

LATVIJAS LAUKSAIMNIECĪBAS UNIVERSITĀTE

**Tehniskā fakultāte
Mehānikas institūts**

J. Svētiņš, Ē. Kronbergs

Taisnzobu cilindrisko zobratu pārvada sintēze

Jelgava 2009

Ievads

Vienkāršs zobratu pārvads ir trīslocekļu mehānisms ar vienu augstāko pāri. To var uzlūkot par daudzkārtīgu izciļņu mehānismu, kurā izciļņi nonāk saskarē pakāpeniski viens pēc otra.

Ja zobrata sānu virsmu šķēlam ar plakni, kas perpendikulāra zobrata asij, tad iegūstam līkni, ko sauc par zoba profilu. Zobu saskari sauc par sazobi, bet saskares līniju par sazobes līniju. Zobu profilus sauc par flankām. Zobu profilu konstruēšana ir galvenais zobratu sintēzes uzdevums.

1764 L.Eilers ieteica zobratiem izmantot evolventu sazobi, kur zobu flanku līkne ir aploces evolvente. Evolventu sazobei ir šādas galvenās priekšrocības:

1. Evolventu sazobe pieļauj nelielu zobratu centru attālumu maiņu.
2. Zobrati veido komplektu, t. i. zobrati var strādāt kopā ar citiem dažāda diametra zobratiem – tie veido komplektu.

Aploces evolvente

Zobratu teorijā ļoti svarīga nozīme ir aploces evolventei, ko parasti sauc par evolventu, jo zobu profili ir evolventes. Ja taisni veļam bez slīdes pa aploci, tad katrs taisnes punkts apraksta līniju ko sauc par **evolventi**. Zobratu teorijā šo aploci (1.zīm.a) sauc par **pamataploci**.

Visas vienas un tās pašas aploces evolventes ir ekvidistantas. Evolventes liekuma radiuss $AC = \rho$ ir vienāds ar aploces loka $A_0 A$ garumu (1.zīm.b).

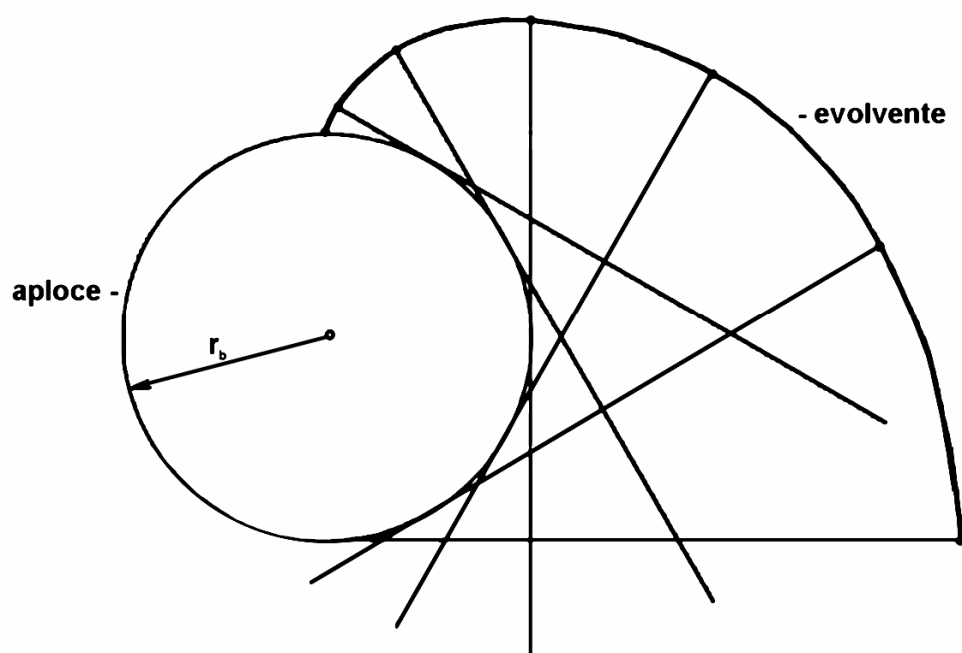
No trīsstūra OAC iegūstam $AC = A_0 \cdot \operatorname{tg} \alpha$. Aploču loka $A_0 A$ garums $A_0 A = r_b \cdot (\theta + \alpha)$ vai $r_b \cdot \operatorname{tg} \alpha = r_b \cdot (\alpha + \theta)$. No iegūtās sakarības varam izteikt leņķi θ

$$\theta = \operatorname{tg} \alpha - \alpha = \operatorname{inv} \alpha$$

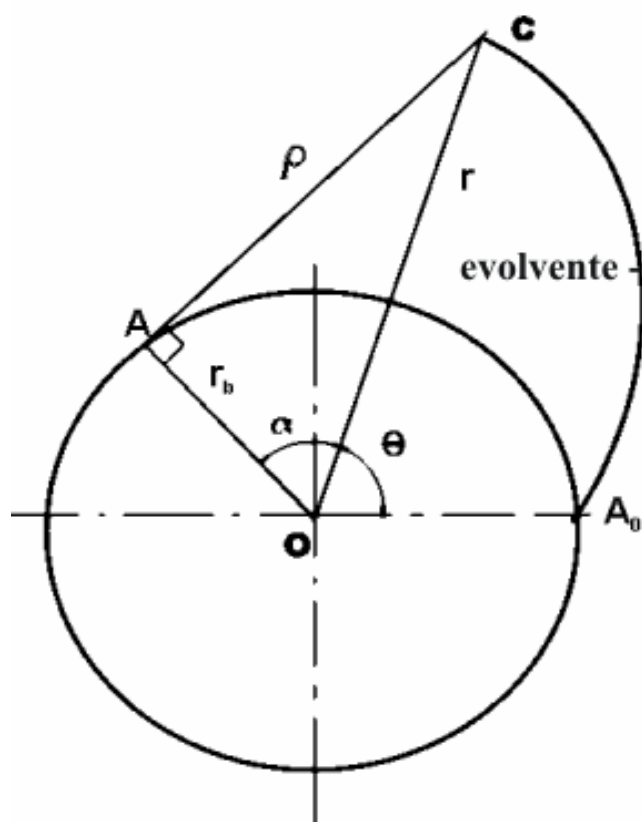
Šādu funkciju sauc par involūtu vai evolventes funkciju

Evolventes īpašības:

1. Taisne AC ir evolventes normāle.
2. Pamat aploce ir evolventes liekumu centru ģeometriski vieta.
3. Visas vienas tās pašas aploces evolventes ir ekvidistantas līknes.



a)



b)

1. zīm.

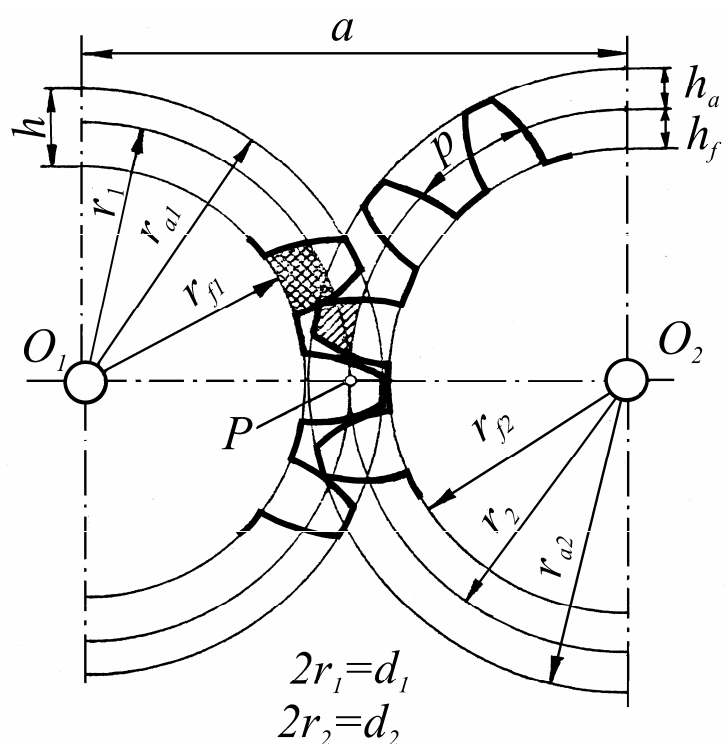
Zobratu galvenie izmēri

Zobratu pārim uzstāda prasību, lai to pārnesuma attiecība - i ir nemainīga:

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{O_2 P}{O_1 P} = \text{const} \quad (1)$$

kur ω_1 un ω_2 – zobratu leņķiskie ātrumi.

Cilindrisko zobratu gadījumā aploces r_1 un r_2 (2.zīm.), kuras veļas viena pa otru bez slīdes un saskaras sazobes polā **P** sauc par **veļšanās aplocēm**. Ja zobrati nav koriģēti, veļšanās aploces sakrīt ar **dalījuma aplocēm**. Pa dalījuma aploci mērī zobrata **dalījumu** jeb **sazobes soli p**. Sazobes solis p ir pa dalījuma aploces loku mērīts attālums starp divu blakusesošu zobu analogiskiem punktiem.



2.zīm.

Dalījuma aploces diametru d var izteikt ar soli p un zobu skaitu z :

$$z \cdot p = \pi \cdot d \text{ jeb } d = \frac{p}{\pi} \cdot z = m \cdot z. \quad (2)$$

Attiecību $\frac{p}{\pi}$ apzīmē ar **m** un sauc par **sazobes moduli**. Moduļa vērtības ir standartizētas, tās tiek izteiktas **milimetros**.

Ievērojot izteiksmi (2) sazobes moduli var izteikt arī šādi:

$$m = \frac{d}{z}. \quad (3)$$

Sazobes modulis rāda, cik milimetru no dalījuma aploces diametra pienākas uz vienu zobu. Vienkārši svītroti zoba daļu (2.zīm.) sauc par zoba galvu, bet dubultsvītrotu – par zoba kāju.

Zoba galvas un kājas augstumi kā moduļa m funkcijas izsakās šādi:

$$h_a = h_a^* \cdot m; h_f = (h_a^* + c^*) \cdot m, \quad (4)$$

kur h_a^* - zoba galvas augstuma koeficients (standartizētā vērtība $h_a^* = 1,0$).

c^* - radiālās spraugas koeficients (standartizētā vērtība $c^* = 0,25$).

Standartizētā nekorģētā zoba augstums

$$h = h_a + h_f = 2,25 \cdot m. \quad (5)$$

Atbilstoši standartam zobrata zoba galvas d_a un kājas aploču d_f diametri ir šādi:

$$\begin{aligned} d_a &= d + 2 h_a = m (z + 2); \\ d_f &= d - 2 h_f = m (z - 2,5). \end{aligned} \quad (6)$$

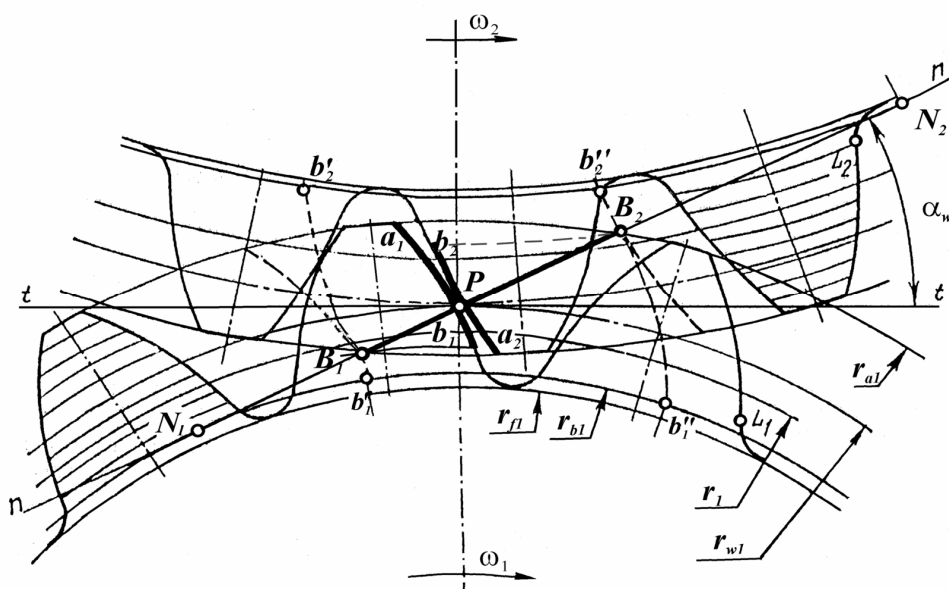
Attālums a starp sazobē esošo zobratu asīm 0_1 un 0_2 ir

$$a = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{m (z_1 + z_2)}{2}, \quad (7)$$

kur d_1 un d_2 ir sazobē esošo zobratu dalījuma aploču diametri;

z_1 un z_2 ir sazobē esošo zobratu zobu skaits.

Nekoriģētiem zobratiem zoba biezums un roba platums ir vienādi ar $0,5 \cdot p$.



3.zīm.

3.zīm. evolventu posmi $a_1 b_1$ un $a_2 b_2$ ir zobu profilu darbīgie posmi. Zobratiem griežoties abas evolventes uz sazobes līnijas $n - n$ un to saskarpunkts pārvietojas pa sazobes līniju no punkta B_1 uz punktu B_2 it kā sazobes līnija pārtītos kā diegs no vienas pamataploces uz otru. Sazobes līnijas nogriezni $B_1 B_2$ sauc par praktisko sazobes līniju vai sazobes ceļu, bet nogriezni $N_1 N_2$ – par teorētisko sazobes līniju. Punkti $B_1 B_2$ ir zobu galvu aploču krustpunkti ar sazobes līniju.

Sazobe sākas punktā B_1 , saskaroties dzenošā rata kājas flankas punktam B_1 ar pretrata stūri a_2 un izbeidzas punktā B_2 . Zobu galvām atbilstošie evolventes profila posmi vienmēr ir izmantoti visā garumā, bet kājām profilu darbīgās daļas ir zobu profilu posmi b_1P un b_2P . Tā, ka zobu kājas darbīgās daļas posms b_1P ir īsāks par zoba galvas darbīgo posmu, t.i. $b_1P < a_1P$, tad **zoba kāja nodilst vairāk nekā zoba galva**.

Atkarībā no zobrata zobu skaita **pamataploces rādiuss r_b** var būt lielāks vai mazāks par **kājas aploces rādiusu r_f** . Ja zobrata zobu skaits $z > 41$, tad pamataploces rādiuss r_b ir mazāks par zobu kājas aploces rādiusu r_f un **viss zoba profils ir evolvente**. Ja $z < 41$, tad **pamataploces radiuss r_b ir lielāks par zobu kāju aploces radiusu**, t.i. $r_b > r_f$. Tā kā saistīto profilu posmi $a_1 P > b_2 P$, tādēļ zobratiem darbojoties, **profili ne tikai veļas viens pa otru, bet arī slīd**. Slīdes dēļ rodas zobu nodilumi. Zoba kājas flankas daļa nodilst vairāk nekā galvai piederošā daļa.

Svarīgs sazobes kvalitātes rādītājs ir **pārseguma koeficients**. Par pārseguma koeficientu sauc praktiskās sazobes līnijas garuma attiecību pret zobratu pamataploces soļa garumu

$$\varepsilon = \frac{B_1 B_2}{b_1' b_1''} \quad (8)$$

kur $b_1' b_1'' = \pi \cdot m \cos \alpha$.

Pārseguma koeficients norāda zobu pāru skaitu, kas vienlaikus atrodas sazobē. Tā kā evolventes profila taisnzobu zobratiem pārseguma koeficients $2 > \varepsilon > 1$, tad sazobē vienlaikus var atrasties viens vai divi zobu pāri. **Projektējot zobratu pārvadus, pārseguma koeficients nedrīkst būt mazāks par 1,1**. Ja iedomājamies, ka lielā zobrata diametrs neierobežoti palielinās, tad punkts B_2 aiziet bezgalībā, un šī zobrata evolvente pārvēršas par sazobes līnijai perpendikulāru taisni, zobrata 2 vietā rodas **evolventes zobstienis**.

Pārseguma koeficientu ε var noteikt pēc formulas

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{r_{a1}^2 - r_{b1}^2} + \sqrt{r_{a2}^2 - r_{b2}^2} - a_w \cdot \sin \alpha}{\pi \cdot m \cdot \cos \alpha} \quad (9)$$

No formulas (9) var secināt kā:

- 1) pārseguma koeficients nav atkarīgs no moduļa m ;
- 2) palielinot sazobes leņķi pārseguma koeficients samazinās.

Lai iegūtu zobratu pārvadu ar maziem gabarītiem, mazo zobratu cenšas veidot ar minimālo zobu skaitu $z_1 = z_{\min}$, t.i. cenšas veidot to kā **robežratu**. Ja griezējinstrumentam ir zobstieņa forma, tad izgatavojamā zobrata minimālo zobu skaitu nosaka formula

$$z_{\min}^{\infty} = \frac{2 \cdot h_a}{\sin^2 \alpha}, \quad (10)$$

kur h_a – zoba augstums;

α - sazobes leņķis.

Šādā veidā izgatavotais mazais zobrats var strādāt ar visiem dotā moduļa zobratiem bez **apakšgriezumiem**. Ja $h_a = 1$ un sazobes leņķis $\alpha = 20^\circ$, tad $z_{\min} = 17$. Ja $\alpha = 15^\circ$ un $h_a = 1$, tad $z_{\min} = 30$.

Palielinot sazobes leņķi α : 1) garāka kļūst zoba kājas flankas darbīgā daļa un mazāka zoba kājas daļas nodilšana; 2) īsāks kļūst sazobes ceļš, samazinās berzes jauda un zobu sasilšana; 3) **samazinās pārseguma koeficients ϵ** ; 4) samazinās minimālais zobu skaits zobratam bez apakšgriezumiem; 5) **vēl mazāku zobu skaitu mazajam zobratam var iegūt, ja lieto koriģētos zobratus**.

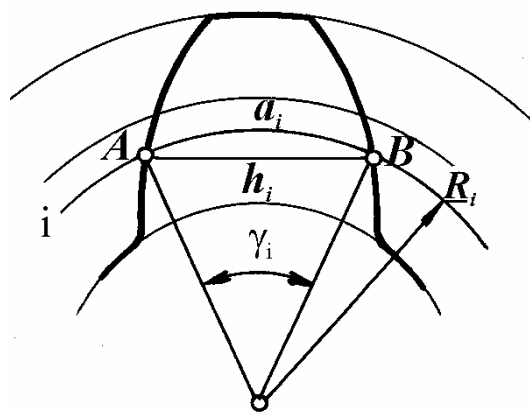
Zoba biezumu pa dažādām aplocēm var noteikti ar attiecīgiem lokiem piederošo hordu palīdzību. Tā, piemēram, lai noteiktu zoba biezumu uz aploces i (4.zīm.) ar rādiusu R_i , izmēram hordu $AB = h_i$. Hordas h_i

garums $h_i = 2R_i \sin \frac{\gamma_i}{2}$, no kurienes

$$\gamma_i = 2 \arcsin \frac{h_i}{2R_i}.$$

Tā kā aploces loka garums $s_i = R_i \cdot \gamma_i$,

$$\text{tad } s_i = R_i \cdot 2 \arcsin \frac{h_i}{2R_i} \quad (11)$$



4.zīm.

Taisnzobu zobrata minimālais zobu skaits.

Projektējot zobratu pārvadu pārnesuma attiecība ir dota

$$i_{12} = \frac{z_2}{z_1} = \text{const} \quad (12)$$

Zobrata moduli m iegūst veicot zoba stiprības aprēķinu. Lai sasniegtu minimālo zobratu asu attālumu

$$a = \frac{m}{2} (z_1 + z_2) \quad (13)$$

mazo zobratu cenšas projektēt ar minimālo zobu skaitu $z_1 = z_{\min}$ t.i. veido to kā robežratu.

Ja darba rīks zobrata izgatavošanai ir ēvelētājzobstienis vai gliemežfrēze, tad minimālo zobu skaitu nosaka formula

$$z_{\min}^{\infty} = z_1 = \frac{2 h_a^*}{\sin^2 \alpha} \quad (14)$$

Ja $\alpha = 20^\circ$ un $h_a^* = 1$, tad $z_{\min}^{\infty} = 17$.

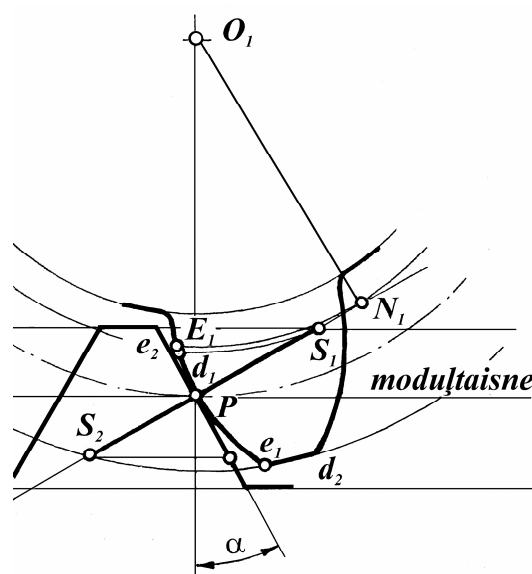
Pieļaujot nelielus apakšgriezumus

$$z_1 = z_{\text{rob}} = \frac{5}{6} z_{\min}^{\infty} = 14.$$

Lai samazinātu troksni pārvada darba laikā z_1 izvēlas lielāku par $z_{\min}$. Reduktoriem zobu skaits ir $z_1 = 20 \dots 30$.

Zobstieņa sazobe

Ja lielā zobrata diametru nepārtraukti palielināsim, tad robežgadījumā visas šī zobrata aploces pārvēršas par taisnēm un iegūstam evolventes zobstieni (5.zīm). Zobu flankas tam ir taisnes, kas perpendikulāras sazobes līnijai. Tā kā sazobes līnijas punkts N_2 ir bezgalībā, tad mazā zobrata galvas aploce to sasniegt nevar un tādēļ apakšgriezumi zobstieņa zobiem nav iespējami. **Jo lielāks ir kāds zobrats, jo mazāk tajā iespējami zobu apakšgriezumi.** Tā kā zobstieņa flankas ir taisnes, tādēļ tās ir pamatdarba rīks ārējās



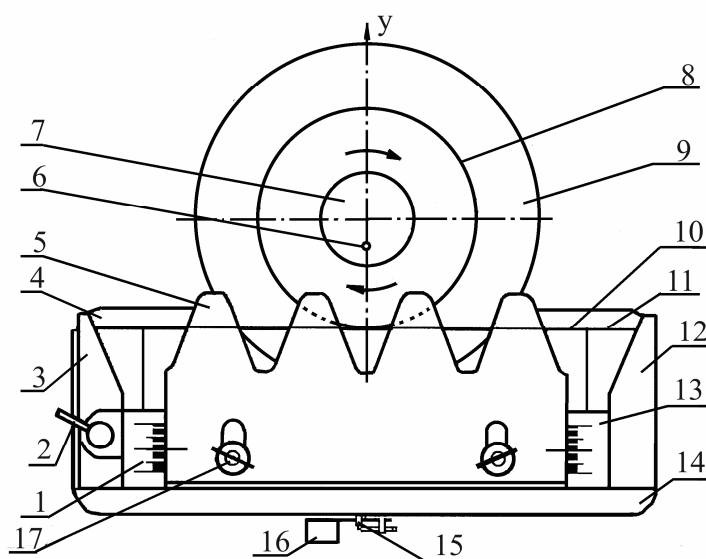
5.zīm.

sazobes zobratu izgatavošanai pēc novelšanas metodes. Sazobes līnijas nogrieznis $S_1 S_2$ (5.zīm.) ir vienāds ar sazobes ceļu.

Ierīces TMM – 42 apraksts

Taisnību cilindriskā zobrata zobus varam konstruēt uz papīra ar 6.zīm. parādītās ierīces palīdzību. Uz ierīces pamatnes 4 novietoti diski 9 un zobstienis 5.

Disks sastāv no virsējās daļas 9, kuras diametrs atbilst sagataves ārējam diametram un apakšējās daļas 8, kuras diametrs vienāds ar zobrata dalījuma aploces diametru. Abas diska



6.zīm.

daļas ir cieši savienotas, tās var griezties ap kopēju asi, kas nostiprināta pie pamatnes 4.

Zobstienis 5 ar skalām 1 un 13, detaļu 10 un aptverēm 3 un 12 var pārvietoties pa ķīļveida vadotnēm 14. Diska rotācijas un zobstieņa virzes kustības ir saistītas tā, ka diska 8 ārējā aploce (zobrata dalījuma aploce) bez slīdes veļas pa šķautni 10, kas sakrīt ar zobstieņa vidus līniju. Lai nodrošinātu diska 8 velšanos bez slīdes, nekustīgai aptverei 12 piestiprināta stieple 11, kura pa dalījuma aploci aptver ripu 8 pulksteņa rādītāja kustības virzienā, tās gals ir piestiprināts aptverei 3. Ar ekscentra mehānismu, pagriežot kloķi 2, aptveri 3 var pārvietot horizontālā virzienā, tā panākot diska velšanās kustībai pa zobstieni nepieciešamo stieples 11 sastiepumu. Nospiežot sviru 16, zobstienis pārvietojas par 4-5 mm pa kreisi, vienlaicīgi arī pagriežas disks 6. Atbrīvojot sviru 16, sprūda mehānisms nofiksē zobstieni tā pārvietotajā stāvoklī. Nospiežot plakano atsperi 15 abi sprosti atbrīvojas no sakabināšanas ar zobstieni 5, kuru tad var ar roku pārvietot horizontālā

virzienā. Zobstieni var pārbīdīt arī Y ass virzienā, attālinot vai tuvinot to sagataves centram. Zobstieņa nobīdi kontrolē pēc skalām 1 un 13, tā stāvokli fiksē ar skrūvēm 17. Uz zobstieņa ir iegravēti sazobes parametri: modulis m , zobstieņa profila leņķis $\alpha = 20^\circ$ un dalījuma aploces diametrs d .

Evolventes sazobes zobu attēlus iegūst šādā veidā. Uz ripas 9 uz trim adatām uzspauž papīra apli, kura ārējais diametrs vienāds ar zobrata sagataves diametru. Papīra apli piespiež ripai ar uzliktni 7, pieskrūvējot skrūvi 6. Nospiežot plakano atsperi 15 atslēdz sprūdmehānismu un zobstieni nobīda pa labi galējā stāvoklī. **Pārbauda pēc skalām 1 un 13, vai zobstieņa nobīde vienāda ar nulli.** Pēc tam ar smailu zīmuli uz papīra sagataves apvelk zobstieņa kontūra daļu, kas pārsedz sagatavi. Nospiežot sviru 16, pārbīda zobstieni pa kreisi par 4-5 mm un atkal zīmē zobu kontūru. Tā turpina, kamēr zobstienis nonāk kreisajā galējā stāvoklī, kad būs uzzīmēti 2 vai 3 nulles pārvada zobu attēli ar apakšgriezumiem.

Koriģētiem zobratam zobu attēlus zīmē papīra sagataves pretējā sektorā. Šim nolūkam papīra apli no diska nav jānoņem; pietiek pagriezt ekscentra vadības kloķi 2 pa kreisi līdz galējam stāvoklim (samazinot stieples 11 nostiepumu) un disku 9 ar papīra sagatavi pagriežot attiecībā pret zobstieni. Pēc sagataves pagriešanas stiepli 11 atkal nospriego, pagriežot ekscentra vadības kloķi 2 pa labi. **Pēc skalām 1 un 13 ieregulē aprēķināto zobstieņa pārbīdi un no jauna zīmē koriģēto zobu attēlus.**

Evolventes zobratu pārvadu veidi

Taisnu un slīpu zobu zobratu sazobi var izveidot no nulles, pozitīviem un negatīviem zobratiem. Attiecīgos pārvadus sauc par nullpārvadiem, pozitīviem vai negatīviem pārvadiem. Par nullpārvadu sauc divus sazobē esošo – zobratus, kuriem korekcijas koeficienti $x_1 = 0$ un $x_2 = 0$. Šādiem zobratiem dalījuma aploces ir arī velšanās aploces. Sazobes leņķis $\alpha = 20^\circ$. Abi zobrati ir nekoriģēti. No koriģētiem zobratiem var izveidot: 1) koriģēto nulles pārvadu; 2) pozitīvo vai negatīvo zobratu pārvadu. Koriģētam nulles pārvadam (7.zīm.a.)

$$x_{\Sigma} = x_1 + x_2 = 0, \quad (15)$$

$$\text{jo } x_1 \neq x_2, \text{ bet } |x_1| = |x_2|.$$

No nekoriģētiem zobratiem šī pārvada zobrati atšķiras ar zobu formām. **Pozitīvi koriģēta zobrata z zobi ir biezāki par robiem, bet negatīvi koriģētiem – otrādi.** Sazobes leņķis $\alpha_{\omega} = \alpha = 20^\circ$, dalījuma un velšanās aploces sakrīt. Ja nulles zobrati izgatavoti ar nobīdi, tad mainās tikai zoba galvas un kājas augstuma attiecība (**augstuma korekcija**). Pozitīvi

koriģēto zobratu pārvadu (7.zīm.b.) kuram $x_{\Sigma} = x_1 + x_2 > 0$ var izveidot: 1) no diviem pozitīviem zobratiem ($x_1 > 0, x_2 > 0$); 2) no viena pozitīva zobrata un otra negatīva zobrata, kuriem $x_1 > 0, x_2 < 0$, bet $x_{\Sigma} = x_1 + x_2 > 0$; 3) viena pozitīva zobrata un otra nulles zobrata ($x_1 > 0, x_2 = 0$)

Šādiem zobratu pārvadiem sazobes leņķi $\alpha_0 > 20^\circ$ un starpam attālums $a_w > a$, tāpēc dalījuma aploces nesaskaras. Negatīvi koriģēto zobratu pārvadu (7.zīm.c) var izveidot:

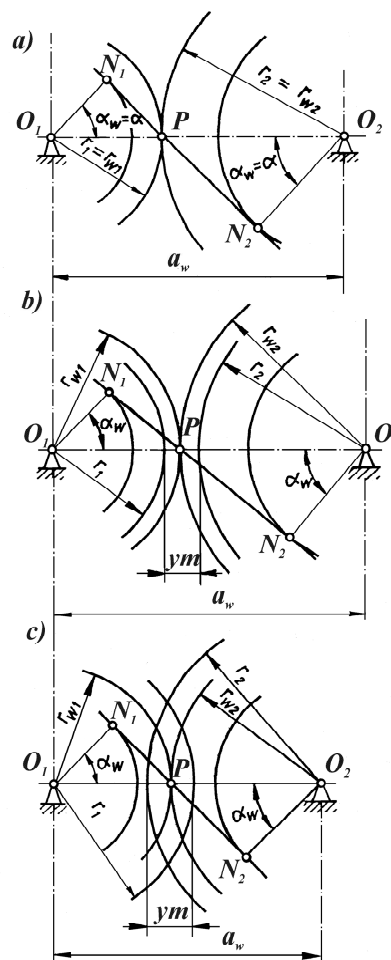
- 1) diviem negatīvi koriģētiem zobratiem ($x_1 < 0; x_2 < 0$);
- 2) viena negatīva un otra pozitīva zobrata ja $x_1 < 0$ un $x_2 > 0$ un $|x_1| - |x_2| < 0$ (16)
- 3) viena negatīva un otra nulles zobrata ($x_1 < 0$ un $x_2 = 0$).

Negatīvā zobrata pārvada dalījuma aploces krustojas. Sazobes polā saskaras velšanās aploces. Sazobes leņķis $\alpha_0 < 20^\circ$. Šādu gadījumu kad zobratu pārvada sazobes leņķis atšķiras no profila leņķa ($\alpha_0 \neq \alpha$) sauc par **leņķa korekciju**.

Koriģēto zobratu sazobes kvalitātes rādītāji ir atkarīgi no korekcijas koeficientiem x_1 un x_2 . Palielinot katram zobratam koeficientus x_1 un x_2 vai to summu palielinās zobu kontaktizturība, bet samazinās zobu nodilums, pārseguma koeficients un zobu galvas biezums.

Relatīvas nobīdes koeficientu izvēle.

Zobratu pārvadiem ar nulles zobratiem ne vienmēr var iegūt optimālus sazobes kvalitātes rādītājus. Šādiem pārvadiem priekšlaicīgi parādās zobu nodilums, izdrupšana un zobu lūzumi. Šīs parādības var novērst vai samazināt lietojot koriģētos zobratu. Zobu kvalitātes rādītāji ir atkarīgi no relatīvās nobīdes koeficientu x_1 un x_2 izvēles. Palielinot relatīvās nobīdes koeficientu vai to summu, palielinās zobratu zobu kontaktizturība, bet



7.zīm.

samazinās pārseguma koeficients ε un zoba galvas biezums. Apakšgriezumu novērš ar minimālo relatīvās nobīdes koeficientu, ko aprēķina pēc formulas:

$$x_{\min} = \frac{17 - z}{17}, \quad (17)$$

kur z – izgatavojamā zobrata zobu skaits ($z < 17$).

Zoba biezumu pa galvas aploci nodrošina ar relatīvās nobīdes koeficientu, ievērojot nevienādību.

$$x_{\max} > x > x_{\min}$$

Zobrati, kuriem $z < z_{\min}$ var būt tikai pozitīvi; ja $z = z_{\min}$, - pozitīvi vai nulles zobrati, bet ja $z > z_{\min}$ – pozitīvi, negatīvi vai nulles zobrati.

Negatīvus pārvadus lieto reti, jo tiem ir sliktākas ekspluatācijas īpašības. Relatīvās nobīdes koeficientu noteikšanai var izmantot šādas metodes: 1) bloķējošos kontūrus; 2) tabulas; 3) ISO; rekomendācijas saskaņā ar kurām nulles zobratus ieteicams lietot, ja $z_1 \geq 30$; ja $z_1 < 30$ un $z_{\Sigma} = z_1 + z_2 > 60$, tad var izmantot $x_2 = -x_1$, kur $x_1 = 0,03(30 - z_1)$.

Kinemātiskiem pārvadiem, kuriem $x_{\Sigma} = z_1 + z_2 \geq 34$ var lietot pārvadus ar $x_{\Sigma} = 0$.

1. tabula

Kinemātisko pārvadu relatīvas nobīdes koeficienti

z_1 un z_2	x_1	x_2
z_1 un $z_2 \geq 17$	0	0
$z_1 = 12 \dots 16$ $z_2 \geq 22$	+ 0,3	- 0,3
z_1 un $z_2 = 7 \dots 11$	$\geq (1 - 0,058 z_1)$	$\geq (1 - 0,058 z_2)$

2. tabula

Spēka pārvadu relatīvās nobīdes koeficientu vērtības, ja nav dots starpasu attālums

z_1 un z_2	x_1	x_2
z_1 un $z_2 \geq 30$	0	0
$z_1 = 14 \dots 20$ $z_2 \geq 50$	0,3	- 0,3
$z_1 = 10 \dots 30$ $z_2 \leq 30$	0,5	0,5
$z_1 = 10 \dots 30$ $z_2 \leq 32$	0,5	0
$z_1 = 5 \dots 9$ $z_2 \leq 30$	$x_1 = 0,03(30 - z_1)$	$x_2 = 0,03(30 - z_2)$

Relatīvās nobīdes koeficienti pārvadiem, ja dots starpasu attālums

x_{Σ}	z_1 un z_2	x_1	x_2
0	$z_1 \geq 21$ $z_1 = 14 \dots 20$ un $i_{12} \geq 3,5$	0 0,3	0 - 0,3
0...0,5	$z_1 > 19; z_2 \geq 21$ $z_1 = z_2 \leq 21$	$x_1 = x_2$ $x_1 = 0,5 x_2$	0 $x_2 = 1,5 x_{\Sigma}$
0,5 ... 1	$z_1 = z_2 \geq 10$ $z_1 = 11; z_2 \geq z_{\min} + 2$	$x_1 = 1,5 x_{\Sigma}$ $x_2 = 0,5$	$x_2 = 1,5 x_{\Sigma}$ $x_2 = x_{\Sigma} - 0,5$

RELATĪVĀS NOBĪDES KOEFICIENTU TABULAS

Zobratu pārvadu projektēšanā var izmantot arī profesora V.Kudrjavceva izstrādātas relatīvās nobīdes koeficientu tabulas (4...8). Tās ir derīgas galvenokārt mašīnbūvē izmantojamiem pārvadiem (tabulas nav universālas). Tajās ir dota relatīvās koeficientu maksimāli iespējamo vērtību summa, kura garantē zobrata pārvada paaugstinātu slodzes izturību, minimāli pieļaujamo zobu galvas biezumu un pārseguma koeficientu. Ja $2 \geq i \geq 1$, tad pēc z_1 un z_2 vērtībām 4 tabulā atrod x_1 un x_2 vērtības un pēc z_1 vērtības 5. tabulā atrod līdzsvarotās nobīdes koeficientu Δ_y . Ja $5 \geq i \geq 2$, tad zinot z_1 , 6. tabulā atrod līdzsvarotās nobīdes koeficientu Δ_y un x_1 , pēc tam 7. tabulā atrod x_2 vērtības.

5. tabula

Koeficientu Δy vērtības arējās zobratu sažobes pozitīvam pārvadam, ja $2 \geq i \geq 1$

Z_1	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Δy	0,127	0,145	0,160	0,175	0,190	0,202	0,215	0,227	0,239	0,250

6. tabula

Koeficientu Δy un x_1 vērtības arējās zobratu sažobes pozitīvam pārvadam, ja $5 \geq i > 2$

Z_1	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Δy	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25
X_1	0,66	0,73	0,80	0,86	0,92	0,98	1,04	1,10	1,16	1,22

7. tabula

Relatīvas nobīdes koeficienta x_2 vērtības arējās zobratu sažobes pozitīvam pārvadam, ja $5 \geq i > 2$

$z_2 \backslash z_1$	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
25	0,442	0,425	—	—	—	—	—	—	—	—
30	0,501	0,486	0,471	0,463	—	—	—	—	—	—
35	0,556	0,542	0,528	0,522	0,518	0,512	0,505	—	—	—
40	0,610	0,596	0,582	0,577	0,575	0,569	0,564	0,560	0,553	—
45	0,661	0,648	0,635	0,632	0,628	0,624	0,620	0,616	0,611	0,606
50	0,709	0,696	0,685	0,684	0,682	0,677	0,674	0,671	0,667	0,662
55	0,754	0,745	0,734	0,732	0,731	0,728	0,727	0,722	0,720	0,716
60	—	0,789	0,782	0,780	0,779	0,778	0,777	0,773	0,772	0,769
65	—	—	0,822	0,825	0,826	0,827	0,825	0,823	0,821	0,820
70	—	—	—	0,866	0,870	0,872	0,874	0,871	0,869	0,868
75	—	—	—	—	0,909	0,914	0,917	0,920	0,919	0,916
80	—	—	—	—	—	0,954	0,957	0,961	0,962	0,965
85	—	—	—	—	—	—	0,998	0,101	1,003	1,008
90	—	—	—	—	—	—	—	1,042	1,046	1,048
95	—	—	—	—	—	—	—	—	1,086	1,088
100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,129
105	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Ja nullpārvadam $z_2 \geq 34$, tad relatīvas nobīdes koeficientu atrod 8.tabulā.

8. tabula

Relatīvas nobīdes koeficienta $x=x_1=x_2>0$ vērtības arējās zobratu sažobes nullpārvaļam ar izlīdzinātiem relatīvās slīdes koeficientiem

$\begin{matrix} z_1 \\ \backslash \\ z_2 \end{matrix}$	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
17	—	—	—	—	—	—	0,000	—	—	—
18	—	—	—	—	—	0,060	0,032	0,000	—	—
19	—	—	—	—	0,124	0,094	0,060	0,030	0,000	—
20	—	—	—	0,182	0,159	0,120	0,086	0,056	0,027	0,000
21	—	—	0,241	0,220	0,181	0,144	0,110	0,080	0,052	0,025
22	—	0,300	0,283	0,239	0,201	0,165	0,131	0,101	0,073	0,047
23	0,358	0,343	0,299	0,256	0,219	0,183	0,149	0,119	0,092	0,067
24	0,400	0,350	0,313	0,271	0,235	0,199	0,165	0,136	0,109	0,085
25	0,400	0,350	0,326	0,285	0,248	0,213	0,180	0,151	0,125	0,101
26	0,400	0,350	0,337	0,297	0,260	0,226	0,191	0,168	0,138	0,115
27	0,400	0,350	0,347	0,308	0,271	0,238	0,205	0,178	0,152	0,128
28	0,400	0,350	0,356	0,318	0,281	0,249	0,216	0,189	0,163	0,140
29	0,400	0,350	0,364	0,327	0,291	0,258	0,226	0,199	0,173	0,150
30	0,400	0,350	0,372	0,335	0,300	0,266	0,235	0,208	0,183	0,160

Zobratu pārvaļda ģeometrisku parametru aprēķins

Ja z_1 un z_2 ir doti vai arī tos aprēķina pēc zināmā pārnesumu skaitļa i , tad zobratu pārvaļda ģeometriskos parametrus aprēķina šādi:

sažobes moduli uzdod konstruktīvi vai arī aprēķina atkarībā no zobratu zoba stiprības, tā lielumu izvēlas no 9. tabulas.

9. tabula

Sažobes modulis, mm

1. rinda	2. rinda	1. rinda	2. rinda	1. rinda	2. rinda
0,3	0,35	1,5	1,75	8	9
0,4	0,45	2	2,25	10	11
0,5	0,55	2,5	2,75	12	14
0,6	0,7	3	3,5	16	18
0,8	0,9	4	4,5	20	22
1	1,125	5	5,5	25	28
1,25	1,375	6	7	32	36

pēc sažobes moduļa izvēlas griezējinstrumentu;

atkarībā no tā, vai projektējamā zobratu pārvaļda starpasu attālums ir brīvi izvēlēts vai dots, relatīvās nobīdes koeficientu x_1 un x_2 izvēlas pēc iepriekš dotajām metodēm.

zobratu pārvada sazobes leņķa α_w aprēķina formulā (18), inva vērtības nosaka pēc 10. tabulas. Līdzsvarotās nobīdes koeficientu Δy aprēķina pēc formulas (26).

10. tabula

inv α vērtības

α°		0'	5'	10'	15'	20'	25'	30'	35'	40'	45'	50'	55'		α°
13	0,00	39754	40534	41325	42126	42938	43760	44593	45437	46291	47157	43033	48921	0,00	13
14	0,00	49819	50729	51650	52582	53526	54482	55448	56427	57417	58420	59434	60160	0,00	14
15	0,00	61488	62548	63611	64686	65773	66873	67985	69110	70248	71398	72561	73738	0,00	15
16	0,0	07493	07613	07735	07857	07982	08107	08234	08362	08492	08623	08756	08889	0,0	16
17	0,0	09025	09161	09299	09439	09580	09722	09866	10012	10158	10307	10456	10608	0,0	17
18	0,0	10760	10915	11071	11228	11387	11547	11709	11873	12038	12205	12373	12543	0,0	18
19	0,0	12715	12888	13063	13240	13418	13598	13779	13963	14148	14334	14523	14713	0,0	19
20	0,0	14904	15098	15293	15490	15689	15890	16092	16295	16502	16710	16920	17132	0,0	20
21	0,0	17345	17560	17777	1799a	18217	18440	18665	18891	19120	19350	19583	19817	0,0	21
22	0,0	20054	20292	20533	20775	21019	21266	21514	21765	22018	22272	22529	22788	0,0	22
23	0,0	23044	23312	23577	23845	24114	24386	24660	24936	25214	25495	25778	26062	0,0	23
24	0,0	26350	26639	26931	27225	27521	27820	28121	28424	28729	29037	29348	29660	0,0	24
25	0,0	29957	30293	30613	30935	31260	31587	31917	32249	32583	32920	33260	33602	0,0	25
26	0,0	33947	34294	34644	34997	35352	35709	36069	36432	36798	37166	37537	37910	0,0	26
27	0,0	38287	38666	39047	39432	39819	40209	40602	40397	41395	41797	42201	426*07	0,0	27
28	0,0	43017	43430	43845	44264	44685	45110	45537	45967	46100	46837	47276	47718	0,0	28
29	0,0	48164	48512	49064	49518	49976	50437	50901	51363	51838	52312	52788	53268	0,0	29
30	0,0	53751	54233	54728	55221	55717	56217	56720	57226	57736	58249	58765	59285	0,0	30
31	0,0	58809	60335	60856	61400	61937	62478	63022	63570	64122	64677	65236	65798	0,0	31
32	0,0	66364	66934	67507	68084	68665	69250	69838	70430	71026	71626	72230	72838	0,0	32

Piezīme: dažādas starpvērtības dotajiem lielumiem nosaka ar interpolācijas palīdzību

Ja zobratu pārvada starpasu attālums *brīvi izvēlēts*, zobratu pārvadu aprēķina sekojoši. Zobratu ar zobu skaitiem z_1 un z_2 izgatavošanā izmanto ēvelētājzobstieni, kura izejas kontūra parametri m , mm; a ; h_a^* un c^* ir zināmi. Izvēlamies x_1 un x_2 un aprēķinām ģeometriskos parametrus. Sazobes leņķis:

$$\text{inv}\alpha_w = \frac{2(x_1 + x_2)\text{tg}\alpha}{z_1 + z_2} + \text{inv}\alpha; \quad (18)$$

starpu attālums

$$a_{\omega} = \frac{m(z_1 + z_2)}{2} \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_{\omega}} \quad (19)$$

pārnesuma skaitlis

$$i = \frac{z_2}{z_1}; \quad (20)$$

dalījuma aploces rādiuss

$$r_{1,2} = \frac{mz_{1,2}}{2}; \quad (21)$$

pamataploces rādiuss

$$r_{b1,2} = r_{1,2} \cos \alpha; \quad (22)$$

kājas aploces rādiuss

$$r_{f1,2} = r_{1,2} - m(h_a^* + c^* - x_{1,2}); \quad (23)$$

šķietamās nobīdes koeficients

$$y = \frac{a_w - a}{m}, \text{ kur } a = r_1 + r_2; \quad (24)$$

sākuma aploces rādiuss

$$r_{\omega 1} = \frac{a_{\omega}}{i + 1}, r_{\omega 2} = \frac{a_{\omega} i}{i + 1}; \quad (25)$$

līdzsvarotās nobīdes koeficients

$$\Delta y = (x_1 + x_2) - y; \quad (26)$$

galvas aploces rādiuss

$$r_{a1,2} = r_{1,2} + m(h_a^* + x_{1,2} - \Delta y); \quad (27)$$

zoba biezums pa dalījuma aploci

$$s_{1,2} = \frac{\pi m}{2} + 2x_{1,2} \operatorname{tg} \alpha; \quad (28)$$

zoba leņķiskais biezums pa dalījuma aploci

$$\sigma_{1,2} = \frac{s_{1,2}}{r_{1,2}}; \quad (29)$$

zoba biezums, kas mērīts pa hordu uz dalījuma aploces

$$\bar{s}_{1,2} = mz_{1,2} \sin \left(\frac{\sigma_{1,2}}{2} \right), \quad (30)$$

zoba biezums pa galvas aploci

$$s_{a1,2} = \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_{1,2}} [s_{1,2} + 2r_{1,2} (\operatorname{inv} \alpha - \operatorname{inv} \alpha_{a1,2})]; \quad (31)$$

zoba profila leņķis uz galvas aploces

$$\cos \alpha_{a1,2} = \frac{r_{b1,2}}{r_{a1,2}}; \quad (32)$$

zoba augstums

$$h = m(2h_a^* + c^* - \Delta y); \quad (33)$$

zoba solis pa dalījuma aploci

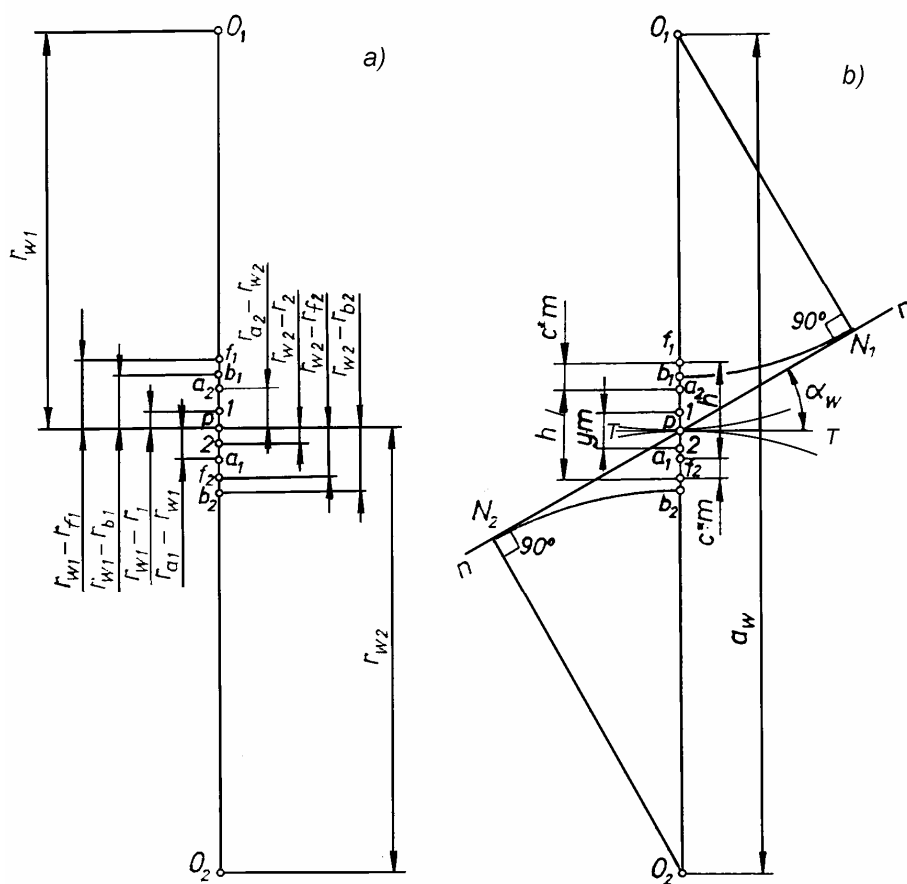
$$p = \pi m; \quad (34)$$

zoba solis, kas mērīts pa hordu uz dalījuma aplocek,

$$\bar{p} = mz_{1,2} \sin \left(\frac{\pi}{z_{1,2}} \right). \quad (35)$$

Zobratu pārvada zobu un sazobes elementu grafiskās konstruēšanas secība

1. Aprēķina zobratu pārvada ģeometriskos parametrus, izmantojot attiecīgus šo parametru analitiskās izteiksmes.
2. Izvēlas grafiskām konstrukcijām tādu mērogu, lai zobrata zoba augstums rasējumā būtu $h \geq 50$ mm.
3. Mērogā uz rasējuma lapas atliekam attāluma a_w starp zobratu asīm (8. zīm. a un b).

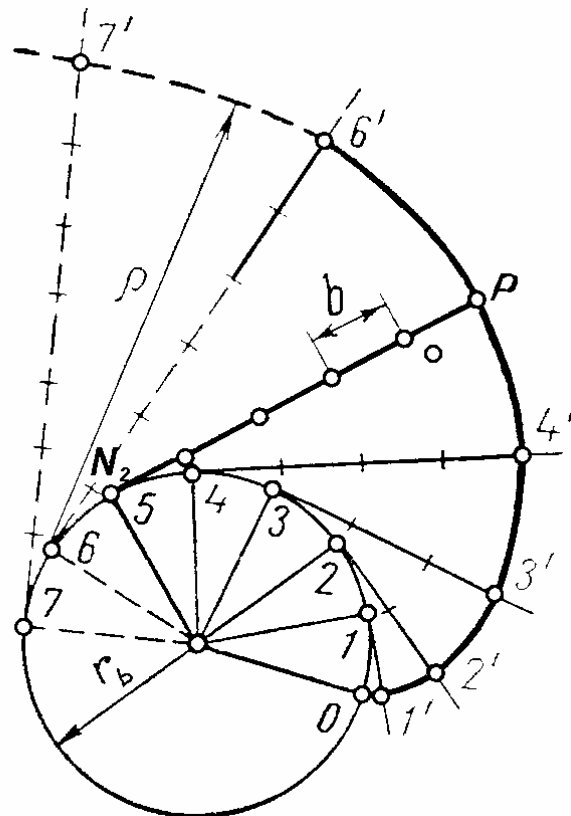


8. zīm.

4. Ar rādiusiem r_{w1} un r_{w2} novelkam velšanās aplocek, kuras saskaras punktā P (sazobes polā).
5. Velšanās aplocēm polā P novelkam kopīgo pieskari T – T.
6. Caur polu P velkam sazobes līniju N – N, kas veido leņķi α_w ar kopīgo tangenti T – T. Normāliem zobratiem $\alpha_w = z = 20^\circ$, bet koriģētiem $\alpha_w \neq \alpha$

7. No zobratu centriem O_1 un O_2 pret sazobes līniju novelkam perpendikulu krustpunktus ar sazobes līniju apzīmējam ar burtiem N_1 un N_2 . Taisnu nogriezni $O_1 N_1$ un $O_2 N_2$ ir vienādi ar pamataploču rādiusiem r_{b1} un r_{b2} .
8. Novelkam ar rādiusiem r_{b1} , r_{b2} pamataploces. Taisnes nogrieznis $N_1 N_2$ ar vienāda ar teorētiskās sazobes līnijas garumu.
9. Ar rādiusiem r_{a1} un r_{a2} no zobratu centriem velkam galvas aploču krustpunkts a un b ar sazobes līniju nosaka praktisko sazobes līnijas garumu ab.
10. Teorētiskās sazobes līnijas

nogriežņus $N_1 P$ un $N_2 P$ sadalām vienādas daļās un konstruējam evolventas abiem zobratiem sekojoši. Līnijai $N_2 P$ piemēram, esam izvēlējušies 5 daļas ar garumu b (9. zīm.). Pa labi no pieskares punkta N_2 ar cirkuli izveidojam 5 atzīmes uz pamataploces un sanumurējam iegūtos punktus (pēdējo apzīmējam 0, bet pieskares punktu 5). Caur punktiem 1, 2, 3 un 4 novelkam pieskares. Uz katras pieskares atliekam tik



9. zīm

nogrieznus b , cik liels ir cipars pieskares apzīmējumā. Iegūtos punktus $1'$, $2'$, $3'$ un pārējos (arī 0 un punktu P) savienojam ar līkni, kura ir meklētā evolvente. Ja nepieciešams evolventi turpināt tālāk aiz punkta P , tad jau pa kreisi no punkta 5 atliekam 6, 7 un citas atzīmes (ar garumu b), tam konstruējam pieskares, uz kurām atliekam numuram atbilstošo nogriezni b skaitu. Tā var konstruēt pēc patikas garu evolventi. Reālam zobrata zoba profilam evolventi ierobežo galvas un kājas aploces.

Zobratu izgatavošana

Zobratu izgatavošanas metodes var iedalīt divās grupās – kopēšanas metodes un novelšanas metodes. **Kopēšanas metodes** būtība ir šāda – zobus izgatavo ar **zobrata roba profilam** atbilstošu griezējinstrumentu – diska, pirkstveida frēzi vai fasongriezniem. Darba procesā procesā frēzei piešķir rotācijas kustību, bet sagatavei virzes kustību pretim frēzei. Pēc tam, kad viens robs ir izgatavots, frēzi pārvieto izejas stāvoklī, bet sagatavi ar dalīšanas galvas palīdzību pagriež par leņķi $y = \frac{360^\circ}{z}$, kur z – izgatavojamā zobrata zobu skaits. Ar diskveida modulfrēzēm zobu frēzē uz universālām frēzmašīnām, lietojot dalīšanas galvu. Frēzē gan taisnu kā arī slīpu zobratu zobus. Lai iegūtu precīzus zobu profilus katram modulim un katram zobu skaitam ir vajadzīga sava frēze. Lai samazinātu darba rīku (frēžu) skaitu katram modulim ir frēžu komplekts, kas sastāv no 8,15 vai 26 frēzēm. Diska modulfrēžu numuri ir standartizēti. Frēzi izvēlas atkarībā no zobrata moduļa un zobu skaita.

8 frēžu komplekts

Frēzes Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8
Zobrata zobu skaits	$12 \div 13$	$14 \div 16$	$17 \div 20$	$21 \div 25$	$26 \div 34$	$35 \div 54$	$55 \div 134$	≥ 135

Precīzus zobu profilus iegūst zobratam, kuram ir mazākais zobu skaits. Pārējiem zobratiem zobu profils nav precīzs. Jo lielāks ir frēžu skaits komplektā, jo mazāka ir zoba profila kļūda. Ja zobrata modulis $m \leq 3$ mm, tad frēzē vienā pārgājienā, bet ja modulis ir lielāks par 3 mm, tad zobu frēzēšana notiek divās operācijās (rupji un gludi). Ja sazobes modulis $m > 16$ mm, tad zobu izgatavošana notiek trijās operācijās. Zobu tēšanu ar atēsējzobratu lieto taisnu un slīpu zobrata izgatavošanai ārējās un iekšējās sazobes zobratiem, kuriem modulis $m \geq 60$ mm.

Novelšanas metodes zobratu sagatavošanai ir daudz ērtākas un precizākas. Par griezējinstrumentu lieto gliemeža modulfrēzi, tēsējzobratu vai tēsējzobstieni. Frēzēšana ar gliemeža modulfrēzi ir viens un bieži izplatītākiem ārējās sazobes zobratu taisnu vai slīpu zobratu izgatavošanas paņēmieniem. Zobu tēšanu ar tēsējzobratu lieto cilindrisku zobratu ārējas un iekšējās sazobes taisnu un slīpu zobu apstrādei. Zobu tēšanai lieto zobu tiešanas mašīnas. Zobratu zobu velmēšana ir pamatota uz sagataves materiāla plastisku deformāciju un atbilst zobratu izgatavošanai ar novelšanas metodi.