

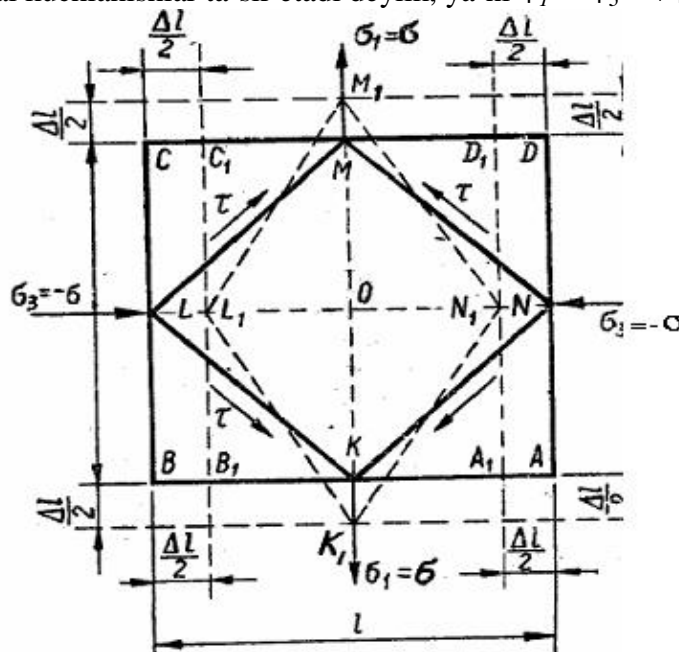
MAVZU 5: Tekis bruslarga umumiy tarzda kuchlar ta'sir qilganda ularni xisoblash  
 Fazoviy bruslarga umumiy tarzda kuchlar ta'sir qilganda ularni hisoblash  
 (egilish-buralish, egilish-buralish-cho'zilish yoki siqilish).

**R JA:**

1. Tekis bruslarga umumiy tarzda kuchlar ta'sir qilganda ularni xisoblash.
2. Fazoviy bruslarga umumiy tarzda kuchlar ta'sir qilganda ularni hisoblash  
 Sof siljish

Agar elastik sterjendan ma'lum qiyaqidagi tekisliklar bilan kesib ajratilgan kubning tomonlariga faqat urinma kuchlanishlar ta'sir qilsa, kubning bunday tekis kuchlanish holati **sof siljish** deyiladi.

Quyidagi hususiy holni tekshiramiz. Tekis kuchlanish holatida bo'lgan sterjendan bir elementar kub ajratamiz. Bu kubning tomonlari bosh yuzalar bo'lib, bu yuzalarga cho'zuvchi va siquvchi bosh normal kuchlanishlar ta'sir etadi deylik, ya'ni  $\tau_1 = -\tau_3 = +\tau$  bo'lsin (11.1-shakl).



11.1 – shakl

Biz o'tgan darslarimizning birida eng katta urinma kuchlanishlar bosh yuzalar bilan  $45^\circ$  va  $135^\circ$  burchak hosil qilgan yuzalarda vujudga kelishini aytib o'tgan edik

Tekshirilayotgan hususiy hol uchun bu xildagi yuzalarda hosil bo'ladigan urinma va normal kuchlanishlar formulalardan aniqlanadi:

$$\sigma_\alpha = \sigma_1 \cos^2 \alpha + \sigma_2 \sin^2 \alpha \quad \text{va} \quad \tau_r = \frac{\tau_1 - \tau_2}{2} \cdot \sin 2\alpha$$

$$\tau_{\max} = \frac{\tau_1 - \tau_3}{2} = \frac{\tau - (-\tau)}{2} = \tau$$

Demak,

$$\sigma_1 = -\sigma_3 = \sigma = \tau \quad (11.1)$$

bo'ladi, normal kuchlanishlar esa quyidagicha aniqlanadi:

$$\sigma_\alpha = \sigma_1 \cos^2 45^\circ + \sigma_3 \sin^2 45^\circ = 1/2(\sigma - \sigma) = 0,$$

$$\sigma_\beta = \sigma_1 \cos^2 135^\circ + \sigma_3 \sin^2 135^\circ = 1/2(\sigma - \sigma) = 0.$$

Shunday qilib, biz tekshirayotgan hususiy holda sterjendan ajratilgan kubning bosh yuzalari bilan  $45^\circ$  burchak hosil qilgan MLKN elementning tomonlariga faqat urinma kuchlanishlar ta'sir etar ekan. Sof siljish holati tekis kuchlanish holatining hususiy holidir. Demak, bu element sof siljish holatida bo'ladi.

## Sof siljishda Guk qonuni

Cho‘zilgan yoki siqilgan sterjenlarning qiya yuzalarida urinma kuchlanishlar vujudga kelganligidan, ularda siljish deformatsiyasi hosil bo‘ladi. Demak, cho‘zilish yoki siqilish bilan siljish deformatsiyalari orasida biror bog‘lanish bor degan xulosaga kelamiz.

Yuqorida tekshirilgan kubning AD, BC tomonlari bosh kuchlanishlar ta‘siridan cho‘ziladi, AB, CD tomonlari esa siqiladi. Ularning absolyut cho‘zilish yoki siqilishlari bir-biriga absolyut qiymat jihatidan teng bo‘ladi:

$$\Delta l = v_1 l = |v_2 l|$$

KLMN element siljib,  $K_1L_1M_1N_1$  romb shaklini oladi. Deformatsiyadan ilgari KLM to‘g‘ri burchak  $K_1L_1M_1$  o‘tmas burchakka aylanadi; bu burchaklarning ayirmasi **siljish burchagi** bo‘ladi:

$$\angle K_1L_1M_1 - \frac{f}{2} = x$$

Demak , 
$$\angle K_1L_1O = \frac{f}{4} + \frac{x}{2}.$$

Shakldan bu burchakning tangensini aniqlaymiz:

$$\operatorname{tg}\left(\frac{f}{4} + \frac{x}{2}\right) = \frac{OK_1}{OL_1} = \frac{\frac{l}{2} + \frac{\Delta l}{2}}{\frac{l}{2} - \frac{\Delta l}{2}} = \frac{1+v_1}{1-v_1}. \quad (a)$$

Burchak juda kichik bo‘lganligidan  $\operatorname{tg}x \approx x$  desak bo‘ladi:

$$\operatorname{tg}\left(\frac{f}{4} + \frac{x}{2}\right) = \frac{\operatorname{tg}\frac{f}{4} + \operatorname{tg}\frac{x}{2}}{1 - \operatorname{tg}\frac{f}{4} \cdot \operatorname{tg}\frac{x}{2}} \approx \frac{1 + \frac{x}{2}}{1 - \frac{x}{2}}. \quad (b)$$

(a) va (b) ifodalar o‘ng tomonlarini tenglashtirsak:

$$\frac{1+v_1}{1-v_1} = \frac{1+\frac{x}{2}}{1-\frac{x}{2}}.$$

Bundan, 
$$v_1 = \frac{x}{2} \quad (A)$$

kelib chiqadi.

Tekshirilayotgan hol tekis kuchlanish holati bo‘lganligidan nisbiy cho‘zilish bilan bosh kuchlanishlar orasidagi bog‘lanishni umumlashgan Guk qonunidan topishimiz mumkin:

$$v_1 = \frac{1}{E}(\tau_1 - \tau_3) = \frac{1}{E}[\tau - \tau(-\tau)] = \frac{\tau}{E}(1 + \tau). \quad (B)$$

Endi (A) va (B) formulalarni bir- biriga taqqoslab, quyidagini hosil qilamiz :

$$\frac{x}{2} = \frac{\tau}{E}(1 + \tau). \quad (C)$$

Sof siljishda kubning tomoniga ta‘sir qilgan urinma kuchlanish , (11.1) formulaga binoan, bosh normal kuchlanishga teng ekanligini ko‘rgan edik, shu sababli (C) bog‘lanishni quyidagi tarzda yozish mumkin:

$$\frac{x}{2} = \frac{\tau}{E}(1 + \tau) \quad \text{yoki} \quad \tau = \frac{E}{2(1 + \tau)}x. \quad (12.1)$$

Agar (12.1) formulaning o'ng tomonidagi  $\chi$  oldidagi o'zgaras miqdorni  $G$  bilan belgilasak, (12.1) formulani quyidagicha yozish mumkin bo'ladi:

$$\tau = G \cdot \chi \quad (12.2)$$

bunda,

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)} \quad (12.3)$$

(12.2) formula sof siljishdagi Guk qonuni deyiladi. Bu formuladagi  $G$  siljishdagi elastiklik moduli yoki ikkinchi tartibli elastiklik moduli deb ataladi. (12.3) formula esa siljishdagi elastiklik moduli bilan cho'zilish yoki siqilishdagi elastiklik modullari hamda Puasson koeffitsienti orasidagi bog'lanishlarni ko'rsatadi. Ba'zan (12.3) formula uchta o'zgaras miqdor orasidagi matematik bog'lanish deb ham ataladi.

Biror materialning Puasson koeffitsientiga qarab,  $G$  bilan  $E$  orasidagi son qiymat ham o'zgaradi:

agar  $\mu=1/4$  bo'lsa,  $G=(2/5)E$ ,  
 $\mu=1/3$  bo'lsa,  $G=3/8E$

Ba'zi materiallar uchun  $G$  ning o'rtacha qiymati 1-jadvalda berilgan.

1-jadval

Materiallar	G MPa	G N/m <sup>2</sup>
Po'lat	8,1 · 10 <sup>4</sup>	8,1 · 10 <sup>10</sup>
Cho'yan	4,5 · 10 <sup>4</sup>	4,5 · 10 <sup>10</sup>
Mis	(4÷4,5) · 10 <sup>4</sup>	(4÷4,5) · 10 <sup>10</sup>
Alyuminiy	2,6 · 10 <sup>4</sup>	2,6 · 10 <sup>10</sup>
Yog'och	0,055 · 10 <sup>4</sup>	0,055 · 10 <sup>10</sup>
Shisha	2,2 · 10 <sup>4</sup>	2,2 · 10 <sup>10</sup>

### Siljishda mustahkamlikka hisoblash

Siljishdagi ruxsat etilgan kuchlanishni tanlash cho'zilish yoki siqilishdagi ruxsat etilgan kuchlanishni tanlashga qaraganda murakkabroqdir.

Umuman cho'zilish yoki siqilishdagi ruxsat etilgan kuchlanishni topish materialning oquvchanlik chegarasi bilan mustahkamlik chegarasini asos qilib olinishi bizga ma'lum, biroq siljishda materialning bu xarakteristikalarini aniqlash amaliy jihatdan ancha murakkab masaladir, chunki sof siljish tekis kuchlanish holatiga ekvivalentdir.

Murakkab kuchlanish tajribasini mexanik laboratoriyalarda o'tkazib bo'lmaydi, shuning uchun siljishdagi ruxsat etilgan kuchlanish mustahkamlik nazariyalari asosida aniqlanadi.

Siljish uchun ruxsat etilgan kuchlanish mustahkamlikning ikkinchi, uchinchi va to'rtinchi nazariyalari asosida aniqlanadi.

Ikkinchi nazariyaga muvofiq:

$$\tau_1 \leq \tau_2 \leq \tau_3 = \tau_{\text{max}} N (1 + \mu),$$

agar po'lat uchun  $\mu=0,3$  deb olsak, u holda siljish uchun ruxsat etilgan kuchlanish

$$\tau \leq 0,77 \tau_1, \quad \text{bo'ladi.}$$

Uchinchi nazariyaga ko'ra  $\tau_1 > \tau_3 = \tau_{\text{max}}$

Bundan:  $[\tau] = \frac{\tau}{2}$  bo'ladi.

Nihoyat to'rtinchi nazariyaga ko'ra:

$$\tau \geq \sqrt{\tau_1^2 + \tau_2^2 + \tau_3^2 - (\tau_1 \cdot \tau_2 + \tau_1 \cdot \tau_3 + \tau_2 \cdot \tau_3)} = \sqrt{\tau^2 + \tau^2 + \tau^2} = \tau \sqrt{3}$$

bundan:  $\tau \leq \frac{[\tau]}{\sqrt{3}}$ , yoki  $[\tau] = 0.57 [\tau] \approx 0.6[\tau]$  bo'ladi.

Ilgarilari (1910-1912 yillarda) hisoblash formulasi mustahkamlikning ikkinchi nazariyasiga asoslanib tuzilar edi, shu tufayli ruhsat etilgan urinma kuchlanish  $[\tau] = 0,8[\tau]$  deb olinar edi. Hozirgi vaqtda plastik materiallar uchun ruhsat etilgan normal kuchlanish, ya'ni energetik nazariya asosida  $[\tau] \approx 0,6[\tau]$  deb qabul qilinadi.

1912 yildan boshlab 3-navli po'lat uchun ruxsat etilgan normal kuchlanish 100 MPa ga teng qilib olinar edi, bu holda ruhsat etilgan urinma kuchlanish, ikkinchi nazariya asosida,  $[\tau] = 0,8[\tau] = 80 \text{ MPa}$  bo'ladi. Konstruktsiya loyihalash tajribasi  $[\tau] = 80 \text{ MPa}$  ekanligini tasdiqlaydi; buni kamaytirishga ruxsat etilmaydi. Buning sababi nima?

Mustahkamlikning yangi energetik nazariyasini qabul qilish normal kuchlanishda ancha zaxira borligini ko'rsatdi. Agar ilgari ruxsat etilgan normal kuchlanishni 3-navli po'lat uchun  $[\tau] \approx 100 \text{ MPa}$  deb olingan bo'lsa, yangi nazariyaga o'tish bilan uni 160 MPa ga teng deb qabul qilish tasdiqlandi. Shuning uchun ruxsat etilgan urinma kuchlanish, mustahkamlikning energetik nazariyasiga ko'ra,  $[\tau] \approx 0,6[\tau] \approx 100 \text{ MPa}$  deb olinadigan bo'ldi.

Bir jinsli bo'lgan materiallarning, masalan yog'ochning tolalari bo'yicha siljishga ko'rsatgan qarshiligi tolalariga tik tomonga qarab ko'rsatgan qarshiligiga qaraganda zaifroq bo'ladi. Bunday materiallar uchun siljishdagi ruxsat etilgan urinma kuchlanish mavjud meyor bo'yicha olinadi. Masalan, o'rta sifatli qarag'ayning tolalari bo'ylab qarshilik ko'rsatilishi uchun ruxsat etilgan urinma kuchlanish  $[\tau] \approx 1 \text{ MPa}$  deb olinadi. Qarag'ayning tolalari bo'ylab cho'zilishga qarshilik ko'rsatishi uchun ruxsat etilgan kuchlanish  $[\tau] \approx 10 \text{ MPa}$  bo'lganligidan:  $[\tau] \approx 0,1[\tau] \approx 1 \text{ MPa}$ .

Shunday qilib, qarag'ay uchun siljishdagi ruxsat etilgan kuchlanish  $[\tau]$  faqat uning cho'zilishiga ruxsat etilgan kuchlanishi  $[\tau]$  ning o'ndan bir qismiga tengdir.

### Siljishda deformatsiyaning potensial energiyasi

Sof siljish deformatsiyasi tekis kuchlanish holatining xususiy holi bo'lganidan uni deformatsiyaning tekis kuchlanish holati uchun chiqarilgan solishtirma potensial energiya formulasi, ya'ni (10.6) formula asosida aniqlansa ham bo'ladi:

$$a = \frac{1}{2E} (\tau_1^2 + \tau_3^2 - 2\tau_1\tau_3).$$

Bosh kuchlanishlar  $\tau_1 = \tau$  va  $\tau_3 = -\tau$  bo'lgani uchun:

$$a = \frac{\tau^2(1 + \nu)}{E}$$

bo'ladi. (12.3) formulaga ko'ra,  $\frac{1 + \nu}{E} = \frac{1}{2G}$  bo'lganligi uchun quyidagi ifodaga ega bo'lamiz:

$$a = \frac{\tau^2}{2G} \quad (14.1)$$

Sof siljishdagi Guk qonunini (12.2) ga ko'ra, siljishdagi solishtirma potensial energiyani ifodasini quyidagicha yoza olamiz:

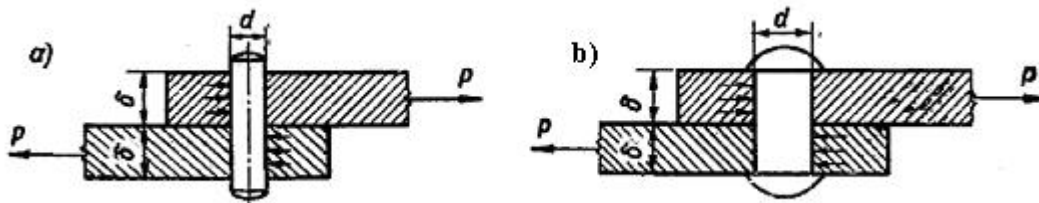
$$a = \frac{Gx^2}{2} \quad (14.2)$$

Demak, siljishdagi deformatsiyaning solishtirma potensial energiyasi urinma kuchlanishning yoki siljish deformatsiyaning kvadrat funksiyasidir.

## Parchin mixlar hisobi

**1.Parchin mixli birikmalar.** Amalda siljish deformatsiyasi yuqorida bayon etilganidek ko‘rinishda uchramaydi; u ko‘pincha , kesilish yoki yorilish kabi deformatsiyalar tarzida namoyon bo‘ladi. Masalan, bu xildagi deformatsiyalar ikki elementni bir-biriga biriktiruvchi bolt materiallarida yuzaga keladi.

Mashina yoki inshoot elementlarini bir-biriga biriktiruvchi detallar , chunonchi , parchin mix , shtift , bolt va hokazolar , ko‘pincha , o‘z o‘qiga tik yo‘nalgan kuch ta‘sirida bo‘ladi. Bunday kuch *kesuvchi kuch* deyiladi. (15.1-shakl, a,b)



15.1 – shakl.

Ba‘zi birikmalarning detallariga aylantiruvchi moment uzatish paytida biriktiruvchi moslama (masalan, shponkada) kesuvchi kuchlar hosil bo‘ladi. Masalan, tishli g‘ildirakdan valga aylantiruvchi moment uzatilayotganda ularni biriktiruvchi shtift kesuvchi kuch ta‘sirida bo‘ladi .

Bayon etilgan detallarning ishlash sharoiti murakkab bo‘lib, ko‘pincha, konstruksiya elementlarining yasash texnologiyasiga va ularning montaj qilinishiga bog‘liqdir. Bu detallarning amaliy hisobi ancha shartli bo‘lib, quyidagi cheklanishlarga asoslanadi:

1) bu xildagi detallarning ko‘ndalang kesimlarida kesuvchi kuch ta‘siridan hosil bo‘ladigan urinma kuchlanishlar tekis taqsimlangan deb qaraladi;

2) ikki elementni biriktirishda bir xil detallardan, masalan, bolt dan bir nechta qo‘yiladigan bo‘lsa, ularning hammasi baravar yuklangan deb qaraladi.

Yuqorida bayon etilgan cheklanishlarga binoan, parchin mixli birikmaning pastki qismi uchun muvozanat tenglamasini yozamiz

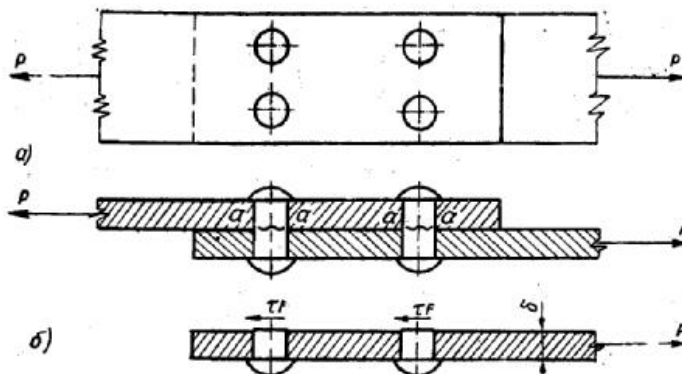
(15.2-shakl, b):

$$\sum X_k = 0; \quad P - \text{kes} \cdot n \cdot A = 0;$$

bundan,

$$\text{kes} = \frac{P}{n \cdot A} \quad (15.1)$$

kelib chiqadi, bunda  $n$  – parchin mixlar soni;



15.2 – shakl .

$A$  – parchin mixning ko‘ndalang kesim yuzi ;

$d$  - parchin mixning diametri .

Endi parchin mixning kesilishga xavf - xatarsiz qarshilik ko‘rsatish tenglamasi, ya‘ni mustahkamlik shartini yozamiz :

$$\ddagger = \frac{P}{n \cdot \frac{f d^2}{4}} \leq [\ddagger] \quad (15.2)$$

bunda,  $[\ddagger]$  – parchin mix materiali uchun ruxsat etilgan urinma kuchlanish. Biroq parchin mixga ta'sir etadigan kesuvchi kuch parchin mix sterjenini kesish bilan birga uning devorlarini ezishi ham mumkin. Ezuvchi kuchlanishni  $\ddagger_{ez}$  bilan belgilanadi.

Ezuvchi kuchlanishning detallar yopishgan sirt bo'yicha taqsimlanish qonuni bizga ma'lum emas.

Parchin mix sterjenini ezilishga hisoblashda shartli ezuvchi kuch detallarning yopishgan sirti bo'ylab tekis taqsimlangan deb faraz qilinadi va ezilishning mustahkamlik sharti quyidagicha yoziladi:

$$z = \frac{P}{n \cdot A_{ez}} \leq [\ddagger]_{ez} \quad (15.3)$$

bunda  $n$  - parchin mixlar soni;

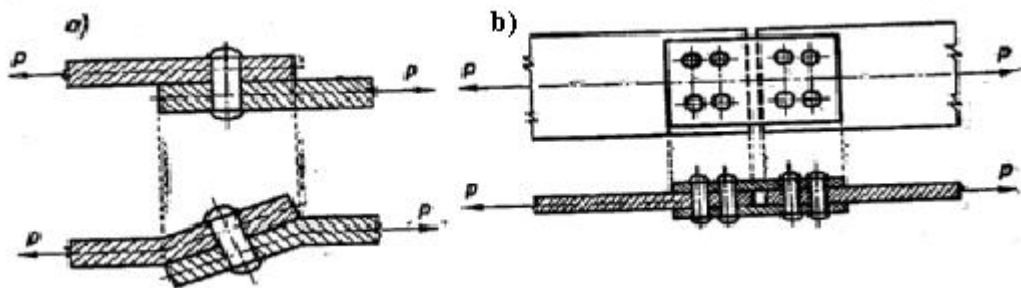
$A_{ez}$  - ezilishga hisoblanuvchi sirtning yuzi;

$[\ddagger]_{ez}$  - ezilish uchun ruxsat etilgan kuchlanish.

Odatda,  $[\ddagger]_{ez}$  oddiy cho'zilish uchun ruxsat etilgan kuchlanish  $[\ddagger]$  ga nisbatan quyidagicha olinadi:

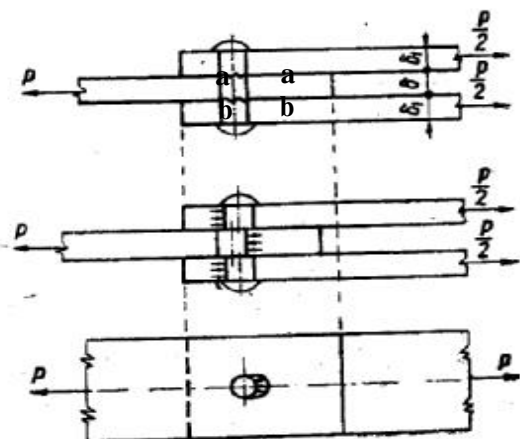
$$[\ddagger]_{ez} = [2,0 \div 2,5] [\ddagger].$$

**Ikki kesimli parchin mixlar.** Ikki listni ustma-ust qo'yib, biriktirishda parchin mixlar tashqi kuchga listlar yopishgan tekislikka to'g'ri keladigan bitta kesim bilan qarshilik ko'rsatadi. Bu xildagi birikmaning kamchiligi shundaki, biriktiriluvchi listlar bir tekislikda yotmaganligidan ularga qo'yilgan kuchlar juft kuch hosil qiladi; natijada listlar egilib, birikma qiyshtayadi (15.3- shakl, a). Bu kamchilikka barham berish uchun listlar uchma-uch qilinib, ularning ikki tomoniga ustqo'ymalar (po'lat taxtachalar) qo'yiladi va shundan keyin parchinlanadi. (15.3-shakl, b).



15.3-shakl

Bunday birikmada metall parchalar  $P$  kuch ta'siridan qo'shimcha parchalarga nisbatan chap va o'ng tomonga qarab siljishga intiladi (15.4-shakl).



15.4-shakl

Demak, har bir parchin mix  $a-a$  va  $b-b$  tekisliklar bo'yicha kesiladi. Shuning uchun bunday parchin mixlar *ikki bor kesiluvchi mixlar* deyiladi; ularning kesilish yuzi  $A_{kes} = 2 \cdot \frac{f d^2}{4}$  bo'ladi. Asosiy va qo'shimcha parchalarning parchin mixga yopishgan silindrik sirtlari eziladi. Shunday qilib, ikki bor kesiluvchi parchin mix ezilgan sirtining shartli yuzalari:  $A_{ez} = d$  yoki  $A_{ez} = 2d$ , bunda,  $d$  – metall parchaning qalinligi;  $l$  – bitta qo'shimcha parchaning qalinligi. Hamma vaqt  $2l >$  bo'lganligidan parchalarning qanchalik ezilishi hisoblanadi.

Shunday qilib, ikki kesimli parchin mixlarning kesilishdagi mustahkamlik sharti quyidagicha yoziladi:

$$\tau_{max} = \frac{P}{2n \cdot \frac{f d^2}{4}} = [\tau] \quad (15.4)$$

Ezilish uchun bunday bo'ladi:

$$\tau_{ez} = \frac{P}{n \cdot d \cdot u} \leq [\tau_{ez}] \quad (15.5).$$

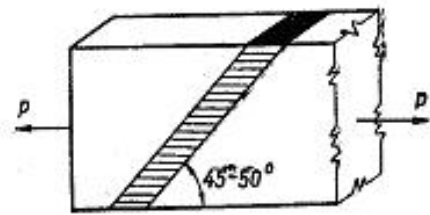
Parchin mixlarning soni kesilishga va ezilishga alohida hisoblanadida, ikkala hisobdan chiqqan qiymatlarning kattasi olinadi. Shundagina birikmaning mustahkamligi ikki shartni ham qanoatlantiradi.

### Payvand birikmalar hisobi

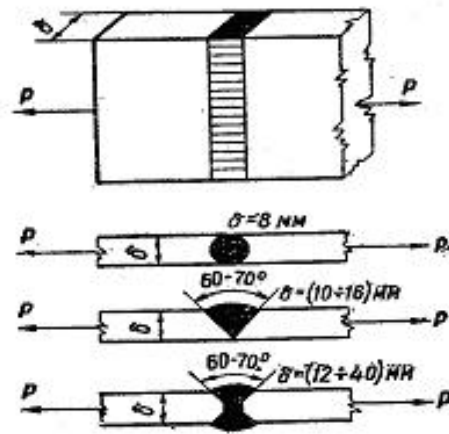
Metallardan yasalgan qurilma elementlarini biriktirish uchun parchin mixlar o'tgan asrlardan oldin boshlab ishlatilgan. So'ngi paytlarda parchin mixlar faqat yuqori harorat ta'sirida yoki dinamik kuch ta'sirida bo'lgan qurilmalardagina ishlatiladigan bo'ldi. Hozir payvandlash texnologiyasi shu qadar takomillashdiki, u ko'pdan – ko'p qurilmalarda parchin mix o'rnida ishlatilmoqda.

Payvand chokning parchin mixli birikmadan afzalligi shundaki, payvandlangan elementning ko'ndalang kesim yuzidan to'la foydalaniladi, elementning og'irligi kamayadi, bundan tashqari, qurilma soddalashadi va texnologiya jarayoni arzonlashadi. Payvandlashning asosan ikki usuli bor; bulardan biri uchma – uch payvandlash bo'lsa, ikkinchisi ustma – ust payvandlashdir.

Uchma-uch payvandlash eng oson va ishonchli bo'lganligidan, bu usul ko'p qo'llaniladi. Uchma-uch payvandlash ulanadigan elementlarning qalinligiga qarab, 16.1-shaklda tasvirlanganlardan biri asosida bajariladi, ya'ni ulanadigan bo'laklar oralig'i suyuq metal bilan shaklda ko'rsatilganidek to'ldiriladi, natijada payvand chok hosil bo'ladi. Choklar, asosan, ko'ndalang va bo'ylama bo'lishi mumkin.



16.1-shakl.



16.2-shakl.

Uchma-uch payvandlangan ko'ndalang chokning cho'zilish yoki siqilishga qarshilik ko'rsatishidagi mustahkamlik sharti quyidagicha yoziladi:

$$\tau = \frac{P}{lu} = [\tau]_e$$

Bunda l-chokning hisoblashdagi uzunligi;

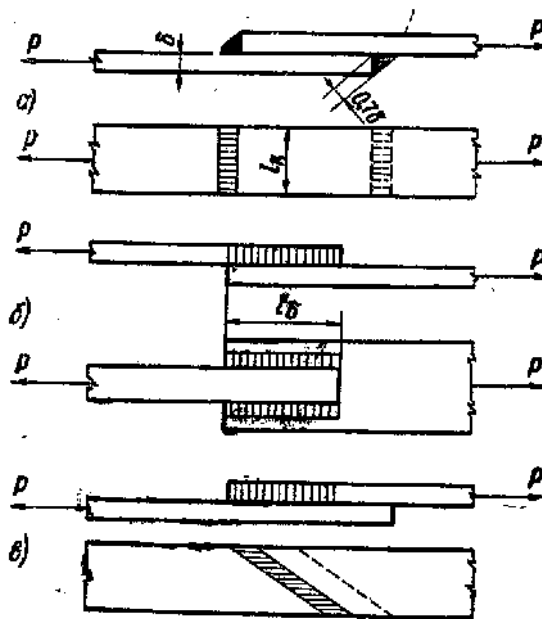
-payvandlanadigan elementlarning qalinligi;

$[\tau]_e$  - elektr payvand chokning cho'zilishga ruxsat etilgan kuchlanish.

Bunda elektr vositasida payvandlangan chok materiali uchun ruxsat etilgan kuchlanishni hisoblashda chokning uzunligi  $l=(b-10)$  mm deb olinadi.

Ruxsat etilgan kuchlanish payvand chokda asosiy elementlardagiga qaraganda kichikroq bo'lganligidan, payvandlangan elementlardagi ruxsat etilgan kuchlanish bilan payvand chokdagi ruxsat etilgan kuchlanishni tenglashtirish uchun, chokning uzunligini birmuncha oshirish zarur bo'ladi. Shuning uchun uchma-uch ulanadigan elementlar qiyshiq chok bilan payvandlanadi (16.2-shakl). Qiyshiq chokning element asosiga qiyaligi  $45^\circ$  dan  $50^\circ$  gacha olinadi.

$45^\circ$  qiyalikdagi qiyshiq choklarning mustahkamligi butun kesimning mustahkamligiga tenglashib borishi tajribada tasdiqlangan.



16.3-shakl

Metall bo'laklarini payvandlashning ikkinchi usuli ularni ustma-ust qo'yib payvandlashdir. Bunda metal bo'laklari valiksimon chok bilan payvandlanadi. Valiksimon choklar cho'zuvchi yoki siquvchi kuchga ko'ndalang yo'nalgan bo'ladi, bunday kuchga parallel yo'nalgan

bo'ylama choklardan ham foydalaniladi (16.3-shakl,a,b). Yuqorida aytilganidek, kuch yo'nalishi bilan burchak hosil qiluvchi qiyshiq choklar ham bo'ladi (16.3-shakl,v). Valiksimon chokning mustahkamlik shartini yozishda uning kesim yuzi  $A = lh$  deb olinadi, uzunligi bilan balandligi esa quyidagi formulalardan aniqlanadi:

$$l = (b-10) \text{ mm}, \quad h = \cos 45^\circ \cdot 0.7$$

Bunday chokning mustahkamlik sharti quyidagicha yoziladi:

$$\ddagger = \frac{P}{0,7l \cdot u} \leq [\ddagger]_e \quad (16.1)$$

bu erda  $[\ddagger]_e$  – elektr payvand chokning kesilishga ruxsat etilgan kuchlanish.

Agar metall parchalar 16.3-shakl,  $a$  da ko'rsatilgandek payvandlanadigan bo'lsa, zo'riqish kuchiga ikkita chok qarshilik ko'rsatadi, uning mustahkamlik sharti quyidagicha yoziladi:

$$\ddagger = \frac{P}{1,4 l \cdot u} \leq [\ddagger]_e \quad (16.2)$$

Metall qurilmalarni loyihalashda uchma-uch payvand puxta bo'lishi uchun ularga qo'shimcha ustqo'ymalar ishlatish va valiksimon bo'ylama choklar bilan payvandlash ko'zda tutiladi. Bunday payvand choklarga oid shartli hisob tenglamalarini chiqaramiz. Bo'ylama va ko'ndalang choklar qarshiligini mos ravishda  $P_b$  va  $P_k$  deb belgilasak, payvandning umumiy qarshiligi:

$$P = P_b + P_k \quad (16.3)$$

bo'ladi.

$P_b$  bilan  $P_k$  ning qiymatleri quyidagicha aniqlanadi:

$$\begin{aligned} P_b &= 0.7 l_b u [\ddagger]_e, \\ P_k &= 0.7 l_k u [\ddagger]_e \end{aligned} \quad (16.4)$$

bu erda  $l_b$  - bo'ylama chokning uzunligi,

$l_k$  - ko'ndalang chokning uzunligi.

(16.3) va (16.4) formulalar e'tiborga olinib, tekshirilayotgan hol uchun qo'yilishi mumkin bo'lgan kuch quyidagicha bo'ladi:

$$P = (l_k + l_b) \cdot 0,7 \cdot h \cdot [\ddagger]_e \quad (16.5)$$

Ko'ndalang chokning uzunligi ma'lum bo'lsa, bo'ylama chokning uzunligi (16.5) formuladan aniqlanadi. Yordamchi qo'yima ikki tomondan qo'yilsa, choklarning soni ikki hissa ortib, (16.5) formulaning o'ng tomoni ikkiga ko'paytiriladi.

Bo'ylama choklar cho'zuvchi yoki siquvchi kuchning yo'nalishiga *nosimmetrik* joylashtiriladigan bo'lsa (bu hol burchaklikni yapasqi parchaga payvandlashda uchraydi), choklarning ustki va ostki uzunliklari quyidagi muvozanat tenglamalaridan topiladi (16.4-shakl, a,b):

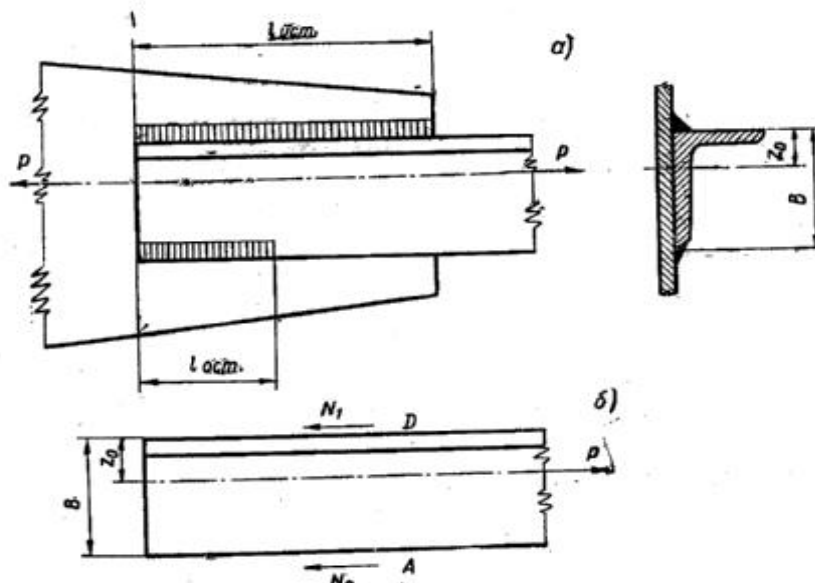
$$\begin{aligned} \sum M_A &= 0; & N_1 \cdot b - P \cdot (b - z_0) &= 0; \\ \sum M_D &= 0; & -N_2 \cdot b + P \cdot z_0 &= 0; \end{aligned}$$

bundan,

$$N_1 = P \frac{b - z_0}{b}; \quad N_2 = P \frac{z_0}{b}$$

kelib chiqadi, ya'ni choklarning zo'riqish kuchlari burchaklikning og'irlik markazidan  $P$  ning ta'sir chizig'igacha bo'lgan masofalarga teskari proporsional ravishda taqsimlanadi. Choklardagi kuchlanishlar teng bo'lishi uchun, ularning umumiy uzunligi quyidagicha aniqlanadi:

$$l = l_{ost} + l_{ust} \geq \frac{P}{0,7 u [\ddagger]_e}$$



16.4 - shakl

Ustki va ostki choklarning uzunliklari kuchlarni kesimning chetki tomonlari oralig'iga teskari proporsional ravishda taqsimlash yo'li bilan aniqlanadi:

$$l_{ost} = l \frac{b - z_0}{b}; \quad l_{ust} = l \frac{z_0}{b}.$$

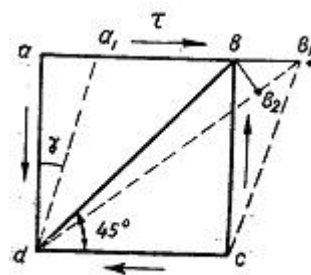
3-navli po'lat elektr yordamida payvandlanganda hosil bo'ladigan chok uchun ruxsat etilgan kuchlanishlarning qiymatlarini keltiramiz:

cho'zilish uchun  $[\sigma]_e = 100 \text{ MPa}$   
 siqilish uchun  $[\sigma]_e = 110 \text{ MPa}$   
 kesilish uchun  $[\sigma]_e = 80 \text{ MPa}$

**Masalalar:**

1-masala. Elastiklik moduli  $E = 0,7 \cdot 10^5 \text{ MPa}$  bo'lgan materialdan yasalgan  $abcd$  kubning (16.5-shakl) Puasson koeffitsienti  $\mu = 0,25$ , kubga ta'sir etuvchi urinma kuchlanish  $\tau = 70 \text{ MPa}$ . Shu kubning nisbiy siljish burchagi aniqlansin.

*Yechish:* Cho'zilishdagi elastiklik moduli va Puasson koeffitsienti ma'lum bo'lganligi uchun siljishdagi elastiklik modulini (12.3) formuladan aniqlaymiz:



16.5- shakl

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)} = \frac{0,7 \cdot 10^5}{2(1 + 0,25)} = 2,8 \cdot 10^4 \text{ MPa}.$$

Siljishdagi Guk qonuniga binoan nisbiy siljishni aniqlaymiz:

$$x = \frac{\tau}{G} = \frac{70}{2,8 \cdot 10^4} = 0,0025.$$

Endi, diagonalining nisbiy cho'zilishi bilan nisbiy siljish orasidagi bog'lanishni quyidagi formuladan topamiz :

$$v = \frac{x}{2} = \frac{0,0025}{2} = 0,00125.$$

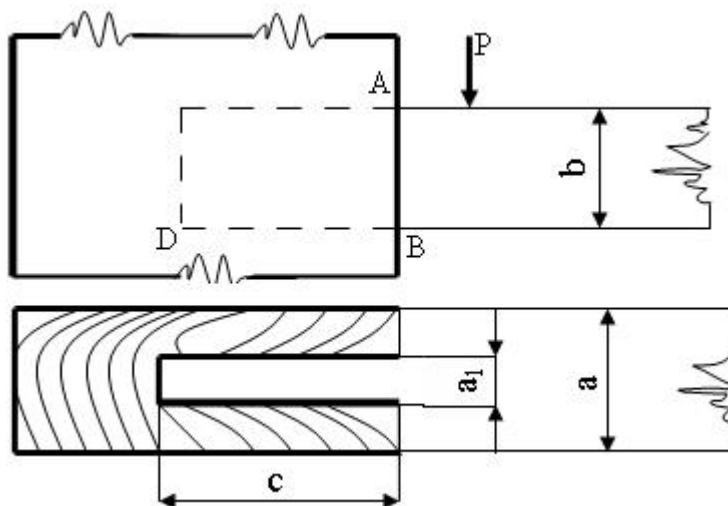
2-masala. Qarag'ay yog'och ustunga ship va tirnoqcha vositasida gorizantal vaziyatda o'rnatilgan (16.6-shakl).  $P=50\text{ kN}$ ,  $b=12\text{ sm}$ , kesilish uchun ruxsat etilgan kuchlanish  $[\tau]=8\text{ MPa}$  ezilish uchun ruxsat etilgan kuchlanish  $[\sigma]_{ez}=20\text{ MPa}$ . Shipning (turum chuqurchasi) o'lchamlari aniqlansin.

*Yechish:* Birikma  $P$  kuch ta'sirida AB tekislik bo'yicha kesiladi. Shipning xavfsiz o'lchamlarini kesilishdagi mustahkamlik shartidan aniqlaymiz:

$$A_{kes} = a_1 b \geq \frac{P}{[\tau]} = \frac{50}{0.8} = 62.5\text{ sm}^2$$

bundan,

$$a_1 = \frac{A_{kes}}{b} = \frac{62.5}{12} = 5.2\text{ sm} \quad \text{bo'ladi.}$$



16.6-shakl.

Ship BD yuza bo'yicha eziladi. Endi shipning ezilishdagi mustahkamlik shartini yozamiz:

$$A_{ez} = \frac{P}{[\sigma]_{ez}} = \frac{50}{2} = 25\text{ sm}^2,$$

bundan,

$$c = \frac{A_{ez}}{a_1} = \frac{25}{5.2} = 4.8\text{ sm}$$

kelib chiqadi.  $c$  ni  $5\text{ sm}$  deb qabul qilamiz.

3-masala. Ikki tomoni teng bo'lmagan burchaklikdan yasalgan stropilo fermasi tortqilari kesimining o'lchamlari tanlansin va parchin mixlar soni aniqlansin (16.7-shakl). Cho'zuvchi kuch  $P = 24\text{ kN}$  bo'lib, ruxsat etilgan kuchlanishlar

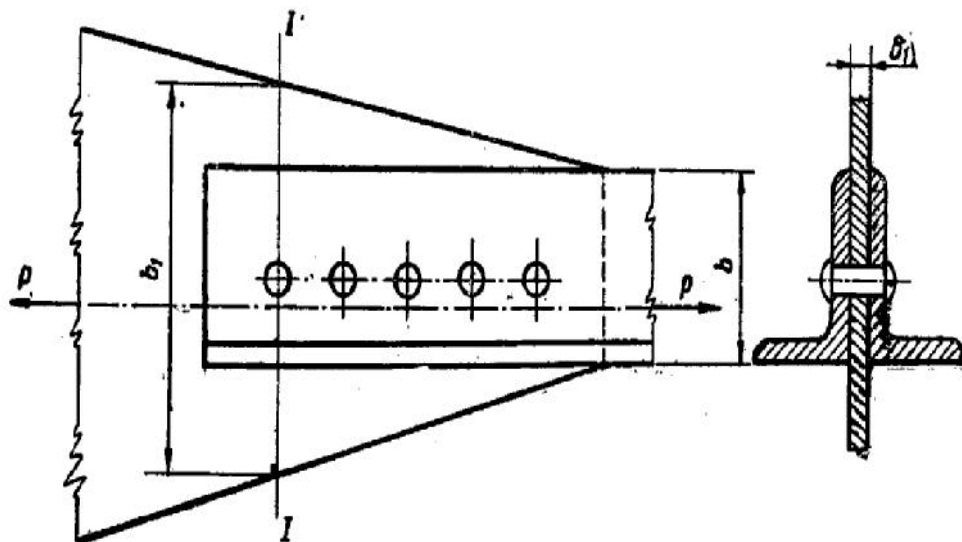
$$[\tau] = 16\text{ MPa}, \quad [\sigma] = 12\text{ MPa}, \quad [\sigma]_{ez} = 32\text{ MPa},$$

*Yechish:* parchin mixlar o'tadigan teshiklarni hisobga olmaganda, ikkita burchaklik uchun zarur bo'lgan yuzani cho'zilishdagi mustahkamlik shartidan aniqlaymiz:

$$A = \frac{P}{[\tau]} = \frac{24}{1.6} = 15\text{ sm}^2$$

Demak, bitta burchaklik uchun zarur yuza:

$$A_1 = \frac{A}{2} = 7.5\text{ sm}^2 \quad \text{bo'ladi.}$$



16.7-shakl.

Navlar jadvalidan bu yuzaga mos kelgan burchaklikning nomerini tanlaymiz. Parchin mixlar o'tadigan teshiklarni taxminan hisobga olish uchun aniqlangan yuza 15% ga oshiriladi. Bunga jadvaldan yuzi  $8.54 \text{ sm}^2$  bo'lgan 90x56x6 o'lchamli burchaklik to'g'ri keladi. Parchinlash qulay bo'lishi uchun parchin mixning diametri quyidagi shartni qanoatlantirishi lozim :

$$d \leq \frac{b-u}{3} = \frac{5,6-0,6}{3} \approx 1,7 \text{ sm.}$$

1137- 41 raqamli navga ko'ra, parchin mixning diametrini  $d=16 \text{ mm}$ , teshik diametrini esa  $d_0 = 16.5 \text{ mm}$  deb olamiz; bunda kesimning qarshilik ko'rsatuvchi yuzi  $A_{\text{netto}} = 8.54 - 1.65 \cdot 0.6 = 7.55 \text{ sm}^2$  bo'ladi. Endi tortqi kesimidagi normal kuchlanishni aniqlab, tortqining mustahkamligini tekshiramiz:

$$\tau = \frac{N}{2A_{\text{netto}}} = \frac{P}{2A_{\text{netto}}} = \frac{24}{2 \cdot 7.55} = 15.9 \text{ MPa} < [\tau]$$

Bu erda  $A_{\text{netto}}$  - Parchin mixlar o'tadigan teshiklar chiqarib tashlangandan keyin qolgan yuza. Demak, tanlangan kesim talabni to'la qanoatlantiradi.

Endi birikma uchun zarur bo'lgan parchin mixlar sonini parchin mix kesimidagi mustahkamlik shartidan aniqlaymiz:

$$n_{\text{kes}} \geq \frac{P}{2 \frac{fd^2}{4} [\tau]} = \frac{24}{2 \frac{3,14 \cdot (1,6)^2}{4} \cdot 1,2} = \frac{24}{4,8} = 5$$

Burchakliklar mahkamlanadigan navli po'lat parchaning qalinligini uning parchin mixlar ta'sirida ezilishga qarshilik ko'rsatish shartidan aniqlaymiz:

$$\tau_{\text{max}} = \frac{P}{A_{\text{ez}}} = \frac{P}{n \cdot d \cdot u_1} \leq [\tau]_{\text{ez}},$$

bundan,

$$u_1 = \frac{P}{n \cdot d \cdot [\tau]_{\text{ez}}} = \frac{24}{5 \cdot 1,6 \cdot 3,2} \approx 1 \text{ sm.}$$

Demak,  $u_1 = 1 \text{ sm}$  deb qabul qilamiz.

Endi tanlangan nusxali metall parchaning xavfli kesimidagi  $b_1$  o'lchamni uzilishga qarshilik ko'rsatish shartidan aniqlaymiz:

$$A_p \geq \frac{P}{[\tau]} = 1.5 \text{ sm}^2; \quad A_p = (b_1 - d_0) \cdot u_1 = 1.5 \text{ sm}^2$$

Bundan,

$$b_1 = \frac{1.5 + d_0 \cdot u_1}{u_1} = \frac{1.5 + 1.6 \cdot 1}{1} = 1.665 \text{ sm}.$$

4-masala. Qalinligi  $u = 12 \text{ mm}$  bo'lgan ikkita po'lat parchalar uchma-uch payvandlangan bo'lib, unga  $P = 120 \text{ kN}$  cho'zuvchi kuch ta'sir qiladi (16.8-shakl).

Po'lat parcha materiali uchun ruxsat etilgan kuchlanish  $[\tau] = 160 \text{ MPa}$ , chok uchun ruxsat etilgan kuchlanish  $[\tau]_e = 100 \text{ MPa}$ . Metall parchaning eni aniqlansin.

*Yechish:* chokning zarur yuzasini uning cho'zilishga qarshilik ko'rsatish shartidan aniqlaymiz:

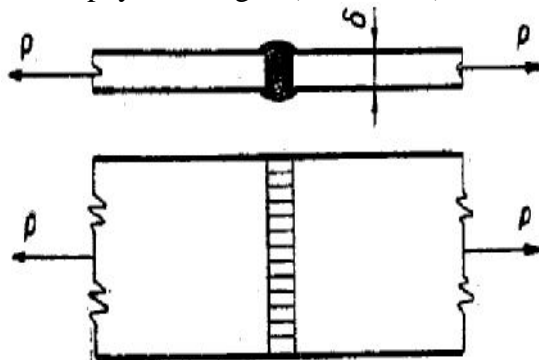
$$A \geq \frac{P}{[\tau]_e} = \frac{120}{10} = 12 \text{ sm}^2$$

Chokning qalinligini payvandlanadigan parchalarning qalinligiga teng, ya'ni  $u = 1.2 \text{ sm}$  deb olamiz; bunda parchaning eni:

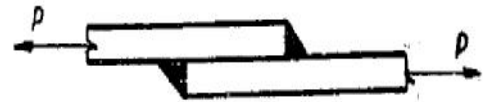
$$b_1 = \frac{A}{u} = \frac{12}{1.2} = 10 \text{ sm}$$

bo'di. Chokning uzunligini  $b = 11 \text{ sm}$  deb olamiz, chunki chokning oxirida qo'yilgan metall to'la bo'lmaganligi uchun  $1 \text{ sm}$  zahira qo'shiladi.

5-masala. Har birining qalinligi  $u = 15 \text{ mm}$  va eni  $b = 120 \text{ mm}$  bo'lgan ikki metall parcha ustma - ust payvandlangan (16.9-shakl).



16.8- shakl.



16.9-shakl.

Choklar ko'ndalang bo'lib, payvandni cho'zuvchi kuch  $P = 200 \text{ kN}$ . Shu payvandning mustahkamligi tekshirilsin. Ruxsat etilgan kuchlanishlar:

$$[\tau]_e = 90 \text{ MPa}, \quad [\tau] = 160 \text{ MPa}.$$

*Yechish:* uzunligi  $l = (b - 1) \text{ sm}$  bo'lgan chokdagi kuchlanish quyidagicha aniqlanadi:

$$\tau_e = \frac{P}{2 \cdot 0.7 \cdot u \cdot l} = \frac{200}{2 \cdot 0.7 \cdot 1.5 \cdot 11} = 86.5 \text{ MPa} < [\tau]_e.$$

Parcha materialidagi kuchlanish quyidagicha bo'ladi:

$$\tau = \frac{P}{A} = \frac{200}{12 \cdot 1.5} = 111 \text{ MPa} < [\tau]$$

## EGILISH. Umumiy tushunchalar

### Tayanch iboralar

**Balka** - To'sin. Egilishga qarshilik ko'rsatuvchi silindrik yoki prizmatik jism.

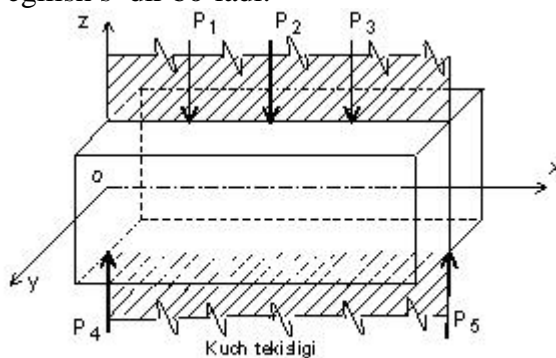
**Tekis egilish** - To'singa qo'yilgan yuklar uning simmetriya tekisligida yotsa, bunday egilish tekis egilish deyiladi.

**S f egilish** - To'sinning eguvchi moment o'zgarmas bo'lgan hamda kesuvchi kuch esa 0 ga teng bo'lgan holdagi egilishi.

To'sinlar, ko'pincha, o'z o'qidan o'tuvchi bir tekislikda yotgan kuchlar yoki juft kuchlar ta'sirida bo'ladi va bu kuchlar sistemasi ta'sirida egiladi (1.1-shakl)

Bunday kuchlar ta'sirida g'olaning to'g'ri chiziqli geometrik o'qi egri chiziqqa aylanadi. Stjerjenning bunday def rmatiyasi egilish deyiladi. Egilishga qarshilik ko'rsatuvchi g'olalar **to'sin** deb ataladi. To'sin kesimida h sil bo'ladigan zo'riqish kuchlarini aniqlash uchun kesish usulidan f ydalanamiz.

To'singa qo'yilgan yuklar uning simmetriya tekisligida yotsa, bunday egilish **tekis egilish** deyiladi. Aks h lda qiyshiq egilish s dir bo'ladi.



1.1-shakl

To'singa qo'yilgan tashqi kuchlardan tashqari, tayanchlarning ham to'singa ta'siri tashqi kuchlar qat riga kiradi. Shuning uchun to'sinlarni his blashni tayanch reaksiyalarini aniqlashdan b shlanadi.

### To'sin tayanchlarining turlari

Tekislikda j ylashgan to'sinlarga id tayanchlar uch xil bo'ladi. Tayanchlarning bunday turlarini biz nazariy mexanika kursida batafsil o'rgangan edik.

Ular quyidagilar:

- 1) sharnirli qo'zg'aluvchan tayanch;
- 2) qo'zg'almas sharnirli tayanch;
- 3) qistirib mahkamlangan tayanch.

Materiallar qarshiligi kursida ko'riladigan masalalar statik aniq va statik aniqmas masalalarga bo'linadi.

Agar to'sinning tayanch reaksiyalari faqat statika tenglamalari yordamida aniqlansa, bunday to'sinlar **statik aniq to'sinlar** deyiladi.

Agar n ma'lum reaksiyalar s ni, shu to'sin uchun tuzilgan statika tenglamalari s nidan rtib ketsa, u h lda, to'sinlar **statik aniqmas to'sinlar** deyiladi. Bunday to'sinlarning reaksiyalarini aniqlash uchun qo'shimcha tenglamalar (def rmatiya tenglamalari) tuzish l zim bo'ladi.

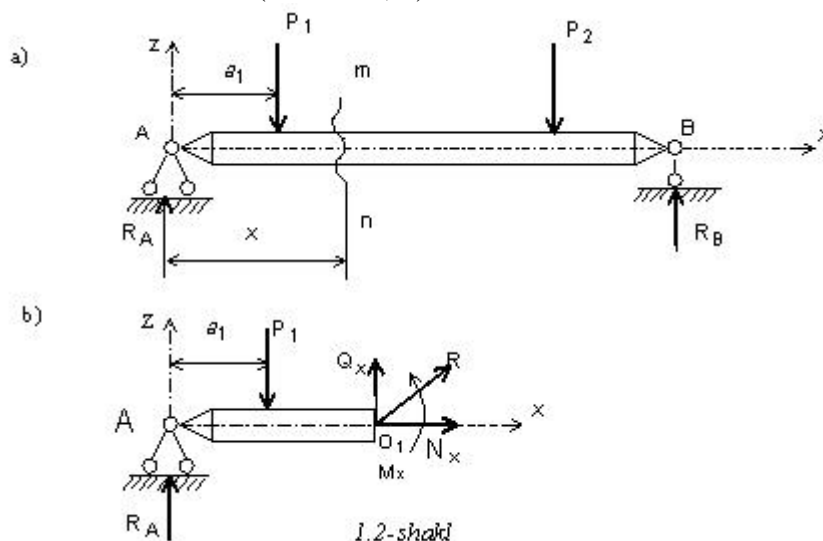
## TO'SINLARDAGI ZO'RIQISH KUCHLARINI ANIQLASH

### Eguvchi m ment va kesuvchi kuch

To'sinlarning turli kesimlaridagi kuchlanishlarni bilish uchun avval ularda h sil bo'ladigan zo'riqish kuchlarini aniqlashni o'rganamiz.

Istalgan ko'ndalang kesimdagi ichki kuchlarni bilish uchun kesish usulidan f ydalanamiz, ya'ni to'sinni chap tayanchidan x mas fada  $mn$  tekislik bilan kesib, uni ikki bo'lakka ajiratamiz

(1.2-shakl, a). Ajratilgan qismlardan birini (o'ng qismini) tashlab yub rib, q lgan chap qismining muv zanatini tekshiramiz (1.2-shakl, b).



1.2-shakl

To'sinning kesimiga tashlab yub rilgan qismning ta'sirini if dal vchi kuchlarni qo'yamiz, bu kuchlar shu kesimdagi zo'riqish kuchlariga ekvivalent bo'ladi. Tekis sistema uchun zo'riqish kuchlari eng umumiy h lda bir b sh vekt r ( $\vec{R}$ ) bilan bir b sh m ment ( $M_x$ ) dan ib rat bo'ladi, bunda  $M_x$ - kuchlarni kesim markaziga ko'chirishda h sil bo'lgan juft kuchlarning m mentlarini algebraik yig'indisi. Zo'riqish kuchlaridan birini if dal vchi juft kuch m menti **eguvchi m ment** deyiladi. Eguvchi m mentni  $M_x$  bilan belgilaymiz, zo'riqish kuchini if dal vchi b sh vekt r ( $\vec{R}$ ) ni vertikal  $Q_x$  bilan g rizontal  $N_x$  kuchlarga ajratamiz (1.2-shakl, b).  $Q_x$  kesuvchi kuch,  $N_x$  esa bo'ylama kuch deyiladi. Bu kuchlarni aniqlash uchun to'sinning q ldirilgan qismi muv zanatini tekshiramiz:

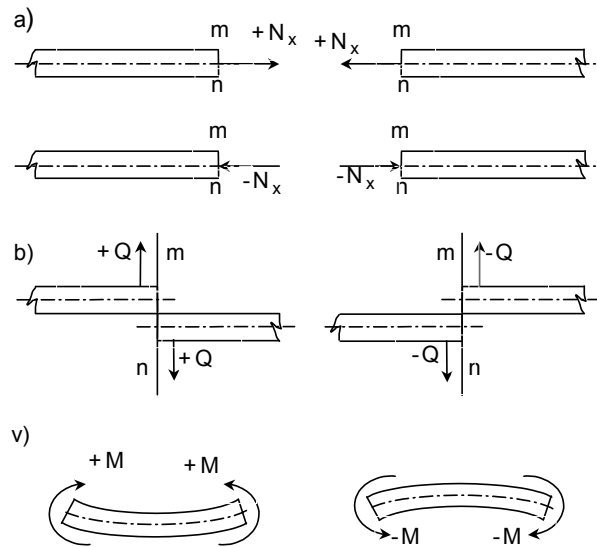
$$X_k = N_x = 0 \text{ yoki } N_x = 0.$$

$$Z_k = Q_x + R_A - P_1 = 0; \quad Q_x = P_1 - R_A \quad (1.1)$$

$$M_0 = R_A \cdot x - P_1(x - a_1) - M_x = 0; \quad M_x = R_A \cdot x - P_1(x - a_1).$$

Endi bu kuchlarning ishoralariga to'htalamiz. Agar bo'ylama kuchning yo'nalishi kesimdan tashqariga yo'nalsa musbat, kesimdan ichkariga yo'nalsa manfiy deb olinadi (1.3-shakl, a).

To'sinning  $mn$  kesimidan chap tomonga qo'yilgan tashqi kuchlarning teng ta'sir etuvchisi shu kesimda pastdan yuqoriga va o'ng tomonga qo'yilgan tashqi kuchlarni teng ta'sir etuvchisi yuqoridan pastga yo'nalgan bo'lsa, kesuvchi kuch musbat, aks



1.3-shakl

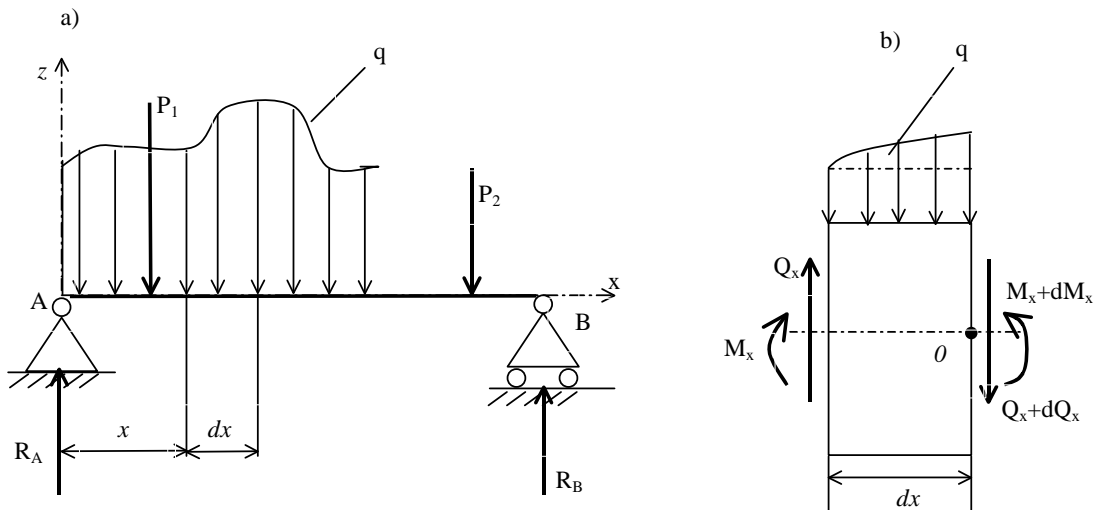
holda esa manfiy bo‘ladi (1.3-shakl, b). Agar eguvchi moment to‘sinning pastki tolalarini cho‘zsa, uni musbat aks holda manfiy deb qabul qilamiz (1.3-shakl, v).

### Eguvchi $m$ ment, kesuvchi kuch va yoyilgan kuch intensivligi rasidagi differensial b g‘lanishlar

Eguvchi  $m$  ment  $M$  bilan kesuvchi kuch  $Q$  rasidagi matematik b g‘lanishni ko‘rib chiqamiz. Ixtiyoriy yuklangan to‘sin berilgan bo‘lsin (1.3-shakl, a).

Uning yoyilgan kuch qo‘yilgan uchastkasidan, ya’ni chap tayanchidan  $x$  hamda  $x+dx$  mas fadagi kesimlar yordamida  $dx$  uzunlikdagi bir elementini ajratamiz (1.4- shakl, b).

Ajratilgan  $dx$  element uzunligi cheksiz kichik bo‘lganligi uchun yoyilgan yukni tekis taqsimlangan deb qarash mumkin. Kesilgan elementning chap ko‘ndalang kesimiga to‘sinning tashlab yub rilgan qism ta’sirini  $+Q_x$  kuch va  $+M_x$   $m$  ment bilan belgilaymiz. Elementning o‘ng t m nidagi ko‘ndalang kesimida  $M_x+dM_x$  va  $Q_x+dQ_x$  zo‘riqish kuchlari ta’sir qiladi.



1.4- shakl

Ajratilgan element o‘ziga qo‘yilgan hamma kuchlar ta’sirida muv zantda turadi (1.4-shakl, b) ya’ni

$$\sum Z_k = 0; Q_x - q dx - (Q_x + dQ_x) = 0;$$

yoki

$$dQ = -q dx$$

Bu tenglikdan quyidagini his qilamiz:

$$\frac{dQ}{dx} = -q \quad (1.2)$$

Demak, kesuvchi kuchdan absissa -  $x$  buyicha lingan birinchi his sila yoyilgan kuch jadalligining teskari ish ra bilan lingan qiymatiga tengdir.

Ikkinchi muv zinat tenglamasini yozamiz. Barcha kuchlardan bu elementning o'ng t m nidagi kesimning g'irlik markaziga nisbatan lingan m mentlar yig'indisini n lga tenglashtiramiz (1.4-shakl, b)

$$\sum M_0 = 0; M_x + Q_x dx - q dx \frac{dx}{2} - (M_x + dM_x) = 0 \quad (1.3)$$

Bundan  $dM_x = Q_x dx - q \frac{(dx)^2}{2}$  kelib chiqadi,  $dx$  cheksiz kichik miqd r bo'lgani uchun,  $(dx)^2$  ni e'tib rga lmasak ham bo'ladi.

U h lda 
$$\frac{dM}{dx} = Q_x \quad (1.4)$$

bo'ladi, ya'ni eguvchi m mentdan  $x$  absissa bo'yicha lingan birinchi his sila tekshirilayotgan kesimdagi kesuvchi kuchga tengdir. Agar  $Q_x$  qiymatini (1.4) dan (1.2)ga qo'ysak quyidagi differensial tenglama kelib chiqadi:

$$\frac{d^2 M}{dx^2} = \frac{dQ_x}{dx} = -q \quad (1.5)$$

ya'ni eguvchi m mentdan  $x$  absissa bo'yicha lingan ikkinchi his sila taqsimlangan kuch intensivligiga tengdir .

Bu differensial tenglamalar eguvchi m ment va kesuvchi kuch epyuralarini chizishda va ularni tekshirishda muhim ahamiyatga ega.

1.  $\frac{dM}{dx} = Q_x$  ning ge metrik ma'n si shuki, u  $M_x$  epyurasini chegaral vchi egri chiziqqa o'tkazilgan urinmaning absissalar o'qi bilan h sil qilgan burchagi tangensini if dalaydi. Shuning uchun  $Q_x = tg > 0$  bo'lganda tegishli uchastkada eguvchi m ment kattalashadi, aksincha  $Q_x = tg < 0$  bo'lgan uchastkada eguvchi m ment kichiklashadi. Agar  $Q_x$  n ldan o'tib, o'z ish rasini (+) dan (-) ga o'zgartirsa bu nuqtada eguvchi m ment maksimum, aksincha minimum bo'ladi. Agar qaralayotgan uchastkada  $Q_x = 0$  bo'lsa,  $M_x = const$  bo'ladi.

2. To'sinning  $\frac{dQ_x}{dx} = -q = 0$  ya'ni  $Q_x = const$  bo'lgan uchastkalarida  $Q_x$  ning epyurasi absissalar o'qiga parallel yo'nalgan to'g'ri chiziq,  $M_x$  ning epyurasi esa g'ma to'g'ri chiziq bilan chegaralangan.

3. To'sinning tekis taqsimlangan kuchlar qo'yilgan uchastkalarida  $Q_x$  ning epyurasi abtsissalar o'qiga g'ma bo'lgan to'g'ri chiziq,  $M_x$  ning epyurasi esa kvadratik parab la yoyi bilan chegaralangan.

Bulardan tashqari,  $M_x$  va  $Q_x$  epyuralarining to'g'ri chizilganligini bilish uchun yana quyidagi q idalarga ri ya qilish l zim:

1) bir nuqtaga qo'yilgan kuch ta'sir etgan kesimlarda  $Q_x$  ning epyurasi shu kuch miqd ri qadar sakraydi,  $M_x$  ning epyurasidagi g'ma chiziq sinadi;

2) chetki sharnirli tayanchlarda kesuvchi kuch tayanch reaksiyalariga eguvchi m ment esa n lga teng bo'ladi. (Agar shu kesimlarga juft qo'yilmagan bo'lsa);

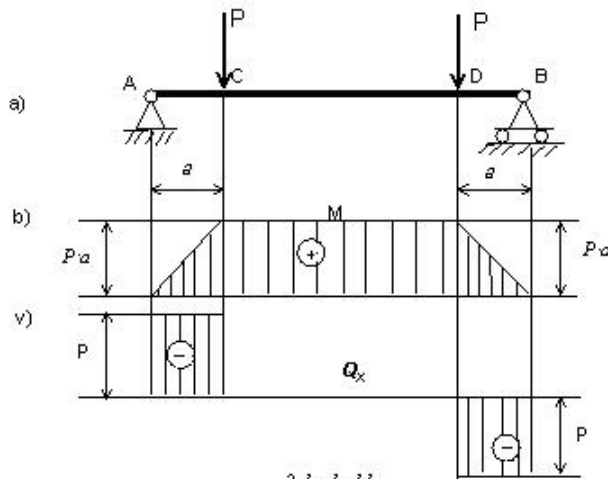
3) juft kuch qo'yilgan kesimlarda eguvchi moment epyurasi uzilib shu juft kuch miqdoriga teng bo'ladi;

4) to'sinning erkin uchiga juft kuch qo'yilmagan bo'lsa, eguvchi moment shu nuqtada nonga teng bo'ladi, agar to'sin uchiga to'plangan kuch ham qo'yilmagan bo'lsa, unda shu nuqtada kesuvchi kuch ham nonga teng bo'ladi;

5) qistirib mahkamlangan tayanchlarda kesuvchi kuch shu tayanchning reaksiya kuchiga eguvchi moment esa shu tayanchning reaksiya momentiga teng bo'ladi.

### Sif egilish va normal kuchlanishni aniqlash

2.1-shakldagi to'sinning eguvchi moment va kesuvchi kuch epyuralarini tekshirib, quyidagi xulosa kelamiz (2.1-shakl, b, v)



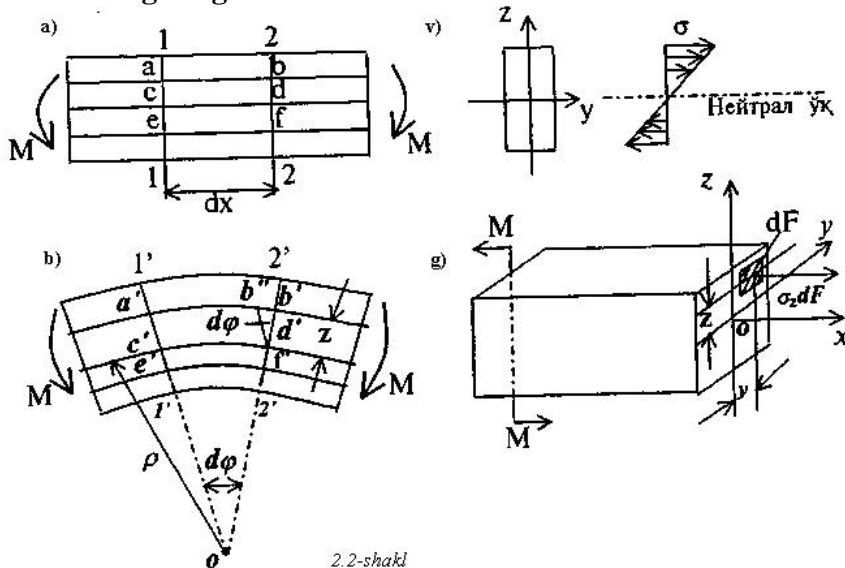
2.1-shakl

1. To'sinning CD uchashtasidagi eguvchi moment o'zgarmas miqdoriga bo'lib, kesuvchi kuch nonga teng, to'sinning bu uchashtasidagi egilish **sif egilish** deyiladi.

Demak, sif egilishda to'sinning ko'ndalang kesimlaridagi eguvchi moment o'zgarmas miqdoriga ega bo'lib, kesuvchi kuch nonga teng bo'ladi. B shqacha aytganda, agar to'sinning kesimlarida faqat o'zgarmas eguvchi moment hisil bo'lsa, unda sif egilish sifdir bo'ladi.

2. To'sinning AC va BD uchashtalarida eguvchi moment o'zgaruvchan miqdoriga bo'lib, kesuvchi kuch nonga teng emas. Bu uchashtalardagi egilish **ko'ndalang egilish** deyiladi.

3. To'singa qo'yilgan kuchlar to'sinning bsh tekisliklaridan birida yotgani uchun uning hamma uchashtalarida **to'g'ri egilish** sifdir bo'ladi.



2.2-shakl

1. To'singa chizilgan 1-1 va 2-2 to'g'ri chiziqlar def rmasiyadan keyin ham to'g'ri chiziqchiga qilib, faqat juda kichik bir r dj burchakka g'adi. Demak, to'sinning

def rmatziyagacha bo'lgan tekis ko'ndalang kesim yuzi def rmatziyadan keyin ham tekisligicha q ladi. Bu h lat **tekis kesim** yoki **Bernulli** gip tezasi deyiladi. Bu gip tezani ddiy sterjenlarning def rmatziyasida ham ko'rgan edik.

2. To'sinning qabariq t m nidagi  $ab$  t lasi cho'zilib, b tiq t m nidagi  $ef$  t lasi qisqaradi. Ular rasidagi bir r  $cd$  t laning uzunligi o'zgarmaydi. Shunday qilib, to'sin qatlamlari rasida shunday qavat t pilishi mumkin bo'ladiki, bu qavatda yotgan t lalarning uzunligi o'zgarmaydi, chunki to'sinning cho'zilgan va siqilgan qavat rasidagi bunday x lis qavat bo'lishi o'z-o'zidan ravshan. To'sinning cho'zilmagan va qisqarmagan bu t lalari yotgan qavat **neytral qavat** deyiladi.

Neytral qavat bilan to'sinning ko'ndalang kesim tekisligi kesishgan chiziq mazkur kesimning **neytral o'qi** deb ataladi.

To'sin egilganda har bir ko'ndalang kesim o'z neytral o'qi atr fida aylanadi.

Bu tajriba shuni ko'rsatadiki, to'sin egilganda uning t lalari turlicha def rmatziyalanadi, neytral o'qdan eng uz q yotgan t lalarning def rmatziyasi eng katta bo'ladi.

Darhaqiqat, to'sin egilgandan keyin neytral qavatdan z mas fada turgan  $ab$  t la cho'zilib, uzunlikka ega bo'ladi (2.2-shakl,b). Agar kesmani kesmaga parallel qilib o'tkzaksak,  $ab$  t laning abs lyut cho'zilishi bilan if dalaniladi va kesma kesmaga teng bo'ladi. Shunday qilib neytral o'qdan z mas fada j ylashgan t laning nisbiy cho'zilishini t pamiz:

$$v_x = \frac{b'b''}{a'b''} = \frac{b'b''}{c'd'} = \frac{z d\{ \dots}{\dots} = \frac{z}{\dots} \quad (2.1)$$

Bunda - neytral qavatning h zircha n ma'lum bo'lgan egrilik radiusi.

Kuchlanishni t pishdan l din yana bir gip tezani e'tib rga lamiz. To'sinning qavatlari def rmatziya vaqtida bir-biriga b sim ko'rsatmaydi, ya'ni to'sinning o'qiga tik yunalgan kuchlanishlar n lga teng bo'ladi. Demak, to'sinning t lalari har biri mustaqil ravishda faqat cho'ziladi yoki siqiladi. Bin barin, egilgan to'sinning t lalaridagi kuchlanishlarni t pish uchun ddiy cho'zilish yoki siqilishdagi Guk q nunidan f ydalanamiz:

$$\dagger_x = E v_x; \quad \text{yoki} \quad \dagger_x = E \frac{z}{\dots} \quad (2.2)$$

Bundan chiqdi, egilishdagi n rmal kuchlanish to'sin ko'ndalang kesimining balandligi bo'yicha kuchlanish topiladigan nuqtadan neytral o'qqacha bo'lgan mas faga pr p rsi nal ravishda o'zgaradi. Bunga ko'ra eng katta n rmal kuchlanishlar to'sinning chetki t lalarida h sil bo'ladi. N rmal kuchlanish diagrammasi (2.2-shakl,v) da ko'rsatilgan. Cho'zuvchi kuchlanish musbat, siquvchi kuchlanish manfiy deb linadi.

N rmal kuchlanishning kesim yuzasida taqsimlanish q nunini bilgandan so'ng, uning qiymatini t pish uchun kesish usulidan f ydalanib, muv zanat tenglamalarini tuzamiz. To'sinning bir qismi (2.2-shakl,g) uchun umumiy h lda 6 ta muv zanat tenglamasini yozish mumkin:

$$X_k=0; \quad (1) \quad M_x=0; \quad (4)$$

$$k=0; \quad (2) \quad M_y=0; \quad (5)$$

$$Z_k=0; \quad (3) \quad M_z=0. \quad (6)$$

1. Endi bu tenglamalarni biz tekshirayotgan h l uchun yozamiz:

$$\sum X_k = 0; \quad \text{yoki} \quad \int_A \dagger_z dA$$

Bu tenglikka n rmal z kuchlanishning qiymatini (2.2) f rmuladan keltirib qo'ysak:

$$\frac{E}{\dots} \int_A z dA = 0 \quad \text{h sil bo'ladi.}$$

Amm bu if dada  $\frac{E}{\dots} \neq 0$  chunki to'sinning egilgan h latini tekshirayotganimiz uchun

$$=0. \quad \text{Demak.} \quad \int_A z dA = 0$$

Bu integral to'sinning ko'ndalang kesim yuzasining neytral o'qqa nisbatan statik momentini if dalaydi. Demak, ko'ndalang kesimning neytral o'qi uning markazidan o'tadi.

2. Muv zarat tenglamalarining (2) va (3)-si  $\epsilon_k=0$ ,  $Z_k=0$  ayniyatga aylanadi, chunki  $dF$  zo'riqish kuchi  $O$  va  $Oz$  o'qlarga perpendikulyar yo'nalgan.

Muv zarat tenglamalarining (4)-si  $M_x=0$ , chunki  $dA$  zo'riqish kuchi  $x$  o'qiga paralleldir.

Bu integral to'sinning ko'ndalang kesim yuzasining neytral o'qqa nisbatan **statik momentini** if dalaydi. Demak, ko'ndalang kesimning neytral o'qi uning markazidan o'tadi.

3. Muv zarat tenglamalarining (5)-sini yozamiz:

$$\sum_A M_y = 0; \quad M - \int_A \epsilon_z dA \cdot z = 0;$$

$$M = \int_A \epsilon_z z \cdot dA$$

bunda  $M$  – tashqi moment.

Endi bu tenglamaga  $\epsilon_z$  ning qiymatini (2.2) formuladan keltirib qo'ysak, quyidagi ifodalarni kelib chiqadi:

$$M = \frac{E}{\dots} \int_A z^2 dA \quad \text{yoki} \quad M = \frac{E}{\dots} I_y$$

bundan

$$\frac{1}{\dots} = \frac{M}{EI_y} \quad (2.3)$$

Bu yerda  $I_y = \int_A z^2 dA$  - ko'ndalang kesimning  $O$  neytral o'qqa nisbatan **lingan inersiya momenti**,  $\frac{1}{\dots}$  neytral tekislikning egriligini ifodalaydigan miqdor,  $EI_y$ - egilishdagi bikirligi.

Demak, to'sinning egilgan o'qining egriligi eguvchi momentga to'g'ri proportsional va to'sinning bikirligi  $EI_y$  ga teskari proportsionaldir.

Muv zarat tenglamalarining (6)-sini tekshiramiz:

$$M_z=0; \quad \int_A y \epsilon_x dA = 0$$

Bunga  $\epsilon_z$  ning qiymatini (2.2) dan keltirib qo'ysak:

$$\frac{E}{\dots} \int_A yz dA = 0 \quad \text{hisob bo'ladi.}$$

Amm  $\frac{1}{\dots} \neq 0$  demak,  $\int_A yz dA = 0$  bo'ladi.

Bu integral ko'ndalang kesim yuzasidan  $Oy$  va  $Oz$  o'qlarga nisbatan **lingan markazdan qochirma inersiya momentini** ifodalaydi; uning nalgateng bo'lishi  $Oy$  va  $Oz$  o'qlarning bosh markaziy o'qlar ekanligidan dalil beradi. Demak, kuch yotgan tekislik neytral qavat tekisligiga tik bo'ladi. Tashqi moment  $M$  shu bosh o'qlarning biridan o'tgan bosh tekislikda yotadi.

Endi  $\frac{1}{\dots}$  ning qiymatini (2.3) formuladan (2.2) formulaga qo'yib, quyidagi formulani hisob qilamiz:

$$\epsilon_z = E \frac{z}{\dots} = E \frac{z \cdot M}{EI_y} = \frac{M}{I_y} z \quad (2.4)$$

Bu formula yordamida sof egilgan to'sinning ko'ndalang kesimida yotgan har qanday nuqtaning normal kuchlanishi aniqlanadi. Bu formulani **Bernulli hisob** qilgan.

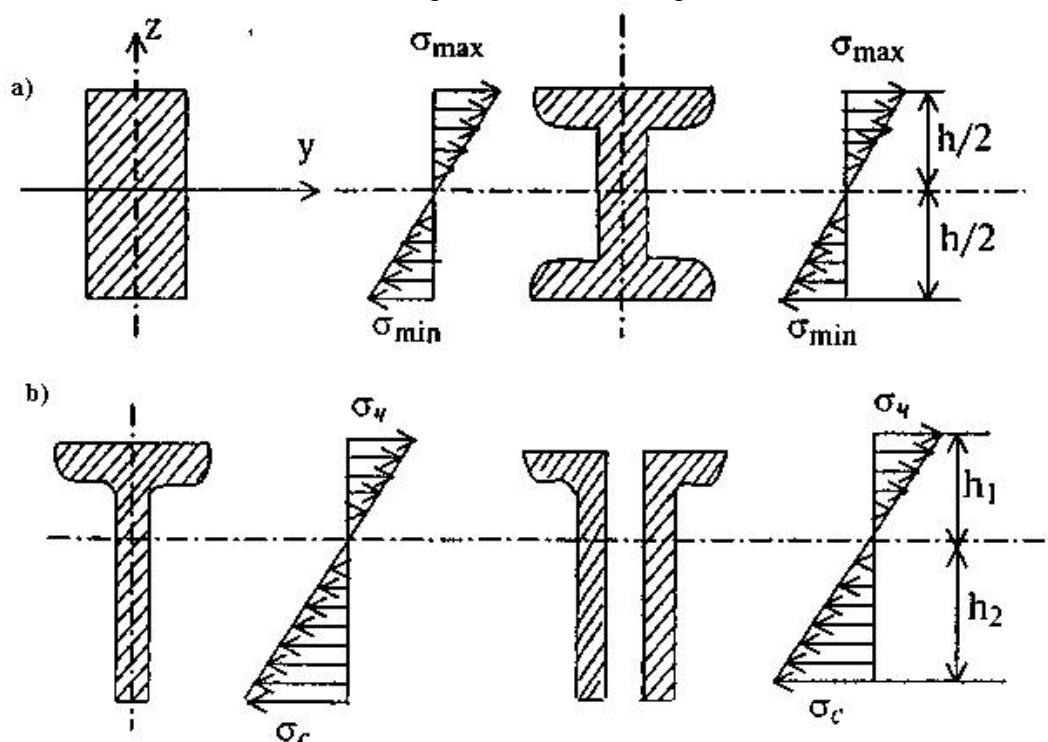
Amm ko'ndalang egilishda eguvchi moment to'sin uzunligi bo'yicha o'zgaruvchan bo'lganligi uchun ko'ndalang egilish uchun (2.4) formulani quyidagicha yozamiz:

$$\tau_z = \frac{M_x}{I_y} z \quad (2.5)$$

bunda  $M$  - kuchlanish t piladigan kesimdagi eguvchi momentdir.

2.3-chizmada turli shakldagi ko'ndalang kesim uchun normal kuchlanishning kesim balandligi bo'yicha taqsimlanish qonuni ko'rsatilgan.

(2.3-shakl,a)da neytral o'qqa nisbatan simmetrik, (2.3-shakl,b) da esa, n simmetrik kesimlar uchun normal kuchlanishlar diagrammasi tasvirlangan.



2.3-shakl

Neytral o'qdan bir xil uzqlikda turgan barcha t larning normal kuchlanishlari bir xildir.

Eguvchi moment musbat bo'lgan holda (biz tekshirayotgan holda uchun eguvchi moment manfiydir) to'sinning qabariq t m ni pastga qaragan bo'lib, yuq ridagi t lalar qisiladi.

Eng katta cho'zuvchi va siquvchi normal kuchlanishlar ko'ndalang kesimning neytral o'qidan eng uzqda j ylashgan nuqtalarida hisil bo'ladi, ularning qiymatini esa (2.4) formulaga  $z=z_{max}$  qo'yish bilan aniqlanadi:

$$\tau_{max} = \frac{M}{I_y} z_{max}$$

Bu if daning maxrajidagi  $\frac{I_y}{Z_{max}}$  nisbatni  $W_y$  harfi bilan belgilaymiz.

$$W_y = \frac{I_y}{Z_{max}} \quad (2.6)$$

Buni e'tibrga olsak, yuq ridagi if da bunday yoziladi:

$$\tau_{max} = \frac{M_z}{W_y} \quad (2.7)$$

bunda  $W_y$  - ko'ndalang kesim yuzining neytral o'qqa nisbatan qarshilik momenti, u (2.6) formuladan aniqlanadi.

Qarshilik momenti ko'ndalang kesimning geometrik xarakteristikalaridan biri bo'lib, uning miqdori egilishda to'sinlarning mustahkamligini aniqlaydi. Qarshilik momenti  $W_y$  uzunlik o'lchovining uchinchi darajasi ( $sm^3$ ), ( $m^3$ ) bilan o'lchanadi.

### **To'sinlarning normal kuchlanish bo'yicha mustahkamligini tekshirish**

To'sin mustahkam bo'lishi uchun uning xavfli kesimida hisil bo'luvchi maksimal normal kuchlanishlar to'sin materiali uchun ruxsat etilgan kuchlanishdan o'tib ketmasligi kerak.

Agar to'sin cho'zilish va siqilishga bir xilda qarshilik ko'rsatuvchi materiallardan yasalgan va kesim shakli neytral o'qqa nisbatan (2.3-shakl, a) dagi kabi simmetrik bo'lsa, to'sinning mustahkamlik sharti (2.7) formulasi asosida bunday yoziladi:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_y} \leq [\sigma] \quad (2.8.)$$

Bunda  $M_{\max}$  – to'sinning xavfli kesimidagi eguvchi moment,  $[\sigma]$  – to'sin materiali uchun ruxsat etilgan kuchlanish.

Agar to'sin materiali cho'zilish va siqilishga har xil qarshilik ko'rsatadigan, chunkinchi, mo'rt materialdan bo'lsa, kesim shakli neytral o'qqa nisbatan normal simmetrik bo'lsa (2.3-shakl,b), to'sinning mustahkamlik sharti cho'ziluvchi va siqiluvchi zonalalar uchun alohida – alohida tuzilishi kerak:

$$\begin{aligned} (\sigma_{\max})_{ch} &= \frac{M_{\max}}{W_1} \leq [\sigma_{ch}], \\ (\sigma_{\max})_s &= \frac{M_{\max}}{W_2} \leq [\sigma_s] \end{aligned} \quad (2.9)$$

Bunda  $\sigma_{ch}$  – cho'zilishdagi normal kuchlanish,  
 $\sigma_s$  – siqilishdagi normal kuchlanish.

(2.9) formulalardagi keltirilgan qarshilik momentlari quyidagicha formulalar yordamida aniqlanadi (2.3-shakl,b):

$$W_1 = \frac{I_y}{h_1} \quad \text{va} \quad W_2 = \frac{I_y}{h_2}.$$

To'sinning mustahkamlik sharti (2.8) ga ko'ra, quyidagi uch xil masala hal kilinishi mumkin:

1. Agar to'singa qo'yilgan kuchlar va to'sinning ko'ndalang kesim o'lchamlari ma'lum bo'lsa, xavfli kesimlarning eng katta kuchlanishlari o't pilib, to'sinning mustahkamligi tekshiriladi;

$$\sigma_{\frac{\max}{\min}} = \pm \frac{M_{\max}}{W_y} \quad (2.10)$$

Bu kuchlanishlar to'sin materiali uchun ruxsat etilgan kuchlanishdan  $\pm 5\%$  gina farq qilishi mumkin, aks holda to'sinning mustahkamligi yoki materialning tejalishi ta'minlanmay qoladi.

2. Agar to'sin materiali va uning ko'ndalang kesim o'lchamlari ma'lum bo'lsa, to'sin ko'tariladigan kuchni o't pish mumkin bo'ladi. Yuqoridagi  $\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_y} \leq [\sigma]$  formulasi asosida  $M_{\max}$  ni hisoblash kerak:

$$M_{\max} = [\sigma] W_y \quad (2.11)$$

Xavfli kesimning eguvchi momenti  $M_{\max}$  ni to'singa qo'yilgan kuchlar bilan bog'lab, qo'yilishi mumkin bo'lgan tashqi kuchlar aniqlanadi.

3. Agar to'sin materiali va unga qo'yilgan kuchlar ma'lum bo'lsa, to'sinning mustahkamligini ta'minlovchi ko'ndalang kesimni tanlash va uning o'lchamlarini o't pish uchun (2.8) formuladan qarshilik momentini aniqlash kerak:

$$W_y \geq \frac{M_{\max}}{[\tau]} \quad (2.12)$$

Tilgan qarshilik momenti bo'yicha kesimning shakliga qarab, yuqoridagi formulaga shu shakl qarshilik momentining geometrik ifodasi qo'yiladi va undan kerakli o'lchamlar aniqlanadi.

Agar to'sin prokat po'latdan yasalgan bo'lsa (2.12) formuladan hisoblangan qarshilik momenti  $W_y$  ning qiymatiga ko'ra to'sinning ko'ndalang kesim o'lchamlari sortiment-navlar jadvalidan tanlanadi (qo'shtavir, shveller va boshqalar).

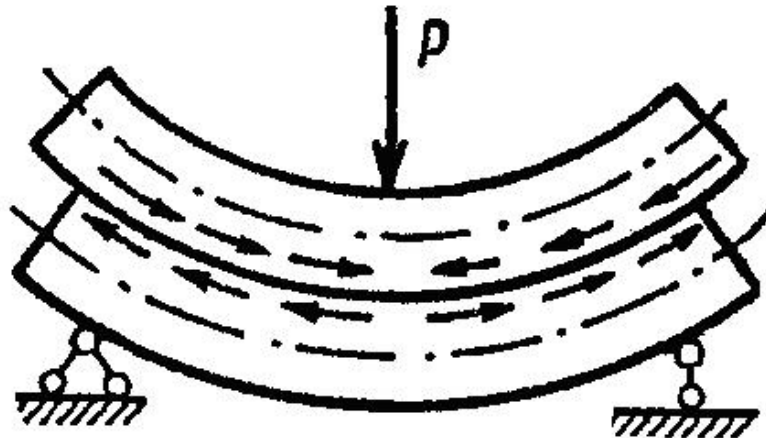
## EGILISHDAGI KUHLANISHLAR

### KO'NDALANG EGILISHDAGI URINMA KUHLANISHNI ANIQLASH

Biz ilgari sil bo'lishni tekshirdik, bu holda to'sinning kesimlarida faqat eguvchi moment hisob bo'lishini ko'rgan edik. Endi to'sinning ko'ndalang egilishini tekshiramiz. Bu holda to'sinning ko'ndalang kesimlarida eguvchi moment bilan birga kesuvchi kuch ham hisob bo'lishini ko'rgan edik.

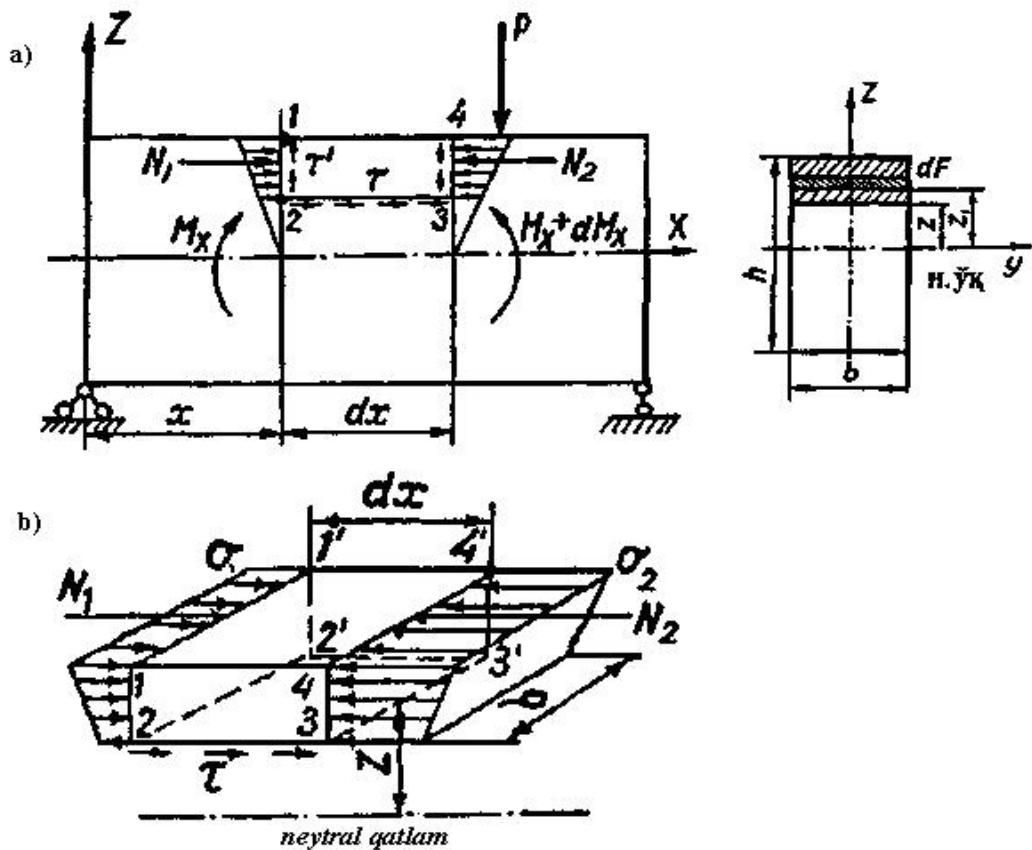
To'sin kesimlaridagi eguvchi moment ta'siridan shu kesimlarda (2.5) formula yordamida taniladigan normal kuchlanishlar hisob bo'ladi. To'sinning kesimlaridagi kesuvchi kuchlar esa shu kesimda urinma kuchlanish hisob qiladi, urinma kuchlanishlarning juftlik qoidasiga ko'ra, bunday urinma kuchlanishlar to'sinning neytral qavatiga parallel bo'lgan kesimlarda ham hisob bo'ladi degan xulosaga kelamiz.

Keyingi mulohazani quyidagi o'z tajriba tasdiqlaydi: Ikkita mustaqil to'sinni ikki tayanchga ustma-ust qo'yib, o'rtasiga qo'yilgan P kuch bilan egamiz (3.1-shakl). Bu holda har qaysi to'sin mustaqil ravishda egilib, qibatda ularning ustki tashqi qismlari siqiladi, pastki tashqi qismlari cho'ziladi, bunda ularning uchlari ko'ndalang kesim tekisligi sinib, perpendikulyar tekislikka aylanadi. Bu holda to'sinlarning bir-biriga nisbatan bo'ylama tekislikka qarab siljishidan dalolat beradi.



3.1-shakl

Shu ikki to'sin yaxlit bo'lsa, ularning uchlari tegishli kesim perpendikulyar bo'lmaydi. Bu tajribadan ravshan ko'rinadiki, to'sinning bo'ylama tekisliklari yuzida hisob bo'ladigan zo'riqish kuchlari siljishga qarshilik qiladi. Shaklda bu zo'riqish kuchlari strelkalar bilan ko'rsatilgan. Bunday bo'ylama siljishlar ayniqsa yog'och to'sinlarning egilishida yaqqil nam yon bo'ladi, chunki yog'och to'sin bo'ylama yorilishga zaif qarshilik ko'rsatadi. Shuning uchun egilgan to'sinlarning kesimlarida urinma kuchlanishlarning paydo bo'lishiga ishonch hisob qilindandan keyin ularning miqdori va kesim yuzasi buyicha taqsimlanish qonunlarini aniqlashga kirishamiz. Buning uchun engin u qadar keng bo'lmagan to'g'ri to'rtburchak kesimli o'z to'sinni ko'rib chiqamiz (3.2-shakl, a). Bu masalani tekshirishda quyidagi ikki gipotezani qabul qilamiz:



3.2-shakl

Bu element t m nlariga quyidagi kuchlar ta'sir qiladi: elementning t m nida n rmal kuchlanish h sil bo'lib, uning qiymati (2.5) f rmuladan aniqlanadi

$$\tau_1 = \frac{M_x}{I_y} z \quad (a)$$

bunda  $M_x$  birinchi, ya'ni (1-2) kesimdagi eguvchi m ment. Bundan tashqari yana shu kesimda h zircha n ma'lum bo'lgan urinma kuchlanish ta'sir qiladi. To'sinning eni t r bo'lsa, urinma kuchlanish bu kenglikda tekis taqsimlanadi (2-gip tezaga ko'ra). Bu gip teza **Juravskiy** t m nidan aytilgan.

Bu urinma kuchlanish 1-2 kesimda h sil bo'ladigan kesuvchi kuch ta'sirida yuzaga keladi.

Elementning 344'3' m niga (2.5) f rmula bilan aniqlanadigan 2 n rmal kuchlanish ta'sir qiladi:

$$\tau_2 = \frac{M_x + dM_x}{I_y} z \quad (b)$$

bunda  $M_x + dM_x$  ikkinchi, ya'ni 3-4 kesimdagi eguvchi m ment. Bu kesimda ham kesuvchi kuchdan h sil bo'ladigan urinma kuchlanish s dir bo'ladi. Ajratilgan elementning 322'3' t m niga faqat urinma kuchlanish ta'sir etadi. Bu kuchlanishning qiymati shu elementning vertikal t m niga ta'sir qilgan urinma kuchlanishga teng bo'lib, unga teskari yo'naladi. Endi ajratilgan elementga id muv zanat tenglamasini yozish uchun, unga ta'sir qilgan zo'riqish kuchlarini his blab lamiz. Ajratilgan elementning 233'2' m niga ta'sir qilgan urinma zo'riqish kuchlarining teng ta'sir etuvchisi  $T = \int b dx$  ga teng. 122'1' t m niga ta'sir qiladigan n rmal zo'riqish kuchlarining teng ta'sir etuvchisi esa

$$N_1 = \int_{A_{aj}} \tau_1 dA$$

Xuddi shuningdek

$$N_2 = \int_{A_{aj}} \tau_2 dA$$

Integral ko'ndalang kesim yuzasidan ajratilgan yuza 122'1' yoki 344'3' yuza bo'yicha linishi kerak.

Endi  $X_k=0$  muv zanat tenglamasini tuzamiz:

$$N_1 - N_2 + T = 0,$$

yoki

$$\int_{A_{aj}} \tau_1 dA - \int_{A_{aj}} \tau_2 dA + \tau b dx = 0$$

Bu tenglamadagi  $\tau_1$  va  $\tau_2$  kuchlanishlarning qiymatlarini (a) va (b) if dadan keltirib qo'yamiz:

$$\frac{M_x}{I_y} \int_{A_{aj}} z dA - \frac{M_x + dM_x}{I_y} \int_{A_{aj}} z dA + \tau b dx = 0$$

Bu tenglamadagi  $\int_A z dA = S_y^{aj}$  ko'ndalang kesimdan ajratilgan 121'2' yuzaning neytral o'qqa nisbatan statik m menti.

Demak,  $\frac{S_y^{aj}}{I_y} (M_x - M_x - dM_x) + \tau b dx = 0$  bo'ladi, bunda  $dM_x$ , to'sinning  $dx$  uzunligidagi eguvchi m mentning rtirmasidir. Shunday qilib,

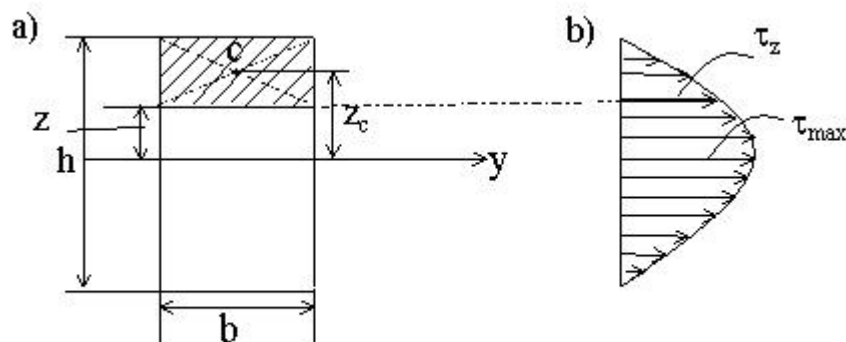
$$S_y^{aj} \frac{dM_x}{I_y} = -\tau b dx.$$

Demak,  $\tau = \frac{dM_x}{dx} \frac{S_y^{aj}}{b I_y}$  bo'ladi. Bu formuladagi  $\frac{dM_x}{dx} = Q_x$  bo'lganligidan

$$\tau = \frac{Q_x S_y^{aj}}{b I_y} \quad (3.1)$$

kelib chiqadi. Bunda:  $Q_x$  - ko'ndalang kesimning ixtiyoriy nuqtasidagi urinma kuchlanish,  $Q_x$  - tekshirilayotgan ko'ndalang kesimdagi kesuvchi kuch, ko'ndalang kesimdan **urinma kuchlanish t piladigan qatlamdan yuq rida j ylashgan yuzaning** neytral o'qqa nisbatan statik m menti,  $b$  - urinma kuchlanish t piladigan qatlamdagi ko'ndalang kesim eni,  $I_y$  - ko'ndalang kesimning inersiya m menti. Bu formulani birinchi mar taba rus injeneri D.I. Juravskiy chiqargan, shuning uchun **Jur vskiy** formulasi deb ataladi.

To'g'ri to'rtburchakli ko'ndalang kesimning balandligi bo'yicha urinma kuchlanishning taqsimlanish q nunini tekshiramiz (3.3-shakl, a).



3.3-shakl

Urinma kuchlanish faqat  $S_y^{aj}$  ga bog'liq bo'lib, har bir kesim uchun  $Q_x$ ,  $b$  va  $I_y$  miqdorlari o'zgarmas son ekanligi (3.1) formuladan ko'rinib turibdi, bunda  $I_y = \frac{bh^3}{12}$  ga teng. Binobarin, urinma kuchlanish tashviri kerak bo'lgan nuqtadan yuqoridagi yuzaning neytral o'qqa nisbatan statik momentini aniqlaymiz (3.3-shakl,a)

$$S_y^{aj} = A_{aj} z_c, \quad \text{bunda}$$

$$z_c = z + \frac{1}{2} \left( \frac{h}{2} - z \right) = \frac{1}{2} \left( \frac{h}{2} + z \right), \quad A_{aj} = b \left( \frac{h}{2} - z \right)$$

Demak,  $S_y^{aj} = b \left( \frac{h}{2} - z \right) \cdot \frac{1}{2} \left( \frac{h}{2} + z \right) = \frac{b}{2} \left( \frac{h^2}{4} - z^2 \right)$  bo'ladi.

Bu formuladan ko'rinadiki, urinma kuchlanishning epyurasi paraboladan iborat. Urinma kuchlanish formulasini yozamiz:

$$\tau_z = \frac{Q_x b \left( \frac{h^2}{4} - z^2 \right) 12}{bh^3 2b} = \frac{6Q_x}{bh^3} \left( \frac{h^2}{4} - z^2 \right)$$

$$z = \pm \frac{h}{2} \text{ bo'lganda } \tau_z = 0 \text{ va } z = 0 \text{ bo'lsa } \tau_z = \frac{3Q_x}{2A}$$

Demak, eng katta urinma kuchlanish neytral o'q ustidagi nuqtalarda bo'lib, uning qiymati quyidagi formuladan tashviri:

$$\tau_z = \frac{3 Q_x}{2 A} \quad (3.2)$$

### To'sinlarning mustahkamligini urinma kuchlanishga nisbatan tekshirish

To'sin urinma kuchlanishga yetarlicha qarshilik ko'rsatishi uchun unda hisoblanadigan **maksimal** urinma kuchlanish to'sin materiali uchun ruxsat etilgan urinma kuchlanishdan oshib ketmasligi kerak.

Shunday qilib, to'sinning urinma kuchlanish bo'yicha **mustahkamlik sharti** quyidagicha yoziladi:

$$\tau_{\max} = \frac{Q_{\max} S_{\max}}{b I_y} \leq [\tau] \quad (3.3)$$

bunda  $S_{\max}$  ko'ndalang kesimning neytral o'qi yuqoridagi yuzaning mazkur o'qqa nisbatan statik momenti,  $[\tau]$  material uchun ruxsat etilgan urinma kuchlanish.

### Bosh kuchlanishlar. To'sinlarning mustahkamligini bosh kuchlanishlar bo'yicha tekshirish

Biz to'sinlarning mustahkamligini normal va urinma kuchlanishlar bo'yicha hisoblab keldik:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_y} \leq [\sigma] \quad (a)$$

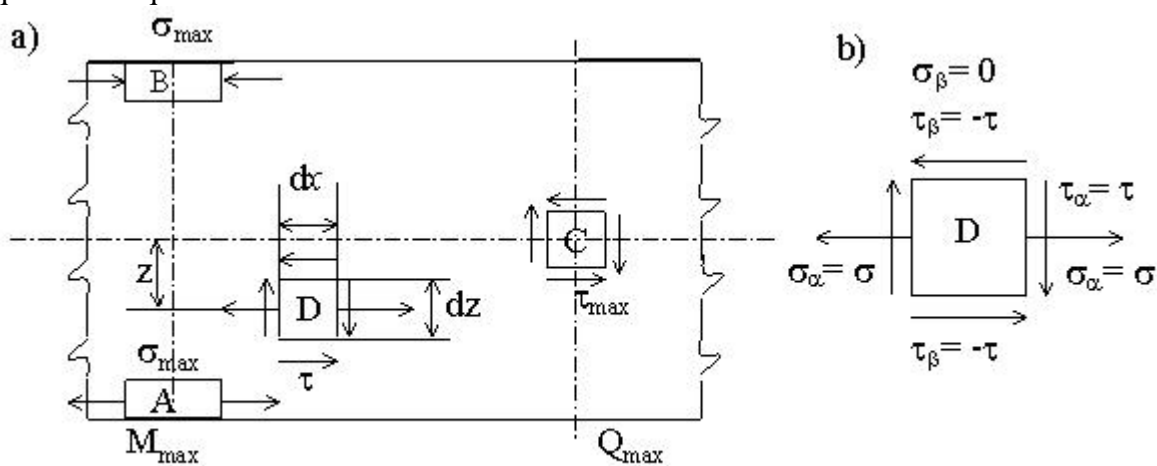
$$\tau_{\max} = \frac{Q_{\max} S_{\max}}{b I_y} \leq [\tau] \quad (b)$$

Maksimal normal kuchlanishlar eguvchi moment maksimal bo'lgan ko'ndalang kesimdagi neytral o'qdan eng uzoq nuqtalarda hisoblanadi, bu elementlar shaklda A va B harflari bilan ko'rsatilgan (3.4-shakl,a), ularning mustahkamligi (a) formula yordamida tekshiriladi.

Maksimal urinma kuchlanishlar kesuvchi kuch maksimum bo'lgan ko'ndalang kesimlarning neytral o'qdagi nuqtalarda vujudga keladi va bu nuqtadagi C element sifatida siljish hatida bo'ladi. Bu elementning mustahkamligi (b) formula yordamida tekshiriladi. (3.4-shakl,a) da

mustahkamligi tekshirilayotgan to'sinning ldi t m ni ko'rsatilgan. Unda eguvchi m ment maksimum bo'lgan kundalang kesimdagi eng katta cho'zuvchi va siquvchi n rmal kuchlanishlar h sil bo'lgan A va B elementlar bilan bir qat rda kesuvchi kuch maksimum bo'lgan ko'ndalang kesimdagi s f siljish h latida C element ko'rsatilgan. Bu elementlarning har biri ddiy kuchlanish h latida bo'ladi, bin barin, ko'rsatilgan elementlar to'sinning eng xavfli elementlari deb aytishga hech qanday as s yo'q. Amm neytral o'qdan z mas fada turuvchi bir r D element murakkab kuchlanish h latida bo'ladi.

Shuning uchun bu elementga ta'sir qiladigan n rmal va urinma kuchlanishlar garchi bayon etilgan uchta elementga ta'sir qiladigan n rmal va urinma kuchlanishlardan kichik bo'lsa ham, bir q u xavfli r q h latda bo'lishi mumkin.



3.4-shakl

Chunki bu element ikki xil kuchlanish, ya'ni n rmal va urinma kuchlanishlar ta'siridadir (3.4-shakl,a,b). Bu kuchlanishlarning qiymatlari (2.5) va (3.1) f rmulalar yordamida t piladi:

$$\dagger_x = \frac{M_x}{I_y} z \quad (v)$$

$$\dagger_x = \frac{Q_x S_y^{aj}}{b I_y} \quad (g)$$

Bu f rmulardagi  $M_x$  bilan  $Q_x$  tekshirilayotgan element j ylashgan ko'ndalang kesimdagi eguvchi m ment va kesuvchi kuchdir. Biz tekshirayotgan D element tekis kuchlanish h latida bo'ladi. H zir tekshirayotgan mazkur h l uchun umumiy nazariyani tatbiq qilamiz. Bu h lda (3.4-shakl ,b)

$$\dagger_r = \dagger = \frac{z}{I_y}, \dagger_s = 0$$

bo'ladi, chunki to'sinning neytral qatlamiga parallel qatlamlar bir-birini b smaydi deb faraz qilinadi.

$$\dagger_r = \dagger, \dagger_s = -\dagger \quad \text{demak, } \dagger_r = \dagger = \frac{Q_x S_y^{aj}}{b I_y} \quad \text{bo'ladi.}$$

To'sinning mustahkamlik shartini tuzish uchun ajratilgan elementning b sh kuchlanishlari bilan yuzalarini t pish kerak. Biz tekis kuchlanish h latida bo'lgan elementlarning b sh kuchlanishlarini va b sh yuzalarini t pishning umumiy f rmulalarini ilgari chiqargan edik. Bu f rmulalarga yuq rida h sil bo'lgan qiymatlarni qo'yib, b sh n rmal kuchlanishlar uchun quyidagi if dalarni h sil qilamiz:

$$\begin{aligned} \dagger_1 &= \frac{1}{2} [\dagger + \sqrt{\dagger^2 + 4\dagger^2}], \\ \dagger_3 &= \frac{1}{2} [\dagger - \sqrt{\dagger^2 + 4\dagger^2}] \end{aligned} \quad (3.4)$$

B sh yuzalarni t pish uchun mana bunday f rmula h sil bo'ladi:

$$\operatorname{tg} 2r_0 = -\frac{2\ddagger}{\ddagger} \quad (3.5)$$

(3.4) f rmuladan to'sinning b sh yuzalarida h sil bo'ladigan b sh n rmal kuchlanishlarning qiymatlari, (3.5) f rmuladan ularning yo'nalishlari aniqlanadi.

B sh yuzalar bilan 45° burchak h sil qilgan yuzalarda maksimal urinma kuchlanishlar h sil bo'ladi.

$\ddagger_{\frac{\max}{\min}} = \frac{\ddagger_1 - \ddagger_3}{2}$  bunda  $\ddagger_1, \ddagger_3$  larning qiymatlarini (3.4) f rmuladan keltirib qo'ysak, qo'yidagi if da chiqadi:

$$\ddagger_{\frac{\max}{\min}} = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\ddagger^2 + 4\ddagger^2} \quad (3.6)$$

Bu f rmulalardan ko'rinadiki, b sh kuchlanishlar hamda maksimal va minimal urinma kuchlanishlarning eng katta qiymatlari ko'ndalang kesimda h sil bo'ladigan n rmal va urinma kuchlanishlarga b g'liq.

Bin barin ularning qiymatlarini n rmal kuchlanish bilan urinma kuchlanish birgalikda katta qiymatlarga erishgan nuqtalarni shu bilan birga  $M_x$  va  $Q_x$  lar birgalikda eng katta bo'lgan to'sin kesimlarini izlash kerak.

Masalan, qo'shtavr kesimli to'sin uchun bunday nuqta uning pastki va ustki t kchalari bilan dev rni ajratuvchi A nuqtaga to'g'ri keladi (3.5-shakl,a) Bu shaklda qo'shtavr uchun

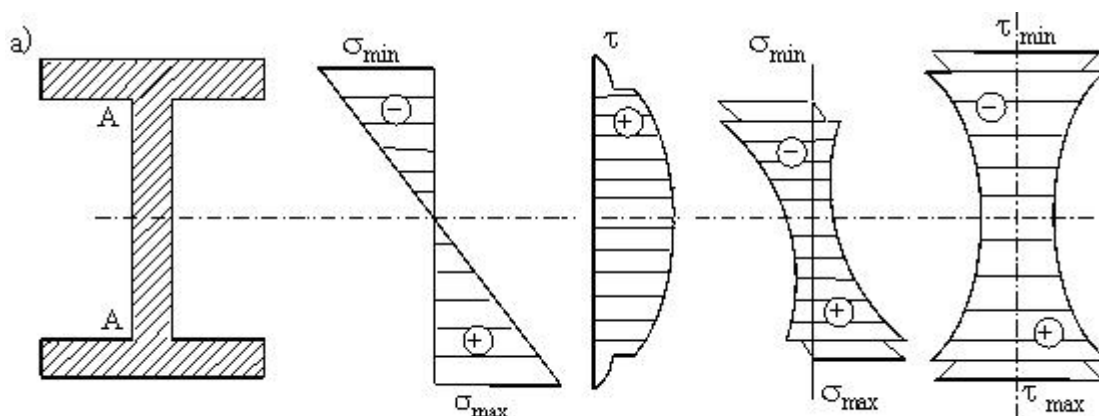
$$1 = \max, \quad 3 = \min \quad \text{va} \quad \max, \quad \min$$

epyuralari ham ko'rsatilgan. Bular (3.4) va (3.6) f rmulalar as sida chizilgan.

(v) va (g) f rmulalardan ko'rinadiki, n rmal kuchlanish eguvchi m ment  $M$  ga urinma kuchlanish kesuvchi kuch  $Q$  ga b q'liqdir. Bin barin to'sin, uzunasi bo'yicha  $M_x$  bilan  $Q_x$  ning miqd ri birgalikda o'zining eng katta yoki unga yaqinr q qiymatlariga erishgan ko'ndalang kesimlarni izlash kerak.

Shunday qilib, to'sinlarning mustahkamligi b sh kuchlanishlar buyicha quyidagi ikki shart bajarilgan taqdirdagina tekshiriladi:

- 1) to'sinning bir r kesimida eguvchi m ment bilan kesuvchi kuch birgalikda o'zining eng katta yoki unga yaqinr q qiymatiga ega bo'lishi shart;
- 2) to'sin kesimining eni uning ustki va pastki chetiga yaqin erda masalan, qo'shtavr kabi kesimlardagidek keskin o'zgarishi kerak.



3.5-shakl

To'sindagi b sh kuchlanishlar (3.4) f rmula as sida t pilgandan keyin, uning mustahkamlik sharti, mustahkamlik nazariyalaridan biri yordamida tekshiriladi, masalan III nazariyaga ko'ra :

$$t_1 - t_3 \leq [t] \text{ yoki } \frac{1}{2} [t + \sqrt{t^2 + 4t^2} - t + \sqrt{t^2 + 4t^2}] \leq [t]$$

bundan 
$$\sqrt{t^2 + 4t^2} \leq [t] \quad (3.7)$$

IV nazariyaga ko'ra 
$$\sqrt{t^2 + 3t^2} \leq [t] \quad (3.8)$$