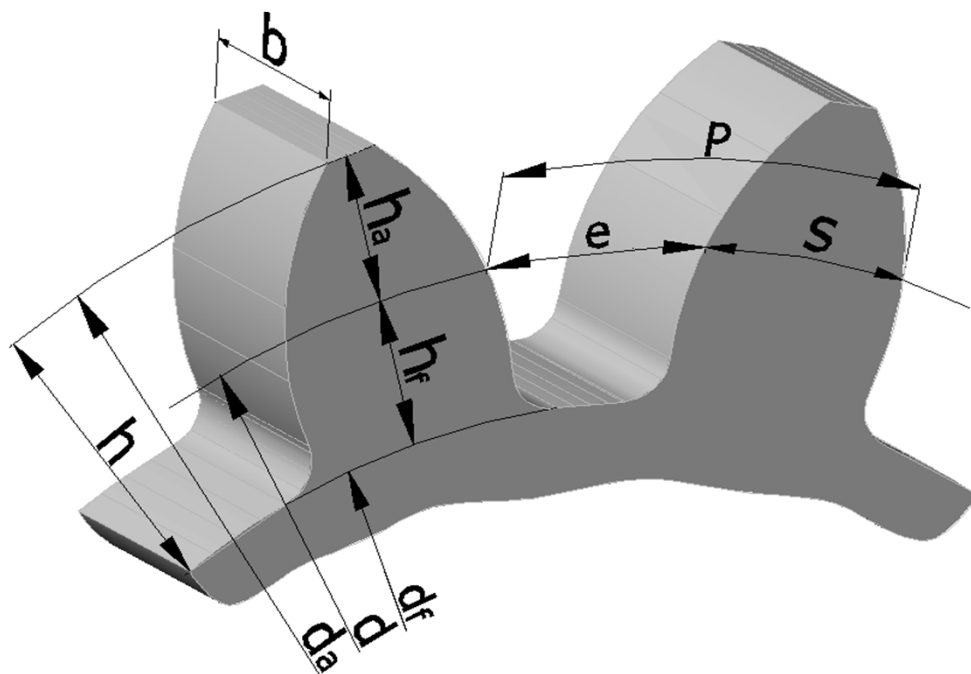
$$m = \frac{p}{\pi}$$

модул на зъбното колело, стандартизиран по БДС EN

$$p = e + s$$

$$e = s = \frac{p}{2} = \frac{\pi m}{2}$$





$$h = h_a + h_f$$

ВИСОЧИНА НА ЗЪБА

$$h_a = m$$

ВИСОЧИНА НА ГЛАВАТА ЗЪБА

$$h_f = 1,25m$$

ВИСОЧИНА НА ПЕТАТА ЗЪБА

$$h = 2,25m$$

$$d_a = d + 2h_a = mz + 2m = m(z + 2)$$

диаметър на върховата окръжност

$$d_f = d - 2h_f = mz - 2,5m = m(z - 2,5)$$

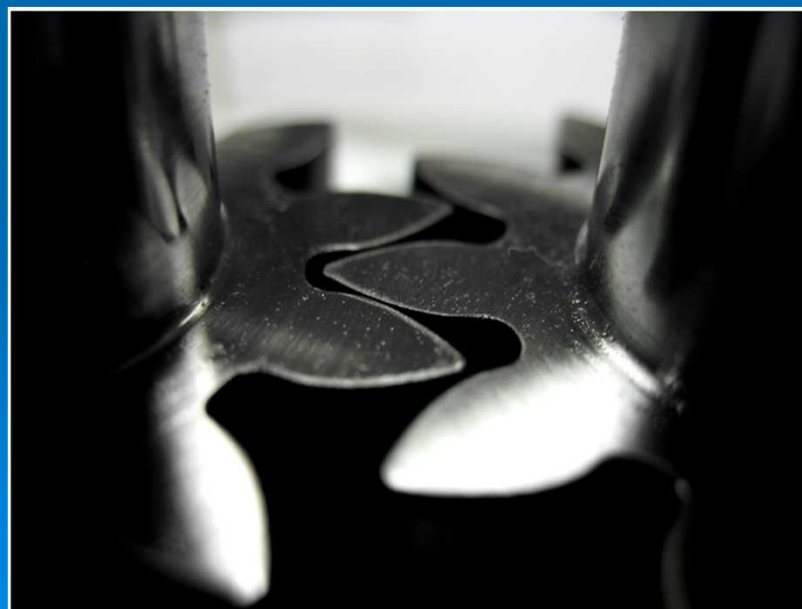
диаметър на петовата окръжност

$$a = \frac{d_1 + d_2}{2} = m \frac{z_1 + z_2}{2}$$

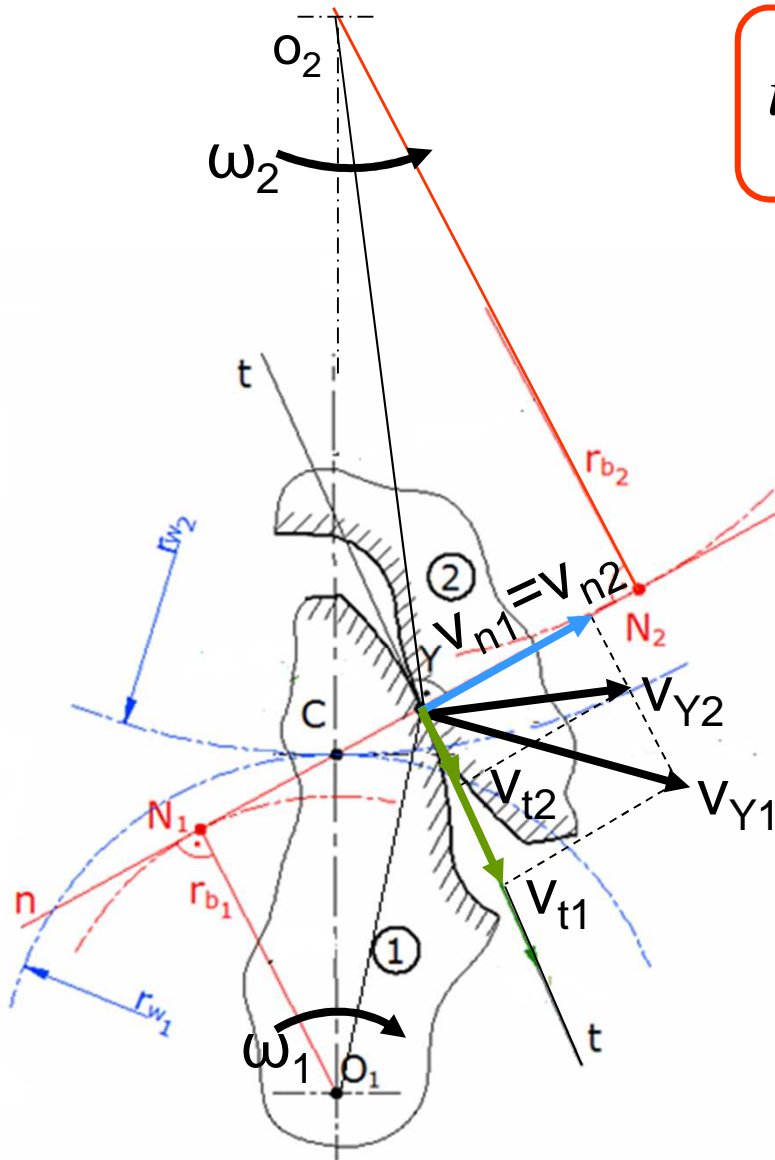
**делително междуосово разстояние
на две зацепени зъбни колела**

Въпрос № 8

ЗЪБНИ ПРЕДАВКИ – ОСНОВЕН ЗАКОН НА ЗАЦЕПВАНЕ



ОСНОВЕН ЗАКОН НА ЗЪБНОТО ЗАЦЕПВАНЕ



$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \text{const}$$

$$\begin{cases} v_{Y1} = \omega_1 \overline{O_1 Y} \\ v_{Y2} = \omega_2 \overline{O_2 Y} \end{cases}$$

$$v_{n1} = v_{n2} !$$

$$\begin{cases} v_{n1} = \omega_1 \overline{O_1 N_1} \\ v_{n2} = \omega_2 \overline{O_2 N_2} \end{cases}$$

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{\overline{O_2 N_2}}{\overline{O_1 N_1}} = \text{const}$$

$$\Delta O_1 N_1 C \sim \Delta O_2 N_2 C$$

$$\frac{\overline{O_2 N_2}}{\overline{O_1 N_1}} = \frac{\overline{O_2 C}}{\overline{O_1 C}} = i = \text{const}$$

$$\overline{O_1 C} + \overline{O_2 C} = \overline{O_1 O_2} = \text{const}$$

ОСНОВЕН ЗАКОН НА ЗЪБНОТО ЗАЦЕПВАНЕ :

За да бъде предавателното отношение $i = \text{const}$ е необходимо нормалата, преминаваща през точката на допиране на профилите (Y) да минава винаги през една постоянна точка С, наречена полюс на зацепване.

Полюсът С дели междуосевото разстояние O_1O_2 на отсечки с дължини обратно пропорционални на ъгловите скорости.

$$v_c = \omega_1 \overline{O_1C} = \omega_2 \overline{O_2C} \Rightarrow i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{\overline{O_2C}}{\overline{O_1C}} = \text{const}$$

$$\left. \begin{array}{l} \overline{O_1C} = r_{w1} \\ \overline{O_2C} = r_{w2} \end{array} \right\} \text{ радиуси на началните} \\ \text{окръжности}$$

$$\left. \begin{array}{l} \overline{O_1N_1} = r_{b1} \\ \overline{O_2N_2} = r_{b2} \end{array} \right\} \text{ радиуси на основните} \\ \text{окръжности}$$

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_{w2}}{r_{w1}} = \frac{r_{b2}}{r_{b1}} = \text{const}$$

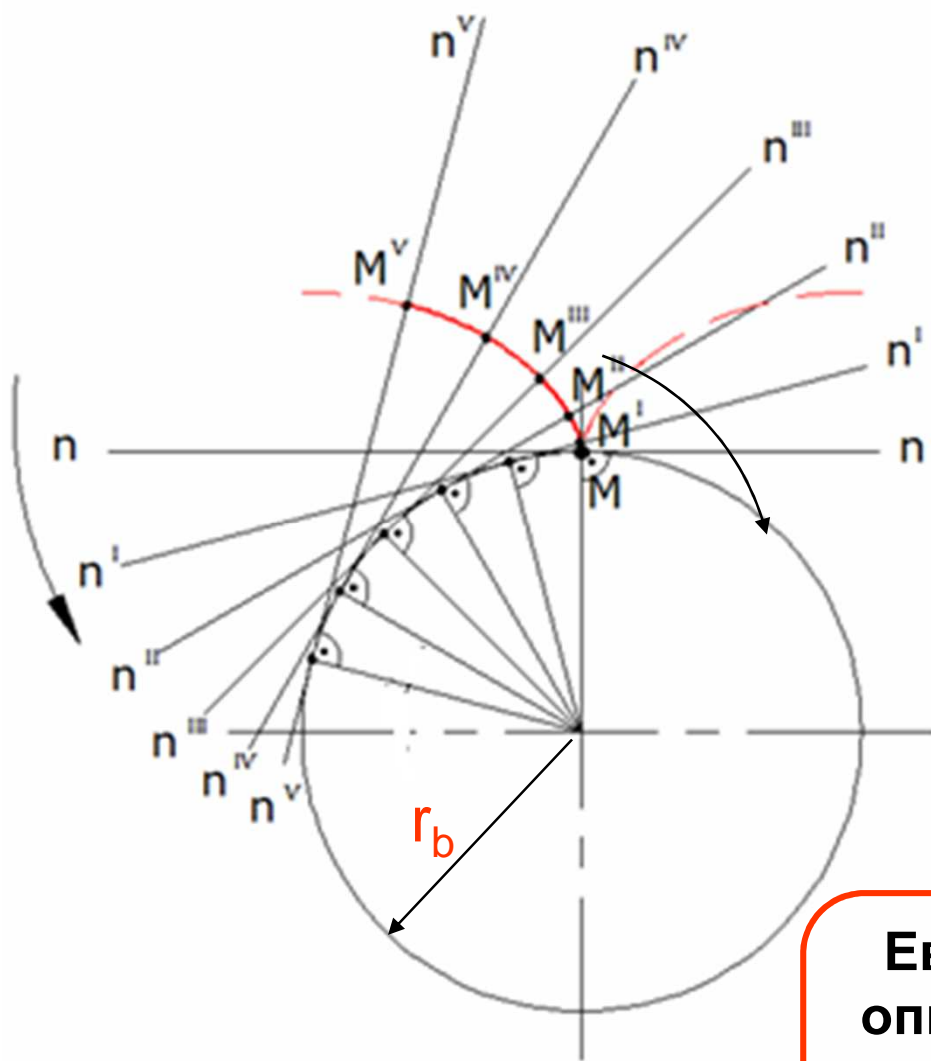
$$v_{t1} - v_{t2} = v_s \quad \text{скорост на плъзгане между зъбните профили}$$

В полюса на зацепване (т.С) $v_s = 0$

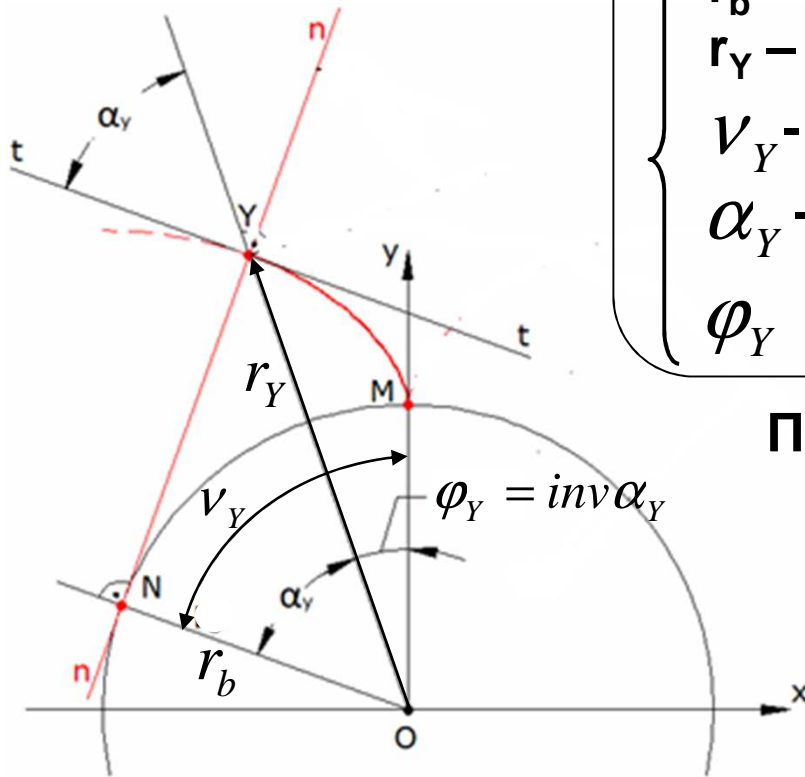
Въпрос № 9

**ЕВОЛВЕНТНО ЗАЦЕПВАНЕ – СВОЙСТВА.
ПРОФИЛЕН ЪГЪЛ И ЪГЪЛ НА ЗАЦЕПВАНЕ.
КОЕФИЦИЕНТ НА ПРИПОКРИВАНЕ.**





Еволвентата е крива , която се описва точка (M) от права (n-n) , която се търкаля без плъзгане по окръжност с радиус r_b , наречена основна окръжност.



r_b – радиус на основната окръжност
 r_Y – радиус-вектор на т. Y
 ν_Y – ъгъл на развъртане
 α_Y – профилен ъгъл
 $\varphi_Y = inv \alpha_Y$ – еволвентен ъгъл

Положението на т. Y се определя от полярните координати r_Y и φ_Y

$$\widehat{MN} = \overline{NY}$$

$$\widehat{MN} = r_b \cdot \nu_Y = r_b (\alpha_Y + inv \alpha_Y)$$

$$\overline{NY} = r_b \operatorname{tg} \alpha_Y$$

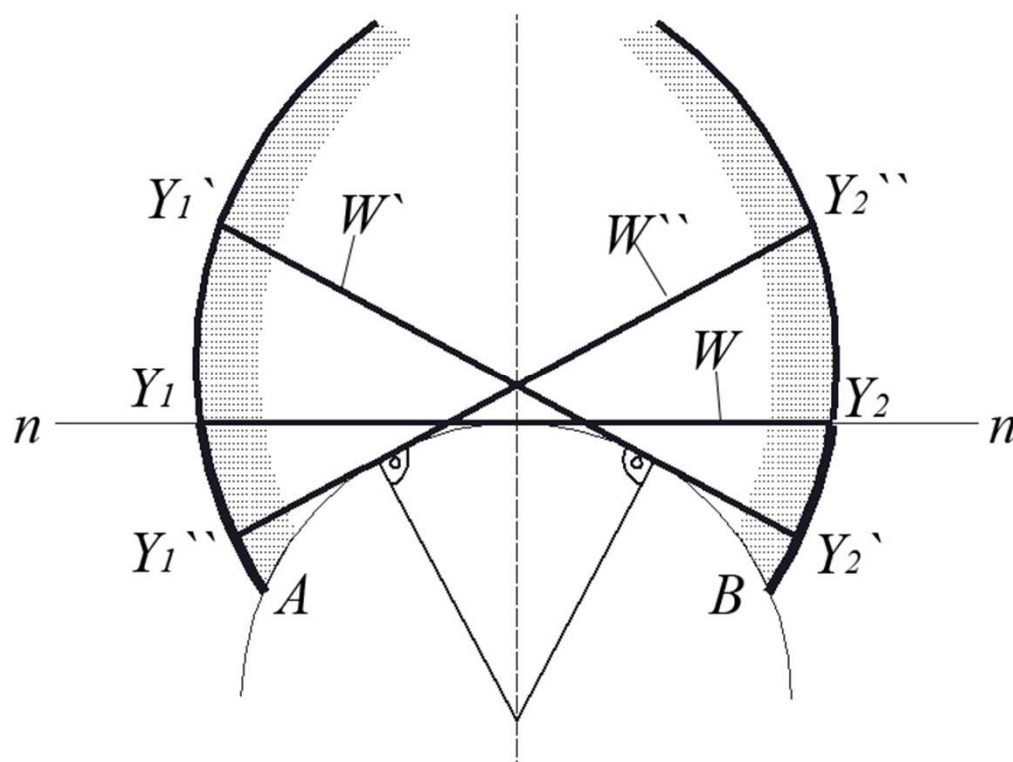
$$inv \alpha_Y = \operatorname{tg} \alpha_Y - \alpha_Y$$

$$r_Y = \frac{r_b}{\cos \alpha_Y}$$

Уравнения на еволвентата
в полярни координати

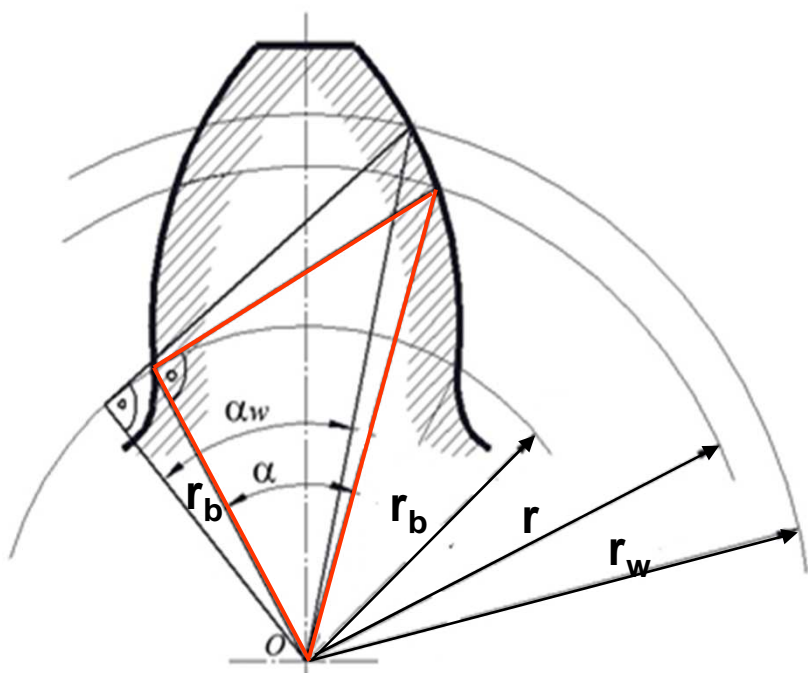
Свойства на еволвентата

- 1) симетрична крива с два клона
- 2) определя се еднозначно от радиуса на основната окръжност (r_b)
- 3) разстоянието **W** между две разноименни еволвенти с една и съща основна окръжност е постоянно



$$W = W' = W'' = \widehat{AB} = const$$

1. Профилният ъгъл α мерен по делителната окръжност е равен на ъгъла на зъбонарезния инструмент ($\alpha=20^\circ$)
2. Профилният ъгъл мерен по началната окръжност се нарича **ъгъл на зацепване α_w**
3. За некоригирано зъбно колело $r_w=r$, $\alpha=\alpha_w$



$$r_b = r \cos \alpha$$

$$r_b = r_w \cos \alpha_w \Rightarrow r_w = r \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_w}$$

$$a_w = r_{w1} + r_{w2} = (r_1 + r_2) \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_w}$$

$$a_w = m \frac{z_1 + z_2}{2} \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_w}$$

$$\pi d = pz \Rightarrow p = \frac{\pi}{z} d$$

$$p_b = \frac{\pi}{z} d_b = \frac{\pi}{z} d \cos \alpha = p \cos \alpha$$

p_b - стъпка по основната окръжност

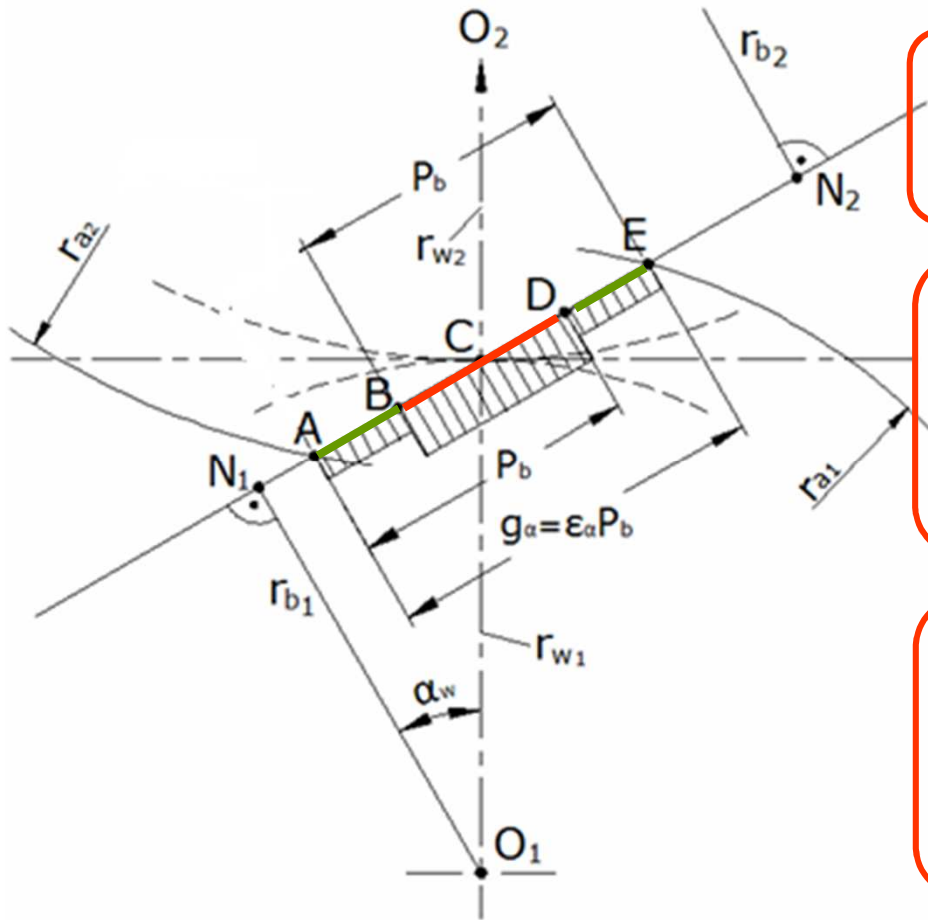
$$p_b = \frac{\pi}{z} d_b = \frac{\pi}{z} d_w \cos \alpha_w = p_w \cos \alpha_w$$

$$p_w = \frac{\pi}{z} d_w = \frac{\pi}{z} d \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_w} = p \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_w}$$

p_w - стъпка по началната окръжност

Коефициент на припокриване

За да работят съвместно две ЗК е необходимо:



$$\begin{cases} \alpha_1 = \alpha_2 \\ \alpha_{w1} = \alpha_{w2} \end{cases} \begin{cases} p_1 = p_2 \\ p_{w1} = p_{w2} \end{cases} \longrightarrow p_{b1} = p_{b2}$$

Отсечка на зацепване $\overline{ACE} = g_a$
 -геометричното място на точките на допиране на два зъбни профила, намиращи се в зацепване

Коефициент на припокриване

$$\epsilon_\alpha = \frac{\overline{ACE}}{P_b} = \frac{g_a}{P_b}$$

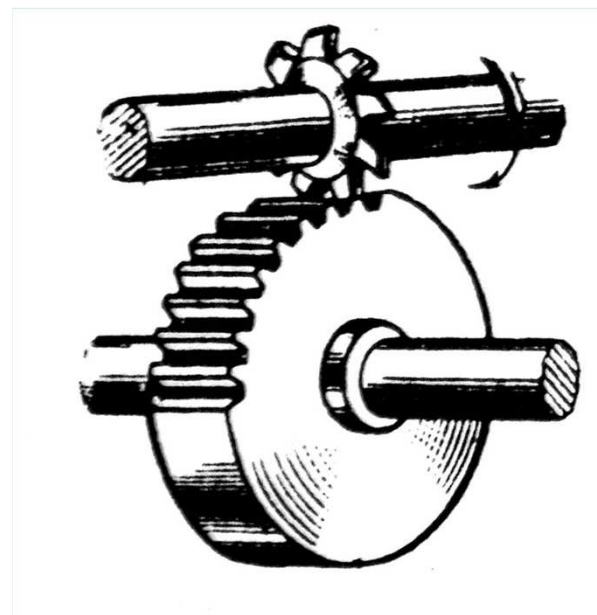
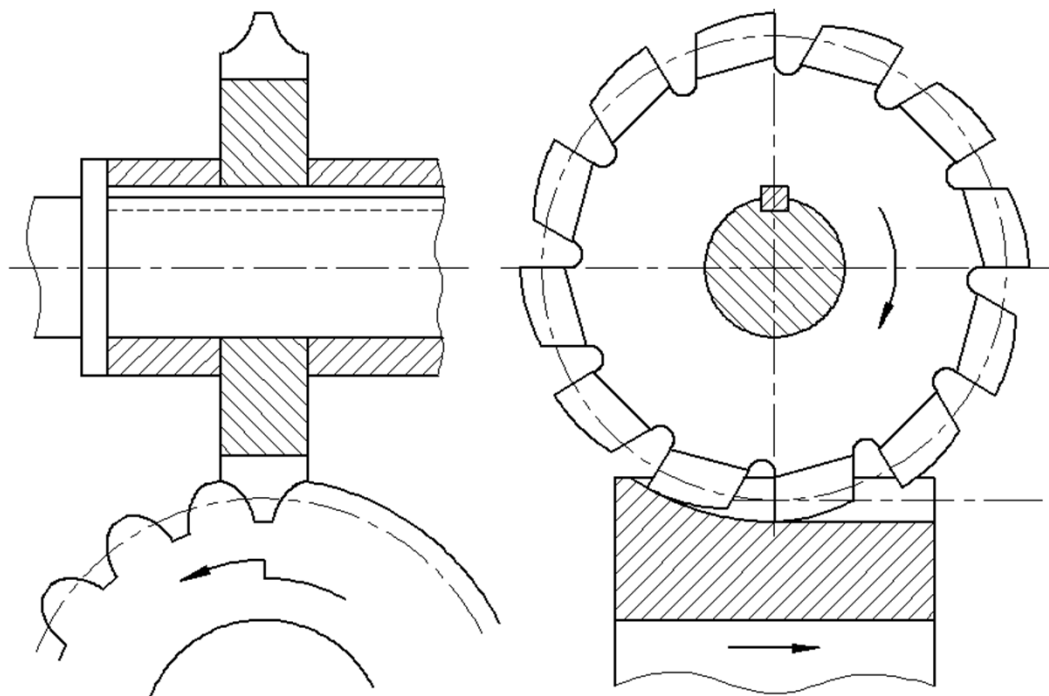
$\epsilon_\alpha = 1,3 \longrightarrow \left\{ \begin{array}{l} 70\% \text{ от времето на зацепване зъбната} \\ \text{двойка работи сама, а в } 30\% \text{ от времето} \\ \text{и "помага" друга зъбна двойка} \end{array} \right.$

Въпрос № 10

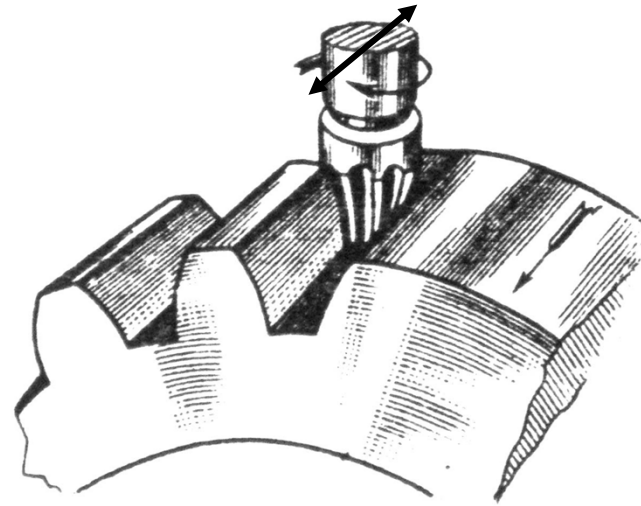
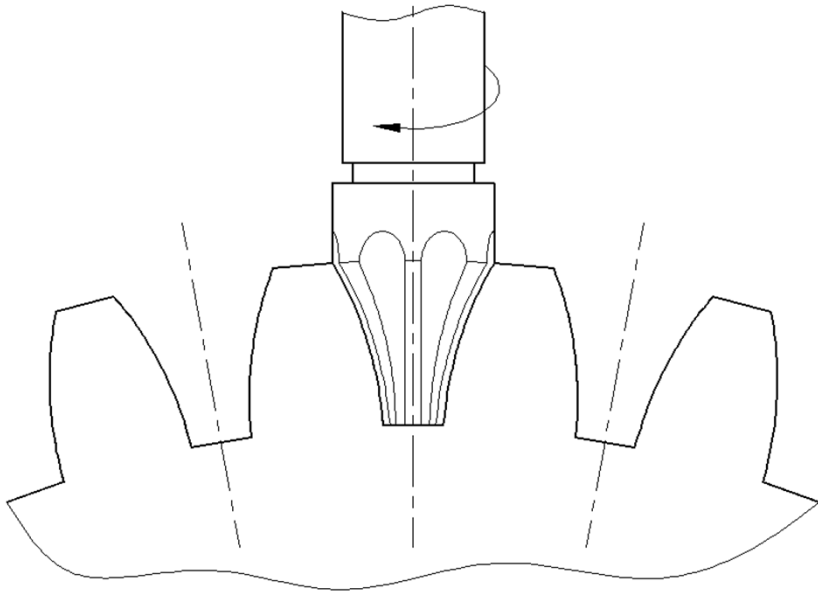
**МЕТОДИ ЗА ИЗРАБОТВАНЕ НА ЦИЛИНДРИЧНИ
ЗЪБНИ КОЛЕЛА С ЕВОЛВЕНТНИ ЗЪБИ.
ИЗХОДНИ КОНТУРИ. МОДИФИЦИРАНИ
ИЗХОДНИ КОНТУРИ.**

1. Метод на копиране – профилът на зъбонарезния инструмент копира профила на междузъбието на ЗК

1.1 Чрез дискова модулна фреза



1.1 Чрез палцова модулна фреза



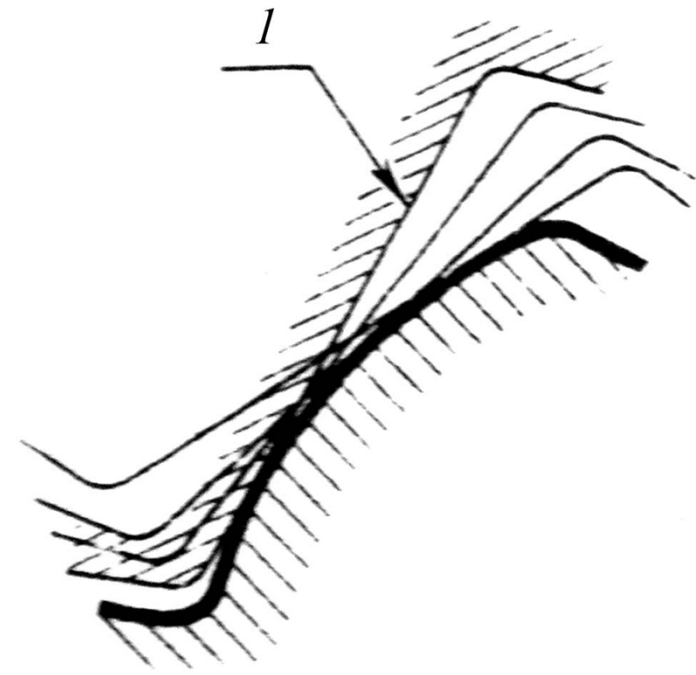
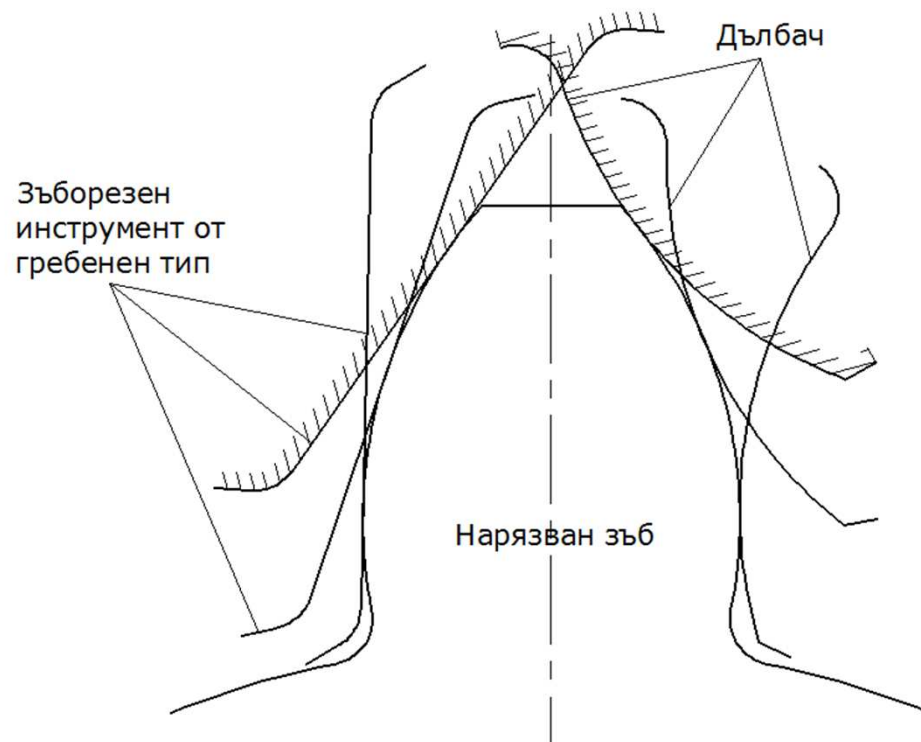
Предимства на метода на копиране – приложим е за универсална фреза

Недостатъци на метода на копиране – точността на изработка зависи силно от износването на инструмента ; за един и същ модул са необходими различни инструменти съобразно броя на зъбите

Методът на копиране се използва в единично и дребносерийно производство и при ремонтни дейности

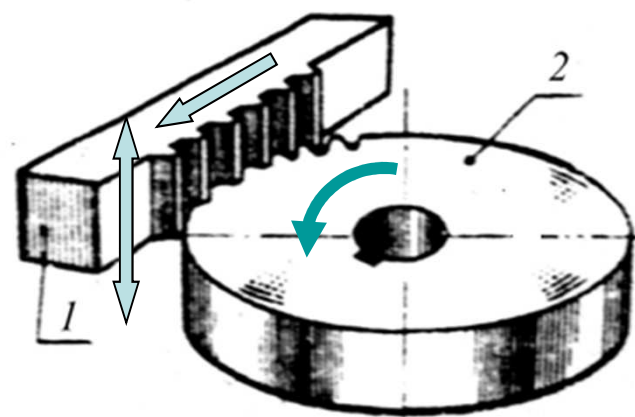
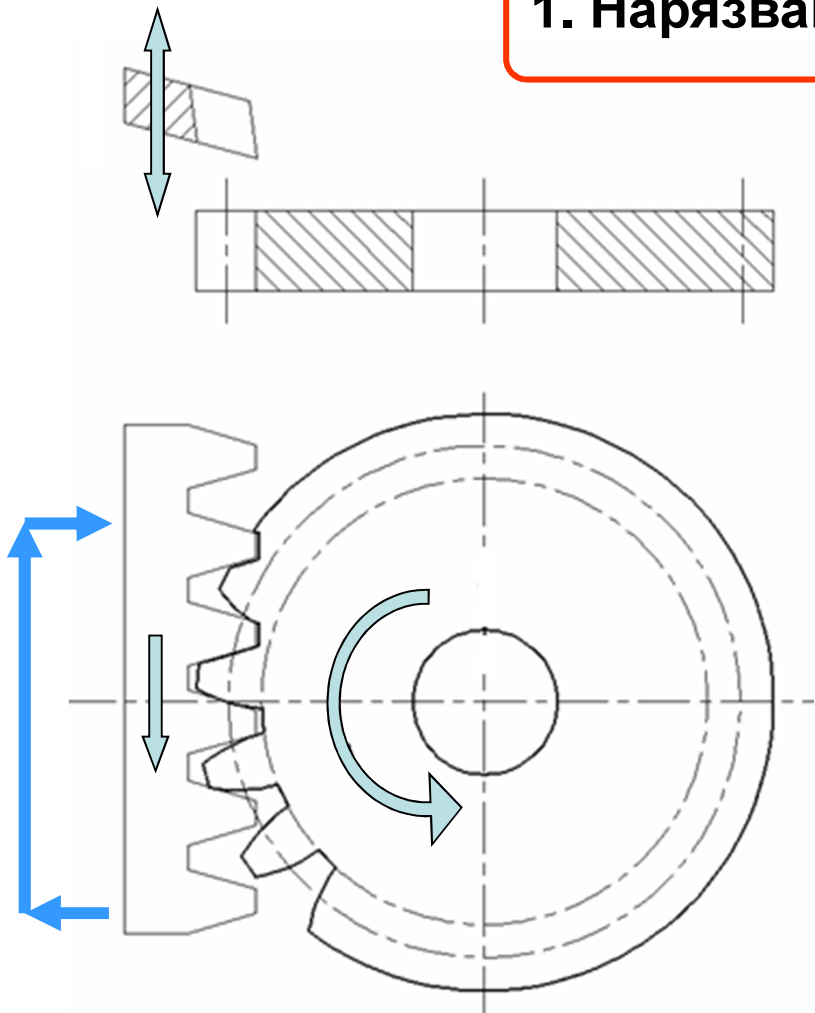
2. Метод на отъркалването – имитира се зацепване на две зъбни колела или на зъбно колело със зъбен гребен , като едното е заготовка , а другото – инструмент.

Профилът на зъбите се получава като обвиваща крива на положенията на профила на инструмента.

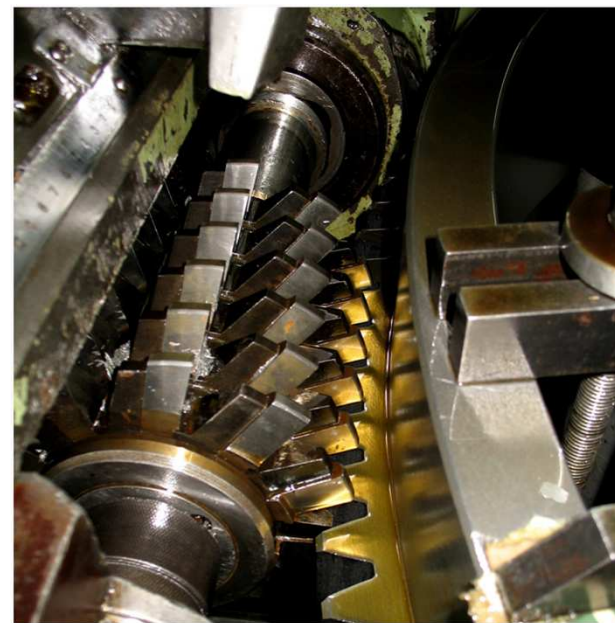
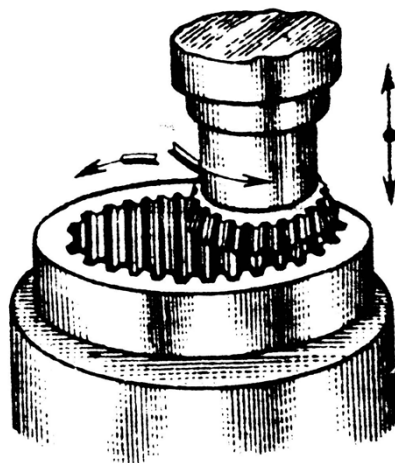
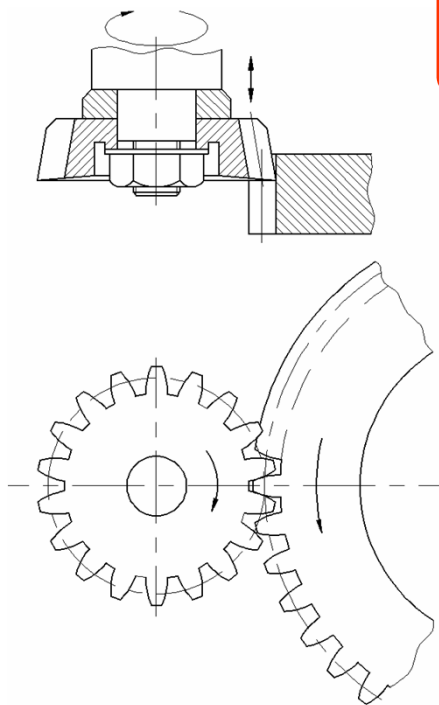


Инструментални схеми

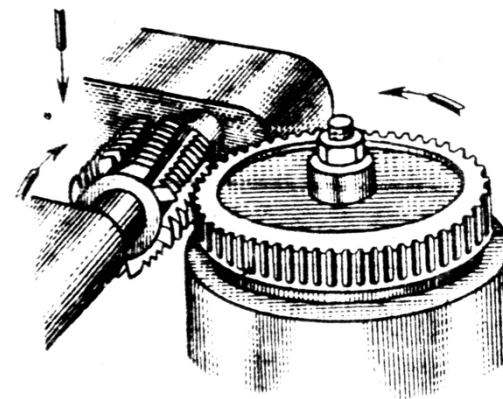
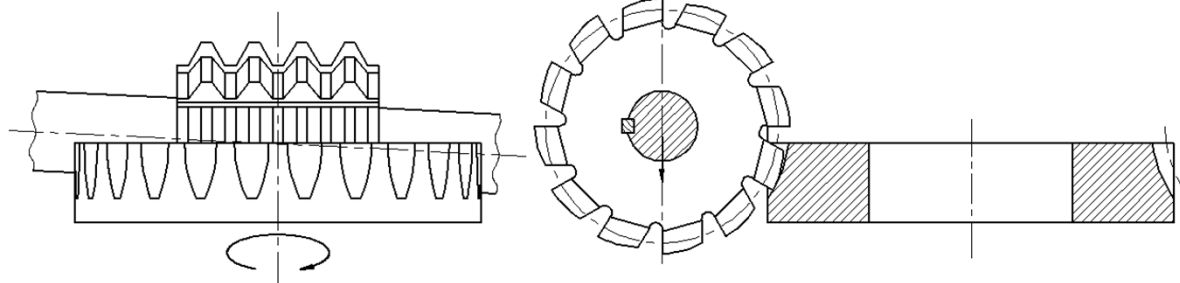
1. Нарязване със зъбен гребен



2. Нарязване с дълбач



3. Нарязване с червячна модулна фреза



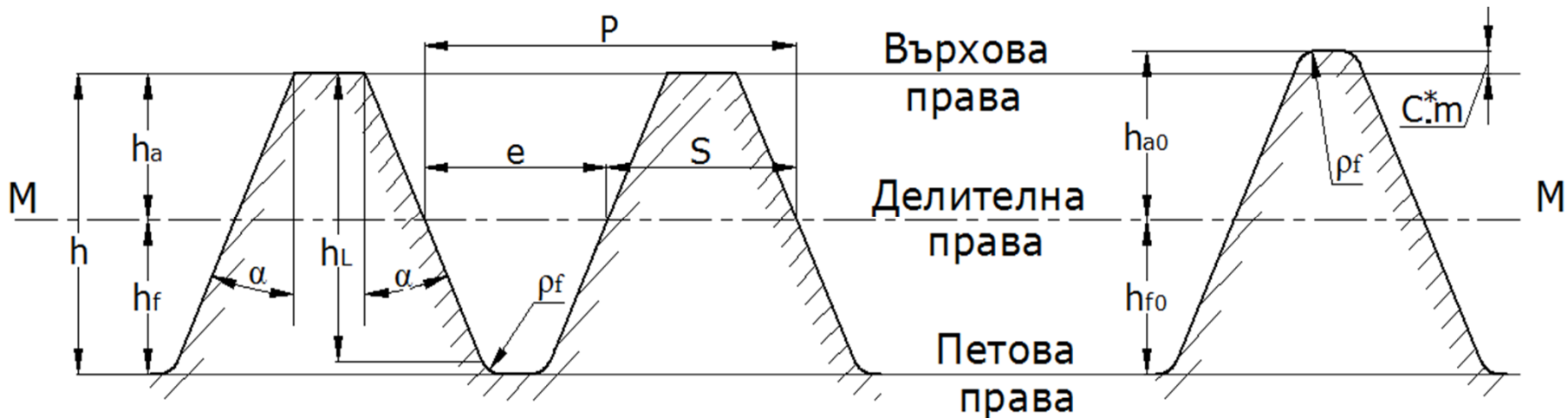
Изходен контур. Изходен произвеждащ контур

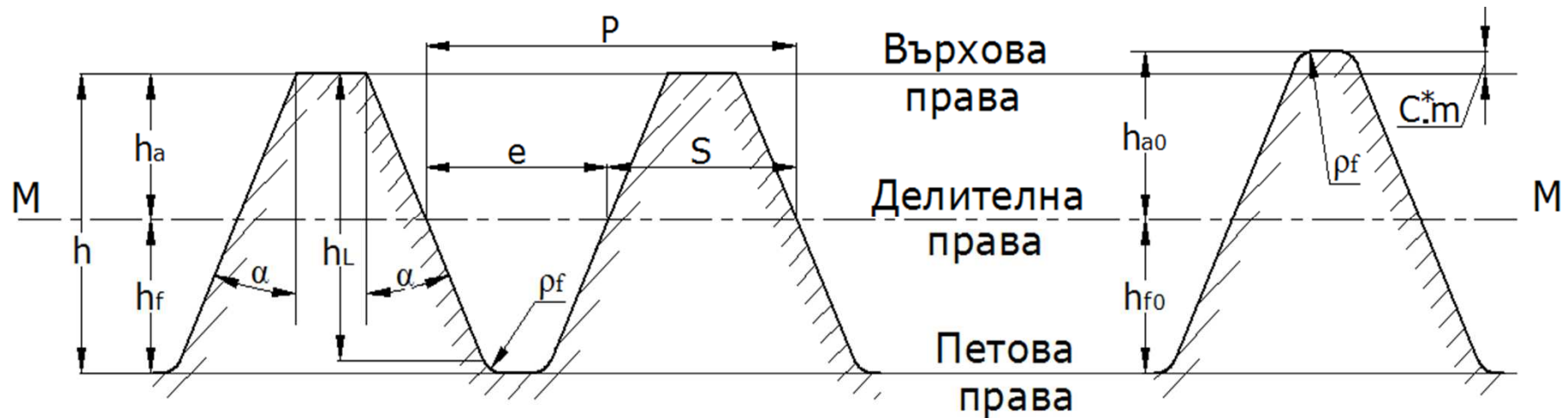
Изходен контур – ЗК с :

$$z = \infty, r = \infty$$

$$e = s = \frac{p}{2}, \alpha = 20^\circ$$

Изходен произвеждащ контур :
контур на зъбен гребен , чрез който
се изработва изходния контур





Размери на стандартен изходен контур

$$h_a = h_a^* m = m$$

$$h_f = (h_a^* + c^*) m = 1,25 m$$

$$h = (2h_a^* + c^*) m = 2,25 m$$

$$h_l = h_l^* m = 2,0 m$$

гранична височина на зъба

$$\rho_f = \rho_f^* m = 0,38 m$$

радиус на кривина в основата на зъба

$$h_a^* = 1$$

коэф. на височината на зъба

$$c^* = 0,25$$

коэф. на радиалната хлабина

$$h_l^* = 2,0$$

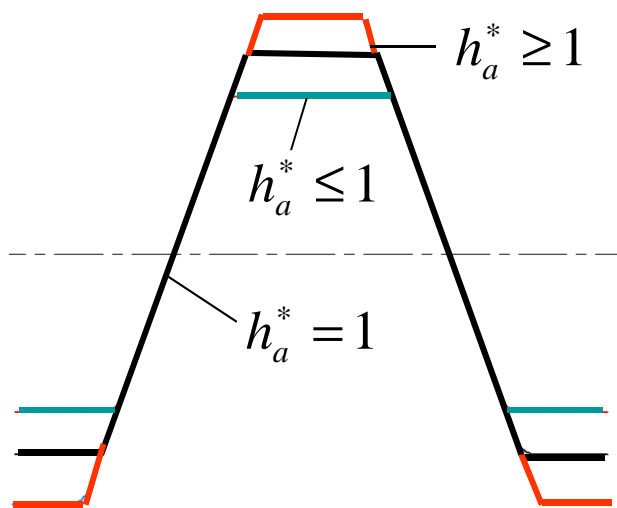
коэф. на граничната височината на зъба

$$\rho_f^* = 0,38$$

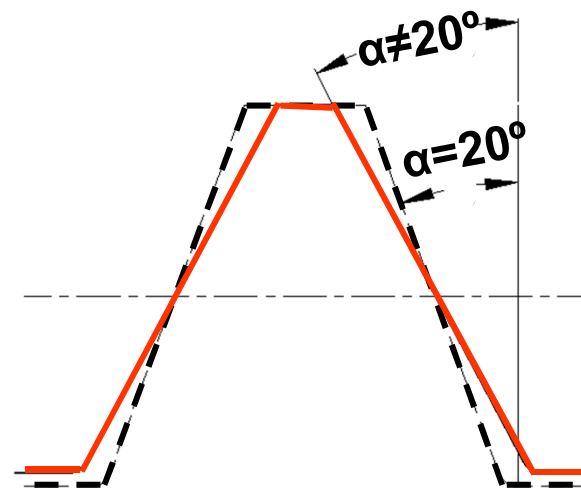
коэф. на радиуса на кривина

$$h_{a0} = h_{f0} = (h_a^* + c^*) m = 2,25 m$$

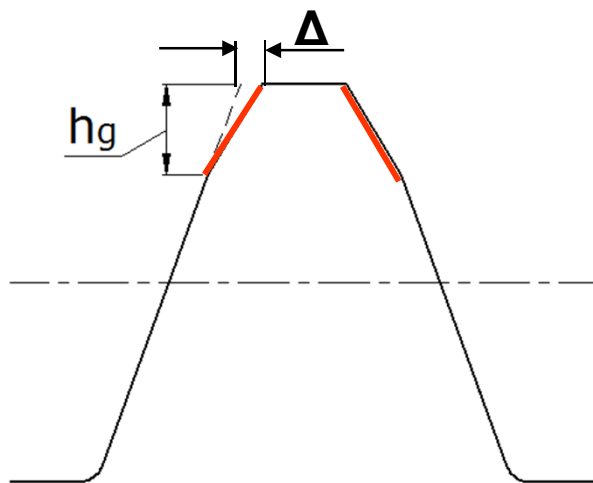
Модифицирани изходни контури



височинна модификация



ъглова модификация

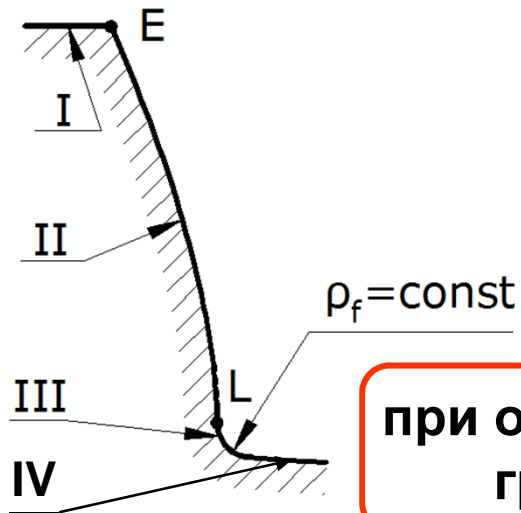


профилна модификация
понижаване на шума

Въпрос № 11

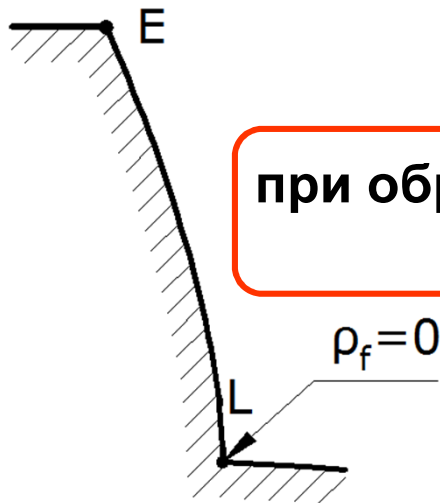
**ПРЕХОДНА КРИВА. ПОДРЯЗВАНЕ НА ЗЪБИТЕ.
МИНИМАЛЕН БРОЙ ЗЪБИ СВОБОДНИ ОТ
ПОДРЯЗВАНЕ. МОДИФИКАЦИИ НА ЗЪБНИЯ
ПРОФИЛ**

Преходна крива

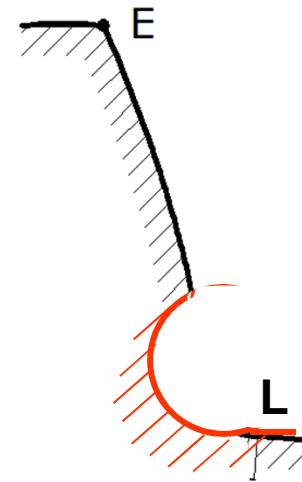


- I – върхова окръжност
- II – еволвента
- III- преходна крива
- IV – петова окръжност

при обработка със зъбен
гребен $\rho_f = 0,38m$

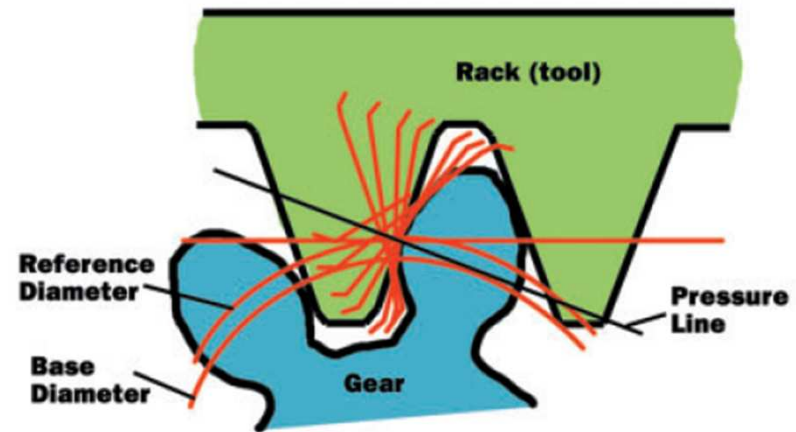
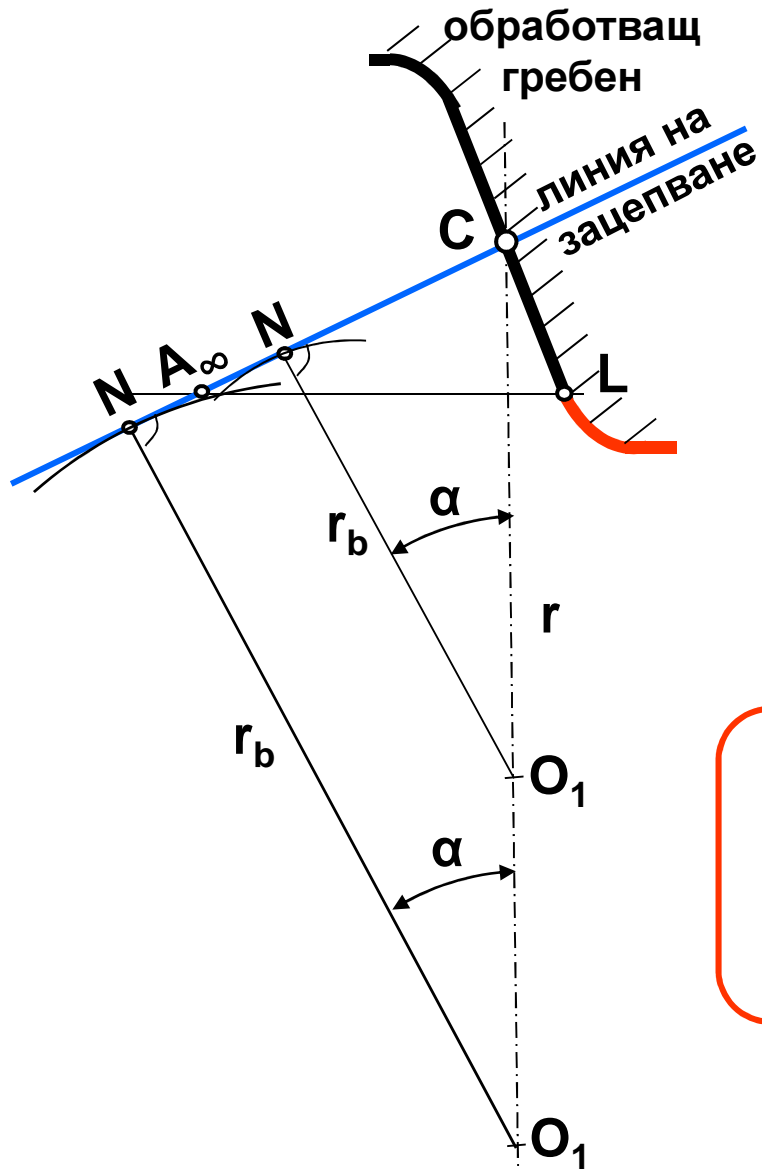


при обработка със дълбач
 $\rho_f = 0$



**ПОДРЯЗВАНЕ
В ОСНОВАТА НА ЗЪБА**

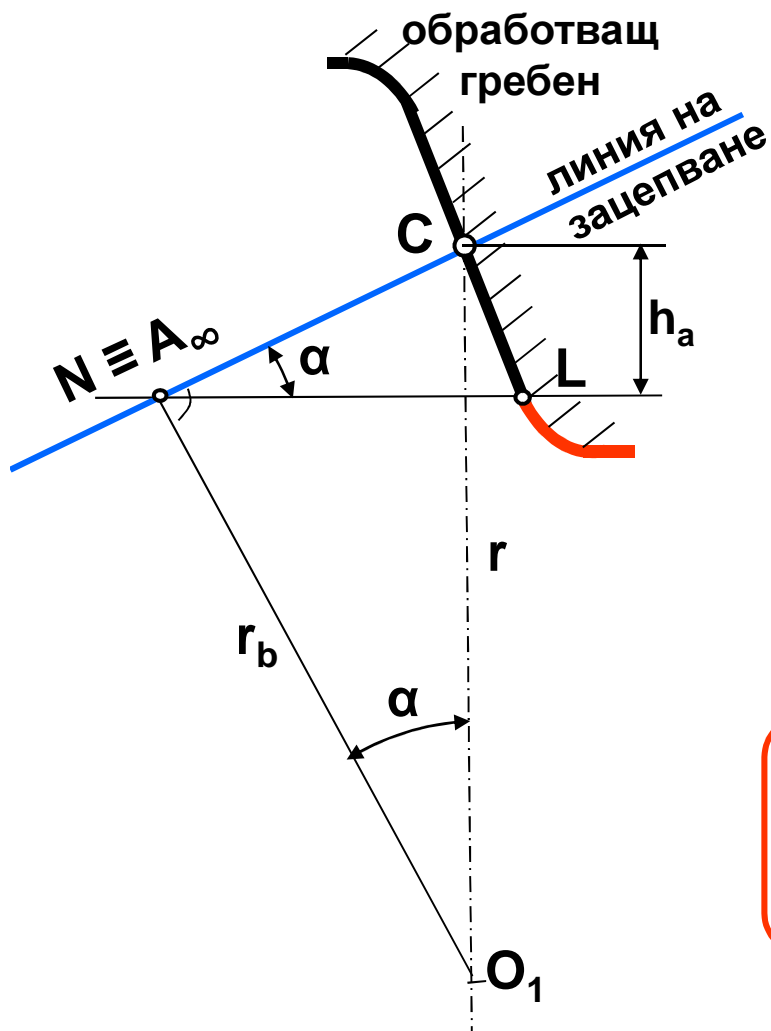
Подрязване в основата на зъбите



Подрязване $\longrightarrow \overline{CN} < \overline{CA}_\infty$

За да няма подрязване еволвентният профил на зъбите трябва да достига до основната окръжност ,т.е.

$$\overline{CN} > \overline{CA}_\infty$$



В граничен случай :

$$\overline{CN} = \overline{CA}_{\infty} \longrightarrow r = r_{\min} \quad z = z_{\min}$$

z_{\min} – минимален брой зъби
свободни от подрязване

$$\overline{CN} = r_{\min} \sin \alpha = \frac{m z_{\min}}{2} \sin \alpha$$

$$\overline{CA}_{\infty} = \frac{h_a}{\sin \alpha} = \frac{h_a^* m}{\sin \alpha}$$

$$z_{\min} = \frac{2h_a^*}{\sin^2 \alpha}$$

За стандартен изходен
контур :

$$h_a^* = 1, \alpha = 20^\circ$$

$$z_{\min} \approx 17 \text{ зъба} !$$

$$z'_{\min} = \frac{5}{6} z_{\min} \approx 14 \text{ зъба} !$$

Модификации на зъбния профил

$$z_{\min} = \frac{2h_a^*}{\sin^2 \alpha} \quad z_{\min} = f(h_a^*; \alpha_0)$$

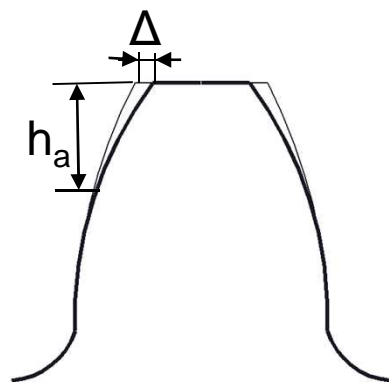
- 1) Ъглова и височинна модификация - получава се чрез използване на модифицирани изходни контури ($\alpha \neq 20^\circ$; $h_a^* \neq 1$), като може да се влияе z_{\min} \mathcal{E}_α

$$\text{При: } \left. \begin{array}{l} h_a^* < 1 \\ \alpha > 20^\circ \end{array} \right\} \Rightarrow \begin{array}{l} z_{\min} \downarrow \\ \mathcal{E}_\alpha \downarrow \end{array}$$

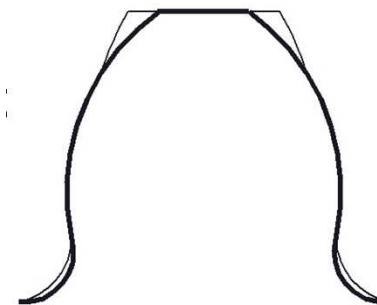
$$\text{При: } \left. \begin{array}{l} h_a^* > 1 \\ \alpha < 20^\circ \end{array} \right\} \Rightarrow \begin{array}{l} z_{\min} \uparrow \\ \mathcal{E}_\alpha \uparrow \end{array}$$

- 2) Профилна модификация – това е преднамерено отклонение от теоретичната еволвента в резултат на което се намалява динамичното натоварване на зъба и се компенсират грешки в стъпката.

- Скосяване
(фланкиране)



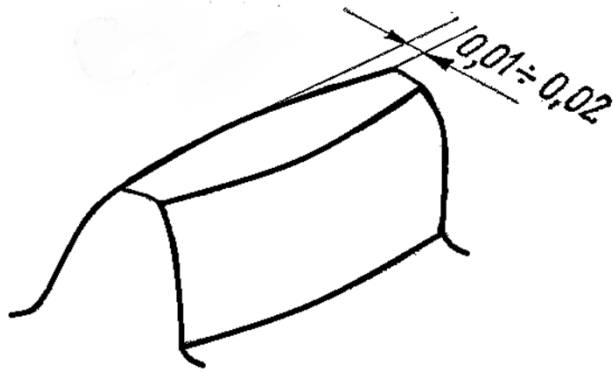
- Височинна
бъчвообразност



Модификации на зъбния профил

3) Надлъжна модификация

- надлъжна бъчвообразност – компенсира огъването на валовете



Въпрос № 12

**КОРЕКЦИЯ ЧРЕЗ ИЗМЕСТВАНЕ.
ГРАНИЦИ НА ИЗМЕНЕНИЕ НА КОЕФИЦИЕНТА
НА ИЗМЕСТВАНЕ**



Корекция чрез изместване – радиално изместване на зъбонарезният инструмент спрямо заготовката на ЗК

Използва се при необходимост от:

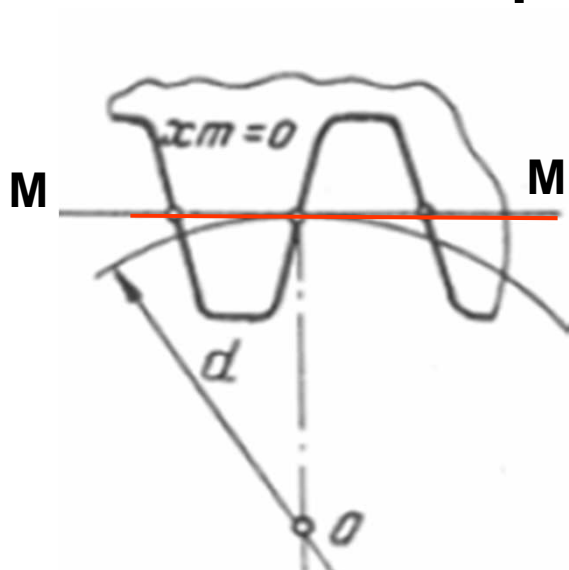
-подобряване на якостта на зъбите

-получаване на ЗК с брой на зъбите $z < z_{\min}$

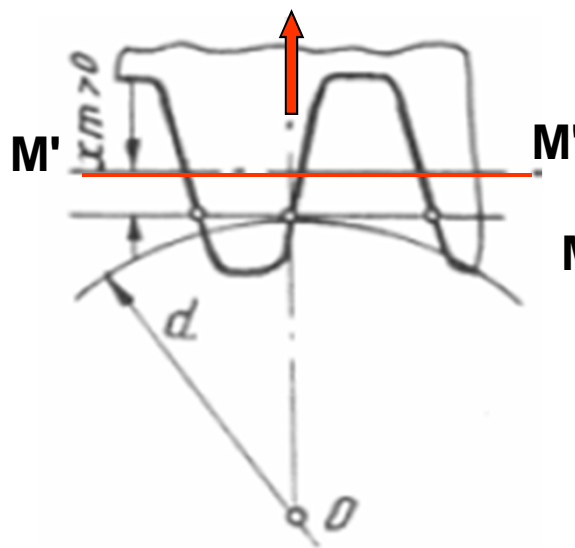
-реализиране на ЗП със зададено междуосево разстояние a_w

$V = xm$ \longrightarrow изместване

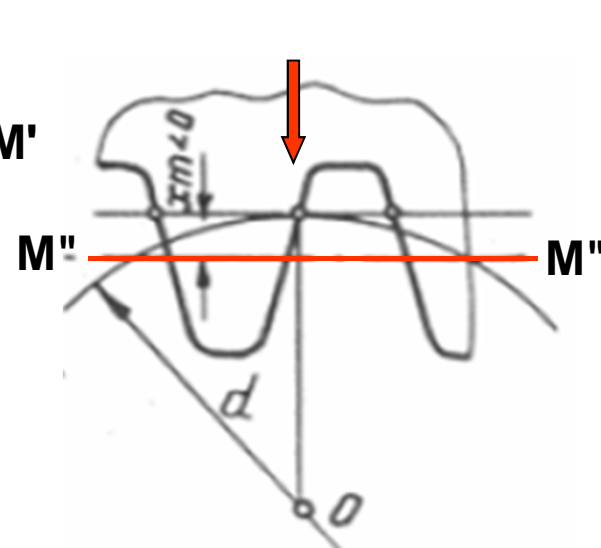
x \longrightarrow коефициент на изместване



$x = 0, V = 0$
“нулево” колело



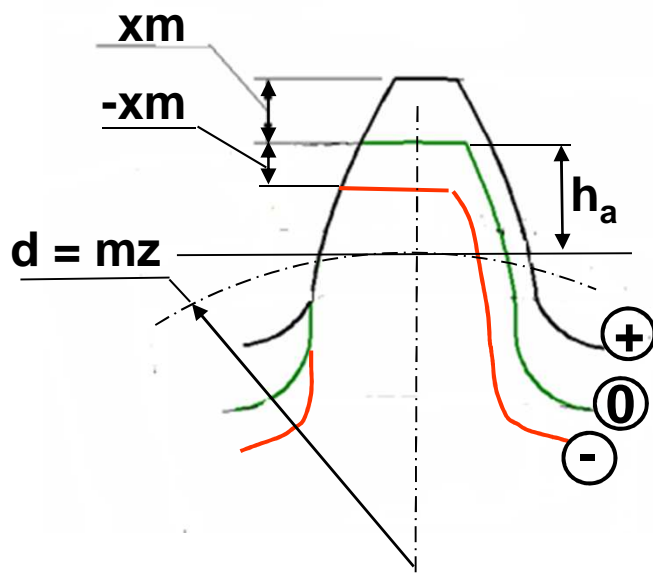
$x > 0, V > 0$
“+” колело



$x < 0, V < 0$
“-” колело

Изменение на размерите и формата на зъбите

Не се менят : p , m , α , d , d_b , p_b , h



$$h_a = h_a^* m + xm = (h_a^* + x)m = (1 + x)m$$

$$h_f = (h_a^* + c^* - x)m = (1,25 - x)m$$

$$h = h_a + h_f = (2h_a^* + c^*)m = 2,25m$$

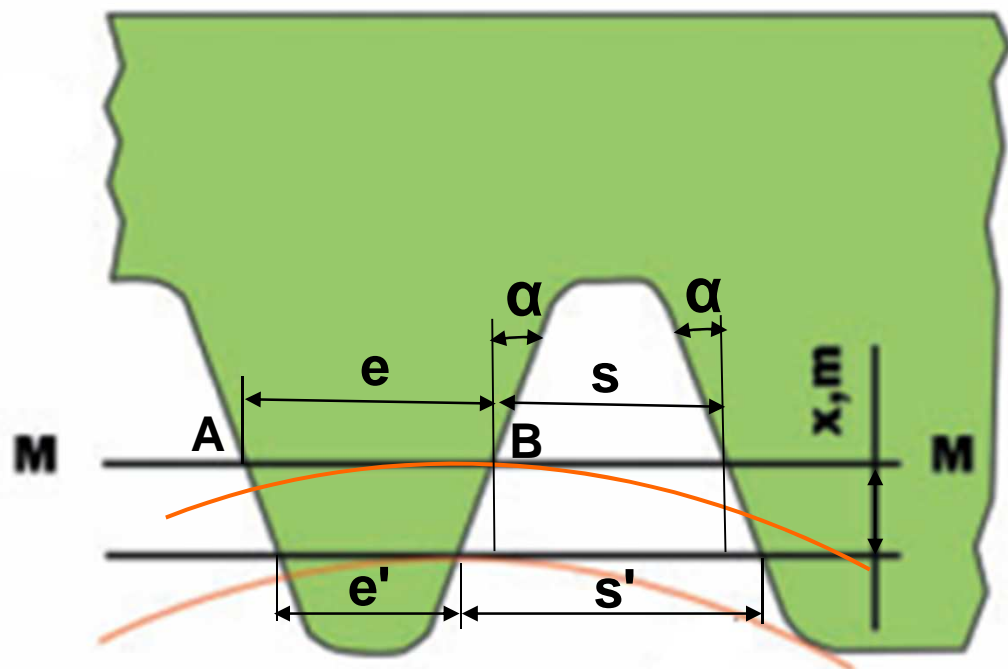
$$d_a = d + 2h_a = m(z + 2h_a^* + 2x)$$

$$d_a = m(z + 2 + 2x)$$

$$d_f = d - 2h_f = m(z - 2h_a^* - 2c^* + 2x)$$

$$d_f = m(z - 2,5 + 2x)$$

Изменение в дебелината на зъба и ширината на междузъбието



$$\widehat{s} = \widehat{e} = A\overline{B}$$

$$s = e = \frac{p}{2} = \frac{\pi m}{2}$$

$$s' = s + 2xmtg \alpha = \frac{p}{2} + 2xmtg \alpha$$

$$e' = e - 2xmtg \alpha = \frac{p}{2} - 2xmtg \alpha$$

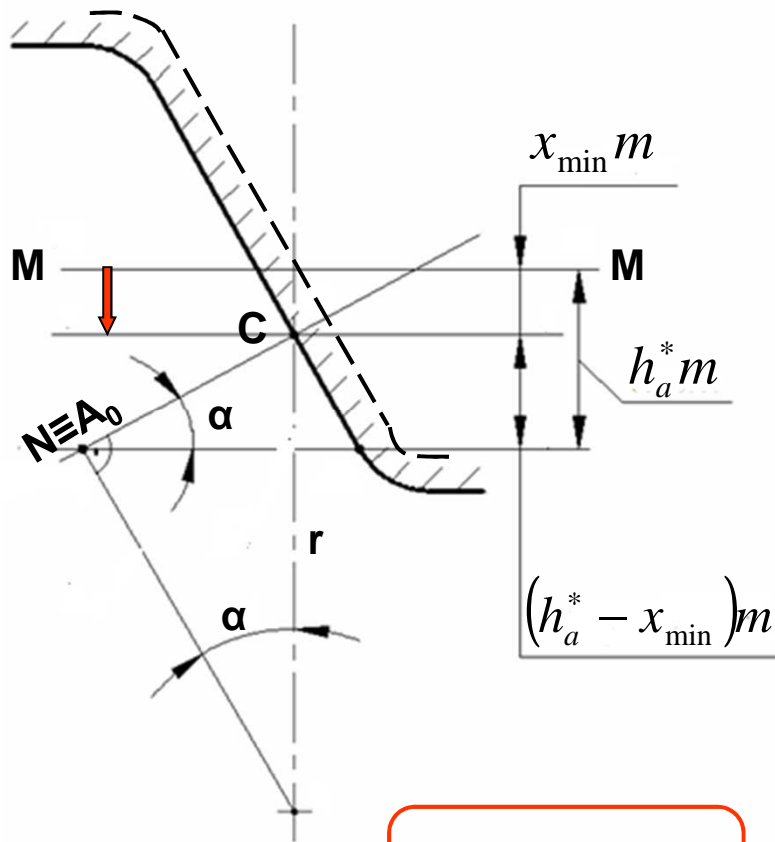
$$e' + s' = e + s = p$$

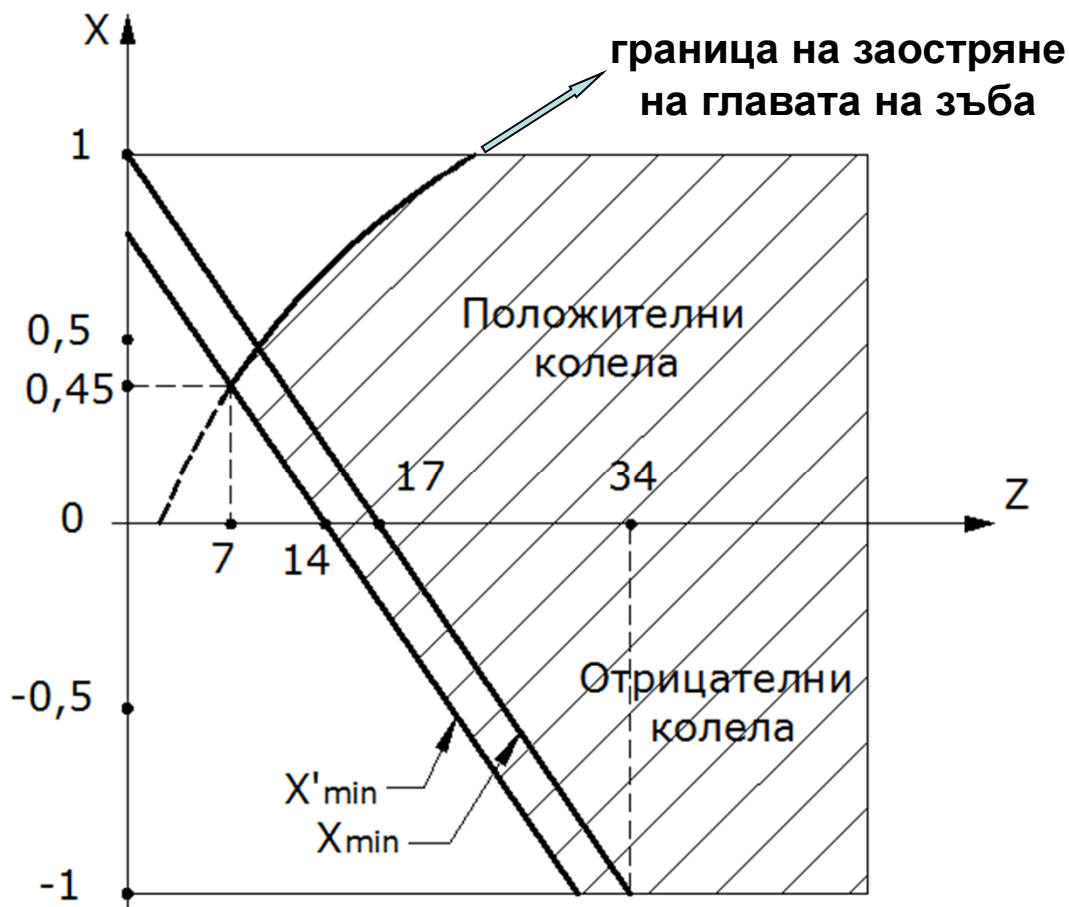
Граници на изменение на коефициента на изместване

условие да няма подрязване
на петата на зъба

$$\leftarrow x_{\min} \leq x \leq x_{\max} \rightarrow$$

условие да няма заостряне
на главата на зъба





$$s_a \geq s_{a \min} = 0,2m$$

$$\overline{z}_{\min} = 7$$

граничен брой зъби за корегирано ЗК

$$z_{\min} = 17$$

$$z'_{\min} = 14$$

граничен брой зъби за некорегирано ЗК

$$x_{\min} = \frac{z_{\min} - z}{z_{\min}} = \frac{17 - z}{17}$$

$$x'_{\min} = \frac{z'_{\min} - z}{z_{\min}} = \frac{14 - z}{17}$$

$$7 \leq z \leq 14$$

само положително изместване

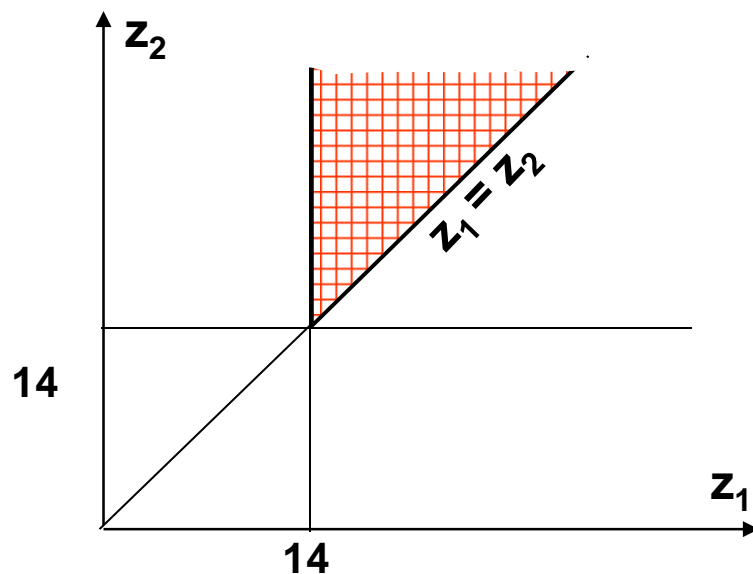
Въпрос № 13

**ВИДОВЕ ЗАЦЕПВАНИЯ НА ЦИЛИНДРИЧНИ
ЗЪБНИ КОЛЕЛА – НУЛЕВО ,
РАВНОИЗМЕСТЕНО И ИЗМЕСТЕНО ЗАЦЕПВАНЕ**



1. Нулево зацепване – зацепване между две “нулеви” ЗК

Най-простият вид зацепване. Използва се при колела с голям брой зъби. Показателите на предавката (товароносимостта и) не са оптимални по отношение на якостта на материалите.



$$x_1 = x_2 = 0$$

$$x_\Sigma = x_1 + x_2 = 0$$

$$z_1 \geq z'_{\min} = 14$$

$$z_2 \geq z'_{\min} = 14$$

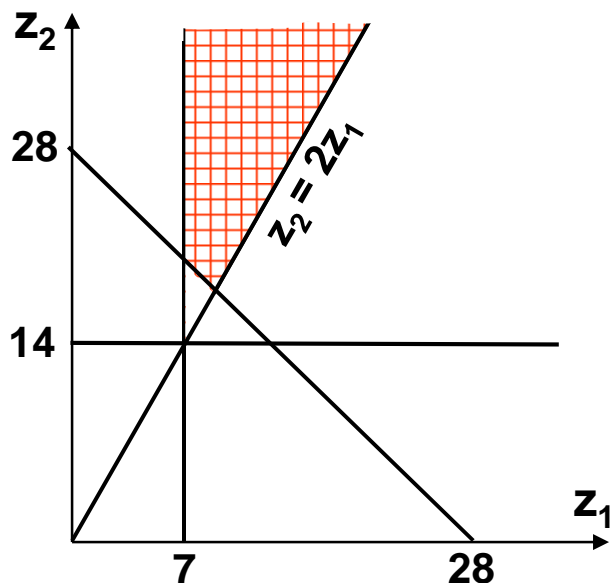
$$z_2 \geq z_1$$

$$\alpha = \alpha_w \quad s_1 = s_2 = e_1 = e_2 = \frac{p}{2}$$

$$d = d_w \quad a = a_w = r_1 + r_2 = m \frac{z_1 + z_2}{2}$$

2. Равноизместено зацепване

Използва се при предавки с голямо i . Създава възможности за повишаване на товароносимостта на зъбите на малкото колело.

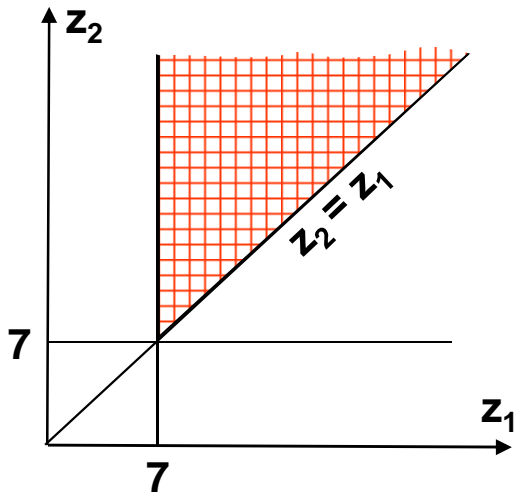


$$\begin{array}{ll} x_1 \geq 0 & x_2 \leq 0 \\ \text{малко колело} & \text{голямо колело} \\ |x_1| = |x_2| & x_{\Sigma} = x_1 + x_2 = 0 \end{array}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{(1)} \quad z_1 \geq \overline{z_{\min}} = 7 \\ \text{(3)} \quad z_2 \geq 2z_1 \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{(2)} \quad z_2 \geq z'_{\min} = 14 \\ \text{(4)} \quad z_1 + z_2 \geq 28 \end{array} \right.$$

Подходящо за ремонтни работи

3. Изместено зацепване



$$x_1 \geq 0 \quad x_2 \geq 0$$

$$x_{\Sigma} = x_1 + x_2 \neq 0$$

$$z_1 \geq \overline{z_{\min}} = 7$$

$$z_2 \geq z_1$$

$$z_2 \geq \overline{x_{\min}} = 7$$

$$s_1 \geq \frac{p}{2} \quad s_{2 \leq} \geq \frac{p}{2} \quad s_1 + s_2 \neq p$$

$$s_{w1} + s_{w2} = p \quad \text{условие за безхлабинно зацепване}$$

$$\alpha_w \neq \alpha = 20^\circ \quad r_1 \neq r_{w1} \quad r_2 \neq r_{w2}$$

$$a_w = r_{w1} + r_{w2} = a \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_w} = m \frac{z_1 + z_2}{2} \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_w}$$