

74 P  
B-66

**N.S.BIBUTOV, A.X.HOJIYEV**

# **MATERIALLAR QARSHILIGI**

**TOSHKENT**

B-66  
O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O'RTA MAXSUS  
TA'LIM VAZIRLIGI

N.S.BIBUTOV, A.X.HOJIYEV

# MATERIALLAR QARSHILIGI

*O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi  
tomonidan oliy o'quv yurtlarining 5321500 – Texnologiyalar va jihozlar  
(mashinasozlik) bakalavriat ta'lim yo'nalishi uchun darslik sifatida  
tavsiya etilgan*

TOSHKENT – 2016

TerDU A.K.M.  
№ 394791

UO'K: 712 (07)

KBK 74p

B-66

B-66

N.S.Bibutov, A.X.Hojiyev. Materiallar qarshiligi –T.: «Barkamol fayz media», 2016, 440 bet.

ISBN 978–9943–11–377–0

Materiallar qarshiligi konstruksiya elementlarini mustahkamlikka, birlikka va ustuvorlikka muhandischa hisoblash asoslarini tashkil etuvchi fandır. Darslikda materiallarni fiziko-mexanik xossalari, to'g'ri sterjenlarni cho'zilish, siljish, buralish, egilish, murakkab qarshilikda va egri sterjenlardagi kuchlanish va deformatsiyalar o'rganiladi.

Kitobda materiallar qarshiligida masalalarni echish metodikasi keltirilgan, nazariy matnini qisqartirish evaziga echilayotgan masalalarning soni kupyatirildi. Darslik qurilish, transport va mashinasozlik mutaxassisligida ta'lim olayotgan bakalavrlar uchun mo'ljallangan.

\*\*\*

Наука о сопротивлении материалов является основой всех инженерных расчетов на прочность, жесткость, и устойчивость элементов конструкций.

В книге изучаются физико-механические свойства материалов, напряжения и деформации при растяжении, сдвиге, кручении, изгибе и при сложном сопротивлении прямых и кривых стержней. А также законы устойчивости элементов конструкций, поведение материалов при действии динамических и переменных нагрузок.

В книге рассматривается методика решения задач по сопротивлению материалов, удалось сократить теоретический материал и увеличить количество примеров решения задач. Предназначена для бакалавров строительных, транспортных и машиностроительных специальностей.

\*\*\*

Science about strength of materials is a basis of all engineer calculation for durability, hardness and stability of elements of constructions. The book deals with physical and mechanical properties of the materials, strain and deformation on tension, displacement, bend and on complicated strength of straight and curved rod.

Laws of steadiness of the elements of constructions, and conduct of materials on the action of dynamical and variable loads are studied as well. Method of solution of tasks on strength of materials is also considered in the book.

We managed to shorten theoretical material and increase the number of examples of tasks solution. The book is intended for the bachelors of day time and extramural departments on the specialities of construction, transport and machine-building.

UO'K: 712 (07)

KBK 74p

*Taqrizchilar:*

S.Xasanov – t.f.n., Toshkent davlat texnika universiteti Materiallar qarshiligi va mexanika kafedrası professori;

M.M.Vohidov – t.f.d., Buxoro muhandislik - texnologiya instituti Mexanika kafedrası professori;

B.Negmatullayev – t.f.n., O'zjamoaoyiha MCHJ direktori.

ISBN 978–9943–11–377–0

© «Barkamol fayz media» nashriyoti, 2016.

## SO‘Z BOSHI

Kadrlar tayyorlash milliy dasturida, xalqning boy intellektual merosi va umumbashariy qadriyatlar asosida zamonaviy madaniyat, iqtisodiyot, fan-texnika va texnologiyalarning yutuqlari asosida kadrlar tayyorlashning mukammal tizimini shakllantirish O‘zbekiston taraqqiyotining muhim shaklidir deyilgan. Bu yuksak vazifani amalga oshirish uchun yoshlarni har tomonlama barkamol qilib tarbiyalash, jahon andozalari talabiga mos ravishda bilimli mutaxassislar tayyorlash maqsadga muvofiqdir. Ilm - fanning zamonaviy yutuqlari asosida mustaqil fikr va mushohada yurita oladigan yuqori malakali kadrlarni tayyorlash masalasi o‘quv adabiyotlarining – darsliklarning yangi avlodini yaratishni talab etmoqda. Oliy majlisning X – sessiyasida birinchi Prezidentimiz I.A.Karimov «**Ta’lim darslikdan boshlanadi**» degan edi. Haqiqatdan yaxshi o‘qish ham, samarali o‘zlashtirish ham darslik bilan chambarchas bog‘liqdir, ya’ni sifatli darslik nafaqat o‘rganuvchilarning qiziqishini oshiradi balki etarlicha tajribaga ega bo‘lmagan yosh o‘qituvchilar uchun uslubiy qo‘llanma bo‘ladi, ularning kamchiligini bartaraf etadi

Ushbu darslik 5321500 – Texnologiyalar va jihozlar (mashinasozlik) ta’lim yo‘nalishidan tashqari 5321500 – Texnologiyalar va jihozlar (Engil sanoat jihozlarini ta’mirlash va texnik xizmat ko‘rsatish), 5111000 –Kasb ta’limi (5320200 – Mashinasozlik texnologiyasi, mashinasozlik ishlab chiqarishini jihozlash va avtomatlashtirish) bakalavriat ta’lim yo‘nalishlarida hamda qurilish va qishloq xo‘jaligini mexanizatsiyalash ta’lim yo‘nalishlarida bakalavr tayyorlayotgan oliy o‘quv yurtlarining talabalari uchun ham darslik sifatida qo‘llanilishi mumkin.

Materiallar qarshiligi fanining kesish usuli va unga tegishli misollar, cho‘zilish yoki siqilish, buralish, egilishga oid misollar va amaliy mashg‘ulotlar uchun testlar, ayrim tajriba ishlari kiritildi

«Materiallar qarshiligi» ma’ruzalarni mustahkamlash uchun fanni har bir bobdan keyin ushbu mavzuga tegishli masalalarning yechimi keltirildi. Darslikni yozishda ushbu fandan mavjud bo‘lgan o‘zbek va rus tillaridagi adabiyotlardan foydalanildi.

Talabalar ta’lim olayotgan mutaxassisliklariga bog‘liq holda u yoki bu mavzuni qisqartirilgan holda o‘rganishlari mumkin.



## KIRISH

*Umumiy tushunchalar.* Dunyoda uchraydigan hamma hodisalar bepoyon fazo va cheksiz vaqt ichida sodir bo'luvchi uzluksiz harakatlarning turli shakllaridan iborat. Harakat deganda oddiy ko'chishdan boshlab fizik – kimyoviy, biologik o'zgarishlarda bo'ladigan murakkab jarayonlar tushuniladi. Bu harakatlarning eng oddiysi mexanik harakat – mexanika fanida o'rganiladi.

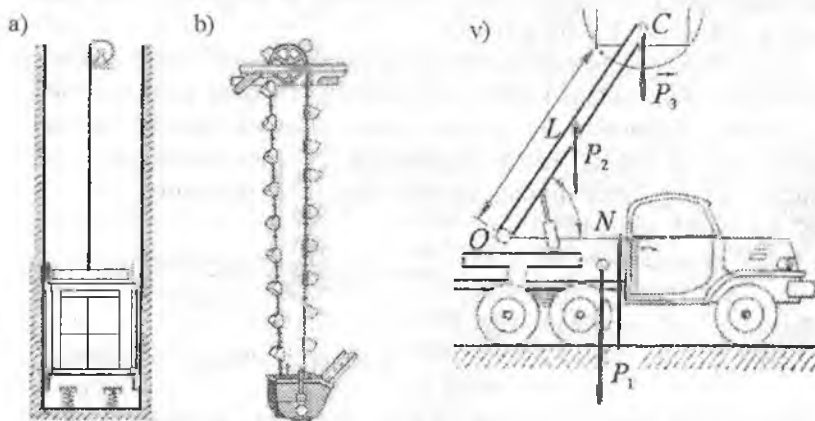
Mexanika (yunoncha: mechanike – mashina, qurol, inshoot) – moddiy jismlarning mexanik harakati va o'zaro ta'sirlashuvi haqidagi fan. «Mexanika» iborasi qadimgi filosof Aristotel (eramizdan avval 384-322-y) tomonidan birinchi marotaba ishlatilgan. Jismlarni muvozanati to'g'risidagi birinchi mulohazalar Arximed ilmiy ishlarida keltirilgan. Mexanika qadimiy fanlarning biri bo'lib tabiatning barcha hodisalarida va texnikaning yaratilishida o'z aksini topadi. Chunki biror bir tabiiy hodisani uning mexanik tomonini hisobga olmasdan tushunib bo'lmaydi, mexanikaning u yoki bu qonuniyatini e'tiborga olmasdan texnika yaratilmaydi.

Mexanikada o'rganiladigan obyektlarni kuchlar ta'sirida o'zining dastlabki o'lchami va shaklini o'zgartirishi mumkin bo'lgan harakatlanuvchan (mashina, mexanizm) yoki harakatlanmaydigan (bino, ko'prik, rezervuar) mexanik sistemalarga kiritish mumkin. Vaziyati va harakati boshqa jismlarning vaziyati va harakatiga bog'liq bo'lgan qattiq jismlarning to'plamiga mexanik sistema (bundan keyin sistema deb aytamiz) deyiladi. Sistemani tarkibiga kiruvchi qattiq jismlarni, uning elementlari deyiladi.

Nazariy mexanikada jism absolyut qattiq deb o'rganiladi, materiallar qarshiligida uning deformatsiyalangan holati o'rganiladi. Jismning chiziqli yoki burchakli o'lchamlarini o'zgarishi deformatsiya deyiladi. Deformatsiya, jism zarrachalarining (molekulalar, atomlar, ionlar) orasidagi masofani o'zgarishi natijasidir. Deformatsiya jismga ta'sir qiluvchi kuch yoki undagi temperaturani o'zgarishi sababli yuzaga keladi. Jismga ta'sir qiluvchi kuch yoki undagi temperaturani o'zgarishi tashqi faktordir. Jismga qo'yilgan tashqi faktor yuklanish deyiladi, aks holatda yuksizlantirish bo'ladi.

Tashqi faktor ta'siri yo'qotilgandan keyin jism zarrachalarining boshlang'ich vaziyatini tiklanishini ta'minlovch materialning xossasi elastiklik deyiladi. Tashqi faktor xususiy holda chegaraviy qiymatdan

oshmasa, ko'plab materialni elastiklik xossasi yo'qolmaydi. Yuksizlantirish natijasida to'liq yo'qolgan deformatsiya elastik deformatsiya deyiladi. Agar, tashqi faktor chegaraviy qiymatidan ortib ketsa yuksizlantirishdan keyin jismning o'lchamlari boshlang'ich qiymatlaridan farq qiladi. Yuksizlantirishdan keyin jismda qolgan deformatsiya qoldiq yoki plastik deformatsiya deyiladi, jismni plastik deformatsiyani qabul qilish qobiliyati plastiklik deyiladi. Tashqi faktorning qiymatini yanada oshirsak jism deformatsiyasining o'lchami shunday qiymatga erishadiki, natijada jism bir butunligini saqlab qola olmaydi va u bo'laklarga bo'linib (yemirilib) ketadi. Har qanday sistema ekspluatatsiya jarayonida hosil bo'lgan plastik deformatsiya natijasida yuksizlantirilsa, u nafaqat yemirilmasligi hattoki o'zining boshlang'ich o'lchamlarini ham o'zgartirmasligi mumkin .



1-rasm. a) lift trosining yuklanishi;  
 b) kovshli lenta; v) yuk to'ldiruvchi mashina  
 strelasidagi kuchlar



2-rasm.  
 Prujina

Sistemadagi birorta elementni yemirilishi yoki unda plastik deformatsiyani hosil bo'lishi xavfli yoki chegaraviy holat deyiladi. Sistemani xavfli holatiga yemirilmasdan qarshilik ko'rsata olish qobiliyati mustahkamlik deyiladi.

Mashina yoki inshoot qismlarini ishlash jarayoniga ko'ra mustahkamlik turlicha bo'lishi mumkin. Masalan: ko'p hollarda mustahkamlik – real sharoitda uzoq muddatda elementning geometrik o'lchami yoki shaklini o'zgartirmasligini ta'minlashga qaratiladi. Masalan, liftning trosi (1-rasm, a), kovshlar biriktirilgan lenta (1-rasm, b) yoki yuk to'ldiruvchi mashinaning strelasi (1-rasm, v) va h.k. Ayrim hollarda katta kuch ta'sirida elementlarning shaklini bir holatdan ikkinchi holatga va yana qaytib boshlang'ich holatga o'tishini ta'minlashga qaratiladi (2-rasm). Sistemani deformatsiyasi elastik va mustahkamligi yetarlicha bo'lsa ham u o'zining vazifasini bajarolmasligi mumkin. Masalan, mashinalarni reszorlari, (2-rasm) prujinalar. Ressorning egrilik radiusi kichiklashadi, prujina esa siqilib (cho'zilib) qoladi.

Sistema elementlarining elastik deformatsiyasida nuqtalarning ruxsat etilmagan ko'chishlarisiz tashqi faktorning ta'siriga qarshilik ko'rsata olish qobiliyati bikrlik deyiladi.

Ayrim hollarda, tashqi faktorning kritik qiymatida, mustahkamligi ta'minlangan elementdagi kichik uyg'onishlar nisbatan katta ko'chishlarni keltirib chiqaradi. Bu hodisa ustuvorlikni yo'qotish deyiladi. Masalan, to'g'ri chizikli ingichka plankaga (3-rasm) qo'yilgan siquvchi kuch o'zining kritik qiymatidan 0,1 % ga oshirilsa, uning nisbiy ko'chishi siquvchi kuchning kritik qiymatigacha bo'lgan ta'sirida plankaning bo'ylama ko'chishidan o'ttiz marotaba katta bo'ladi.



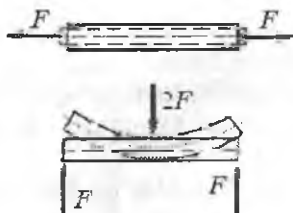
3-rasm. Siqilayotgan plank

Plankaning shakli egrilanadi va u xavfli holatda bo'lishi mumkin.

Sistema elementlarining to'g'ri chizikli shaklini saqlagan holda siquvchi kuchga qarshilik ko'rsata olish qobiliyati ustuvorlik deyiladi

Har qanday mashina yoki muhandislik inshootini loyihalash jarayonida material, shakl va o'lchamlarni tanlashda faqat uni ekspluatatsiya qilish talablarini bajarish uchun emas, balki mustahkamlik, birlik va ustuvorlik shartlariniham ta'minlash lozim. Yuqoridagilar asosida deformatsiyaning quyidai xossalarni ta'kidlash mumkin (4-rasm):

1. Deformatsiyadan keyin jismning shakli uning holati va qo'yilgan kuchga bog'lik



4-rasm. Jismining deformatsiyalangan holatlari

2. Deformatsiyani qiymati uchta faktorga bog'liq: tashqi kuch va temperaturaning qiymati va o'zgarish qonuniyati (tashqi faktor); jismini o'lchami va shakli (geometrik faktor); jisim materialining sifati va miqdori (fizik faktor).

Demak, mustahkamlik, bikrlilik va ustuvorlikni o'zgartirish uchun yoki deformatsiya xarakterini yoki yuqorida

keltirilgan faktorlarni o'zgartirish lozim. Sistemani funksional vazifasiga ko'ra mustahkamlikka hisoblashda deformatsiya xarakteri, tashqi faktorlar va gabarit o'lchamlar berilgan bo'ladi. Bunday hollarda, mustahkamlikni ta'minlashda sistemani tayyorlash uchun yuborilgan material miqdorini oshirish yoki uni yuqori sifatli material bilan almashtirish talab etiladi. Lekin, sistemani yengil vaznda tayyorlash uchun metall sarfini iqtisod etish talabini bajarish uchun materialdan ratsional foydalanish kerak.

Bir tomonlama, mustahkamlik, birlik va ustuvorlik talablari, ikkinchi tomondan, kam material sarflash talablari orasidagi qarama-qarshilik asosida materiallar qarshiligi fanining vazifasi kelib chiqadi va u fan sifatida o'zaro bog'liq bo'lgan ikkita nazariy va eksperimental yo'nalishlarda olib boriladi va rivojlanib kelmoqda, chunki:

1. Materiallar qarshiligining asosiy xususiyati shundaki, uning barcha usullari (yechimlari, qonuniyatlari) tajribada aniqlangan va tekshirilib oldindan qabul qilingan gipotezalarga asoslanadi;

2. Ko'plab masalalar taqribiy matematik yechimni ruxsat etadi va uning aniqligi tajribada tekshirilishi lozim;

3. Turli materiallarning elastiklik, plastiklik va mustahkamlik xossalari belgilovchi mexanik xarakteristikalari faqat tajriba usuli bilan o'rganiladi;

4. O'ta masul sistemalar va ularning elementlarini yemiruvchi kuch (ruxsat etilgan yuk) tajribada aniqlanadi.

Materiallar qarshiligi fanining vazifasi. Hozirgi zamon mashinasozlik sanoati murakkab harakat qiluvchi, katta quvvatli, tez yurar, hamda yuqori sifatli yengil konstruksiyali mashina va mexanizmlarni yaratmoqda. Mashina va inshootni loyihalashda asosiy e'tibor, uning barcha qismlari tashqi kuch va boshqa faktorlar (harorat, yuqori bosim,

katta deformatsiya tezligi h.k.) ta'sirida o'z shaklini va xususiyatini, ya'ni mustahkamligini ta'minlashga qaratilishi zarur.

**Materiallar qarshiligi fani - mashina va inshoot qismlarining mustahkamligi, ustuvorligi va bikrligini hisoblash usullarini o'rgatadi**

Materiallar qarshiligi mustahkamlik, ustuvorlik va bikrlikni elementlarning deformatsiyasiga bog'lab o'rganadi. Bu masalalar bilan qattiq jismlar mexanikasi fanining elastiklik nazariyasi, plastiklik nazariyasi, qurilish mexanikasi ham shug'ullanadi. Materiallar qarshiligi boshqa fanlardan o'zini amaliyligi bilan farq qiladi, ya'ni konstruktsiya qismi tashqi kuchga bardosh beradimi – yo'qmi, mustahkamligi yetarlimi, bikrlik darajasi qanchaligini faqat nazariyada emas, balki amaliyotda, tajribada sinab ko'radi.

Materiallar qarshiligining hisoblash va amaliy usullari, matematika, fizika, kimyo, nazariy mexanika, materialshunoslik va shu singari bir qancha fanlarning taraqqiyoti bilan bog'liq ravishda jadal rivojlanmoqda.

## 1. KUCH VA KUCH TURLARI

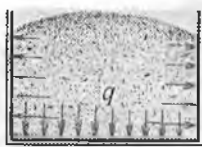
Inshoot va mashina qismlariga ta'sir qiluvchi kuchlar yoki quyilgan yuklar tashqi kuch bo'ladi. Tashqi kuchlar aktiv va reaktiv kuchlarga bo'linadi. Aktiv kuchlar – yuk deb yuritiladi. Tashqi kuch elementlarga quyilishi jihatidan to'planma yoki taqsimlangan kuchlarga bo'linadi. Agar yukning qo'yilish o'lchalari konstruktsiya elementi o'lchamlaridan juda kichik bo'lsa – bunday kuch to'planma kuch deb yuritiladi. Masalan: vagon g'ildiragini relsga (5-rasm, a) bosimi. To'planma kuch – nyuton ( $N$ ); kilonyuton ( $kN$ ) va tonnalarda ( $t$ ) o'lchanadi. Agar yuk konstruktsiya qismining yuzasi yoki uzunligi bo'ylab ta'sir qilsa, bunday kuch taqsimlangan kuch deyiladi.



a)

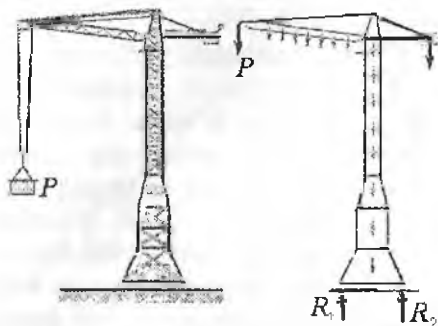


b)



v)

5-rasm.  
a) to'planma;  
b) notekis  
taqsimlangan;  
v) teng  
taqsimlangan



6-rasm. Taqsimlangan kuchlar

(5-rasm, b, v). Bunday kuchlar teng taqsimlangan (5-rasm, v). yoki teng taqsimlanmagan kuchlarga (5-rasm, b). bo'linadi qilsa, bunday kuch taqsimlangan kuch deyiladi.

Masalan: element uzunligi bo'ylab xususiy og'irligining o'zgarishi teng taqsimlanmagan kuchga misol bo'ladi (6-rasm).

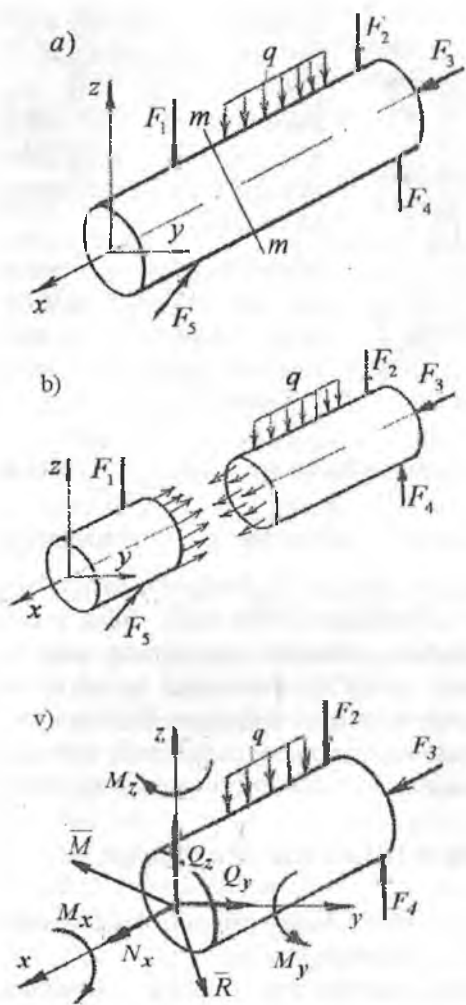
Taqsimlangan kuch uzunlik bo'yicha ta'sir qilsa  $\frac{H}{M}; \frac{\kappa H}{M}$  larda, yuza bo'ylab tarqalsa  $\frac{\kappa H}{M^2}$  o'lchanadi. Vaqt oralig'ida o'zgarish xususiyatiga ko'ra tashqi kuchlar statik va dinamik kuchlarga bo'linadi. Noldan o'zining oxirgi o'zgarimas qiymatigacha asta-sekin silliq o'zgaradigan kuch – statik kuch deyiladi. Masalan: stanokning betonga, imoratning asosiga bosimi. Vaqt oralig'ida ishorasini va qiymatini o'zgartiradigan, takrorlanuvchi, bir onda ta'sir qiladigan kuchlar esa – dinamik kuchlar deyiladi. Dinamik kuchlarga – aylanma yoki tebranma harakatda ishlovchi konstruktsiya qismlari; zarb ta'siri misol bo'ladi.

## 2. ICHKI KUCH FAKTORLARINI ANIQLASH

Ichki kuch - tashqi kuch ta'sirida kelib chiqadi. Ichki kuchni aniqlash uchun kesish usulidan foydalanamiz.

**Kesish usuli.** Qattiq jismning mustahkamligi undagi zarrachalarning o'zaro tortishish kuchlari bilan ifodalanadi. Jismga tashqaridan ta'sir ko'rsatilsa, zarrachalarning o'zaro tortishish kuchlari intensivlashadi.

**Tashqi kuch ta'sirida zarrachalar o'zaro ta'sirining intensivlashishiga – ichki kuch deyiladi.** Ichki kuchlar tashqi kuch va materialning fizik - mexanik xossalari bog'liq bo'ladi.



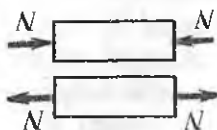
7-rasm. Kesish usuli:

- a) brusning umumiy yuklanish sxemasi;
- b) brusning kesilgan yuzasida ichki kuchlarni ko'rinishi;
- v) brusning kesilgan yuzasida ichki kuch faktorlarining ko'rinishi

Konstruktsiya qismlarining mustahkamligi va birligini ta'minlashda ichki kuch katta rol o'ynaydi. Berilgan tashqi kuchlar ta'sirida muvozanatda bo'lgan brusning (7-rasm, a) ixtiyoriy tanlangan kesim yuzasidagi ichki kuchlarni aniqlash uchun, uni shu kesim yuzasidan  $m - m$  tekisligi bilan kesib ikki qismga ajratamiz. Brus bir qismining ikkinchi qismiga ta'siri o'zaro teng va qarama-qarshi tomonlarga yo'naladi (7-rasm, b). Brusning bir qismini tashlab yuboramiz. Natijada, brusning olib qoling qismida tashlab yuborilgan qismning ta'siri yo'qotilishi evaziga uning muvozanati buziladi. Bu qismning muvozanatini ta'minlash uchun uning kesilgan yuzasiga tashlab yuborilgan qism ta'sirini bosh kuch vektori  $\bar{R}$  va bosh moment vektori  $\bar{M}$  ko'rinishida keltirilishi lozim (7-rasm, v).

Bosh kuch vektori va bosh moment vektori olib qoling qism uchun ichki kuch hisoblanadi.  $\bar{R}$  va  $\bar{M}$  - ni XYZ o'qlarida tashkil etuvchilar  $N_x, Q_x, Q_y, Q_z, M_x, M_y, M_z$  -ga ajratamiz:

a)



b)



v)



8-rasm. Ichki kuch faktorlari:  
 a) bo'ylama kuch; b) burovchi moment; v) eguvchi moment

$N_x$  – bo'ylama kuch, brusning bo'ylama o'qi bo'ylab yo'nalgan, uning ta'sirida brus cho'ziladi yoki siqiladi (8-rasm, a).  $Q_y$ ;  $Q_z$  – brusning bo'ylama o'qiga perpendikulyar joylashganligi uchun ko'ndalang kuch deyiladi.  $M_x$  – burovchi moment brusning ko'ndalang kesimida hosil bo'ladi. Uning ta'sirida brus buralish deformatsiyasiga uchraydi (8-rasm, b).  $M_y$  va  $M_z$  - momentlari ta'sirida brus egiladi (8-rasm, v).

$N_x, Q_y, Q_z, M_x, M_y, M_z$  – ichki kuch faktorlari deyiladi.

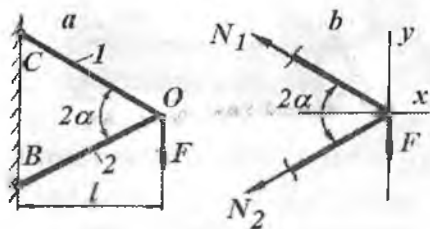
Ichki kuch faktorlarini topish uchun brusning ajratilgan qismidagi barcha kuchlardan muvozanat shartlari tuziladi.

$$\sum X = 0 \quad \sum Y = 0 \quad \sum Z = 0$$

$$\sum M_x = 0 \quad \sum M_y = 0 \quad \sum M_z = 0$$

**Ichki bo'ylama kuchni topish.** Cho'zilish va siqilishda ichki bo'ylama kuch – brusning ko'ndalang kesimidagi barcha normal kuchlarning teng ta'sir etuvchisi. Bo'ylama kuch – brusning kesilgan ko'ndalang kesimidan bir tomonda olib qolingan tashqi kuchlarni ushbu kesimning bo'ylama o'qiga proeksiyalarining algebraik yig'indisiga teng. Amaliyotda uchraydigan konstruktsiya qismlarining ko'pchiligi ko'ndalang kesimda hosil bo'ladigan ichki cho'zuvchi yoki siquvchi bo'ylama kuchlarini kesish usulidan foydalanib, sistemaning ajratilgan bo'lagini muvozanat shartidan topiladi.





9-rasm. Sterjenlar sistemasini yuklanishi: a)  $F$  kuchni qo'yilishi; b) ichki kuchlar va  $F$  kuchni qo'yilishi

**Yechish.** Sterjenlarni bo'ylama o'qiga tik tekislik bilan ixtiyoriy kesimdan qirqib ikki qismga ajratamiz va tayanch qismini tashlab yuboramiz, olib qolingana har bir sterjenga tashlab yuborilgan qism ta'sirini almashtiruvchi  $N_1$  va  $N_2$  kuchlarni qo'yamiz. Sistemaning muvozanat shartini ta'minlovchi ikkita tenglama tuzamiz (9-rasm, b):

$$\sum X = -N_1 \cos \alpha - N_2 \cos \alpha = 0 \quad (1)$$

$$\sum Y = N_1 \sin \alpha - N_2 \sin \alpha - F = 0 \quad (2)$$

(1) tenglamadan  $N_1 = -N_2$  tenglikni (2) shartga keltirib qo'ysak,

$$N_2 = \frac{F}{2 \sin \alpha}$$

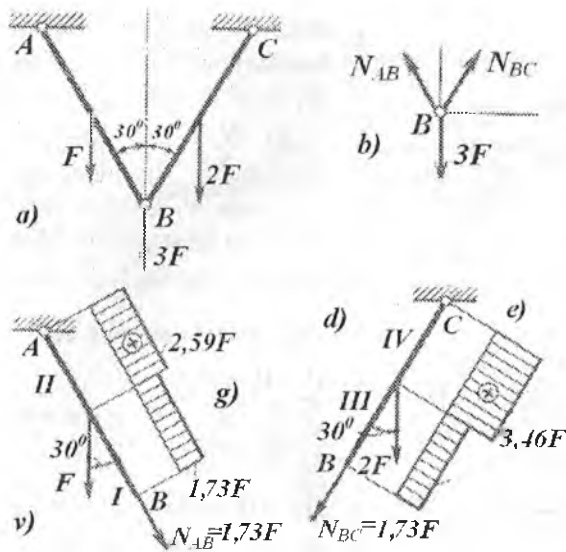
**Misol-2.**  $AB$  va  $BC$  sterjenlardagi ichki bo'ylama kuchlar aniqlansin va epyurlari qurilsin (10-rasm).

**Yechish.** Sterjenlar sistemasining yuklanish sxemasida ularning ko'ndalang kesim yuzasida bo'ylama va ko'ndalang kuch va eguvchi moment hosil bo'ladi. Ko'ndalang kuch va eguvchi momentlarni aniqlash egilishga ishlovchi konstruksiyalarda ichki kuch faktorlarini hisoblash misollarida ko'rib chiqiladi. B sharnir muvozanatini tekshirish uchun sterjenlarni kesish usuli asosida bog'lanishdan ozod etib, kesilgan yuzalarga  $N_{AB}$  va  $N_{BC}$  bog'lanish reaksiyalarini qo'yamiz. Muvozanat tenglamalarini tuzamiz:

$$\sum Y = -N_{AB} \sin 30^\circ + N_{BC} \sin 30^\circ = 0 \text{ bu yerdan } N_{AB} = N_{BC}$$

$$\sum X = N_{AB} \cos 30^\circ + N_{BC} \cos 30^\circ - 3F = 0 \text{ va}$$

$$N_{AB} = N_{BC} = \frac{3F}{2 \cos 30^\circ} = 1,73F$$



10-rasm. Sterjenlar sistemasini uklanishi  
 a) tashqi kuchlarni qo'yilishi;  
 b) B nuqtaga qo'yilgan ichki va tashqi kuchlar;  
 v) AB sterjenda bo'ylama kuch epyurasi;  
 d) BC sterjenda bo'ylama kuch epyurasi

AB sterjenni I-oraliq'ida ichki bo'ylama kuch

$$N_1 = N_{AB} = 1,73 \cdot F.$$

II-oraliqda  $N_2 = N_{AB} + F \cdot \cos 30^\circ$  ni tashkil etadi.

BC sterjen. III-oraliqda  $N_3 = N_{BC} = 1,73 \cdot F$

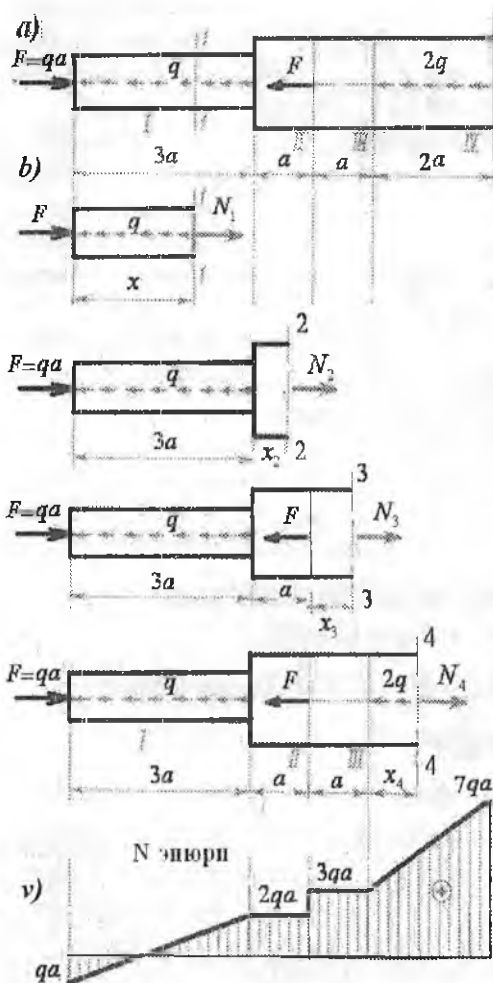
va IV-oraliqda  $N_4 = N_3 + 2F \cdot \cos 30^\circ$

**Misol-3.** To'planma va teng tarqalgan kuchlar bilan yuklangan brus uchun bo'ylama kuch aniqlansin va epyurasi qurilsin (11-rasm).

**Yechish.** Yuklanish oraliqlari 11-rasm, a - da ko'rsatilgan. I-oraliqning tayanchdan ozod tomonidan -  $x$  masofada tanlangan I - I-qirg'iq bilan ko'rsatilgan ko'ndalang kesimidagi (11-rasm, b) ichki kuchni aniqlaymiz. Buning uchun brusni olib qolingan qismidagi barcha kuchlarni  $X$  - o'qiga proektsiyalaymiz.  $\sum X = 0 \quad N_1 + F' - qx = 0$  yoki

$$N_1 = -F' + qx$$

bu yerda  $qx$  - brusni olib qolingan qismidagi taqsimlangan kuchlarning teng ta'sir qiluvchisi bo'lib  $0 \leq x \leq 3a$  oraliqda chiziqli qonuniyat



bilan o'zgaradi.  $N_1$  kuchni hisoblaymiz:  $x = 0$  bo'lsa  $N_1 = -F = -qa$  va bo'lsa  $x = 3a$   $N_1 = 2qa$ . Demak, brusning boshlang'ich nuqtasida  $N_1$  kuch manfiy va oxirgi nuqtasida musbat ishorali. Va  $x = \frac{F}{q} = a$  masofada nolga teng bo'ladi.

**II - II oraliq.**  
 $\sum X = N_2 + F - q \cdot 3a = 0$   
 va  $N_2 = 2qa$

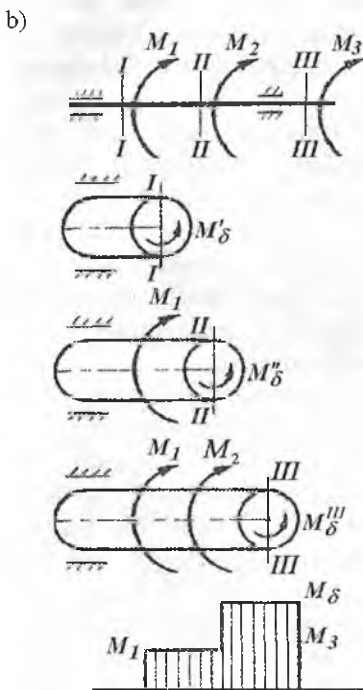
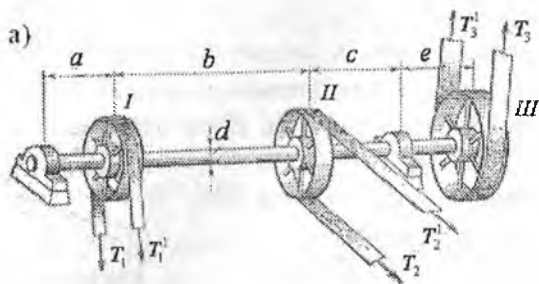
**III - III oraliq.**  $\sum X = 0$   
 $N_3 + F - q \cdot 3a - F = 0$   
 va  $N_3 = 3qa$

**IV - IV oraliq.**  
 $\sum X = 0$   
 $N_4 + F - q \cdot 3a - F - 2q \cdot x = 0$   
 $x = 0$  bo'lsa  $N_4 = 3qa$  va  
 $x = 2a$  bo'lsa  $N_4 = 7qa$

$N_x$  - ichki bo'ylama kuch brus o'qining uzunligi bo'ylab o'zgarishning grafikasi ichki bo'ylama kuch epyurasi deyiladi.

II-rasm. Ichki kuchni aniqlash texnologiy xaritasi

- a) pog'onali brusni yuklanish sxemasi;
- b) pog'onali brusni kesish tartibi;
- v) pog'onali brus uchun ichki bo'ylama kuch epyurasi



12-rasm. Burovchi momentni aniqlash.

- a) remenli uzatmaning umumiy ko'rinishi va remenlardagi taranglik kuchlari;  
 b) sterjenni kesish tartibi va burovchi moment epyurasi

### Burovchi momentni aniqlash

Shkivlar o'ratilgan doiraviy kesimli sterjening (12-rasm, a) aylanishi natijasida, remenlarda hosil bo'lgan tortishish kuchlari ( $t_1$  va  $T_1$ ;  $t_2$  va  $T_2$ ;  $t_3$  va  $T_3$ ) ning sterjen kesimining mar-

kaziga nisbatan momentlari  $M_1 = T_1 R_1 - t_1 R_1 = t_1 R_1$ ,  $M_2 = t_2 R_2$  va  $M_3 = t_3 R_3$  bilan yuklangan sxema, 9-rasm, b - da ko'rsatilgan.  $R_1$ ;  $R_2$  va  $R_3$  - tegishli 1,2 va 3 shkivlarning radiuslari.

Ixtiyoriy kesimdagi burovchi momentni topish uchun, sterjenni shu kesimdan tekislik bilan fikran ikki bo'lakka ajratamiz va har bir bo'lakka  $M_x = M_\delta$  burovchi momentlarini qo'yamiz.

**I-I qirqimdan** chap tomonda qolgan sterjenda aylantiruvchi moment ta'siri yo'q, shuning uchun sterjening olib qolingan qismida burovchi moment nolga teng, ya'ni  $M_\delta^I = 0$ .

**II-II qirqim** uchun chap qismning muvozanat tenglamasidan quyidagi ifodani topamiz:

$$\sum M_x = M_1 - M_\delta^{II} = 0 \text{ va } M_\delta^{II} = M_1$$

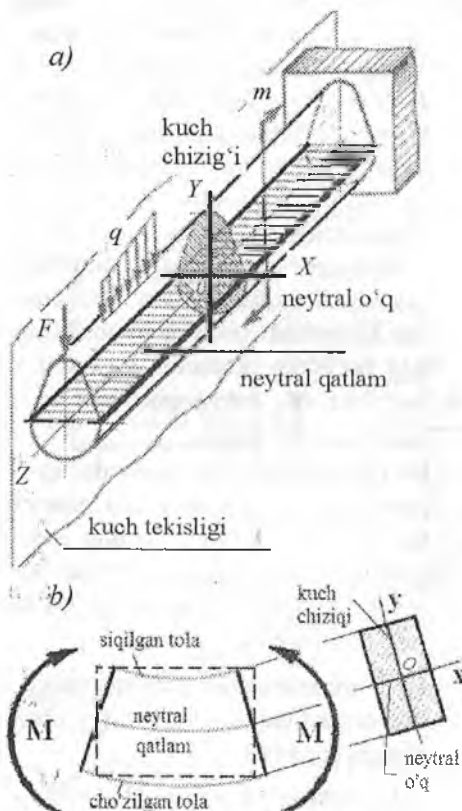
**III-III qirqim** :

$$\sum M_x = M_1 + M_2 - M_\delta^{III} = 0$$

$$\text{yoki } M_\delta^{III} = M_1 + M_2$$

IV-IV qirqim  $\sum M_x = M_1 + M_2 + M_3 - M_6^{IV} = 0$  va  $M_6^{IV} = 0$

Demak, sterjen kesim yuzasida hosil bo'ladigan buruvchi moment  $M_6$  kesilgan kesim yuzasiga nisbatan bir tomonda joylashgan tashqi momentlarning algebraik yig'indisiga teng ekan. Sterjenning ajratib olingan bo'lagidagi tashqi moment, kesilgan kesim yuzasining markaziga nisbatan soat strelkasi yo'nalishi bo'yicha harakat qilsa,  $M_6$  ishorasi musbat qabul qilinadi.  $M_6$ -ni o'zgarish grafikasi, epyurasi (12-rasm,6).



13-rasm. Egilishda ichki kuchlar:

- a) brusni yuklanish sxemasi;  
b) neytral qatlam holatini aniqlash.

**Egilishda ichki kuchlarni aniqlash.** Egilishda barcha tashqi va reaksiya kuchlari – kuch tekisligi deb ataladigan bitta tekislikda ta'sir qiladi (13-rasm, a). Kuch tekisligini brusning ko'ndalang kesim yuzasi bilan kesishish chizig'i - kuch chizig'i deyiladi. Egilishda brusning egilgan o'qi kuch tekisligida yotadi. Egilishga ishlaydigan brus balka deyiladi.

Egilishda balka materialining bir qatlami siqiladi ya'ni tola uzunligi qisqaradi va unga qarama-qarshi qatlam cho'ziladi, ya'ni bu qatlam materialining tolasini uzayadi (13-rasm, b). Balkani egilishda o'zining boshlang'ich uzunligini o'zgartirmaydigan material qatlami neytral qatlam deyiladi. Balkaning ko'ndalang kesim yuzasi bilan neytral qatlamni kesishish chiziqi neytral o'q deyiladi. To'rtta o'zaro teng  $F$  kuch ta'sirida muvozanatda bo'lgan

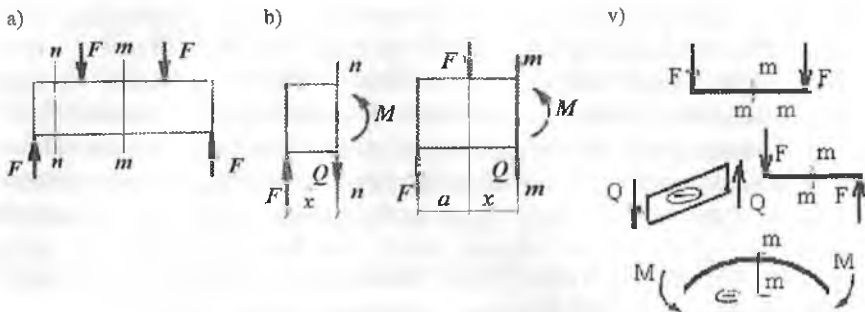
brusni o'rganamiz (14-rasm, a). Brusning ixtiyoriy kesimidagi ichki kuchlarni kesish usulidan foydalanib topamiz. Masalan, brusni  $n - n$  tekislik bilan kesib, uning o'ng tomonini tashlab yuboramiz va chap tomonini olib qolamiz. Natijada brus chap qismining muvozanati buziladi. Brusni ajratib olingan qismining muvozanatini ta'minlash uchun, uni kesilgan yuzasiga tashlab yuborilgan qismining ta'sirini almash-tiruvchi bosh kuch vektori  $Q$  va bosh moment vektori  $M$  - ni keltirib qo'yamiz.  $Q$  kuchni ko'ndalang kuch yoki kesuvchi kuch deb qabul qilamiz. Ko'ndalang kuchni topish uchun brusni ajratib olingan qismi-dagi tashqi kuchni  $n - n$  qirqim tekisligiga proeksiyalaymiz:

$F - Q = O$  yoki  $Q = F$ . Brusni keyingi  $m - m$  kesimidagi ko'ndalang kuch  $Q$  shu oraliqdagi barcha tashqi kuchlarni  $m - m$  tekislikka proeksiyalarining algebraik yig'indisiga teng:  $F - F - Q = O$  (14-rasm, b) yoki  $Q = O$ . Demak,  $Q$  ko'ndalang kuch brusning ajratib olingan qismidagi barcha kuchlarni algebraik yig'indisiga teng. Brusning kesilgan kesimiga nisbatan tashqi kuchning yo'nalishi soat strelka-sining harakat yo'nalishi bilan mos tushsa, ko'ndalang kuchning ishorasi musbat, teskari holatda esa manfiy bo'ladi.

Bosh moment vektori  $M$ , eguvchi moment deyiladi. Eguvchi momentni topish uchun, brusni ajratib olingan kesimidagi barcha kuchlarni kesim markaziga nisbatan moment olamiz:  $m - m$  kesimdan chap tomon uchun  $M = F(a + x) - Fx$  tenglamani hosil qilamiz. Qirqim tekisligi bilan brus bo'ylama o'qining kesishgan nuqtasi kesim markazi deyiladi. Demak, eguvchi moment brusni ajratib olingan qismidagi barcha kuchlarning, shu oraliq kesim markaziga nisbatan momentlari-ning algebraik yig'indisiga teng. Agar tashqi kuch brusni yuqoriga egiltirsa, eguvchi moment ishorasi musbat, pastga egiltirsa - manfiy qabul qilinadi (14-rasm, v).

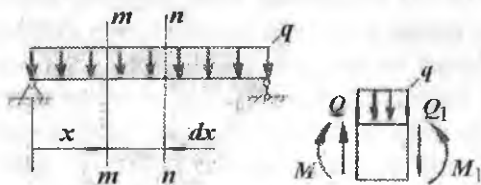
Brusni egilishida kesim markazi qabariq chiziqda qolsa eguvchi moment manfiy va botiq chiziqda qolsa musbat ishorali bo'ladi. Yuqo-ridagi ko'ndalang kuch va eguvchi moment tenglamalaridan ko'rini-shicha, brusning uzunligi bo'ylab  $Q$  va  $M$  o'zgarib borar ekan.  $Q$  va  $M$  ning brus o'qi bo'ylab o'zgarish grafikasiga ko'ndalang kuch va eguvchi moment epyurasi deyiladi.

TerDU AR.M.  
No 394791



14-rasm. Ichki kuch faktorlari: a,b)  $Q$  va  $M$  ni aniqlash; v)  $Q$  va  $M$  ishorasini tanlash

$M$ ,  $Q$  va  $q$  orasidagi differensial bog'lanishlar. Taqsimlangan kuch intensivligi ta'sirida bo'lgan balkadan ajratilgan elementar uzunlikdagi bo'lakning muvozanat holatini tekshiramiz (15-rasm). Taqsimlangan kuch intensivligi  $q$  ta'siridagi elementar  $dx$  uzunlikdagi ajratilgan element balkani tashlab yuborilgan qismlari ta'sirini almashtiruvchi ko'ndalang kuchlar  $Q$  va  $Q_1 = Q + dQ$ , momentlar  $M_x$  va  $M_1 = M_x + dM_x$  ta'sirida bo'ladi (15-rasm).



15-rasm

Ajratilgan elementning muvozanat sharti quyidagicha yoziladi:

$$\sum y = Q - qdx - (Q + dQ) = 0 \quad (3)$$

$$M_x + Qdx - qdx \frac{dx}{2} - (M_x + dM_x) = 0 \quad (4)$$

(3) tenglamadan  $-qdx - dQ = 0$  tenglikni hosil qilamiz. Bu yerdan

$$q = -\frac{dQ}{dx} \quad (5)$$

Demak, balkaning ixtiyoriy kesimidagi ko'ndalang kuchning abt-sissa bo'ylab birinchi tartibli hosilasi shu kesimdagi taqsimlangan kuch intensivligi  $q$  - ga teng ekan. Agar  $q$  - kuch yuqoriga yo'nalsa (5) tenglamaning ishorasi musbat bo'ladi.

$$(4) \text{ tenglamadan } Qdx - dM_x = 0 \text{ esa } Q = \frac{dM_x}{dx} \quad (6)$$

hosil bo'ladi, ya'ni balkaning ixtiyoriy kesimidagi ko'ndalang kuch, shu kesimdagi eguvchi momentning absissa bo'yicha birinchi tartibli hosilasiga teng ekan. (5) va (6) tenglamalar asosida

$$\frac{d^2 M_x}{dx^2} = \frac{dQ}{dx} = -q \quad (7)$$

tenglik hosil bo'ladi, ya'ni eguvchi momentning absissa bo'ylab ikkinchi tartibli hosilasi shu kesimdagi taqsimlangan kuch intensivligi  $q$  - ga teng ekan. Yuqoridagi differensial bog'lanishlardan  $M$  va  $Q$  epyuralarini qurishda foydalanish mumkin. Masalan: balkani biror kesimida  $Q = \text{const}$  bo'lsa, shu kesimida (5) differensial bog'lanishga asosan,  $q = 0$ , ya'ni taqsimlangan kuch intensivligining ta'siri nolga teng yoki  $q$  kuch ta'sir qilmas ekan. Taqsimlangan kuch intensivligi ta'sir qilgan oraliqda ko'ndalang kuch to'g'ri chiziqli qonuniyat bilan o'zgaradi.  $Q$  ning epyurasi absissa o'qini kesib o'tadi, ya'ni absissaga og'ishgan burchak bilan joylashadi.

(6) differensial bog'lanishga asosan, agar balkani biror kesimida eguvchi moment o'zgarmas bo'lsa, ya'ni  $M = \text{const}$ , shu kesimdagi ko'ndalang kuch nolga teng bo'lar ekan. Eguvchi moment balka uzunligining biror qismida to'g'ri chiziqli qonuniyat bilan o'zgarsa, ya'ni  $M$  grafikasi to'g'ri chiziq bo'lib absissaga biror burchak bilan joylashsa, shu kesimdagi ko'ndalang kuch o'zgarmas va  $Q$  ni epyurasi absissaga parallel chiziq bo'lar ekan. Balkani taqsimlangan kuch intensivligi  $-q$  ta'sir qilgan oraliqda,  $M$  epyurasi egri chiziq bilan chegaralanadi.

-  $Q$  epyurasi absissani kesib o'tadigan nuqtada, eguvchi moment ekstremal qiymatda.

- Balkaga to'planma  $F$  kuch qo'yilgan nuqtada ko'ndalang kuch epyurasining shu nuqtasida miqdori  $F$  kuchga teng sakrash bo'ladi, eguvchi moment epyurasida siniq chiziq hosil bo'ladi. Taqsimlangan kuch ta'sir qilgan oraliqda  $M$  epyurasi botiq parabola bo'ladi.  $M$  epyurasining to'g'ri va egri chiziqli qismlari silliq tutashadi.

- Balkani biror kesimiga juft kuch momenti qo'yilgan bo'lsa, eguvchi moment epyurasining shu nuqtasida miqdori juft kuch momentiga teng sakrash bo'ladi.



- Balkani oxirgi yoki boshlang'ich kesimida ko'ndalang kuch shu kesimdagi to'planma (reaksiya) kuchiga teng, eguvchi moment esa shu kesimdagi juft kuch momentiga teng. Agar, balkani oxirgi yoki boshlang'ich kesimiga juft kuch momenti qo'yilgan bo'lmasa, bu kesimda eguvchi moment nolga teng.

**Misol-1.** Berilgan balkaning, eguvchi moment ( $M_x$ ) va ko'ndalang kuch ( $Q$ ) epyuralari qurilsin (16-rasm).

**Yechish.** Konsol balkaning  $x_1$  oraliqida yuqoriga yo'nalgan to'planma kuch  $5 \text{ kN}$  va pastga yo'nalgan teng taqsimlangan kuch  $q$  ta'sir qiladi. Eguvchi moment va ko'ndalang kuch tenglamalarini tuzamiz:

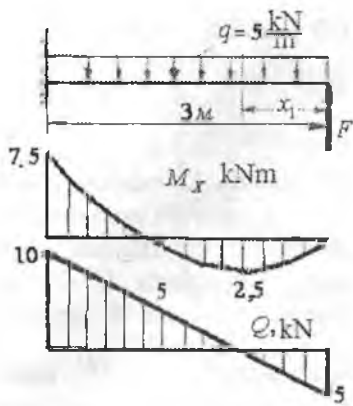
$$M_{\partial 1} = Fx_1 - q \frac{x_1^2}{2} \quad \text{va} \quad Q_1 = -F + qx_1$$

Tenglamalar shuni ko'rsatadiki, ko'ndalang kuch balkaning uzunligi bo'ylab to'g'ri chiziq qonuniyati, eguvchi moment esa kvadrat parabola bo'yicha o'zgaradi. O'zgaruvchan  $x_1$  ga  $0 \dots 3 \text{ m}$  oraliqida qiymat berib  $Q$  uchun kamida ikkita,  $M_x$  uchun esa uchta qiymat

$$\begin{aligned} x_1 = 0 \text{ da} \quad M_{x1} &= 0; \quad Q_1 = -F = -5 \text{ kH} \\ x_1 = 1 \text{ m}; \quad M_{x1} &= 2,5 \text{ kHM}, \quad Q_1 = 0 \\ x_1 = 2 \text{ m}; \quad M_{x1} &= 0 \quad Q_1 = 5 \text{ kH} \\ x_1 = 3 \text{ m}; \quad M_{x1} &= -7,5 \text{ kHM} \quad Q_1 = 10 \text{ kH} \end{aligned}$$

Hisoblashlar natijasiga ko'ra  $Q$  va  $M_x$  epyuralari qurilgan. Ko'ndalang kuch musbat qiymatlarini nol chiziqdan (neytral qatlam) yuqoriga,  $M_x$  epyurasini balkaning cho'zilgan tolalarida o'lchab qo'yamiz. Balkani  $F$  kuch qo'yilgan nuqtasida ko'ndalang kuch manfiy ishorali va  $5 \text{ kN}$  ga teng, tayanch kesimda esa musbat ishorali va  $10 \text{ kN}$  ga teng. Epyura  $Q$  qiya to'g'ri chiziq bilan tasvirlangan va qiya to'g'ri chiziq bilan abstsissani kesishgan nuqtasida  $Q=0$  bo'ladi, ya'ni  $Q_1 = -F + qx_1 = 0$ .

$$\text{Bu yerdan } x = \frac{F}{q} = 1 \text{ m}.$$



16-rasm. Balkani yuklanish sxemasi va ko'ndalang kuch va eguvchi moment epyurlari

Eguvchi moment balkani  $F$  kuch qo'yilgan nuqtasida nolga teng va tayanch kesimida minus ishorali bo'lib  $7,5 \text{ kNm}$  ga teng. Balkani uzunligi bo'ylab eguvchi moment parabola qonuniyati bilan o'zgaradi va

$Q = 0$  nuqtada, ya'ni  $x = 1 \text{ m}$  da musbat ishorali bo'lib  $2,5 \text{ kNm}$  ga teng. Parabola abstsissa bilan kesishgan nuqtada nolga teng, ya'ni

$$M_{x_1} = Fx_1 - q \frac{x_1^2}{2} = 0 \quad \text{Bu yerdan}$$

$$x = \frac{2F}{q} = 2 \text{ m}$$

Misol-2. Ikki tayanchli balkaning (17-rasm)  $K$  va  $B$  tayanch nuqtalaridagi reaksiya kuchlarini yuqoriga yo'naltirib, muvozanat tenglamalarini tuzamiz va ularni hisoblaymiz.

$$\sum M_K = M - 5F + 7B - q \frac{(3)^2}{2} + q \frac{(2)^2}{2} = 0 \quad \text{va} \quad B = \frac{110}{7} \text{ kN}$$

$$\sum M_B = M - 7K + q \cdot 5 \left( \frac{5}{2} + 4 \right) + 2F = 0 \quad \text{va} \quad K = \frac{730}{7} \text{ kN}$$

Balkani to'rtta oraliqlarga ajratib, har bir oraliq uchun ko'ndalang kuch va eguvchi moment tenglamalarini tuzamiz:

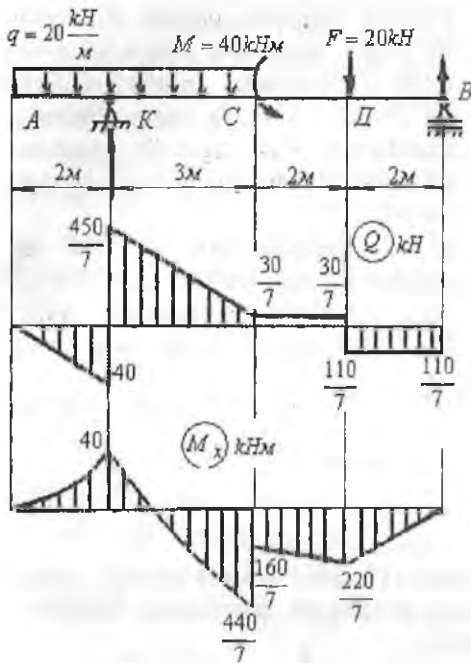
$$\text{AK (I - I) - oraliq.} \quad 0 \leq x_1 \leq 2 \text{ m} \quad Q_1 = -qx_1 \quad \text{va} \quad M_{x_1} = -q \frac{x_1^2}{2}$$

$$\text{KC (II - II) - oraliq.} \quad 2 \leq x_2 \leq 5 \text{ m}$$

$$Q_2 = K - qx_2 \quad \text{va} \quad M_{x_2} = -q \frac{x_2^2}{2} + K(x_2 - 2)$$

$$\text{CD - oraliq.} \quad 0 \leq x_3 \leq 2 \text{ m}$$

$$Q_3 = K - 5q = \frac{730}{7} - 100 = \frac{30}{7} \text{ kN}; \quad M_{x_3} = -q \cdot 5 \left( \frac{5}{2} + x_3 \right) + K(3 + x_3) - M$$



17 - rasm. Balkani yuklanish sxemasi va ko'ndalang kuch va eguvchi moment epyurlari

Balkani CD va DB oraliqlarida taqsimlangan kuch ta'sir qilmaydi, shuning uchun bu oraliqda  $Q$  epyurasi abstsissaga parallel chiziq. Balkani A,B nuqtalarida eguvchi moment nolga teng, C nuqtaga juft kuch momenti  $M = 40 kNm$  qo'yilgan. Shuning uchun eguvchi moment epyurasining shu nuqtasida miqdori  $40 kNm$  bo'lgan sakrash bor, ya'ni  $\frac{440}{7} - \frac{160}{7} = \frac{280}{7} = 40 kHM$ . Taqsimlangan kuch ta'sir qilgan oraliqlarda eguvchi moment epyurasi botiq parabola.

Misol -3. Balkaning eguvchi moment ( $M$ ) va ko'ndalang kuch ( $Q$ ) lari aniqlansin va epyurlari qurilsin (18 - rasm). Berilgan:

$$M_1 = 2kNm, \quad M_2 = 6kNm, \quad M_3 = 1kNm, \quad q = 2 \frac{kN}{m}, \quad F_1 = 9kN, \quad F_2 = 6kN$$

DB - oraliq.  $0 \leq x_4 \leq 2 m$

$$Q_4 = -B = -\frac{110}{7} kN;$$

$$M_{x_4} = B \cdot x_4$$

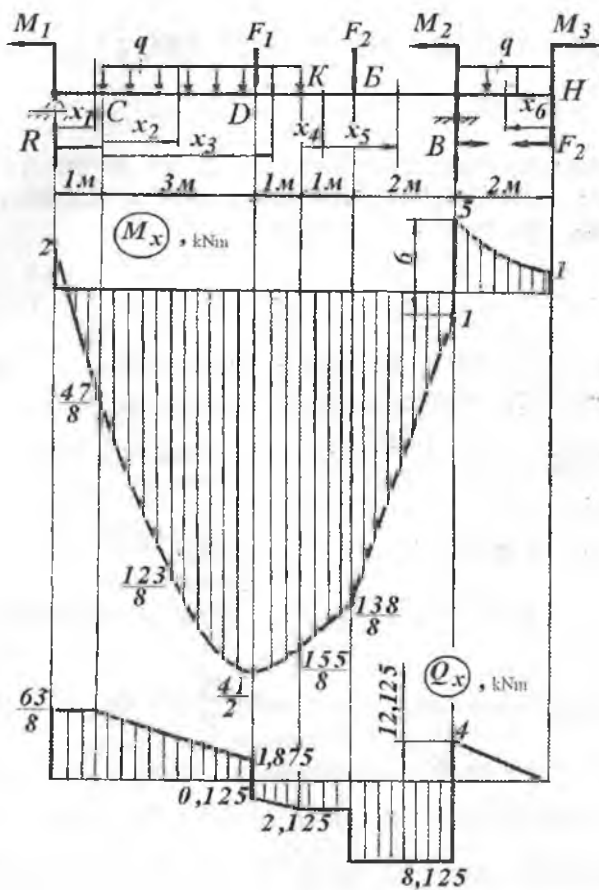
17- rasmda ko'ndalang kuch ( $Q$ ) va eguvchi moment ( $M$ ) epyurlari ko'rsatilgan. Balkani D nuqtasida  $F = 20 kN$  tashqi kuch va K tayanch

nuqtasida  $K = \frac{730}{7} kN$  reaksiya kuchi bor. Shuning uchun ko'ndalang kuch epyurasining shu nuqtalarida

miqdori  $\frac{30}{7} + \frac{110}{7} = 20 kN$  va

$\frac{450}{7} + 40 = \frac{730}{7} kN$  ga teng

bo'lgan sakrashlar mavjud.



18-rasm. Balkani yuklanish sxemasi va ko'ndalang kuch va eguvchi moment epyurlari

**Yechish.** Reaksiya kuchlarini balkaning muvozanat shartlaridan foydalanib topamiz:

$$\Sigma M_A = -M_1 + 4q\left(\frac{4}{2} + 1\right) + F_1 \cdot 4 + F_2 \cdot 6 - M_2 + q \cdot 2\left(\frac{2}{2} + 8\right) + M_3 - B \cdot 8 = 0;$$

$$\text{va } B = 12,125 \text{ kN}$$

$$\Sigma M_B = -M_1 - q4\left(\frac{4}{2} + 3\right) - F_1 \cdot 4 + F_2 \cdot 2 - M_2 + q2 \cdot \frac{2}{2} + M_3 + R \cdot 8 = 0; \quad \text{va}$$

$$R = \frac{63}{8} \text{ kN}$$

Balkani 6 ta oraliq qirgimlarga bo'lib, har bir oraliq uchun eguvchi moment va ko'ndalang kuch tenglamalarini tuzamiz (18-rasm).

I - I oraliq (R - C).  $0 \leq x_1 \leq 1m$

$$M_{x_1} = Rx_1 - M_1 \quad \text{va} \quad Q_1 = R = \frac{63}{8} \text{ kN}$$

I - I oraliqda  $Q = \text{constant}$ , shuning uchun ko'ndalang kuch epyurasi absissaga parallel chiziq bo'ladi.  $M_X$  epyurasi absissaga qiya to'g'ri chiziq bo'lib,  $x_1 = \frac{M_1}{K} = \frac{16}{63} m$  masofada uni kesib o'tadi, ya'ni nolga teng bo'ladi.

II - II oraliq (C - D).  $0 \leq x_2 \leq 3m$

$$M_{x_2} = R(1 + x_2) - M_1 - q \frac{x_2^2}{2} \quad \text{va} \quad Q_2 = R - qx_2$$

II - II oraliqda ko'ndalang kuch epyurasi  $\frac{63}{8} \text{ kN}$  dan  $1,875 \text{ kN}$  gacha kamayadi, ya'ni  $Q$  absissaga qiya to'g'ri chiziq bo'ladi,  $M_X$  esa botiq parabola qonuniyatida o'sadi.  $Q$  va  $M_X$  - bu oraliqda musbat ishorali.  $M_X$  epyurasi balka materialining cho'ziluvchan tolasiga quriladi.

III - III oraliq (D - K)  $3 \leq x_3 \leq 4m$   $Q_3 = R - qx_3 - F_1$

$$M_{x_3} = R(1 + x_3) - M_1 - q \frac{x_3^2}{2} - F_1(x_3 - 3)$$

III - III oraliqda ko'ndalang kuch manfiy ishorali va u absissaga qiya to'g'ri chiziq qonuniyatida o'sadi,  $M_X$  esa musbat ishorali va botiq parabola qonuniyatida kamayadi.

IV - IV oraliq (K - B).  $0 \leq x_4 \leq 1m$

$$M_{x_4} = R(5 + x_4) - M_1 - q4(2 + x_4) - F_1(1 + x_4)$$

$$Q_4 = R - q \cdot 4 - F_1 = \frac{63}{8} - 2 \cdot 4 - 2 = -2,125 \text{ kN}$$

**B-B oraliq.**  $0 \leq x_3 \leq 2m$

$$M_{x_3} = R(6 + x_3) - M_1 - q4(2 + 1 + x_3) - F_1(2 + x_3) - F_2 x_3$$

$$Q_5 = R - q \cdot 4 - F_1 - F_2 = \frac{63}{8} - 2 \cdot 4 - 2 - 6 = -8,125 \text{ kNm}$$

**VI - VI oraliq (B - H)**  $0 \leq x_6 \leq 2m$

$$M_{x_6} = -M_3 - q \frac{x_6^2}{2}; \quad Q_6 = qx_6$$

Balkani  $R$  nuqtasida ( $R = \frac{63}{8} \text{ kN}$ ),  $D$  nuqtasida ( $F_1 = 2 \text{ kN}$ ),  $B$  nuqtasida ( $F_2 = 6 \text{ kN}$ ),  $B$  tayanch nuqtasida ( $B = 12,125 \text{ kN}$ ) kuchlar ta'sir qiladi. Mos ravishda  $Q$  epyurasining mazkur nuqtalarida qo'yilgan kuchlarga teng miqdorda sakrash mavjud. Masalan,  $R$  nuqtada sakrash  $\frac{63}{8} \text{ kN}$  ga teng,  $D$  nuqtada  $1,875 + 0,125 = 2 \text{ kN}$ ,  $B$  nuqtada  $8,125 - 2,125 = 6 \text{ kN}$ ,  $V$  tayanch nuqtada  $8,125 + 4 = 12,125 \text{ kN}$ .  $CD$  oraliqda taqsimlangan kuch ta'sir qiladi.  $Q$  epyurasida ushbu oraliqda o'zgarish

(kamayish)  $\frac{\frac{63}{8} - 1,875}{3} = q$  ga teng.

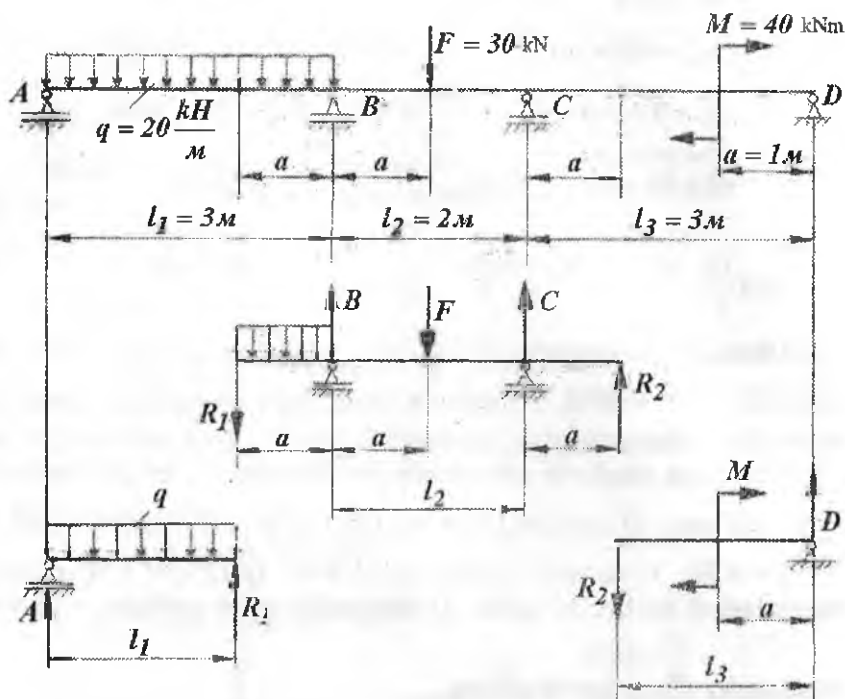
Balkani  $R$  tayanch va  $N$  nuqtalarida eguvchi moment mos ravishda  $2 \text{ kNm}$  va  $1 \text{ kNm}$  ga teng va manfiy ishorali.  $B$  tayanch nuqtasiga  $M_2 = 6 \text{ kNm}$  juft kuch momenti qo'yilgan, shuning uchun  $M_x$  epyurasining shu nuqtasida  $5 + 1 = 6 \text{ kNm}$  sakrash mavjud.

**Misol-4.** Sharnirli balkani ko'ndalang kuch -  $Q$  va eguvchi momentlari aniqlansin va epyuralari qurilsin.

Sharnirlar momentni uzatmaydi, shuning uchun sharnirlarda momentlar nolga teng bo'lishidan foydalanib balkani ikkita asosiy va bitta osma balkalarga ajratamiz (19-rasm). Sharnirlardagi bosim kuchini  $R_1$  va  $R_2$  reaksiya kuchlari bilan almashtiramiz. Hosil bo'lgan har bir balkalar uchun  $Q$  va  $M_x$  - epyuralarini quramiz.

**1- balka.** Reaksiya kuchlarini hisoblaymiz:

$$\sum M_A = -q \frac{\ell^2}{2} + R_1 \ell_1 = 0 \quad \text{va} \quad R_1 = q \frac{\ell_1}{2} = \frac{20 \cdot 3}{2} = 30 \text{ kN}$$



19-rasm. Sharnirli balka

$$\sum M_1 = -A \cdot l_1 + q \frac{l_1^2}{2} = 0 \quad \text{va} \quad A = q \frac{l_1}{2} = \frac{20 \cdot 3}{2} = 30 \text{ kN.}$$

$Q$  va  $M_x$  tenglamalarini tuzamiz.

**I - I oraliq.**  $0 \leq x_1 \leq 3m$   $Q_1 = A - qx_1$  va  $M_{x_1} = Ax_1 - q \frac{x_1^2}{2}$

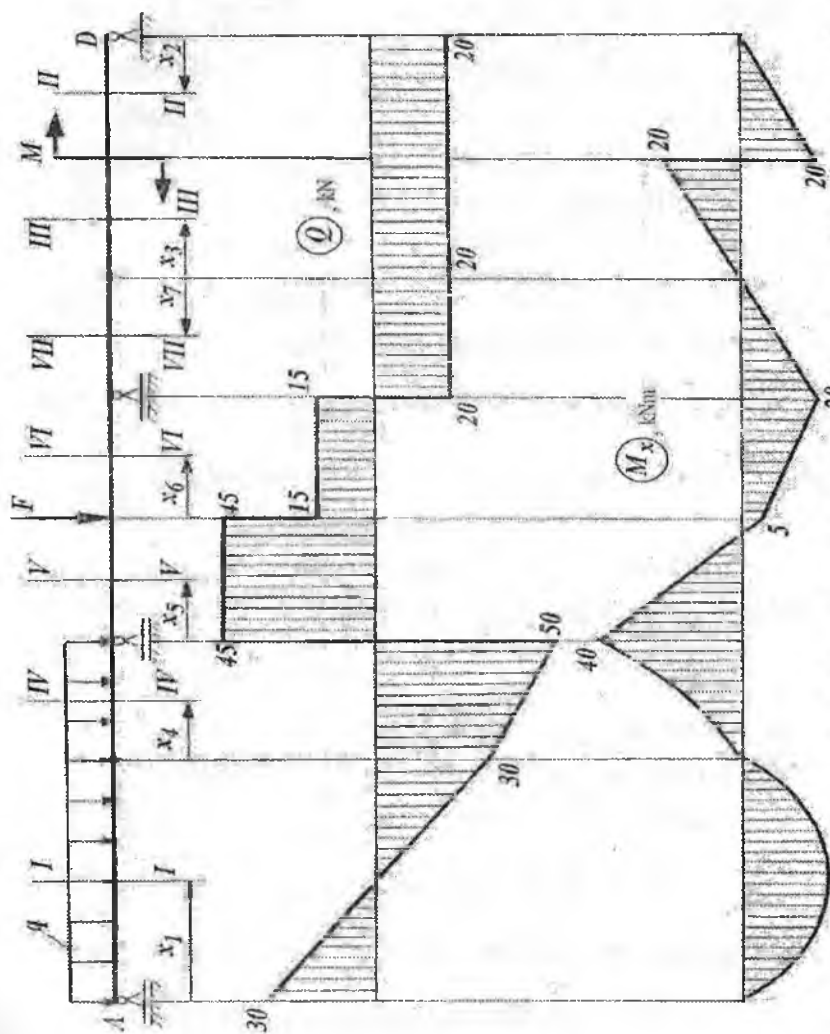
$x_1 = 0$  bo'lsa  $Q_1 = A = 30 \text{ kN}$  va  $M_{x_1} = 0$

$x_1 = 3m$  bo'lsa  $Q_1 = -30 \text{ kN}$  va  $M_{x_1} = 0$

$Q_1 = A - qx_1 = 0$ , ya'ni  $x_1 = \frac{A}{q} = \frac{30}{20} = 1,5m$  nuqtada nolga teng

bo'lib ishorasini o'zgartiradi.  $x_1 = 1,5m$  nuqtada

$M_{x_1} = M_{x_{\max}} = 22,5 \text{ kNm}$



20 - ~~15~~ sm. Sharnili balka uchun ko'ndalang kuch va egivchi moment epyurlari.



2- balka. Reaksiya kuchlarini hisoblaymiz:

$$\sum M_H = R_2 \cdot (\ell_3 - a) - M = 0 \quad \text{va} \quad R_2 = \frac{M}{(\ell_3 - a)} = \frac{40}{2} = 20kN$$

$$\sum M_2 = D \cdot (\ell_3 - a) - M = 0 \quad \text{va} \quad D = \frac{M}{(\ell_3 - a)} = \frac{40}{2} = 20kN$$

-  $Q$  va  $M_x$  tenglamalarini tuzamiz. II – II oraliq.

$$0 \leq x_2 \leq a_3 = 1m \quad Q_2 = -D = -20kN; \quad \text{va} \quad M_{x_2} = D \cdot x_2$$

$$x_2 = 0 \text{ bo'lsa } M_{x_2} = 0 \quad \text{va} \quad x_2 = 1m \text{ bo'lsa } M_{x_2} = 20kNm$$

III – III oraliq.  $0 \leq x_3 \leq 1m$

$$Q_3 = -R_2 = -20kN; \quad M_{x_3} = -R_2 \cdot x_3$$

$$x_3 = 0 \text{ bo'lsa } M_{x_3} = 0; \quad x_3 = 1m \text{ bo'lsa } M_{x_3} = -20kNm$$

3- balka. Reaksiya kuchlarini hisoblaymiz:

$$\sum M_B = R_1 \cdot a - F \cdot a + c \cdot \ell_7 + R_2 (\ell_2 + a) + q \cdot \frac{a^2}{2} = 0 \quad \text{va} \quad C = -35kN$$

$$\sum M_c = R_1 (a + \ell_2) + qa \left( \frac{a}{2} + \ell_2 \right) - B \cdot \ell_2 + F (\ell_2 - a) + R_2 \cdot a = 0 \quad \text{va}$$

$$B = 95kN$$

$$\text{Tekshirish: } \sum y - R_1 - qa + B - F + C + R_2 = 0$$

-  $Q$  va  $M_x$  tenglamalarini tuzamiz. IV – IV oraliq.  $0 \leq x_4 \leq a = 1m$

$$Q_4 = -R_1 - q \cdot x_1 \quad M_{x_4} = -R_1 \cdot x_4 - q \frac{x_4^2}{2}$$

$$x_4 = 0 \text{ bo'lsa } Q_4 = -R_1 = -30kN \quad M_{x_4} = 0$$

$$x_4 = 1m \text{ bo'lsa } Q_4 = -50kN \quad M_{x_4} = -40kNm$$

V – V oraliq.  $0 \leq x_5 \leq 1m \quad Q_5 = -R_1 - q \cdot a + B = 45kN$

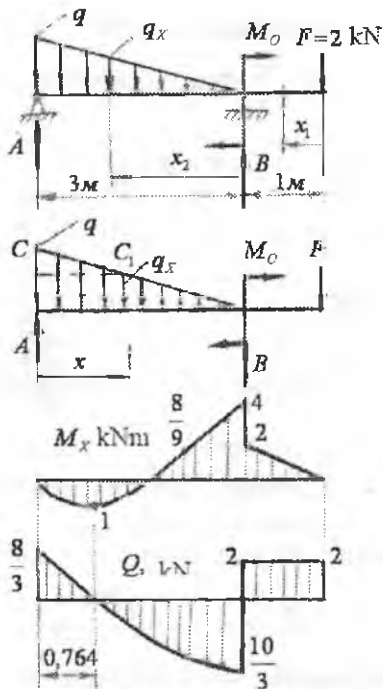
$$M_{x_5} = -R_1 \cdot (a + x_5) - qa \left( \frac{a}{2} + x_5 \right) + Bx_5$$

VI – VI oraliq.  $0 \leq x_6 \leq 1m \quad Q_6 = -R_1 - q \cdot a + B - F = 15kN$

$$M_{x_6} = -R_1 \cdot (2a + x_6) - qa \left( \frac{a}{2} + a + x_6 \right) + B(a + x_6) - Fx_6$$

VII – VII oraliq.  $0 \leq x_7 \leq a = 1m$

$$Q_7 = -R_2 = -20kN \quad M_{x_7} = R_2 \cdot x_7$$



21-rasm. Balkani yuklanish sxemasi va ko'ndalang kuch va eguvchi moment epyurlari

Eguvchi moment  $M_x$  va ko'ndalang kuch  $Q$  ni topish uchun balkaning uzunligi bo'ylab ikkita oraliqqa bo'lamiz.

I - I qirgim.

$$M_{x_1} = -Fx_1; \quad Q_1 = F_1 = 2kN;$$

$$x_1 = 0; \quad M_{x_1} = 0; \quad x_1 = 1m; \quad M_{x_1} = -2kNm$$

II - II qirgim.

$$0 \leq x_2 \leq 3m$$

$$M_{x_2} = -F(1+x_2) - M_0 + Bx_2 - q_x \cdot \frac{x_2}{2} \cdot \frac{x_2}{3} \quad Q_2 = F - B + q_x \cdot \frac{x_2}{2}$$

### Misol - 5. (21-rasm)

**Yechish.** Taqsimlangan kuch intensivligi  $q$  - balka uzunligi bo'yicha uchburchak qonuniyati bilan o'zgaradi.  $q$  - kuchlarni teng ta'sir qiluvchisi uchburchak yuzasi bilan o'lchanadi va  $A$  nuqtadan  $\frac{l}{3} = 1m$  masofada joylashadi.

Reaksiya kuchlari:

$$\sum M_A = 0$$

$$F \cdot 4 + M_0 - B \cdot 3 + q \cdot 3 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} \cdot 3 = 0$$

$$\sum M_B = 0$$

$$A \cdot 3 - \frac{q \cdot 3}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 3 + M_0 + F \cdot 1 = 0$$

tenglamalardan

$$B = \frac{16}{3} kN \quad A = \frac{8}{3} kN$$

Tekshirish:

$$\sum y = A - q \cdot \frac{3}{2} + B - F = 0;$$

$q_x$  - o'zgaruvchan intensiv yukni  $V$  tayanchdan  $x_2$  masofada joylashgan qiymati bo'lib,  $\frac{q}{3} = \frac{q_x}{x_2}$  yoki  $q_x = q \cdot \frac{x_2}{3}$  ifoda bilan topiladi.

$$M_{x_2} = -F(1+x_2) - M_0 + Bx_2 - q \frac{x_2^3}{18}; \quad Q_2 = F - B + q \frac{x_2^2}{6}$$

$$x_2 = 0; \quad M_2 = -4kNm; \quad Q_2 = -\frac{10}{3}kN;$$

$$x_2 = 1m; \quad M_{x_2} = -\frac{8}{9}kNm; \quad Q_2 = -\frac{16}{6}kN$$

$$x_2 = 3m; \quad M_{x_2} = 0; \quad Q_2 = -\frac{8}{3}kN; \quad Q = F - B + q \cdot \frac{x_2^2}{6} = 0$$

$$x_2 = 2,236m \text{ bo'lsa } Q_2 = 0; \quad M_{x_2} = M_{\max} = 1kNm$$

Ikkinchi oraliqda ko'ndalang kuch kvadrat parabola bo'yicha, eguvchi moment esa kubik parabola bo'yicha o'zgaradi

Oraliqlar boshlanishini  $A$  nuqtadan olish mumkin.

$$Q_{x_1} = A - q_x \cdot x_1 \frac{q - q_x}{2} \cdot x_1; \quad M_{x_1} = Ax_1 - q_x \frac{x_1^2}{2} - \frac{(q - q_x)x_1}{2} \cdot \frac{2}{3} x_1$$

$0 \leq x \leq 3m$  oraliq.  $x_1$  - oraliqda yuk yuzasi balandligi  $q_x$  ga teng to'g'ri to'rtburchakdan va balandligi bo'lgan  $q - q_x$  uchburchakdan iborat.

Katta va kichik uchburchaklarni o'xshashligida  $\frac{q}{3} = \frac{q_x}{3 - x_1}$

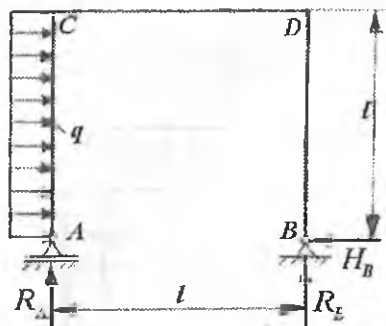
yoki  $q_x = q \frac{3 - x_1}{3} = q \left(1 - \frac{x_1}{3}\right)$  ifodani hisobga olsak,

$$M_{x_1} = Ax_1 - q \left(1 - \frac{x_1}{3}\right) \frac{x_1^2}{2} - \frac{\left[q - q \left(1 - \frac{x_1}{3}\right)\right] x_1}{2} \cdot \frac{2}{3} x_1 = Ax_1 - q \frac{x_1^2}{2} +$$

$$+ q \frac{x_1^3}{6} - q \frac{x_1^3}{9} = Ax_1 - q \frac{x_1^2}{2} + q \frac{x_1^3}{18};$$

$$Q_1 = A - qx_1 + q \frac{x_1^2}{3} - \frac{\left[q - q \left(1 - \frac{x_1}{3}\right)\right] x_1}{2} = A - qx_1 + q \frac{x_1^2}{6}$$

## Ramalarda ichki kuch faktorlarini aniqlash



22-rasm. Ramani yuklanish sxemasi

Misol -1. Ramani sterjenlari uchun buylama kuch -  $Q$  va eguvchi moment -  $M_x$  - epyuralari qurilsin:

$$\ell = 4m \text{ va } q = 2 \frac{m}{M}$$

Yechish. 1) Reaksiya kuchlarni aniqlaymiz.

$$\sum x = 0 \quad q\ell - H_B = 0,$$

Bu yerdan

$$H_B = q\ell = 8m$$

$$\sum y = 0; \quad -R_A + R_B = 0$$

bu yerdan  $R_A = R_B$

$$\sum M_B = 0; \quad R_A \cdot \ell - q \frac{\ell^2}{2} = 0.$$

Bu yerdan 
$$R_A = \frac{q\ell}{2} = 4m$$

2) Buylama kuch - rama sterjenining buylama o'qiga barcha tashqi kuchlar proeksilarining yig'indisiga teng (23-rasm).

I - I qirqim (AC- oraliq)  $N_1 = R_A = 4m$  (cho'zilish).

II - II qirqim (CD- oraliq)  $N_2 = -q\ell = -8m$  (siqilish)

III - III qirqim (BD- oraliq)  $N_3 = -R_B = -4m$  (siqilish)

3) Ko'ndalang kuch - tashqi kuchlarni qirqim tekisligiga proeksiyalarining yig'indisiga teng (23-rasm).

Agar, rama sterjenining qirqilgan kesim markaziga nisbatan kesilgan qismni soat strelkasining harakat yo'nalishiga mos ravishda aylantirsa, ko'ndalang kuch musbat ishorali.

I - I qirqim.  $Q_1 = -qy_1$

Agar  $y_1 = 0$  va  $Q_1 = 0$ ; agar  $y_1 = \ell$ ;  $Q_1 = -q\ell = -8m$

II - II qirqim.  $Q_2 = -R_A = -4m$

III - III qirqim.  $Q_3 = H_B = 8m$

4) Eguvchi moment tenglamalari (23-rasm).

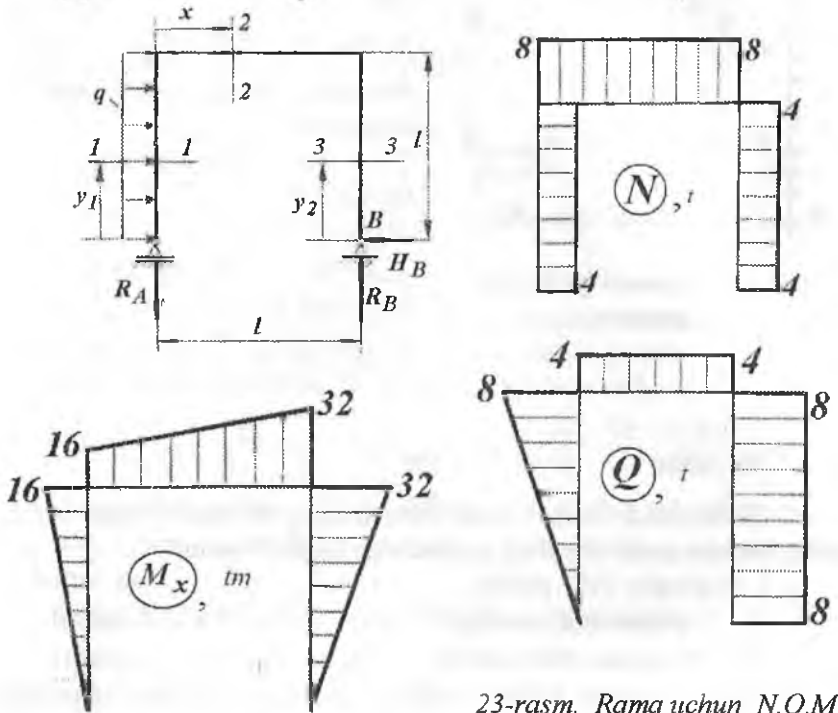
I - I qirqim.  $M_{x_1} = -q \frac{y_1^2}{2} \quad 0 \leq y_1 \leq \ell = 4m$

$y_1 = 0$  bo'lsa  $M_{x_1} = 0$  va  $y_1 = \ell$  bo'lsa  $M_{x_1} = -16m$ .

$$\text{II - II qirqim. } M_{x_2} = -R_A x - q \frac{\ell^2}{2} \quad 0 \leq y_2 \leq 4m$$

$$\text{III - III qirqim. } M_{x_3} = -H_B \cdot y_2 \quad 0 \leq y_2 \leq \ell$$

$$y_2 = 0 \text{ bo'lsa } M_{x_3} = 0 \text{ va } y_2 = \ell \text{ bo'lsa } M_{x_3} = -32tm$$



23-rasm. Rama uchun  $N, Q, M$  epyurlari

Misol-2. Berilgan rama uchun (24-rasm, a)  $N, Q, M$  epyurlari qurilsin.

**Yechish.** Ramani  $C, B, D$  tayanchlarida to'rtta  $C, B, D_x, D_y$  - reaksiya kuchlari hosil bo'ladi. Agar ramada  $K$ - shamir o'rnatilmaganida masala statik noaniq ko'rinishda bo'lar edi.  $K$ - shamirdan bir tomonda joylashgan barcha kuchlarni  $K$  nuqtaga nisbatan kuch momentlarining yig'indisi nolga teng, chunki shamirlardan momentlar uzatilmaydi. Muvozanat shartlari:

$$\sum y = B + D_y - q \cdot 1,5 = 0 \quad (\text{a})$$

$$\sum x = -C - D_x + q \cdot 3 = 0 \quad (b)$$

$$\sum M_C = D_y \cdot 5,5 - D_x \cdot 3 - M + q \cdot 3 \cdot 1,5 - q \cdot 1,5 \cdot 4,75 = 0 \quad (e)$$

DBK qismning  $K$  nuqtasiga nisbatan kuch momenti

$$\sum M_K = D_y \cdot 1,5 - D_x \cdot 2 - M - q \cdot 3 \cdot 1,5 = 0 \quad (u)$$

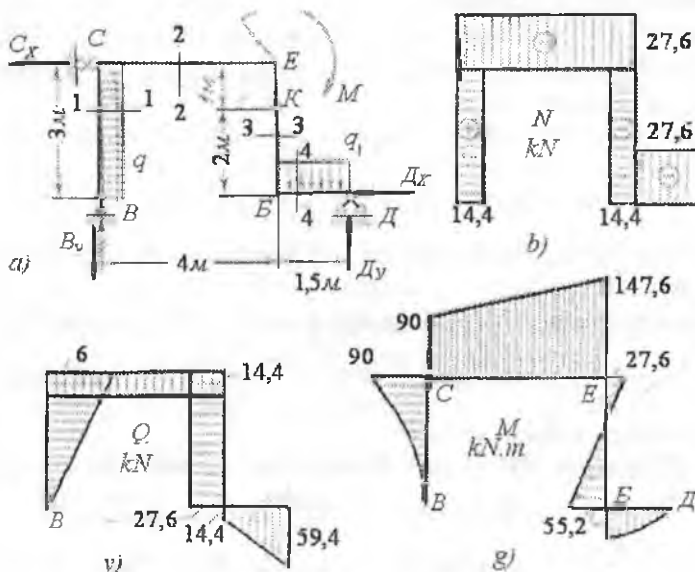
a,b,e,u – tenglamalar sistemasini yechib quyidagilarni topamiz:

$$D_y = 59,4 \text{ kN}; \quad D_x = 27,6 \text{ kN}; \quad C = 32,4 \text{ kN}$$

Ramani to'rtta oraliqqa bo'lamiz va har bir oraliq uchun  $N, Q, M$  tenglamalarini tuzamiz.

**I – I qirg'iqim (BC- oraliq)**  $0 \leq z \leq 3m$

$$N_1 = B = 14,4 \text{ kN} \quad Q = -q \cdot z \quad M_1 = -\frac{q \cdot z^2}{2}$$



24-rasm. Ramada ichki kuch faktorlarini aniqlash: a) ramani yuklanish sxemasi; b) ichki bo'ylama kuch epyurasi; v) ko'ndalang kuch epyurasi; g) eguvchi moment epyurasi

$N_1$  musbat ishorali va o'zgarmas.  $Q_1$  kuch to'g'ri chiziqli qonuniyat bilan  $M_1$  esa parabola qonuniyati bilan o'zgaradi.

$$z_1 = 0 \text{ bo'lsa } Q_1 = 0 \text{ va } M_1 = 0$$

$$z_1 = 3m \text{ bo'lsa } Q_1 = 60kN \text{ va } M_1 = -90kNm$$

Moment  $M_1$  vertikal brus o'qi bo'yicha parabola qoidasi bilan o'zgaradi va  $V$  nuqtada nolga teng,  $S$  nuqtada minus  $90 kNm$ . Eguvchi moment BC brusning tashqi tomonini cho'zadi, shuning uchun  $M_1 = -90kNm$  momentni vertikal brus C nuqtasidan chap tomonda joylashtiramiz.

**II – II qirqim (CE-oraliq).** C nuqtadan  $z$  masofada o'tkaziladi  $0 \leq z \leq 4m$   $N_2 = -C + 3q = 27,6kN$   $Q_2 = -B = -14,4kN$  va

$$M_2 = -B \cdot z - \frac{q \cdot z^2}{2}$$

Bu oraliqda  $N_2$  va  $Q_2$  kuchlar o'zgarmas.  $N_2$  kuch cho'zuvchi va  $Q_2$  kuch manfiy ishorali.

$$z_1 = 0 \text{ bo'lsa } M_2 = -90kNm \text{ va } z_1 = 4m \text{ bo'lsa } M_2 = -147,6kNm$$

**III – III qirqim (BE-oraliq)** BE vertikal brusda B nuqtadan  $z$  masofada o'tkaziladi  $0 \leq z \leq 3m$

$$N_3 = -D_y + 1,5q = -14,4kN \quad Q_3 = D_x = 27,6kN$$

$$M_3 = D_y \cdot 1,5 - D_x \cdot z - \frac{q \cdot 1,5^2}{2} = 55,2 - D_x \cdot z$$

$N_3$  va  $Q_3$  kuchlar o'zgarmas.  $N_3$  kuch siquvchi va  $Q_3$  kuch musbat ishorali.

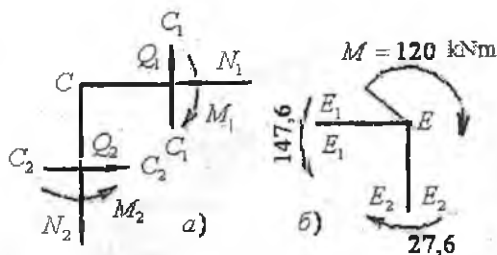
Eguvchi moment to'g'ri chiziqli qonuniyat bilan o'zgaradi va BE vertikal brus o'qini B nuqtadan  $z = \frac{55,2}{D_x} = \frac{55,2}{27,6} = 2m$  masofada kesib o'tadi, ya'ni nolga teng bo'ladi.

**IY-IY qirqim (DE-oraliq).** D nuqtadan  $z$  masofada o'tkaziladi  $0 \leq z \leq 1,5m$   $N_4 = -D_x = -27,6kN$   $Q_4 = -59,4 + q \cdot z$

$$M_4 = D_y \cdot z - \frac{q \cdot z^2}{2}. \quad z_4 = 0 \text{ bo'lsa, } D \text{ nuqtada } Q_4 = -59,4, \quad M_4 = 0$$

$$z_1 = 1,5m \text{ bo'lsa } Q_4 = -14,4kN \text{ va } M_4 = 55,2kNm$$

Bu oraliqda  $N_4$  va siquvchi.  $Q_4$  kuch to'g'ri chiziq qonuniyatida o'zgaradi manfiy ishorali. Eguvchi momentning ekstremal qiymati B nuqtada.  $M_4$  epyurasi BD brus o'qining pastki cho'ziladigan tomoniga quriladi (24-rasm).



25-rasm.

$M$  - epyurasini tekshirish.

Eguvchi moment epyurasining to'g'riligi rama uzellarining muvozanatini tekshirish bilan baholanadi (25-rasm).

C- uzal. Ushbu uzalga cheksiz yaqin bo'lgan  $C_1 - C_1$  va  $C_2 - C_2$  kesimlardagi  $N_1, Q_1, M_1$  va  $N_2, Q_2, M_2$  ichki kuch

faktorlari ko'rsatilgan.  $C_1 - C_1$  va  $C_2 - C_2$  kesimlarni tashqi tomonlari cho'ziladi, shuning uchun  $M_1$  va  $M_2$  momentlar C uzelni ichki tomoniga yo'naladi. Uzelni muvozanat tenglamasi  $\sum M_C = 0$  va  $M_1 - Q_1 \cdot dz - Q_2 \cdot dz - M_2 = 0$

Bu yerda  $-Q_1 \cdot dz$  va  $-Q_2 \cdot dz$  - lar cheksiz kichik miqdor bo'lganligi uchun ularni tenglamadan chiqarib tashlaymiz. Unda  $M_1 - M_2 = 90 - 90 = 0$  muvozanat shart bajarildi.

E- uzal. Ushbu uzelni  $E_1 - E_1$  kesimda  $147,6 \text{ kNm}$  moment va  $A_2 - A_2$  kesimiga  $27,6 \text{ kNm}$  moment ta'sir qiladi. E - uzelni tashqi tomoni cho'ziladi va bu uzalga tashqi  $120 \text{ kNm}$  moment qo'yilgan.  $\sum M_E = -M - M_3 + M_2 = 0$  va  $-120 - 27,6 + 147,6 = 0$

Misol -3. Berilgan rama uchun  $M$  va  $Q$  epyuralari qurilsin.

(26-rasm)  $F = 20 \text{ kN}$ ;  $M_0 = 20 \text{ kNm}$ ,  $a = 1 \text{ m}$ ,  $q = 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Yechish. Reaksiya kuchlarini topamiz (26-rasm, a).

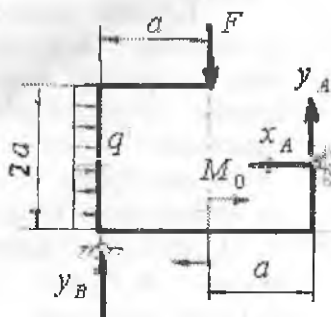
$$\sum x = -x_A + q \cdot 2a = 0 \text{ yoki } x_A = 2qa = 40 \text{ kN}$$

$$\sum M_B = F \cdot a + q \cdot 2a \cdot \frac{2a}{2} + M - y_A \cdot 2a - x_A \cdot a = 0 \text{ va } y_A = 20 \text{ kN}$$

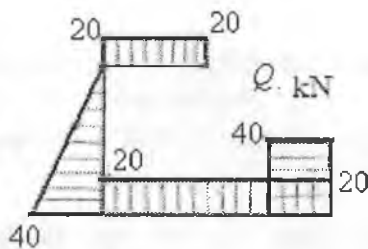
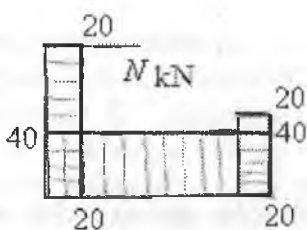
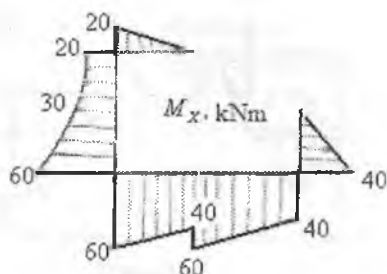
$$\sum M_A = y_B \cdot 2a + M - F \cdot a = 0 \text{ va } y_B = 0$$



a)



b)



26-rasm. Ramada ichki kuch faktorlarini aniqlash:

a) ramani yuklanish sxemasi;

b) ichki bo'ylama kuch, ko'ndalang kuchva eguvchi moment epyurlari

$M$  va  $Q$  tenglamalarini tuzamiz: I – I qirg'im.  $0 \leq x_1 \leq 1m$

$$M_{x_1} = F' \cdot x_1 \quad \text{va} \quad Q_1 = F' = 20kN$$

$$x_1 = 0; M_{x_1} = 0 \quad \text{va} \quad x_1 = 1m; \quad M_{x_1} = 20kNm$$

II – II qirg'im.  $0 \leq y_1 \leq 2m$

$$M_{y_1} = F \cdot 1 + q \frac{y_1^2}{2} \quad \text{va} \quad Q_2 = qy_1 \quad N_2 = -F = -20kN$$

$$y_1 = 0; \quad M_{x_1} = 20 \text{ kNm}; \quad Q_2 = 0;$$

$$y_1 = 1 \text{ m}; \quad M_{x_1} = 30 \text{ kNm}; \quad Q_2 = 20 \text{ kN};$$

$$y_1 = 2 \text{ m}; \quad M_{x_1} = 60 \text{ kNm}; \quad Q_2 = 40 \text{ kN}$$

III – III qirqim.  $0 \leq y_2 \leq 1 \text{ m}$

$$M_{x_3} = x_A \cdot y_2; \quad Q_3 = -x_F = -40 \text{ kN} \quad \text{va} \quad N_2 = 20 \text{ kN}$$

$$y_2 = 0; \quad M_{x_3} = 0 \quad \text{va} \quad y_2 = 1 \text{ m}; \quad M_{x_3} = 40 \text{ kNm}$$

IV – IV qirqim.  $0 \leq x_2 \leq 1 \text{ m}$

$$M_{x_4} = x_A \cdot 1 + y_A x_2; \quad Q_4 = -y_A = -20 \text{ kN}; \quad N_4 = -x_A = -40 \text{ kN}$$

$$x_2 = 0; \quad M_{x_4} = 40 \text{ kNm} \quad \text{va} \quad x_2 = 1 \text{ m}; \quad M_{x_4} = 60 \text{ kNm}$$

V – V qirqim.  $0 \leq x_3 \leq 1 \text{ m}$

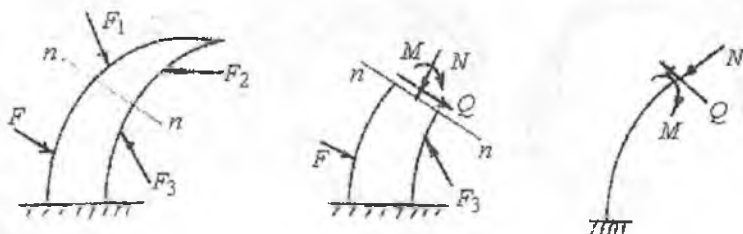
$$M_{x_5} = x_A \cdot 1 + y_A(x_3 + 1) - M; \quad \text{va} \quad Q_5 = -y_A = -20 \text{ kN}$$

$$\text{va} \quad N_5 = -x_A = -40 \text{ kN} \quad x_3 = 0; \quad M_{x_5} = 40 \text{ kNm}$$

$$x_3 = 1 \text{ m}; \quad M_{x_5} = 60 \text{ kNm}$$

### Egri sterjnlarda ichki kuch faktorlarini aniqlash

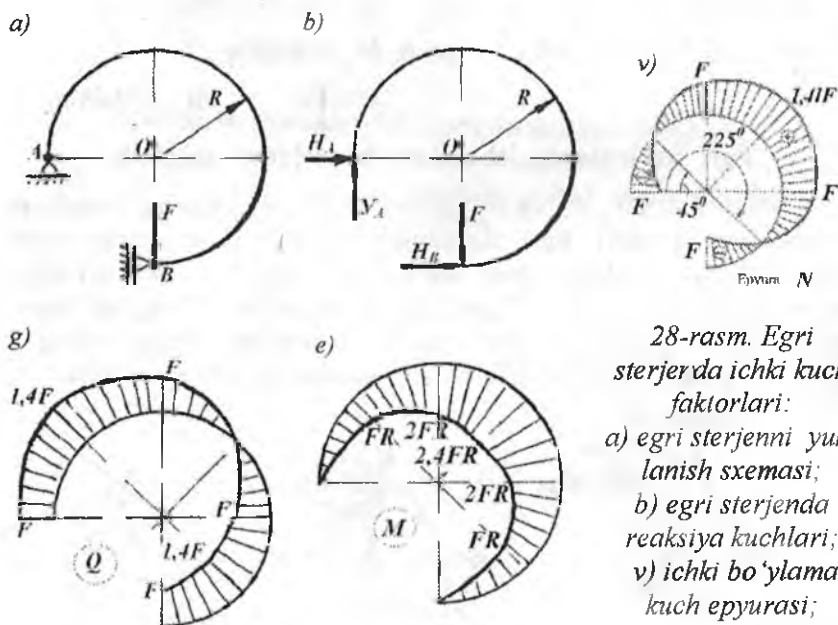
Tashqi  $F_1$ ;  $F_2$ ;  $F_3$  va  $F_4$  kuchlar bilan yuklangan egri sterjenni o'rganamiz (27-rasm). Egri sterjenning ko'ndalang kesimidagi ichki kuch omillarini aniqlash uchun, uni tekislik bilan kesib ikki bo'lakka ajratamiz. Sterjenning I bo'lagini ajratib olsak II bo'lagining muvozanat holati buziladi. II qismni muvozanatini ta'minlash uchun I qismning ta'sirini II qismning kesilgan yuzasiga keltirib qo'yamiz.



27-rasm. Egri sterjenda ichki kuch faktorlari

To'g'ri sterjenlarning egilishidan ma'lumki, har qanday sterjenni egilishida bir qismni ikkinchi qismga ta'siri sifatida eguvchi moment  $M$ , ko'ndalang kuch  $Q$  va bo'ylama kuch  $N$  qabul qilingan. Demak, egri sterjenni 1 - qismining 2 - qismiga ta'siri sifatida  $M$ ,  $Q$  va  $N$  ichki kuch omillari qabul qilinadi. Eguvchi moment  $M$ , sterjenning o'rganilayotgan qismidagi tashqi kuchlardan uning kesim yuzasining og'irlik markaziga nisbatan olingan momentlarining algebraik yig'indisiga teng. Agar  $M$  sterjenning egriligini kattalashtirsa, ishorasi musbat (27-rasm), teskari holatda manfiydir. Bo'ylama kuch cho'zuvchan bo'lsa ishorasi musbat. Bo'ylama kuch  $N$  ni musbat ishorasidan soat strelkasi yo'nalishi bo'yicha  $90^\circ$  ga aylantirganda hosil bo'lgan ko'ndalang kuch  $Q$  ning ishorasi musbat. Ko'ndalang kuch  $Q$  egri sterjenning ko'ndalang kesimiga o'tkazilgan urinma tekislikka o'rganilayotgan qismidagi barcha tashqi kuchlar proeksiyalarining algebraik yig'indisiga teng.

**Misol.** Egri sterjen uchun ichki kuch faktorlarining epyurlari qurilsin (28-rasm, a).



28-rasm. Egri sterjerda ichki kuch faktorlari:  
 a) egri sterjenni yuklanish sxemasi;  
 b) egri sterjenda reaksiya kuchlari;  
 v) ichki bo'ylama kuch epyurasi;  
 g) ko'ndalang kuch  
 ea e) eguvchi moment epyurasi

**Yechish.** Tayanch reaksiyalarini topamiz:  $\sum M_A = FR - H_B R = 0$

$$\sum X = H_A + H_B = 0 \quad \text{bu yerdan} \quad H_A = -H_B = F$$

$$\sum Y = -F + Y_A = 0 \quad \text{bu yerdan} \quad Y_A = H_A = F$$

Egri sterjen bitta yuklanish oraliqiga ega.

$$N = H_A \sin \varphi - Y_A \cos \varphi = F(\sin \varphi - \cos \varphi)$$

$$Q = H_A \cos \varphi + Y_A \sin \varphi = F(\sin \varphi + \cos \varphi)$$

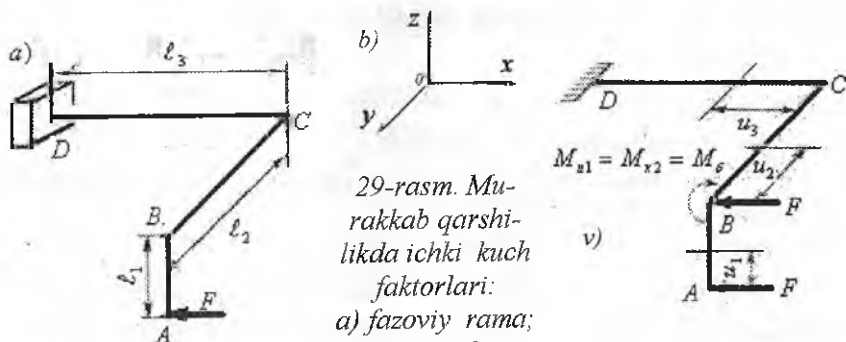
$$M = -H_A \cdot y_0 - O_A x_0 = -FR \sin \varphi + FR(1 - \cos \varphi) = FR(1 + \sin \varphi - \cos \varphi)$$

Ichki kuch faktorlarini  $\varphi$  burchakning turli qiymatlarida aniqlaymiz va epyuralarini quramiz. Eguvchi momentni eng katta qiymati  $A$  tayanch nuqtaga nisbatan  $135^\circ$  burchak ostida joylashgan kesimda hosil bo'ladi. Ushbu nuqtada ko'ndalang kuch nolga teng.

### Murakkab qarshilikda ichki kuch faktorlarini aniqlash

Qurilish inshootlarining ayrim elementlari, mashina va mexanizmlardagi uzatmalarda har xil tekislikda yo'nalgan kuchlar sistemasi hosil bo'ladi. Masalan, stropila, siniq sterjenlar, tishli yoki chervyakli uzatmalar. Bunday konstruksiyalarning kesim yuzasida bir vaqtning o'zida eguvchi moment, burovchi moment, bo'ylama kuch, ko'ndalang kuch ko'rinishidagi ichki kuch faktorlari hosil bo'ladi. Ichki kuch faktorlarini kesish usulidan foydalanib topamiz.

**Misol.** Berilgan siniq sterjen uchun (29-rasm) ichki kuch faktorlari aniqlansin va epyurlari qurilsin.



29-rasm. Murakkab qarshilikda ichki kuch faktorlari:

- a) fazoviy rama;
- b) fazoviy koordinata o'qlari;
- v) ichki kuchlarni aniqlash

**Yechish.** Koordinata sistemasini 29- rasm, 6-da ko'rsatilganidek qabul qilamiz. Har bir sterjen uchun tegishli o'qqa nisbatan eguvchi moment tenglamasini kesimning bir tomonida qolgan tashqi kuchlardan shu kesim markaziga nisbatan olingan momentlarning algebraik yig'indisi kabi qaraymiz. Shuning uchun har bir sterjenning uchidan kesimgacha bo'lgan masofalami  $u, u_2, u_3$  harflari orqali belgilaymiz. Eguvchi moment sterjenning tanlangan koordinata sistemasining qaysi tekisligida yotganinini aniqlaymiz. Ayrim hollarda ushbu eguvchi moment ikkinchi sterjen uchun burovchi moment bo'ladi.

Kesuvchi kuch har qaysi sterjenning o'z o'qiga nisbatan tik kesimning o'ng tomonidagi kuch proeksiyalarining algebraik yig'indisiga teng. Bo'ylama kuch har qaysi sterjenning kesimidan o'ng tomonda qolgan kuchlardan shu sterjen o'qiga proeksiyalarining algebraik yig'indisiga teng.

$$AB - \text{oraliq. } 0 \leq u_1 \leq \ell_1; \quad M_1 = -Fu_1 \quad \text{va} \quad Q_1 = -F$$

$$u_1 = 0 \quad \text{bo'lsa} \quad M_1 = 0 \quad \text{va} \quad u_1 = \ell_1 \quad \text{bo'lsa} \quad M_1 = -F\ell_1$$

$AB$  - oraliqda eguvchi moment chiziqli qonuniyat bilan o'zgarada, kesuvchi kuch esa o'zgarmas. Eguvchi moment epyurasi sterjenning egilishidan hosil egrilikning tashqi tomoniga chiziladi.

$$BS - \text{oraliq. } 0 \leq u_2 \leq \ell_2$$

Eguvchi momentni topish uchun  $F$  kuchni o'z - o'ziga parallel ravishda  $B$  nuqtaga ko'chiramiz. Bunda  $xoz$  ga parallel tekislikda yotgan moment  $M_{xz} = M_\delta = F\ell_1$  qo'shiladi. Bu moment  $BC$  sterjenning kesimida yotganligi sababli uni buraydi. Ko'chirilgan  $F$  kuch esa  $BC$  sterjenni  $yoX$  tekisligida yotadi va uni egadi.

$$M_{yx} = M_{u_2} = Fu_2$$

$$u_2 = 0 \quad \text{bo'lsa} \quad M_{u_2} = 0 \quad \text{va} \quad u_2 = \ell_2 \quad \text{bo'lsa} \quad M_{u_2} = -F\ell_2$$

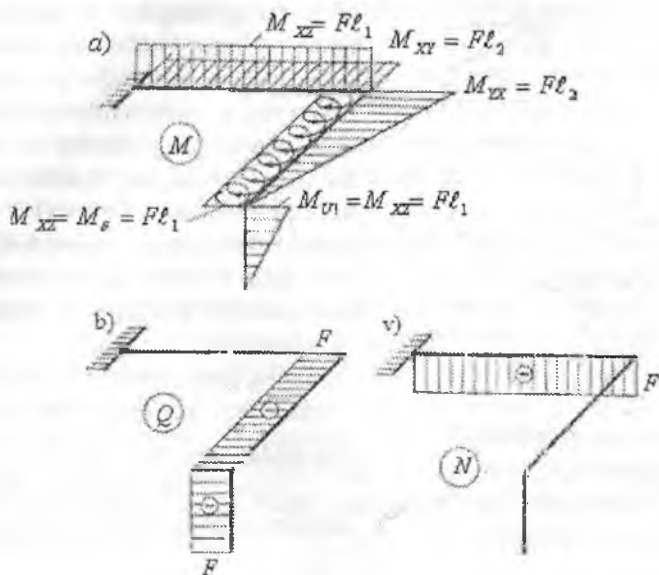
$$Q_2 = -F \quad \text{kesuvchi kuch o'zgarmas.}$$

$BC$  - oraliqdagi burovchi moment epyurasi burama shtrix bilan  $BC$  sterjeni chap tomonida ko'rsatilgan.

$$CD - \text{oraliq. } 0 \leq u_3 \leq \ell_3$$

$F$  kuch bilan  $M_{xz} = F\ell_1$  momentlari o'z-o'ziga parallel ravishda  $C$  nuqtaga ko'chiriladi. U holda  $CD$  sterjen bo'ylab yo'nalgan  $F$  kuch bilan  $M_{xz} = F\ell_1$  va  $M_{u_2} = -F\ell_2$  momentlari qo'yiladi. Ushbu momentlar  $CD$  sterjenni  $xoz$  va  $yoX$  tekisliklarida egadi.  $F$  kuch  $CD$

sterjen o'qiga parallel bo'lganligi uchun bu oraliq burilmaydi.  
 $N_{cd} = -F$  siquvchi bo'ylama kuch.



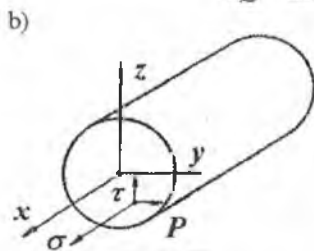
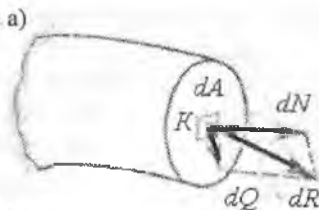
30-rasm. Rama uchun - a) eguvchi moment, b) ko'ndalang kuch va v) bo'tslama kuch epyurlari.

### 3. KU CHLANISH

Ichki kuchning qiymati va yo'nalishi brus ko'ndalang kesimining turli nuqtalarida har xil bo'lishi mumkin. Kesimning ma'lum nuqtasidagi yoki kesim yuzasi bo'ylab ichki kuch qiymatining tarqalish qonuniyatini aniqlash uchun kuchlanish tushunchasini kiritamiz.

$K$  - nuqta joylashgan elementar yuzaning to'liq kuchlanishi  $R$  shu nuqtaga qo'yilgan ichki kuch  $dR$  ning elementar yuzaga  $dA$  ga nisbatiga tengdir (31-rasm, a).

$$P = \lim_{dA \rightarrow \infty} \frac{dR}{dA} \quad (8)$$



31-rasm. Kuchlanish:  
a) elementar yuzadagi kuchlanishlar; b) kesim yuzadagi kuchlanishlar;

Kuchlanishning o'lchov birligi  $Pa$  (Paskal). 1 Nyuton kuchning  $1m^2$  yuzaga nisbatan kuchlanishi bo'lib  $1 Pa$  ga tengdir. To'liq kuchlanish  $R$  ning ko'ndalang kesimning yuzasi bo'ylab yo'nalgan ikkita tashkil qiluvchilarga ajratamiz. Ko'ndalang kesim normali bo'ylab yo'nalgan kuchlanishni normal kuchlanish ( $\sigma$ ) va ko'ndalang kesim yuzaga urinma holatda yo'nalgan kuchlanishni urinma kuchlanish ( $\tau$ ) deb qabul qilamiz (31-rasm, b).

To'liq kuchlanish  $R$  bilan  $\sigma$  va  $\tau$  orasidagi bog'lanish quyidagicha ifodalanadi:  $P = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2}$  (9)

Agar  $dR$  kuchni ikkita, ya'ni bo'ylama  $dN$  va  $dQ$

tashkil etuvchilarga ajratsak, normal va urinma kuchlanishlarni topamiz:  $\sigma = \lim_{dA \rightarrow \infty} \frac{dN}{dA}$  va  $\tau = \lim_{dA \rightarrow \infty} \frac{dQ}{dA}$

Serjen ko'ndalang kesimida paydo bo'ladigan kuchlanishlar bilan ichki kuchlar orasidagi bog'lanishni aniqlaymiz. Buning uchun kesim yuzasida cheksiz kichik yuzacha  $dA$ -ni ajratamiz va unga  $\sigma \cdot dA$ ;  $\tau_y \cdot dA$   $\tau_x \cdot dA$  elementar kuchlarni qo'yamiz. Bu elementar kuchlarning proeksiyalarini hamda ularning  $Ox$ ,  $Oy$ ,  $Oz$  o'qlarga nisbatan momentlaridan quyidagilarni topamiz:

$$N_x = \int_A \sigma \cdot dA$$

$$M_x = \int_A y \cdot \sigma \cdot dA$$

$$Q_x = \int_A \tau_x \cdot dA$$

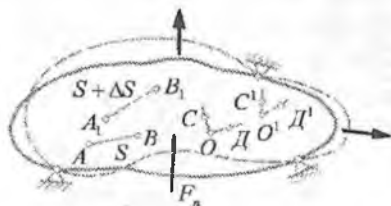
$$M_y = \int_A x \cdot \sigma \cdot dA$$

$$Q_o = \int_A \tau_o \cdot dA$$

$$M_z = \int_A (\tau_y \cdot x - \tau_x \cdot y) dA$$

#### 4. DEFORMATSIYA VA KO'CHISH

Tabiatda uchraydigan materiallarni absolyut qattiq deb bo'lmaydi, tashqi kuch ta'sirida qisman bo'lsa ham shaklini, o'lchamini o'zgartirish xususiyatiga ega. Bu o'zgarishlar aslida juda kichik miqdor bo'lib maxsus priborlarda o'lchab topilishi mumkin, jismda ichki kuchlarni taqsimlanishiga ta'sir qiladi. Tashqi kuch ta'siridan jism zarralarining o'zaro joylashuvi o'zgaradi, natijada uning o'lchamlari, shakli va hajmi o'zagaradi, lekin bunda uning tarkibidagi moddalarning umumiy miqdori o'zgarmaganligi tufayli, uning massasi o'zgarmasdan qoladi. Bunday holda jism deformatsiyalanadi deyiladi. Masalan, brus cho'zilganda uning uzunligi, egilishda esa shakli; ko'ndalang kesim yuzasi doiraviy bo'lgan valning buralishida – hajm o'lchamlari va shakli o'zgarmasa ham elementlar zarralarining o'zaro joylashuvi o'zgaradi. Shunday qilib, deformatsiya deganda, odatda, jism o'lchamlari va shaklining o'zgarishiga olib keluvchi jism zarralari o'zaro joylashuvi holatining o'zgarishi tushuniladi. Materiallar qarshiligida «deformatsiya» so'zi ikki xil ma'noda qo'llanadi: shakl o'zgarishi va miqdor o'zgarishi. **Tashqi kuch ta'sirida jismdagi shakl yoki geometrik o'lchamni o'zgarishiga deformatsiya deyiladi.**



32-rasm. Deformatsiyalarni tasvirlash

Shakl o'zgarishi natijasida (34-rasm)  $A$  va  $B$  nuqtalar orasidagi masofa  $\Delta S$  - ga,  $ODC$  burchak esa  $O'D'C'$  burchakka o'zgaradi.  $\Delta S$  - masofa –  $A$  va  $B$  nuqtalar oralig'ining bir to'g'ri chiziq tekisligida ortishi yoki kamayishi yuz berganligi uchun chiziqli ko'chish deb yuritiladi.  $O$  nuqta atrofida

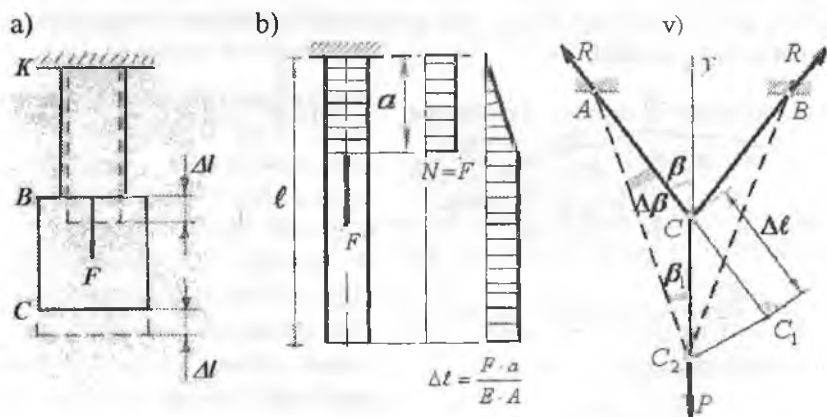
$C$  va  $D$  nuqtalarning o'zaro yaqinlashishi yoki uzoqlashishi burchakli ko'chish deyiladi. Chiziqli va burchakli ko'chishlarning bir nuqta atrofidagi kombinatsiyasi shu nuqtaning deformatsiyalangan holatini aniqlaydi.

Deformatsiyalar oddiy va murakkab turlarga bo'linadi. Oddiy deformatsiyalar: cho'zilish va siqilish; siljish; buralish va egilish. Murakkab deformatsiyalar: qiyshiq egilish; markazlashmagan cho'zilish va siqilish; buralishning egilish bilan birgalikdagi ta'siri va h.k. Elastik



va qoldiq deformatsiyalar mavjud. Tashqi kuch ta'siri yo'qotilgandan keyin boshlang'ich o'lchamlari yoki shakli tiklangan sterjen deformatsiyasi – elastik, aks holda qoldiq deformatsiya bo'ladi. Qoldiq deformatsiyaning paydo bo'lishi jismining plastikliigi bilan bog'liqdir. Agar tashqi kuch ta'siri olingach, deformatsiya tamomila yo'qolsa, jism absolyut elastik deyiladi. Materiallarning elastikliigi barcha yo'nalishda bir xil bo'lsa, bunday jism izotrop jism deyiladi.

Tashqi kuch ta'sirida  $AB$  oraliqning deformatsiyalanishi natijasida  $BC$  oraliq ko'chadi (33-rasm,a,b),  $BC$  oraliq deformatsiyalanmaydi. Demak, deformatsiya ko'chish emas. Ko'chishni aniqlashni geometrik usuli (33-rasm, v). Ushbu usul geometrik o'lchamlari ko'chishidan ancha katta bo'lgan holatlarda va qurilish konstruksiyalarida tadbqiq etiladi. Masalan,  $A, B$  nuqtalarda tayanchlar vositasida ushlab turilgan va  $C$  nuqtada o'zaro tutashgan, bikkliklari bir xil bo'lgan ikkita sterjen kuch ta'sirida.  $C$  nuqta kuch yo'nalishida  $C_2$  nuqtaga ko'chadi. Unda ikkala sterjenlar ham punktir chiziq bo'ylab uzayadi.



33-rasm. Deformatsiya va ko'chish: a) pog'onali brusda ko'chish va deformatsiya; b) o'zgarmas kesimli brusda bo'ylama kuch va uzayish epyurlari e) sterjenlar sistemasida deformatsiyalarni bog'lanishi

$AC$  sterjenni uzayishi chizmada  $CC_1 = \Delta l$  kesma bilan ko'rsatilgan. Shunday usul bilan  $BC$  sterjenni ham uzayishini belgilash mumkin. Lekin ikkala sterjenlarning ham uzayishlari elastik va cheksiz kichik

miqdor. Shuning uchun burchak  $\beta \approx \beta_1$  deb qabul qilamiz.  $\Delta l$  uzayishni  $SS_2 = \delta$  ko'chish bilan bog'lanishini uchburchak  $SS_1S_2$  dan aniqlaymiz. Uchburchak  $SS_1S_2$  dan  $\frac{CC_1}{CC_2} = \cos \beta$  yoki

$$CC_2 = \delta = \frac{CC_1}{\cos \beta} = \frac{\Delta l}{\cos \beta}$$

## 5. MATERIALLAR QARSHILIGIDA QABUL QILINGAN GIPOTEZALAR

Konstruksiya elementlarini mustahkamlikka, ustuvorlikka va birklikka hisoblashni oddiylashtirish va soddalashtirish uchun materiallar qarshiligida ayrim gipotezalar qabul qilingan.

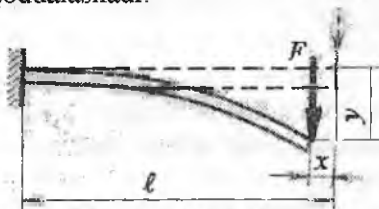
1. Konstruksiya materiali bir jinsli va g'ovaksiz, ya'ni uning xossasi elementning shakli va o'lchamlariga bog'liq emas deb qaraladi.
2. Konstruksiya materiali izotrop, ya'ni uning xossasi barcha yo'nalishda bir xil deb qabul qilinadi. Bu cheklanish anizotrop materiallarda ishlatilmaydi. Masalan: yog'och.
3. Konstruksiya materiali elastiklik xossasiga ega deb qaraladi, ya'ni tashqi kuch ta'siri yo'qotilganda element o'zining boshlang'ich shakli va o'lchamlarini qayta tiklaydi. Elastik jism deformatsiyasi faqat kuchga bog'liq bo'lib, kuchlarning quyilish tartibiga bog'liq emas.
4. Konstruksiya materialining har bir nuqtasidagi deformatsiya shu nuqtadagi kuchlanishga to'g'ri proporsional deb qaraladi. Bu gipoteza Guk qonuni deyiladi. Bunda kuchlanish proporsionallik chegarasidan katta bo'lmasligi kerak.
5. Konstruksiyaning deformatsiyasi uning geometrik o'lchamlariga nisbatan kichik miqdor deb qaraladi. Bu gipotezadan ayrim statik aniqlamas masalalarni echishda foydalaniladi.

Agar bir xil o'lchamli ikkita sterjenga og'irligi  $Q$  bo'lgan yuk osib qo'ysak, ular har xil miqdorga uzayadi. Bu holat sterjenlar tayyorlangan materialga bog'liq bo'ladi. Masalan, birinchi sterjen po'lat materialidan va ikkinchisi rezinadan tayyorlangan, uzunliklari – 1 metr



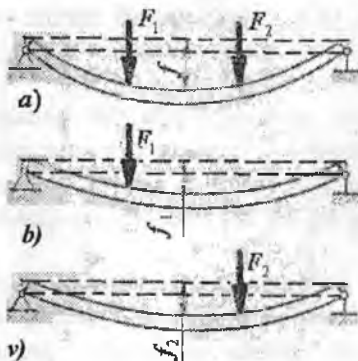
va kesim yuzasi  $1 \text{ sm}^2$ , ularga og'irligi  $1 \text{ kg}$ . bo'lgan yuk osiladi. Unda rezina sterjen  $20 \text{ mm}$ .ga va po'lat sterjen  $\frac{1}{2000} \text{ mm}$ .ga uzayadi. Ko'plab qattiq jismlar

juda kichik miqdorga deformatsiyalanadi. Bu deformatsiya konstruksiyaning geometrik o'lchamiga nisbatan juda kichik va uni e'tiborga olmasa ham bo'ladi, natijada materiallar qarshildigi masalalarini yechish soddalashadi.



34-rasm. Qistirib mahkamlangan balkani egilishi

Masalan, bir uchi qistirib mahamlangan, ikkinchi erkin uchiga to'plangan kuch qo'yilgan balkani ko'ramiz. Kuch ta'sirida balka egiladi, kuch qo'yilgan nuqta ham vertikal, ham gorizontal tekislikda ko'chadi. Qistirib qo'yilgan [21] tayanchdagi moment quyidagicha (34-rasm) yoziladi:  $M = -F(\ell - x)$ . Ko'chish  $-x$  balkaning uzunligiga nisbatan kichik bo'lganligi uchun uni e'tiborga olmaymiz unda  $M = -F \cdot \ell$  moment hosil bo'ladi.



35-rasm. Kuchlar ta'sirida balkani egilishi.

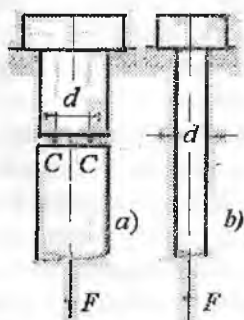
6. Konstruksiyaga qo'yilgan yuklar sistemasining ta'siri alohida yuklar ta'sirlarining yig'indisiga teng deb qabul qilinadi.

Jismga bir nechta kuch ta'sir qilayotgan bo'lsa va kuchlar baravariga bir necha marotaba orttirilsa, deformatsiya ham shuncha marta ortadi. Inshoot elementlaridagi deformatsiya va reaksiya kuchining bir necha kuch ta'siridan hosil bo'ladigan qiymati har qaysi kuch ta'siridan hosil bo'ladigan qiymatlar yig'indisiga teng (37-rasm). Masalan,  $F_1$  va  $F_2$  kuchlar ta'siridagi balka prolyoti o'рта nuqtasining salqiligi

$f = f_1 + f_2$  tenglik bilan topiladi. Bu erda  $f_1$  va  $f_2$  har qaysi kuchdan alohida hosil bo'lgan salqiliklar. Yuk qo'yilishigacha tekis bo'lgan brusning kesimi, yuk ta'siridan keyin ham tekisligicha qoladi. Bu gipoteza Bemulli gipotezasi deyiladi.

**Konstruksiya elementlarini hisoblashning turlari.** Mashina va muhandislik inshootlarini mustahkamlikka hisoblash, ularning ishonchliligiga qo'yilgan talablarni qanoatlantiradimi degan savolga javob berishdan iborat. Aks holda qo'yilgan maqsadga erishilmaydi, ya'ni konstruksiyada xavfli holat yuzaga kelib, u yoki ishlash layoqatini yo'qotadi, yoki xatolik bilan ishlaydi. Shuning uchun, konstruksiyani hisoblash usulini to'g'ri tanlash kerak bo'ladi [19].

Mashina detallari yoki inshoot elementlarini kuchlanishlar bo'yicha mustahkamlikka hisoblash usuli keng tarqalgan. Bu usulga asosan, konstruksiyani ishonchlilik kriteriyasi deb kuchlanish, ya'ni nuqtaning kuchlanganlik holati qabul qilingan. Bu usulda - konstruksiyani tahlili asosida jismdagi eng katta kuchlanish hosil bo'lgan nuqta aniqlanadi. Bu hisobiy kuchlanish berilgan material uchun chegaraviy kuchlanish bilan taqqoslanadi va mustahkamlik to'g'risida xulosa qilinadi. Ishonchlilikni baholashda nuqta kuchlanishini hisoblash usuli ayrim konstruksiyalar uchun tadbiiq etilmaydi. Masalan, ma'lum kesimida kanalcha tayyorlangan sterjenni cho'zilishida, C nuqtasidagi kuchlanish (36-rasm, a), shunday kuch bilan cho'zilayotgan silliq sterjendagi (36-rasm, b) kuchlanishdan katta bo'ladi. Bunday holat kam uglerodli po'lat, shisha, tosh va ayrim materiallarda kuzatiladi.



36 - rasm.

Mis, bronza, alyuminiydan tayyorlangan shunday ikkita sterjenlardan, masalan, kanavka tayyorlangani ko'proq yukni ko'tarishi mumkin. Shuning uchun nuqta kuchlanish hamma vaqt ham konstruksiyani yemirilish shartini belgilamaydi. Yemiruvchi kuch asosida hisoblash usuli. Bunda konstruksiya yemirilmasdan yoki shaklini o'zgartirmasdan chegaraviy kuchni qabul qilishi kerak. Chegaraviy kuch ishchi kuch bilan taqqoslanadi va konstruksiyani mustahkamligi to'g'risida xulosa qilinadi. Bu usul oddiy

konstruksiyalarda tadbiiq etiladi. Ruxsat etilgan ko'chish, ustuvorlik shart, dinamik va davriy o'zgaruvchan kuchlanishlar bo'yicha hisoblash

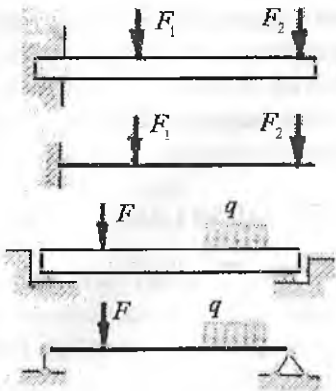
usullari mavjud. Materiallar qarshiligi kuchlanish, deformatsiya, chegaraviy kuchlarni amaliy hisoblash va tajribada aniqlash usullarini o'rgatadi.

**Real obyekt va hisoblash sxemasi.** Tabiiy Fanlardagi kabi, materiallar qarshiligida ham, real obyektни izlanishi, uning hisoblash sxemasini, ya'ni hisoblash modelini tanlashdan boshlanadi. Konstruksiyanı hisoblashga boshlashdan oldin yechilishi lozim bo'lgan muammoni sxemasini tuzish kerak. Buning uchun qo'yilgan masalani muhim tomonini belgilab, muhim bo'lmaganlarini tashlab yuborish kerak, chunki real obyektga qo'yilgan talablarni qanoatlantiradigan xususiyatlarini va ularga ta'sir qiladigan faktorlarni hammasini e'tiborga olib bo'lmaydi va mumkin ham emas. Masalan, liftni harakatlantiruvchi trosni mustahkamlikka hisoblash talab qilinsa, birinchi navbatda ko'tarilayotgan yukning og'irligi, harakat tezlanishi, juda katta ko'tarilish balandligida trosni og'irligini ham e'tiborga olish lozim bo'ladi. Kabinani ko'tarilishida hosil bo'lgan aerodinamik qarshilik, temperaturani o'zgarishi va boshqa holatlar e'tiborga olinmaydi.

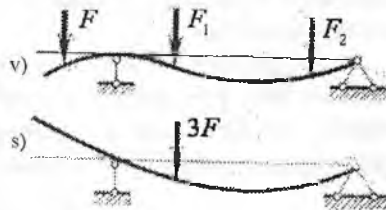
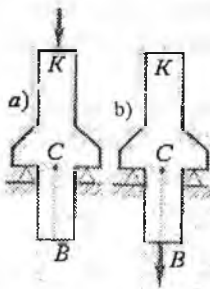
Bug'doyni yuqori bunkerga tashiydigan kovshli lentani hisoblashda – kovshlar soni, undagi bug'doy va kovshni og'irligi, yukni ko'tarilish balandligi va harakat tezligi, lenta materialining xossalari hisoblash jarayonida e'tiborga olinadi. Bunda kovshni va bunkerni shakli, yukni ko'tarilish balandligida temperaturani o'zgarishi ikkinchi darajali.

Yuk ko'taruvchi mashinasining strelasini faqat mustahkamlikka emas, balki bikrlikka ham hisoblash lozim. Buning uchun, birinchi navbatda yukni og'irligi, strela kesimining shakli va uzunligi, tayanch nuqtasining o'rni va platformasini mashinaga o'rnatilish sxemasi e'tiborga olinishi lozim. Bunda yuk va mashina turi, mashinaning ishlash muhiti ikkinchi darajali deb qabul qilinadi.

Muhim bo'lmagan faktorlardan ozod bo'lgan real obyekt hisoblash sxema deyiladi. Qo'yilgan maslaga ko'ra, hisoblash sxemani bir nechta variantda qabul qilish mumkin. Masalan, liftni harakatida, faqat tros mustahkamlikka hisoblansa, kabina bilan yuk absolyut qattiq jism deb olinadi va kuch trosni pastki nuqtasiga qo'yiladi. Agar kabinaning mustahkamligi hisoblanishi lozim bo'lsa, kabina konstruksiyasining xususiyatlari alohida tahlil qilinadi va hisoblash sxemasi tuziladi [21]. Bitta real obyektga bir nechta hisoblash sxema variantlari to'g'ri kelsa, bitta hisoblash sxemadan ko'plab real obyekt hosil



37-rasm. Tayanchlarni belgilanishi



38-rasm. Pog'onali brus (a,b) va balkaga (v,s) kuchlar qo'yilish nuqtasini ta'sirini o'rganish sxemasi.

qilish mumkin, ya'ni hisoblash sxemani tahlili asosida bir nechta real masalalarni yechimi kelib chiqadi. Masalan, lift trosining yuklanish sxemasi juda keng tarqalgan hisoblash sxemasi bo'lib hisoblanadi. Hisoblash sxemani tuzishda material birjinsli, elastik va izotrop deb qabul qilinadi, real obyektning geometriyasi (inshoot elementining shakli) va qo'yilgan kuchning turi e'tiborga olinadi.

Balkaga ta'sir etuvchi kuch, odatda uning o'qiga ta'sir etadi, shuning uchun hisoblash sxemada yukning qo'yilish nuqtasi 40-rasmga ko'rsatilganidek, aniqlanadi. Hisoblash sxemalarini tuzishda nazariy mexanikaning ba'zi qoidalaridan foydalanib bo'lmaydi. Masalan, kuchlarni ularni ta'sir chizig'i bo'ylab ko'chirib bo'lmaydi, kuchlar sistemasini teng ta'sir etuvchisi bilan almashtirib bo'lmaydi. Masalan, 40-rasm, a. da sterjen va uning  $K$  nuqtasiga yuqoridan qo'yilgan kuch tasvirlangan. Agar bu kuchni to'g'ri chiziq bo'ylab  $B$  nuqtaga ko'chirsak (38-rasm, b), sterjenning muvozanati buzilmaydi, tayanich nuqtalardagi reaksiyalar o'zgarmaydi, lekin sterjenning ish xarakteri keskin o'zgaradi. Birinchi holda  $KC$  oraliq siqiladi, pastki qism esa yuklanmaydi. Ikkinchi holda esa sterjenning yuqori qismi yuklanmasdan, pastki qismi cho'ziladi. Demak, bu holga yo'l qo'yib bo'lmaydi.

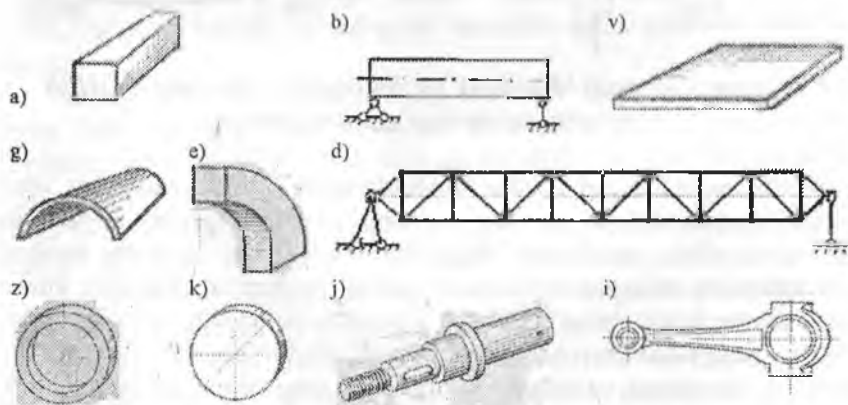
**Ikkinchi misol.** Balkani muvozanatini o'rganishda qo'yilgan kuchlar sistemasini uning teng ta'sir etuvchisi bilan va aksincha, teng ta'sir etuvchini tashkil etuvchilar bilan almashtirish mumkin (40-rasm, v.s). Agar, gap ko'chishni aniqlash haqida bo'lsa, bu usul noto'g'ri, chunki bu holda balkaning egilish shakli o'zgaradi.

## 6. KONSTRUKSIYA ELEMENTLARI

Tashqi kuch ta'sirida elementlarini harakat olishi yoki harakat olmasligiga qarab inshootlar ikki xil bo'ladi: mashina va muhandislik inshootlari. Tashqi kuch ta'sirida ayrim yoki barcha elementlari harakatlanadigan mexanik sistema mashina deyiladi.

**Detal** – yig'uv uslublari qo'llanilmasdan bir xil materialdan ishlab chiqilgan mashinaning qismidir. **Val** – burovchi momentni uzatadigan, buralish va egilish deformatsiyasiga uchraydigan brus. **O'q** – mashina qismlarini aylanishiga yordam berib faqat eguvchi kuchlanish ta'siriga uchraydigan brus.

Amaliyotda muhandislik inshootlarining turli konstruksiya elementlari brus yoki qobiq ko'rinishiga keltiriladi. **Brus** deb, ikkita geometrik o'lchami (eni va qalinligi) uzunligidan ancha kichik bo'lgan elementga aytiladi. Ingichka brus – sterjen deyiladi.



39-rasm. a) brus; b) balka; v) plastinka; g) qobiq; d) ferma  
e) egri sterjen; j) val, z) xalqa; i) shatun; k) egri plastinka

Ikkita va undan ortiq tayanchlarga tayangan brusga balka deyiladi. O'zaro shamirlar vositasida yoki biki bog'lanishda bo'lgan sterjenlar

sistemasi **ferma** deyiladi. **Plastinka** deb – qalinligi qolgan o'lchamlaridan ancha kichik bo'lgan elementga aytiladi. Egri plastinka **qobiq** deyiladi.

Muhandislik inshootlarini elementlari tashqi kuch ta'sirida harakatlanmaydi. Muhandislik inshootlariga imoratlar, ko'priklar, rezervuar va h.k. lar kiradi.

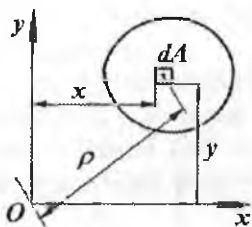


## I BOB. TEKIS KESIM YUZALARNING GEOMETRIK TAVSIFLARI

Kesim yuzasi – oddiy geometrik tavsifga ega bo‘lib, elementar  $dA$  yuzalar yig‘indisiga tengdir, ya’ni:  $A = \int_0^A dA$

Egillish, buralish va murakkab deformatsiyalanish holatlarida konstruksiya qismlarining mustahkamligi va bikrligi, aynan ularning kesim yuzalariga emas, balki murakkab geometrik tavsiflariga (statik moment, inersiya moment, qarshilik moment va inersiya radiusi) bog‘liq bo‘ladi.

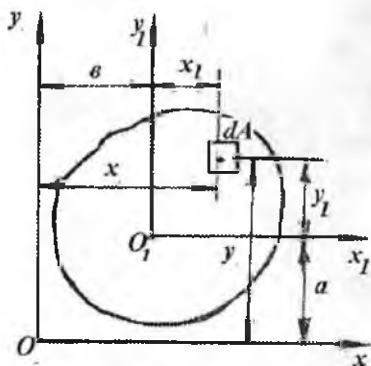
### 1.1. Statik moment va inersiya momentlari haqida tushuncha



1.1-rasm. Statik momentni aniqlash sxemasi

Statik moment deb, elementar yuza  $dA$  bilan tegishli o‘q orasidagi masofa ko‘paytmasining aniq integraliga aytiladi (1.1 – rasm).

$$\begin{aligned} S_x &= \int_A y \cdot dA; \\ S_y &= \int_A x \cdot dA \end{aligned} \quad (1.1)$$



1.2-rasm. Parallel o‘qlarga nisbatan kesimning statik momentini aniqlash sxemasi

Statik moment  $m^3$  o‘lchanadi. Turli o‘qlarga nisbatan statik momentlarni qo‘shib bo‘lmaydi. Tanlangan kesimning  $x$  va  $y$  o‘qlariga nisbatan statik momentlari musbat va manfiy bo‘lishi mumkin (1.2-rasm).

$x$  va  $y$  o‘qlarga parallel o‘tkazilgan, elementar  $dA$  yuzadan  $x_1 = x - b$  va  $y_1 = y - a$  masofada joylashgan  $x_1$  va  $y_1$  o‘qlarga nisbatan kesimni statik momentini topamiz.

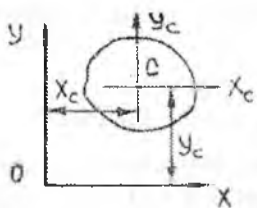
$$S_{y1} = \int_A x_1 dA = \int_A (x - b) dA = \int x dA - b \int dA = S_y - bA$$

$$S_{x1} = \int_A y_1 dA = \int_A (y - a) dA = \int y dA - \int a dA = S_x - a \cdot A$$

Statik momentlari nolga teng bo'lgan holatga to'g'ri keluvchi  $x$  va  $y$  o'qlarining koordinatalarini topamiz:

$$S_{y1} = S_y - x_c A = 0; \quad S_{x1} = S_x - y_c A = 0; \quad \text{va}$$

$$X_c = \frac{S_y}{A}; \quad Y_c = \frac{S_x}{A}; \quad (1.2)$$



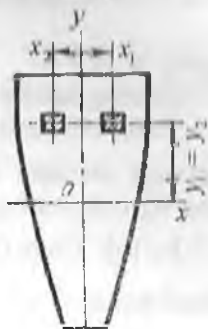
1.3-rasm. Og'irlik markazining koordinatalari

$C$  nuqta kesimning og'irlik markazi deyiladi. Og'irlik markazidan o'tuvchi  $X_c, Y_c$  - o'qlarga markaziy o'qlar deyiladi (1.3-rasm). Har qanday og'irlik markazidan o'tuvchi o'qlarga nisbatan kesimning statik momenti nolga teng.

Agar, elementar yuz  $dA$  ni undan o'qqacha bo'lgan masofaning

kvadratiga ko'paytirib integrallasak, o'qlarga nisbatan inersiya momenti deb ataladigan geometrik kattalikni topamiz (1.1-rasm):

$$I_x = \int_A y^2 dA \quad \text{va} \quad I_y = \int_A x^2 dA \quad (1.3)$$



1.4-rasm.

Markazdan qochma inersiya moment elementar yuz  $dA$  bilan ikkala o'q orasidagi masofa ko'paytmalarining integraliga teng:  $I_{xy} = \int_A xy dA$  (1.4)

Qutb inersiya momenti

$$I_\rho = \int_A \rho^2 dA \quad (1.5)$$

Inersiya momentlari  $m^4$  o'lchani. Qutb inersiya momenti o'qlarga nisbatan inersiya momentlarining yig'indisig teng

$$I_{\rho} = \int_A (y^2 + x^2) dA = I_x + I_y \quad (1.6)$$

$I_x$ ;  $I_y$  va  $I_{\rho}$  - lar hamisha musbatdir

Markazdan qochma inersiya momenti musbat yoki manfiy bo'lishi mumkin. Bitta o'qi simmetrik bo'lgan kesimning markazdan qochma inersiya momentini topamiz (1.4-rasm). Kesim yuzasidan ajratilgan elementar yuzachalar  $dA_1 = dA_2$  o'zaro teng bo'lib,  $u$  o'qidan  $x_1 = -x_2$  va  $x$  o'qidan  $u$  masofada joylashgan. O'zaro simmetrik joylashgan elementar yuzachalarning markazdan qochma inersiya momenti

$$I_{xy} = \int_A x_1 y dA_1 + \int_A x_2 y dA_2 = - \int_A x_2 y dA + \int_A x_2 y dA = 0$$

Demak, kesimning simmetriya o'qlariga nisbatan markazdan qochma inersiya momenti nolga teng ekan.

## 1.2. Parallel o'qlarga nisbatan inersiya momentlar

Tanlangan kesim yuzasi  $xoy$  koordinata sistemasida joylashgan (1.2-rasm).  $oy$  va  $ox$  o'qlariga parallel yangi  $o_1y_1$  va  $o_1x_1$  o'qlarini olamiz. Elementar yuzaning  $X_1O_1Y_1$  koordinata sistemasidagi koordinatalari  $x_1 = x + b$ ,  $y_1 = y + a$ . Yangi o'qlarga nisbatan kesimning inersiya momentlarini (1.3) va (1.4) formulalari asosida yozamiz:

$$I_{x1} = \int_A y_1^2 \cdot dA = \int_A (y + a)^2 dA; \quad (1.7)$$

$$I_{y1} = \int_A x_1^2 \cdot dA = \int_A (x + b)^2 dA;$$

$$I_{x1y1} = \int_A x_1 y_1 \cdot dA = \int_A (x + b)(y + a) dA;$$

Hosil bo'lgan integrallarni ochib chiqsak va (1.3) va (1.4) larni hisobga olsak, quyidagi formulalar hosil bo'ladi:

$$\begin{aligned} I_{x1} &= I_x + 2aS_x + a^2A & I_{y1} &= I_y + 2bS_y + b^2A \\ I_{x1y1} &= I_{xy} + aS_y + bS_x + abA \end{aligned} \quad (1.8)$$

$S_y$  va  $S_x$  kesim yuzasining  $u$  va  $x$  o'qlariga nisbatan statik momentlari. Agar  $u$  va  $x$  o'qlari kesim yuzasining og'irlik markazidan o'tsa, ya'ni markaziy o'qlar bo'lsa:  $S_y = 0$ ;  $S_x = 0$  bo'ladi. Unda (1.8)

$$I_{x1} = I_x + a^2A;$$

$$I_{y1} = I_y + b^2A; \quad (1.9)$$

formulalar quyidagicha yoziladi:

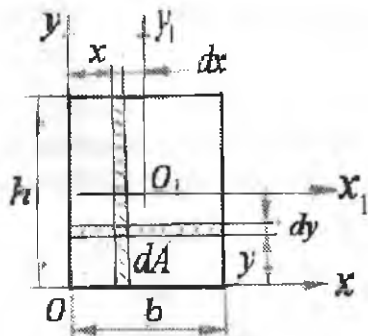
$$I_{x1y1} = I_{xy} + abA$$

Demak, tekis kesim yuzining markaziy o'qlarga parallel yo'nalgan o'qlarga nisbatan inersiya momentlari shu kesim yuzadan markaziy o'qlarga nisbatan olingan inersiya momentlari bilan o'qlar orasidagi masofa kvadratining kesim yuzaga ko'paytmasi yig'indisiga teng. Qutb inersiya momenti:  $I_{\rho^1} = I_{\rho} + (a^2 + b^2)A$  (1.10)

### 1.3. Oddiy kesim yuzalarining geometrik tavsiflari

To'rtburchak (1.5-rasm) kesim yuzasining asosidan o'tgan  $x$  o'qiga nisbatan inersiya momentini topamiz. Buning uchun to'rtburchak kesim yuzasidan  $dA = edy$  elementar yuzachani ajratamiz:

Unda:  $I_x = \int_A y^2 dA = \int_A y^2 edy$  va  $I_x = \frac{eh^3}{3}$  hosil bo'ladi.



1.5-rasm. To'rtburchak inersiya momentlarini aniqlash sxemasi

To'g'ri to'rtburchakning markaziy  $x_1$  o'qiga nisbatan inersiya momentini parallel o'qlarga nisbatan inersiya momenti formulalaridan foydalanib topamiz.

$$I_{x_1} = I_x + a^2 A = \frac{eh^3}{3} - \left(\frac{h}{2}\right)^2 eh = \frac{eh^3}{12}$$

va  $u$  o'qiga nisbatan inersiya momenti:  $I_y = \frac{he^3}{3}$  va  $I_{y_1} = \frac{he^3}{12}$

$X$  va  $Y$  o'qlariga nisbatan kesimning markazdan qochma inersiya momentini topamiz. Buning uchun kesimda  $dA = dxdy$  elementar yuzachani

tanlaymiz. O'lchamlari  $h$  va  $dx$  bo'lgan vertikal yuzaning markazdan qochma inersiya momentini topamiz:

$$dI_{xy} = \int yx dA = \int_0^h yx dy dx = x dx \int_0^h y dy = x dx \cdot 0,5h^2$$

Endi  $dI_{xy}$  ifodani  $0 \leq x \leq e$  oraliqda integrallaymiz:

$$I_{xy} = \int_0^e 0,5h^2 x dx = 0,5h^2 \int_0^e x dx = 0,25h^2 e^2 \quad \text{yoki} \quad I_{xy} = \frac{eh}{4} \cdot A$$

Kesim yuzalarning qarshilik momentlarini topish uchun:

$$W_x = \frac{I_x}{y_{\max}}; \quad W_y = \frac{I_y}{x_{\max}} \quad \text{va} \quad W_\rho = \frac{I_\rho}{\rho_{\max}}$$

formulalardan foydalanamiz. To'g'ri turtburchak kesimning markaziy o'qlari  $x_1$  va  $y_1$  ga nisbatan qarshilik momentini topamiz:

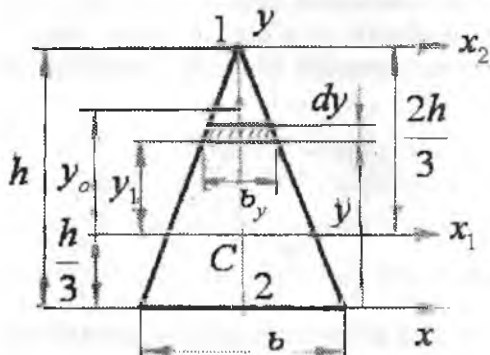
$$W_{x_1} = \frac{eh^3}{12} \cdot \frac{2}{h} = \frac{eh^2}{6}; \quad \text{va} \quad W_{y_1} = \frac{he^3}{12} \cdot \frac{2}{e} = \frac{he^2}{6}$$

**Uchburchak** (1.6-rasm)ni statik momentini aniqlash. Uchburchakning  $x_1$  o'qidan  $y_1$  masofada joylashgan  $A_0$  yuzasining statik momentini yozamiz:

$$S_{x_1}^0 = A_0 \cdot y_0;$$

bu yerda:  $A_0 = \frac{1}{2} e_x \left( \frac{2h}{3} - y_1 \right)$  va  $y_0 = y_1 + \frac{1}{3} \left( \frac{2h}{3} - y_1 \right)$

Unda:  $S_{x_1} = \frac{1}{2} e_y \left( \frac{2h}{3} - y_1 \right) \cdot \frac{2}{3} \left( \frac{h}{3} + y_1 \right) = \frac{e_y}{3} \left( \frac{2h}{3} - y_1 \right) \left( \frac{h}{3} + y_1 \right)$



yoki:

$$S_x = \frac{e_y}{27} (2h^2 + 3hy_1 - 9y_1^2)$$

Inersiya momentini aniqlash. Asosidan o'tgan  $x$  - o'qiga nisbatan inersiya momentini topish uchun uchburchakning

$dA = b_y \cdot dy$  elementar yuzachani tanlaymiz.

Bu yerda  $e_y = e \left(1 - \frac{y}{h}\right)$  kesim elementar yuzachaning eni.

$$\text{Unda: } I_x = \int_A y^2 dA = \int_0^h y^2 e \left(1 - \frac{y}{h}\right) dy = \frac{eh^3}{12}$$

Uchburchakning markaziy o'qiga nisbatan inersiya momenti:

$$I_{x1} = I_x + a^2 A = \frac{eh^3}{12} - \left(\frac{h}{3}\right)^2 \frac{eh}{2} = \frac{eh^3}{36}$$

Uchburchakning markaziy o'qiga nisbatan inersiya momenti:

$$I_{x1} = I_x + a^2 A = \frac{eh^3}{12} - \left(\frac{h}{3}\right)^2 \frac{eh}{2} = \frac{eh^3}{36}$$

$x_2$  o'qiga nisbatan inersiya momenti:  $I_{x2} = \int_A y^2 dA = -\int_h^0 y^2 \left(\frac{ey}{h}\right) dy = \frac{eh^3}{4}$

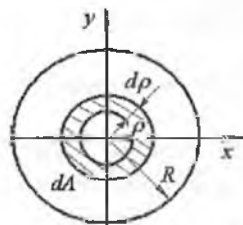
yoki:  $I_{x2} = \frac{eh^3}{4}$  bu yerda  $e_y = -ey/h$ ;  $dA = e_y dy = -\frac{ey}{h} dy$ ;

Topilgan inersiya momenti formulalaridan ko'rinib turibdiki, kesim o'qdan qancha uzoqlashsa, inersiya momenti kattalashar ekan.

Uchburchakning  $u$  o'qiga nisbatan inersiya momenti:

$$I_y = \int_A x^2 dA = \int_A x^2 e_x dx = \int_0^{\frac{b}{2}} x^2 \cdot 2 \frac{h}{b} \left(\frac{b}{2} - x\right) dx = \frac{hb^3}{48}$$

Uchburchakning og'irlik markazidan o'tuvchi  $x_1$  o'qi kesim yuzaning 1 va 2 nuqtalaridan  $\frac{2h}{3}$  va  $\frac{h}{3}$  masofada joylashgan. Shuning uchun uchburchakning  $X_1$  markaziy o'qidan eng uzoqda joylashgan 1 va 2 nuqtalarigacha bo'lgan masofasi:  $y_1 = \frac{2h}{3}$   $y_2 = \frac{h}{3}$  -ga teng.



1.7-rasm. Doiraviy kesim inersiya momenti

$$W_{x1}^I = \frac{eh^3}{36} \cdot \frac{3}{2h} = \frac{eh^2}{24},$$

$$W_{x1}^{II} = \frac{ah^3}{36} \cdot \frac{3}{h} = \frac{ah^2}{12}, \quad W_y = \frac{he^3}{48} \cdot \frac{2}{e} = \frac{he^2}{24}$$

Doiraviy kesim (1.7-rasm). Kesimning og'irlik markazidan o'tuvchi ixtiyoriy o'qga nisbatan inersiya momentini topish uchun, avval doiradan

ajratilgan halqa ko'rinishidagi  $dA = 2\pi\rho \cdot d\rho$  elementar yuzaning kesim markaziga nisbatan qutb inersiya momentini topamiz:

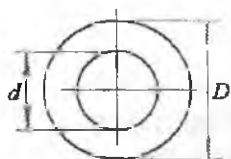
$$I_{\rho} = \int_A \rho^2 dA = \int_0^R \rho^2 \cdot 2\pi\rho \cdot d\rho = \frac{2\pi \cdot \rho^4}{4} \Big|_0^R = \frac{\pi \cdot R^4}{2} = \frac{\pi \cdot \bar{A}^4}{32}$$

Doiraviy kesim uchun:  $I_x = I_y$  va  $I_{\rho} = I_y + I_x$

Demak,  $I_{\rho} = 2I_x = 2I_y = \frac{\pi \cdot D^4}{32}$  yoki:  $I_x = I_y = \frac{\pi \cdot D^4}{64}$

Qarshilik momentlari:  $W_x = W_y = \frac{I_x}{y_{\max}} = \frac{\frac{\pi \cdot D^4}{64}}{\frac{D}{2}} = \frac{\pi \cdot D^3}{32}$  va

Qutb qarshilik momenti:  $W_{\rho} = \frac{\frac{\pi \cdot D^4}{32}}{\frac{D}{2}} = \frac{\pi \cdot D^3}{16}$



**Halqasimon kesimning inersiya momenti tashqi va ichki doiralarning inersiya momentlarining ayirmasiga teng (1.8-rasm):**

$$I_y = I_x = \frac{\pi \cdot D^4}{64} - \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot D^4}{64} \left[ 1 - \left( \frac{d}{D} \right)^4 \right]$$

1.8-rasm. Halqasimon kesimning inersiya momentini aniqlash

Qutb inersiya momenti:

$$I_{\rho} = \frac{\pi \cdot D^4}{32} \left[ 1 - \left( \frac{d}{D} \right)^4 \right]$$

$$W_x = W_y = \frac{\pi \cdot D^4 \left[ 1 - \left( \frac{d}{D} \right)^4 \right]}{64 \cdot \frac{D}{2}} = \frac{\pi \cdot D^3}{32} \left[ 1 - \left( \frac{d}{D} \right)^4 \right]$$

Qutb qarshilik momenti:  $W_{\rho} = \frac{\pi \cdot D^3}{16} \left[ 1 - \left( \frac{d}{D} \right)^4 \right]$

#### 1.4 Murakkab geometrik shakllarning inersiya momentlari

Murakkab geometrik shakllarning inersiya momentlari, undan ajratilgan oddiy geometrik shakllarning inersiya momentlarining yig'indisiga

teng, ya'ni  $I_x = I_x^I + I_x^{II} + I_x^{III} + \dots + \sum_{i=1}^n I_x^i$ . (1.11)

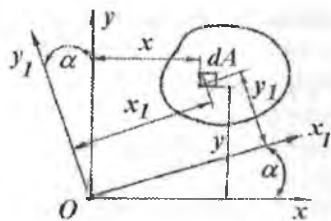
bu yerda  $I_x^1 = I_{x_1}^1 + a_1^2 A_1$ ;  $I_x^2 = I_{x_2}^2 + a_2^2 A_2$  va h.k, murakkab geometrik shakldan ajratilgan oddiy geometrik shakllarni  $x$  o'qiga nisbatan inersiya momenti;

$I_{x_1}^1; I_{x_2}^2$  va h.k - murakkab geometrik shakldan ajratilgan oddiy geometrik shakllarni markaziy o'qiga nisbatan inersiya momentlari;

$a_1, a_2$  - va h.k - har bir oddiy shaklning markaziy o'qi bilan murakkab shaklning markaziy o'qigacha bo'lgan masofa.

### 1.5. Koordinata o'qlarini aylantirganda inersiya momentlari

$xoy$  koordinata o'qlari  $O$  nuqta atrofida aylanishi natijasida yangi  $x_1oy_1$  holatga o'tadi. Tanlangan kesimning yangi  $x_1oy_1$  o'qlarga nisbatan inersiya momentlarini aniqlashda (1.3) va (1.4) formulalardan foydalanamiz.



1.9-rasm. Koordinata o'qlarini aylantirganda inersiya momentlarini aniqlash sxemasi

$ox_1$  o'qiga nisbatan inersiya momenti:

$$I_{x_1} = \int_A y_1^2 dA = \int_A (y \cos \alpha - x \sin \alpha)^2 dA$$

$dA$  elementar yuzaning yangi  $x_1oy_1$  koordinata sistemasidagi koordinatalarini (1.9-rasm)

$$x_1 = x \cos \alpha + y \sin \alpha;$$

$$y_1 = y \cos \alpha - x \sin \alpha$$

hisobga olsak, kesimni  $ox_1$  o'qiga nisbatan inersiya momenti quyidagi ko'rinishga keltiriladi:

$$I_{x_1} = I_x \cos^2 \alpha + I_y \sin^2 \alpha - I_{xy} \sin 2\alpha \quad (1.11)$$

$Oy_1$  o'qiga nisbatan inersiya momenti.

$$I_{y_1} = \int_A x_1^2 dA = \int_A (x \cos \alpha + y \sin \alpha)^2 dA \quad \text{yoki}$$

$$I_{y_1} = I_x \cos^2 \alpha + I_y \sin^2 \alpha + I_{xy} \sin 2\alpha \quad (1.12)$$

Markazdan qochma inersiya momenti:

$$I_{x_1y_1} = \int_A x_1 y_1 dA = \int_A (x \cos \alpha + y \sin \alpha)(y \cos \alpha - x \sin \alpha) dA$$



$$I_{x_1y_1} = \frac{I_x - I_y}{2} \cdot \sin 2\alpha + I_{xy} \cos 2\alpha \quad (1.13)$$

Yuqoridagi formulalardan ko'rinib turibdiki, ixtiyoriy o'qqa nisbatan inersiya momenti  $\alpha$  burchakka bog'liq ekan.

Koordinata o'qlarini aylantirish davomida og'ish burchagining  $\alpha = \alpha_0$  qiymatini topish mumkinki, bunda  $I_{x_1y_1} = I_{x_0y_0} = 0$ .

$I_{x_0y_0} = 0$  holatga to'g'ri keluvchi koordinata o'qiga bosh inersiya o'qi deyiladi (1.9-rasm). Bosh inersiya o'qining yo'nalishi:

$$\operatorname{tg} 2\alpha_0 = -\frac{2I_{xy}}{I_x - I_y} \quad (1.14)$$

Olingan formula  $\alpha$  burchak uchun  $\alpha_0^I$  va  $\alpha_0^{II} = \alpha_0^I + 90^\circ$  ikkita qiymatni beradi.  $\alpha_0^I$  va  $\alpha_0^{II}$  burchaklar ostida o'zaro perpendikulyar ikkita o'q chiziladi, ularga nisbatan inersiya momentlari ekstremal qiymatlarga erishadi.

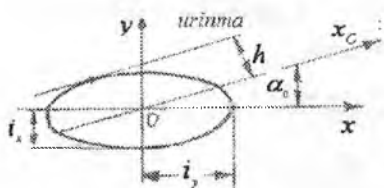
Bosh inersiya o'qlariga nisbatan inersiya momentlariga bosh inersiya momentlari deyiladi:

$$\begin{aligned} I_{x1} = I_{x0} &= I_x \cos^2 \alpha_0 + I_y \sin^2 \alpha_0; \\ I_{y1} = I_{y0} &= I_y \cos^2 \alpha_0 + I_x \sin^2 \alpha_0; \quad I_{x_1y_1} = \frac{I_x - I_y}{2} \sin 2\alpha \end{aligned} \quad (1.15)$$

Bosh inersiya momentlaridan bittasi maksimal, ikkinchisi esa minimal qiymatga erishadi.

$$I_{\min}^{\max} = \frac{1}{2} \left[ (I_x + I_y) \pm \sqrt{(I_x - I_y)^2 + 4 \cdot I_{xy}^2} \right] \quad (1.16)$$

## 1.6. Inersiya ellipsi haqida tushuncha



1.10-rasm. Inersiya ellipsi

Inersiya ellipsi, asosan shaklning inersiya momentini grafik usulda topishda qo'llaniladi. Inersiya ellipsi inersiya radiuslari yordamida quriladi

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}; \quad i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

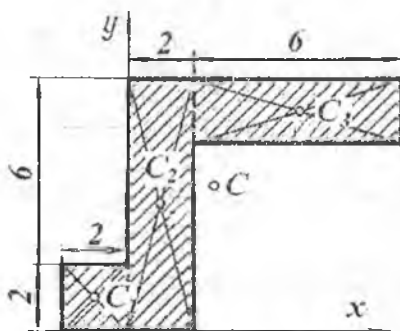
$i_x$  va  $i_y$  inersiya radiuslari

tegishli  $xOy$  koordinata o'qlariga joylashtiriladi. Koordinata boshidan  $\alpha_0$  burchak ostida bosh inersiya o'qi  $x_0$ -ni o'tkazamiz.  $ox_0$  o'qiga parallel qilib ellipsga o'tkazilgan urinma bilan  $OX_0$  o'qi orasidagi masofa  $h$  - ni topamiz:  $h^2 = i_x^2 \cos^2 \alpha_0 + i_y^2 \sin^2 \alpha_0$

Shaklning inersiya momenti quyidagi tenglikdan topiladi:  $I_{x_0} = h^2 A$

### Takrorlash uchun savollar:

1. Statik moment deb nimaga aytiladi?
2. Inersiya momenti deb nimaga aytiladi?
3. Inersiya momentlarining turlarini ayting.
4. Murakkab shaklli kesim yuzaga og'irlik markazining koordinatalarini aniqlash formulasini yozing.
5. Kesim yuzaning parallel o'qlarga nisbatan inersiya momenti.
6. Koordinata o'qlarini aytantirganda kesimni inersiya momenti.
7. Bosh inersiya o'qlari deb qanday o'qlarga aytiladi?
8. Bosh inersiya momentlari deb qanday momentlarga aytiladi?
9. Bosh inersiya momentlarini aniqlang.
10. Inersiya radiusi nima?
11. To'g'ri to'rtburchak shaklli kesim yuzaning inersiya momentlari.
12. Uchburchaksimon kesim yuzaning inersiya momentlari.
13. Kesim yuzaning qarshilik momenti nima?



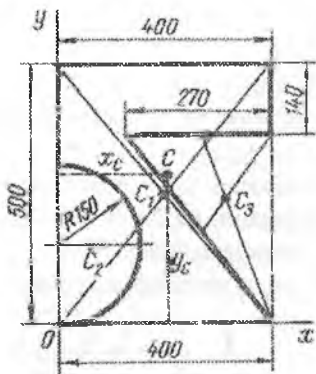
1.11-rasm.

**Misol-1.** 1.11-rasmdagi jism yuzasining og'irlik markazi aniqlansin. Barcha o'lchamlar santimetrda berilgan.

**Yechish.** Koordinata o'qlarini o'tkazib, jism yuzasini uchta to'rt-burchakka bo'lamiz (bo'lish chiziqlari shtrix bilan ko'rsatilgan). Har bir bo'lagi og'irlik markazining koordinatalarini va yuzalarini aniqlaymiz:  $C_1(-1; 1)$ ,  $C_2(1; 4)$ ,  $C_3(5; 7)$ ,  $A_1 = 4 \text{ sm}^2$ ,  $A_2 = 16 \text{ sm}^2$ ,  $A_3 = 12 \text{ sm}^2$ . Shaklni og'irlik markazini aniqlaymiz:

$$x_c = \frac{A_1 x_1 + A_2 x_2 + A_3 x_3}{A_1 + A_2 + A_3} = \frac{4 \cdot (-1) + 16 \cdot 1 + 12 \cdot 5}{4 + 16 + 12} = \frac{9}{4} \text{ sm}$$

$$y_c = \frac{A_1 y_1 + A_2 y_2 + A_3 y_3}{A_1 + A_2 + A_3} = \frac{4 \cdot 1 + 16 \cdot 4 + 12 \cdot 7}{4 + 16 + 12} = \frac{19}{4} \text{ sm}$$



1.12-rasm

**Misol-2.** 1.12-rasmda ko'rsatilgan bir jinsli plastinka og'irlik markazining vaziyati aniqlansin.

**Yechish.** Plastinkani  $XOY$  koordinata sistemasiga joylashtiramiz va kesim yuzasini oddiy yuzalarga ajratamiz: to'g'ri burchak –  $400 \times 500$ , yarim aylana va uchburchak.

$$\text{Unda } X_c = \frac{A_1 x_1 + A_2 x_2 + A_3 x_3}{A_1 + A_2 + A_3}; Y_c = \frac{A_1 y_1 + A_2 y_2 + A_3 y_3}{A_1 + A_2 + A_3}$$

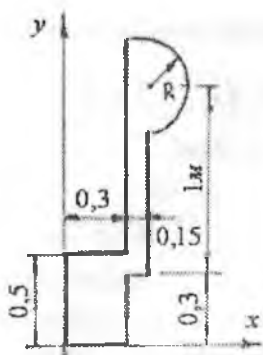
$$A_1 = 40 \times 50 = 2000 \text{ sm}^2; \quad x_1 = 20 \text{ sm} \quad A_2 = -\frac{\pi}{2} (15)^2 = -353 \text{ sm}^2;$$

$$x_2 = \frac{4 \cdot 15}{3\pi} = 6,37 \text{ sm} \quad A_3 = -\frac{1}{2} \cdot 27 \cdot 36 = -486 \text{ sm}^2;$$

$$x_3 = 13 + \frac{2}{3} \cdot 27 = 31 \text{ sm}; \quad y_1 = 25 \text{ sm}; \quad y_2 = 15 \text{ sm}; \quad y_3 = \frac{2}{3} \cdot 36 = 24$$

sm

$$\text{Og'irlik markaz koordinatalari: } X_c = 19,5 \text{ sm va } Y_c = 28,4 \text{ sm}$$



**Misol-3. Murakkab shaklli kesim yuzaning geometrik tasniflarini hisoblash.**

O'Ichamlar metrda berilgan. Murakkab shaklni oddiy shakllarga bo'lamiz (1.13-rasm) va har bir oddiy yuzaning og'irlik markazlarini belgilaymiz, u nuqtalardan kesimlarning markaziy o'qlarini o'tkazamiz, ushbu o'qlardan  $XOY$  koordinata o'qlarigacha bo'lgan masofalarni aniqlaymiz. Hisoblash murakkab shaklning ixtiyoriy o'qlar sistemasida og'irlik markazini topishdan boshlanadi.

$$x_c = \frac{A_1 x_1 + A_2 x_2 + A_3 x_3}{A_1 + A_2 + A_3} = \frac{50 \cdot 30 \cdot 15 + 120 \cdot 15 \cdot 37,5 + 628 \cdot 53,5}{50 \cdot 30 + 120 \cdot 15 + \frac{\pi(20)^2}{2}}$$

$$y_c = \frac{A_1 y_1 + A_2 y_2 + A_3 y_3}{A_1 + A_2 + A_3} = \frac{50 \cdot 30 \cdot 25 + 120 \cdot 15 \cdot 90 + 628 \cdot 130}{1500 + 1800 + 628}$$

bu yerda:  $A_1 = 0,3 \cdot 0,5 = 0,15m^2$   $A_2 = 1,2 \cdot 0,15 = 0,18m^2$

$$A_3 = \frac{\pi R^2}{2} = \frac{3,14(0,2)^2}{2} = 0,0628m^2, \quad \Sigma A = A_1 + A_2 + A_3 = 0,3928m^2$$

$$x_1 = \frac{0,3}{2} = 0,15m; \quad y_1 = \frac{0,5}{2} = 0,25m \quad x_2 = 0,3 + \frac{0,15}{2} = 0,375m$$

$$y_2 = \frac{1+R}{2} + 0,3 = 0,9m \quad x_3 = 0,3 + 0,15 + \frac{4R}{3\pi} = 0,535m$$

$$y_3 = 0,3 + 1 = 1,3m \quad \text{va} \quad x_c = 0,31467m \quad y_c = 0,71474m$$

Parallel o'qlarga nisbatan inersiya momentlari formulasidan foydalanib kesimning  $x_c$  va  $y_c$  o'qlarga nisbatan inersiya momentlarini topamiz (1.16-rasm).

$$I_{x_c} = \frac{0,3(0,5)^3}{12} + (y_c - y_1)^2 \cdot 0,3 \cdot 0,5 + \frac{0,15(1,2)^3}{12} + (y_2 - y_c)^2 \cdot 0,18 + 0,393R^4 + (y_3 - y_c)^2 + \frac{3,14R^2}{2} = 0,085455m^4$$

$$I_{y_c} = \frac{0,5(0,3)^3}{12} + (x_c - x_1)^2 \cdot 0,15 + \frac{1,2(0,15)^3}{12} + (x_2 - x_c)^2 \cdot 0,18 + 0,11R^4 + (x_3 - x_c)^2 \cdot 0,0628 = 0,01246m^4$$

Markaziy o'qlarga nisbatan markazdan qochma inersiya momentini topamiz:

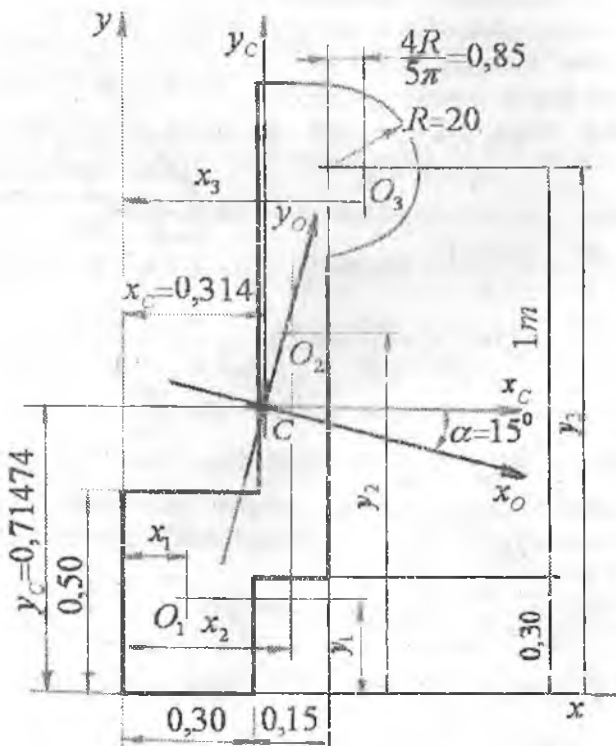
$$I_{x_c y_c} = [-(y_c - y_1)][-(x_c - x_1)] \cdot 0,15 + (y_2 - y_c)(x_2 - x_c) \cdot 0,18 + (y_3 - y_c)(x_3 - x_c) \cdot 0,0628 = 0,02154 m^4$$

Bosh inersiya momentlarini topamiz:

$$I_{\max} = \frac{I_{x_c} + I_{y_c}}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(I_{x_c} - I_{y_c})^2 + 4 \cdot I_{x_c y_c}^2} = \frac{0,08545 + 0,01246}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(0,08545 - 0,01246)^2 + 4 \cdot (0,02154)^2}$$

$$I_{\max} = 0; \quad I_{\min} = 0,006575 m^4$$

$$I_{x_c} + I_{y_c} = I_{\max} + I_{\min}; \quad 0,0854 + 0,01246 = 0,04895 + 0,006575$$



1.13-rasm. Bosh va markaziy inersiya o'qlarining vaziyatiga oid

Bosh inersiya o'qlarining og'ishgan burchagini topamiz:

$$\operatorname{tg} 2\alpha_0 = -\frac{2I_{x_c y_c}}{I_{x_c} - I_{y_c}} = -\frac{2 \cdot 0,02154}{0,08545 - 0,01246} = -0,59 \text{ rad}$$

$$2\alpha_0 = -30^\circ \quad \text{yoki} \quad \alpha_0 = -15^\circ$$

$I_{x_c} > I_{y_c}$  bo'lganligi uchun  $x_c$  o'qqa nisbatan inersiya momenti maksimal qiymatga erishadi.  $\alpha_0$  burchagi manfiy ishorali bo'lgani uchun qiymatini  $x_c$  o'qidan soat strelkasining harakat yo'nalishi bo'y-lab joylashtiramiz.  $\alpha_0$  burchak bosh inersiya o'qining holatini belgilay-di. Inersiya radiuslarini topamiz:

$$i_{\max} = \sqrt{\frac{0,09133}{0,3928}} = 0,48m, \quad i_{\min} = \sqrt{\frac{0,00657}{0,3928}} = 0,129m$$

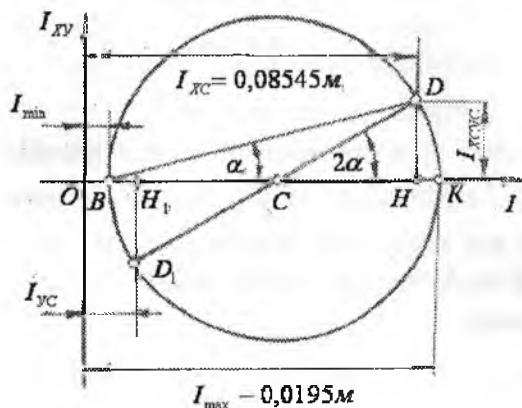
Shaklning inersiya radiuslarini yarim o'qlar sifatida qabul qilib,  $x_0, cy_0$  koordinata o'qlarida inertsiya ellipsini quramiz (1.13-rasm). Bunda  $cx_0$  o'qi bo'ylab  $i_{\min}$  radiusini,  $cy_0$  o'qi bo'ylab  $i_{\max}$  inersiya radiusini qo'yamiz. Ellipsdan gorizontga  $45^\circ$  burchak ostida joylashgan  $x_\alpha$  o'qqa nisbatan inersiya momentini topamiz. Bu o'q  $x_0$  o'qqa nisbatan  $60^\circ$  burchak ostida yo'nalgan. Bu o'qqa parallel ravishda ellipsga urinma o'tkazamiz.  $x_0$  o'q bilan urinma orasidagi  $h = 0,265m$  masofani o'lchab olamiz. Inersiya momenti grafik usulda quyidagicha topiladi.

$$I_k = h^2 A = (0,265)^2 \cdot 0,3928 = 0,0276m^4$$

Ushbu inersiya momentini analitik usulda topamiz:

$$I_k = I_{\max} \cdot \cos^2 \alpha + I_{\min} \cdot \sin^2 \alpha = 0,091339 \cos^2 60^\circ + \\ + 0,006575 \cdot \sin^2 60^\circ = 0,0277m^4$$

Bosh inersiya momentlarini grafik usulda topamiz (1.17-rasm), buning uchun kesimning  $x_c$  va  $y_c$  o'qlariga nisbatan inersiya momentlari  $I_{x_c} = 0,08545m^4$  va  $I_{y_c} = 0,01246m^4$  va markazdan qochma inersiya momenti  $I_{x_c y_c} = 0,02154m^4$  dan foydalanamiz.



$IOI_{xy}$  koordinata sistemasi tanlaymiz.

$I_{xc}$ ;  $I_{yc}$  va  $I_{xcyc}$  inersiya momentlarini masshtabda  $IO$  va  $I_{xy}$  o'qlarida joylashtiramiz. Masshtab:

$1mm = 0,00122m$ , unda

$$OH = \frac{0,08545}{0,00122} = 70mm$$

$$OH_1 = \frac{0,01246}{0,00122} = 10,2mm$$

$$HD = \frac{0,02154}{0,00122} = 17,6mm$$

1.14-rasm. Mor yoki inersiya doirasini qurish tartibi.

$D$  va  $D_1$  nuqtalarni tutashtirib inersiya doirasining markazini topamiz va uni quramiz. Inersiya doirasi  $I$  o'qini  $B$  va  $K$  nuqtalarda kesib o'tadi.

$$OK = \frac{75mm \cdot 0,0012m^4}{1mm} \quad OB = 5mm \cdot 0,0012 \frac{m^4}{mm}$$

Inersiya doirasidan

$$I_{max} = OK = OC + CK \quad \text{yoki} \quad I_{max} = 0,0195m^4$$

$$I_{min} = OB = OC - CB$$

va  $I_{min} = 0,0006m^4$

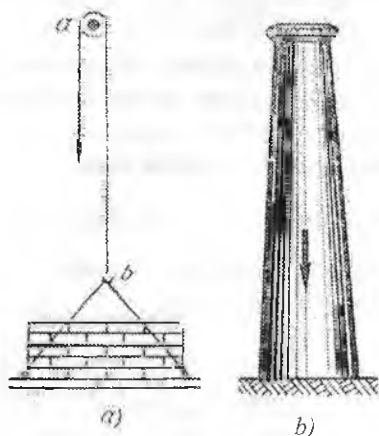
Chizmadan  $OC = \frac{OH + OH_1}{2} = \frac{I_{xc} + I_{yc}}{2}$  va  $CK = CB = CD = \sqrt{(CH)^2 + (DH)^2}$

$$CH = \frac{HH_1}{2} = \frac{OH - OH_1}{2} = \frac{I_{xc} - I_{yc}}{2}; \quad DH = I_{xcyc}$$

Unda

$$I_{\max/\min} = \frac{I_{xc} + I_{yc}}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{I_{xc} - I_{yc}}{2}\right)^2 + I_{xcyc}^2}$$

## II BOB. CHO'ZILISH VA SIQILISH



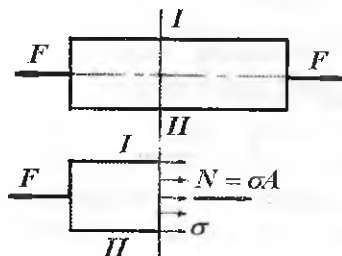
2.1-rasm. Cho'zilish va siqilishga ishlovchi konstruksiyalar: a) yuk osilgan tros; b) zavodning trubasi

Cho'zilish va siqilish inshoot va mashina elementlarida ko'p uchraydigan holdir. Masalan: zanjirlar, troslar, fabrika – zavodlarning trubalari, bino (2.1-rasm) tomini ushlab turuvchi kolonkalar va h.k. cho'zilish yoki siqilish deformatsiyasiga uchraydi.

Inshoot yoki mashina qismlari mahkamlanish turiga yoki yuk va tashqi kuchlarning ta'sir qilish tavsifiga qarab markaziy yoki markazlashmagan cho'zilish yoki siqilishda bo'ladi.

Markaziy cho'zilish yoki siqilish deb, bir-biriga teng va o'qi bo'ylab qarama - qarshi tomonlarga yo'nalgan kuchlar ta'siridagi sterjenning deformatsiyasiga aytiladi (2.2-rasm).

### 2.1. Bo'ylama kuch. Kuchlanish va deformatsiya



2.2-rasm. Cho'zilish va siqilishda ichki bo'ylama kuch

Markaziy cho'zilish va siqilishda sterjenning ko'ndalang kesimida faqat bir xil ichki kuch faktori - bo'ylama kuch  $N$  hosil bo'ladi. Bo'ylama kuch  $N$  sterjen ko'ndalang kesimining cheksiz kichik yuzasiga ( $dA$ ) ta'sir etuvchi  $\sigma dA$  ichki kuchlarning teng ta'sir etuvchisi hisoblanadi:

$$N = \int_A \sigma \cdot dA \quad (2.1)$$

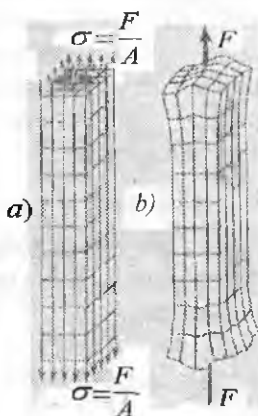


Markaziy cho'zilish yoki siqilishda, sterjenning bo'ylama va ko'ndalang o'lchamlari boshlang'ich holatiga nisbatan bir xil masofaga, ya'ni parallel ko'chadi. Demak, deformatsiyagacha tekis bo'lgan kesimlar deformatsiyadan keyin ham tekisligicha qoladi. Shuning uchun sterjen kesim yuzasining har bir nuqtasiga qo'yilgan normal kuchlanish  $\sigma$  bir xil bo'ladi (2.3-rasm, a, b), ya'ni:  $\sigma = const$

Demak, (2.1) formulani quyidagicha yozish mumkin ekan:

$$N = \sigma \cdot A \quad \text{bu yerdan} \quad \sigma = \frac{N}{A} \quad (2.2)$$

Bu yerda  $\sigma$  - sterjen kesim yuzasining normal kuchlanishi;  
 $A$  - sterjenning ko'ndalang kesim yuzasi,  $m^2$ .



Elastik deformatsiya chegarasida, normal kuchlanish nisbiy deformatsiyaga to'g'ri proporsional bo'ladi.

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (2.3)$$

Bu shart Guk qonuni deyiladi. (2.3) formuladagi  $\varepsilon$  - nisbiy uzayish. Nisbiy uzayish brusning absolyut uzayishi  $\Delta\ell$  -ning boshlang'ich uzunligi nisbatiga tengdir.  $\varepsilon = \frac{\Delta\ell}{\ell}$  (2.4)

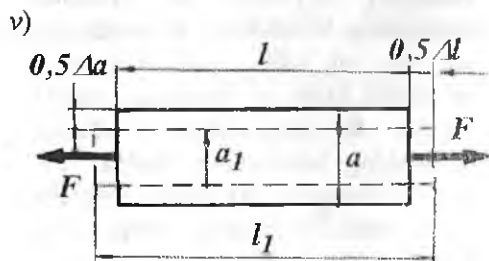
Ko'ndalang deformatsiyaning nisbiy miqdori:

$$\varepsilon^1 = \frac{\Delta a}{a} \quad (2.5)$$

Agar (2.3) formulaga (2.2) va (2.4) larni keltirib qo'ysak, Guk qonunini

$$\text{topamiz:} \quad \Delta\ell = \frac{N\ell}{EA}$$

$$(2.6)$$



2.3-rasm. Cho'zilish deformatsiyasi:

a) brus; b) cho'zilgan namuna;

v) absolyut uzayishni aniqlash sxemasi

$E$  proportsionallik koeffitsiyenti bo'lib, elastiklik moduli deyiladi.

$E$  – fizik konstanta, tajriba asosida topiladi va  $\frac{H}{M^2}$ ;  $\frac{\kappa H}{M^2}$  larda o'lchanadi.

$E$  – materialning turiga qarab o'zgaradi va uning fizikaviy - mexanik xossasiga bog'liq bo'ladi.  $EA$  – brusning cho'zilish yoki siqilishdagi bikrligi deyiladi. Cho'zilish va siqilishdagi ko'ndalang nisbiy deformatsiya  $\varepsilon'$  – ning bo'ylama nisbiy deformatsiya  $\varepsilon$ –ga nisbati o'zgar-

mas son bo'lib Puasson koeffitsiyenti deyiladi: 
$$\mu = \frac{\varepsilon'}{\varepsilon} \quad (2.7)$$

Puasson koeffitsiyenti -  $\mu$  ham  $E$  – ga o'xshab materialning xossasini aniqlovchi kattalik va 0 dan 0,5 oraliqda materialning turiga qarab o'zgaradi.

1-jadval

Material	Elastiklik moduli $E, mPa$	Puasson koeffitsiyenti $\mu$	Ruxsat etilgan kuchlanish $mPa$	Haroratdan chiziqli kengayish koeffitsiyenti $\alpha^{\circ}C^{-1}$	Solishtirma og'irlik $\rho, n/m^3$
Po'lat	2-10 <sup>5</sup>	0,30	160	125-10 <sup>-7</sup>	78
Cho'yan	1,2-10 <sup>5</sup>	0,25	130	104-10 <sup>-7</sup>	75
Mis	1-10 <sup>5</sup>	0,32	60	165-10 <sup>-7</sup>	83
Bronza	1-10 <sup>5</sup>	0,35	90	170-10 <sup>-7</sup>	82
Shisha	0,56-10 <sup>5</sup>	0,25			

## 2.2. Harorat ta'sirida kuchlanish va deformatsiya

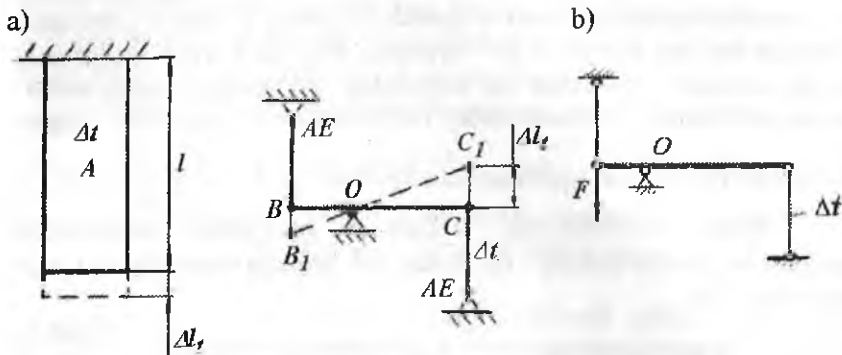
Texnikada ko'pgina konstruksiya qismlari harorat ta'sirida ishlaydi (gaz trubina, reaktiv dvigatel qismlari). Harorat ta'sirida hosil bo'lgan ichki bo'ylama kuch  $N$  - materialning elastiklik moduli  $E$ , qizdirilish harorati  $t^0$  ta'siridagi chiziqli kengayish koeffitsiyenti  $\alpha$  va sterjenning ko'ndalang kesim yuzasi  $A$ -ga bog'liq bo'ladi, ya'ni:  $N = \alpha \cdot \Delta t \cdot E \cdot A$ .

Haroratli kuchlanish: 
$$\sigma_t = \frac{N}{A} = \alpha \cdot \Delta t \cdot E \quad (2.8)$$

Tekis qizdirilgan bir jinsli sterjenning absolyut uzayishi quyidagi formula bilan topiladi: 
$$\Delta \ell_t = \alpha \cdot \Delta t \cdot \ell \quad (2.9)$$

Sterjenning nisbiy uzayishi: 
$$\varepsilon = \alpha \cdot \Delta t \quad (2.10)$$

Agar, sterjenga tashqi cho'zuvchi kuch  $F$  ham ta'sir qilsa (2.9) va (2.10) formulalarni quyidagicha yozish mumkin (2.4-rasm, b):



2.4-rasm. Temperatura ta'sirida deformatsiya; a) brus va sterjenlar sistemasini cho'zilish va siqilishi; b) tashqi kuch va temperatura ta'siridagi sterjenlar sistemasi.

$$\Delta l = \alpha \cdot \Delta t \cdot l + \frac{Nl}{EA} \quad (2.11) \quad \text{va} \quad \varepsilon = \alpha \cdot \Delta t + \frac{\sigma}{E}$$

Tashqi kuch  $F$  va harorat ta'siridagi deformatsiyalar mustaqil ko'rinishga egadir va u sterjenning umumiy deformatsiyasini tashkil qiladi.

### 2.3. Xususiy og'irlik ta'siridagi sterjenning cho'zilish yoki siqilishini hisoblash

Uzunligi  $l$ -ga teng bo'lgan sterjen xususiy og'irlik ta'sirida uzayadi (2.5-rasm). Sterjenning pastki uchidan  $X$  – masofada joylashgan  $m - n$  kesimining ichki kuchi va kuchlanishini aniqlaymiz. Buning uchun kesish usulidan foydalanamiz. Sterjenni ikki qismga ajratib, pastki bo'lagini olib qolamiz. Sterjenning ajratib olingan pastki qismi o'zining xususiy og'irligi  $\rho Ax$  va sterjenning tashlab yuborilgan qismining pastki qismga qo'yilgan ta'siri  $\sigma_x$  ostida bo'ladi. Agar,  $\sigma_x$  sterjenning  $m - n$  kesimida teng tarqalgan bo'lsa  $N = \sigma_x A = \rho \cdot Ax$  va  $\sigma_x = \rho \cdot x$  hosil bo'ladi.

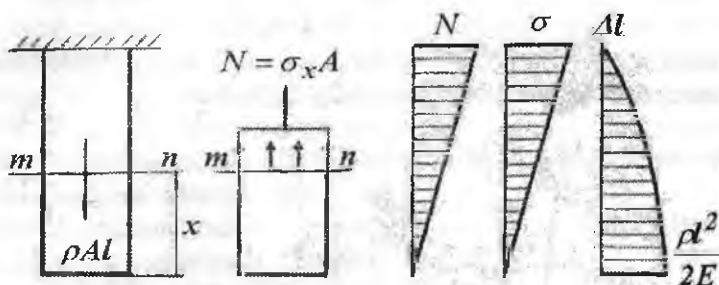
Demak, xususiy og'irlik ta'sirini hisobga olganda normal kuchlanish – materialning solishtirma og'irligi  $\rho$  va sterjenning uzunligi  $l$ -

ga bog'liq bo'ladi. Normal kuchlanish  $X = \ell$  kesimda, ya'ni tayanch kesimda eng katta qiymatga erishadi (2.5-rasm):

$$\sigma_{\max} = \rho \cdot \ell \quad (2.12).$$

Sterjenning xavfli kesimi uchun mustahkamlik sharti quyidagicha yoziladi:

$$\sigma_{\max} = \rho \cdot \ell \leq [\sigma] \quad (2.13)$$



2.5-rasm. Xususiy og'irlik ta'siridagi brusni cho'zilishi: kesish usuli, ichki kuch, normal kuchlanish va absolyut uzayish epyurlari

Agar, sterjenning pastki uchiga  $F$  kuch qo'yilgan bo'lsa, mustahkamlik shartining ko'rinishi o'zgaradi (2.6-rasm).

$$\sigma_{\max} = \frac{F}{A} + \rho \cdot \ell \leq [\sigma] \quad (2.14)$$

(2.13) va (2.14) formulalardan foydalanib sterjenning mustahkamligini ta'minlaydigan kritik uzunlik  $l_k = \frac{[\sigma]}{\rho}$ ;  $l_k = \frac{[\sigma]A - F}{\rho A}$

va kesim yuzasini aniqlash mumkin:  $A \geq \frac{F}{[\sigma] - \rho \cdot \ell}$

(2.14) formula asosida tanlab olingan kesim yuza sterjenning xavfli tayanch kesimini qanoatlantiradi, chunki shu kesimda normal kuchlanish eng katta qiymatga erishadi.

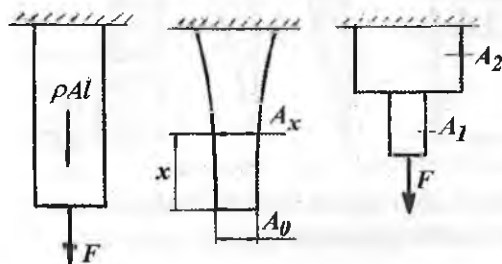
Sterjenning uzunligi bo'ylab, kesim yuzani (2.14) formula yordamida tanlash mumkin emas, chunki  $X = 0$  bo'lsa,  $\sigma = 0$  va  $X = \ell$  bo'lsa  $\sigma = \sigma_{\max}$  ga asosan, normal kuchlanish sterjenning uzunligi bo'ylab barcha kesimlarda to'g'ri chiziqli qonuniyat bilan o'zgaruvchidir. Bu holat sterjenning uzunligi bo'ylab barcha kesimlar normal kuchlanishi bilan bir xil yuklanmaganligini va ortiqcha material sarflanganligini bildiradi.

Sterjenning uzunligi bo'ylab kesimni shunday tanlash kerakki, uning barcha kesim yuzalarida  $\sigma$  bir xil qiymatga ega bo'lsin. Bunday sterjenlar teng qarshilik ko'rsatuvchi bruslar deyiladi.

**Teng qarshilik ko'rsatuvchi bruslarning** ko'ndalang kesim yuzasi:

$$A_x = A_0 \ell \left[ \frac{\rho}{\sigma} \right]^x \quad (2.15)$$

formula bilan topilib, sterjenning uzunligi bo'ylab nor mal kuchlanishning tarqalish qonuniyatiga bog'liq bo'ladi.



- Teng qarshilik ko'rsatuvchi brusni tayyorlashda kesimdan ratsional foydalanilganligi uchun ortiqcha material sarflanmaydi. Teng qarshilik ko'rsatuvchi bruslar ko'pincha pog'onali qilib tayyorlanadi (2.6-rasm). Pog'onali brusning kesim yuzalari quyidagicha topiladi:

2.6-rasm. Tashqi kuch va xususiy og'irlik ta'siridagi brus va teng qarshilik ko'rsatuvchi bruslar.

$$A_1 = \frac{F}{[\sigma] - \rho \cdot \ell_1} \quad \text{va} \quad A_2 = \frac{F + \rho A_1 \ell_1}{[\sigma] - \rho \ell_2}$$

Sterjenning xususiy og'irlik ta'sirida uzayishini topish uchun Guk qonunidan foydalanamiz:

$$\Delta \ell = \int_x^\ell \frac{N dx}{EA} = \int_x^\ell \frac{\rho \cdot A \cdot x \cdot dx}{EA} = \frac{\rho}{2E} (\ell^2 - x^2) \quad (2.16)$$

Agar, sterjen tashqi  $F$  kuch bilan ham yuklangan bo'lsa

$$\Delta \ell = \int_x^\ell \frac{(F + \rho Ax) dx}{EA} = \frac{N(\ell - x)}{EA} + \frac{\rho}{2E} (\ell^2 - x^2) \quad (2.17)$$

## 2.4. Cho'zilish va siqilishda statik noaniq sistemalar

Amaliyotda uchraydigan konstruktsiya qismlarining ko'pchiligi ko'ndalang kesimda hosil bo'ladigan ichki cho'zuvchi yoki siquvchi bo'ylama kuchlari va kuchlanishlarini kesish usulidan foydalanib,

sistemaning ajratilgan bo'lagini muvozanat shartini tuzish bilan topish mumkin.

Bo'ylama kuch kesish usuli orqali topiladi.  $N$  kuchi kesimdan yo'nalgan bo'lsa cho'zuvchi bo'ylama kuch deb qabul qilinadi va musbat ishorali bo'ladi. Agar  $N$  kuchi kesimga qarab yo'nalgan bo'lsa siquvchi bo'ylama kuch bo'ladi va ishorasi manfiy olinadi.  $N$  kuchni topishda, uning yo'nalishi noma'lum bo'lsa, musbat ishorani olish maqsadga muvofiqdir. Sterjen uzunligi bo'ylab bir qancha tashqi kuchlar ta'sirida bo'lsa, uning uzunligi bo'ylab ichki kuchlarning o'zgarish grafigini chizish kerak. Sterjen o'qi bo'ylab  $N$  kuchining o'zgarish grafigiga bo'ylama kuch epyurasi deyiladi.  $N$  kuchni topish uchun muvozanat tenglamalaridan foydalanamiz.

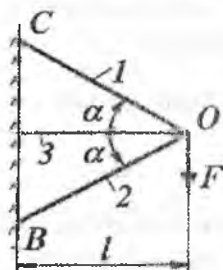
2.7-rasmdagi sistemada uchta sterjen joylashtirilgan, undagi ichki kuchlarni muvozanat shartlardan foydalanib topib bo'lmaydi, chunki ajratilgan qismdagi ichki kuchlarning soni shu qismning muvozanat

holatini ta'minlovchi tenglamalar sonidan ko'p bo'ladi (2.7-rasm).

$$\sum x = -N_1 \cos \alpha - N_3 - N_2 \cos \alpha = 0 \quad (2.17)$$

$$\sum y = N_1 \sin \alpha - N_2 \sin \alpha - F = 0 \quad (2.18)$$

(2.17) va (2.18) tenglamalarda uchta  $N_1$ ,  $N_2$  va  $N_3$  noma'lum kuchlar bo'lib, bu kuchlarni yuqorida tuzilgan shartlar yordamida topib bo'lmaydi.  $N_1$ ,  $N_2$ , va  $N_3$ -larni topish noaniqlikka kelib qoladi. Bunday sistemalar statik noaniqdir. Bu tenglamalardan noma'lum  $N$  ichki kuchlarni topish uchun qo'shimcha tenglamalar tuziladi



2.7-rasm. Statik noaniq sterjenlar sistemasi

Qo'shimcha tenglamalar – sistemani deformatsiyasini ifodalaydigan geometrik bog'lanishlar – deformatsiya tenglamalari muvozanat tenglamalari bilan birgalikda echiladi va noma'lum ichki kuchlar topiladi.

Ikki tomoni bika mahkamlangan va  $F$  kuchi bilan yuklangan brus ham statik aniqmas masaladir, chunki  $R_A$  va  $R_B$  tayanch reaksiyalari bitta muvozanat shartidan topilishi mumkin emas (2.8-rasm, a):

$$\sum y = 0; \quad R_A + R_B = F$$

Sistemani yechish uchun qo'shimcha deformatsiya tenglamasidan foydalanish kerak. Buning uchun berilgan sxemaga ekvivalent bo'lgan asosiy sxemani ( sistemani ) tanlaymiz (2.8-rasm, b). Asosiy sistema

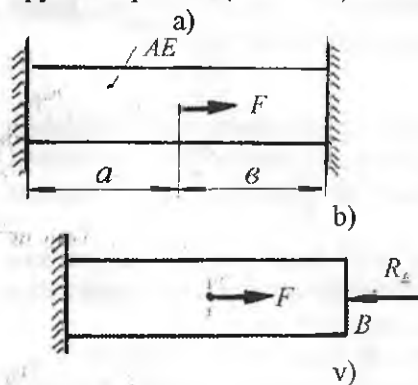
deb, tayanch ta'sirini undagi reaksiya kuchi ta'siri bilan almashtirilgan sistemaga aytiladi. Berilgan sistemada B tayanch nuqta absolyut qo'zg'almas, shuning uchun bu nuqtaning ko'chishi  $\Delta l_B = 0$ . Asosiy sistemada ham B nuqtaning qo'zg'almasligi ta'minlanlansa, ya'ni  $\Delta l_B = \Delta l_{BF} + \Delta l_{BR} = 0$  shart bajarilsa, u berilgan sistemaga ekvivalent bo'ladi. Buerda  $\Delta l_{BF}$ ,  $\Delta l_{BR}$  - brus B nuqtasini tegishlicha, tashqi  $F$  va  $R_B$  reaksiya kuchlari ta'siridan ko'chishi. Ularni quyidagicha aniqlaymiz:

**Birinchi faraz**, agar B tayanch bo'lmaganida brusni bu nuqtasi  $F$  kuch ta'siridan  $B_1$  vaziyatga, ya'ni  $\Delta l_{BF}$  miqdorga ko'chadi.  $\Delta l_{BF}$  ko'chish brus  $a$  - uzunlikdagi qismining  $F$  kuch ta'siridan absolyut uzayishiga teng bo'ladi, ya'ni  $\Delta l_{BF} = \frac{Fa}{EA}$ .

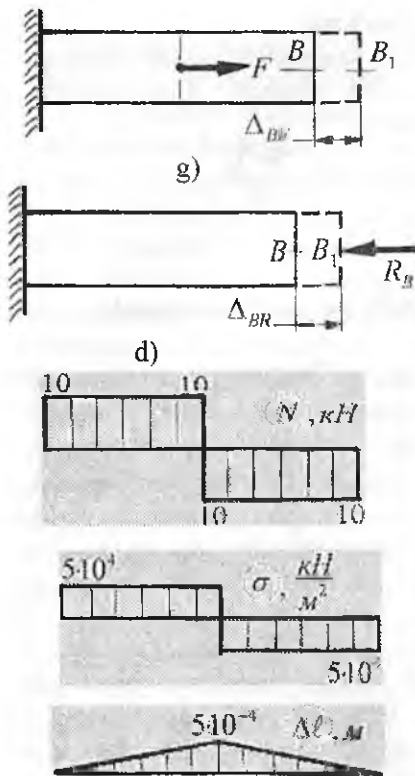
**Ikkinchi faraz**, deformatsiyalangan brusning  $B_1$  nuqtasiga  $R_B$  noma'lum reaksiya kuchi qo'yilgan.  $R_B$  reaksiya kuchi ta'siridan  $B_1$  nuqta B vaziyatga ko'chadi, unda brusni absolyut qisqarishi

$\Delta l_{BR} = R_B \frac{a+\epsilon}{EA}$ , unda  $\Delta l_B = \frac{F \cdot a}{EA} - \frac{R_B(a+\epsilon)}{EA} = 0$  hosil bo'ladi. Bu yerdan  $R_B = F \frac{a}{a+\epsilon}$  va  $R_C = F \frac{\epsilon}{a+\epsilon}$ .

Reaksiya kuchlari hisoblangan brus uchun kesish usulidan foydalanib ichki bo'ylama kuch  $N$ , normal kuchlanish va absolyut uzayish epyurlari quriladi (2.8.-rasm).



Konstruksiya elementi har xil materiallardan tashkil topganda ham statik noaniq masala ko'rinishidagi sistema hosil bo'ladi. (2.9-rasm). Bu sterjen statik aniqmas masaladir. Sterjen ko'ndalang kesimining o'lchamlari topilsin ( $A_p = 2 A_b$ ). Sterjenga qo'yilgan siquvchi  $F$  kuch po'lat va bronza sterjenlariga P detali orqali ta'sir qiladi.  $F$  kuchning har qaysi sterjenga ta'sirini topish uchun bitta tenglama tuzish mumkin:



2.8-rasm. Statik noaniqlikni ochiq tartibi va ichki kuch, normal kuchlanish va bo'ylama uzayish



2.9-rasm. Har xil materialdan tashkil topgan statik noaniq masala

$$F_6 + F_n = F \quad (a)$$

Bu tenglamada ikkita noma'lum kuch bor.  $F_b$  va  $F_p$  kuchlarni topish uchun qoshimcha deformatsiya tenglamasini tuzamiz. Tashqi siquvchi kuch ta'sirida har ikkala sterjen ham bir xil masofaga siqiladi. Guk qonuniga asosan

$$\Delta l = \frac{F_6 \ell}{E_6 A_6} = \frac{F_n \ell}{E_n A_n} \quad (b)$$

Bu yerdan:  $F_n = F_6 \frac{E_n A_n}{E_6 A_6}$  ni

(a)-tenglamaga keltirib qo'ysak,  $F_6(1 + \frac{E_n A_n}{E_6 A_6}) = F$  kelib chiqadi.

Unda  $F_6 = \frac{F}{1 + \frac{E_n A_n}{E_6 A_6}}$  va

$$F_n = \frac{F}{1 + \frac{E_6 A_6}{E_n A_n}}$$

kuchlar asosida har bir materialdagi kuchlanish topiladi

$$\sigma_6 = \frac{F_6}{A_6} \quad \text{va} \quad \sigma_n = \frac{F_n}{A_n}$$

(b) tenglamadan:  $\frac{\sigma_n}{\sigma_6} = \frac{E_n}{E_6}$ ,

agar,  $E_n = 2 \cdot 10^5 \text{ mPa}$  va  $E_6 = 1 \cdot 10^5$  bo'lsa,  $\sigma_n = 2\sigma_6$  hosil bo'ladi, ya'ni po'lat d materialidagi kuchlanish bronza



materialidagi kuchlanishdan ikki barobar katta.

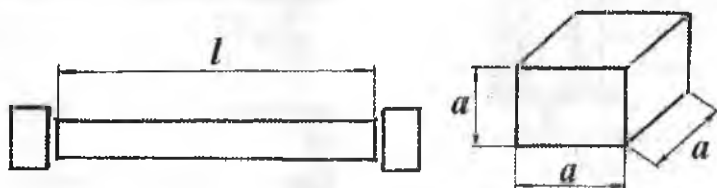
Lekin, bronza uchun ruxsat etilgan kuchlanish, po'lat uchun ruxsat etilgan kuchlanishdan uch barobar kichik. Shuning uchun, sterjenning o'lchamlari bronza uchun tanlanishi kerak:

$$\sigma_{\delta} = \frac{F}{A_{\delta} \left(1 + \frac{E_n A_n}{E_{\delta} A_{\delta}}\right)} \leq [\sigma]_{\delta}. \text{ Bu erdan } A_{\delta} \geq \frac{5[\sigma]_{\delta}}{F}.$$

## 2.5. Materiallarni cho'zilish va siqilishga sinash

Konstruksiya qismlarini cho'zilish va siqilishga mustahkamligini, bikrligini hisoblashda ruxsat etilgan kuchlanish  $[\sigma]$ , elastiklik moduli  $E$  va Poisson koeffitsiyenti  $\mu$ , materialni elastiklik va plastiklik xossalari hisobga olish kerak bo'ladi. Yuqorida keltirilgan, materiallarning mexanik va plastiklik xossalari konstruksiya qismlarining ishlash sharoitlariga, ularni tayyorlash texnologiyasiga bog'liq bo'ladi. Turli sharoitlarda (yuqori va past haroratda, har xil deformatsiya tezligida, mexanik va termik ishlov berishda,) materiallarning xossalarini o'rganish, cho'zilish va siqilishga sinashni asosiy maqsadidir.

Cho'zilish va siqilishga sinash maxsus mashinalar bilan jihozlangan laboratoriyalarda o'tkaziladi. Sinashda qatnashadigan namunaning shakli va geometrik o'lchani standartlashtirilgan bo'lishi kerak. Chuzilishga sinaladigan namunani shakli standartlashtirilgan bo'lib, ishlovchi qismining uzunligi  $l_0$  kesim diametri ( $d_0$ )dan 10 barobar katta bo'lishi kerak. Cho'zilishda sinaladigan namunaning asosiy xususiyati, uning kuchaytirilgan ushlagich qismidan  $d_0$  diametriga deformatsiyaning silliq o'tishidir (2.10-rasm). Siqilishga sinaladigan namunalar silindrik (metall) va kubik (yog'och, beton) shaklida tayyorlanadi.



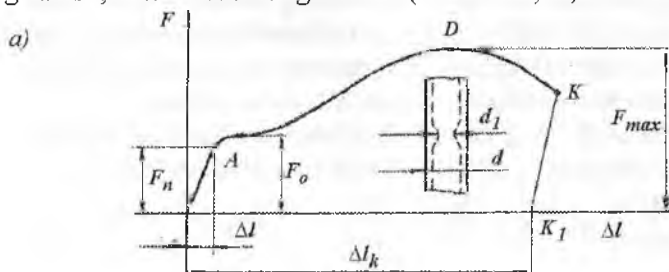
2.10-rasm. Cho'zilish va siqilishga sinash namunalari

Namuna mashinaning 4 va 5 ushlagich (2.11-rasm,b) qismlariga suxariklar yordamida biriktiriladi. Cho'zilish diagrammasini chizadigan qog'oz va qalam o'ratilgandan keyin, namuna sekin cho'zuvchi kuch bilan yuklanadi. Kuchning qiymati ortishi bilan qog'ozda abstsissaga og'ishgan to'g'ri chiziq paydo bo'la boshlaydi. Bu holat ma'lum muddat davom etadi va kuchni keyingi ortishida ushbu chiziq abstsissaga taxminan parallel davom etadi. Cho'zuvchi kuchni ortirsak namunaning yuzi xiralashdi va uning uzayishi uchun kuchning ortirilishi talab qilinmaydi. Material oqadi. Bu holatda silliq qilib tayyorlangan namunaning sirtida sterjenning simmetriya o'qiga nisbatan  $45^{\circ}$  burchakda joylashgan chiziqlar hosil bo'ladi. Cho'zuvchi kuchni keyingi ortishida diagramma silliq egri chiziq bilan davom etadi. Cho'zuvchi kuch eng katta ( $F_{max}$ ) qiymatiga erishganda (2.12-rasm,  $D$  nuqta) namunaning butun uzunligi uzayishdan to'xtab ma'lum bir bo'lagi uzayadi. Mahalliy uzayish hosil bo'ladi. Mahalliy uzayishida qatnashgan ko'ndalang kesimi – qisqaradi (diametr  $d$  dan  $d_1$  ga qadar kichiklashadi), ingichka bo'yin hosil bo'ladi. Qisqargan kesimni uzish uchun kam kuch sarf qilinadi, shuning uchun moslamani yetaklovchi ko'rsatgichi va diagramma pastga orqaga keta boshlaydi, namuna ingichka bo'yindan uziladi. Namunada uzilish sodir bo'lishi bilan yetaklovchi ko'rsatgichni orqaga harakat tezligi kattalashadi. Tajriba to'xtatiladi.

Mashinani boshqarish moslamasidagi barabandan yumshoq pulotni cho'zilish diagrammasi chizilgan qog'oz olinadi. Tajriba natijalari asosida materialni mexanik va plastiklik xossalari aniqlanadi.

### Yumshoq po'latning cho'zilish diagrammasi

Cho'zilishga sinashda kuch bilan namunaning uzayishi orasidagi bog'lanish, mashinadan diagramma (2.12-rasm,  $a$ ) ko'rinishida olinadi.



b)



2.12-rasm. Yumshoq po'lotni cho'zilish diagrammasi (a) va (b) namunani oquvchanlik chegaradagi korinishi

Diagrammani tavsifli nuqtalari quyidagicha nomlanadi:

$OA$  – chiziq proporsionallik chegarasi deyiladi.  $OA$  chegarada material Guk qonuniga bo'ysunadi, chunki namunaning uzayishi ( $\Delta\ell$ ) cho'zuvchi kuchga proporsional o'zgaradi. Bu qonuniyat  $A$  nuqttagacha saqlanadi  $\Delta\ell = \frac{F\ell_0}{EA_0}$  Guk qonuni bo'ysunmaydigan holat boshlanishiga

to'g'ri keluvchi kuchlanish  $\sigma_n$  - materialni proporsionallik chegarasi deyiladi.  $A$  nuqtadan sezilar-sezilmas balandroqda joylashgan  $B$  nuqta materialning elastiklik chegarasi deyiladi. Nisbatan kamroq (0,001...0,003 %) qoldiq deformatsiya hosil qiladigan kuchlanish  $\sigma_0$  elastiklik chegarasi deyiladi. Agar,  $OA$  oraliqda sinovni to'xtatib, namunadan kuchni olsak, namunaning uzayishi yo'qoladi. So'nuvchan deformatsiya – elastik deformatsiya deyiladi.

Cho'zuvchi kuchni orttirib borsak, silliq qilib tayyorlangan namunaning yuzida sterjenning simmetriya o'qiga nisbatan  $45^\circ$  burchakda joylashgan chiziqlar hosil bo'ladi (2.12-rasm, b). Namunaning yuzi xiralashadi va uning uzayishi uchun kuchning orttirilishi talab qilinmaydi. Material oqadi. O'zgarmas kuchda namuna deformatsiyasini o'sishi – materialning oquvchanlik chegarasi deyiladi. Materialning oqishiga sabab bo'luvchi kuchlanish  $\sigma_{OK}$ -ga oquvchanlik chegarasi deyiladi.  $D$  nuqttagacha namunaning  $\ell_0$  uzunligi cho'ziladi (deformatsiyalanadi).  $D$  nuqtada namuna eng katta kuchni qabul qiladi va uning butun uzunligi uzayishdan to'xtab ma'lum bir bo'lagi uzayadi. Mahalliy uzayish hosil bo'ladi. Namunaning mahalliy uzayishida qatnashgan ko'ndalang kesimi – qisqaradi (diametr kichiklashadi), ingichka bo'yin hosil bo'ladi. Qisqargan kesimni uzish uchun kam kuch sarf qilinadi va namuna ingichka bo'yindan  $K$  nuqtada uziladi.

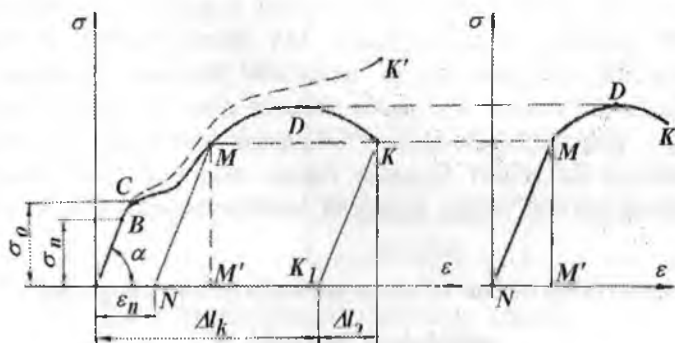
Eng katta kuch  $F_{max}$  ta'sirida hosil bo'lgan kuchlanish materialni mustahkamlik chegarasi yoki vaqtinchalik qarshilik deyiladi.

$$\sigma_n = \frac{F_n}{A_0}; \quad \sigma_0 = \frac{F_0}{A_0}; \quad \sigma_{OK} = \frac{F_{OK}}{A_0}; \quad \sigma_{max} = \frac{F_{max}}{A_0} \quad (2.19)$$

(2.19) formulada topilgan  $\sigma_n, \sigma_o, \sigma_{OK}$  va  $\sigma_{max}$  kuchlanishlar – materialning mexanik xossalarini tashkil qiladi.  $OK_1 = \Delta l_k$  namunaning uzilishidagi qoldiq deformatsiyasi.  $K_1 U$  – namunaning uzilishidan keyin soʻngan deformatsiyasi (2.11-rasm).

$$\text{Namunaning nisbiy uzayishi: } \delta = \frac{\Delta l_k}{l_0} \cdot 100 \% \quad (2.20)$$

va koʻndalang kesimining nisbiy qisqarishi:  $\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \cdot 100\%$  namuna materialining plastiklik xossasini belgilaydi. Masalan: agar  $\delta > 5\%$  boʻlsa material plastik va  $\delta < 5\%$  boʻlsa material moʻrt boʻladi. Plastik materiallar uchun  $\psi$  katta boʻladi. St.2 markali poʻlat uchun  $\psi = 55 \dots 65\%$ ,  $\delta = 28 \dots 33\%$ . Materialning yemirilmasdan katta deformatsiya hosil qilaolish qobiliyati – plastiklik deyiladi. Plastiklikni oʻlchovi – nisbiy uzayishdir. Moʻrtlik – materialning plastiklik xossasiga teskaridir.



2.13-rasm.  $\sigma - \varepsilon$  koordinatasida choʻzilish diagrammasi

**$\sigma - \varepsilon$  koordinatasida choʻzilish diagrammasi.** Buning uchun  $F$  kuchni  $A_0$  ga va  $\Delta l$  ni namuna uzunligiga boʻlamiz (2.13-rasm).  $\sigma - \varepsilon$  koordinatadagi choʻzilish diagrammasini shartli diagramma deb qabul qilsak ham boʻlaveradi. Chunki namunaning choʻzilishdagi turli holatiga toʻgʻri keluvchi kuchlanishlarini ( $\sigma; \sigma_o; \sigma_{max}$ ) topishda choʻzuvchi kuch  $F$  ni namunaning boshlangʻich kesim yuzasi  $A_0$  – ga boʻldik. Agar, namunaning uzayishida koʻndalang oʻlchamning qisqarishini hisobga ol-

sak, (2.19) formula orqali topilgan kuchlanishlar haqiqiy kuchlanishlardan farqli bo'lib chiqadi. Haqiqiy kuchlanishlar yordamida qurilgan cho'zilish diagrammasining ordinatasi  $\sigma - \varepsilon$  koordinatasida *OASMDK* chiziq bilan chegaralangan cho'zilish diagrammasining ordinatasidan balanddir (2.13-rasm, punktir chiziq)  $\sigma - \varepsilon$  diagrammasidan  $t g \alpha = \frac{\sigma}{\varepsilon} = E$  hosil bo'ladi. Materialning elastiklik moduli  $-E$  diagramma to'g'ri chizikli qismini abtissaga nisbatan og'ishgan burchagining tangensiga teng.

**Puxtalanish:** Namunaning cho'zilishini  $M$  nuqtada to'xtatsak, diagramma *OA* chiziqqa parallel *MN* chiziq bilan orqaga qaytadi. Namunada  $\varepsilon_N$  qoldiq deformatsiya hosil bo'ladi. Agar namunaga qayta  $F$  kuchni yuklasak cho'zilish diagrammasi, namunaning uzayishi,  $N$  nuqtadan boshlanadi va *NM* chiziq ustidan davom etadi. Diagrammaning qolgan qismi *MDK* chizig'i bilan ustmaust tushadi. Demak, namuna qayta yuklanganda oldingi qoldiq deformatsiya  $\varepsilon_N$  hisobga olinmas ekan. Takroriy (qayta) yuklashda (cho'zishda) materialning qoldiq deformatsiyasiz katta kuchni qabul qilish qobiliyati yaxshilandi. Bu holat *MN* chiziqda yaqqol ko'rinadi. *MN* chiziq takroriy yuklashdagi proporsionallik chegarasi bo'lib, materialni elastiklik xossasini aniqlaydi. Plastik deformatsiya ta'sirida material elastiklik xossasining yaxshilanishi – puxtalanish deyiladi. Puxtalanish texnikada ko'p uchraydigan texnologik jarayondir. Masalan: remen, zanjir, tros'larni sovuq holatida boshlang'ich cho'zilishi, presslash, valiklarda prokatka qilish va h.k.

Ayrim materiallarni cho'zilishda mustahkamlik chegarasi  $\sigma_B$  va uzilishdagi uzayishi  $\delta$

2.2-jadval

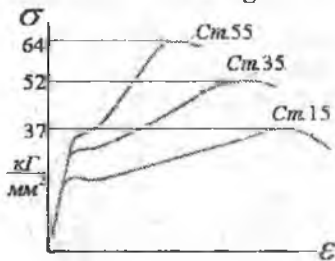
Material	$\sigma_B, \frac{kg}{sm^2}$	$\delta, \%$
Bolt va parchin uchun po'lat	3400...5500	22 - 25
Quyma temir ( po'lat )	3000...4800	8 - 16
Prokat po'lat	3800...6200	18 - 22
Nikelli po'lat	5500...6500	22 - 27
Xromnikelli po'lat	6500...7000	16 - 18
Maxsus po'lat	11000...16000	8 - 10

2.2-jadvalning davomi

Choʻyan	1200...2500	-
Qizil mis	2000...2300	38
Bronza	2500	15
Alyuminiy	1000...3500	10 - 20
Qaragʻay tolalari boʻylab	800	
Granit	30	
Qum tosh	20	
Gʻisht	7...30	
Beton	2,5...17,5	

2.3-jadval

Turli markadagi poʻlat uchun choʻzilish diagrammasi



Ayrim materiallarni choʻzilishda mustahkamlik chegarasi

Material	$\sigma_B, \frac{kg}{sm^2}$
choʻyon	6000...9000
granit	800...2000
gʻisht	60...300
ohak	400...2000
beton	70...500
sosna tola boʻylab	300...350

### 2.5.2. Materiallarni siqilishga sinash

Qurilish materiallarini siqilishga sinashda *RB-10* mashinasi yoki *P-50* gidravlik presidan foydalanish mumkin.

Plastik va moʻrt materiallarni siqilishga sinash uchun namunalari tayyorlanadi. Poʻlat va choʻyon materiallaridan silindr shaklidagi, boshqa materiallardan esa kubiklar tayyorlanadi:

Yogʻoch: 35x35x35,

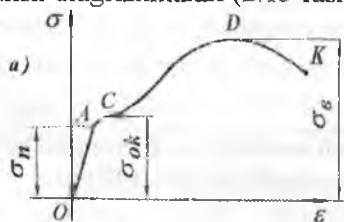
beton:

100x100x100

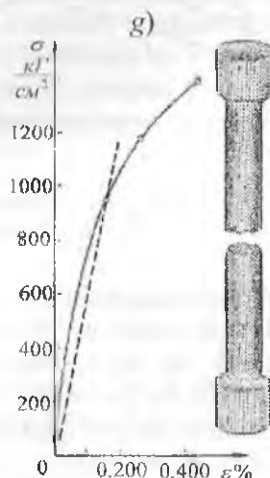
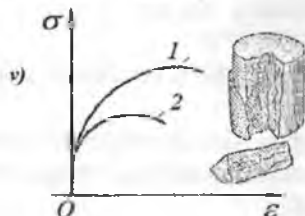
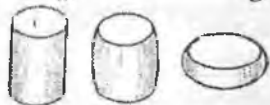
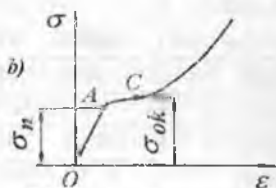
keramika: 10x10x10 mm

## Materiallarni cho'zilish va siqilish diagrammalari

Yumshoq po'lat siqilishda ham, cho'zilishdagi kabi katta qoldiq deformatsiya hosil qilish xususiyatiga ega. Siqilish diagrammasi o'suvchan bo'ladi. Uning uchun, yumshoq po'latni siqilishda mustahkamlik chegarasini aniqlash mumkin emas (2.15-rasm, b). Yumshoq po'latni cho'zilish va siqilishdagi ( $\sigma_n, \sigma_{OK}$ ) kuchlanishlari taxminan bir xil:  $\sigma_n = 200 \text{ mPa}$ ;  $\sigma_{OK} = 240 \text{ mPa}$ . Cho'yanda cho'zilish (2.15-rasm, v-1) va siqilish diagrammalari (2.15-rasm, b-2) bir xil emas.

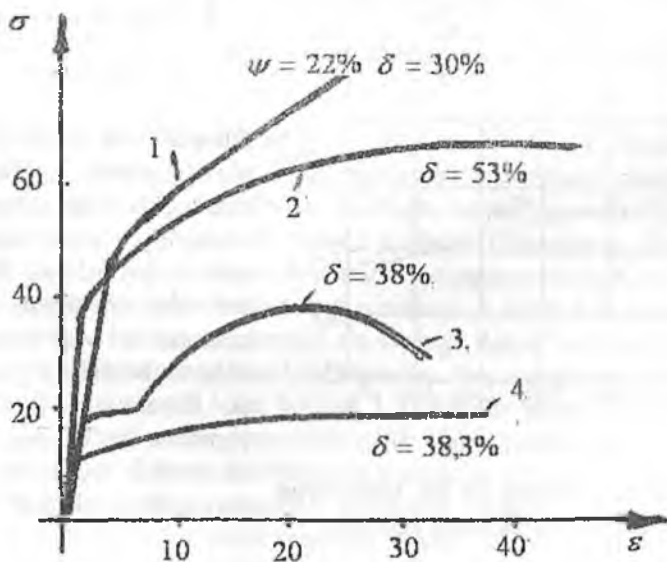


Chunki cho'yan cho'zuvchi kuchga kam qarshilik ko'rsatib juda kichik qoldiq deformatsiya hosil qilib yemiriladi (2.15-rasm, g). Cho'yanni cho'zilishda uzilish bo'yni sezilmaydi, siqilishda esa namuna *I'* kuch chizig'iga  $45^\circ$  burchak ostida yoki vertikal tekislikda yemiriladi (2.15-rasm, v).



2.15-rasm. Turli materiallarni cho'zilish va siqilish diagrammalari:  
 a) yumshoq po'latni cho'zilish va b) siqilish diagrammalari;  
 v) cho'yon materialini siqilish (1) va cho'zilish (2) diagrammalari;  
 g) cho'yan namunasini yemirilish xarakteri.

Mis, bronza, po'lat materiallarning ayrim navlari oquvchanlik chegarasiga ega emas. Diagrammaning to'g'ri chiziqli qismi egri chiziq bilan almashadi. Oquvchanlik chegarasi bo'lmagan materiallarda, oquvchanlik chegarasiga tegishli kuchlanishni shartli ravishda nisbiy uzayishi 0,2 % to'g'ri keluvchi kuchlanishga teng deb qabul qilinadi (2.15-rasm). Bunday materiallarda proporsionallik chegara sifatida, namunaning umumiy deformatsiyasini 0,002% ga tegishli kuchlanish qiymatini qabul qilinadi. Diagrammaning shu qismi to'g'ri chiziq bilan almashtiriladi va Guk qonuni ishlatiladi. Umuman, materialning xossalari sinov ishlarini o'tkazish sharoitiga, materiallarning olinish texnologiyasiga, termik va mexanik ishlov berish usuliga, harorat va tashqi kuch qo'yilish tavsifiga bog'liq. Masalan: harorat  $300^{\circ}\text{S}$  ga qadar ko'tarilgan da yumshoq po'lat ning mo'rtligi namoyon bo'ladi, elastik moduli  $E$  taxminan o'zgaravdi, oquvchanlik chegarasi kichrayadi, mustahkamligi ortadi (2.17-rasm).

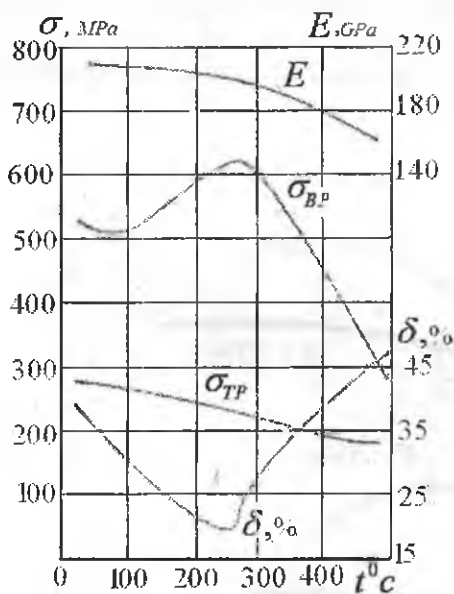


2.16-rasm. 1-yuqori sifatli legirlangan po'lat;  
2-nikelli po'lat; 3-quyma po'lat; 4-bronza

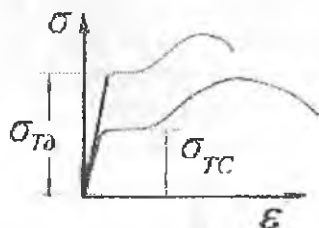


Harorat 350...400<sup>0</sup> ga qadar ko'tarilganda yumshoq po'latning xossasi noaniqlikka yaqinlashadi. Uning mexanik xususiyatlari yomonlashadi, plastiklik tiklanadi (2.17-rasm). Bu holat faqat yumshoq po'latga xosdir.

Legirlangan po'lat va rangli metallarda harorat ko'tarilishi bilan  $\sigma_{sk}$  va  $\sigma_g$  bir xil kamayib borsa,  $\delta$  esa oshib boradi. Yuklanish tezligi ortishi bilan plastik materialning xossalari mo'rt material xossasiga yaqinlashadi (2.18-rasm, 1-statik kuch, 2 - dinamik kuch). Yuklanish tezligi ortishi bilan materialning oquvchanlik va mustahkamlik chegaralari ortadi.



2.17-rasm. Yumshoq po'lot xossalarini temperatura ta'sirida o'zgarishi.



2.18-rasm

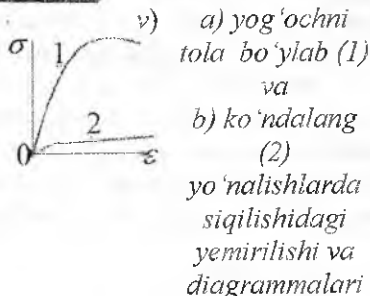
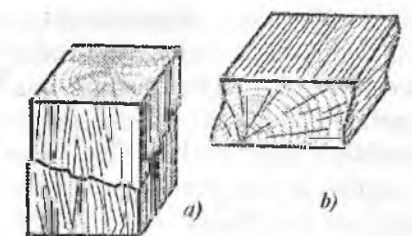
Dinamik cho'zilish diagram masining ordinatasi statik cho'zilish diagrammasining ordinatasidan baland joylashadi. Dinamik cho'zilishning diagrammasi  $\sigma$  o'qi tomonga siljigan holatda joylashadi. Dinamik yuklanishda yumshoq po'latning elastik moduli taxminan o'zgarmaydi (2.18-rasm).

Plastmassa va organik materiallarning mexanik xossalari deformatsiya tezligiga bog'liqdir. Plastmassaga uzoq muddat kuch ta'sir qilib tursa, uning mustahkamlik chegarasi kamayadi. Konstruksiya elementlari tayyorlanadigan konstruksiion po'lat quyma, qoliplash, proklatlash, sudrab cho'zish usullari bilan olinadi. Turli xil usullar bilan

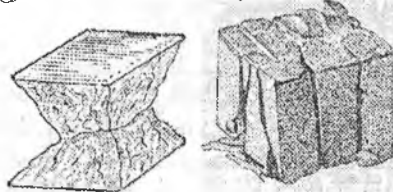
olingan bir xil tarkibli po'latning mexanik xossalari har xil bo'ladi. Quyma usul bilan olingan po'latda, konstruksiyaning mustahkamligini kamaytiruvchi har xil ichki nuqson hosil bo'lishi mumkin. Shuning uchun materiallarni rentgenli, ultratovushli yoki boshqa usullar bilan tekshirib ko'rish kerak. Prokatlash po'latni anizotrop materialga aylantiradi. Prokatlash yunalishida materialda tola hosil bo'ladi. Agar detalning o'qi materialning tolasiga parallel bo'lsa, materialning mustahkamligi katta bo'ladi. Masalan, yog'och materialini tolasiga bo'ylab siqilishga sinaganda, uning mustahkamlik chegarasi (2.19-rasm, b-1), tolalariga perpendikulyar tekislikda siqilishga sinagandagi mustahkamlik chegarasidan (2.19-rasm, b-2) ancha katta bo'ladi. Yog'och bir jinsli material emas, ya'ni yog'ochdan tayyorlangan kubik tolalari bo'ylab va unga tik yo'nalishda xossalari bir xil emas. Yog'och anizotrop material. Tolalari bo'ylab siqilishda yog'och jinslari katta kuchlanishlarga chidam beraoladi. Masalan, qarag'ayning mustahkamlik chegarasi

$$\sigma_B = (400 \dots 800) \frac{\kappa \Gamma}{\text{sm}^2}$$

Natijada, boshlang'ich ichki kuchlanishi yo'qotiladi, qirqib ishlash osonlashadi. Toblangan po'latda mustahkamlik ortadi, plastiklik esa kamayadi. Bo'shatilgan po'latda plastiklik ortadi, mustahkamlik xususiyatlari kamayadi. Yuqori haroratda material xossasining o'zgarishida surilish ahamiyatlidir. Yuqori haroratda o'zgarimas kuchlanish ta'sirida vaqt o'tishi bilan deformatsiyaning o'sishiga – surilish deyiladi. Qo'rg'oshin, latun, bronza, alyuminiy va boshqa rangli metallarda surilish kichik haroratda ham sodir bo'lishi mumkin. Harorat qancha katta bo'lsa surilish shuncha tezroq hosil bo'ladi. Ayrim hollarda, juda katta vaqt oraliqida – kuchlanishi proportsionallik chegarasidan kichik bo'lgan materialni yuqori haroratda deformatsiyaning tez o'sishi – yemirilishiga sabab bo'lishi mumkin. Surilish natijasida plastik deformatsiyaning o'sishi, kuchlanishning detal kesimida qayta taqsimlanishi olib keladi. Plastiklik deformatsiyasining o'sishi natijasida kuchlanishning kamayishi – relaksatsiya hodisasi deyiladi.



g) *tosh va betonni yemirilishi*



2.19-rasm. Mo'rt materiallarni siqilishdagi yemirilishi.

Siqilishda kubik bir qismining ikkinchi qismiga nisbatan siljishi tufayli yemirilish ro'y beradi. Yog'ochni tolalariga ko'ndalang siqganda u yemirilmaydi, balki ancha siqiladi, ya'ni balandligi kichrayadi.

Materialning oquvchanlik chegarasidan tashqarida puxtalanishi, uning oquvchanlik va mustahkamlik chegarasini orttiradi, uzilishdan keyingi qoldiq deformatsiyasini kamaytiradi. Material mustahkam va elastik bo'ladi, plastikligi kamayadi. Materiallarning mexanik va plastik xossalarni o'zgartirish uchun ularga termik ishlov beriladi: yumshatish, toblash va bo'shatish. Po'lat ma'lum haroratgacha qizdirilib ushlab turiladi, so'ngra astasekin sovutiladi. Yumshatish natijasida po'latning mustahkamlik tavsifi kamayadi, plastiklik xususiyati ortadi.

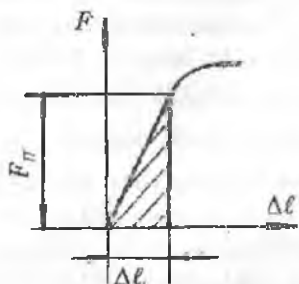
Mo'rt materiallar siqilishda yemiriladi. Betonni siqilishda mustahkamlik chegarasi cho'zilishdagiga qaraganda taxminan 20 marta katta.

### Cho'zilish va siqilishda potensial energiya

Namunani cho'zishda yoki siqishda mashina ish bajaradi. Bu ish miqdor jihatdan materialda to'plangan potensial ( $T$ ) va kinetik ( $K$ ) energiyalar yig'indisidan iborat bo'ladi, ya'ni:  $A_{ish} = T + K$

Namunaga qo'yilgan tashqi kuch statik kuch bo'lganligi uchun kinetik energiya nolga teng. Demak, tashqi  $A_{ish} = T$  kuchning bajargan

ishi namunaning deformatsiyasi natijasida materialda to'plangan potensial energiyaga teng ekan.



Ikkinchi tomondan, proporsionallik chegarasida to'liq ishl diagrammada shtrixlangan uchburchakning yuzasi bilan topiladi:

$$A_{\text{ish}} = \frac{F\Delta\ell}{2} = \frac{F^2\ell}{2EA_0} \quad \text{yoki} \quad T = \frac{F^2\ell}{2EA_0}$$

Deformatsiyaning solishtirma potensial energiyasi

$$U = \frac{T}{V_0} = \frac{T}{A_0\ell} = \frac{F^2}{2EA_0^2} = \frac{\sigma^2}{2E} = \frac{\sigma\varepsilon}{2}$$

### Mustahkamlikka ehtiyotlik koeffitsiyenti

Konstruksion materiallarni uchta asosiy turga ajratish mumkin: plastik, mo'rtplastik va mo'rt. Bu klassifikatsiya materiallarni normal sharoitda (yuklanishni kichik tezligi, xona temperaturasi va h.k) bir o'qli cho'zilish (siqilish) dagi xossasida o'rinali. Yuklanish xarakteri va ishlash sharoiti material xossasiga ta'sir qiladi: normal temperaturada plastik bo'lgan material past temperaturada mo'rt holatga o'tadi. Shuning uchun plastik va mo'rt material to'g'risida emas, balki materialni plastik va mo'rt holatlari to'g'risida gapirish lozim.

Materiallarni mexanik sinash shunday kuchlanishlarni aniqlashga imkon beradiki, bunday kuchlanishlarda ushbu materialdan tayyorlangan namuna yoki yemiriladi, yoki unda sezilarli plastik deformatsiya hosil bo'ladi. Bu kuchlanishlar chegaraviy deyiladi.

Yuqorida keltirilgan uch guruhdagi materiallarni statik yuklanishdagi chegaraviy kuchlanishlar bo'yicha quyidagi mexanik xarakteristikalami qabul qilamiz: plastik materiallar uchun (katta qoldiq deformatsiya hosil qilib yemiriladi) – oquvchanlik chegara ( $\sigma_{OK}$  va  $\sigma_{O2}$ ) cho'zilish va siqilishda bir xil;

mo'rtplastik materiallar uchun (uncha katta bo'lmagan qoldiq deformatsiya hosil qilib yemiriladi) – shartli oquvchanlik chegara cho'zilish va siqilishda har xil;

mo'rt materiallar uchun (uncha kichik qoldiq deformatsiya hosil qilib yemiriladi) – mustahkamlik chegara cho'zilish va siqilishda har xil.

Puxtalanish po'lat materialining mexanik xorssasini o'zgartiradi, amalda mustahkamlik chegarasi o'zgarmagan holda qachon uning mustahkamligini oshiradi. Puxtalanishgacha oquvchanlik chegarasi bo'lgan po'latning cho'zilish diagrammasida puxtalanishdan keyingi cho'zilish diagrammasida oquvchanlik chegara bo'lmaydi. Demak, puxtalanishgacha chegaraviy kuchlanish rolini oquvchanlik chegara  $\sigma_{OK}$  o'ynaydi, puxtalanishdan keyin esa shartli oquvchanlik chegara  $\sigma_{O2}$ , bunda  $\sigma_{O2} > \sigma_{OK}$ , ya'ni puxtalanish chegaraviy kuchlanishni ortishiga olib keladi – mustahkamlanishga olib keladi. Agar, diagrammada oquvchanlik chegara ko'rinmasa, puxtalanish shartli oquvchanlikni ortishini bildiradi. Yuqori temperatura sharoitida statik yuklanishda ishlaydigan materillarda chegaraviy kuchlanish sifatida yoyiluvchanlik chegarasi  $\sigma_T$  yoki uzoq muddatli mustahkamlik chegarasi  $\sigma_{BT}$  qabul qilinadi.

Konstruksiya elementlarining mustahkamligini ta'minlash uchun, ularning materiali va o'lchamlarini shunday tanlash lozimki, ekspluatatsion yuklanishdagi kuchlanishlar chegaraviy kuchlanishlardan kichik bo'lsin. Albatta, bunda ishchi kuchlanishlar chegaraviy kuchlanishlarga yaqin bo'lmashligi lozim, aks holda detalning mustahkamligini kafolatlab bo'lmaydi, chunki ta'sir qiluvchi kuchlarni, demak, kuchlanishlarni amalda aniqlik bilan hisoblab bo'lmaydi yoki materialning mexanik xossalari farq bo'lishi mumkin.

Chegaraviy kuchlanishni ekspluatatsiya jarayonida hosil bo'lgan eng katta hisobiy kuchlanishga nisbati ehtiyotlik koeffitsiyenti deyiladi

$$n = \frac{\sigma_{cheg}}{\sigma} \quad (2.21)$$

Bu yerda  $n > 1$  bo'lishi kerak, aks holda mustahkamlik ta'minlanmaydi. Tabiiyki,  $n$ -ni qaysi qiymatida konstruksiya elementining mustahkamligi ta'minlanadi?  $n$ -ni qiymati qancha katta bo'lsa, konstruksiya shuncha katta ehtiyotlik koeffitsiyentiga ega bo'ladi. Lekin, juda katta ehtiyotlik koeffitsiyent material sarfini ko'paytiradi, konstruksiyaning og'irligi kattalashadi, iqtisodiy noqulay bo'ladi. Konstruksiyaning vazifasiga va boshqa faktorlarga bog'liq ravishda  $n$ -koeffitsiyentning minimal qiymati o'tatiladi va uni  $[n]$  harfi bilan belgilanadi.  $[n]$ -mustahkamlikka talab qilingan ehtiyotlik koeffitsiyenti deyiladi. Agar, mustahkamlikka talab qilingan ehtiyotlik koeffitsiyenti

- hisobiy ehtiyotlik koeffitsiyenti  $n$ -dan kichik bo'lsa, ya'ni  $n \geq [n]$  shartda konstruksiya elementining mustahkamligi ta'minlangan bo'ladi.

Bu shart, tengsizlik mustahkamlik shart deyiladi. (2.21) ifodani e'tiborga olsak, mustahkamlik shart quyidagicha ko'rinishga keladi:

$$n = \frac{\sigma_{cheg}}{\sigma} \geq [n] \quad \text{yoki} \quad \sigma \leq \frac{\sigma_{cheg}}{[n]} \quad (2.22)$$

Bu yerda  $\frac{\sigma_{cheg}}{[n]} = |\sigma|$  - ruxsat etilgan kuchlanish deyiladi.

## 2.6. Ruxsat etilgan kuchlanishni tanlash

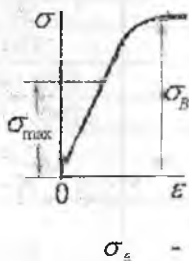
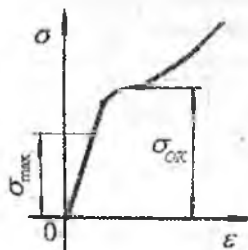
Cho'zilish va siqilishga ishlaydigan detallarni mustahkamlikka hisoblashda normal kuchlanish  $\sigma$ -ni qaysi qiymati xafli emas degan savol tug'iladi. Albatta, bu kuchlanish detalni yemirish yoki uni noqulay sharoitda ishlash holatiga to'g'ri keluvchi xavfli kuchlanish  $\sigma_0$ - dan kichik bo'lishi kerak. Konstruksiya qismlarining xavfsiz holatini ta'minlovchi kuchlanishga ruxsat etilgan kuchlanish deyiladi. Bu kuchlanishni  $[\sigma]$  bilan belgilaymiz va uning qiymati tajribalar asosida topiladi.

Demak, konstruksiya qismida hosil bo'lgan eng katta normal kuchlanish  $\sigma = \sigma_{max}$ , shu konstruksiya materiali uchun ruxsat etilgan kuchlanishdan katta bo'lmasa, konstruksiyaning mustahkamligi ta'minlangan bo'ladi, ya'ni:

$$\sigma_{max} = \frac{N_{max}}{A} \leq [\sigma] \quad (2.23)$$

(2.23) formula cho'zilish yoki siqilishdagi mustahkamlik shart deyiladi.  $[\sigma]$  ning qiymati xavfli normal kuchlanishning bir qismiga teng deb qabul qilinadi:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_0}{n}$$



bu yerda  $\sigma_0$  - materialning mustahkamlik chegarasi; Plastik material uchun  $\sigma_0 = \sigma_{OK}$  va mo'rt material uchun  $\sigma_0 = \sigma_e$  deb qabul qilinadi.  $\sigma_{OK}$  - oquvchanlik chegarasidagi kuchlanish;  $\sigma_e$  - mustahkamlik chegarasidagi

kuchlanish;  $n$  - ehtiyotlik koeffitsiyenti.

Oquvchanlik chegarasida plastik materialda qoldiq deformatsiya hosil bo'lsa, mo'rt materiallar mustahkamlik chegarasida yemiriladi.

Ruxsat etilgan kuchlanishning qiymati konstruksiyani ishonchli va iqtisodiy samarali bo'lishini ta'minlaydi.  $[\sigma]$  kuchlanishni katta qiymatida hisoblash olib borilsa, yengil va iqtisodiy qulay konstruksiya loyihalanadi, agar ruxsat etilgan kuchlanish asossiz oshirilsa konstruksiya ishonchli bo'lmaydi. Ruxsat etilgan kuchlanishning kichik qiymatida konstruksiyani ishonchliligi ortadi, material sarfi oshadi va iqtisodiy noqulaylik bo'ladi.

Mustahkamlikka ehtiyotlik koeffitsiyentni aniq talab qilingan norma asosida belgilangan bo'lmasa, konstruktor  $[n]$  qiymatini quyidagi faktorlarga bog'liq tanlaydi: ta'sir qiluvchi kuch va hisoblash metodini to'g'ri tanlash; materialni bir jinsliligi, mexanik ishlov berish xatoligiga sezgirligi; detalni mas'uliyati.

Plastik materiallar uchun  $n = 1,2...1,8$ ; beton uchun  $n = 3$ , tosh uchun  $n = 10$ ; cho'yan uchun  $n = 2,5...3$  ga teng. Ehtiyotlik koeffitsiyentini tanlashda mashinaning ishlash muddatiga e'tibor beriladi. Masalan: qurihsh sohasida  $n = 2...5$  va aviatsiya texnikasida  $n = 1,5...2$

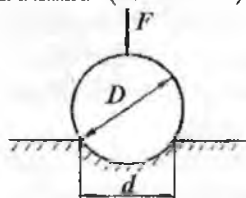
### Ayrim materiallar uchun cho'zilish va siqilishda ruxsat etilgan kuchlanish

2.4 - jadval

Material	Ruxsat etilgan kuchlanish	
	$\frac{\kappa G}{sm^2}$	
	siqilish	cho'zilish
Qurilish uchun po'lat	1600	1600
Po'lat St.2	1400	1400
Sosna tola bo'ylab	100	70
Dub tola bo'ylab	130	90
Tekstolit	500 - 900	300 - 400
Kul rang cho'yon	1200...1500	
Beton $R = 110 \frac{\kappa G}{sm^2}$ markali	38	4,5
Beton $R = 170 \frac{\kappa G}{sm^2}$ markali	60	7

## 2.7. Qattiqlik

Sirtiga mexanik tarzda kiritilgan detalga qarshilik ko'rsata olish qobiliyati materialning qattiqligi deyiladi. Qattiqlik yordamida materialning mustahkamlik chegarasini aniqlash mumkin. Materialning qattiqligini aniqlash uchun, uning sirtiga sharik ma'lum kuch bilan ta'sir qildiriladi (2.20-rasm).



2.20-rasm. Qattiqlikni aniqlash

$D$  - sharikning diametri;  $sm$ ;  
 $d$  - sharikni material sirtidagi izi diametri,  $sm$  Agar,  $NV \geq 400 \text{ kg/mm}^2$  bo'lsa, materialning qattiqligi sharik yordamida topilmaydi, chunki materialning deformatsiyasi sezilarli bo'ladi. Brinell soni va materialning mustahkamlik chegarasi bog'lanishda: qattiqlik Brinell soni bo'yicha topiladi.

$$HB = \frac{2F}{\pi \cdot D \left( D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}, \text{ kam uglerodli}$$

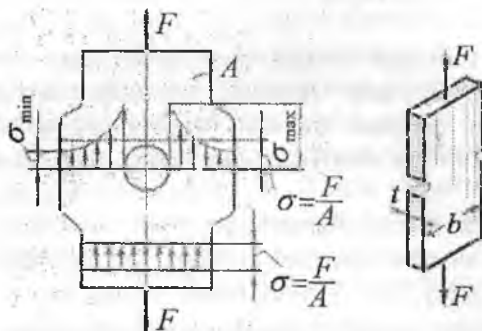
po'lat  $\sigma_s = 0,36 HB$ , kul rang cho'yan:

$$\sigma_s = \frac{HB - 40}{6}$$

## 2.8. Kuchlanishlar konsentratsiyasi

Turli notekisliklar, teshiklar va kanavkalar hisobiga ko'ndalang kesimning (zaiflashishi) o'zgarishi kuchlanishning notekis taqsimlanishiga, kuchlanishlar konsentratsiyasini hosil bo'lishiga olib keladi.





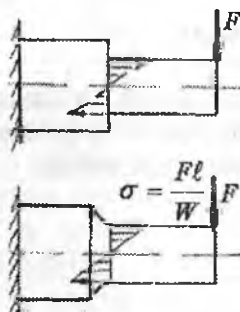
2.21-rasm. Kuchlanishlar konsentratsiyasini aniqlash sxemasi

$F$  kuch taʼsirida choʻzilayotgan sterjenning kesimida meʼyoriy kuchlanish teng tarqaladi, teshik yonida kuchlanish toʻplami hosil boʻladi. Kuchlanishning bunday toʻplanishi mahalliy kuchlanish yoki kuchlanishlar konsentratsiyasi deyiladi.

Mahalliy kuchlanishni keltirib chiqargan notekisliklarning turiga kuchlanishlar konsentratori deyiladi. Maksimal kuchlanish  $\sigma_{nom}$  kuchlanishga nisbati kuchlanishlar konsentratsiyasining koeffitsiyenti deyiladi.

nishlar konsentratsiyasining koeffitsiyenti deyiladi.

$$\alpha = \frac{\sigma_m}{\sigma_{nom}} \quad \sigma_{nom} = \frac{F}{A_0}$$



2.22-rasm. Oʻzgaruvchan kesimlarda kuchlanishlar konsentratsiyasi

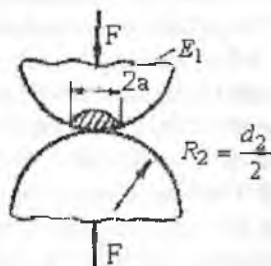
$\alpha$ , - ning qiymati notekislikning shakli va oʻlchamiga bogʻliq va eksperiment orqali topildi;  $A_0$  - sterjenning zaiflashmagan koʻndalang kesimi yuzasi.

Moʻrt materiallarda lok qoplamasini yoki setkasini hosil qilish usuli bilan mahalliy kuchlanish aniqlanishi mumkin. Ayrim hollarda, kesimi oʻzgaruvchan sterjenlarda  $\alpha_k$  -ning qiymati materialning mustahkamlik chegarasini aniqlash bilan topiladi.

$$\alpha = \frac{\sigma_{ni}}{\sigma_{nom}}$$

## 2.9. Kontakt kuchlanishlar haqida tushuncha

Podshipniklar, tishli uzatmalar, ko'priklarning tayanch qismlaridagi shar va silindrik g'ildiraklarning ish jarayonida kontaktli kuchlanishlar hosil bo'ladi. Demak, ikkita o'zaro tegib turadigan jismni ta'sirlashuv yuzasida paydo bo'ladigan kuchlanishlar kontaktli kuchlanishlar deyiladi (2.23-rasm). Kontaktli kuchlanishlarni ko'pincha mahalliy kuchlanishlar ham deyiladi. Kontaktli kuchlanishlarni va deformatsiyalarni qonuniyati va aniqlanishining ayrim usullari, nazariyasi elastiklik nazariyasida keltirilgan.



2.23-rasm. Kontaktli kuchlanishni aniqlash

Diametrlari  $d_1$  va  $d_2$  bo'lgan ikkita elastik shar markaziy kuch bilan siqilganda ularning o'zaro tegib turgan joylarida radiusi

$$a = 0,88 \cdot \sqrt[3]{\frac{F}{2} \cdot \frac{\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2}}{\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2}}}$$

bo'lgan doira hosil bo'ladi.

Kontakt maydonchasidagi normal kuchlanish notekis taqsimlanadi. Eng katta kuchlanish kontakt doirasining

Markazida bo'lib, kuchlanishning o'rtacha qiymatidan 1,5 marta

kattadir:

$$\sigma_{\max} = 1,5 \frac{F}{\pi \cdot d^2}$$

Agar, sharlarning materiallari bir xil bo'lsa, ya'ni:  $E_1 = E_2$  bo'lsa

$$\sigma_{\max} = 0,623 \sqrt{FE^2 \left( \frac{d_1 + d_2}{d_1 d_2} \right)^2}$$

Kontaktli kuchlanishlar maydonchasida hajmiy kuchlanish sodir bo'ladi. Material har tomonlama siqilishga yaqin sharoitda ishlaydi. Shuning uchun mahalliy ezilish uchun ruxsat etilgan kuchlanish oddiy siqilishdagiga qaraganda ancha katta olinadi. Kontaktli kuchlanishlarni aniqlash uchun keltirilgan formulalar kontaktdagi jismlarning shakliga va o'lchamiga bog'liqdir.

## 2.10. Yangi materiallarning mexanik tavsiflari

Hozirgi vaqtda mashina detallarini tayyorlash uchun har xil turdagi materiallar - po'lat, cho'yan, rangli metall qorishmalari, kukunsimon materiallar, plastmassalar, rezina va h.k. ishlatiladi.

**Po'lot** – uglerod va boshqa elementlarni temir bilan qorishmasi. Kam uglerodli ( $c \leq 0,25\%$ ); o'rtacha uglerodli ( $c = 0,25..0,60\%$ ) va yuqori uglerodli ( $c > 0,6\%$ ) po'latlar mavjud. Po'latda qancha uglerod ko'p bo'lsa, uni qattiqligi va statik mustahkamligi ham yuqori, plastikliги past buladi. Po'lat yuqori mexanik xossaga ega, qoliplash, quyma va prokatlash namunalari olish; stanoklarda ishlov berish; payvandlash va termik ishlov berish qulay. Po'lat turlari bilan farq qiladi. Konstruksion sifatli po'lat uglerod va marganetsni miqdori bilan farq qiladi: St.40; St.45; St.30G – G harfi yuqori miqdorli marganets borligini ifodalaydi. Legirlangan konstruksion po'lat sifatli va yuqori sifatli turlarga bo'linadi. Legirlandigan elementlar miqdoriga ko'ra xromli (20X, 40X); xromnikelli (20XN, 12XN3A) po'latlar mavjud. Harfdan oldingi raqam uglerod miqdorini; keyingisi esa legirlandigan element miqdorini bildiradi. Yuqori sifatli po'latlarni markasini oxirida – A harfi bo'ladi. Oddiy sifatli po'latlar shtampovka yoki payvandlash usuli bilan korpus detallarni tayyorlashda; sifatli va legirlangan po'latlardan mashinalarni turli detallari, val va o'qlar, tishli g'ildirak, kirmak, friksion g'ildiraklar tayyorlanadi.

**Chuyon**. Chuyon deb, tarkibida 2% uglerod bo'lgan temiruglerodli qotishmaga aytiladi. Chuyonni quyma xususiyati yaxshi, plastikliги yomon. Chuyonlarni oq va kul rang markalari mavjud. Oq chuyon yuqori qattiqlik va mo'rtlikka ega, kesilish xususiyati yomon. Kul rang chuyonlar o'rtacha mustahkamlikka va quyma xususiyatga ega, kesilish xususiyati yaxshi, tebranishni yaxshi singdiradi.

**Latun** – mis va qo'rg'oshin va ko'p komponentli alyuminiy, temir, marganets, nikel va h.k. tarkibiy qismlardan tashkil topgan.

Latunni mexanik xossasi va korroziyaga chidamliligi yaxshi. St.45 markali po'latdan 5-6 marotaba qimmat. *LTs23A6JZMts2* – markali latun-kirmak g'ildiragi, *LTs38Mts2S2* – antifriksion detallarni tayyorlashda ishlatiladi.

**Bronza** – qalay, qo'rg'oshin, alyuminiy, temir, kremniy, marganets bilan misni qorishmalari. Bronzani – Br. harflari, keyin legirlovchi elementni ifodalovchi harflar keladi. Masalan: Br OF10-1 – bronza, 10% -qalay, 1% - fosfor va qolgani – mis. Bronza – yuqori antifriksion,

antikorroziya va quyma xususiyatlarga ega, mexanik tavsifi yaxshi bo'lib undan kimmak g'ildiragining gardishi, yuklanish va yurgizish gaykalari va h.k. tayyorlanadi.

Keyingi yillarda plastmassalar, rezinalar, elimlar, loklar va boshqa sintetik materiallar texnikada keng qo'llanilayapti. Barcha bu materiallarning asosini polimerlar tashkil etadi. Qurilishda turli plastmassalar ishlatilmoqda. Plastmassalarni qoliplash temperaturasi 20 dan (epoksidoplast, efirioplast) 250 – 350<sup>0</sup>S gacha (polipropilen, ftoroplast) etadi. Plastmassalarning elastiklik moduli katta bo'lib, cho'ziluvchanligi kichikdir. Masalan:

$$\begin{array}{ll} \text{penoplast} & E = (3 \dots 25) 10^3 \text{ mN/m}^2; \quad \delta = (0,1 \dots 1,5) \% \\ \text{epoksidoplast} & E = (3 \dots 4) 10^3 \text{ mN/m}^2; \quad \delta = (2,5 \dots 8) \% \end{array}$$

Qotish jarayonida o'zgaraydigan xossalari oladigan plastmassalar reaktoplastlar deyiladi. Qotish jarayonida o'zgaruvchan xossalari oladigan plastmassalar – termoplastlar deyiladi. Ularni qayta qizdirib yana qolipga solish mumkin. Bunday plastmassalarning elastiklik moduli kichik, cho'ziluvchanligi kattadir. Masalan:

$$\begin{array}{ll} \text{polietilenda} & E = (1,5 \dots 2,5) 10^3 \text{ mN/m}^2; \quad \delta = (150 \dots 600) \% \\ \text{polipropilenda} & E = (9 \dots 12) 10^3 \text{ mN/m}^2; \quad \delta = (500 \dots 700) \% \end{array}$$

Ba'zi plastmassalarning mustahkamlik chegaralari St.3 po'latnikiga qaraganda yuqori, plastiklik xarakteristikalari uncha katta emas, uzilishdagi qoldiq deformatsiyasi  $\delta = (1 \dots 2)\%$ . Plastmassalarning solishtirma og'irligi ( $\rho = 1,3 \dots 1,9 \text{ kg/sm}^3$ ) po'latnikiga nisbatan 3-4 marta, dyuralyumininikiga qaraganda taxminan 1,5 marta kichik. Shuning uchun, konstruksiya og'irligini kamaytirish uchun bu materialdan foydalanish mumkin.

Texnikada rezina katta ahamiyatga ega. Rezinaning yumshoq o'rta qattiq, qattiq, issiqqa va yog' ta'siriga chidamli protektor kabi sortlari mavjuddir. Rezinani elastiklik moduli, Puasson koeffitsiyenti o'zgaruvchidir. Masalan:

$$E = (0,4 \dots 8) \text{ mN/m}^2; \quad \mu = 0,11- 0,45 \text{ sof kauchuk uchun: } \mu = 0,5 \text{ protektor rezina uchun: } E = (8,5 \dots 11) \text{ mN/m}^2; \quad \delta = 40 \dots 45 \%, \text{ ebonit uchun: } E = 40 \dots 70 \text{ mN/m}^2; \quad \delta = 0,8 \dots 1,2 \%$$

Po'lat materialini va boshqa metall qorishmalarini mexanik va boshqa xossalarni oshirish va yaxshilash uchun ularga termik va kimyoterminik ishlov berish va mexanik mustahkamlash kerak. Termik ishlov berish kuydirish, yaxshilash, toblash, yumshatish va normallashtirish bilan belgilanadi.

Kuydirish va normallashtirish – quyma yoki bosim ostida tayyorlanadigan detallardagi ichki kuchlanishni yo‘qotish, mexanik xossasi va kesilishini yaxshilash uchun tadbir etiladi. Mashina detallarining mustahkamligi, qattiqligini va eyilishga qarshiligini oshirish uchun – toblash foydalaniladi.

Toblash – mahalliy yoki sirt bo‘yicha bajarilishi mumkin. Toblash yuqori chastotatli tok ta‘sirida olib boriladi, natijada materialni qattiqligi va mo‘rtligi ortadi. Mo‘rtlik va ichki kuchlanishni yo‘qotish uchun yumshatish (bo‘shatish) kerak.

Yaxshilash – ikki jarayondan iborat: toblash va yuqori haroratli yumshatish. Yaxshilash – mashina detallarini qovushqoqligini saqlash va ko‘paytirish bilan mustahkamligini oshiradi. 0,25% uglerodi bo‘lgan kam uglerodli po‘latni qovushqoqligi past, shuning uchun toblashni qabul qilmaydi. Mexanik xarakteristikalarini yaxshilash uchun ularga kimyo-termik ishlov berish kerak.

Zamonaviy mashinasozlikda sementatsiyalash va azotlash ishlatiladi. Tsementatsiyalashda – detalni sirti – 0,2 mm chuqurlikda uglerod bilan boyitiladi. Natijada – detalni sirtida yuqori qattiq qatlam, markazda esa yumshoq qatlam hosil bo‘ladi.

Detal sirtini azot bilan diffuzion boyitish – azotlash deyiladi. Pech va vannada oz va suyuq azotlash ko‘p tarqalgan. Ionli azotlash jarayoni 3-5 marotaba tez amalga oshiriladi. Natijada qatlamni elastikligi va mustahkamligi oshadi.

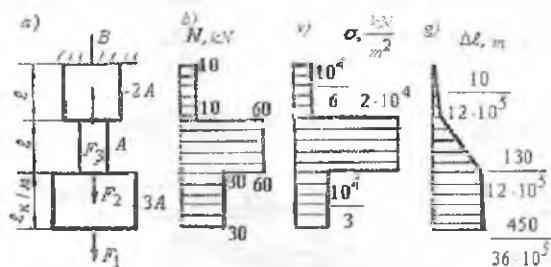
Metall qatlamini plastik deformatsiyalash – mexanik puxtalash deyiladi. Po‘lat; chuyon va har xil rangli metallar qorishmasini mexanik puxtalash oddiy va samarali jarayondir. Mexanik puxtalash - o‘qlar, resorlar, prujinalar va h.k.da bajariladi.

## Savollar

1. Markaziy cho‘zilish yoki siqilish deb nimaga aytiladi?
1. Absolyut uzayish deb nimaga aytiladi?
3. Nisbiy uzayish deb nimaga aytiladi?
4. Guk qonunini ta‘riflab bering.
5. Materiallarni mexanik xossalarini aytib bering.
6. Materiallarni plastiklik xossalarini aytib bering.
7. Yumshoq po‘latni cho‘zilish diagrammasini chizib bering.
8. Yumshoq po‘latni siqilish diagrammasini chizib bering.
9. Proportsionallik chegara deb nimaga aytiladi?

10. Oquvchanlik chegara deb nimaga aytiladi?
11. Mustahkamlik chegara deb nimaga aytiladi?
12. Elastiklik chegara deb nimaga aytiladi?
13. Mo'rtlik deb nimaga aytiladi?
14. Plastiklik nima?
15. Ruxsat etilgan kuchlanish nima?
16. Cho'zilish va siqilishda mustahkamlik shartni yozing.
17. Statik noaniq masala deb nimaga aytiladi?
18. Puxtalanish nima?

**Misol-1.** Po'latdan tayyorlangan pog'onali brus  $F_1 = 30 \text{ kN}$ ,  $F_2 = 30 \text{ kN}$ ,  $F_3 = 50 \text{ kN}$  tashqi kuchlar bilan yuklangan (2.24-rasm). Pog'onali brus uchun ichki bo'ylama kuch  $N$ ; normal kuchlanish  $\sigma$  va absolyut uzayish  $\Delta l$  epyuralari qurilsin.



2.24-rasm. Pog'onali brusni yuklanish sxemasi va bo'ylama kuch, normal kuchlanish va bo'ylama uzayish ( $N$ ,  $\sigma$  va  $\Delta l$ ) epyurlari

**Yechish.** Berilgan masala statik aniq yoki statik aniqmas sistema bo'lishidan qat'iy nazar bo'ylama ko'chishni topish tayanch nuqtadan boshlanishi kerak, chunki bu nuqta joylashgan kesimning ko'chishi ( $\Delta l_B = 0$ ) nolga tengdir. Shuning uchun, bo'ylama kuch  $N$  - ni topishni ham sterjenning tayanch nuqtasidan boshlaymiz. Butun sistemaning muvozanat tenglamasidan noma'lum reaksiya kuchi B-ni topamiz (2.24-rasm, a):

$$\sum y = B + F_3 - F_2 - F_1 = 0 \quad \text{va} \quad B = 30 + 30 - 50 = 10 \text{ kN}$$

Kesish usulidan foydalanib sterjenning yuqori pog'onasidan fikran ikki qismga ajratamiz va pastki qismni tashlab yuboramiz. Ajratib qoldirilgan qismning kesilgan yuzasiga pastki tashlab yuborilgan qismning ta'sirini almashtiradigan  $N$  kuchni qo'yamiz va muvozanat tenglamasini

tuzamiz.

$$\Sigma y = B - N_1 = 0 \quad \text{yoki} \quad B = N_1 = 10 \text{ kN}$$

Tekshirilayotgan pog'onaning uzunligi bo'ylab  $N_1$  kuch o'zgarmas bo'lib miqdor jihatdan reaksiya kuchi B-ga teng ekan. Kesimdagi normal kuchlanishni topamiz:

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{2A} = \frac{10}{2 \cdot 3 \cdot 10^{-3}} = \frac{10^4}{6} \text{ kN/m}^2$$

Sterjenning  $\ell$  uzunligi bo'ylab to'liq ko'chishni topamiz

$$\Delta \ell_1 = \int_0^{\ell} \frac{N_1 dy}{E2A} = \frac{N_1 y_1}{E2A}, \quad \text{bu yerda} \quad 0 \leq y_1 \leq 1 \text{ m. da o'zgaradi}$$

Agar,  $y_1 = 0$  bo'lsa  $\Delta \ell_1 = 0$  va  $y_1 = 1 \text{ m}$  bo'lsa  $\Delta \ell_1 = \frac{10}{12 \cdot 10^5} \text{ m}$

Demak, brusning yuqori pog'onasida bo'ylama deformatsiya to'g'ri chiziqli qonuniyat bilan o'zgarib noldan  $\Delta \ell_1 = \frac{10}{12 \cdot 10^5}$  gacha ortib boradi.

**II-II - qirqimdan ajratilgan qismning muvozanat tenglamasiga asosan**

$$\Sigma y = 0. \quad B + F_3 - N_2 = 0 \quad \text{va} \quad N_2 = 60 \text{ kN},$$

normal kuchlanish  $\sigma_2 = \frac{N_2}{A} = \frac{60}{3 \cdot 10^{-3}} = 2 \cdot 10^4 \text{ kN/m}^2$

Sterjen ajratilgan qismining to'liq uzayishini topish uchun ikkinchi oraliq uzayishiga birinchi oraliqning to'liq uzayishini qo'shib yozamiz, ya'ni:

$$\Delta \ell_2 = \frac{10}{12 \cdot 10^5} + \frac{N_2 \cdot y_2}{EA}, \quad \text{bu yerda} \quad 0 \leq y_2 \leq 1 \text{ m. da o'zgaradi}$$

agar  $y_2 = 0$  bo'lsa  $\Delta \ell_2 = \frac{10}{12 \cdot 10^5} \text{ m}$ , va  $y_2 = 1 \text{ m}$ ,  $\Delta \ell = \frac{65}{6 \cdot 10^5} \text{ m}$

**III - III qirqimda** Bo'ylama kuch  $N_3$  ni topish uchun sterjenning ajratilgan qismining muvozanat tenglamasini tuzamiz.

$$\Sigma y = B + F_3 - F_2 - N_3 = 0 \quad \text{bu yerdan} \quad N_3 = 30 \text{ kN}$$

Bo'ylama kuch ajratilgan qismga ta'sir qilayotgan aktiv va reaktiv kuchlarni algebraik yig'indisiga teng bo'ladi.

$$\text{normal kuchlanish} \quad \sigma_3 = \frac{N_3}{3A} = \frac{30}{3 \cdot 3 \cdot 10^{-3}} = \frac{10^4}{3} \text{ kN/m}^2$$

Sterjenning butun uzunligi bo'yicha to'liq uzayishi

$\Delta \ell_3 = \Delta \ell_2 + \frac{N_3 y_3}{E3A}$  bu yerda  $0 \leq y_3 \leq 1$  m. da o'zgaradi

$$y_3 = 0 \text{ bo'lsa } \Delta \ell_3 = \frac{130}{12 \cdot 10^5} \text{ m va } y_3 = \ell = 1 \text{ m. da } \Delta \ell_3 = \frac{450}{36 \cdot 10^5} \text{ m}$$

$N$ ,  $\sigma$  va  $\Delta \ell$  epyuralari 2.24-rasmda ko'rsatilgan.

**Misol-2.** Taqsimlangan kuch intensivligi  $q_x$  va  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$ , kuchlar bilan yuklangan brusning  $N$ ,  $\sigma$  va  $\Delta \ell$  epyuralari qurilsin. Taqsimlangan kuch intensivligi -  $q_x$  to'g'ri chiziqli qonuniyat bilan o'zgaradi. Sterjenni ko'ndalang kesim yuzasi  $A = 2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ , tashqi kuchlar  $F_1 = F$ ,  $F_2 = 3F$ ,  $F_3 = 3,5F$  va  $F = 10 \text{ kN}$ . Sterjening materiali po'lat.

Brusni to'liq uzayishini qo'zg'almas kesimdagi  $M$  nuqtadan boshlab aniqlash kerak. Shuning uchun  $N$ ,  $\sigma$  va  $\Delta \ell$  ni aniqlash ham tayanch nuqtasidan topishdan boshlaymiz.  $M$  - tayanch kuchni topamiz (2.25-rasm).

$$\sum x = -M - F_3 + F_2 + F_1 + \frac{1}{2} q_x \cdot 2a + \frac{1}{2} q_x a - F = 0 \text{ va } M = 10 \text{ kN}$$

Taqsimlangan kuch intensivligi  $q_x$  sterjenni oraliq masofalarida to'g'ri chiziq qonuni bilan o'zgaradi. Shuning uchun  $q_x$  larni teng ta'sir qiluvchisi taqsimlangan kuch intensivligini maksimal va minimal qiymatlaridan qurilgan uchburchakni yuzasi bilan o'lchanadi.

$$\text{Sxemadan: } \frac{q_x}{x} = \frac{q}{2a} \text{ yoki } q_x = q \frac{x}{2a} = \frac{Fx}{2a^2}$$

$$\text{agar, } x = 0 \text{ bo'lsa } q_x = 0 \text{ va } x = 2a \text{ bo'lsa } q_x = \frac{F}{a}$$

**I-I - qirqim.** Brusning  $M$  va  $B$  nuqtalari oralig'idan  $0 \leq x_1 \leq 1$  m sohada o'zgaruvchi I-I-qirqim bilan ikkiga bo'lib, pastki qismning muvozanat tenglamasini tuzamiz.  $\sum x = 0$  yoki  $N_1 + \int_0^a q_x dx - M = 0$

$$N_1 = M - \int_0^a q_x dx = M - \int_0^a q \frac{x dx}{2a} = M - q \frac{x^2}{4a} = M - F \frac{x^2}{4a^2}$$

$$x_1 = 0 \text{ da } N_1 = M = 10 \text{ kN}$$

$$\text{Normal kuchlanish } \sigma_1 = \frac{N_1}{A} = \frac{10}{2 \cdot 10^{-4}} = 5 \cdot 10^4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$



$$x_1 = 0,5m \quad N_1 = 9,375 \quad \kappa N, \quad \sigma_1 = 4,6875 \cdot 10^4 \frac{\kappa N}{m^2}$$

$$x_1 = 1m \quad N_1 = 7,5 \quad \kappa N, \quad \sigma_1 = 3,75 \cdot 10^4 \frac{\kappa N}{m^2}$$

Brusni taqsimlangan kuch intensivligi bilan yuklangan oralig'ida  $N$  va  $\sigma$  lar egri chiziq qonuni bilan o'zgaradi. Uzayish

$$\Delta \ell_1 = \int_0^a \frac{N_1 dx}{EA} = \int_0^a \left( \frac{M - F \frac{x_1^2}{4a^2}}{EA} \right) dx = \frac{1}{EA} \int_0^a M dx - \frac{F}{4a^2 EA} \int_0^a x_1^2 dx.$$

Hosil bo'lgan tenglamani integrallasak,  $\Delta \ell_1 = \frac{Mx_1}{EA} - \frac{Fx_1^3}{12a^2 EA}$

kelib chiqadi.  $x = 0$  da  $\Delta \ell_1 = 0$ , ya'ni qo'zg'almas  $M$  kesimni uzayishi nolga teng bo'ladi,  $x_1 = 0,5m$ .  $\Delta \ell_1 = 1,224 \cdot 10^{-4} m$ .

$$x_1 = 1m \quad \Delta \ell_1 = \Delta \ell_B = 2,291 \cdot 10^{-4} m$$

**II - II qirg'iqim.**  $a \leq x_2 \leq 2a$ .

Qo'zg'almas kesimdan  $x_2$  masofadagi kesimni bo'ylama kuchi quyidagicha topiladi:

$$\sum x = 0. \quad N_2 = M + F_3 - \int_0^2 q_x dx = M + 3,5F - \int_0^2 q \frac{x dx}{2a}$$

Normal kuchlanish  $\sigma_2 = \frac{N_2}{A}$

$$x_2 = 1m, \quad N_2 = 42,5 \kappa N \quad \sigma_2 = 21,25 \cdot 10^4 \frac{\kappa N}{m^2}$$

$$x_2 = 2m, \quad N_2 = 35 \kappa N, \quad \sigma_2 = 17,5 \cdot 10^4 \frac{\kappa N}{m^2}$$

I pog'onadan II pog'onaga o'tish  $B$  nuqtasida bo'ylama kuchni qiymati  $F_3 = 3,5F = 35 \kappa N$  ga farq qiladi. Shuning uchun  $B$  nuqta joylashgan kesimni  $N$  epyurasida  $35 \kappa N$  ga teng sakrash bo'ladi.

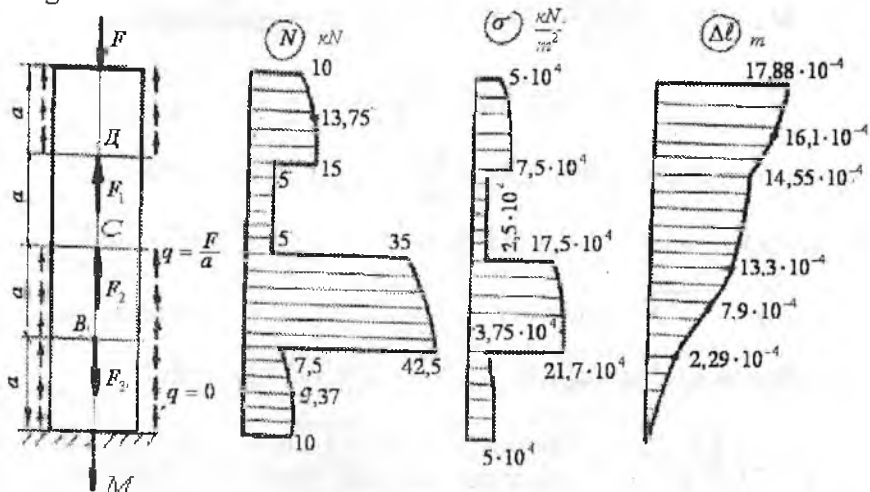
Brus  $2a$  uzunligining to'liq uzayishini topamiz.

$$\Delta \ell_2 = \Delta \ell_B + \int_0^{1m} \frac{N_2 dx}{EA} = 2,291 \cdot 10^{-4} + \int_0^1 \frac{Mx_2}{EA} + \frac{3,5Fx_2}{EA} - F \frac{x_2^3}{12a^2 EA}$$

$$x_2 = 0, \quad \Delta \ell_2 = 2,291 \cdot 10^{-4} m, x_2 = 0,5m, \Delta \ell = 7,9 \cdot 10^{-4} m,$$

$$x_2 = 1m, \quad \Delta \ell_2 = \Delta \ell_c = 13,3 \cdot 10^{-4} m \quad - \quad AC \quad \text{uzunlikning to'liq uzayishi.}$$

**III-III-qirqim.**  $0 \leq x_3 \leq 1m$ . Oraliq uzunligi bo'yicha taqsimlangan kuch intensivligining teng ta'sir qiluvchisi  $\frac{1}{2}q \cdot 2a = qa = \frac{F}{a} \cdot a = F$  teng



2.25-rasm. Brusni yuklanish sxemasi va bo'ylama kuch, normal kuchlanish va absolyut uzayish epyurlari.

Brusni ajratilgan qismini muvozanat tenglamasi quyidagicha yoziladi

$$\sum x = N_3 + F_2 + F - F_3 - M = 0 \quad \text{yoki} \quad N_3 = 5\kappa N$$

Normal kuchlanish  $\sigma = 2,5 \cdot 10^4 \frac{\kappa N}{m^2}$ . Oraliq uzunligi bo'ylab  $N_3$  va  $\sigma_3$  teng tarqalgan, absolyut uzayish  $\Delta \ell_3$  esa  $x_3$  masofaga proporsional bog'lanishda bo'lib to'g'ri chiziqli qonuniyat bilan o'zgaradi.

Shuning uchun AD oraliqni uzayishi  $\Delta \ell_D = \Delta \ell_c + \frac{N_3 \cdot 1}{EA} = 14,55 \cdot 10^{-4}, m$

**IV-IV-qirqim.**  $0 \leq x_4 \leq 1M$  oraliqda ajratilgan brus qismining muvozanat sharti

$$\sum x = N_4 + F_1 + \int_0^A q_x dx + F_2 - F_3 - \frac{1}{2}q \cdot 2a - M = 0 \quad \text{yoki}$$

$$N_4 = -F - q \frac{x^2}{2a} - 3F + 3,5F + \frac{F}{a} \cdot a + F = 1,5F - F \frac{x_4^2}{2a^2}$$

Normal kuchlanish  $\sigma_4 = \frac{N_4}{A}$  va absolyut uzayishi

$$\Delta l_4 = \Delta l_D + \int_0^4 \frac{N_4 dx}{EA} = 14,55 \cdot 10^{-4} + \int_0^4 \frac{\left(1,5F - F \frac{x_4^2}{2a^2}\right)}{EA} dx =$$

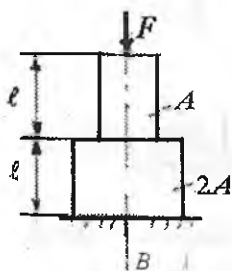
$$= 14,55 \cdot 10^{-4} + \frac{1,5Fx_4}{EA} - F \frac{x_4^3}{6a^2 EA}$$

$$x_4 = 0, N_4 = 15kN; \quad \sigma_4 = 7,5 \cdot 10^4 \frac{kN}{m^2}; \quad \Delta l_4 = 14,55 \cdot 10^{-4} m$$

$$x_4 = 0,5m \quad N_4 = 13,875kN; \quad \sigma_4 = 6,937 \cdot 10^4 \frac{kN}{m^2};$$

$$x_4 = 1m \quad N_4 = 10kN; \quad \sigma_4 = 5 \cdot 10^4 \frac{kN}{m^2}; \quad \Delta l_4 = 17,88 \cdot 10^{-4} m$$

Brusning to'liq uzayishi  $\Delta l = 17,88 \cdot 10^{-4} m$  ga teng



2.26-rasm

**Misol-3.**  $F$  kuchi va xususiy og'irligi bilan yuklangan pog'onali brusni (2.26-rasm) to'liq qisqarishi topilsin. Brus materialining hajmiy og'irligi  $\rho$  va elastiklik moduli  $E$ .

**Yechich.** Brus har bir pog'onasining xususiy og'irligi  $\sigma_1 = \rho A l$  va  $\sigma_2 = \rho 2A l$  va  $F$  kuch ta'siridan  $B$  tayanch kesimida  $B$  reaksiya kuchi hosil bo'ladi. Reaksiya kuchini topamiz.

$$\sum x = B - F - \rho A l - \rho 2A l = 0 \quad \text{yoki} \quad B = F + 3\rho A l$$

**I-I-qirgim**  $0 \leq x_1 \leq l$  oraliqda, ya'ni brusni pastki pog'onasidagi ichki bo'ylama kuchni kesish usulidan foydalanib topamiz:

$$\sum x = N_1 + B - \rho 2A x_1 = 0 \quad \text{va} \quad N_1 = \rho 2A \cdot x_1 - F - 3\rho A l$$

Brus ajratilgan qismining deformatsiyasini topamiz.

$$\Delta l_1 = \int_0^l \frac{N_1 dx}{E 2A} = \int_0^l \frac{(\rho 2A x_1 - F - 3\rho A l) dx}{E 2A} = \left[ \frac{\rho x_1^2}{2E} - \frac{(F + 3\rho A l) x_1}{E 2A} \right]_0^l$$

Agar,  $x_1 = 0$  bo'lsa  $\Delta l_1 = \Delta l_B = 0$ , ya'ni tayanch kesimida deformatsiya nolga teng:  $x_1 = l; \quad \Delta l_1 = -\frac{F l}{E 2A} - \frac{\rho l^2}{E}$

**II – II-qirgim.**  $0 \leq x_2 \leq \ell$  oraliqda bo'ylama kuchni topamiz:

$$\Sigma x = N_2 + B - \rho 2A\ell - \rho Ax_2 = 0 \quad \text{va} \quad N_2 = -F - \rho A\ell + \rho Ax_2$$

Ajratilgan qismning to'liq ko'chishini topamiz.

$$\begin{aligned} \Delta \ell_2 &= \Delta \ell_1 + \int_0^{\ell} \frac{N_2 dx}{EA} = \Delta \ell_1 + \int_0^{\ell} \frac{(-F - \rho A\ell + \rho Ax_2) dx}{EA} = \\ &= \Delta \ell_1 + \left[ \frac{\rho Ax_2^2}{2EA} - \frac{(F + \rho A\ell)x_2}{EA} \right]_0^{\ell} \end{aligned}$$

$$x_2 = 0, \quad \Delta \ell_2 = \Delta \ell_1 \quad \text{va} \quad x_2 = \ell, \quad \Delta \ell_2 = -\frac{3F\ell}{2EA} - \frac{3\rho \cdot \ell^2}{2E}$$

**Misol-4.** Vertikal osilgan po'latdan tayyorlangan sterjen qancha xususiy og'irligida emiriladi. Po'lat materialining mustahkamlik chegarasi  $30 \text{ kg/mm}^2$ , xususiy og'irligi  $\rho = 7800 \text{ kg/m}^3$

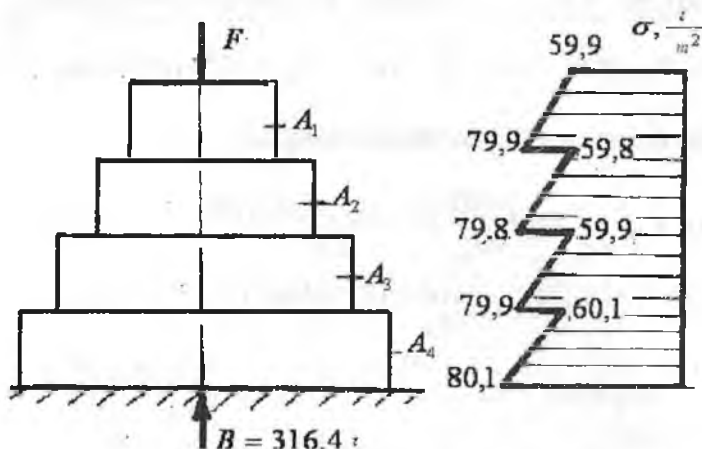
**Yechich.** Faqat xususiy og'irligi bilan yuklangan sterjenni mustahkamlik shartini yozamiz:  $\sigma_{\max} = \rho \ell \leq \sigma_B$  bu yerdan kritik

$$\text{uzunlik} \quad \ell_* = \frac{\sigma_B}{\rho} = \frac{50 \cdot 10^6}{7800} = 6410 \text{ m}$$

**Misol-5.** Uzunligi  $40 \text{ m}$  bo'lgan pog'onali brus  $F = 100 \text{ t}$  kuch va xususiy og'irligi bilan yuklangan. Pog'onali brus to'rtta bir xil uzunlikdagi oraliqdan iborat. Pog'onali brus materialining solishtirma og'irligi  $2 \frac{\text{t}}{\text{m}^3}$  va ruxsat etilgan kuchlanish  $[\sigma] = 80 \frac{\text{t}}{\text{m}^2}$

**Yechich.** Pog'onali brus yuqori qismining kesim yuzasini topamiz:

$$A_1 = \frac{F}{[\sigma] - \rho \ell_1} = \frac{100}{80 - 2 \cdot 10} = 1,67 \text{ m}^2$$



2.27-rasm. Tashqi kuch va xususiy og'irlik ta'siridagi pog'onali brus va normal kuchlanish epyurasi

$A$  kesimga tashqi  $F$  kuch va yuqori qismni xususiy og'irligi ta'sir qiladi:

$$A_2 = \frac{F - \rho A_1 \ell_1}{[\sigma] - \rho \ell_2} = \frac{100 + 2 \cdot 1,67 \cdot 10}{80 - 2 \cdot 10} = 2,23 \text{ m}^2$$

Pog'onali brusni uchinchi qismi  $F$  kuch, birinchi va ikkinchi pog'onalarni xususiy og'irliklari ta'sirida:

$$A_3 = \frac{A + \rho \ell (A_1 + A_2)}{[\sigma] - \rho \ell_3} = \frac{100 + 2 \cdot 10(1,67 + 2,23)}{80 - 2 \cdot 10} = 2,97 \text{ m}^2$$

Pog'onali brusni eng pastki qismi  $F$  kuch va undan yuqori qismlarini xususiy og'irliklari ta'sirida bo'ladi:

$$A_4 = \frac{F + \rho \ell (A_1 + A_2 + A_3)}{[\sigma] - \rho \ell_4} = \frac{100 + 2 \cdot 10(3,9 + 2,97)}{80 - 2 \cdot 10} = 3,95 \text{ m}^2$$

Pog'onali brusni tayanch kuchini topamiz:

$$\sum x = -F - \pi \cdot \ell (A_1 + A_2 + A_4) + B = 0 \quad \text{bu yerdan}$$

$$B = 100 + 2 \cdot 10(1,67 + 2,23 + 2,97 + 3,95) = 316,4 \text{ t}$$

Pog'onali brusning uzunligi bo'ylab kuchlanish epyurasini qurish uchun, uni har bir pog'onasidagi ichki bo'ylama kuchlarini kesish usulidan foydalanib topamiz.

**I-I-qirqim.**  $N_1$  kuchni topish uchun brusni ajratib olingan qismining muvozanat tenglamasini tuzamiz  $\sum x = -F - \rho A x_1 - N_1 = 0$   
bu yerdan:  $N_1 = -F - \rho A x_1$  (bo'ylama kuch - siquvchi)

normal kuchlanish:  $\sigma_1 = \frac{N_1}{A_1} = \frac{-F - \rho A x_1}{A_1} = -\frac{F}{A_1} - \rho x_1$

$$x_1 = 0, \sigma_1 = -59,9 \frac{t}{m^2}, \quad \text{va} \quad x_1 = 10m \quad \sigma_1 = -79,9 \frac{t}{m^2}$$

**II-II-qirqim.**  $0 \leq x_2 \leq 10m$  oraliqdagi brus siquvchi kuch  $F$  brus yuqori qismining xususiy og'irligi va bo'ylama kuch ta'sirida.

Bu yerdan  $-F - \rho A_1 l - \rho A_2 x_2 - N_2 = 0$ ;  $N_2 = -133,4 - 4,46x_2$

normal kuchlanish:  $\sigma_2 = \frac{N_2}{A_2} = -\frac{133,4 + 4,46x_2}{2,23}$

$$x_1 = 0 \quad \sigma_1 = -59,8 \frac{t}{m^2} \quad \text{va} \quad x_1 = 10m; \quad \sigma_1 = -79,82 \frac{t}{m^2}$$

**III-III-qirqim.**  $0 \leq x_3 \leq 10m$

Bo'ylama kuch  $N_3$  ni topamiz:  $N_3 = -F - \rho A_1 l - \rho A_2 l - \rho A_3 x_3$  yoki

$N_3 = -178 - 5,94x_3$  Normal kuchlanish:  $\sigma_3 = \frac{N_3}{A_3} = -\frac{178 + 5,94x_3}{2,97}$

$$x_3 = 0 \quad \sigma_3 = -59,93 \frac{t}{m^2}, \quad x_3 = 10m \quad \sigma_3 = -79,93 \frac{t}{m^2}$$

**IV-IV-qirqim**  $0 \leq x_4 \leq 10m$

Bo'ylama kuch  $N_4 = -F - \rho A_1 l - \rho A_2 l - \rho A_3 l - \rho A_4 x_4$  yoki

$$N_4 = -27,4 - 7,9x_4$$

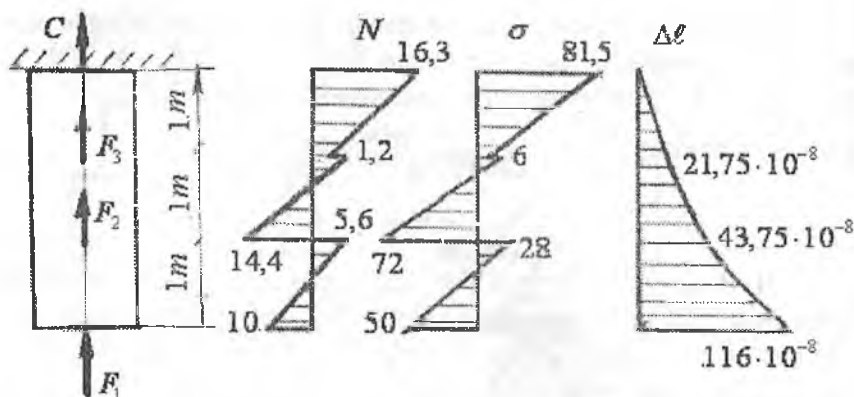
Normal kuchlanish:  $\sigma_4 = \frac{N_4}{A_4} = -\frac{27,4 + 7,9x_4}{3,95}$

$$x_4 = 0 \quad \sigma_4 = -60,1 \frac{t}{m^2} \quad \text{va} \quad x_4 = 10m \quad \sigma_4 = -80,1 \frac{t}{m^2}$$

Pog'onali brusning hamma kesim yuzalarida normal kuchlanish ruxsat etilgan kuchlanish  $[\sigma] = 80 \frac{t}{m^2}$  dan katta emas.

**Misol-6.** Xususiy og'irligi va tashqi  $F_1 = 10 \text{ kN}$ ;  $F_2 = 20 \text{ kN}$   $F_3 = 0,5 \text{ kN}$  kuchlar bilan yuklangan brusni bo'ylama kuch, normal kuchlanish va absolyut uzayish epyuralarini quring (2.28-rasm).

Po'lat materialidan tayyorlangan brusning ko'ndalig' kesim yuzasi  $0,2 \text{ m}^2$ , materialning solishtirma og'irligi,  $\rho = 78 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$



2.28-rasm. Tashqi kuchlar va xususiy og'irlik ta'siridagi pog'onali brus uchun bo'ylama kuch, normal kuchlanish va absolyut uzayish epyurlari

**Yechish:** Brusning muvozanat shartidan foydalanib reaksiya kuchini topamiz  $\sum x = -c + F + F_2 + F_3 - \rho A \cdot 3 = 0$  yoki  $C = -16,3 \text{ kN}$

Demak, reaksiya kuchi teskari, ya'ni yuqoriga yo'nalar ekan. Tashqi kuchlarni ta'sir qilish tavsifiga ko'ra brusni uchta oraliqqa bo'lib, ajratilgan qismlarni uzunligi bo'ylab  $N, \sigma$  va  $\Delta l$  larni tarqalish qonuniyatini o'rganamiz.

**I-I-qirg'iqim.** Brusni ajratilgan qismining kesilgan ko'ndalang kesimiga tashlab yuborilgan qismini og'irligini va tashqi kuchlarni ta'sirini  $N_1$  kuch sifatida keltirib qo'yamiz. Natijada brusni ajratib olib qoldirilgan qismi reaksiya kuchi  $C$ , uzunligi  $x_1$  bo'lgan qismini xususiy og'irligi  $\rho A x_1$  va ichki kuch  $N_1$  ta'sirida bo'lar ekan. Muvozanat shart quyidagicha yoziladi:

$$\sum x = 0; \quad C - \rho A x_1 - N_1 = 0 \quad \text{yoki} \quad N_1 = C - \rho A x_1$$

Normal kuchlanish  $\sigma_1 = \frac{N_1}{A} = \frac{C}{A} - \rho \cdot x_1$

$x_1$  - oraliqning uzayishi  $\Delta l_1 = \int_0^{\ell} \frac{N_1 dx}{EA} = \int_0^{\ell} \frac{(C - \rho A x_1) dx}{EA};$

yoki  $\Delta l_1 = \frac{C x_1}{EA} - \frac{\rho \cdot x_1^2}{2E}$

Yuqoridagi tenglamalarga asosan  $0 \leq x_1 \leq 1m$  oraliqda  $N$  va  $\sigma$  to'g'ri chiziqli va  $\Delta l$  egri chiziq qonuniyati bilan o'zgaradi.

$$x_1 = 0 \text{ bo'lsa } N_1 = 16,3kN; \quad \sigma_1 = 81,5 \frac{kN}{m^2}; \quad \Delta l_1 = 0$$

$$x_1 = 1m \quad N_1 = 0,7kN \quad \sigma_1 = 3,5 \frac{kN}{m^2} \quad \Delta l_1 = 21,25 \cdot 10^{-8}m$$

**II-II-qirqim.** Brusni qo'zg'almas kesimidagi  $x_2$  masofada joylashgan 2-2 kesimi uchun bo'ylama kuch  $N_2 = C + F_1 - \rho A x_2$

normal kuchlanish:  $\sigma_2 = \frac{N_2}{A}$

$$x_2 = 1m \quad N_2 = 1,2kN \quad \sigma_2 = 6 \frac{kN}{m^2}$$

$$x_2 = 2m; \quad N_2 = -14,4kN \quad \sigma_2 = -7,2 \frac{kN}{m^2}$$

Brusning ajratilgan qismini to'liq uzayishi quyidagicha topiladi:

$$\Delta l_2 = \Delta l_1 + \int_0^l \frac{N_2 dx}{EA} = \Delta l_1 + \int_0^l \frac{(C + F_1 - \rho A x_2) dx}{EA}$$

Hosil bo'lgan tenglamani integrallasak  $\Delta l_2 = \Delta l_1 + \frac{(C + F_1)x_2}{EA} - \frac{\rho \cdot x_2^2}{2E}$

$x_2 = 0$  da  $\Delta l_2 = 21,25 \cdot 10^{-8}m$  va  $x_2 = 1m$  da  $\Delta l_2 = 43,75 \cdot 10^{-8}m$

**III-III-qirqim.** Uzunligi  $x_3$  ga teng bo'lgan brusni muvozanat tenglamasi quyidagicha yoziladi.  $\sum x = 0$ .  $N_3 = C + F_1 + F_2 - \rho A x_3$

normal kuchlanish  $\sigma_3 = \frac{N_3}{A}$

$$x_3 = 2m \quad \text{bo'lsa } N_3 = 5,6kN \quad \sigma_3 = 28 \frac{kN}{m^2}$$

$$x_3 = 3m \quad \text{bo'lsa } N_3 = -10kN \quad \sigma_3 = -50 \frac{kN}{m^2}$$

Brusni to'liq uzayishini topamiz:

$$\begin{aligned} \Delta l_3 &= \Delta l_2 + \int_0^l \frac{N_3 dx}{EA} = \Delta l_2 + \int_0^l \frac{(C + F_1 + F_2 - \rho A x_3) dx}{EA} = \\ &= 43,75 \cdot 10^{-8} + \frac{36,8x_3}{EA} - \frac{\rho \cdot x_3^2}{2E} \end{aligned}$$

$$x_3 = 3m; \quad \Delta l_3 = 43,75 \cdot 10^{-8}m \quad \text{va} \quad x_3 = 1m \quad \Delta l_3 = 116,5 \cdot 10^{-8}m$$



**Misol-7.** Ikki uchi qistirib mahkamlangan brusning uzunligi bo'ylab  $N, \sigma$  va  $\Delta l$  epyuralarini quring. Ko'ndalang kesimlari  $A_1 = A_3 = 2A_2 = 4 \cdot 10^{-3} m^2$  bo'lgan brus  $F_1 = 20$  va  $F_2 = 10$  kN tashqi kuchlar bilan yuklangan (2.29-rasm).

**Yechish.** Tashqi kuchlar ta'sirida brus uzayishga va siqilishga qarshilik ko'rsatadi va  $K$  va  $B$  tayanchlarga tayanadi. Tayanch nuqtalaridan brusga reaksiya kuchlari ta'sir qiladi. Reaksiya kuchlarini yo'nalishini va qiymatini aniqlash uchun tuzilgan muvozanat sharti ikkita noma'lum  $K$  va  $B$  ni beradi, ya'ni:

$$\sum x = K + B - F_1 + F_2 = 0$$

Sistemadagi noma'lumlar soni statikani muvozanat tenglamalaridan ortiqcha. Shuning uchun, konstruksiya statik aniqlamas masalalarga kiradi. Bunday masalalarni qo'shimcha deformatsiya (deformatsiyani taqqoslash) tenglamalarini tuzish usuli bilan yechiladi. Deformatsiyani taqqoslash tenglamasini tuzish tashqi kuchlar ta'sirida tayanchlar oralig'i masofasi o'zgarimasdan (brusni to'liq deformatsiyasi nolga teng bo'ladi), faqat brusni pog'onalari uzunligi o'zgarishi, ya'ni sistemani tashqi kuchlar ta'siridagi to'liq uzayishining absolyut qiymati  $K$  reaksiya kuchi ta'siridagi to'liq qisqarishni absolyut miqdoriga tengligiga asoslangan:

$$\Delta l_{\Sigma} = \Delta l_{F_1} - \Delta l_{F_2} \text{ bu yerda } \Delta l_1 = \frac{F_1 \cdot l}{EA}, \quad \Delta l_{F_2} = \frac{F_2 \cdot l}{EA_2} + \frac{F_2 \cdot l}{EA_1}$$

$$\text{va } \Delta l_K = K \left[ \frac{1}{EA_1} + \frac{1}{EA_2} + \frac{1}{EA_3} \right] = \frac{2A}{EA_2}$$

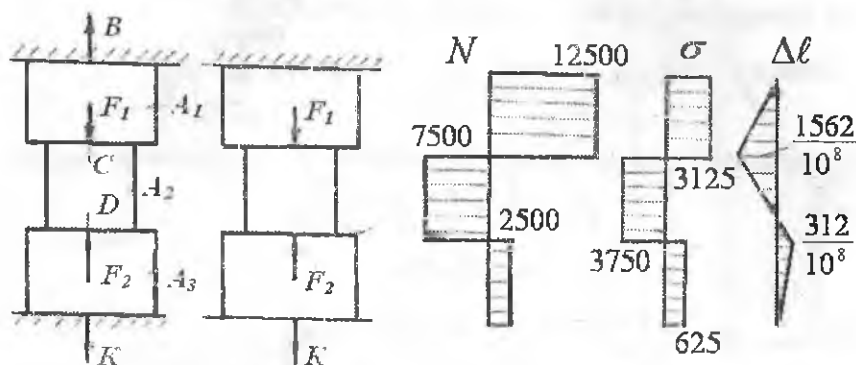
$$\text{Demak, } \frac{2K}{EA_2} = \frac{F_1 \cdot l}{EA} - F_2 \left( \frac{1+l}{EA_2} \right) \quad \text{yoki } K = -\frac{F_2}{4} = -2500N$$

Minus ishorasi,  $K$  reaksiya kuchini yo'nalishi noto'g'ri qabul qilinganligini bildiradi. Demak,  $K$  reaksiya kuchini yo'nalishini teskariga yo'naltiramiz va keyingi tenglamalarda minus ishorasini hisobga olmaymiz.  $K$  tayanch kuchining qiymatini sistemaning muvozanat tenglamasiga keltirib qo'ysak, ya'ni

$$-\frac{F_2}{4} + B - F_1 + F_2 = 0 \text{ bu yerdan } B = 12,5 \text{ kN}$$

Statik aniqlaslik yo'qotilgandan keyin brusni oraliq pog'onalarida  $N$ ;  $\sigma$  va  $\Delta l$  larni o'zgarishini topamiz va epyurasini quramiz. Buning uchun brusni oraliqlarga bo'lamiz. Qirqimlar chegaralari tashqi

kuchlar qo'yilgan nuqtadan va brusni kesim yuzasi o'zgarishi oraliqlaridan o'tgan.



2.29-rasm. Statik noaniq pog'onali brus uchun bo'ylama kuch, normal kuchlanish va absolyut uzayish epyurlari

**I-I-qirqim.** Ajratilgan brusni muvozanat tenglamasini tuzamiz:

$$\sum y = N_1 - K = 0 \quad \text{bu yerdan:} \quad N_1 - K = 2500 \text{ N (cho'zilish).}$$

$$\text{Normal kuchlanish} \quad \sigma_1 = \frac{N_1}{A_3} = \frac{2500}{2 \cdot 2 \cdot 10^{-3}} = 625 \cdot 10^3 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

**II-II-qirqim.** Sxemadan  $N_2 = K - F_2 = 2500 - 10000 = -7500 \text{ N}$

$$\sigma_2 = \frac{N_2}{A_2} = \frac{-7500}{2 \cdot 10^{-3}} = -3750 \cdot 10^3 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

**III-III-qirqim.** Brusning ajratilgan qismi  $F_1$ ;  $F_2$ ;  $K$  va  $N_3$  kuchlari ta'sirida. Muvozanat tenglamasi quyidagicha yoziladi.

$$\sum y = N_3 - F_1 + F_2 - K = 0, \quad \text{bu yerdan} \quad N_3 = 12500 \text{ N}$$

$$\text{normal kuchlanish} \quad \sigma_3 = \frac{N_3}{A_1} = \frac{12500}{2 \cdot 2 \cdot 10^{-3}} = 3125 \cdot 10^3 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Brusning to'liq uzayishini topish uchun oraliqlarni chegaralaridagi  $N$  o'zgarmas bo'lganligi uchun  $\Delta l$  bilan bo'ylama kuch orasidagi bog'lanish to'g'ri chiziqli qonuniyat bilan o'zgaradi.  $K$  kesim qo'zg'almas, demak,  $\Delta l_K = 0$ .  $D$  nuqtani ko'chishi  $KD$  oraliqning uzayishiga teng, ya'ni  $\Delta l_D = \frac{N_1 \cdot y_1}{EA_3}$   $y_1 = 0$   $\Delta l_D = \Delta l_K = 0$  va

$$y_1 = 1m \quad \Delta l_D = 312,5 \cdot 10^{-8} m$$

S nuqtaning to'liq ko'chishi  $KD$  va  $DC$  masofalarni uzayishini yig'indisiga teng, ya'ni

$$\Delta l_c = 312,5 \cdot 10^{-8} + \frac{N_2 \cdot y_2}{EA_2}$$

$$y_2 = 0 \quad \Delta l_c = \Delta l_D = 312,5 \cdot 10^{-8} m$$

$$y_2 = 1m \quad \Delta l_c = -1562,5 \cdot 10^{-8} m'$$

V nuqtaning ko'chishi brusni  $AB$  oralig'ini to'liq uzayishiga tengdir, ya'ni

$$\Delta l_B = -1562,5 \cdot 10^{-8} + \frac{N_3 \cdot y_3}{EA_1}$$

$$y_3 = 0; \Delta l_3 = -1562,5 \cdot 10^{-8} m$$

$$y_3 = 1m \quad \Delta l_B = -1562,5 \cdot 10^{-8} + \frac{12500 \cdot 1}{2 \cdot 10^{11} \cdot 2 \cdot 2 \cdot 10^{-3}} = 0$$

$B$  nuqta joylashgan kesimini ko'chishi nolga teng, chunki bu kesim bibr mahkamlangan.

**Misol-8.** Brus tashqi kuchlar bilan yuklanganligiga qadar pastki kesimi  $A$  tayanch nuqtasi bilan  $\Delta = 0,002 m$  masofa hosil qilgan. Brusning  $DC$  oraliq uzunligi  $\Delta t = 20^0$  ga qizdirilgan (2.30-rasm). Agar brusning tashqi kuchlar va harorat ta'siridagi to'liq uzayishi natijasida  $\Delta$  masofa yopilib brus bilan tayanch orasida o'zaro ta'sir kuchlari hosil bo'lsa sistema statik aniqmas sistemaga aylanadi;  $\Delta$  masofa yopilmasa yoki yopilib brus bilan tayanch orasida o'zaro ta'sir kuchlari hosil bo'lmasa, sistema statik aniq bo'lib qoladi. Berilgan sistema qaysi holatga to'g'ri kelishini aniqlash uchun « $N$ » kesimni to'liq uzayishini topamiz.

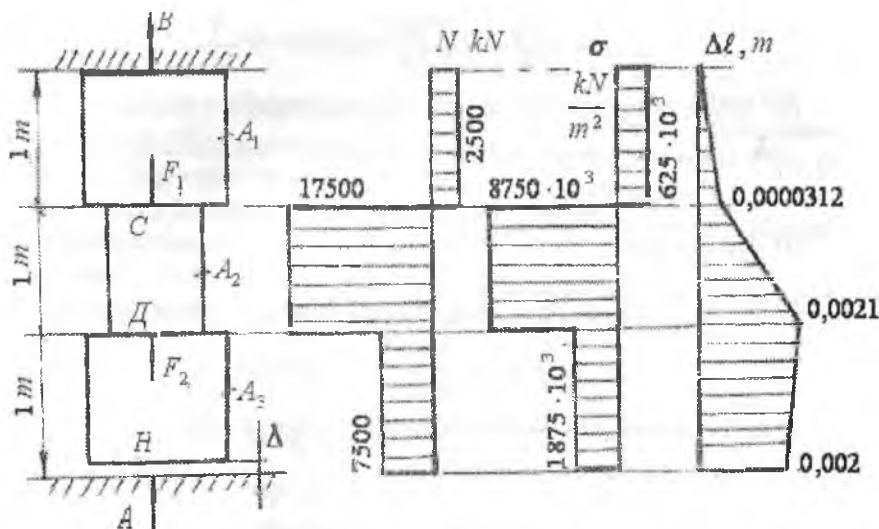
$$\Delta_n = \Delta F_1 - \Delta F_2 + \Delta_t = \frac{F_1 \cdot 1}{EA_1} - \frac{F_2 \cdot 1}{EA_2} - \frac{F_2 \cdot 1}{EA_1} + \alpha \cdot \Delta t \cdot 1 = 0,002375m$$

Demak,  $\Delta_n > \Delta$  yoki  $0,002375 > 0,002 m$ , natijada  $N$  va  $A$  kesimlar tutashadi va  $A$  tayanchda reaktiv kuch hosil bo'lib, sistema statik noaniq bo'ladi. Masalani yechish uchun sistemani muvozanat tenglamasini tuzamiz:  $\sum y = A + B + F_2 - F_1 = 0$  yoki  $A + B = F_1 - F_2$

Sistemani aniqmaslik darajasini ochish uchun qo'shimcha deformatsiya tenglamasini tuzamiz:  $\Delta_H - \Delta = \Delta_A$

$$\text{Bu yerda} \quad \Delta_A = A \frac{1}{EA_1} + \frac{A \cdot 1}{EA_2} + \frac{A \cdot 1}{EA_3} \text{ brusni } A \text{ reaksiya kuchi}$$

$$\text{ta'siridan uzayishi} \quad 0,002375 = A \left( \frac{1}{EA_1} + \frac{1}{EA_2} + \frac{1}{EA_3} \right) + \Delta \text{ yoki}$$



2.30-rasm. Statik noaniq pog'onali brus uchun bo'ylama kuch, normal kuchlanish va absolyut uzayish epyurlari

$$A = \frac{(0,002375 - 0,002) \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{2} = 7500N$$

$$B = F_1 - F_2 - A = 20000 - 10000 - 7500 = 2500N$$

Brusni oraliqlarga bo'lib  $N$ ;  $\sigma$  va  $\Delta l$  larni hisoblaymiz.

**I – I-qirgim.**

$$N_1 = B - 2500N \text{ va } \sigma_1 = \frac{N_1}{A_1} = \frac{2500}{2 \cdot 2 \cdot 10^{-3}} = 625 \cdot 10^3 \frac{N}{m^2}$$

$B$  kesimning ko'chishi nolga teng, ya'ni  $\Delta l_B = 0$ .  $S$  kesimning ko'chishi  $BC$  masofani to'liq uzayishiga teng, ya'ni:

$$\Delta l_s = \frac{N_1 \cdot l}{EA_1} = \frac{2500 \cdot 1}{2 \cdot 10^{11} \cdot 2 \cdot 2 \cdot 10^{-3}} = 312,5 \cdot 10^{-8} m$$

**II-II-qirgim.**

Bo'ylama kuch  $N_2 = B - F_1 = 2500 - 20000 = -17500N$  va normal kuchlanish

$$\sigma_2 = \frac{N_2}{A_2} = -\frac{17500}{2 \cdot 10^3} = -8750 \cdot 10^3 \frac{N}{m^2}$$

*BD* oraliq masofasini to'liq uzayishi quyidagicha topiladi:

$$\Delta \ell_D = 312,5 \cdot 10^{-8} + \frac{N_2 \cdot l}{EA_2} + \alpha \cdot \Delta t \cdot l = 312,5 \cdot 10^{-8} - \frac{17500 \cdot 1}{2 \cdot 10^{11} \cdot 2 \cdot 10^{-3}} + 125 \cdot 10^{-7} \cdot 20 \cdot 1 = 0,00209375m$$

### III-III-qirgim

$$N_3 = B - F_1 + F_2 = 2500 - 20000 + 10000 = -7500N$$

$$\sigma_3 = \frac{N_3}{A_3} = -\frac{7500}{2 \cdot 2 \cdot 10^{-3}} = -1875 \cdot 10^3 \frac{N}{m^2}$$

*N* kesimning ko'chishi yoki brusning to'liq uzayishi

$$\Delta \ell_I = 0,00209375 + \frac{N_3}{EA_3} = 0,00209375 - \frac{7500 \cdot 1}{2 \cdot 10^{11} \cdot 2 \cdot 2 \cdot 10^{-3}} = 0,002m$$

**Misol-9.** Brusning pastdan birinchi va ikkinchi (8-misolda berilgan qiymatlardan foydalanamiz) pog'onalari orasida  $\Delta = 0,001$  m. masofa bor.  $\Delta$  masofa yopilgunga qadar, tashqi kuch ta'sirida brusning har bir bo'lagi alohida deformatsiyalanadi (2.31 a-rasm).

**Yechich:** Sistemani  $\Delta = 1 \cdot 10^{-4}$  m masofani yopilish yoki yopilmasligini tekshirish uchun *D* va *K* nuqtalarni deformatsiyasini  $\Delta$  ga tenglashtiramiz:

$$\Delta_K + \Delta_D = \Delta$$

$$\Delta_K = \frac{F_1 \cdot 2}{E2A} - q \cdot 2 \left( \frac{2}{E2A} + \frac{2}{2EA} \right) + \alpha \cdot 2 \cdot \Delta t = \frac{F_1 - 4q}{EA} + 2 \cdot \alpha \cdot \Delta t$$

$$\Delta_D = -\frac{F_3 \cdot 2}{EA} - \frac{F_3 \cdot 2}{E2A} + \frac{F_2 \cdot 2}{E2A} + 2q \left( \frac{2}{2EA} + \frac{2}{E2A} \right) \quad \text{yoki}$$

$$\Delta_D = \frac{-3F_3 + F_2 + 4q}{EA}$$

$$\text{Unda} \quad \frac{F_1 - 4q}{EA} + 2 \cdot \alpha \cdot \Delta t + \frac{F_2 - 3F_3 + 4q}{EA} = \Delta \quad \text{yoki}$$

$$F_1 - 4q + 2EA\alpha \cdot \Delta t + F_2 - 3F_3 + 4q = \Delta EA; \quad 80 > \Delta EA$$

Demak, pog'onali brusning pastki va yuqori qismlarini deformatsiyalarining yig'indisi pog'onalar orasidagi  $\Delta$  dan katta ekan. *D* va *K* nuqtalar orasidagi masofa yopiladi. Sistema statik noaniq sistemaga aylanadi, *C* va *H* tayanchlardagi reaksiya kuchlari sistemaga qo'yilgan barcha tashqi kuchlarga bog'liq bo'ladi. Sistemani muvozanat tenglamasini tuzamiz (2.31 a-rasm).

$$\sum x = c + F_1 - 2q + F_3 - F_2 - 2q + H = 0$$

Tenglamadagi noma'lum  $S$  va  $N$  reaksiya kuchlarini topish uchun asosiy sistemani tanlaymiz. Asosiy sistema, berilgan sistemani  $K$  va  $D$  nuqtalariga pog'onali bruslarni  $\Delta$  masofasi yopilgandan keyin birbirlariga o'zaro ta'sirlarini almashtiruvchi  $X$  kuchini noma'lum qiymati ko'rsatilgan sxemasi (2.31-rasm, b).

Asosiy sistemani  $K$  va  $D$  nuqtalarining ko'chishlarini  $F_1; F_2; F_3; q; x$  kuchlari va  $\Delta t$  harorati farqi orqali ifodalaymiz.

$$\Delta_{DX} = -\frac{F_3 \cdot 2}{EA} - \frac{F_3 \cdot 2}{E2A} - x \left( \frac{2}{EA} + \frac{2}{E2A} \right) + \frac{F_2 \cdot 2}{E2A} + 2q \left( \frac{2}{E2A} + \frac{2}{E2A} \right)$$

$$\Delta_{KX} = \frac{F_1 \cdot 2}{2EA} + \alpha \cdot \Delta t \cdot 2 - 2q \left( \frac{2}{2EA} + \frac{2}{2EA} \right) - x \left( \frac{2}{EA} + \frac{2}{2EA} \right)$$

$K$  va  $D$  nuqtalar ko'chishlarining yig'indisini  $\Delta$  masofaga tenglashtiramiz.  $\Delta_{KX} + \Delta_{DX} = \Delta$  yoki

$$\frac{F_1 \cdot 2}{2EA} + \alpha \cdot \Delta t \cdot 2 - 2q \left( \frac{2}{2EA} + \frac{2}{E2A} \right) - x \left( \frac{2}{EA} + \frac{2}{2EA} \right) - \frac{2F_3}{EA} - \frac{2F_3}{E2A} - x \left( \frac{2}{EA} + \frac{2}{E2A} \right) + \frac{2F_2}{E2A} + 2q \left( \frac{2}{E2A} + \frac{2}{E2A} \right) = \Delta \quad \text{bu yerdan}$$

$$F_1 + 2EA \cdot \alpha \cdot \Delta t - 4q - 3x - 3F_3 - 3x + F_2 + 4q = \Delta EA \quad \text{yoki}$$

$$-6x + 40 - 120 + 80 + 2 \cdot 2 \cdot 10^8 \cdot 2 \cdot 10^{-4} \cdot 125 \cdot 10^{-7} \cdot 80 = \Delta EA$$

$$6x = 80 - \Delta EA \quad \text{va} \quad x = \frac{80 - 1 \cdot 10^{-4} \cdot 2 \cdot 10^8 \cdot 2 \cdot 10^{-4}}{6} = \frac{76}{6}, \kappa N$$

Sistemaning har ikkala qismlarini muvozanat shartlaridan foydalanib  $C$  va  $H$  reaksiya kuchlarini topamiz

$$\sum x = 0; \quad C + F_1 - 2q - x = 0 \quad \text{yoki} \quad C = \frac{316}{6}, \kappa N$$

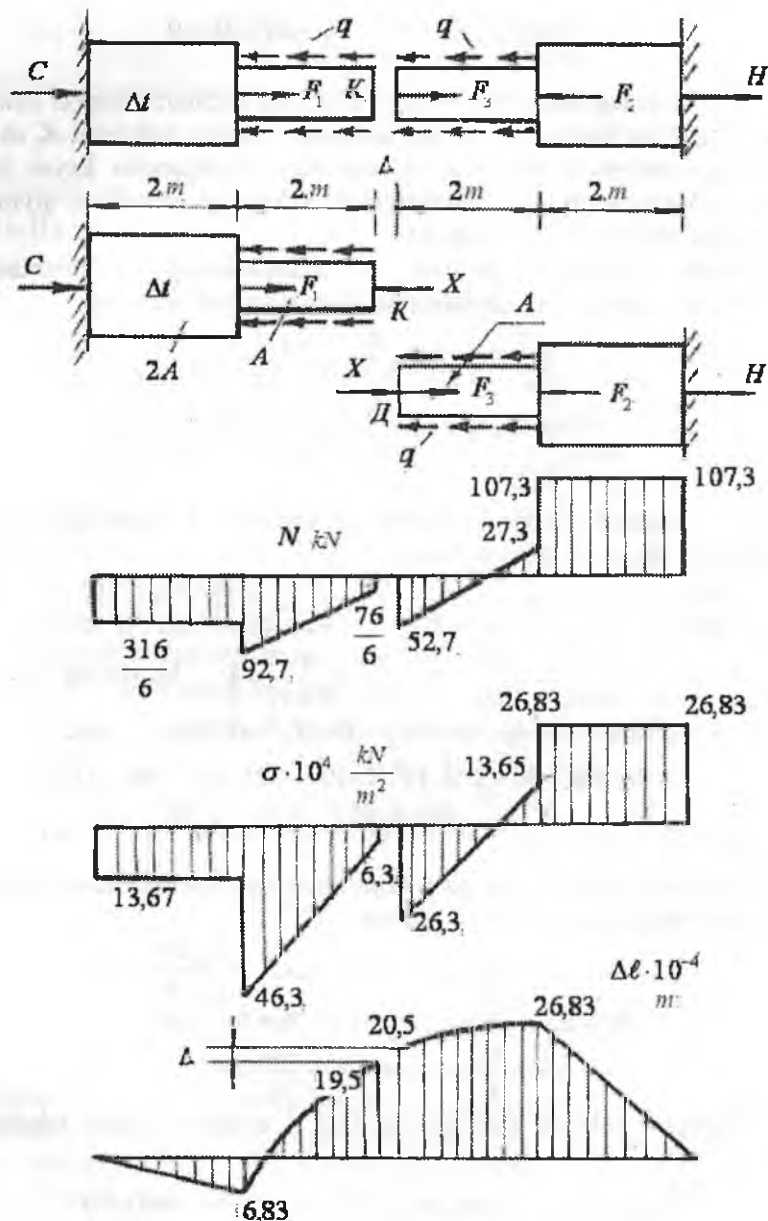
$$\sum x = 0; \quad H + x + F_3 - F_2 - 2q = 0 \quad \text{yoki}$$

$$H = -\frac{76}{6} - 40 + 80 + 80 = \frac{644}{6}, \kappa N$$

Topilgan reaksiya kuchlarining to'g'ri aniqlanganligini tekshiramiz:

$$\sum x = C + F_1 - 2q + F_3 - F_2 - 2q + H = 0 \quad \text{yoki}$$

$$\frac{316}{6} + 40 - 80 + 40 - 80 - 80 + \frac{644}{6} = 0; \quad 960 - 960 = 0$$



2.31-rasm. Statik noaniq pog'onali brus uchun bo'ylama kuch, normal kuchlanish va absolyut uzayish epyurlari

Endi, sistemani oraliqlarga bo'lib har bir pog'onadagi ichki bo'ylama kuch  $N$ , normal kuchlanish  $\sigma$ , bo'ylama deformatsiya  $\Delta l$  larni topamiz.

**I-I-qirg'iqim.**  $\sum x = C + N_1 = 0$  yoki  $N_1 = -\frac{316}{6}, \kappa N$  (siquvchi)

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{2A} = -\frac{316}{6 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 10^{-4}} = -13,167 \cdot 10^4, \frac{\kappa N}{m^2}$$

$x_1$  - oraliqdagi brus  $C$  - reaksiya kuchi va  $\Delta t$  haroratlar farqi

ta'sirida deformatsiyalanadi:  $\Delta l_1 = \frac{N_1 x_1}{E2A} + \alpha \cdot \Delta t \cdot x_1$

$x_1 = 0$  bo'lsa  $\Delta l_1 = 0$

$x_1 = 2m$  bo'lsa  $\Delta l_1 = 6,83 \cdot 10^{-4} m$

**II-II-qirg'iqim.** Ajratilgan qismning muvozanat shartidan

$$\sum x = c + N_2 + F - qx_2 = 0 \text{ bo'ylama kuch } N_2 = -c - F_1 + qx_2$$

normal kuchlanish  $\sigma_2 = \frac{N_2}{A}$ , bo'ylama deformatsiya

$$\Delta l_2 = \Delta l_1 + \int_0^2 \frac{N_2 dx}{EA} = \Delta l_1 + \int_0^2 \frac{(-C - F_1 + qx_2) dx}{EA} = \Delta l_1 - \frac{(c + F_1)x_2}{EA} + q \frac{x_2^2}{2EA};$$

$x_2 = 0; N_2 = -92,7 \kappa N; \quad \sigma_2 = -46,3 \cdot 10^4 \frac{\kappa N}{m^2} \quad \Delta l_2 = 6,8310^{-4} m$

$x_2 = 2m; \quad N_2 = -\frac{76}{6} \kappa N; \quad \sigma_2 = -6,3 \cdot 10^4 \frac{\kappa N}{m^2}; \quad \Delta l_2 = -19,5 \cdot 10^{-4} m$

**III-III-qirg'iqim.**

$$\sum x = 0; \quad H - N_3 = 0, \quad N_3 = H = \frac{644}{6} = 107,3 \kappa N$$

Normal kuchlanish  $\sigma_3 = \frac{N_3}{2A} = \frac{644}{6 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 10^{-4}} = 26,83 \cdot 10^4 \frac{\kappa N}{m^2}$

bo'ylama deformatsiya:

$$\Delta l_3 = \frac{N_3 x_3}{E2A}$$

$x_3 = 0$  bo'lsa  $\Delta l_3 = \Delta l_H = 0$

$x_3 = 2m$  bo'lsa  $\Delta l_3 = 26,83 \cdot 10^{-4} m$

**IV-IV-qirg'iqim.** Ichki kuchni topamiz  $\sum x = -N_4 - qx - F_2 + H = 0$

tenglamadan  $N_4 = H - F_2 - qx = 107,3 - 80 - qx = 27,3 - 40x$

Normal kuchlanish  $\sigma_4 = \frac{N_4}{A} = \frac{27,3 - 40x}{A}$



bo'ylama deformatsiya

$$\Delta \ell_4 = \Delta \ell_3 + \int_0^2 \frac{N_4 dx}{EA} = \Delta \ell_3 + \int_0^2 \frac{(27,3 - 40x) dx}{EA} = \Delta \ell_3 + \frac{27,3x}{EA} - 40 \frac{x^2}{2EA}$$

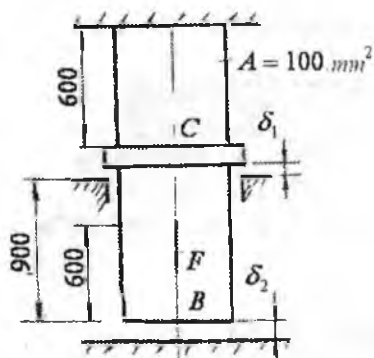
$$x_4 = 0; N_4 = 27,3 \text{ kN}; \sigma_2 = 13,65 \cdot 10^4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \Delta \ell_4 = 26,83 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

$$x_4 = 2 \text{ m} \quad N_4 = -52,7 \text{ kN}; \quad \sigma_2 = -26,3 \cdot 10^4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \Delta \ell_4 = 20,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

Pog'onali brusni  $K$  va  $D$  nuqtalari orasida  $\Delta = 1 \cdot 10^{-4} \text{ m}$  masofa bor. Pog'onali brus tomonlarini to'liq ko'chishlarining farqi  $\Delta$  teng bo'lishi kerak.

$$\Delta = \Delta \ell_4 - \Delta \ell_2 = (20,5 - 19,5) \cdot 10^{-4} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

**Misol-10.** Po'latdan tayyorlangan sterjen sxemada (2.32-rasm) ko'rsatilganidek  $F$  kuch bilan yuklangan.  $F$  kuchni qaysi qiymatida  $\delta_1$  va  $\delta_2$  oraliqlar yopiladi.



2.32-rasm

**Yechish.** C bo'rtikning halqasimon tayanCHAga tayanish holatiga to'g'ri keluvchi  $F = F_1$  kuchni aniqlaymiz. Buning uchun sterjenning yuqori qismini  $F = F_1$  kuch ta'siridan absolyut uzayishini  $\delta_1$  masofaga tenglashtiramiz:

$$\Delta \ell_1 = \frac{F \ell_1}{E_n \cdot A} = \delta_1, \quad \text{bu yerdan}$$

$$F_1 = \frac{\delta_1 E_n A}{\ell_1} = \frac{0,1 \cdot 2 \cdot 10^2 \cdot 100}{600} = 3,33 \text{ kN}$$

$\delta_1$  - masofa yopilgandan keyin,  $F = F_2$  kuch ta'sirida sterjenning (900 - 600) mm uzunligi ortadi. Unda sterjenning uchi pastki tayanCHAga tayanishi uchun  $\Delta \ell_B = \delta_1 + \frac{F_2 \cdot 300}{E_n \cdot A} = \delta_2$  masofani bosib o'tadi, ya'ni

$$\frac{F_2 \cdot 300}{E_n \cdot A} = \delta_2 - \delta_1 = 0,25 - 0,1 = 0,15 \text{ mm} \quad \text{va} \quad F_2 = 10 \text{ kN}$$

**Misol-11.**  $CD$  brus, 2.33-rasmda ko'rsatilganidek, yuklangan va  $OB$  yog'ochga tayanadi. Tashqi  $F$  kuch ta'sirida  $D$  nuqta 3 mm pastga ko'chadi.  $OB$  yog'och sterjenning ko'ndalang kesim yuzasi o'lchamlari

0,2 x 0,2 m. bo'lib, kvadratdir. Yog'och sterjenning kesimidagi kuchlanish va F kuchning qiymati topilsin.

**Yechish.** OB yog'och sterjenning deformatsiyasini topamiz.

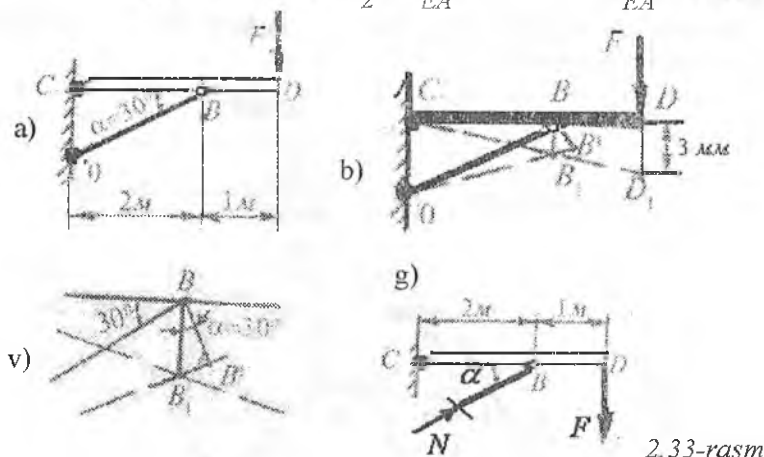
Sxemadan (2.33-rasm, b)  $\triangle DD_1C \sim \triangle BB_1C$ ;  $\frac{DD_1}{DC} = \frac{BB_1}{DC}$  yoki

$$BB_1 = \frac{DD_1}{DC} \cdot BC = 3 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{2}{3} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$\triangle BB_1B^1$  – dan (2.33-rasm, b)  $\frac{BB^1}{BB_1} = \sin 30^\circ$  yoki

$BB^1 = BB_1 \cdot \sin 30^\circ$ ,  $B_1B^1 = \frac{N \ell_{OB}}{EA}$  yog'och sterjenning uzayishini

hisobga olsak,  $B_1B^1 = \Delta \ell = 2 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1}{2} = \frac{N \ell_{OB}}{EA}$  yoki  $\frac{N \ell_{OB}}{EA} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ ,m}$



2.33-rasm

tenglamadan ichki kuch  $N$  ni topamiz

$$N = \frac{1 \cdot 10^{-3} EA}{\ell_{OB}} = \frac{1 \cdot 10^{-3} \cdot 10^7 \cdot 0,2 \cdot 0,2}{\frac{2}{\cos 30^\circ}} = 0,0173 \cdot 10^4, \text{ kN}$$

OB sterjen siqiladi  $\sigma = \frac{N}{A} = -0,433 \cdot 10^4, \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Sistemaning muvozanat shartidan foydalanib tashqi F kuchni topamiz:

$$\sum M_C = F \cdot 3 - N \cdot \sin \alpha \cdot 2 = 0, \text{ va } F = \frac{2}{3} N \cdot \sin \alpha = \frac{2}{3} \cdot 0,0173 \cdot 10^4 \cdot = 57, \text{ kN}$$

**Misol-12.** Berilgan sterjenlar sistemasidagi C nuqtaning to'liq ko'chishi  $\Delta$  gorizontal  $\Delta_g$  va vertikal ko'chishlari  $\Delta_b$  topilsin. Uzunliklari  $l_1 = 2,5M$  va  $l_2 = 4M$  bo'lgan sterjenlarning mustahkamligi bir xil, materiallari esa, birinchisi alyuminiy, ikkinchisi - po'lat.

**Yechich:** Sterjenlardagi ichki kuchlarni kesish usulidan foydalanib ko'rsatamiz.  $\sum x = -N_1 \cos 45^0 + N_2 \cos 60^0 = 0$

bu yerdan 
$$N_1 = N_2 \frac{\cos 60^0}{\cos 45^0} = \frac{N_2}{\sqrt{2}} \quad (a)$$

$$\sum y = N_1 \cos 45^0 + N_2 \cos 30^0 - F = 0 \text{ yoki}$$

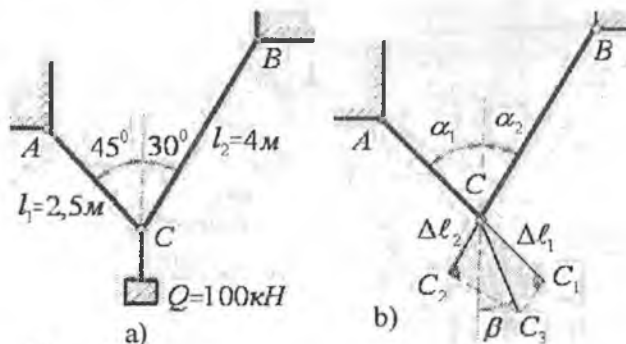
(a) tenglamani hisobga olsak,  $N_2 \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} + N_2 \frac{\sqrt{3}}{2} = F,$

bu yerdan  $N_2 = 73, \kappa N$  va  $N_1 = 51,8 \kappa N$

Birinchi va ikkinchi sterjenlarning mustahkamlik shartlaridan kesm yuzalarini aniqlaymiz.

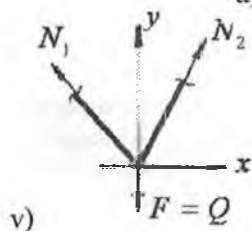
$$\sigma^I_{\max} = \frac{N_1}{A_1} \leq [\sigma] \text{ dan } A_1 = \frac{N_1}{[\sigma]} = \frac{51,8}{150 \cdot 10^3} = 0,345 \cdot 10^{-3} m^2$$

$$\sigma^{II}_{\max} = \frac{N_2}{A_2} \leq [\sigma] \text{ bu yerdan } A_2 = \frac{N_2}{[\sigma]} = \frac{73}{150 \cdot 10^3} = 0,487 \cdot 10^{-3} m^2$$



2.34-rasm. Statik aniq masala:  
a) berilgan sxema; b) sterjenni deformatsiyasi;

v) sterjen C nuqtasining ko'chishi; sistemani yuklanish sxemasi



v)

Guk qonunidan foydalanib sterjenlarning absolyut uzayishlarini topamiz  $\Delta \ell_1 = \frac{N_1 \ell_1}{E_{al} \cdot A_1} = \frac{51,8 \cdot 2,5}{0,7 \cdot 10^8 \cdot 0,345 \cdot 10^{-3}} = 536,2 \cdot 10^{-5} m$

$$\Delta \ell_2 = \frac{N_2 \ell_2}{E_n \cdot A_2} = \frac{73 \cdot 4}{2 \cdot 10^8 \cdot 0,487 \cdot 10^{-3}} = 299,8 \cdot 10^{-5} m$$

C nuqtani to'liq ko'chishini quyidagicha topamiz (2.34-rasm,b). Sterjenlarni absolyut uzayishlari  $\Delta \ell_1$  va  $\Delta \ell_2$  larning, sterjenlarni o'qi bo'ylab har xil masshtabda joylashtirib  $S_1$  va  $S_2$  nuqtalarni hosil qilamiz.  $C_1$  va  $C_2$  nuqtalardan  $CC_1$  va  $CC_2$  larga perpendikulyar o'tkazamiz. Perpendikulyarning tutashgan nuqtasi  $C_3$  bilan C nuqtani birlashtirib  $\Delta$  yo'nalishni topamiz. To'liq ko'chish  $\Delta$  vertikal chiziq bilan  $\beta$  burchakni tashkil qiladi. Hosil bo'lgan sxemadan quyidagi tenglamani keltirib chiqaramiz:

$$\frac{\Delta \ell_1}{\cos(\alpha_1 - \beta)} = \frac{\Delta \ell_2}{\cos(\alpha_2 + \beta)}$$

bu yerda  $\cos(\alpha_1 - \beta) = \cos \alpha_1 \cos \beta + \sin \alpha_1 \cdot \sin \beta$

$$\cos(\alpha_2 + \beta) = \cos \alpha_2 \cos \beta - \sin \alpha_2 \cdot \sin \beta$$

Unda:  $\frac{\Delta \ell_1}{\Delta \ell_2} = \frac{\cos 45^\circ \cos \beta + \sin 45^\circ \cdot \sin \beta}{\cos 30^\circ \cos \beta - \sin 30^\circ \cdot \sin \beta}$

$$\frac{\Delta \ell_1}{\Delta \ell_2} = \frac{0,707 + 0,707 \frac{\sin \beta}{\cos \beta}}{0,866 - 0,5 \frac{\sin \beta}{\cos \beta}} = \frac{0,707 + 0,707 \cdot \operatorname{tg} \beta}{0,866 - 0,5 \operatorname{tg} \beta} \quad \text{bu yerdan}$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{0,866 \Delta \ell_1 - 0,707 \Delta \ell_2}{0,707 \Delta \ell_2 + 0,5 \Delta \ell_1}; \quad \operatorname{tg} \beta = 0,525; \quad \beta = 27^\circ$$

Sxemadan  $\Delta = \frac{\Delta \ell_1}{\cos(\alpha_1 - \beta)} = \frac{536,2 \cdot 10^{-5}}{\cos(45 - 27)^\circ} = 563,8 \cdot 10^{-5} m$

C nuqtaning gorizont tekislikda ko'chishi

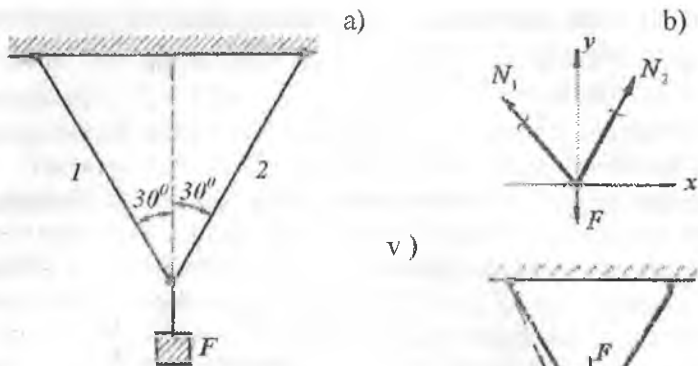
$$\Delta_x = \Delta \cdot \sin \beta = 563,8 \cdot 10^{-5} \cdot \sin 27^\circ = 255,7 \cdot 10^{-5} m$$

va vertikal ko'chishi

$$\Delta_y = \Delta \cdot \cos \beta = 563,8 \cdot 10^{-5} \cdot \cos 27^\circ = 501,8 \cdot 10^{-5} m$$

**Misol-13.** Berilgan sterjenlar sistemasidagi B nuqtaning to'liq ko'chishini toping. Berilgan:

$$\ell_1 = \ell_2 = 3m, \quad A_1 = A_2 = 1 \cdot 10^{-4} m^2, \quad F = 10 \kappa N, \quad E = 1 \cdot 10^8 \frac{\kappa N}{m^2}$$



2.35-rasm. Statik aniq masala:

a) berilgan sxema; b) sterjenni

yuklanish sxemasi;

v) sterjen B nuqtasining ko'chishi;

**Yechish:** Sterjenlardagi ichki kuchlarni topish uchun sistemani muvozanat tenglamalarini tuzamiz (2.35-rasm, b)

$$\sum x = N_1 \sin 30^\circ - N_2 \sin 30^\circ = 0$$

$$\sum y = N_1 \cos 30^\circ + N_2 \cos 30^\circ - F = 0$$

$$N_1 = N_2 \text{ tenglikni hisobga olsak, } N_1 = \frac{F}{2 \cdot \cos 30^\circ} = \frac{10}{2 \cdot 0,866} = 5,77 \text{ kN}$$

F kuch ta'siridan sterjenlar uzayadi, B nuqta B<sub>1</sub> nuqtaga ko'chadi (2.35-rasm, b) Sxemadan  $\Delta BB_1B^1$  dan  $\frac{B_1B^1}{BB_1} = \cos 30^\circ$  va  $BB_1 = \frac{B_1B^1}{\cos 30^\circ}$ .

$B_1B^1 = \Delta \ell_2$  ikkinchi sterjen absolyut uzayishini Guk qonuni orqali

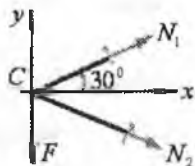
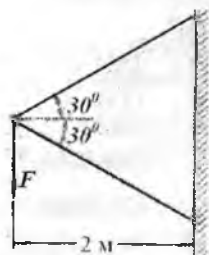
$$\text{ifodalaymiz: } \Delta \ell_2 = \frac{N_2 \cdot 3}{EA} = \frac{5,77 \cdot 3}{1 \cdot 10^8 \cdot 1 \cdot 10^{-4}} = 17,31 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

$$\text{Unda } BB_1 = \Delta = \frac{17,31 \cdot 10^{-4}}{0,866} \approx 20 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

**Misol-14.** Berilgan sterjenlar sistemasidagi C nuqtaning to'liq ko'chishi topilsin (2.36-rasm)

$$\text{Berilgan: } E = 2 \cdot 10^8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}; \quad [\sigma]^1 = 100 \text{ mPa}; \quad |\sigma| = 160 \text{ mPa}$$

Birinchi sterjen ikkita N12 shvellerdan, ikkinchisi N24 qo'shtavrdan tashkil topgan. Unda  $A_1 = 13,3 \cdot 10^{-4} m^2$ ;  $A_2 = 34,8 \cdot 10^{-4} m^2$



**Yechish:** Sistemadagi ichki kuchlar yordamida sterjenlarga qo'yilishi mumkin bo'lgan kuch F kuchni topamiz.

2.36-rasm. Statik aniq sterjenlar sistemasi.

$$\sum x = N_1 \cos 30^\circ + N_2 \cos 30^\circ = 0 \quad a)$$

$$\sum Y = -F + N_1 \sin 30^\circ - N_2 \sin 30^\circ = 0 \quad b)$$

(a) tenglamadan  $N_1 = -N_2$  ni hisobga olsak,  $N_1 = -\frac{F}{2 \cdot \sin 30^\circ} = -F$

Birinchi sterjenning mustahkamlik shartidan foydalanib F kuchni topamiz:

$$\sigma^I = \frac{N_1}{2A_1} \leq [\sigma] \quad \text{va} \quad N_1 = F = 2 \cdot 13,3 \cdot 10^{-4} \cdot 160 \cdot 10^3 = 425 \text{ kN}$$

Ikkinchi sterjenning mustahkamlik shartiga ko'ra F kuchni topamiz.  $\sigma^{II} = \frac{N_2}{A_2} \leq [\sigma]^{II}$ . va  $F = A_2 [\sigma]^{II} = 34,8 \cdot 10^{-4} \cdot 100^3 = 348 \text{ kN}$

Sistemaga qo'yilishi mumkin bo'lgan kuch  $F = 348 \text{ kN}$  - ni qabul qilamiz. Sterjenlarning uzayishini topamiz.

$$\Delta \ell_1 = \frac{N_1 \ell_1}{E A_1} = \frac{348 \cdot 2,31}{2 \cdot 10^8 \cdot 2 \cdot 13,3 \cdot 10^{-4}} = 15,11 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

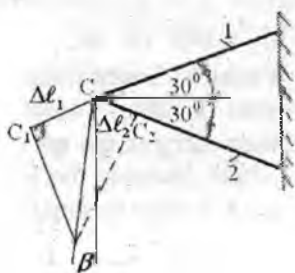
$$\Delta \ell_2 = \frac{N_2 \ell_2}{E A_2} = \frac{348 \cdot 2,31}{2 \cdot 10^8 \cdot 34,8 \cdot 10^{-4}} = 11,55 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

C nuqtaning to'liq ko'chishini topish uchun quyidagi sxemani tuzamiz: 2.37-rasmga asoslanib,

$$\Delta = \frac{\Delta \ell_1}{\cos(60^\circ - \beta)} = \frac{\Delta \ell_2}{\cos(60^\circ + \beta)}$$

$$\cos(60^\circ - \beta) = \cos 60^\circ \cos \beta + \sin 60^\circ \sin \beta$$

$$\cos(60^\circ + \beta) = \cos 60^\circ \cos \beta - \sin 60^\circ \sin \beta$$



2.37-rasm. S nuqtaning ko'chishi

larni hisobga olib, ayrim o'zgarishlardan keyin

$$\frac{\Delta \ell_1}{\Delta \ell_2} = \frac{1 + \operatorname{tg} 60^\circ \operatorname{tg} \beta}{1 - \operatorname{tg} 60^\circ \operatorname{tg} \beta} - \text{ni hosil}$$

qilamiz. Bu yerda  $\frac{\Delta \ell_1}{\Delta \ell_2} = \frac{15,11 \cdot 10^{-4}}{11,55 \cdot 10^{-4}} = 1,3$

Unda  $\operatorname{tg} \beta = \frac{0,3}{3,9836} = 0,0753$  va  $\beta = 4^\circ 30'$

C nuqtaning to'liq ko'chishi

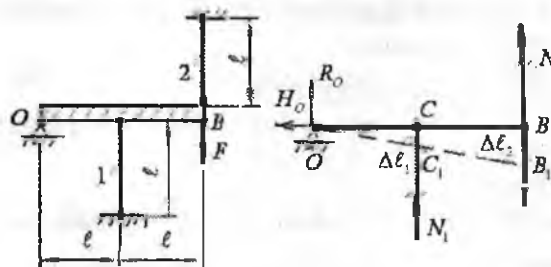
$$\Delta = \frac{\Delta \ell_1}{\cos(60^\circ - \beta)} = \frac{15,11 \cdot 10^{-4}}{\cos 55^\circ 30'} = 27 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

**Misol-15.** Uzunligi  $\ell = 1 \text{ m}$ , kesim yuzasi  $A_1 = A_2 = A = 2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$  bo'lgan va po'latdan tayyorlangan 1 va 2 sterjenlarga qo'zg'aluvchan shamirli tayanchga tayangan absolyut qattiq brusga mahkamlangan (2.38-rasm).

1) sistemaga qo'yilishi mumkin bo'lgan ruxsat etilgan  $P_{pyx}$  yukning sterjenlardagi eng katta kuchlanishni  $[\sigma] = 160 \text{ mPa}$  ga tenglashtirib topilsin

2) oquvchanlik chegarasida  $\sigma_{ok} = 240 \text{ mPa}$  dan foydalanib chekli yuk  $F_{utx}$  topilsin.

Tashqi F kuch ta'sirida OB brus O shamir atrofida aylanadi. Natijada 1 sterjen siqiladi 2 sterjen cho'ziladi.



2.38-rasm. Statik  $N_2$  noaniq sterjenlar sistemasining yuklanish va sterjenlar deformatsiyalari ning o'zaro bog'lanish sxemasi.

**Yechich:** Kesish usulidan foydalanib ichki bo'ylama kuchlarni aniqlaymiz (2.38-rasm). Sistemani muvozanat holatini ifodalovchi statikaning tenglamalarini tuzamiz:

$$\sum x = H_o = 0$$

$$\sum y = R_o + N_1 + N_2 = 0$$

$$\sum M_o = -N_1 \cdot \ell - N_2 \cdot 2\ell + F \cdot 2\ell = 0$$

Ushbu tenglamalardan, ko'rinishicha sterjenlardagi noma'lum ( $N_1 : N_2$ ) ichki kuchlari va tayanch kesimidagi reaksiya kuchlari ( $R_o, H_o$ ) statikaning tenglamalaridan ko'p ekan. Demak, berilgan sistema statik aniq emas. Sxemadagi noma'lum  $R_o$  va  $H_o$  reaksiya kuchlarini topish masalaning shartida ko'rsatilmagan va umuman  $R_o$  va  $H_o$  reaksiyalar ichki bo'ylama kuchlar va sterjenlardagi kuchlanishlarga ta'siri yo'q. Shuning uchun reaksiya kuchlarini topmaymiz.

Sistemaning aniqmaslik darajasi  $S = n - 1 = 2 - 1 = 1$

bu yerda  $n$  - noma'lum ( $N_1$  va  $N_2$ ) kuchlar soni;  
1 - statikaning tenglamalar soni

Noma'lum ichki kuch  $N_1$  va  $N_2$  larni topish uchun sistemani deformatsiyasidan foydalanib qo'shimcha tenglama tuzamiz.  $OB$  brns to'g'riligicha qolib,  $F$  kuch ta'sirida  $O$  nuqta atrofida kichik burchakka aylanadi. Natijada  $C$  va  $B$  nuqtalar  $F$  kuch yo'nalishida ko'chadi va 1 va 2 sterjenlar tegishli  $\Delta \ell_1$  va  $\Delta \ell_2$  masofaga deformatsiyalanadi.  $\Delta \ell_1$  va  $\Delta \ell_2$  larni materialning proportsionallik chegarasidan ortib ketmaydi deb qaraladi va Guk formulasi bilan ifodalanadi.

Sxemadan (2.38-rasm)  $\frac{BB_1}{BO} = \frac{CC_1}{CO}$  yoki  $\frac{\Delta \ell_2}{2\ell} = \frac{\Delta \ell_1}{C}$ ;  $\Delta \ell_2 = 2\Delta \ell_1$ ,

agar  $\Delta \ell_1 = \frac{N_1 \ell}{EA}$  va  $\Delta \ell_2 = \frac{N_2 \ell}{EA}$  bo'lsa  $\frac{N_2 \ell}{EA} = 2 \frac{N_1 \ell}{EA}$  yoki  $N_2 = 2N_1$  kelib chiqadi.  $N_2 = 2N_1$  tenglamani muvozanat tenglamasi bilan birgalikda yechib:  $N_1 = \frac{F}{5}$  va  $N_2 = \frac{2}{5}F$  ni topamiz.  $N_2 > N_1$  bo'lganligi uchun

$\sigma_2 > \sigma_1$ . Ikkinchi sterjenning mustahkamlik sharti  $\sigma_2 = \frac{N_2}{A} \leq [\sigma]$

yoki  $\frac{2F}{5A} \leq [\sigma]$  dan  $F_{max} = \frac{5F[\sigma]}{2} = \frac{5 \cdot 2 \cdot 10^{-4} \cdot 160 \cdot 10^3}{2} = 80kN$

Demak, 2 sterjenda 1 sterjenga nisbatan kuchlanish katta bo'ladi. Bu esa 1 sterjenda oquvchanlik chegarasini 2 sterjenga nisbatan oldinroq boshlanishiga olib keladi. Bu vaqt oralig'ida, agar kuchni ko'paytirsak ham 1 sterjen kuchlanishi o'smaydi (kattalashmaydi) va sistema  $Q$  va



$N_2 = \sigma_{ok} A$  kuch bilan yuklangan statik aniq sistemaga aylanib qoladi. Kuchni, yanada orttirsak 2 sterjenda ham oquvchanlik chegarasi boshlanadi  $N_2 = \sigma_{ok} \cdot A$ . Endi  $N_1$  va  $N_2$  kuch ifodalarini muvozanat tenglamasiga keltirib qo‘yamiz  $\sigma_{ok} \cdot A + 2 \cdot \sigma_{ok} \cdot A = F$  yoki  $3\sigma_{ok} A = F$ , bu yerdan  $F_{4lk} = F = 3 \cdot 240 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^{-4} = 144 kN$

**Misol-16.** Bir xil diamterli po‘latdan tayyorlangan sterjenlar, sxemadagidek  $F=20kN$  kuch bilan yuklangan. Mustahkamlik shartiga ko‘ra sterjenlarning diametrlari topilsin.

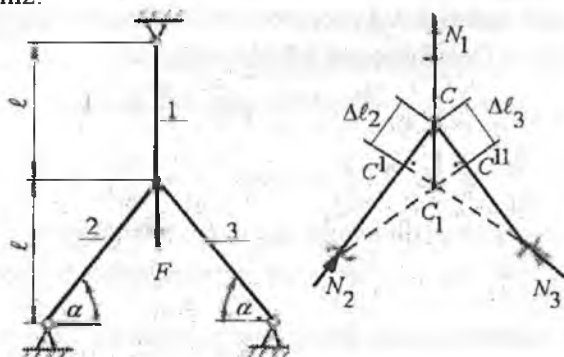
Berilgan:  $\ell = 1m, \alpha = 45^\circ, E = 2 \cdot 10^8 \frac{kN}{m^2}; [\sigma] = 160 mPa$

**Yechich.**  $F$  kuch ta‘sirida 1 sterjen uzayadi; 2-3 sterjenlar siqiladi. Tekis sistemada joylashgan kuchlar uchun statikaning ikkita tenglamasi to‘g‘ri keladi (2.39-rasm).

$$\sum x = -N_1 \cos \alpha + N_2 \cos \alpha = 0(a)$$

$$\sum y = N_1 - F + N_2 \sin \alpha + N_3 \sin \alpha = 0(b)$$

Birinchi tenglamadan  $N_1 = N_3$  ni ikkinchi tenglamaga keltirib qo‘ysak,  $N_1 + 2N_2 \sin \alpha = F$  (b) hosil bo‘ladi. Demak, sistema bir marotaba statik aniqmas ekan, (b) tenglamadan noma‘lum  $N_1$  va  $N_2$  kuchlarni topish uchun sistemani deformatsiyasidan foydalanib qo‘shimcha tenglama tuzamiz.



2.39-rasm. Statik noaniq sterjenlar sistemasining yuklanish va sterjenlar deformatsiyalarining o‘zaro bog‘lanish sxemasi

To‘g‘ri burchakli uchburchak  $CC_1S'$  dan (2.39-rasm)

$$\Delta \ell_2 = \Delta \ell_1 \sin \alpha \quad (g)$$

$$\text{Bu yerda } \Delta \ell_1 = \frac{N_1 \ell_1}{EA} \quad \text{va} \quad \Delta \ell_2 = \frac{N_2 \ell_2}{EA}; \quad \ell_1 = \ell; \quad \ell_2 = \frac{2\ell}{\sqrt{2}}$$

$$\text{unda (g) tenglik quyidagi holatga keladi: } N_1 = N_2 \frac{\sqrt{2} \cdot \ell}{2\ell} = N_2 \frac{\sqrt{2}}{2} \quad (d)$$

sistemani deformatsiyasidan hosil bo'lgan qo'shimcha tenglama bo'lib, uni (v) tenglama bilan birgalikda yechib  $N_1$  va  $N_2$  larni topamiz.

$$N_2 = \frac{F}{3 \cdot \sin \alpha} = \frac{20}{3 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}} = \frac{40}{4,23} \text{ kN}, \quad \text{va} \quad N_1 = \frac{N_2}{\sin \alpha} = \frac{40}{4,23 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}} = \frac{80}{5,9643} \text{ kN}$$

Eng katta bo'ylama kuch 1-sterjenda hosil bo'ladi:  $\sigma_1 = \frac{N_1}{A} \leq [\sigma]$  yoki

$$\sigma_1 = \frac{N_1 \cdot 4}{\pi \cdot d_1^2} \leq [\sigma] \quad \text{bu yerdan} \quad d_1 = \sqrt{\frac{4N_1}{\pi[\sigma]}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 80}{3,14 \cdot 160 \cdot 10^3 \cdot 5,96}} = 0,0103 \text{ m}$$

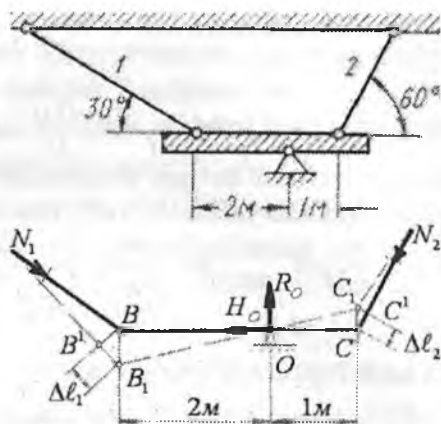
**Misol-17** Ko'ndalang kesim yuzalari o'zaro teng bo'lgan ( $A_1 = A_2 = 40 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ ) 1 va 2 sterjenlar (2.40-rasm)  $\Delta t = 20^{\circ}$  ga qizdirilgan. Sterjenlardagi kuchlanishlar topilsin.

**Yechich.** Sterjenlarning qizdirilishi natijasida BC brus  $O$  sharnir atrofida aylanib  $B_1 C_1$  holatga o'tadi, 1 stejen  $N_1$  kuch ta'sirida siqiadi va  $\Delta t$  harorat ta'sirida uzayadi deb qabul qilsak, 2 sterjen siqiladi  $R_0$  va  $N_0$  reaksiyalarining ta'sirini hisobga olmaslik uchun, sistemani muvozanat tenglamasi sifatida  $O$  sharnirga nisbatan momentlar tenglamasini tuzamiz, ya'ni:

$$\sum M_0 = -2N_1 \cos 60^{\circ} + N_2 \cos 30^{\circ} = 0 \quad \text{yoki} \quad N_2 = 2N_1 \frac{\cos 60^{\circ}}{\cos 30^{\circ}} = 1,1547N_1 \quad (a)$$

(a) tenglamadan ko'rinishicha, sistemadagi noma'lumlar soni  $N_1$  va  $N_2$  statikaning muvozanat shartidan ko'p ekan. Masala statik noaniq. Masalani yechish uchun qo'shimcha deformatsiya tenglamasini tuzamiz. Sxemadan (2.40-rasm) ko'rinishicha 1 va 2 sterjenlarning deformatsiyalari quyidagi nisbatda bog'liqdir:  $BB_1 = 2CC_1$  dan  $\frac{\Delta \ell_1}{\cos 60^{\circ}} = 2 \frac{\Delta \ell_2}{\cos 30^{\circ}}$

$$\text{bu yerdan} \quad \Delta \ell_1 = 1,1547 \Delta \ell_2 \quad (b)$$



2.40-rasm. Temperatura ta'siridagi statik noaniq sterjenlar sistemasi va sterjenlar deformatsiyalarining o'zaro bog'lanish sxemasi

Sterjenlarning deformatsiyalarini Guk qonuni bilan ifodalaymiz

$$\Delta l_1 = -\frac{N_1 h}{EA \sin 30^\circ} + \alpha \cdot \Delta t \frac{h}{\sin 30^\circ}; \quad \Delta l_2 = -\left( \frac{N_2 h}{EA \sin 60^\circ} + \alpha \cdot \Delta t \frac{h}{\sin 60^\circ} \right)$$

Unda (b) tenglama quyidagicha yoziladi:

$$\frac{h}{\sin 30^\circ} \left( -\frac{N_1}{EA} + \alpha \cdot \Delta t \right) = 1,1547 \frac{h}{\sin 60^\circ} \left[ -\frac{N_2}{EA} - \alpha \cdot \Delta t \right] \quad \text{yoki}$$

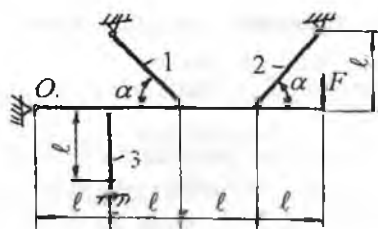
$$-\frac{N_1}{EA} + \alpha \cdot \Delta t = 1,1547 \frac{\sin 30^\circ}{\sin 60^\circ} \left( -\frac{N_2}{EA} - \alpha \cdot \Delta t \right)$$

bu yerdan  $-N_1 + 0,6667N_2 = EA(-0,6667\alpha \cdot \Delta t - \alpha \cdot \Delta t)$

(a) tenglamani hisobga olsak,  $1,7698N_1 = 1,667\alpha EA\Delta t$  hosil bo'ladi unda  $N_1 = 18834 \text{ kg}$  va  $N_2 = 21747 \text{ kg}$

1 sterjendagi kuchlanish  $\sigma_1 = \frac{N_1}{A_1} = \frac{18834}{40} = 470 \frac{\text{kg}}{\text{sm}^2}$

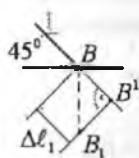
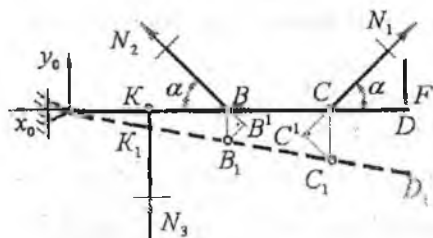
2 sterjendagi kuchlanish  $\sigma_2 = \frac{N_2}{A_2} = \frac{21747}{40} = 543 \frac{\text{kg}}{\text{sm}^2}$



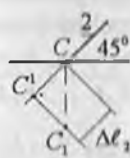
2.41-rasm. Statik noaniq sterjenlar sistemasi

Misol-18. *OD* balka kesim yuzalari  $A = 1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$  bo'lgan po'latdan tayyorlangan sterjenlar bilan bog'langan. Sistemaga qo'yilishi mumkin bo'lgan ruxsat etilgan kuch  $[F]$  ni sterjenlardagi eng katta kuchlanishini  $[\sigma] = 160 \text{ mPa}$  ga tenglashtirib topilsin; oquvchanlik chegarasidagi kuchlanishdan  $\sigma_{ok} = 240 \text{ mPa}$  foydalanib chekli yuk  $F_{chek}$  topilsin.  
 $l = 1 \text{ m}$ ;  $\alpha = 45^\circ$ ;

**Yechich:** *OD* balka  $F$  kuch ta'sirida  $O$  sharnir atrofida aylanadi 1 va 2 sterjenlarni cho'zilishga va 3 sterjen siqilishga qarshilik ko'rsatadi deb qabul qilamiz. Sterjenlarning deformatsiyadan keyingi holati va hisoblash sxemasi 2.42-rasmda ko'rsatilgan.



B nuqtaning ko'chishi



C nuqtaning ko'chishi

2.42-rasm. Sterjenlar deformatsiyalarining o'zaro bog'lanish sxemasi

Sistemaning muvozanat holatini ifodalovchi statikaning tenglamalarini tuzamiz:

$$\sum x = 0; \quad x_0 - N_1 \cos \alpha + N_2 \cos \alpha = 0 \quad (a)$$

$$\sum y = 0; \quad y_0 + N_3 + N_1 \sin \alpha + N_2 \sin \alpha - F = 0 \quad (b)$$

$$\sum M_0 = 0; \quad 2N_1 \sin \alpha + 3N_2 \sin \alpha + N_3 - 4F = 0 \quad (v)$$

(a), (b) va (v) tenglamalardan, ko'rinishicha sterjenlardagi no-ma'lum ( $N_1; N_2; N_3$ ) ichki kuchlari va tayanch kesimidagi reaksiya kuchlari ( $x_0; y_0$ ) statikaning tenglamalaridan ko'p ekan. Demak, beril-

gan sistema statik noaniq. Sistemaning aniqmaslik darajasini topamiz:  
 $S' = n - 3 = 5 - 3 - 2$

bu yerda  $n$  – noma'lum kuchlar va  $Z$  – statikaning tenglamalarining soni;

Sistema ikki marotaba aniqmas. Sterjenlar sistemasining deformatsiyalangan holatining sxemasini chizamiz. Masalani yechish uchun sistemaning geometrik bog'lanishlaridan foydalanib ikkita qo'shimcha deformatsiya tenglamalarini tuzamiz (2.42-rasm).

Sxemadan:  $\Delta BB_1 O \sim \Delta KK_1 O$  va  $\Delta CC_1 O \sim \Delta KK_1 O$  dan

$$\frac{KK_1}{KO} = \frac{BB_1}{BO} \quad \text{va} \quad \frac{KK_1}{KO} = \frac{CC_1}{CO} \quad \text{hosil qilamiz.}$$

$$\text{bu yerda } BB_1 = \frac{BB^1}{\cos \alpha} \quad \text{va} \quad CC_1 = \frac{CC^1}{\cos \alpha};$$

Sxemadan  $KK_1 = \Delta \ell_1$ ;  $BB^1 = \Delta \ell_1$  va  $CC^1 = \Delta \ell_2$  lami hisobga olsak, yuqoridagi nisbatlar quyidagicha yoziladi;

$$\frac{\Delta \ell_1}{2 \cos \alpha} = \frac{\Delta \ell_1}{1} \quad \text{va} \quad \frac{\Delta \ell_2}{3 \cos \alpha} = \frac{\Delta \ell_1}{1} \quad \text{yoki}$$

$$\Delta \ell_1 = 2 \Delta \ell_2 \cos \alpha \quad \text{va} \quad \Delta \ell_2 = 3 \Delta \ell_1 \cos \alpha \quad (g)$$

(g) qo'shimcha deformatsiya tenglamalarini Guk qonuni orqali ichki kuchlar bilan ifodalaymiz:

$$\frac{N_1 \ell_1}{E_1 A_1} = 2 \frac{N_3 \ell_3}{E_3 A_3} \cos \alpha \quad \text{va} \quad \frac{N_2 \ell_2}{E_2 A_2} = 3 \frac{N_3 \ell_3}{E_3 A_3} \cos \alpha \quad (d)$$

Sxemadan  $E_1 = E_2 = E_3 = E$ ;  $\ell_3 = 1m$  va  $\ell_1 = \ell_2 = \frac{1}{\cos \alpha}$  lar

ni hisobga olsak va ayrim o'zgartirishlardan, keyin (d) quyidagicha yoziladi;

$$N_1 = 2N_3 \cos^2 \alpha = N_3 \quad (e)$$

$$N_2 = 3N_3 \cos^2 \alpha = 1,5N_3 \quad (f)$$

(e) va (f) tenglamalarini (v) ga keltirib qo'yamiz va ichki kuchni topamiz:  $N_3 = 0,72F$  unda  $N_1 = 0,72F$  va  $N_2 = 1,08F$

Endi har qaysi sterjenning mustahkamlik shartini yozamiz:

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{A_1} = \frac{0,72F}{A} \leq [\sigma] \quad \sigma_2 = \frac{N_2}{A_2} = \frac{1,08F}{A} \leq [\sigma] \quad \sigma_3 = \frac{N_3}{A_3} = \frac{0,72F}{A} \leq [\sigma]$$

Mustahkamlik shartiga ko'ra eng katta normal kuchlanish 2 chi sterjenda hosil bo'lishini aniqlaymiz. Sistemaga qo'yilishi mumkin bo'lgan kuchni ruxsat etilgan qiymati

$$[F] = \frac{A[\sigma]}{1,08} = \frac{1 \cdot 10^{-3} \cdot 160 \cdot 10^3}{1,08} = 148,1kN$$

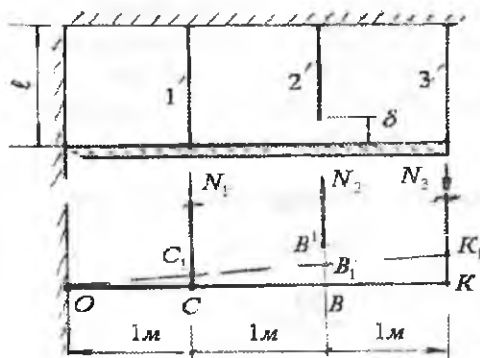
Uchta sterjenda ham oquvchanlik chegarasi boshlanishi uchun

$N_1 = \sigma_{ok} A_1$ ;  $N_2 = \sigma_{ok} A_2$ ; va  $N_3 = \sigma_{ok} A_3$  shartlar bajarilishi kerak. U paytda ( $v$ ) tenglama quyidagicha ko'rinishga keltiriladi:

$$2\sigma_{ok} A \sin \alpha + 3\sigma_{ok} A \sin \alpha + \sigma_{ok} A = 4F$$

Oxirgi tenglamadan oquvchanlik chegarasiga to'g'ri keluvchi

chekli yuk  $F_{\text{vek}} = \frac{\sigma_{ok} A (1 + \sin \alpha)}{4} = \frac{240 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^{-3} (1 + 5 \cdot 0,7)}{4} = 270 \text{ kN}$



2.43-rasm. Statik noaniq sterjenlar sistemasi va sterjenlar deformatsiyalarining o'zaro bog'lanish sxemasi

**Yechich:** Konstruksiyadagi  $\delta$  zazorni yo'qo tish uchun 1 va 3 sterjenlarni yechich, 2 sterjenni cho'zish kerak. Natijada uchta sterjenda ham ichki bo'ylama kuchlar hosil bo'ladi. Ichki kuchlarni topish uchun kesish usulidan foydalanamiz. Konstruksiya ajratilgan qismining muvozanat holatini qanoatlantiruvchi  $\sum M_0 = 0$  tenglamani tuzamiz.

$$\sum M_0 = N_1 \cdot 1 - N_2 \cdot 2 + N_3 \cdot 3 = 0$$

Bitta tenglamada uchta  $N_1$ ;  $N_2$  va  $N_3$  ma'lum ichki kuchlar bor ekan. Bu masala statik noaniqdir. Noma'lumlar soni muvozanat tenglamasidan ikkitaga ko'p. Shuning uchun, tanlangan masala ikki marotaba noaniq. Masalaning aniqmaslik darajasini ochish uchun ikkita qo'shimcha deformatsiya tenglamalarini tuzish kerak (2.43-rasm). Konstruksiyaning deformatsiyasini o'rganamiz. 1 va 3 sterjenlarning siqilishda, birinchi sterjen  $CC_1 = \Delta \ell = \frac{N_1 \ell}{EA}$  masofaga, uchinchi sterjen  $KK_1 = \Delta \ell = \frac{N_3 \ell}{EA}$

**Misol-19.** Biki brus, ko'ndalang kesim yuzalari  $A = 20 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$  bo'lgan uchta sterjenlarga osilgan. O'rtta sterjen loyiha o'lchamidan  $\delta = 0,5 \text{ mm}$  kalta tayyorlangan. Konstruksiya yig'ilgandan keyin sterjenlardagi kuchlanish topilsin. Sterjenlarning materiallari bir xil.

masofaga qisqaradi. Natijada B nuqta  $B_1$  ga ko'chadi. 2 sterjenni brus bilan tutashtirish uchun, uni  $\Delta \ell_2 = \frac{N_2 \ell}{EA}$  masofaga uzaytirish kerak.

Konstruksiyadagi sterjenlarning deformatsiyasi natijasida uchbur-chaklar hosil bo'ladi:  $\Delta KKO \infty \Delta BB_1O \infty \Delta CC_1O$

$$\text{Unda } \frac{KK_1}{KO} = \frac{CC_1}{CO} \quad \text{yoki} \quad \frac{\Delta \ell_1}{3} = \frac{\Delta \ell_1}{1} \quad \text{va} \quad \Delta \ell_1 = 3\Delta \ell$$

$$\text{bu yerdan} \quad \frac{N_3 \ell}{EA} = 3 \frac{N_1 \ell}{EA}; \quad N_3 = 3N_1 \quad (b)$$

$$\frac{BB_1}{BO} = \frac{CC_1}{CO} \quad \frac{\delta - \Delta \ell_2}{2} = \Delta \ell_1 \quad \text{va} \quad \delta - \Delta \ell_2 = \Delta \ell_1$$

$$\text{bu yerdan} \quad \delta \frac{N_2 \ell}{EA} = 2 \frac{N_1 \ell}{EA} \quad \text{va} \quad N_2 = \frac{\delta EA - 2N_1 \ell}{\ell} \quad (v)$$

hosil bo'ladi. (b) va (v) tengliklarni (a) tenglamaga keltirib qo'yamiz;

$$N_1 \cdot 1 - 2 \frac{\delta \cdot EA - 2N_1 \ell}{\ell} + 9N_1 = 0, \quad 10N_1 \ell - 2\delta \cdot EA + 4N_1 \ell = 0$$

$$\text{va} \quad N_1 = \frac{\delta \cdot EA}{7\ell} = \frac{0,5 \cdot 10^{-4} \cdot 2 \cdot 10^8 \cdot 20 \cdot 10^{-4}}{7} = \frac{20}{7} \text{ kN}$$

Birinchi sterjendagi kuchlanish:

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{A} = \frac{20}{7 \cdot 20 \cdot 10^{-4}} = 0,143 \cdot 10^4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$(b) \text{ tenglikdan } N_3 \text{-ni topamiz:} \quad N_3 = \frac{100}{7} \text{ kN}$$

Ikkinchi sterjendagi kuchlanish:

$$\sigma_2 = \frac{N_2}{A} = \frac{100}{7 \cdot 20 \cdot 10^{-4}} = 0,715 \cdot 10^4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$(b) \text{ tenglikdan } N_3 \text{-ni topamiz:} \quad N_3 = 3 \frac{20}{7} = \frac{60}{7} \text{ kN}$$

$$\text{va kuchlanish} \quad \sigma_3 = \frac{N_3}{A} = \frac{60}{7 \cdot 20 \cdot 10^{-4}} = 0,429 \cdot 10^4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

### III BOB. KUCHLANGANLIK HOLATLARI VA MUSTAHKAMLIK NAZARIYALARI

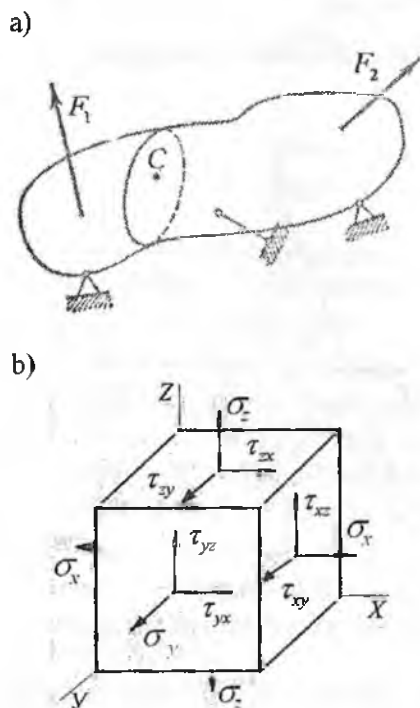
#### Umumiy tushunchalar

Kuchlarni ta'sir qilish holatlariga qarab konstruktsiya yoki inshoot qismidagi eng katta kuchlanishlarni va ular paydo bo'ladigan yuzachalarni topish masalasi qiyinlashadi. Bu masalani yechish uchun deformatsiyalanuvchi jism nuqtasidagi kuchlanish holati tekshiriladi.

Turli kesim yuzalarida hosil bo'ladigan kuchlanishlarning tahlili kuchlanganlik holatlarining nazariyalari deyiladi.

a) Markaziy cho'zilish va siqilishda ko'ndalang kesimning barcha nuqtalarida kuchlanish bir xil bo'lishini ko'rib o'tdik. Kesimni ma'lum bir burchakka aylantirsak, uning vaziyati o'zgaradi. Natijada undagi kuchlanish ham o'zgaradi. Masalan, ixtiyoriy sirtga ega bo'lgan jism kuchlar ta'sirida bo'lsin. Uning biror C nuqtasi (3.1-rasm, a) atrofida tomonlari cheksiz kichik bo'lgan o'zaro kesishuvchi yuzalarni olaylik. Ushbu yuzadagi (3.1-rasm, b) to'liq kuchlanish  $R$ ni uchta tashkil qiluvchiga ajratish mumkin: bitta normal va ikkita kesim yuzasi bo'ylab. Normal kuchlanishlarni  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$  va

$\tau_{yx}, \tau_{xy}, \tau_{zx}, \tau_{xz}, \tau_{yz}, \tau_{zy}$  -urinma kuchlanishlar bilan belgilaymiz. Muvozanat tenglamalarini tuzishda, albatta har bir kuchning momenti, u ta'sir qilayotgan yuzaning qarama-qarshi tomonidagi kuch momentiga tengligi aniqlanadi.



3.1-rasm. Kuchlanganlik holati:  
a) ixtiyoriy yuklangan jism;  
b) kubikni fazoviy yuklanishi



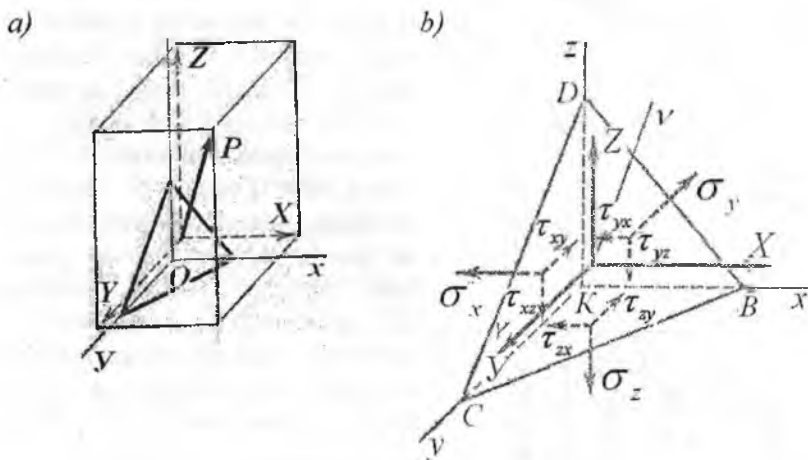
$\tau_{yx} dx \cdot dz \cdot dy = \tau_{xy} dx \cdot dz \cdot dy$  va hokazo.

Unda,  $\tau_{yz} = \tau_{zy}; \tau_{yx} = \tau_{xy}; \tau_{zx} = \tau_{xz}$ . Demak, o'zaro perpendikulyar zalarda urinma kuchlanishlar teng va qarama-qarshi tomonga yo'naladi. Bu tenglik urinma kuchlanishlarning juftlik alomati deyiladi.

Agar kuchlanganlik holatining oltita komponenti  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z,$

$\tau_{xy}, \tau_{zx}, \tau_{yz}$  berilgan bo'lsa, xohlagan yuzadagi kuchlanishlarni aniqlash mumkin. Masalan, jismdan ajratilgan to'rt qirrali yuzani olaylik. Yuzadagi to'liq kuchlanish  $R$  (3.2-rasm, a).  $BSD$  uchburchak yuzasini  $A$  bilan belgilaymiz, unda  $KCD, KBD, KBC$  uchburchaklarning yuzalarini  $A_x = A \cdot \ell; A_y = A \cdot m; A_z = A \cdot n$  bo'ladi.

Bu yerda  $\ell, m, n$  - normal -v- ni yo'naltiruvchi kosinuslari.



3.2-rasm. Kuchlanganlik holat

a) to'rt qirrali yuzasi; b) to'rt qirrali yuzani fazoviy yuklanishi

$BCD$  yuzadagi to'liq kuchlanish vektori -  $R$  - ni  $x, y, z$  o'qlarga proektsiyalaymiz va ularni  $X, Y, Z$  harflar bilan belgilaymiz.

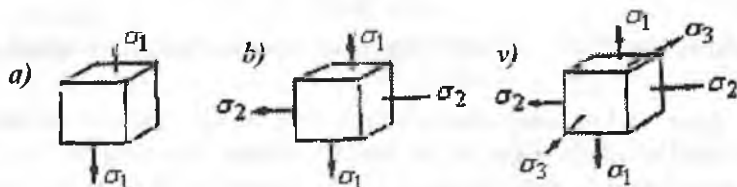
$$XA = \sigma_x A_x + \tau_{yx} A_y + \tau_{zx} A_z \quad X = \sigma_x \cdot \ell + \tau_{yx} \cdot m + \tau_{zx} \cdot n$$

$$YA = \tau_{xy} A_x + \sigma_y A_y + \tau_{xz} A_z \quad \text{yoki} \quad Y = \tau_{xy} \cdot \ell + \sigma_y \cdot m + \tau_{xz} \cdot n$$

$$ZA = \tau_{xz} A_x + \tau_{yz} A_y + \sigma_z A_z \quad Z = \tau_{xz} \cdot \ell + \tau_{yz} \cdot m + \sigma_z \cdot n$$

Nuqta kuchlanganlik holatida  $x, y, z$  o'qlarining shunday vaziyatini aniqlash mumkinki, natijada  $\tau_{xy}, \tau_{zx}, \tau_{yz}$  urinma kuchlanishlari nolga teng bo'ladi. Urinma kuchlanishlar nolga teng bo'lgan vaziyatga to'g'ri keluvchi koordinata o'qlariga bosh o'qlar deyiladi. Bosh o'qlarga mos ravishda perpendikulyar joylashgan yuzalar bosh yuzalar deyiladi.

Bosh yuzalarga qo'yilgan kuchlanishlar bosh kuchlanishlar bo'ladi. Kuchlanganlik holatlarini  $\sigma_1, \sigma_2$  va  $\sigma_3$  - larning qiymati noldan farqli bo'lishiga qarab aniqlanishi mumkin:



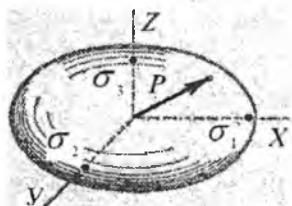
3.3-rasm. Kuchlanganlik holatlari:  
a) chiziqli; b) tekis va v) hajmiy

1) agar, bosh kuchlanishlardan bittasi noldan farqli qolgan ikkitasi nolga teng bo'lsa – chiziqli kuchlanganlik holati (3.3-rasm, a)

Oddiy cho'zilishda:  $\sigma_1 = \sigma_0$ ;  $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$  va siqilishda  $\sigma_1 = \sigma_2 = 0$ ;  $\sigma_3 = -\sigma_0$  bo'ladi.

2) agar, ikkita bosh kuchlanishlar noldan farqli va bittasi nolga teng bo'lsa – tekis kuchlanganlik holati (3.3-rasm, b).

3) agar, uchta bosh kuchlanishlar ham noldan farqli bo'lsa – hajmiy kuchlanganlik holati bo'ladi (3.3-rasm, v).  $\sigma_1, \sigma_2$  va  $\sigma_3$  lar bosh kuchlanishlar va  $\sigma_1 \succ \sigma_2 \succ \sigma_3$  deb qabul qilamiz.

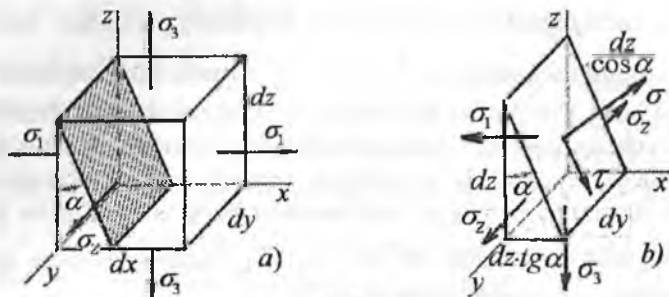


3.4-rasm.

Bosh yuzalarda  $X = \sigma_1 \ell$ ;  $Y = \sigma_2 m$ ;  $Z = \sigma_3 n$  tengliklarni hosil qilish mumkin.  $\ell^2 + m^2 + n^2 = 1$  bo'lsa

$\frac{X^2}{\sigma_1^2} + \frac{Y^2}{\sigma_2^2} + \frac{Z^2}{\sigma_3^2} = 1$  hosil bo'ladi. Bu yerda

$X, Y, Z$  ixtiyoriy yuzadagi to'liq kuchlanish vektorining koordinatalari. To'liq kuchlanish vektori oxirining bosh



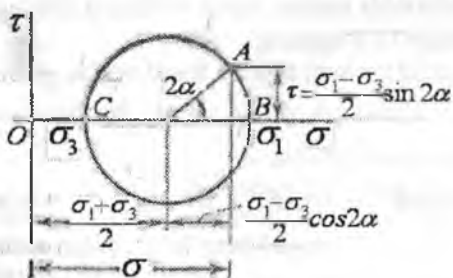
3.5-rasm.

kuchlanishlar  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  va  $\sigma_3$  o'qlaridagi traektoriyasi ellipsoidani hosil qiladi.

Agar, ikkita bosh kuchlanishlar teng bo'lsa ellipsoid aylanuvchi jism shaklini oladi. Agar, uchta bosh kuchlanishlar teng bo'lsa, ellipsoid sfera shaklini oladi. Jismdan kesib olingan uchburchak prizmaning muvozanatini tekshiramiz (3.5-rasm,a). Shtrixlangan yuza  $\alpha$  - burchakning har qanday qiymatida ham  $y$  o'qiga parallel qoladi. Prizmaga ta'sir qiluvchi barcha kuchlarni  $\sigma$  va  $\tau$  o'qlarga proektsiyalaymiz:

$$\sigma \cdot dy \cdot \frac{dz}{\cos \alpha} = \sigma_1 dy \cdot dz \cdot \cos \alpha + \sigma_3 dy \cdot dz \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \sin \alpha$$

$$\tau \cdot dy \cdot \frac{dz}{\cos \alpha} = \sigma_1 dy \cdot dz \cdot \sin \alpha - \sigma_3 dy \cdot dz \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \cos \alpha$$



3.6-rasm. Qiya kesim uchun Mor doirasi

Bu kuchlanishlarni quyidagicha yozish mumkin:

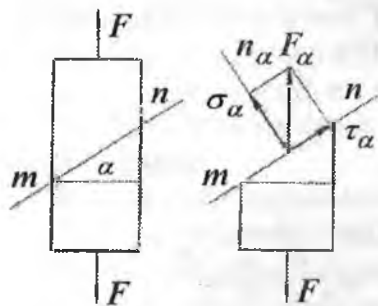
$$\sigma = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \cos 2\alpha$$

va  $\tau = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \sin 2\alpha$  yoki  $\left(\sigma - \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2}\right)^2 + \tau^2 = \left(\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}\right)^2$ . Bu tenglama  $\sigma - \tau$  koordinata sistemasida markazi  $\sigma$  o'qida koordinata boshidan  $\frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2}$  masofada joylashgan, radiusi  $\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}$  aylananing tenglamasi. Ushbu aylana Mor doirasi deyiladi (3.6-rasm).

### 3.1. Chiziqli kuchlanganlik holati

Chiziqli kuchlanganlik holati elementlarni oddiy cho'zilish va siqilish deformatsiyasiga uchragan vaqtidagi ko'ndalang kesim yuzasiga qiya joylashgan yuzalaridagi kuchlanishlarni tarqalish qonuniyatini o'rganadi.

$F$  kuch ta'sirida cho'zilayotgan brusni ko'ndalang kesim yuzasidagi kuchlanish  $\sigma = \frac{F}{A}$  formula bilan topilishini ko'rib o'tgan edik. Endi brusni ko'ndalang kesim yuzasiga qiya hisoblangan  $m - n$  yuzasidagi kuchlanishni aniqlaylik.  $m - n$  tekislikni qiyaligi brus o'qi va  $n_\alpha$  normali orasidagi o'tkir burchak  $\alpha$  bilan aniqlanadi.



3.7-rasm. Brusning qiya kesim yuzasidagi kuchlanishlar.

Kesish metodi orqali ajratib olingan kesimni qiya yuzasida  $F_\alpha$  kuchlanish teng tarqaladi va

$$F_\alpha = \frac{F}{A_\alpha} = \frac{F}{A} \cos \alpha = \sigma_0 \cos \alpha$$

formula bilan topiladi.  $F_\alpha$  - ning qiya tekislik normal va  $m-n$  kesim tekisligiga proeksiyalab:

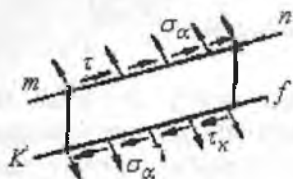
$$\sigma_\alpha = F_\alpha \cos \alpha = \sigma_0 \cos^2 \alpha \quad (3.1)$$

$$\tau_\alpha = F_\alpha \sin \alpha = \frac{\sigma_0}{2} \sin 2\alpha \quad (3.2)$$

qiya tekislikning normal  $\sigma_\alpha$  va urinma  $\tau_\alpha$  kuchlanishlarni topamiz. Brusning  $m-n$  qiya tekisligiga parallel bo'lgan  $e-f$  chiziq bilan kesib, bu qiya yuzada ham normal va urinma kuchlanishlarning hosil bo'lishini ko'ramiz.  $\sigma_\alpha$  - normal kuchlanish ta'sirida  $m-n$  va  $e-f$  qiya kesim

yuzalari orasidagi masofa uzayadi (qisqaradi);  $\tau_\alpha$ -urinma kuchlanishi ta'sirida esa siljish deformatsiyasi hosil bo'ladi. Agar  $\sigma_\alpha$ - cho'zuvchi bo'lsa ishorasi – musbat;  $\tau_\alpha$  brusning ajratilgan qismini soat strelkasi yo'nalishi bo'ylab aylantirsa, ishorasi – musbat deb qaraladi. (3.1) va (3.2) tenglamalardan quyidagilar hosil bo'ladi

$$\alpha = 0 \text{ bo'lsa } \tau_\alpha = 0 \text{ va } \sigma_\alpha = \sigma_0$$



$$\alpha = 45^\circ \text{ da } \tau_\alpha = \frac{\sigma_0}{2} \quad \sigma_\alpha = \frac{\sigma_0}{2}$$

$$\alpha = 90^\circ \text{ da } \tau_\alpha = 0 \text{ va } \sigma_\alpha = 0$$

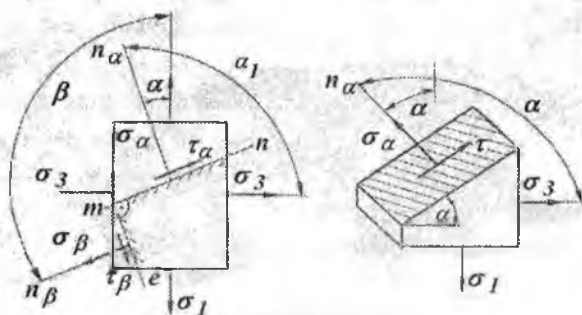
Demak, 1) brus o'qiga perpendikulyar va parallel kesimlarida  $\tau_\alpha = 0$  bo'lar ekan.

Shuning uchun bu yuzalar bosh yuzalar deyiladi. 2) brus o'qiga parallel yuzalarida  $\sigma = 0$ ;  $\tau = 0$  bo'ladi, ya'ni  $\sigma$  va  $\tau$  tashqi kuchga bog'liq bo'lmaydi.

### 3.2. Tekis kuchlanganlik holati

Tekis kuchlanganlik holati qiya kesimdagi kuchlanish (3.1) va (3.2) formulalarga asoslanib topiladi. Brusning  $m-n$  qiya kesimidagi normal  $\sigma_\alpha$  va urinma  $\tau_\alpha$  kuchlanishlarini topamiz (3.8-rasm):

$$\sigma_\alpha = \sigma_1 \cos^2 \alpha + \sigma_3 \sin^2 \alpha, \quad \tau_\alpha = \sigma_1 \cos \alpha \sin \alpha - \sigma_3 \sin \alpha \cos \alpha$$



3.8-rasm. Tekis kuchlanganlik holatidagi kubikning qiya kesim yuzalaridagi kuchlanishlar.

$$\text{yoki} \quad \sigma_{\alpha} = \sigma_1 \cos^2 \alpha + \sigma_3 \sin^2 \alpha \quad (3.3)$$

$$\tau_{\alpha} = \frac{\sigma_1}{2} \sin 2\alpha + \frac{\sigma_3}{2} \sin 2\alpha_1 = \frac{\sigma_1}{2} \sin 2\alpha + \frac{\sigma_3}{2} \sin 2(\alpha + 90^\circ)$$

$$\text{yoki} \quad \tau_{\alpha} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin 2\alpha \quad (3.4)$$

Agar,  $m$ - $n$  qiya kesimiga perpendikulyar holatdagi brusning ikkinchi  $m$ -e qiya kesimini tanlab olsak, bu qiya kesimdagi  $\sigma_{\beta}$  va  $\tau_{\beta}$  kuchlanishlari (3.3) va (3.4) formulalar asosida topiladi.

$$\sigma_{\beta} = \sigma_1 \cos^2 \beta + \sigma_3 \sin^2 \beta = \sigma_1 \cos^2(\alpha + 90^\circ) + \sigma_3 \sin^2(\alpha + 90^\circ)$$

$$\text{yoki} \quad \sigma_{\beta} = \sigma_1 \sin^2 \alpha + \sigma_3 \cos^2 \alpha \quad (3.5)$$

$$\tau_{\beta} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin 2\beta = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin 2(\alpha + 90^\circ) \text{ va } \tau_{\beta} = -\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin 2\alpha \quad (3.6)$$

(3.3), (3.4), (3.5) va (3.6) formulalardan ko'rinib turibdiki, qiya kesimlarining normal va urinma kuchlanishlari  $\alpha$  burchakning o'zgarishiga bog'liq ekan. Qiya kesimning og'ish burchagi  $\alpha = 45^\circ$  da urinma kuchlanish  $\tau_{\alpha}$  maksimal qiymatga erishadi, ya'ni

$$\tau_{\alpha} = \tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \quad (3.7)$$

va normal kuchlanish  $\sigma_{\alpha}$  bosh normal kuchlanishlar yig'indisining yarmiga teng bo'ladi:  $\sigma_{\alpha} = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$ .  $\alpha = 0$  va  $\alpha = 90^\circ$  burchaklarda

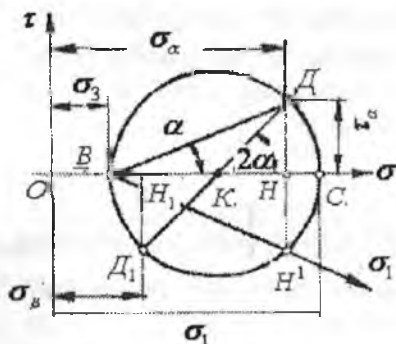
$\tau_{\alpha} = \tau_{\beta} = 0$  urinma kuchlanish nolga teng bo'lar ekan. Demak, bu yuzalar bosh yuzalar.

(3.3) va (3.5) tenglamalarning chap va o'ng tomonlarini qo'shib  $\sigma_{\alpha} + \sigma_{\beta} = \sigma_1 + \sigma_3 = \text{const}$ , va'ni o'zaro perpendikulyar bo'lgan qiya kesimlardagi normal kuchlanishlar yig'indisi bosh kuchlanishlar yig'indisiga teng ekanligini aniqlaymiz. (3.4) va (3.5) tenglamalarni o'zaro taqqoslasak,  $\tau_{\alpha} = -\tau_{\beta}$ , o'zaro perpendikulyar joylashgan qiya kesimlardagi urinma kuchlanishlar bir-biriga teng va ishorasi har xil bo'lishini ko'ramiz.  $\tau_{\alpha} = -\tau_{\beta}$  - urinma kuchlanishlarning juftlik alomati deyiladi.

### 3.3. Kuchlanishlarni grafik usulida topish

Berilgan bosh normal kuchlanishlar orqali tekis kuchlanganlik holatidagi kubikni qiya kesimidagi normal  $\sigma_\alpha$  va urinma  $\tau_\alpha$  kuchlanishlarni Mor doirasini (kuchlanishlar doirasi) qurish bilan grafik usulda topamiz.

Agar qiya kesimning holati va undagi  $\sigma_\alpha; \sigma_\beta; \tau_\alpha = -\tau_\beta$  kuchlanishlar berilgan (3.9-rasm) bo'lsa, kubika ta'sir qiladigan bosh kuchlanishlarni va ularning yo'nalishini topish mumkin. Bunday teskari masalani Mor doirasini ko'rish usuli bilan echiladi. Buning uchun  $\sigma \cdot \sigma \cdot \tau$  koordinata o'qlariga, ma'lum masshtabda  $\sigma_\alpha; \sigma_\beta$  va  $\tau_\alpha$  kuchlanishlar joylashtiriladi.  $D$  va  $D_1$  nuqtalarni birlashtirib kuchlanishlar doirasining markazi  $K$  nuqtani topamiz.



$DK$  va  $D_1K$  radiuslar bilan chizilgan doira  $\sigma$  o'qini  $C$  va  $B$  nuqtalarda kesib o'tadi. Kuchlanishlar masshtabida  $OC = \sigma_1$  va  $OB = \sigma_3$ . Mor doirasini qurishda quyidagi belgilashlardan foydalandik:

$$\sigma_\alpha = OH; \sigma_\beta = OH_1;$$

$$HD = \tau; H_1D_1 = \tau_\beta$$

3.9-rasmdagi chizmadan quyidagi masofalarni topamiz:

$$OC = OK + KC \text{ va } OB = OK - KB$$

3.9-rasm. Tekis kuchlanganlik holati uchun Mor doirasi.

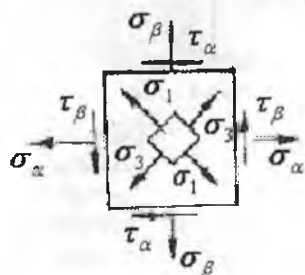
bu yerda  $OK = \frac{OH + OH_1}{2} = \frac{\sigma_\alpha + \sigma_\beta}{2}$  va

$$KC = KB = KD = \sqrt{(KH)^2 + (HD)^2} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_\alpha - \sigma_\beta}{2}\right)^2 + \tau_\alpha^2}$$

$$\left. \begin{aligned} OC = \sigma_1 \\ OB = \sigma_3 \end{aligned} \right\} = \frac{\sigma_\alpha + \sigma_\beta}{2} \pm \sqrt{\frac{(\sigma_\alpha - \sigma_\beta)^2}{4} + \tau_\alpha^2}$$

Demak, 
$$\sigma_{1,3} = \frac{1}{2} \left[ (\sigma_\alpha + \sigma_\beta) \pm \sqrt{(\sigma_\alpha - \sigma_\beta)^2 + 4\tau_\alpha^2} \right] \quad (3.8)$$

Bosh normal kuchlanish  $\sigma_1, \sigma_3$  larning yunalishlarini topish uchun Mor doirasidagi  $KNN^1$  burchagidan foydalanamiz:



$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{HH^1}{KH^1}; \quad \operatorname{tg} 2\alpha = -\frac{2\tau_\alpha}{\sigma_\alpha - \sigma_\beta} \quad (3.9)$$

yoki burchak  $BHH^1$  dan:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{HH^1}{BH} = -\frac{\tau_\alpha}{\sigma_\alpha - \sigma_3}$$

$\alpha$  burchak musbat bo'lsa, uni abtissa o'qidan soat strelkasining yo'nalishiga qarama-qarshi tomonga joylashtiriladi; manfiy

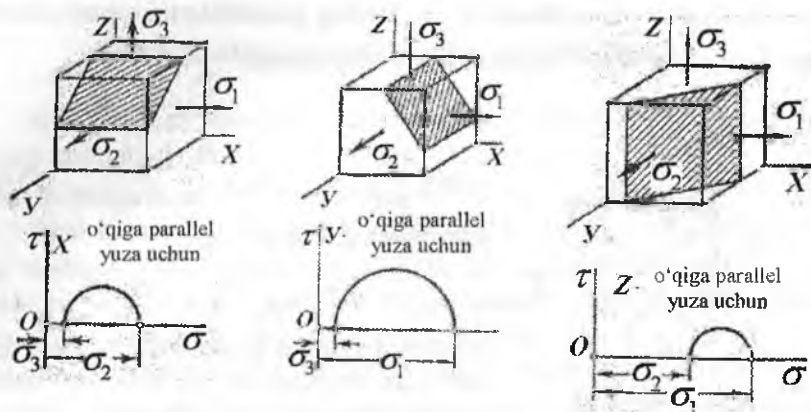
bo'lsa teskari yo'nalishda joylashtiriladi.  $\alpha$  burchakning qiymatiga bog'liq ravishda  $\sigma_1$  va  $\sigma_3$  bosh normal kuchlanishlar qo'yilishi kerak bo'lgan bosh yuzalarning holatlari, og'ish burchaklari topiladi.

### 3.4. Hajmiy kuchlanganlik holati

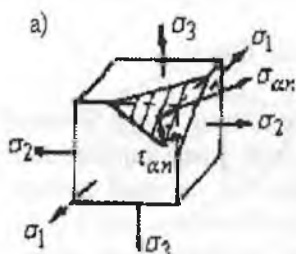
Hajmiy kuchlanganlik holatidagi elementning qiya kesimidagi kuchlanishni topish uchun, qiya yuzaning bosh kuchlanishlaridan bi-rortasining yo'nalishiga parallel qilib olinsa, bu yuzadagi normal va urinma kuchlanishlar qolgan ikkita bosh kuchlanishga bog'liq bo'lib qoladi. Masalan: qiya kesimni  $\sigma_1$  bosh normal kuchlanishiga parallel qilib olamiz. Demak, shtrixlangan qiya yuzadagi  $\sigma_{\alpha 1}$  va  $\tau_{\alpha 1}$ lar faqat  $\sigma_2$  va  $\sigma_3$  bosh normal kuchlanishlariga bog'liq ekan.  $\sigma_1$  bosh normal kuchlanishi ta'siridagi normal va urinma kuchlanishlar nolga teng bo'ladi. Demak, hajmiy kuchlanganlik holatida bo'lgan kubikdan ajratilgan qiya tekislik tekis kuchlanganlik holatida bo'lar ekan. Qiya kesimdagi normal kuchlanish  $\sigma_{\alpha 1}$  va urinma kuchlanish  $\tau_{\alpha 1}$  larni topish uchun Mor doirasidan foydalanamiz.

$\sigma\sigma\tau$  (3.10-rasm) koordinata sistemasida  $\sigma_2$  va  $\sigma_3$  bosh normal kuchlanishlarini joylashtiramiz va kuchlanishlar doirasini quramiz. Biz qidirayotgan  $\sigma_{\alpha 1}$  va  $\tau_{\alpha 1}$  kuchlanish doira ichida joylashadi. Urinma kuchlanishning maksimal qiymati kuchlanishlar doirasining radiusiga teng. Shu usulda kubikdan qiya kesimlarni navbati bilan  $\sigma_2$  va  $\sigma_3$  bosh normal kuchlanishlariga parallel qilib olamiz va normal va urinma kuchlanishlarini topamiz.





3.10-rasm. Hajmiy kuchlanganlik holatidagi kubiklardan ajratilgan qiya kesim yuzalar va ular uchun Mor doiralari.

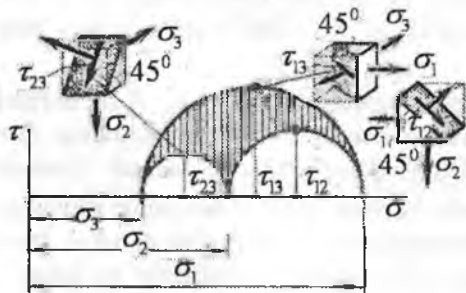


3.11-rasm. Hajmiy kuchlanganlik holati.

Qiya kesimning shunday holatini tanlash mumkinki, bunda qiya kesim hamma bosh normal kuchlanishlar yo'nalishlarini kesib o'tadi (3.11-rasm).  $\sigma_{\alpha}$  va  $\tau_{\alpha}$  kuchlanishlari Mor doirasi bilan chegaralangan egri chiziqli murakkab yuzada joylashadi (3.12-rasm) va quyidagi formula bilan topiladi:

$$\sigma_{\alpha} = \sigma_1 \cos^2 \alpha_1 + \sigma_2 \cos^2 \alpha_2 + \sigma_3 \cos^2 \alpha_3$$

$\alpha_1; \alpha_2; \alpha_3$  - bosh normal kuchlanishlarni qiya kesimning normali bilan hosil qilgan burchagi



3.12-rasm. Hajmiy kuchlanganlik holati uchun Mor doirasi.

$$\tau_{\alpha} = \sqrt{\sigma_1^2 \cos^2 \alpha_1 + \sigma_2^2 \cos^2 \alpha_2 + \sigma_3^2 \cos^2 \alpha_3 - \sigma_{\alpha}^2}$$

### 3.5. Hajmiy deformatsiya

Kubikning birorta bosh normal kuchlanishga parallel qirradi cho'ziladi. Shu bosh normal kuchlanish ta'sirida kubikning qolgan qirralari siqiladi. Natijada, bitta qirraning deformatsiyasi murakkab bo'lib, bir yo'nalishda cho'zilishdan va ikkita yo'nalishda siqilishdan iboratdir.

Hajmiy kuchlanganlik holatida elementning deformatsiyasi Gukning umumlashgan qonuni bo'yicha topiladi:

$$\begin{aligned}\varepsilon_1 &= \frac{1}{E} [\sigma_1 - \mu(\sigma_2 + \sigma_3)] \\ \varepsilon_2 &= \frac{1}{E} [\sigma_2 - \mu(\sigma_1 + \sigma_3)] \\ \varepsilon_3 &= \frac{1}{E} [\sigma_3 - \mu(\sigma_1 + \sigma_2)]\end{aligned}\quad (3.10)$$

(3.10) formuladan chiziqli va tekis kuchlanganlik holatlaridagi elementlarning deformatsiyasini topishda foydalanish mumkin. Boshlang'ich hajmi  $V_0 = a \cdot b \cdot c$  bo'lgan kubikning deformatsiyasidan keyingi hajmi:

$$V_1 = (a + \Delta a)(b + \Delta b)(c + \Delta c) = abc + a\Delta b c + b\Delta a c + a c \Delta b$$

formula bilan topiladi. Unda kubik hajmining nisbiy o'zgarishi

$$\varepsilon_0 = \frac{V_1 - V_0}{V_0} = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3$$

kubik tomonlarining nisbiy deformatsiyalarining yig'indisiga teng bo'ladi. Guk formulasini hisobga olsak,  $\varepsilon_0$

$$\text{quyidagicha topiladi: } \varepsilon_0 = \frac{1-2\mu}{E} (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) \quad (3.11)$$

Kubikning deformatsiyasida hajm yoki shakl o'zgarishi mumkin. (3.11) formuladan aniq-ki, bosh normal kuchlanishlar yig'indisi ( $\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = 0$ ) nolga teng bo'lsa, hajmiy nisbiy o'zgarishi ham nolga teng bo'ladi, ya'ni kubikda shakl o'zgarishi yuz beradi. Aynan shu holatni  $\mu=0,5$ -da ham ko'rish mumkin. (3.11) formuladan:

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_{yp} \quad \text{deb qabul qilsak; } \varepsilon_0 = \frac{1-2\mu}{E} \cdot 3\sigma_{yp}$$

hosil bo'ladi. Bu yerda  $\frac{E}{3(1-2\mu)} = K$  o'zgarimas sonning hajmiy elastiklik moduli deyiladi.

Unda  $\varepsilon_0 = \frac{\sigma_{yp}}{K}$  formula Gukning hajmiy qonuni bo'ladi. Guk hajmiy qonuniga asosan, agar kubikning tomonlariga qiymati o'rtacha bosh kuchlanishlarga teng kuchlanishlar bilan ta'sir qilinsa, kubikda hajmiy o'zgarish sodir bo'ladi.

### 3.6 Deformatsiyaning potensial energiyasi

Hajmiy kuchlanganlik holatida deformatsiyaning to'liq potensial energiyasi quyidagicha topiladi:  $U = \frac{1}{2}(\sigma_1\varepsilon_1 + \sigma_2\varepsilon_2 + \sigma_3\varepsilon_3)$  yoki

$$U = U_x + U_{uu} = \frac{1}{2E} \left[ \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2\mu \cdot (\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1) \right] \quad (3.12)$$

$U_x$  - kubik hajm o'zgarishidagi deformatsiyaning potensial energiyasi bo'lib, quyidagi formula bilan topiladi:  $U_x = \frac{3}{2} \sigma_{yp} \cdot \varepsilon_{yp}$ ; bu yerda

$\varepsilon_{yp} = \frac{\sigma_{yp}}{K}$  hajmiy elastiklik moduli  $K = \frac{E}{3(1-2\mu)}$  va  $\sigma_{yp} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}$

larni hisobga olsak, hajmiy o'zgarishdagi deformatsiyaning potensial energiyasi  $U_x = \frac{1-2\mu}{6E} (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)^2$ .

Shakl o'zgarishidagi deformatsiyaning potensial energiyasini topish uchun (2.12) formuladan  $U_x$ -ni topamiz.

$$\text{Unda: } U_{uu} = \frac{1+\mu}{3E} (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_1\sigma_3 - \sigma_2\sigma_3)$$

Ushbu formulalar chiziqli kuchlanganlik holati uchun quyidagicha yoziladi: hajmiy o'zgarishdagi deformatsiyaning potensial energiyasi

$$U_x = \frac{1-2\mu}{6E} \sigma_1^2$$

shakl o'zgarishidagi deformatsiyaning potensial energiyasi:

$$U_{uu} = \frac{1+\mu}{3E} \sigma_1^2$$

To'liq potensial energiya  $U = U_x + U_{uu} = \frac{1}{2E} \sigma_1^2$

**Misol-1.** Ko'ndalang kesim o'lchamlari 0,2x0,2x0,2 m bo'lgan kubikning yemirilish vaqtidagi, tashqi siquvchi kuchning ta'sir qilish

chizig'iga  $45^{\circ}$  burchak bilan qiya kesim yuzasidagi normal kuchlanish  $\sigma_{\alpha} = 40 \text{ mPa}$ . Kubik qancha siquvchi kuch ta'sirida yemiriladi.

**Yechish:** Kubik chiziqli kuchlanganlik holatida bo'lganligi uchun, uning qiya kesimidagi normal kuchlanish formulasi quyidagicha yozi-

$$\text{ladi. } \sigma_{\alpha} = \sigma \cos^2 \alpha = \frac{F}{A} \cos^2 \alpha = 40 \text{ mPa}$$

$$\text{Bu yerdan } F = \frac{40A}{\cos^2 \alpha} = \frac{40 \cdot 10^3 \cdot 0,2 \cdot 0,2}{(0,707)^2} = 3,2 \cdot 10^3 \text{ kN}$$

**Misol-2.** Po'latdan tayyorlangan kubik tekis kuchlanganlik holatida.

- 1) bosh kuchlanishlar va bosh yuzalar yo'nalishi;
- 2) eng katta urinma bosh kuchlanish;
- 3) nisbiy deformatsiya va hajmning nisbiy o'zgarishi;
- 4) to'liq potensial energiya topilsin.

Berilgan:  $\sigma_{\alpha} = 40 \text{ mPa}$ ;  $\sigma_{\beta} = 10 \text{ mPa}$ ;  $\tau_{\alpha} = 10 \text{ mPa}$

Bosh kuchlanishlarni (3.8) formuladan topamiz;

$$\sigma_{1,3} = \frac{1}{2} [(40 + 10) \pm \sqrt{(40 - 10)^2 + 4(10)^2}] = \frac{1}{2} (50 \pm 36,05)$$

Bu yerdan  $\sigma_1 = 43,025 \text{ mPa}$  va  $\sigma_3 = 6,975 \text{ mPa}$

Bosh yuzalarning joylashish burchagini (3.9) formuladan aniqlaymiz;

$$\text{tg} 2\alpha = \frac{2 \cdot 10}{40 - 10} = -0,667; \quad 2\alpha = -34^{\circ}; \quad \alpha = -17^{\circ}$$

$\alpha$  - burchak ishorasi (-) minus bo'lganligi uchun  $\sigma_1$  yo'nalishini  $\sigma_{\alpha}$  tekisligidan soat strelkasi yo'nalishi bo'yicha joylashtirdik. Eng katta urinma kuchlanish:

$$\tau_{\text{max}} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{43,025 - 6,975}{2} = 18,025 \text{ mPa}$$

Kubik tomonlarning nisbiy cho'zilishi:

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{2 \cdot 10^8} (43025 - 0,3 \cdot 6975) = 20,466 \cdot 10^{-5}$$

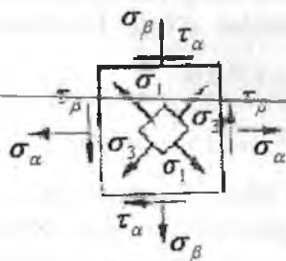
(cho'zilish),

$$\varepsilon_2 = -\frac{0,3}{2 \cdot 10^8} (43025 + 6975) = -7,5 \cdot 10^{-5}$$

(siqilish),

$$\varepsilon_3 = \frac{1}{2 \cdot 10^8} (6975 - 0,3 \cdot 43025) = -2,97 \cdot 10^{-5} \text{ (siqilish).}$$

Hajmning nisbiy o'zgarishi:  $\varepsilon_0 = (20,466 - 7,5 - 2,97) \cdot 10^{-5} = 10 \cdot 10^{-5}$

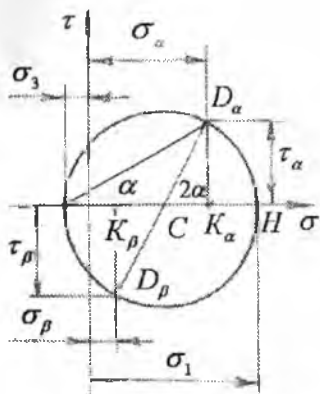


3.13-rasm

To'liq potensial energiyani (3.12) formuladan topamiz:

$$U = \frac{1}{2 \cdot 2 \cdot 10^8} [(43025)^2 + (6975)^2 - 2 \cdot 0,3 \cdot 43025 \cdot 6975] = 24,95 \cdot 10^{-5} Dj$$

**Misol-3.** Berilgan  $\sigma_1 = 50 mPa$  va  $\sigma_3 = -10 mPa$  bosh kuchlanishlari ta'siridagi  $\alpha = 30^\circ$  burchak ostida joylashgan qiya yuzaning normal va urinma kuchlanishlari grafik usulda topilsin.



3.14-rasm. Mor doirasi.

**Yechish:** Masalani grafik usulda yechish uchun Mor doirasini quramiz. Buning uchun  $\sigma\tau$  koordinata sistemasini olamiz va absissa o'qi bo'ylab bosh kuchlanishlar ( $\sigma_1$  va  $\sigma_3$ ) – ni kuchlanishlar masshtabida joylashtiramiz (3.14-rasm).

$\mu_\sigma = 1 mm = 1 mPa$ , ya'ni 1 mm masofada 1 mPa kuchlanish joylashgan deb qabul qildik.

$$\text{Demak, } \overline{OH} = \sigma_1 = 50 mPa,$$

$$\overline{OB} = \sigma_3 = 10 mPa$$

$\sigma_1$  bosh kuchlanishi cho'zuvchi bo'lganligi uchun abtsissa o'qi-

ning koordinata boshi  $O$  nuqtasidan (o'ng) musbat tomoniga;  $\sigma_3$  siquvchi kuchlanish bo'lganligi uchun koordinata o'qini manfiy tomoniga joylashtiramiz. Natijada  $H$  va  $B$  nuqtalar hosil bo'ladi. Qiya tekislikning normal va urinma kuchlanishlari  $H$  va  $B$  nuqtalari oralig'ida topilganligi uchun, kuchlanishlar doirasi ham shu nuqtalardan o'tadi. Doiraning markazi:

$$OC = \frac{OH + OB}{2} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{50 - 10}{2} = 20 mPa$$

$$\text{va radiusi } CH = CB = \frac{HB}{2} = \frac{OH - OB}{2} = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} = \frac{50 + 10}{2} = 30 mPa$$

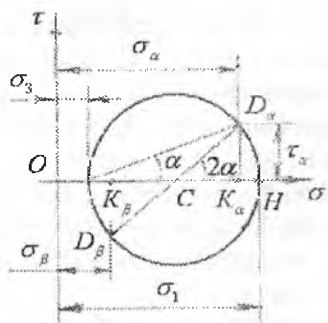
$C$  nuqtadan  $CH = CB = 30 mPa$  radius bilan aylana chizamiz.  $B$  nuqtadan  $\alpha = 30^\circ$  burchak ostida qiya kesimni tasvirlovchi chiziq o'tkazib,  $D_\alpha$  nuqtani topamiz.  $D_\alpha$  nuqtadan abtsissaga perpendikulyar tushirib  $K_\alpha$  nuqtani aniqlaymiz.  $\sigma\tau$  koordinata sistemasida  $OD_\alpha = \sigma_\alpha$  qiya tekislikni normal kuchlanishini va  $D_\alpha K_\alpha = \tau_\alpha$  urinma kuchlanishni beradi.  $CD_\alpha$  chizig'ini davom ettirib,  $D_\beta$  va keyin  $K_\beta$  nuqtalarni,

$OK_\beta = \sigma_\beta$  va  $D_\beta K_\beta = -\tau_\beta$  kuchlanishlarini topamiz. Mor doirasidan topilgan kuchlanishlarning to'g'riligini tekshiramiz:

$$\sigma_\alpha = \sigma_1 \cos^2 \alpha + \sigma_3 \sin^2 \alpha = 50 \left( \frac{\sqrt{3}}{2} \right)^2 - 10 \left( \frac{1}{2} \right)^2 = 35 \text{ mPa}$$

$$\tau_\alpha = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin 2\alpha = \frac{50 - (-10)}{2} = \sin 2 \cdot 30^\circ = 30 \frac{\sqrt{3}}{2} = 26 \text{ mPa}$$

$$\sigma_\beta = \sigma_1 \sin^2 \alpha + \sigma_3 \cos^2 \alpha = 50 \left( \frac{1}{2} \right)^2 - 10 \left( \frac{\sqrt{3}}{2} \right)^2 = 5 \text{ mPa}$$



3.21-rasm. Mor doirasi.

$\sigma_1$  va  $\sigma_3$  bosh normal kuchlanishlar cho'zuvchi bo'lsa, Mor doirasi  $\sigma$  o'qining musbat tomonida joylashadi. Haqiqatdan ham  $\sigma_\alpha = OK_\alpha$  ekanligini isbotlaymiz:

$$OK_\alpha = OB + BC + CK$$

$$\text{lekin } OB = \sigma_3; \quad CB = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

$$\text{va } CK_\alpha = CD_\alpha \cos 2\alpha$$

$$\text{(bu yerda } CB = CD_\alpha) \quad \text{Unda}$$

$$OK_\alpha = \sigma_3 + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \cos 2\alpha = \sigma_3 + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} (1 + \cos 2\alpha) =$$

$$= \sigma_3 + (\sigma_1 - \sigma_3) \frac{1}{2} \cdot 2 \cos^2 \alpha = \sigma_3 + \sigma_1 \cos^2 \alpha - \sigma_3 \cos^2 \alpha =$$

$$= \sigma_1 \cos^2 \alpha + \sigma_3 (1 - \cos^2 \alpha); \quad \sigma_\alpha = \sigma_1 \cos^2 \alpha + \sigma_3 \sin^2 \alpha$$

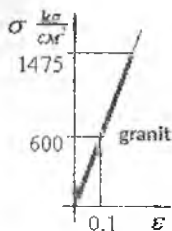
Mor doirasidagi uchburchak  $CD_\alpha K_\alpha$  dan

$$\frac{D_\alpha K_\alpha}{CD_\alpha} = \sin 2\alpha \quad \text{yoki} \quad D_\alpha K_\alpha = \tau_\alpha = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin 2\alpha$$

### 3.7. Mustahkamlik nazariyalari

**Umumiy tushunchalar.** Mashina, mexanizm va muxandislik inshootlarini loyihalashda, ularning mustahkamligini ta'minlash lozim. Buning uchun konstruktsiyaning materialida xavfli holatni keltirib chiqaruvchi sababni aniqlash talab qilinadi. Yuklanish shartlariga ko'ra

konstruksiyaning materiali turli mexanik xossalarda bo'lishi mumkin. Masalan, kichik yuklanishda elastik deformatsiya hosil bo'ladi, material elastik xossa holatiga uchraydi. Yuklanish oshirilsa konstruksiyada qoldiq deformatsiya hosil bo'lishi boshlanadi, material elastik xossa holatida bo'ladi. Yuklanishni keyingi o'sishida plastik deformatsiya xavfli holatni yuzaga keltiradi va emirilish boshlanadi. Oddiy cho'zilish va siqilishda, ya'ni chiziqli kuchlanishda materialni yemirilishi quyidagi ko'rinishlarda bo'ladi.



Mo'rt yemirilish

1) yemirilish plastik deformatsiya hosil bo'lmaganidan boshlanadi. Cho'zilishda yemirilish cho'zuvchi kuch yo'nalishiga perpendikulyar tekislikda, siqilishda esa siquvchi kuch yo'nalishiga parallel yuzada zarrachalarni ajralish (yorilish) usuli bilan boshlanadi. Ikkala holda ham emirilish normal kuchlanish va eng katta uzayish hisobiga sodir bo'ladi. Mo'rt materiallar siqilishda siquvchi kuch yo'nalishiga qiya tekislikda normal va urinma kuchlanishlar ta'sirida yemiriladi.

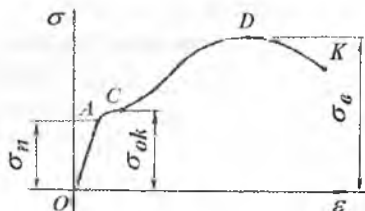
2) elastik deformatsiyadan keyin plastik deformatsiyani rivojlanishi asosida yemirilish.

Materialni xavfli holati oquvchanlik boshlanishi, uzilish bo'yin hosil bo'lishi va namunani uzilishi bilan belgilanadi. Oquvchanlik chegarada namunaning sirtida cho'zuvchi kuch yo'nalishiga  $45^\circ$  burchak ostida joylashgan siljituvchi chiziqlar hosil bo'lishi, plastik deformatsiya va yemirilish

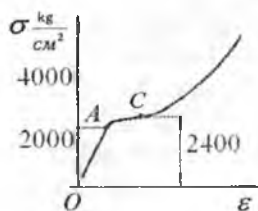
urinma kuchlanish ta'sirida kelib chiqadi va siljish asosidagi yemirilish deyiladi.

3) plastik deformatsiyani uzluksiz o'sishi emirilishga olib keladi.

Materialni xavfli holati oquvchanlik boshlanishi asosida kelib chiqadi. Qoldiq deformatsiya  $\tau$  kuchlanish ta'sirida hosil bo'ladi.



Plastik yemirilish



Plastik yemirilish

Yuqoridagilar asosida materialni yemirilishi zarrachalarni ajralishga qarshiligi va siljishga qarshiligi asosida kelib chiqadi. Plastik materiallarda  $\tau$  ta'siridagi yemirilishga qarshilik,  $\sigma$  ta'siridagi yemirilishga qarshiligidan kichik bo'ladi, ya'ni  $\sigma_0 > \tau_0$  va mo'rt materiallarda  $\tau_0 > \sigma_0$ . Bunday yemirilish turlarini murakkab kuchlanganlik holatida aniqlash qiyin, chunki kubik har xil xossaga ega bo'lishi mumkin.

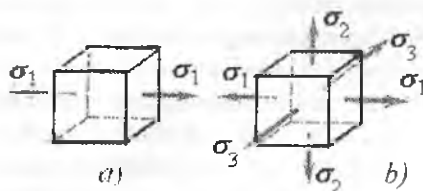
Turli konstruksiya va mashinalarni hisoblashda yoki loyihalashda, ularning elementlari va detallarida hosil bo'ladigan eng katta kuchlanish ruxsat etilgan kuchlanishdan oshib ketmasligi ta'minlanishi lozim. Ruxsat etilgan kuchlanishni belgilash uchun materialning tashqi kuch bilan yuklangandan to yemirilish deformatsiyasiga bo'lgan oraliqdagi xossasini o'rganish kerak. Bir o'qli cho'zilish va siqilish, ya'ni chiziqli kuchlanish holatida o'tkazilgan ko'p tajribalarning uzoq muddat to'plangan natijalari turli materiallar uchun ruxsat etilgan kuchlanishlar haqida yetarli darajada aniqlik bilan fikr yuritish imkonini beradi.

Tekis va hajmiy kuchlanish holatlarida bunday fikr yuritib bo'lmaydi. Bunda deformatsiyaning o'sishi va materialning emirilishi ikkita yoki uchta bosh kuchlanishlarning ta'siridan ro'y beradi, amalda uchraydigan bosh kuchlanishlar sonining nisbati hamda ishoralari cheklanmagan darajada xilma-xil bo'lishi mumkin, har qanday kuchlanganlik holatida materialni mustahkamlik shartini keltirib chiqarish uchun, ushbu kuchlanganlik holatlarida sinov diagrammalarini qurish kerak. Shuning uchun xavfli holatdagi-chegaraviy kuchlanishlarni aniqlash uchun o'tkaziladigan tajribalarni o'tkazish juda qiyini bo'lib, amalda mumkin ham emas. Murakkab kuchlanish holatini tajriba yo'li bilan tekshirish uchun mo'ljallangan hozirgi mavjud texnika vositalari bosh kuchlanishlarning ba'zi xususiy nisbatlari uchungina tajriba o'tkazish imkonini beradi. Yuqoridagilarga asosan oddiy cho'zilish va siqilishda o'tkazilgan tajribalar natijalariga asoslanib, biror material istalgan kuchlanish holatining xavflilik darajasini baholash imkonini beradigan hisoblash usulini yaratish zarurligini taqozo qiladi.

Bu masala – mustahkamlik nazariyalari yordamida amalga oshiriladi.



Murakkab kuchlanganlik holatida materialni mustahkamligini xarakterlovchi faktorlarni ifodalovchi gipotezalar mustahkamlik nazariyalari deyiladi. Bu nazariyalarning barchasi quyidagi shartga asoslangan: ikkita kuchlanish holatiga tegishli bosh kuchlanishlar proporsional ravishda bir xil miqdorda oshirilgan ikkalasi bir vaqtda chegaraviy holatga o'tsa, bunday kuchlanish holatlari teng kuchlanishli va teng xavfli hisoblanadi, ikkala kuchlanish holati uchun mustahkamlikning ehtiyot koeffitsiyenti bir xil. Teng xavli kuchlanish holatlaridan biri sifatida tajriba yo'li bilan asoslangan chiziqli cho'zilish (3.22-rasm, a) boshqasi sifatida xavfli holatni aniqlash kerak bo'lgan kuchlanish holati (3.22-rasm, b) olinadi. Bu ikkala o'rganilayotgan hol uchun materialning yemirilish yoki chegaraviy kuchlanish holatiga o'tish sababi aniq bo'lsa, mumkin bo'ladi. Lekin material emirilishining haqiqiy sababini aniqlash juda qiyin va u oxirigacha hal qilinmagan masala hisoblandi. Bu hol yagona mustahkamlik nazariyasini yaratishni imkon bermaydi, natijada har biri o'zining chegaraviy kuchlanish holatining paydo bo'lish sababi haqidagi gipotezasiga ega bo'lgan ko'p nazariyalar yuzaga keladi. Bunday gipotezaga asosan zarur hisoblash shartlari va o'rganilayotgan kuchlanish holatining bosh kuchlanishlarini chiziqli kuchlanishdagi bosh kuchlanishlar bilan bog'lovchi formulalar tuziladi.



3.22-rasm. Ekvivalent kubiklar:  
 a) chiziqli kuchlanganlik holati;  
 b) hajmiy kuchlanganlik holati

**Birinchi, ikkinchi va uchinchi klassik**[21] **mustahkamlik nazariyalari.** Eng qadimgi nazariyalarda bo'lmish birinchi mustahkamlik nazariyasi chegaraviy kuchlanish holati paydo bo'lishiga eng katta normal kuchlanish sabab bo'ladi degan gipotezaga asoslanadi. Qabul qilingan gipotezaga ko'ra quyidagi shart bajarilishi kerak:

$$\sigma_{\max} = \sigma_1 < \sigma_0 \quad (3.13).$$

bu yerda  $\sigma_1$  – tekshirilayotgan kuchlanish holati uchun bosh kuchlanishlardan eng kattasi;

$\sigma_0$  – chiziqli cho‘zish uchun tajribadan olingan chegaraviy kuchlanish.

Eng katta normal kuchlanish nazariyasining bosh kamchiligi shundan iboratki, unda boshqa ikkita kuchlanishlar  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$  hisobga olinmaydi. Amalda esa bu kuchlanishlar material mustahkamligiga katta ta‘sir ko‘rsatadi. Masalan, har tomonlama (gidrostatik) siqilishda bo‘lgan sement kubik mustahkamlik chegarasidan bir necha marta katta bo‘lgan kuchlanishga yemirilmasdan chidash bera oladi. Bunday sharoitda boshqa materiallar ham shunday tutadi. Bu nazariya mo‘rt materiallarni cho‘zishga sinashda tasdiqlanadi. Mo‘rt materialni cho‘zganda sezilarli plastik deformatsiya hosil bo‘lmasdan bir bo‘lagi qolgan bo‘ladigan ajraladi. Hozirgi paytda birinchi nazariyadan foydalanilmaydi, u faqat tarixiy ahamiyatga ega.

Ikkinchi mustahkamlik nazariyasi materialda chegaraviy kuchlanish holati paydo bo‘lishga eng katta cho‘zilish sabab bo‘ladi degan gipotezaga asoslangan. Bosh deformatsiyalar  $\varepsilon_1 > \varepsilon_2 > \varepsilon_3$  bo‘lganida hajmiy kuchlanish holati uchun qabul qilingan gipotezaga javob beruvchi umumiy shart quyidagicha yoziladi:

$$\varepsilon_{\max} = \varepsilon_1 < \varepsilon_0 \quad (3.14)$$

bu yerda  $\varepsilon_1$  – tekshirilayotgan kuchlanish holati uchun eng katta cho‘zilishning hisobiy qiymati;

$\varepsilon_0$  – bir o‘qli cho‘zilishga sinash tajribasidan olingan nisbiy cho‘zilishning chegaraviy qiymati.

$\varepsilon_1$  – va  $\varepsilon_0$  – larni aniqlashda ma‘lum Guk qonuni formulalaridan foydalaniladi:  $\varepsilon_1 = \frac{1}{E} [\sigma_1 - \mu(\sigma_2 + \sigma_3)]$  (a)  $\varepsilon_0 = \frac{\sigma_0}{E}$  (b)

Bunda shartli ravishda (a) va (b) bog‘lanishlar chegaraviy kuchlanish holati paydo bo‘lguncha kuchga ega bo‘ladi va materialning sezilarli plastik deformatsiyalarsiz mo‘rt yemirilishga javob beradi deb hisoblanadi, (a) va (b) ifodalarni (3.14) shartga qo‘yib ifodani hosil qilamiz:

$$\sigma_1 - \mu(\sigma_2 + \sigma_3) < \sigma_0 \quad (v)$$

(v) tengsizlik chap qismi musbat bo‘lgandagina kuchga ega, bunda u eng katta cho‘zilishga mos keladi. Qabul qilingan gipoteza bilan bir xil.

Ikkinchi nazariyaning birinchisidan afzalligi shundaki, unda barcha bosh kuchlanishlar ta'siri hisobga olinadi.

Mo'rt materiallar (beton, tosh) ning bosim beriladigan toretslariga yog' yoki parafin surtib, oddiy siqilishda yemirilishini bu nazariya yordamida tushuntirish mumkin. Materialda siquvchi kuchlarga parallel darzlar paydo bo'ladi va u yemiriladi. Bu namuna o'qiga perpendikulyar yo'nalishda materialning kengayishiga imkon beruvchi chiziqli deformatsiyalarning o'sishi bilan tushuntiriladi.

Birinchi nazariya kabi ikkinchisi ham tajriba natijalari bilan yetarli darajada tasdiqlanmaydi, mo'rt materiallar uchun ko'proq qo'l keladi.

Uchinchi mustahkamlik nazariyasi chegaraviy kuchlanish holati paydo bo'lishiga eng katta urinma kuchlanishlar sabab bo'ladi degan gipotezaga asoslanadi. Shuning uchun u eng katta urinma kuchlanish nazariyasi deb ataladi.

Plastik deformatsiyalar jarayonida siljish va unga mos keluvchi urinma kuchlanishlar ham paydo bo'lishi tajriba asosida tasdiqlangan, shuning uchun qabul qilingan gipotezani sezilarli plastik deformatsiyalar bilan bog'lanish mumkin. Ushbu nazariyaning umumiy sharti quyidagi ko'rinishga ega:

$$\tau_{\max} < \tau_0 \quad (3.15)$$

bu yerda  $\tau_{\max}$  -tekshirilayotgan kuchlanish holati uchun eng katta urinma kuchlanishning chegaraviy qiymati.

Ma'lumki, hajmiy kuchlanishda  $\varepsilon_1 > \varepsilon_2 > \varepsilon_3$  bo'lganda eng katta urinma kuchlanish maksimal va minimal bosh kuchlanishlar farqning yarmisi quyidagicha topiladi:

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \quad (a)$$

$$\tau_0 - \text{kuchlanish quyidagi tenglikdan topiladi: } \tau_0 = \frac{\sigma_0}{2} \quad (b)$$

Shunday qilib, (3.15) shartni quyidagicha yozish mumkin:

$$\varepsilon_1 - \varepsilon_3 < \varepsilon_0 \quad (v)$$

Uchinchi nazariyaning asosiy kamchiligi shundan iboratki, hajmiy kuchlanish holatida  $\sigma_2$  bosh kuchlanishning ta'siri hisobga olinmaydi. Eng katta urinma kuchlanish nazariyasi cho'zilishga ham, siqilishga ham bir xil qarshilik ko'rsatadigan plastik materiallar bilan o'tkazilgan tajriba natijalariga mos keladi. Bu nazariya ularning mustahkamligini baholashda juda keng qo'llaniladi.

**Mustahkamlikning energetik nazariyasi.** Energetik nazariya quyidagi taxminga asoslanadi: materialning chegaraviy kuchlanish holati paydo bo'ladigan paytda to'planadigan deformatsiya solishtirma po-

tensial energiyasining miqdori istalgan murakkab kuchlanish holatida ham, oddiy cho'zilishda ham bir xildir.

Bu nazariya yaratilishida dastavval chegaraviy kuchlanish holati paydo bo'lishiga to'la solishtirma potensial energiyasining eng katta qiymati sabab bo'ladi degan gipoteza asos qilib olingan :

$$U < U_0 \quad (3.16)$$

Bu yerda  $U$  - to'la solishtirma energiya,  $u$  hajmiy kuchlanish holati uchun umumiy holda quyidagi formuladan topiladi:

$$U = \frac{1}{2E} \left[ \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2\mu(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_1\sigma_3 + \sigma_2\sigma_3) \right] \quad (a)$$

$U_0$  - energiyaning chegaraviy qiymati bo'lib, oddiy cho'zilishga o'tkazilgan tajribadan topiladi. Uni topish formulasi (a) dan uning o'ng tomonini  $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$  ga tenglab,  $\sigma_1$  o'rniga cho'zilishdagi chegaraviy kuchlanish qiymatini, ya'ni  $\sigma_0$  ni qo'yib osongina keltirib chiqariladi.

$$\text{Shunday qilib,} \quad U_0 = \frac{\sigma_0^2}{2E} \quad (b)$$

(a) va (b) larni hisobga olganda (2.16) shart yoyiq holda quyidagicha yoziladi:

$$\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2\mu(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_1\sigma_3 + \sigma_2\sigma_3)} < \sigma_0 \quad (v)$$

Lekin yuqorida qayd qilingan gipoteza tajribada tasdiqlanmagan, shuning uchun unga asoslangan nazariya amalda qo'llaniladi.

Bu nazariya masalan, har tomonlama bo'ladigan gidrostatik bosim bilan o'tkazilgan tajribada tasdiqlanmagan, bunda yuqorida aytib o'tilganidek, yemirilish bo'lmaydi. Shunday qilib, har tomonlama siqilish natijasida hajm o'zgarishiga mos keluvchi energiya mustahkamlikni belgilovchi kriteriy bo'lmaydi.

Taklif qilingan yangi energetik nazariyada chegaraviy kuchlanish holati paydo bo'lishiga barcha solishtirma energiya emas, balki qirradi birga teng bo'lgan kub shaklining o'zgarishi natijasida to'planadigan solishtirma energiyaning bir qismi sabab bo'ladi degan gipoteza asos qilib olinadi. Ko'rinib turibdiki, yangi energetik nazariya faqat plastik deformatsiyalarning o'sishi bilan bog'lanadi. Ma'lumki, plastik deformatsiya jismining shakl o'zgarishi bilan bog'lanadi. Uning hajm o'zgarishiga bog'lanmaydi. Ushbu nazariyadan foydalangan rioya qilinishi

\* kerak bo'lgan shart quyidagi tengsizlik bilan ifodalanadi:

$$U_{sh} < U_{chreg} \quad (3.17)$$

bu yerda  $U_{sh}$  - tekshirilayotgan kuchlanish holatida kub shakl o'zgarishi bilan bog'liq bo'lgan energiyaning hisob qiymati:

$U_{chreg}$  - ushbu energiyaning oddiy cho'zilishga o'tkazilgan tajriba natijasida olingan chegaraviy qiymati.

Kuchlanishning umumiy holi uchun shakl o'zgarishiga ketadigan energiyani hisoblash birmuncha qiyinchilik tug'diradi. Shuning uchun  $U_{sh}$  - quyidagi ifodadan topiladi:  $U = U_v + U_{sh}$  (3.18)

$$\text{undan } U_{sh} = U - U_v \quad (3.19)$$

bu yerda  $U$  - to'la energiya;  $U_v$  - hajm o'zgarishiga sarflanadigan energiya.

Hajmiy kuchlanishning umumiy holi uchun deformatsiyani ikkiga bo'lamiz; 1) hajm o'zgarishi bilan bog'liq bo'lgan deformatsiya va 2) shakl o'zgarishiga mos keluvchi deformatsiya.

Buning uchun berilgan kuchlanish holatini (3.23-rasm) kuchlanishlar bilan aniqlanadigan ikkita kuchlanish holati yig'indisi ko'rinishda tasavvur etamiz. Deylik, ulardan biri gidrostatik cho'zilishga (siqilishga) mos keladi, bunda kubning barcha tomonlariga bir xil

o'rtacha kuchlanish ta'sir etadi:  $\sigma_{yp} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}$  (g)



3.23-rasm. Bosh normal va o'rtacha kuchlanishlar bilan yuklangan kubiklar.

Natijada kubning barcha qirralari bir xil qiymatga o'zgarganligidan kub shakl o'zgarmaydi, balki uning hajmigina o'zgaradi. Ikkinchi kuchlanish holatining kuchlanishlarini  $\sigma'_1, \sigma'_2, \sigma'_3$  lar orqali belgilaymiz. Ular quyidagi tengliklardan topiladi:

$$\sigma'_1 = \sigma_1 - \sigma_{ur}; \quad \sigma'_2 = \sigma_2 - \sigma_{ur}; \quad \sigma'_3 = \sigma_3 - \sigma_{ur}; \quad (d)$$

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  kuchlanishlarda hajmning o'zgarishi nolga tengligini isbotlash qiyin emas.

Haqiqtdan ham (g) ni hisobga olgan holda (d) tenglikdan bu kuchlanishlarning qiymatlarini hajmiy deformatsiya formulasiga qo'yib quyidagini hosil qilamiz:

$$0 = \frac{1-2\mu}{E}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) = \frac{1-2\mu}{E} \left( \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 - 3 \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} \right) = 0 \quad (e)$$

Shuning uchun  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  kuchlanishlardan jismning faqat shakli o'zgaradi.

$U_v$  –energiyani aniqlash uchun (a) formulaga  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ ,  $U_v$  –kuchlanishlar o'rniga  $\sigma_{yp}$  ni qo'yamiz.

Unda 
$$U_v = \frac{1-2\mu}{2E} \cdot 3\sigma_{ur}^2 \quad (j) \quad \text{hosil bo'ladi.}$$

(j) ifodaga  $\sigma_{yp}$  o'rniga (g) tenglikdan uning qiymatini qo'yib quyidagi formulani hosil qilamiz: 
$$U_v = \frac{1-2\mu}{6E} (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)^2 \quad (z)$$

(a) va (z) formulalardan  $U$  va  $U_v$  –larning qiymatlarini (3.19)ga qo'yib, ba'zi o'zgartirishlardan so'ng quyidagini topamiz:

$$U_{ur} = \frac{1+\mu}{3E} \left[ \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - (\sigma_1\sigma_2 + \sigma_1\sigma_3 + \sigma_2\sigma_3) \right] \quad (3.20)$$

(3.20) formulani osongina quyidagini ko'rinishga keltiramiz:

$$U_{ur} = \frac{1+\mu}{6E} \left[ (\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 \right] \quad (3.21)$$

Oddiy cho'zilish holi uchun  $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$  bo'lganda (3.21) formulaga binoan quyidagiga ega bo'lamiz: 
$$U_{ur} + \frac{1+\mu}{6E} \cdot 2\sigma_1^2 \quad (3.22)$$

(3.21) va (3.22) formulalarni hisobga olganda (3.17) shart quyidagicha yoziladi: 
$$\left[ (\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 < 2\sigma_0^2 \right] \quad (i)$$

bu yerda  $\sigma_0$  –oddiy cho'zilishda tajribada topilgan chegaraviy kuchlanish.

Ushbu nazariyada  $\sigma_0$  –oquvchanlik chegarasi  $\sigma_{ok}$  ga teng deb qabul qilinadi.

(i) shartga javob beradigan hisoblash formulasi quyidagicha

yoziladi: 
$$\sigma_{xuc} = \sqrt{\frac{1}{2} \left[ (\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 \right]} \leq R \quad (3.23)$$

bu yerda  $R$  – cho'zilishdagi hisobiy qarshilik .

Tekis kuchlanish holatida (3.23) formulasidan bosh kuchlanishlarni  $\sigma_z, \sigma_y$  va  $\tau_{zy}$  lar orqali ifodalab quyidagini olamiz:

$$\sigma_{his} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_z + \sigma_y}{2}\right)^2 + 3\left(\frac{\sigma_z - \sigma_y}{2}\right)^2 + 3\tau_{zy}^2} \leq R \quad (3.24)$$

$\sigma_y = 0$  bo'lgan xususiy hol uchun  $\sigma_z = \sigma$ ;  $\tau_{zy} = \tau$  desak, quyidagiga ega bo'lamiz:  $\sigma_{his} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq R \quad (3.25)$ .

Uchinchi nazariya kabi energetik nazariya ham plastik materiallar bilan o'tkazilgan tajribalarda yaxshi isbotlanadi va amalda keng qo'llaniladi. Yuqorida qayd qilingan nazariyalar materialda plastik deformatsiyalar paydo bo'lish sharoitini belgilovchi kriteriyalarni belgilab beradi. Shuning uchun bu nazariyalarga asoslangan (3.15) va (3.17) tengsizliklar ba'zan plastiklik shartlari deb ataladi.

**Mor mustahkamlik nazariyasi.** Barcha materiallar ham cho'zilish va siqilish deformatsiyasiga bir xil qarshilik ko'rsatmasligini Mor nazariyasi hisobga oladi. Bu nazariya 1882-yilda taklif etilib 1900-yilda rivojlantirilgan.

Ichki ishqalanish  $T = fN$  materialning elastiklik chegarasidan keyin siljish natijasida sodir bo'ladi. Demak, siljishga ko'rsatilgan qarshilik faqatgina urunma kuchlanish kabi normal kuchlanishga ham bog'liq bo'ladi.

Demak, urunma kuchlanishdan hosil bo'lgan qarshilik kuchi jismning siquvchi normal kuchlanish mavjud bo'lgan nuqtalarida kattaroq, bo'lib cho'zilish mavjud bo'lgan nuqtalarida past bo'ldi. Yuqoridagi fikrlash mor nazariyasining asosini tashkil etadi. Urinma kuchlanishlar birinchidan, materialning o'zaro bog'lanishi natijasida, ikkinchidan esa, birinchi siljish bog'lanishdagi yemirilish sababidan bog'liqdir.

Mor mustahkamlik nazariyasiga ko'ra shart quyidagicha bo'ladi.

$$\sigma_1 - \nu\sigma_3 = (1-\nu)\frac{\sigma}{2} - (1+\nu)\sqrt{\frac{\sigma^2}{4} + \tau^2} < \sigma_0^I \quad \nu = \frac{\sigma_0^I}{\sigma_0^{II}} \quad (3.21)$$

bunda  $\sigma_0^I$  - cho'zilishdagi mustahkamlik chegarasi;  
 $\sigma_0^{II}$  - siqilishdagi mustahkamlik chegarasi.

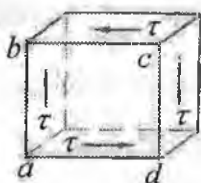
## Savollar

1. Kuchlanganlik holatlarining turlarini ayting.
2. Chiziqli kuchlanganlik holatida normal kuchlanish formulasini yozing.
3. Chiziqli kuchlanganlik holatida urinma kuchlanish formulasini yozing.
4. Urinma kuchlanishlarni juftlik alomati nima?
5. Tekis kuchlanganlik holatida normal kuchlanish formulasini yozing.
6. Tekis kuchlanganlik holatida urinma kuchlanish formulasini yozing.
7. Hajmiy kuchlanganlik holatida Guk qonunini yozing.
8. Qachon kubikni hajm o'zgarishi sodir bo'ladi?



## IV BOB. SILJISH

Amaliyotda boltli, parchin mixli, payvandli birikmalar va h.k siljish deformatsiyasiga uchraydi. Oddiy cho'zilish yoki siqilishda bo'lgan sterjenning qiya tekisligida normal va urinma kuchlanishlar hosil bo'lib, bu kuchlanishlar ta'sirida sterjenda uzayish yoki siljish sodir bo'lishini ko'rib chiqqan edik.



4.1-rasm. Sof siljishdagi kubik.

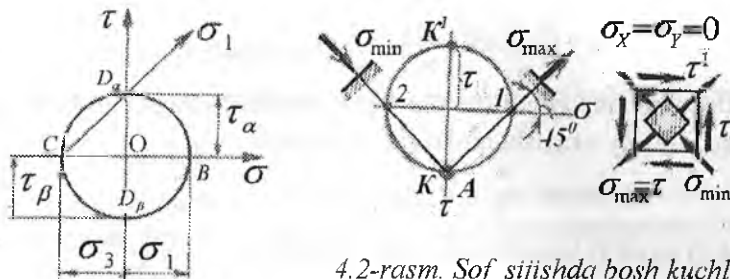
Siljish deformatsiyasini o'rganish uchun, shunday yuzalarni tanlash kerakki, bu yuzalarda normal kuchlanishlar nolga teng bo'lib faqat urinma kuchlanishlar ta'sir qilsin. Faqat urinma kuchlanishlar ta'sirida bo'lgan elementning kuchlanganlik holatiga – sof siljish deyiladi.

Sof siljishga ishlayotgan kubikni qirralari urinma kuchlanishlar ta'sirida shu kuchlanishlar yo'nalishi bo'yicha deformatsiyaga uchraydi.

### 4.1. Sof siljishda kuchlanish va deformatsiya

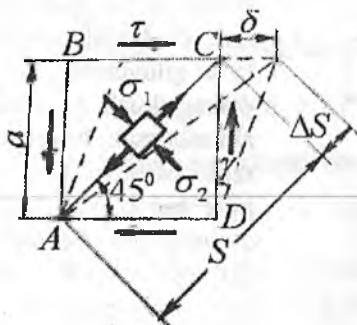
O'zaro perpendikulyar  $ab$  va  $bc$  qirralarga teng va qarama qarshi tomonlarga yo'nalgan urinma kuchlanishlar ta'siridagi kubikni o'rganaylik (4.1-rasm). Kubikning  $abcd$  fasad yuzasida normal va urinma kuchlanishlar ta'sir qilmasin. Unda  $abcd$  yuza bosh yuza bo'lib, bu yuzadagi bosh normal kuchlanish nolga teng. Demak, kubikning uchta o'zaro perpendikulyar yuzalaridan ikkitasi kuchlanishlar ta'sirida, bitta fasad yuzasi esa har qanday kuchlanishlar ta'siridan ozod ekan. Shuning uchun kubikning kuchlanganlik holati tekis kuchlanganlik holatiga to'g'ri keladi.

Kubikning vertikal qirrasiga  $\sigma_a = 0$ ;  $\tau_a = \tau$ ; gorizontal qirrasiga  $\sigma_b = 0$  va  $\sigma_b = -\tau$  ta'sir qilayotgan kuchlanishni yordamida Mor doirasidan foydalanib  $abcd$  bosh yuzadan boshqa yuzadagi bosh kuchlanishlarni topamiz.  $\sigma\tau$  koordinata sistemasida (4.2-rasm)  $OD_\alpha = \tau_\alpha = \tau$  kuchlanishni  $\tau$  o'qi bo'ylab yuqoriga va  $OD_\beta = \tau_\beta = -\tau$  pastga joylashtiramiz.  $D_\alpha$  va  $D_\beta$  nuqtalar koordinata markazi  $O$  nuqtadan bir xil masofada joylashganligi uchun,



4.2-rasm. Sof siljishda bosh kuchlanishlarni aniqlash uchun Mor doirasi.

Mor doirasini radiusi  $OD_\alpha = \tau$  ga teng bo'ladi. Mor doirasi abtssisa o'qini  $OB = \tau$  va  $OC = -\tau$  masofalarda kesib o'tadi. Shuning uchun  $OB = \tau = \sigma_1$  va  $OC = -\tau = \sigma_3$ ;  $\sigma_2 = 0$ . Bosh normal kuchlanish  $\sigma_1$ -ning yo'nalishi doirada  $CD_\alpha$  chiziq bilan ko'rsatilgan va  $bc$  yuzaning normali bilan  $45^\circ$  burchak ostida joylashgan. Kubikdan ajratilgan element  $\sigma_1$  ta'sirida  $bd$  diagonal bo'ylab cho'ziladi;  $\sigma_3$  ta'sirida esa  $ac$  diagonal bo'ylab siqiladi. Demak, sof siljish o'zaro teng cho'zuvchi va siquvchi bosh normal kuchlanishlarga ekvivalent ekan. Shuning uchun siljish deformatsiyasida material cho'zilish va siqilishga ham uchraydi.



4.3-rasm. Siljish va bosh kuchlanishlar.

$abcd$  qirrali kubikning urinma kuchlanish ta'sirida  $bc$  qirra  $\delta$  masofaga siljiydi.  $\delta$  - absolyut siljish.  $abcd$  element qiyshiq bo'ladi  $ab$  va  $cd$  qirralar  $\gamma$  burchakka og'adi.  $\gamma$  - burchak nisbiy siljish.

Elementning deformatsiyasi elastik bo'lganligi uchun,  $\gamma$  burchak kichik miqdor (4.3-rasm).

$$\text{Sxemadan: } \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2} = \frac{\delta}{l} \quad (4.1)$$

va  $ac$  diagonalning absolyut uzayishi:  $C_1C_2 = \Delta l = \delta \cdot \cos 45^\circ$  va nisbiy uzayishi:  $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \sin 45^\circ$ ; unda:

$$\varepsilon = \frac{\delta}{a} \cos 45^\circ \cdot \sin 45^\circ \text{ yoki } \varepsilon = \frac{\gamma}{2} \quad (4.2)$$

Diagonalning bosh normal kuchlanishlar  $\sigma_1 = \tau$  va  $\sigma_3 = -\tau$  taʼsiridagi nisbiy uzayishi quyidagicha topiladi:

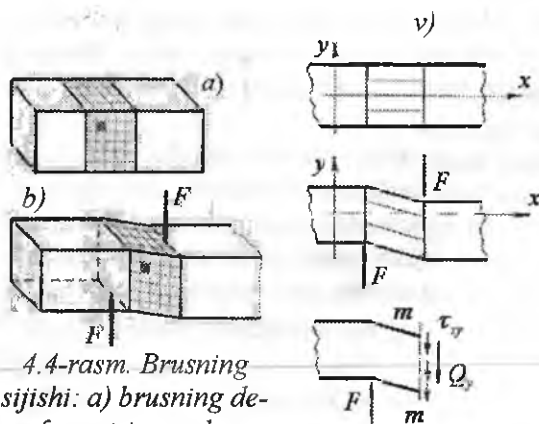
$$\varepsilon = \varepsilon_1 = \frac{\sigma_1}{E} - \mu \frac{\sigma_3}{E} = \frac{\tau}{E} (1 + \mu) \quad (4.3)$$

(4.2) va (4.3) tengliklarni oʻzaro solishtirib:  $\tau = \frac{E}{2(1 + \mu)} \cdot \gamma$

formulani hosil qilamiz. Bu yerda  $G = \frac{E}{2(1 + \mu)}$  (4.4)

siljish moduli deb qabul qilinsa,  $\tau = \gamma G$  (4.5)  
siljishda Guk qonuni hosil boʻladi.

Shunday qilib nisbiy uzayish va urinma kuchlanish siljishda oʻzaro proporsional bogʻlanishda boʻladi. Koʻndalang kesim yuzasi  $A$  boʻlgan brus  $F$  siljituvchi kuch taʼsirida boʻlsin (4.4-rasm, v). Brusning siljishi chizmada koʻrsatilgan. Agar brusni  $m-n$  tekislik bilan kesib bir boʻlagini tashlab yuborsak, ajratib qoldirilgan qismini muvozanati buziladi.



4.4-rasm. Brusning siljishi: a) brusning deformatsiyagacha holati;

b) deformatsiyalangan brus;

v) siljishda ichki - kesuvchi kuchni aniqlash tartibi - kesish usuli.

Brusning tashlab yuborilgan qismining ajratib olingan boʻlagiga taʼsirini  $\tau_{xy}$  kuch intensivligi bilan belgilaymiz. Bu kuchlarni teng taʼsir qiluvchisini koʻndalang kuch  $Q_y$  bilan almashtirsak, brusni ajratib olingan boʻlagining muvozanat sharti quyidagicha yoziladi.

$$\sum Y = Q_y - F = 0 \text{ yoki}$$

$$Q_y = \tau_{xy} \cdot A = F'$$

urinma kuchlanish

formulasini hosil qilamiz  $\tau_{xy} = \frac{F}{A}$

$$\text{Ciljishda Guk qonun } \Delta S = \frac{Q\ell}{GA} \quad (4.6)$$

Elastik siljishda ko'ndalang kuch  $Q$  - ning bajargan ishi quyidagi formula bilan topiladi:  $A_{ish} = \frac{Q \cdot \Delta S}{2} = \frac{Q^2 \ell}{2GA} = \frac{\tau^2 A \ell}{2G}$  (4.7)

Siljitivchi kuch statik xarakterda bo'lsa, bajarilgan ish miqdor jihatdan siljish deformatsiyasining potentsial energiyasiga teng bo'ladi.

$$A_{is} = U = \frac{Q^2 \ell}{2GA} \quad (4.8)$$

## 4.2. Sof siljishda ruxsat etilgan kuchlanish

Laboratoriya sharoitida sof siljishni hosil qilish murakkab bo'lganligi uchun, doiraviy va boshqa xil ko'ndalang kesim yuzali sterjenlarni buralishda va plastik deformatsiyasida kuchlanganlik holati, ularning hajmi bo'ylab bir jinsli bo'lmaganligi uchun - ruxsat etilgan kuchlanishni turli mustahkamlik nazariyalari asosida tanlaymiz.

Birinchi mustahkamlik nazariyasi bo'yicha sof siljishda  $[\tau] = [\sigma]_{\mu}$  hosil bo'ladi.

Ikkinchi mustahkamlik nazariyasi:  $\sigma_1 - \mu(\sigma_2 + \sigma_3) \leq [\sigma]_{\mu}$ , bu yerda  $\sigma_1 = \tau$  va  $\sigma_3 = -\tau$ ;  $\sigma_2 = 0$ . Unda  $\tau - \mu(-\tau) \leq [\sigma]_{\mu}$  yoki  $\tau \leq \frac{[\sigma]_{\mu}}{1 + \mu}$  va bu yerdan  $[\tau] = \frac{[\sigma]_{\mu}}{1 + \mu}$

Uchinchi mustahkamlik nazariyasi:  $\sigma_1 - \sigma_3 \leq [\sigma]$ . Agar  $\sigma_1 = \tau$  va  $\sigma_3 = -\tau$  hisobga olinsa  $\tau + \tau \leq [\sigma]$  yoki  $[\tau] = \frac{[\sigma]}{2}$

To'rtinchi nazariyaga asosan:

$$\frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\tau - 0)^2 + (0 + \tau)^2 + (\tau + \tau)^2} = 3\sqrt{\tau} \leq [\sigma] \quad \text{yoki} \quad [\tau] = \frac{[\sigma]}{3}$$

Uchinchi va to'rtinchi nazariyalar bo'yicha hisoblash plastik materiallarga: ikkinchi nazariya bo'yicha mo'rt materialdan tayyorlangan detallar uchun va siljishga ishlaydigan konstruksiyalarga tadbiiq etiladi.

Yuqoridagilarni hisobga olib umumiy holda urinma ruxsat etilgan kuchlanish quyidagicha qabul qilinadi.

$$\text{Mo'rt materiallar uchun: } [\tau] = (0,8 \dots 1,0)[\sigma]$$

$$\text{Plastik materiallar uchun: } [\tau] = (0,5 \dots 0,6)[\sigma]$$

### 4.3. Parchin mixli birikmalarni hisoblash

Parchin mixli birikma uchadigan apparatlarda, metallokonstruksiya va h.k.larda ishlatiladi. Bunda tashqi kuch birikmaning ulanish tekisligiga parallel yo'nalishda ta'sir qiladi. Parchin mix plastik ( $\delta \geq 6\%$ ) po'latdan (St. 15,20,09G2), alyuminiy va titan qorishmasidan tayyorlanadi.

Oddiy parchin mix birikmalarning turlari va ularni tayyorlashga oid chizmalar 4.5-rasmda ko'rsatilgan. Parchin mixni yig'ish uchun (4.6-rasm, j), uni oprava – 4 ga o'rnatiladi, ikki tomonlama qisqich – 2 yo'naltiradigan puanso – 1 bilan siqiladi.

Puansoda parchin mixni bosh qismining shaklini beruvchi yarim aylanali sektor tayyorlangan.  $F$  kuch bilan oprava va puanso siqiladi, natijada parchin mix ortiqcha sterjenidan ikkinchi bosh qismi hosil bo'ladi.

Har bir parchin mixga o'zaro teng va qarama-qarshi yo'nalgan kuchlar ta'sir qiladi:  $F_1 = \frac{F'}{n}$  kuchlari parchin mixni qirqishga harakat

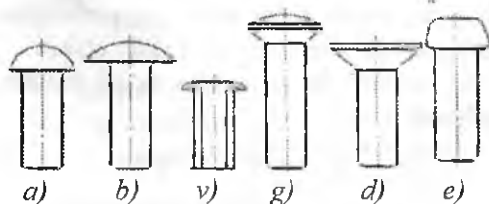
qiladi. Qirquvchi kuch  $F_1$  qirqilish yuzasi  $A_k = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$  - ga parallel yo'naladi (4.5-rasm, z). Shuning uchun qirqilish yuzasida urinma kuchlanishlar hosil bo'ladi.  $\tau$  parchin mixni qirqilish yuzasida teng tarqaladi. Unda qirqilishdagi mustahkamlik sharti.

$$\tau = \frac{F}{nA_k} = \frac{4F}{n \cdot \pi \cdot d^2} \leq [\tau] \quad (4.9)$$

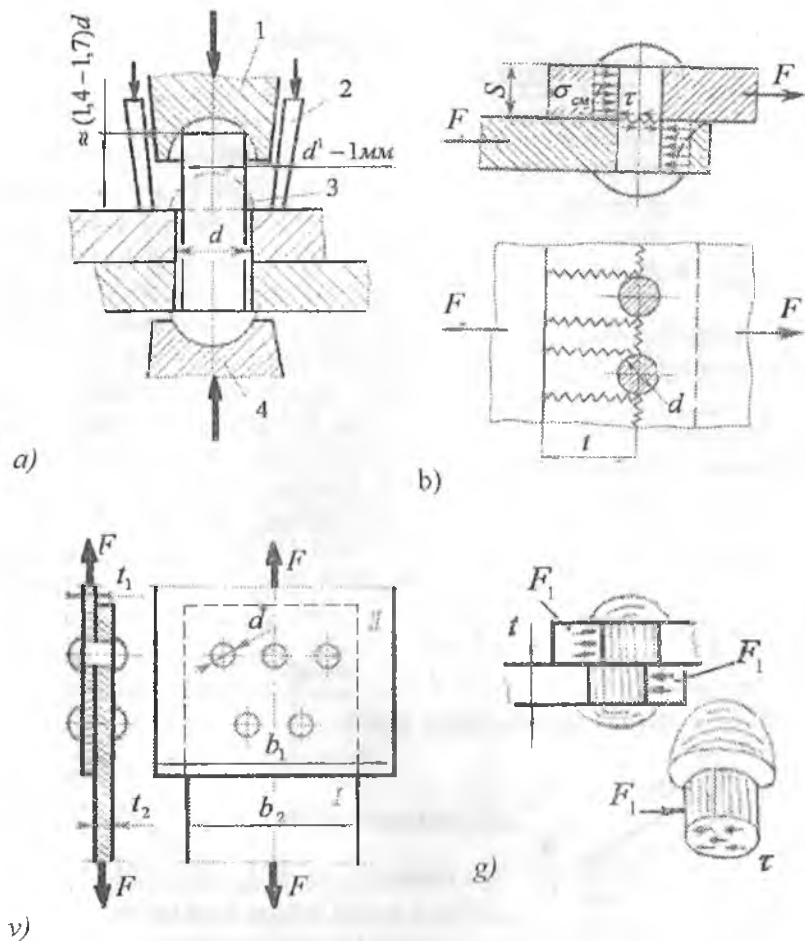
Parchin mixni diametri berilgan bo'lsa, birikmadagi parchin mixlar soni topilishi mumkin:  $n \geq \frac{4F}{n \cdot \pi \cdot d^2 [\tau]}$  (4.10)

Agar I va II elementlar birlashtirilishi mumkin. Bu holatda parchin mix ko'p qirqimli bo'ladi. Ko'p qirqimli parchin mix uchun

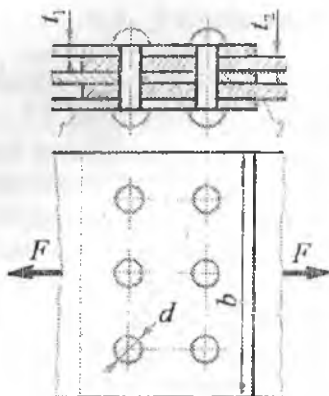
mustahkamlik sharti:  $\tau = \frac{F}{n \cdot \kappa \cdot A_k} \leq [\tau]$  (4.11)



4.5-rasm. Parchin mixlarning turlari: a) yarim aylanala bosh; b) past yarim aylanali boshli; v) ichi g'ovak; g) yarim potay boshli; d) potay boshli; e) tekis boshli



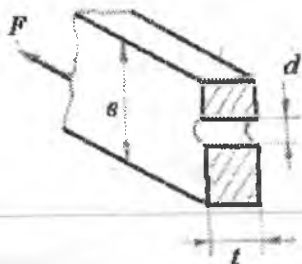
4.6-rasm. Parchin mixni hosil qilish sxemasi va parchin mixli birikma turlari: a) parchin mixni hosil qilish sxemasi (1-puanso; 2-yo 'naltiruvchi; 3-parchin mix; 4-oprava); b) birikmani xavfli kesimi; v) ustma-ust birikma; g) parchin mixni qirqilishga hisoblash sxemasi



4.7-rasm. To'rt qirqimli parchin mix.



4.8-rasm. Parchin mixda ezilish yuzasi.



4.9-rasm. Birikmadagi zaif kesim

Natijada elementlarni cho'ziish va siqilishga mustahkamligi pasayadi. Elementni zaiflashmagan kesimining eni  $- b$ , bo'lsa, cho'zilish yoki siqilishga mustahkamlik sharti quyidagicha yoziladi:

$$\sigma = \frac{F}{t(b - md)} \leq [\sigma] \quad (4.15)$$

va parchin mix soni:

$$n \geq \frac{F}{k \cdot A_p \cdot [\tau]} \quad (4.12)$$

$k$  – bitta parchin mixdagi qirqimlar soni. Ulanuvchi I va II elementlarni parchin mixga bosimi ta'sirida parchin mix o'zining devorida, yarim tsilindrik yuza bo'ylab ezilish bo'ladi. Elementlarning parchin mixga yarim tsilindrik yuza bo'ylab bosimining tarqalish qonuniyati noma'lum (4.6-rasm, g; 4.8-rasm), lekin bosim parchin mix sterjenining diametrial kesimi BC bo'ylab teng tarqaladi.

BC diametrial kesimda hosil bo'lgan ezilishdagi normal kuchlanish taxminan  $K$  nuqtadagi kuchlanishga teng:

$$\sigma_3 = \frac{F}{ntd}$$

$$\text{Mustahkamlik sharti: } \sigma_3 = \frac{F}{ntd} \leq [\sigma] \quad (4.13)$$

Bu yerda  $[\sigma] = [2 \dots 2,5] [\sigma']$  ezilishga ruxsat etilgan kuchlanish.

(4.13) shartidan parchin mixlar soni topiladi:

$$n \geq \frac{F}{dt[\sigma]_b} \quad (4.14)$$

Ulanuvchi elementlarda parchin mix o'zini (teshik) tayyorlanishi, ularni ko'ndalang kesimini zaiflashtiradi (4.9-rasm)

$m$  – zaiflashgan ko‘ndalang kesimdagi parchin mix soni.

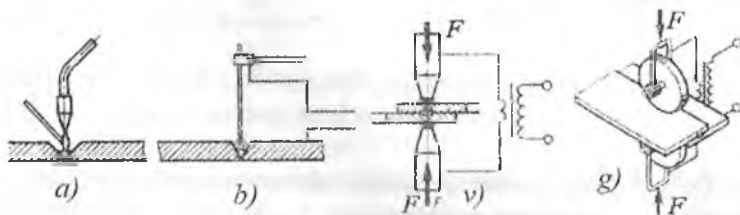
#### 4.4. Payvand birikmalar

**Payvand turlari.** Payvand birikma, payvandlanuvchi detallarni mahalliy yoki umumiy qizdirishda atomlarni o‘zaro bog‘lanishi va uni sovutishda hosil bo‘ladigan qotishmadir. Bu metallarni eritib, payvandlash usuli. Agar, detallarni birga qizdirib yoki sovuq holda plastik deformatsiyalansa bosim ostida payvandlash hosil bo‘ladi. Amaliyotda 60 dan ortiq payvandlash usuli bor:

- bir yoki ikkita detalning materiali suyultiriladi (gazli, yoysimon, plazmali va h.k.); - qizdiriladi va plastik deformatsiyalanadi (kontaktli, yuqori chastotali va h.k.);

- qizdirilmasdan deformatsiyalanadi (sovuq holda, portlatish).

Gazli payvandlash (4.10-rasm, a) mashinasozlikda kamug‘erodli va legirlangan po‘latdan tayyorlangan kichik qalinlikdagi detallarni quyiladigan metall prutokni yuqori gaz alangasida suyultirish usuli bilan amalga oshiriladi. Bu usul bilan deformatsiyalanadigan rangli metall,



4.10-rasm. a) gazli, b) yoysimon, v-g) kontaktli payvandlash.

cho‘yon, bronza, alyuminiy va magniy qotishmalaridan quyma shaklida tayyorlangan hamda nometall detallarni payvandlashda tadbiq etiladi.

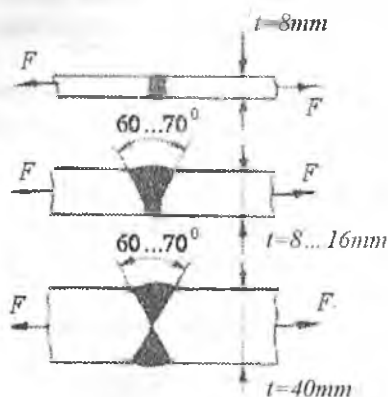
Yoysimon payvand (4.10-rasm, b) – elektropayvandlashni turidir. Energiya manbai payvandlanadigan detal va elektrod orasidagi elektr yoyi, suyultiriladigan metall 1...5 mm. tashkil etadi, sovutilgan qorishma chok deyiladi. Elektr payvandlash qo‘l kuchi yoki mexanizatsiyalashgan holda bajariladi. Avtomatlashtirilgan elektr payvandlashda – yuqori unumli, sifatli chok hosil bo‘ladi.

Kontaktli payvandlash (4.10-rasm, v) - ikkita detalni nuqta ko‘rinishida, Ushbu nuqtadan o‘tayotgan elektr toki yordamida qizdirish



usuli bilan amalga oshiriladi. Nuqtani ikkita elektrod A kuch bilan siqadi, transformatoridan yuborilgan tok detallarni nuqtada eritish holatigacha qizdiradi, sovutilgan nuqta qora rangli bo'ladi.

Chokli payvandlash (4.10-rasm, g), elektrod sifatida majbur aylanma harakat qiladigan disklar ishlatiladi. Disklar payvandlanadigan detallarni siqadi. Payvandlash punktir chiziq yoki to'liq shaklda bajarilishi mumkin.



4.11-rasm. Payvandlash turlari.

**Payvand birikmalarni hisoblash.** Payvand birikmalar ikki xil bo'ladi: uchma-uch va ustma-ust payvand birikmalar.

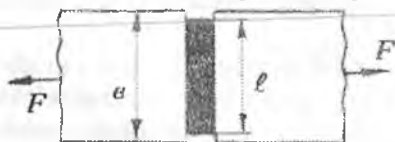
Uchma-uch payvand birikmalar ulanadigan elementlarni qalinligiga qarab har xil bo'ladi (4.11-rasm) va cho'zilish yoki siqilishga ishlaydi. Chokni mustahkamligi quyidagicha hisoblanadi (4.12-rasm).

$$\sigma = \frac{F}{t \cdot \ell} \leq |\sigma|_{\text{r.c}} \quad (4.16).$$

bu yerda  $|\sigma| = (0,6 \dots 0,8) |\sigma|$  - chok materiali uchun cho'zilishga ruxsat etilgan kuchlanish;

$|\sigma|_c = (0,75 \dots 0,9) [\sigma]$  - chok materiali uchun siqilishga ruxsat etilgan kuchlanish.  $\ell$  - chokning uzunligi.

Ustma-ust payvandlashda, chok valik shaklida bo'ladi (4.13-rasm). Valikli chok  $m - m$  kesim bo'yicha yemirilishi mumkin, chunki bu tekislikda urinma kuchlanish eng katta qiymatga erishadi. Ustma-ust payvandlashda tashqi kuch  $F$  pastki va yuqori choklarga ta'sir qiladi.



4.12-rasm. Uchma-uch payvandlash.



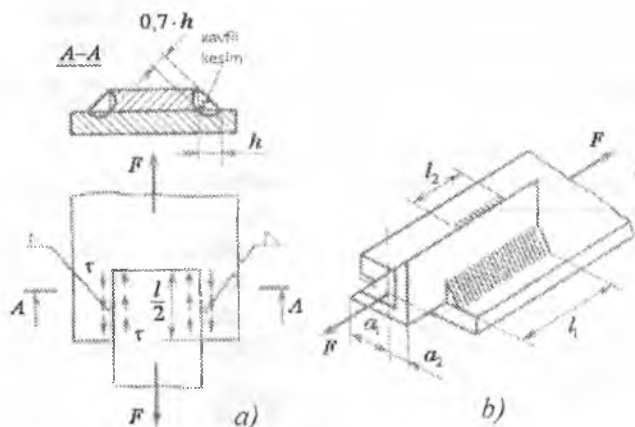
4.13-rasm. Ustma-ust payvandlash.

Unda urinma kuchlanish quyidagicha topiladi:

$$\tau = \frac{F'}{2A_t} = \frac{F}{2 \cdot hl} = \frac{F}{1,4 \cdot t \cdot l}$$

Ustma-ust payvandlashda—mustahkamlik shart:

$$\tau = \frac{F'}{1,4t \cdot \ell} \leq [\tau] \quad (4.17)$$



4.14-rasm. Ustma-ust payvandlash turlari: a) plankali; b) burchakli.

(4.17) formuladan payvandlanadigan detalning qalinligi ( $t$ ) yoki payvand birikmaning uzunligi  $\ell$  aniqlanishi mumkin.

$$t = \frac{F}{1,4[\tau] \ell}$$

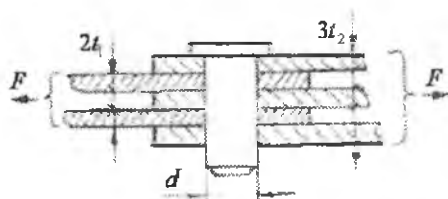
Agar listga burchak profili payvandlansa, you tomon choklar  $F$  kuch yo'nalishiga nosimmetrik joylashadi. Unda birinchi va ikkinchi choklardagi kuchlar  $F_1 + F_2 = F$ ,  $F_1 \cdot \ell_1 - F_2 \cdot \ell_2 = 0$  bu yerdan  $F_1 = F \cdot \frac{a_2}{a_1 + a_2}$

va  $F_2 = F \cdot \frac{a_1}{a_1 + a_2}$  bu yerda  $a_1$  va  $a_2$  - element og'irlik markazidan chok kesimining markazigacha bo'lgan masofa.

$$\tau_1 = \tau_2 = [\tau] \text{ shartdan } \ell_1 = \ell \cdot \frac{a_2}{a_1 + a_2} \text{ va } \ell_2 = \ell \cdot \frac{a_1}{a_1 + a_2}$$

## Savollar

1. Qanday konstruksiya qismlari siljishga uchraydi?
2. Sof siljish nima?
3. Siljishda Guk qonunini yozing.
4. Siljish moduli qanday kattalik?
5. Parchin mixli birikmani qirqilishga mustahkamlik sharti.
6. Parchin mixli birikmani ezilishga mustahkamlik sharti.
7. Parchin mixli birikmani cho'zilish va siqilishga mustahkamlik sharti.
8. Payvand birikmalarni turlarini ayting.
9. Ustma-ust payvandlashda chokni mustahkamlik shartini yozing.



**Misol-1.** Boltli birikmadagi po'latdan tayyorlangan valik orqali 480 kN kuch uzatiladi. Valikni qirqilishga va ezilishga mustahkamlik shartidan foydalanib, uning diametrini va

ulanuvchi elementlarni o'lchamlari topilsin. Ruxsat etilgan kuchlanish: qirqilishga  $[\tau] = 95 \cdot 10^3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$  ezilishga  $[\sigma] = 95 \cdot 10^3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$  va cho'zilishga  $[\sigma] = 160 \cdot 10^3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

**Yechish:** Boltli birikmani mustahkamlik shartidan foydalanib valikning diametrini topamiz: 
$$\tau = \frac{F}{4A} \leq [\tau]$$

bu yerda  $A = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$  - valikni bitta qirqilish yuzasi, 4 - qirqilish yuzalarining soni.

Unda valikni diametri: 
$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{4 \cdot \pi [\tau]}} = \sqrt{\frac{480}{3,14 \cdot 95 \cdot 10^3}} = 40 \text{ mm}$$

$t_1$  - qalinliklardagi elementlarning ezilishga mustahkamlik shartidan foydalanib  $t_1$  qalinlikni topamiz.  $\sigma_s = \frac{F}{ntd} \leq [\sigma]$ , bu yerdan

$$t_1 = \frac{F}{2d[\sigma]} = \frac{480}{2 \cdot 0,04 \cdot 250 \cdot 10^3} = 0,024 \text{ m}$$
. Ikkita bir xil  $t_1$  - qalinlikdagi

va eni bir xil bo'lgan elementlarni cho'zilishga mustahkamlik shartidan foydalanib  $b$  ni topamiz.  $\sigma = \frac{F}{2t_1(e-md)} \leq [\sigma]$ , bu yerda  $m = 1$ .

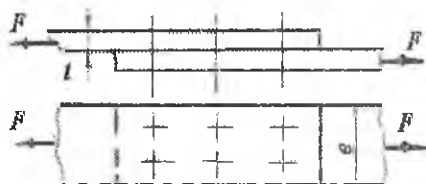
$$\text{Unda } b = \frac{F}{2t_1[\sigma]} + d = \frac{240}{160 \cdot 10^3 \cdot 0,024} + 0,04 = 0,1025m.$$

Birikmadagi qolgan 3 ta elementning qalinligi  $t_2$  topamiz.

$$\sigma = \frac{F}{3t_2(e-md)} \leq [\sigma].$$

$$\text{Bu yerdan } t_2 = \frac{F}{3(b-d)[\sigma]} = \frac{480}{3(0,1025 - 0,04) \cdot 160 \cdot 10^3} = 0,016m$$

**Misol-2.** Qalinligi  $t = 10mm$  bo'lgan ikkita element diametrlari  $d = 20mm$  bo'lgan 6 ta parchin mix bilan ustma-ust ulangan. Ruxsat etilgan cho'zuvchi kuch va elementlarni eni topilsin.



Ruxsat etilgan kuchlanish:

$$\text{qirqilishga } [\tau] = 120 \cdot 10^3 \frac{\kappa N}{m^2};$$

$$\text{ezilishga } [\sigma] = 320 \cdot 10^3 \frac{\kappa N}{m^2}$$

$$\text{cho'zilishga } [\sigma] = 160 \cdot 10^3 \frac{\kappa N}{m^2}$$

**Yechish:** Qirqilishga mustahkamlik shartidan ruxsat etilgan kuch

$$[F] = \frac{n\pi \cdot d^2 [\tau]}{4} = \frac{6 \cdot 3,14 \cdot 4 \cdot 10^{-4} \cdot 120 \cdot 10^3}{4} = 226 \kappa N$$

va ezilishga mustahkamlik shartidan ruxsat etilgan kuch

$$[F] = ntd[\sigma] = 6 \cdot 0,01 \cdot 0,02 \cdot 320 \cdot 10^3 = 384 \kappa N.$$

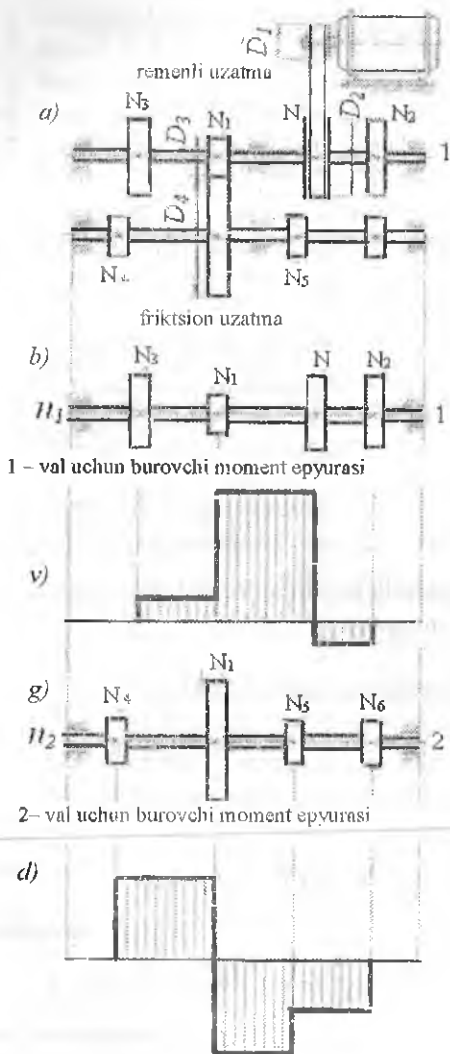
Ruxsat etilgan kuchlardan birinchisini qabul qilamiz, chunki parchin mixli birikmani ikkala mustahkamlik sharti ham bajariladi. Ulanuvchi elementlarni enini topamiz.

$$b = \frac{F}{[\sigma] \cdot t} + md = \frac{226}{160 \cdot 10^3 \cdot 0,01} + 2 \cdot 0,02 = 0,18m$$

## V BOB. BURALISH

Sterjenning bo'ylama o'qiga perpendikulyar tekislikda juft kuch momenti ta'sir qilsa, buralish deformatsiyasi hosil bo'ladi. Buralish

deformatsiyasi turli val va o'qlarning, fazoviy konstruksiyalarning elementlarini ishlash jarayonida uchraydi. Buralishda brusning kesim yuzasida burovchi moment hosil bo'ladi. Buralish deformatsiyasining tavsifi ko'p jihatdan, buraladigan konstruksiya kesim yuzasining shakliga bog'liq. Texnikada ko'pincha kesim yuzasi doiraviy yoki halqasimon bo'lgan elementlar uchraydi.



### 5.1. Burovchi moment haqida tushuncha

Burovchi momentni valning uzatayotgan quvvati va aylanishlari soni bilan ham ifodalash mumkin.

$$M_6 = 7162 \frac{N_k}{n} \text{ yoki}$$

$$M_6 = 9736 \frac{N}{n} \text{ Nm} \quad (5.1)$$

bu yerda:  $N$ ,  $N_k$  – ot kuchi va kilovatt birligidagi quvvat;

$n$  – valning bir minut dagi aylanishlari soni.

Elektrodvigateldan 1-valga  $N$   $kVt$  quvvat uzatilsin. 1-valdan 2-valga  $N_1$  va ishchi mashinalarga tegishli  $N_2, N_3$  va ikkinchi valdan ishchi mashinalarga tegishli  $N_4, N_5, N_6$  quvvatlar uzatiladi.

Birinchi va ikkinchi vallarning aylanish chastotasi  $n_1 = n \frac{D_1}{D_2}$ ,  $n_2 = n_1 \frac{D_3}{D_4}$

va burchak tezligi  $\omega_1 = \frac{\pi \cdot n_1}{30}$  va  $\omega_2 = \frac{\pi \cdot n_2}{30}$ . Har bir g'ildirakdagi

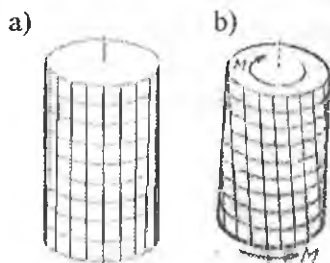
aylantiruvchi momentlar  $M_R = \frac{N_{II}}{\omega_1}$  va  $M_I = \frac{N_{III}}{\omega_2}$ .

Bu yerda  $D_1 D_2 D_3 D_4$  - g'ildiraklarning diametrlari.

Aylantiruvchi moment yordamida remenlarni vallarga bosim

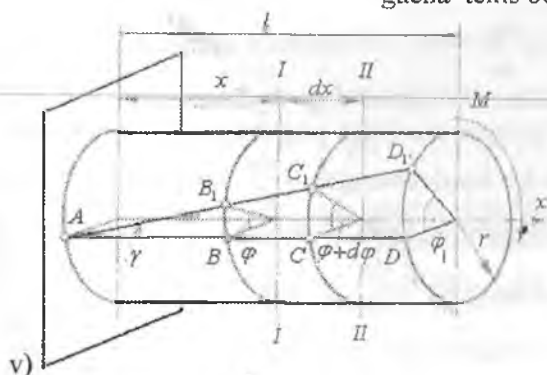
kuchlarini aniqlash mumkin:  $t = \frac{2M}{D}$ .

## 5.2. Doiraviy kesimli bruslarning buralishida kuchlanish va deformatsiya



Doiraviy kesimli sterjenni (silindr) sir-tiga doiraviy va bo'ylama chiziqlar yor-damida setka chizib (5.1-rasm, a), tashqi aylantiruvchi moment ta'sirida o'z bo'y-lama o'qi atrofida buralishga uchrasa tsilindr sirtidagi chiziqlar vint ko'ri-nishini egallaydi (5.1-rasm,b). Buralish-gacha tekis bo'lgan kesim silindrni de-

formatsiyasidan ke-yin ham tekisligi-cha qoladi, ko'nda-lang kesim radiuslari to'g'ri chiziqlicha qoladi. Buning asosi-da buralish - kesim-larni bir-biriga nisba-tan aylanishi natijasi-dagi siljish tufayli sodir bo'ladi deb aytish mumkin.



5.1-rasm Buralish.

Bir uchi qistirib mahkamlangan, erkin uchiga  $M$  – juft kuch momenti qo'yilgan brusning buralishini ko'rib chiqamiz.

Burovchi moment ta'sirida brusning sirtiga o'tkazilgan  $AD$  to'g'ri chiziq (5.1-rasm, v), brusning buralishida  $AD_1$  holatini egallaydi.  $AD$  to'g'ri chiziqdagi  $B$  va  $C$  nuqtalar  $B_1$  va  $C_1$  holatlarga o'tadi. Natijada, brusning qistirib qo'yilgan kesimidan  $x$  masofadagi kesimi  $\varphi$  burchakka, keyingi kesimi  $\varphi + d\varphi$  burchakka va juft kuch momenti qo'yilgan kesim  $\varphi_1$  burchakka buraladi. Tajribalar shuni ko'rsatadiki, brus buralganidan keyin, ko'ndalang kesim yuzalari tekisligicha qoladi, ular orasidagi masofa deyarli o'zgarmaydi; istalgan kesim yuzasida o'tkazilgan radius egrilanmaydi. Bunday buralish brus ko'ndalang kesim yuzalarining bir-biriga nisbatan siljishlarning natijasi deb qaraladi.

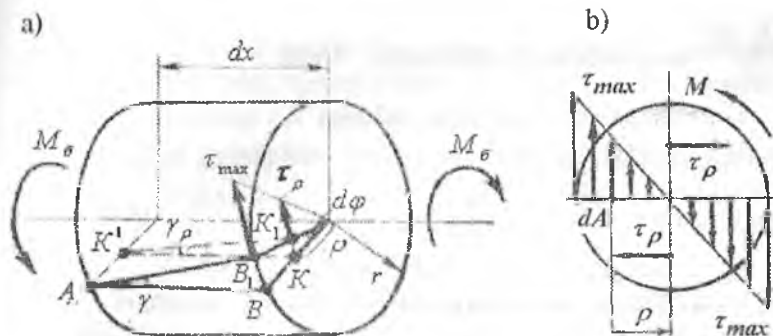
Buning natijasida brus ko'ndalang kesim yuzalarida faqat urinma kuchlanish paydo (5.2-rasm, a) bo'ladi. Brusning buralishida bo'ylama tolalar cho'zilmaydi ham, siqilmaydi ham. Shuning uchun, brusning ko'ndalang kesimida normal kuchlanishlar paydo bo'lmaydi. Brus ixtiyoriy kesimning markazidan  $\rho$  masofada joylashgan nuqtalarning urinma kuchlanishi siljishdagi Guk qonuniga asosan topiladi (5.2-rasm, a):

$$\tau_\rho = \gamma \cdot G$$

Bu yerda:  $\gamma = \frac{\rho \cdot d\varphi}{dx}$  (5.2-rasm, a) brus kesim yuzasining markazidan ixtiyoriy ( $\rho$ ) masofada yotuvchi tolasi uchun siljish burchagi bo'lib, brus sirtida yotuvchi tolaning siljish burchagi  $\gamma = \frac{BB_1}{AB} = \frac{r \cdot d\varphi}{dx}$  asosida topiladi.

$$\text{Unda} \quad \tau_\rho = G\rho \frac{d\varphi}{dx} \quad (5.3)$$

Demak, kesim yuzasining nuqtalaridagi kuchlanishlar, shu nuqtalardan brus o'qigacha bo'lgan masofaga proporsional o'zgarar ekan. Hosil bo'lgan formuladan ko'rinishicha, agar  $G \frac{d\varphi}{dx} = const$  bo'lsa, kuchlanish faqat  $\rho$  masofaga bog'liq bo'ladi. Masalan,  $\rho = 0$  bo'lsa,  $\tau_\rho = 0$  va  $\rho = \rho_{max}$  bo'lsa,  $\tau_\rho = \tau_{max} = G \cdot r \cdot \frac{d\varphi}{dx}$  bo'ladi.



5.2-rasm. a) Buralishda urinma kuchlanishni aniqlash sxemasi b) va uning epyurasi

Urinma kuchlanishlarning brus o'qiga nisbatan momenti miqdor jihatdan ( $M_s$ ) burovchi momentiga tengdir:  $M_s = \int_A \tau_\rho dA \cdot \rho$  (5.4)

(5.3) formuladagi  $\tau_\rho$  - ning qiymatini (5.4) formulaga keltirib quysak:

$$M_s = \int_A G \rho \frac{d\varphi}{dx} dA \cdot \rho = G \frac{d\varphi}{dx} \int_A \rho^2 dA \quad \text{hosil bo'ladi}$$

$I_p = \int \rho^2 dA$  - brus kesimning qutb inersiya momentini hisobga olsak:

$$\frac{d\varphi}{dx} = \frac{M_s}{GI_p} \quad \text{kelib chiqadi va bu ifodani (5.3) formulaga qo'yib, buralishdagi urinma kuchlanishni topamiz: } \tau_\rho = \frac{M_s \cdot \rho}{I_p} \quad (5.5)$$

bu yerda agar  $\rho = 0$  bo'lsa  $\tau = 0$  va  $\rho = R$  bo'lsa,

$$\tau = \tau_{\max} = \frac{M_s \cdot r}{I_p} = \frac{M_s}{W_p} \quad (5.6)$$

Urinma kuchlanish sterjen kesimining diametri bo'ylab to'g'ri chiziqli qonuniyat bilan o'zgaradi, chunki (5.5) formulada  $\rho$  masofa birinchi darajada (5.2-rasm, b). (5.6) formulada  $W_p = \frac{\pi \cdot d^3}{16}$  -sterjen kesimining qutb qarshilik momenti. Buralish burchagini aniqlashda:



$$d\varphi = \frac{M_\delta \cdot dx}{GI_\rho} \text{ tenglamadan foydalanamiz. Unda } \varphi = \int_0^\ell \frac{M_\delta \cdot dx}{GI_\rho} \quad (5.7)$$

$G \cdot I_\rho$  - brusning buralishdagi bikrligi.

(5.7) formulani  $dx$  bo'yicha integrallab sterjenning to'liq buralish burchagini topamiz.

$$\varphi = \frac{M_\delta \cdot \ell}{GI_\rho} \quad (5.8)$$

### 5.3. Buralishda mustahkamlik va bikrlilik shartlari

Yuqoridagi formulalardan ma'lumki, sterjen kesimining markazidan eng uzoqda joylashgan nuqtalarida urinma kuchlanish eng katta qiymatga erishar ekan, ya'ni:  $\tau_{\max} = \frac{M_\delta}{W_\rho}$ . Agar,  $\tau_{\max}$  shu sterjenning materiali uchun ruxsat etilgan kuchlanishdan katta bo'lmasa, sterjenning buralishdagi mustahkamligi ta'minlangan bo'ladi:

$$\tau_{\max} = \frac{M_\delta}{W_\rho} \leq [\tau] \quad (5.9)$$

bu yerda  $[\tau] = (0,5 \dots 0,6)[\sigma]$ . Agar, sterjenga quyilgan burovchi moment va sterjenning materiali ma'lum bolsa, uning diametrini (5.9) formula yordamida tanlash mumkin:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16M_\delta}{\pi[\tau]}} \quad (5.10)$$

Agar, sterjenning diametri va materiali berilgan bo'lsa, unga qo'yilishi mumkin bo'lgan burovchi moment topilishi mumkin.

$$M_\delta = \frac{\pi \cdot d^3}{16} [\tau]$$

Ko'pgina vallar uchun to'liq buralish burchagining qiymatini cheklab qo'yiladi, ya'ni

$$\varphi_{\max} = \frac{M_\delta \cdot \ell}{GI_\rho} \leq [\varphi] \quad (5.11)$$

Bu yerda  $[\varphi] = 0,15 \dots 0,3^\circ$  buralish burchagining ruxsat etilgan qiymati. (5.11) formula buralishdagi bikrlilik sharti deyiladi.

$$I_\rho = \frac{\pi \cdot d^4}{32} \approx 0,1d^4 \text{ qutb inersiya momentini hisobga olib, bikrlilik}$$

shartidan sterjenning diametrini topamiz.

$$d \geq \sqrt[4]{\frac{32M_\delta \ell}{\pi \cdot G[\varphi]}} \quad (5.12)$$

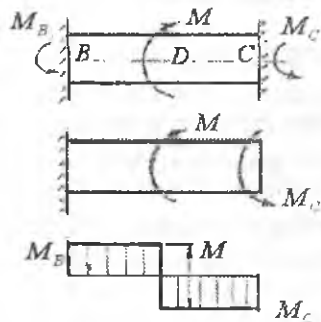
Agar, valning diametri  $d$  va uning bir minutdagi aylanishlari soni ( $n$ ), val materialining ruxsat etilgan kuchlanishi  $[\tau]$  berilgan bo'lsa uzatilayotgan quvvat  $- N$  topilishi mumkin:

$$N = \frac{\pi \cdot n \cdot d^3 [\tau]}{155776} \text{ kVt} \quad \text{va} \quad N = \frac{\pi \cdot n \cdot d^3 [\tau]}{114592} \quad \text{ot kuchi}$$

#### 5.4. Buralishda statik noaniq masala

Ikki uchi biki mahkamlangan tayanchga quyilgan doiraviy kesimli sterjenning burovchi momentini aniqlaylik (5.3-rasm). Berilgan masalani yechish uchun sterjenning muvozanat tenglamasini tuzamiz:

$$\sum M_x = -M_B + M - M_C = 0$$



bu yerda  $M_B$  va  $M_C$  tayanch momentlari Berilgan sterjenning bitta muvozanat tenglamasi bo'lib, unda ikkita noma'lum momentlar qatnashayapti. Demak, masala statik noaniq bo'lib, bunday masalalar qo'shimcha deformatsiya tenglamalari yordamida yechiladi. Qo'shimcha deformatsiya tenglamasini tuzish uchun asosiy sistemani tanlaymiz. Asosiy sistemani tuzishda, bitta tayanch ta'sirini shu tayanchda hosil bo'lgan noma'lum reaktiv moment bilan almashtiramiz. Berilgan sistemadagidek asosiy sistemada ham, tashlab yuborilgan tayanch kesimning buralish burchagi nolga teng bo'lishi kerak, ya'ni  $\varphi_C = 0$ , chunki haqiqiy berilgan sistemada bu kesim biki (qo'zg'almas) mahkamlangan. Kuchlarni ta'sir qilishida halal bermaslik tamoyiliga asosan  $\varphi_C = \varphi_{CM} - \varphi_{CMC} = 0$  tenglamasini hosil qilamiz, bu yerda:  $\varphi_{CM}$  - tashqi moment ta'sirida C kesimning buralish burchagi va  $\varphi_{CMC}$  - reaktiv moment  $M_S$  ta'sirida S kesimning buralish burchagi.

5.3-rasm. Buralishda statik noaniq sterjen va burovchi moment epyurasi.

$$(5.8) \text{ formulaga asosan } \varphi_{CM} = \frac{M \cdot b}{G \cdot I_p} \quad \text{va} \quad \varphi_{CMC} = \frac{M_C (a+b)}{G \cdot I_p} \quad \text{ni}$$

hisobga olsak, deformatsiya tenglamasini quyidagicha yozish mumkin:

$$\frac{M \cdot b}{GI_p} - \frac{M_c(a+b)}{GI_p} = 0 \quad \text{yoki} \quad M_c = M \frac{b}{a+b}$$

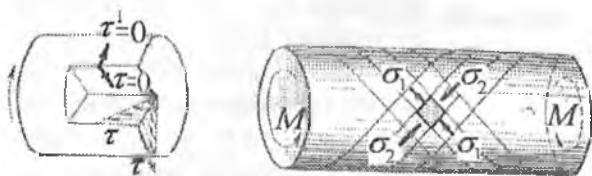
Endi muvozanat tenglamasidan  $M_i$  momentini topamiz:

$$M_B = M - M_c = M - M \frac{b}{a+b} = M \frac{a}{a+b}$$

$M_a$  va  $M_b$  tayanch momentlari topilgandan keyin, burovchi moment pyurasini qurish mumkin.

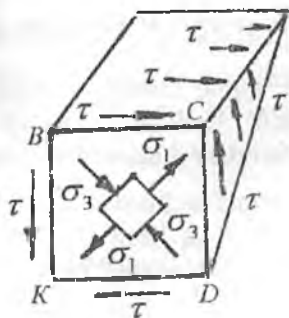
### 5.5. Buralishda kuchlanish holatining tahlili

Buralishda doiraviy kesimli sterjenning ko'ndalang kesimda urinma kuchlanishlar hosil bo'ladi. Bu kuchlanishlar sterjen kesim yuzasining markazida nolga teng va sterjenning sirtida eng katta qiymatga ega. Urinma kuchlanish sterjen materialining har bir nuqtasida, shu nuqtadan o'tgan radiusga perpendikulyar yo'naladi (5.4-rasm). Urinma kuchlanishlarning juftlik alomatiga ko'ra, sterjenning ko'ndalang kesimiga perpendikulyar bo'lgan bo'ylama yuzada ham urinma kuchlanish hosil bo'ladi. Kesimning radiusi bo'ylab urinma kuchlanish bo'lmaydi. Aks holda sterjenning yon sirtida ham urinma kuchlanishlar hosil bo'lar edi.



5.4 - rasm. Buralishda kuchlanganlik holati

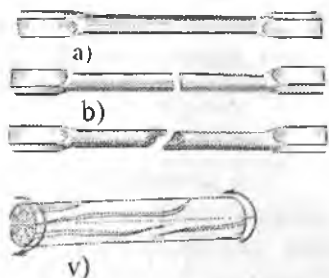
Sterjenning ko'ndalang kesim yuzalarida ham, bo'ylama kesimlarida ham normal kuchlanish hosil bo'lmaydi. Shunday qilib, sterjendan ajratilgan elementar yuza faqat, sterjenning ko'ndalang va bo'ylama yuzalarida hosil bo'lgan urinma kuchlanishlar ta'sirida. Bunday kuchlanish holatiga sof siljish deyiladi (5.5-rasm).



Sof siljishda sterjenning bo'ylama o'qiga  $45^\circ$  burchak ostida cho'zuvchi va siquvchi bosh normal kuchlanishlar hosil bo'ladi. Sterjenning barcha nuqtalarida bosh kuchlanishlarning ekstremal qiymatlari urinma kuchlanishlarga teng bo'ladi, ya'ni:

$$\sigma_{\max} = -\sigma_{\min} = \tau_{\max} = -\tau_{\min} = \frac{M_{\sigma}}{W_{\rho}} \quad (5.13)$$

5.5-rasm. Buralishdagi sterjendan ajratilgan elementar yuza

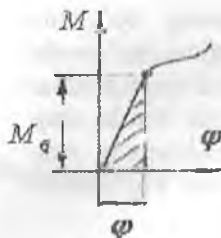


5.6-rasm. Buralishga sinash namunalari: a) namunani shakli; b) pulot, cho'yon va v) yog'och materiallarini yemirilish xarakterlari.

Mo'rt materiallar buralishda  $\sigma_1$  yo'nalishida yemiriladi. Umuman, sterjenni markaziga yaqin joylashgan materialni buralishda deyarli qatnashmaydi, chunki bu yuzada juda  $\tau$  kichik qiymatga ega. Demak, bu yuzadagi materialni ortiqcha sarflangan deb qarash mumkin ekan. Shuning uchun bu yuzadagi material olinsa, sterjenning kesim yuzasi halqasimon kesimga aylanadi.

Agar, sterjenning markaziy kesimidagi materialini olib, uning og'irligini 16% kamaytirsak, hosil bo'lgan halqasimon kesimning sirtidagi eng katta kuchlanish 2,6% oshar ekan. Radiusi  $R = 350 \text{ mm}$ . bo'lgan halqasimon val, radiusi  $R = 300 \text{ mm}$ . bo'lgan valdan 53,4% ga engildir.

## 5.6. Buralishda potensial energiya



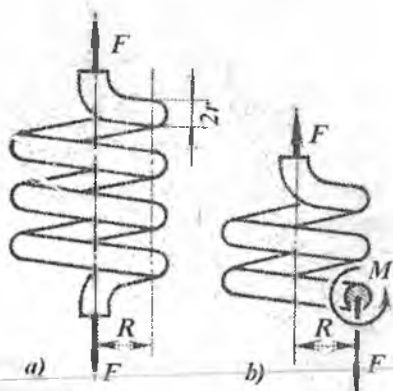
5.7-rasm. Buralishda proporsionallik chegara.

Sterjenning buralishi, uning materiali elastiklik chegarasi deb qaraladi. Unda burovchi momentning bajargan ishi buralish diagrammasining yuziga teng bo'ladi:

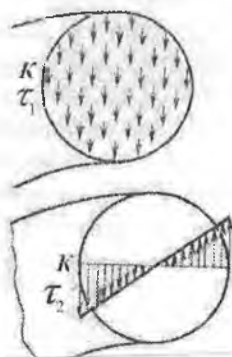
$$A_{\text{ish}} = U = \frac{M_s \cdot \varphi}{2} \quad \text{yoki} \quad U = \frac{M_s^2 \ell}{2GI_p} \quad (5.14)$$

## 5.7. Vintsimon silindrik prujinalarni hisoblash

Vagonlarning reszorlari o'rnida, ichki yonuv dvigatelining gaz taqsimlash mexanizmlarida va h.k. mexanizmlarda vintsimon prujinalar ishlatiladi. Bu prujinalar cho'zuvchi yoki siquvchi kuchlar ta'sirida bo'ladi. Prujinaning deformatsiyasi, tashqi kuchni yumshatadi yoki muvozanatlaydi.



5.8-rasm. Prujinaning yuklanish sxemasi va ichki kuchlarni aniqlash.



5.9-rasm. Qirqilishdagi  $\tau_1$  va buralishdagi  $\tau_2$  kuchlanishlar.

Prujinadagi ichki kuchlarni aniqlash uchun, uni kesish usulidan foydalanib ikki qismga ajratamiz (5.8-rasm). Pastki qismini tashlab yuboramiz va uning yuqori qismga ta'sirini (ko'ndalang kuch) kesuvchi

kuch  $Q$  va burovchi moment  $M_s$  bilan almashtiramiz. Prujinaning ajratib olingan qismining muvozanat shartiga ko'ra  $Q = F$  va  $M_s = F \cdot R$  hosil bo'ladi. Prujina o'ramining qirqilgan kesim yuzasida kesuvchi kuch  $Q$  ta'siridan qirqilishdagi urinma kuchlanish  $\tau_1$  va burovchi moment ta'siridagi  $\tau_2$  urinma kuchlanish hosil bo'ladi. Qirqilishdan hosil bo'lgan urinma kuchlanish prujina o'ramining kesim yuzasida tekis taqsimlangan deb qabul qilamiz (5.9-rasm):

$$\tau_1 = \frac{F}{A} = \frac{F}{\pi \cdot r^2} \quad (5.15)$$

Buralishdan hosil bo'lgan urinma kuchlanish prujina o'rami kesimining markazidan eng uzoqda joylashgan nuqtalarida hosil bo'ladi.

$$\tau_2 = \frac{M_s}{W_p} = \frac{2FR}{\pi \cdot r^3} \quad (5.16)$$

Kesimning  $V$  va  $S$  nuqtalari xavfli holatda bo'ladi. Chunki bu nuqtalardagi to'liq kuchlanish  $\tau_1$  va  $\tau_2$  kuchlanishlarning yig'indisiga tengdir, ya'ni

$$\tau = \frac{F}{\pi \cdot r^2} + \frac{2FR}{\pi \cdot r^3}.$$

Prujinaning deformatsiyasida o'ramlari buralishga uchraydi deb hisoblab,  $F$  kuch ta'siridagi prujinaning cho'zilishini topamiz. Prujinaning  $\lambda$  miqdorga ko'chishida  $F$  kuchning bajargan ishini yozamiz:

$$A_{ish} = \frac{1}{2} F \lambda \quad (a)$$

Prujinada buralishdan hosil bo'lgan potentsial energiya:

$$U = \frac{M_s^2 \ell}{2GJ_p} \quad (b)$$

$n$  - o'ramli prujinani tayyorlashda  $\ell = 2\pi Rn$  uzunlikdagi sim ishlatiladi.

(a) va (b) formulalarni o'zaro tenglab,  $J_p = \frac{\pi \cdot r^4}{2}$  prujina o'rami kesimining qutb inersiya momentini hisobga olsak:

$$\lambda = \frac{4FR^3 n}{Gr^4} \quad (5.17)$$

## 5.8. Kesimi doiraviy bo'lmagan sterjenlarning buralishi

Injenerlik amaliyotida kesimi doiraviy bo'lmagan kesimlar, yuqqa devorli va prokatli elementlar ham buralishga uchrashi ko'rilgan. Bunday, elementlarning buralishida - ko'ndalang kesimning nuqtalari kesim yuzasini tekisligidan chiqib ketadi, natijada kesim yuzasi va butun elementning shakli o'zgaradi. Bu holga deplanatsiya deyiladi. Lekin, bu-

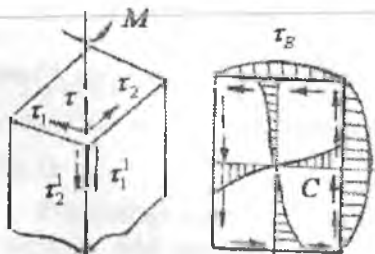


5.10-rasm. Buralish.

ralayotgan element tolalarining uzunligi o'zgarmaydi. Demak, ko'ndalang kesimda normal kuchlanish hosil bo'lmaydi. Bunday buralishga sof yoki erkin buralish deyiladi. Agar, buralish elementi tolalarining uzunligi o'zgarishi bilan sodir bo'lsa - majburiy buralish deyiladi. Yuqorida aytilgan barcha mulohazalar, kesimi doiraviy bo'lmagan elementlarning buralishida ularning ko'ndalang kesimi hosil bo'lgan kuchlanishni aniqlash murakkab ekanligini bildiradi.

Chunki, elementning kesimi egrilanishi bilan - kuchlanishning tarqalish qonuniyati ham o'zgaradi. Burchaksimon kesimlarning burchaklarida urinma kuchlanish nolga aylanadi. To'rtburchakli elementning sirtida  $\tau_1'$  va  $\tau_2'$  urinma kuchlanishlari nolga teng. Urinma kuchlanishlarni juftlik alomatiga ko'ra  $\tau_1 = \tau_1' = 0$  va  $\tau_2 = \tau_2' = 0$ . Demak,  $\tau = 0$  ya'ni tashqi burchak yaqinida urinma kuchlanish nolga teng. Eng katta urinma kuchlanish kesimni C nuqtasida hosil bo'ladi.

$$\tau_c = \tau_{\max} = \frac{M_\delta}{\alpha \cdot a \cdot \delta^2} \quad (5.19)$$



5.11-rasm

B nuqtadagi urinma kuchlanish  $\tau_\beta = \eta \tau_{\max}$







Kesimi doiraviy bo'lmagan elementlarning buralish burchagi:

$$\varphi = \frac{M\ell}{G\beta \cdot \delta^3 a} \quad (5.20)$$

bu yerda  $\alpha, \eta$  va  $\beta$  - element kesimi tomonlari nisbati.

Ko'ndalang kesimning ratsional shakli. Buralishga qarshilik momenti bir xil bo'lgan bir nechta turli shaklli kesimlarning eng kichik yuzaga ega bo'lgani, ya'ni berilgan burovchi momentda brusni tayyorlash uchun kam material sarflanadigani yoki kichik og'irlikka ega bo'lgani ratsional hisoblanadi. Kesim shaklining ratsionalligi o'lchov birliksiz xarakteristikaga ega bo'lgan solishtirma qarshilik momenti

bilan baholanadi 
$$\omega_x = \frac{W_x}{\sqrt{A^3}}$$

kesim			 $\frac{h}{b} = 2$		 $c = 0,7$	 $\frac{s}{t} = 10$
$\omega_x$	0,04- 0,05	0,05- 0,07	0,18	0,21	0,37	1,16

Bu yerda yopiq yupqa devorli kesim ratsional hisoblanadi.

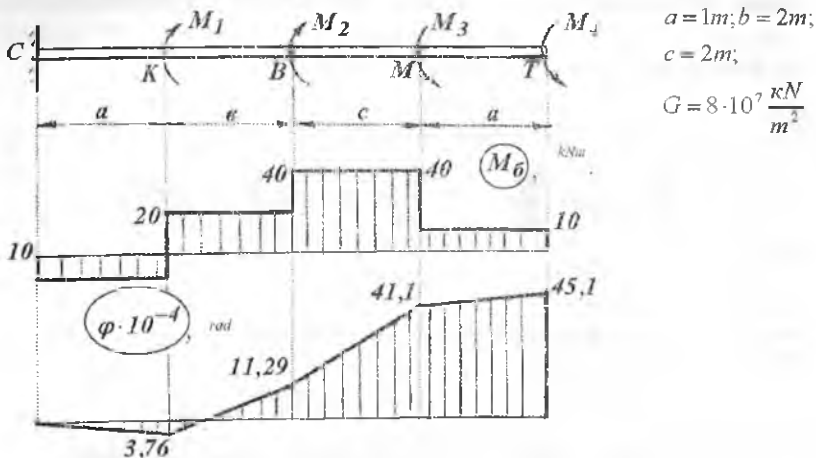
### Savollar

1. Qanday konstruksiya qismlari buralishga uchraydi?
2. Burovchi moment deb nimaga aytiladi?
3. Sterjenni buralishida qanday kuchlanish hosil bo'ladi?
4. Urinma kuchlanish sterjen kesim yuzasida qanday qonuniyat bilan tarqaladi?
5. Buralishda mustahkamlik shart formulasini yozing.
6. Buralish burchagi formulasini yozing.
7. Buralishda bikrlilik sharti formulasini yozing.
8. Buralishda mustahkamlik shartdan foydalanib doiraviy kesimli sterjenni diametrini toping.
9. Vintsimon prujinaning kesim yuzasida qanday kuchlanish hosil bo'ladi?
10. Vintsimon prujinaning deformatsiyasini toping.



**Misol-1.**

$M_1 = 30 \text{ kNm}$ ,  $M_2 = 20 \text{ kNm}$ ,  $M_3 = 30 \text{ kNm}$ ,  $M_4 = 10 \text{ kNm}$ ,  
momentlar bilan yuklangan doiraviy kesimli sterjenni, buralishdagi mustahkamlik sharti asosida  $[\tau] = 90 \text{ mPa}$ , diametrini aniqlang (5.12-rasm).



5.12-rasm. Sterjenni yuklanish sxemasi, burovchi moment va buralish burchagining epyurlari.

**Yechish:** 1) Sterjenni tayanch kesimidagi  $M_s$  reaktiv momentini topamiz  $\sum M_c = -M_c + M_1 + M_2 - M_3 - M_4 = 30 + 20 - 30 - 10 = 10 \text{ kNm}$ ;

Sterjenni uzunligi bo'ylab burovchi momentini o'zgarishini topamiz

I – I-oraliq  $M_{\theta 1} = -M_c = -10 \text{ kNm}$

II – II-oraliq  $M_{\theta 2} = -M_c + M_1 = -10 + 30 = 20 \text{ kNm}$

III – III-oraliq  $M_{\theta 3} = -M_c + M_1 + M_2 = -10 + 30 + 20 = 40 \text{ kNm}$

IV – IV-oraliq

$M_{\theta 4} = -M_c + M_1 + M_2 - M_3 = -10 + 30 + 20 - 30 = 10 \text{ kNm}$

2) Buralishdagi mustahkamlik shartiga ko'ra sterjenni diametrini aniqlaymiz  $d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_{\theta \max}}{\pi [\tau]}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 40}{3,14 \cdot 90 \cdot 10^3}} = 0,131 \text{ m}$ ;  $d = 135 \text{ mm}$  qabul qilamiz.

3) Sterjenni buralish burchagini aniqlaymiz  $\varphi_c = 0$ ;

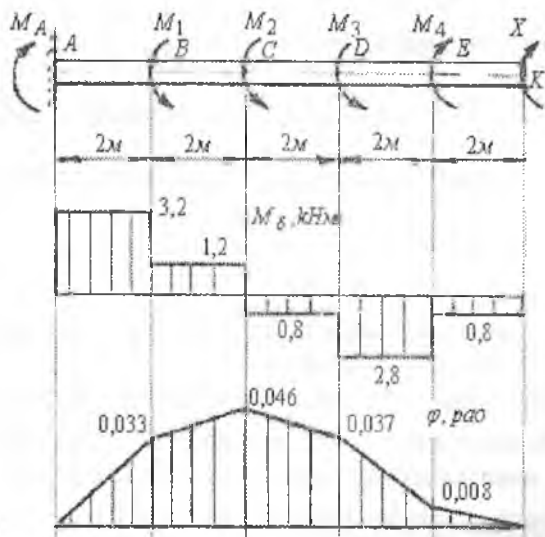
$$\varphi_K = \frac{M_{\theta 1} \cdot a}{GI_p} = \frac{10 \cdot 1}{8 \cdot 10^7 \cdot 0,1d^4} = \frac{-10}{8 \cdot 10^6 \cdot (0,135)^4} = -3,763 \cdot 10^{-7} \text{ rad}$$

$$\varphi_B = -3,76 \cdot 10^{-3} + \frac{20 \cdot 2}{2657 \cdot 10^3} = 11,29 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$$

$$\varphi_M = 11,29 \cdot 10^{-3} + \frac{40 \cdot 2}{2657 \cdot 10^3} = 41,16 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$$

$$\varphi_T = 41,16 \cdot 10^{-3} + \frac{10 \cdot 1}{2657 \cdot 10^3} = 45,16 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$$

Buralish burchagining ( $\varphi$ ) epyurasi 5.12-rasmda ko'rsatilgan.



5.13-rasm. Sterjenni yuklanish sxemasi va burovchi moment va buralish burchagining epyurlari.

Misol - 2. Po'lotdan tayyorlangan val to'rtta o'zaro teng  $M_1 = M_2 = M_3 = M_4 = M$  momentlar bilan yuklangan  $M = 2 \text{ kNm}$  (5.13-rasm).

- 1)  $K$  kesimni buralish burchagi nolga teng bo'lgan holatga to'g'ri keluvchi  $X$  momentni qiymati topilsin;
- 2) burovchi moment epyuralari qurilsin va valni mustahkamlik shartiga asosan diametri topilsin;
- 3) buralish burchagi epyuralari qurilsin.

**Yechish.**  $K$  kesimiga noma'lum  $X$  momenti qo'yilgan va  $A$  kesimi birkir mahkamlangan statik aniq sistema statik noaniq masalaga ekvivalent. Masalani shartiga ko'ra noma'lum moment  $X$ -ni topiladigan qiymatida  $K$  kesimni buralish burchagi ( $\varphi_k = 0$ ) nolga teng bo'lishi kerak. Kuchlarni ta'sir qilishdagi va qo'shishdagi xalal bermaslik prinsipiga asosan,  $K$  kesimni to'liq buralish burchagini qo'yilgan har qaysi momentlar ta'siridagi buralish burchaklari yig'indisiga teng deb qaraymiz,

$$\text{ya'ni } \varphi_k = \varphi_{kM_1} + \varphi_{kM_2} + \varphi_{kM_3} + \varphi_{kM_4} + \varphi_{kX} = 0$$

Faqat  $M_1$  momenti ta'sirida  $K$  kesimni buralish burchagi  $AV$  oraliqni buralish burchagiga tengdir, ya'ni:  $\varphi_{kx_1} = \varphi_{AB} = \frac{M_1 \cdot 2}{G \cdot I_\rho}$  va qolgan momentlar ta'siridagi buralish burchaklari

$$\varphi_{kx_2} = \varphi_{AC} = \frac{M_2 \cdot 4}{G \cdot I_\rho}; \quad \varphi_{kx_3} = \varphi_{AD} = \frac{M_3 \cdot 6}{G \cdot I_\rho};$$

$$\varphi_{kx_4} = \varphi_{AE} = \frac{M_4 \cdot 8}{G \cdot I_\rho} \text{ va } \varphi_{kx} = \varphi_{AK} = -\frac{X \cdot 10}{G \cdot I_\rho}$$

buralish burchaklarini (13) tenglamaga keltirib qo'ysak:

$$\frac{M_1 \cdot 2}{G \cdot I_\rho} + \frac{M_2 \cdot 4}{G \cdot I_\rho} + \frac{M_3 \cdot 6}{G \cdot I_\rho} - \frac{M_4 \cdot 8}{G \cdot I_\rho} - \frac{X \cdot 10}{G \cdot I_\rho} = 0 \text{ yoki } X = 0,8 \text{ kNm hosil bo'ladi.}$$

Sistemani muvozanat holati tenglamasidan  $A$  kesimdagi reaktiv moment  $M_A$  ni topamiz:

$$\sum M_A = -M_1 - M_2 - M_3 + M_4 + x + M_A = 0 \quad \text{yoki}$$

$$M_A = 2 + 2 + 2 - 2 - 0,8 = 3,2 \text{ kNm}$$

Valni  $A$  kesimidan o'ngga qarab uchastkalariga bo'lamiz va oraliq masofalarda buruvchi moment qiymatlarini topamiz.

I – I uchastok oraliqidagi valga  $M_A$  reaktiv va  $M_{B_1}$  buruvchi momentlari ta'sir qiladi. Demak, valni I – I uchastkasida muvozanat sodir bo'lishi uchun,  $M_A = M_{B_1}$  shart bajarilishi kerak, ya'ni ajratilgan sistemaga qo'yilgan tashqi momenti miqdor jihatdan valni ichki kuch momentlari yig'indisiga teng bo'lishi kerak.

$$\text{I – I oraliq: } M_A = M_{B_1} = -3,2 \text{ kNm}$$

$$\text{II – II oraliq: } M_{B_2} = -M_A + M_1 = -3,2 + 2 = -1,2 \text{ kNm}$$

$$\text{III – III oraliq: } M_{B_3} = -M_A + M_1 + M_2 = -3,2 + 2 + 2 = 0,8 \text{ kNm}$$

$$\text{IV – IV oraliq: } M_{B_4} = -M_A + M_1 + M_2 + M_3 = -3,2 + 6 = 2,8 \text{ kNm}$$

$$\text{Y – Y oraliq:}$$

$$M_{B_5} = -M_A + M_1 + M_2 + M_3 - M_4 = 2,8 - 2 = 0,8 \text{ kNm}$$

Buruvchi momentni eng katta qiymati I – I uchastkada hosil bo'ladi.

Buralishda mustahkamlik sharti  $\tau_{\max} = \frac{M_{B_{\max}}}{W_\rho} \leq [\tau]$ , dan valning

diametrini topamiz.  $W_\rho = \frac{\pi d^3}{16}$  val kesimini qutb qarshilik momenti

$[\tau] = 60 \text{ MPa}$  - valni buralish deformatsiyasidagi urinma kuchlanishni ruxsat etilgan qiymati.

$$d = \sqrt[3]{\frac{16M_{E \max}}{\pi[\tau]}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 3,2}{3,14 \cdot 60 \cdot 10^3}} = 0,065 \text{ m} = 65 \text{ mm}$$

$d = 70 \text{ mm}$  qabul qilamiz.

Valni har bir oralig'idagi buralish burchagini  $\varphi = \int_0^l \frac{M_z dx}{G \cdot I_\rho}$  formula

orqali qo'zg'almas tayanchdan boshlab topamiz. Bu yerda  $G$  - siljish moduli va  $I_\rho$  - val kesimini qutb inersiya momenti:

$$I_\rho = \frac{\pi d^4}{32} \approx 0,1 \cdot d^4 = 0,1(0,070)^4 = 24 \cdot 10^{-7} \text{ m}^4$$

**I - I oralig'**  $0,6x_1 \leq 2 \text{ m}$

$$\varphi_1 = \frac{M_{B_1} \cdot x_1}{G \cdot I_\rho} = \frac{3,2 \cdot x_1}{8 \cdot 10^7 \cdot 24 \cdot 10^{-7}} = \frac{3,2 \cdot x_1}{192}$$

agar  $x_1 = 0$  bo'lsa  $\varphi_1 = \varphi_A = 0$ ; agar  $x_1 = 0$  bo'lsa

$$\varphi_1 = \varphi_B = -\frac{3,2 \cdot 2}{192} = -0,033 \text{ rad.} \quad \varphi_B = -0,033 \cdot \frac{180^\circ}{\pi} = -0,033 \cdot \frac{180^\circ}{3,14} = -2^\circ 31'$$

$$\phi_2 = \phi_c = \phi_{AB} + \phi_{BC} = -0,033 + \frac{M_{B_2} \cdot x_2}{G \cdot I_\rho} = -0,033 + \frac{1,2 \cdot 2}{8 \cdot 10^7 \cdot 24 \cdot 10^{-7}}$$

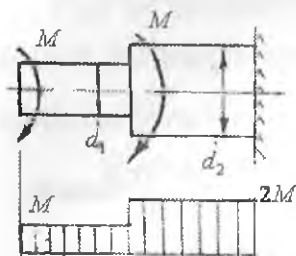
$$\phi_c = -0,046 \text{ rad.} \quad \text{yoki} \quad \phi_c = -3^\circ$$

$$\phi_3 = \phi_D = \phi_c + \phi_{BC} = -0,046 + \frac{M_{B_3} \cdot x_3}{G \cdot I_\rho} = -0,033 + \frac{0,8 \cdot 2}{8 \cdot 10^7 \cdot 24 \cdot 10^{-7}} = -0,037 \text{ rad.}$$

$$\phi_4 = \phi_E = \phi_D + \phi_{DE} = -0,037 + \frac{M_{B_4} \cdot x_4}{G \cdot I_\rho} = -0,037 + \frac{2,8 \cdot 2}{8 \cdot 10^7 \cdot 24 \cdot 10^{-7}} = -0,0083 \text{ rad.}$$

$$\phi_5 = \phi_K = \phi_E + \phi_{EK} = -0,0083 + \frac{M_{B_5} \cdot x_5}{G \cdot I_\rho} = -0,0083 + \frac{0,8 \cdot 2}{8 \cdot 10^7 \cdot 24 \cdot 10^{-7}} = 0$$

**Misol-3.** Bir tomoni qistirib mahkamlangan o'zgaruvchan kesimli sterjenga bir xil juft kuch momenti qo'yilgan. Sterjenning kichik diametri  $d_1 = 40 \text{ mm}$  va katta diametri  $d_2 = 60 \text{ mm}$  (5.14-rasm)



5.14-rasm

Sterjenning o'ng pog'onasidagi eng katta urinma kuchlanish  $80 \text{ mPa}$ . Sterjenning chap pog'onasidagi urinma kuchlanishni toping.

**Yechish.** Sterjenning o'ng pog'onasidagi eng katta urinma kuchlanish formulasini yozamiz.

$$\tau_2 = \frac{M_6^{\text{II}}}{W_{\rho}^{\text{II}}} = 80 \text{ mPa}$$

Burovchi momentni topamiz:

$$M_6^{\text{II}} = 800 \cdot W_{\rho} = 800 \frac{\pi \cdot d_2^3}{16} = 800 \frac{3,14(6)^3}{16} = 33912 \text{ kGsm}$$

Sterjenning uzunligi bo'ylab burovchi moment epyurasini quramiz. Sterjenning II - II qirgim bilan ajratib olingan qismida burovchi moment tashqi momentlarning yig'indisiga teng, ya'ni  $M_6^{\text{II}} = 2M$ . Unda, I - I qirgimdagi ya'ni sterjenning chap pog'onasidagi burovchi moment miqdor jihatdan tashqi momentga teng  $M_6^{\text{I}} = M$ . Chap pog'onadagi

eng katta urinma kuchlanishni topamiz:  $\tau_1 = \frac{M_6^{\text{I}}}{W_{\rho}^{\text{I}}} = \frac{33912}{2 \cdot 12,56} = 1350 \frac{\text{kg}}{\text{sm}^2}$

bu yerda

$$W_{\rho}^{\text{I}} = \frac{\pi \cdot d_1^3}{16} = \frac{3,14(4)^3}{16} = 12,56 \text{ sm}^3$$

**Misol-4.** Diametri  $d = 90 \text{ mm}$  bo'lgan val 90 ot kuch quvvatini uzatadi. Val materialining ruxsat etilgan kuchlanishi  $[\tau] = 60 \frac{\text{kg}}{\text{sm}^2}$  bo'lsa, valning bir minutdagi aylanishlari soni topilsin.

**Yechish:** burovchi moment, uzatilayotgan quvvat  $N$  va valning aylanishlari soni o'zaro bog'lanishda:  $M_6 = 71620 \frac{N}{n} \cdot \text{kGsm}$

Burovchi momentni valning mustahkamlik shartidan aniqlaymiz:

$$M_6 = W_{\rho} [\tau] = \frac{\pi \cdot d^3}{16} [\tau] = \frac{3,14(9)^3}{16} \cdot 600 = 85839,7 \text{ kGsm}$$

Unda valning bir minutdagi aylanishlari soni  $n = 71620 \frac{N}{M_6} = 75 \frac{\text{ayl}}{\text{min}}$

**Misol-5.** Avtomobilning kardanli vali ikki xil rejimda bir xil quvvatni uzatadi ( $N = 23$  ot kuchi). Valni bir minutdagi aylanishlari soni, bir holatda  $n_1 = 108 \text{ ayl/min}$ ; ikkinchi holatda  $n = 60 \text{ ayl/min}$

Val materialining ruxsat etilgan kuchlanishi  $[\tau] = 400 \frac{\kappa G}{sm^2}$  bo'lsa, valning tashqi va ichki diametrlarini ( $d_0 = 0,9 d$ ) toping.

**Yechish.** Kardanli valning ikki rejimiga to'g'ri keluvchi burovchi momentni topamiz:

$$M_6^I = 71620 \frac{23}{108} = 15252,4 \kappa Gsm, \quad M_6^{II} = 71620 \frac{23}{60} = 27454,3 \kappa Gsm$$

Valning diametri o'zgarmas bo'lsa, eng katta kuchlanish  $M_6^{II}$  momenti ta'sirida hosil bo'ladi. Val kesimining qutb inersiya momentini topamiz:  $I_p = \frac{\pi \cdot d^4}{32} - \frac{\pi \cdot d_0^4}{32} = \frac{\pi \cdot d^4}{32} (1 - 0,656) = 0,033755d^4$

Urinma kuchlanish va kesimining chetki nuqtasida, ya'ni kesim markazidan  $0,5d$  masofada joylashgan nuqtasida hosil bo'ladi.

$$\tau_{\max} = \frac{M_6^{II} \cdot 0,5d}{I_p} = \frac{M_6^{II} d}{2 \cdot 0,033755d} \leq [\tau] \quad \text{yoki} \quad d = \sqrt[3]{\frac{M_6^{II}}{0,06751[\tau]}} = 10sm$$

Unda valning ichki diametri  $d_0 = 9 sm$

**Misol-6.** Po'latdan tayyorlangan halqasimon kesimli val  $100 ayl/min$  tezlik bilan aylanib  $N = 75 kVi$  quvvatni uzatadi. Val kesimi devorining qalinligi o'rtacha diametrining  $1/50$  qismini tashkil etadi. Valning  $3m$  uzunligiga to'g'ri keluvchi buralish burchagi  $\varphi = 1^\circ$  dan oshmaslik sharti bilan, uning o'rtacha diametrini toping. Urinma kuchlanish nimaga teng?

**Yechish:** Valning tashqi va ichki diametrlarini uning devorini qalinligi bilan bog'liq:

$$d = d_y + t = d_y + \frac{d_y}{50} = \frac{51d_y}{50}; \quad d_0 = d_y - t = d_y - \frac{d_y}{50} = \frac{49d_y}{50};$$

Val kesimining qutb inersiya momentini aniqlaymiz:

$$I_p = \frac{\pi}{32} [d^4 - d_0^4] = \frac{\pi}{32} \left[ \left( \frac{51d_y}{50} \right)^4 - \left( \frac{49d_y}{50} \right)^4 \right] = 0,0157d_y^4$$

Valning buralishdagi birklik shartini yozamiz:

$$\varphi = \frac{M_6 \cdot \ell}{G \cdot I_p} \leq [\varphi], \quad \text{va} \quad \frac{M_6 \cdot \ell}{G \cdot 0,0157d_y^4} = 1^\circ \quad \text{bu yerda:} \quad G = 8 \cdot 10^5 \frac{\kappa g}{sm^2};$$

$$M_6 = 97360 \frac{N}{n} = 97360 \frac{75}{100} = 73020 \kappa Gsm$$

O'rtacha diametрни topamiz:

$$d_y = \sqrt{\frac{M_0 \ell}{G \cdot 0,0157 \cdot 1^9}} = \sqrt{\frac{73020 \cdot 300}{8 \cdot 10^5 \cdot 0,0157 \cdot \frac{314}{180}}} = 17,8 \text{ sm}$$

$$\text{Unda } d = \frac{51 \cdot 17,8}{50} = 18,156 \text{ sm}, \quad d_0 = \frac{49 \cdot 17,8}{50} = 17,45 \text{ sm}$$

Kesimning qutb inersiya momenti:

$$I_p = 0,0157 d_y^4 = 0,0157 (17,8)^4 = 1576 \text{ sm}^4$$

Eng katta urinma kuchlanishni topamiz:

$$\tau_{\text{max}} = \frac{M_0 \cdot 0,5d}{I_p} = \frac{73020 \cdot 9}{1576} = 417 \frac{\text{kg}}{\text{sm}^2}$$

**Misol-7.** Umumiy uzunligi  $a+b=3,3$  m, chap qismining diametri  $d_1=6$  sm o'ng qismining diametri  $d_2=5$  sm bo'lgan sterjen uchi bilan qistirib – biki mahkamlangan. Sterjenning ikki qismida ham bir xil kuchlanish hosil bo'lsa  $A$  va  $B$  uzunliklar topilsin (5.15-rasm)

**Yechish.** Sterjenning  $S$  va  $V$  tayanchlaridagi reaktiv  $M_c$  va  $M_V$  momentlarni topish uchun, uni muvozanat tenglamasini tuzamiz:

$$\sum M_x = -M_c + M - M_B = 0$$

Muvozanat tenglamasidan ko'rinishicha, sterjen statik noaniq sistema ekan. Shuning uchun, asosiy sistemani tanlaymiz va qo'shimcha tenglama tuzamiz:  $\varphi_B = \varphi_{BM} + \varphi_{BM_B} = 0$ , ya'ni  $B$  tayanch kesimini buralish burchagi nolga teng.

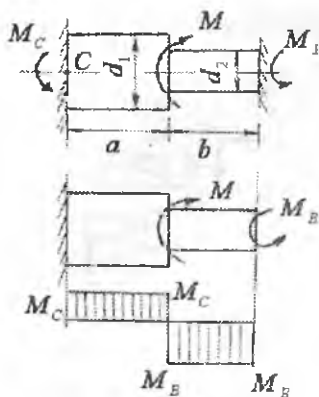
$$\text{Bu yerda } \varphi_{BM} = \frac{M \cdot a}{G \cdot I_{\rho_1}} \quad \text{va} \quad \varphi_{BM_B} = -M_B \left( \frac{a}{G \cdot I_{\rho_1}} + \frac{b}{G \cdot I_{\rho_2}} \right)$$

$B$  kesimning tegishli  $M_c$  va  $M_V$  momentlari ta'siridan buralish burchaklarini qo'shimcha tenglamaga keltirib qo'yamiz, unda

$$\frac{M \cdot a}{G \cdot I_{\rho_1}} = M_B \left( \frac{a}{G \cdot I_{\rho_1}} + \frac{b}{G \cdot I_{\rho_2}} \right) \quad \text{va} \quad M_B = \frac{M a}{a+b} \frac{I_{\rho_1}}{I_{\rho_2}}$$

muvozanat tenglamasiga keltirib qo'ysak,  $M_s$  tayanch momentini

$$\text{topamiz: } M_c = M - M_B = \frac{M \cdot b \cdot \frac{I_{\rho_1}}{I_{\rho_2}}}{a + b \cdot \frac{I_{\rho_1}}{I_{\rho_2}}}$$



5.15-rasm. Buralishda statik noaniq pog'onali brus va burovchi moment epyurasini.

Sterjenni uzunligi bo'ylab burovchi moment epyurasini quramiz (5.15-rasm) va chap va o'ng qismlarini ko'ndalang kesimidagi urinma kuchlanishlarni topamiz.

$$\tau_1 = \frac{M_c}{W_{\rho_1}} = \frac{M \cdot b \cdot \frac{I_{\rho_1}}{I_{\rho_2}}}{\left(a + b \cdot \frac{I_{\rho_1}}{I_{\rho_2}}\right) \frac{\pi \cdot d_1^3}{16}} \quad \text{va}$$

$$\tau_2 = \frac{M_B}{W_{\rho_2}} = \frac{M \cdot a}{\left(a + b \cdot \frac{I_{\rho_1}}{I_{\rho_2}}\right) \frac{\pi \cdot d_2^3}{16}}$$

Masalani shartiga ko'ra  $\tau_1 = \tau_2$

Unda 
$$\frac{M \cdot b \cdot \frac{I_{\rho_1}}{I_{\rho_2}}}{\left(a + b \cdot \frac{I_{\rho_1}}{I_{\rho_2}}\right) \frac{\pi \cdot d_1^3}{16}} = \frac{M \cdot a}{\left(a + b \cdot \frac{I_{\rho_1}}{I_{\rho_2}}\right) \frac{\pi \cdot d_2^3}{16}} \quad \text{yoki} \quad \frac{I_{\rho_1}}{I_{\rho_2}} b d_2^3 = a \cdot d_1^3$$

hosil bo'ladi. Bu yerda 
$$I_{\rho_1} = \frac{\pi \cdot d_1^4}{32} = \frac{\pi(6)^4}{32} = \frac{\pi \cdot 1296}{32} \quad \text{va}$$

$$I_{\rho_2} = \frac{\pi \cdot d_2^4}{32} = \frac{\pi(5)^4}{32} = \frac{\pi \cdot 625}{32}$$

Sterjenni chap va o'ng qismlarining kesim yuzalarining qutb inersiya momentlarini hisobga olsak,  $\frac{6}{5}b = a$  hosil bo'ladi.  $a + b = 3,3m$

Tenglikdan  $b = 1,5m$  va  $a = 1,8m$  topamiz.

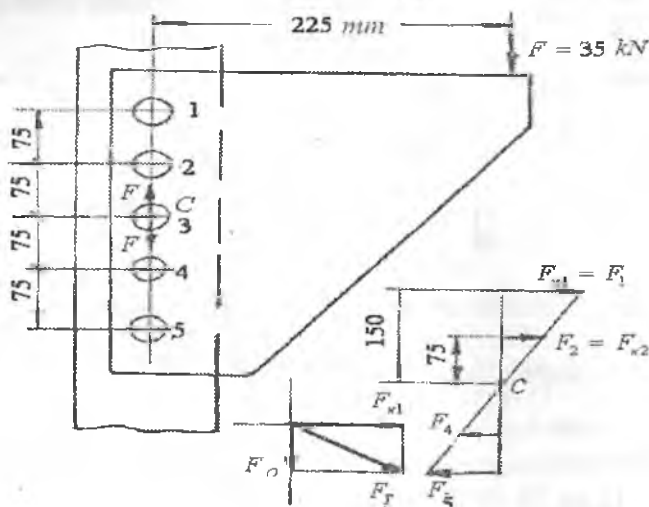
**Masala-8.** (5.16-rasm)da ko'rsatilgan diametri  $d = 0,7874$  dyuymli bo'lgan, bir qirqimli parchin mixli birikma  $F = 35$  kN kuch ta'sirida. Eng xafvli parchin mixdagi urinma kuchlanishni toping.

**Yechish.** F kuchning parchin mixli birikmaning markazi C nuqtaga ko'chiramiz. Bitta chiziqchali kuchlar  $M_C = F \cdot l$  burovchi momentini hosil qiladi. Parchin mixli birikma  $M_B$  momenti ta'sirida bo'ladi. F kuch ta'siri beshta parchin mix orasida teng tarqaladi.

Har bir parchin mixga  $F_0 = F : 5 = 3500 : 5 = 700 \text{ kG}$  qirquvchi kuch ta'sir qiladi.  $M_B$  burovchi momenti ta'sirida har bir parchin mixda  $F_k$



kuchi hosil bo'ladi va u C nuqtadan o'tgan to'g'ri chiziqqa perpendikulyar yo'naladi (5.16-rasm) dan  $\frac{F_{k1}}{15} = \frac{F_{k2}}{7,5}$  va



5.16-rasm. Buralish va siljishga oid masala.

$F_{k1} = 2F_{k2}$  ni hosil qilamiz va  $F_{k1} = F_{k3}$  va  $F_{k2} = F_{k4}$  ekanligini aniqlab olamiz. Birikmani burovchi momenti

$$3500 \cdot 22,5 = 2F_{k1} \cdot 15 + 2F_{k2} \cdot 7,5; \quad 78750 = 4F_{k2} \cdot 15 + 2F_{k2} \cdot 7,5$$

va bu yerdan  $2F_{k2} = 1050 \text{ kG}$  kuchni hosil qilamiz.  $F_{k1} = 2F_{k2} = 2100 \text{ kG}$

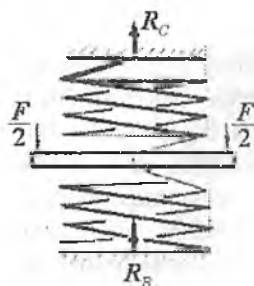
Demak, birikmani chetki, parchin mixlari ko'proq xavfli holatda bo'lar ekan. 1 va 5 parchin mixlardagi to'liq kuchni topamiz (5.16-rasm).

$$F_{1r} = F_{5r} = \sqrt{F_{k1}^2 + F_o^2} = \sqrt{(2100)^2 + (700)^2} = 2213 \text{ kG}$$

Chetki parchin mixlarda hosil bo'ladigan urinma kuchlanishlarni topamiz:

$$\tau_{\max} = \frac{F_{1r}}{A_s} = \frac{2213}{3,14 \frac{d^2}{4}} = \frac{2213}{3,14 \frac{(2)^2}{4}} = 704 \frac{\text{kG}}{\text{sm}^2}$$

**Misol-9.** O'rtacha radiuslari  $R = 10 \text{ sm}$ , o'ramning diametri  $d = 2 \text{ sm}$  bo'lgan po'latdan tayyorlangan ikkita prujinalar C va B nuqtalarda tayanchlarga tayangan.



5.17-rasm.  
Tashqi kuch bilan  
yuklangan  
prujina

Yuqori prujinada  $n_1 = 4$  ta va pastki prujinada  $n_2 = 5$  ta o'ramlari bor. Ikkala prujinalar o'rtasiga  $F = 450$  kg kuch qo'yilgan plita o'rnatilgan. Prujinalarga taqsimlangan kuchning miqdori, yuk o'rnatilgan plitaning vertikal ko'chishi, prujina sterjenida hosil bo'lgan urinma kuchlanish topilsin.

**Yechish:**  $F$  kuch ta'sirida yuqori prujina cho'ziladi, pastki prujina – siqiladi.  $C$  va  $B$  tayanchlarda  $R_C$  va  $R_B$  reaksiya kuchlari hosil bo'ladi.  $R_C$  reaksiya kuchi miqdor jihatdan yuqori prujinadagi cho'zuvchi kuchga,  $R_B$  reaksiya kuchi pastki prujinadagi siquvchi kuchga teng buladi.  $R_C$  va  $R_B$  kuchlarni topish uchun sistemaning muvozanat tenglamasini tuzamiz.

$$\sum y = R_C - F - R_B = 0$$

Bitta tenglamada ikkita noma'lum kuchlar bor. Demak, masala statik noaniq. Shuning uchun qo'shimcha deformatsiya tenglamasini tuzamiz.  $F$  kuch ta'sirida yuqori prujinaning chuzilishi pastki pogonani siqilishiga teng, ya'ni

$$\lambda_1 = \lambda_2$$

bu yerda  $\lambda_1 = \frac{4R_C R^3 n_1}{G \cdot r^4}$  va  $\lambda_2 = \frac{4R_B R^3 n_2}{G \cdot r^4}$ , unda

$$\frac{4R_C R^3 n_1}{G \cdot r^4} = \frac{4R_B R^3 n_2}{G \cdot r^4} \quad \text{yoki} \quad R_C = R_B \frac{n_2}{n_1} \quad \text{va} \quad R_C = R_B \frac{5}{4} \quad \text{ifodani}$$

muvozanat tenglamasiga keltirib qo'ysak  $R_B$  kuchni topamiz:

$$R_B = \frac{F \cdot 4}{9} = \frac{450 \cdot 4}{9} = 200 \text{ kG}; \quad R_C = \frac{4R_B \cdot 5}{9} = \frac{450 \cdot 4}{9} = 250 \text{ kG}$$

Plitaning vertikal ko'chishini topamiz

$$\lambda = \frac{4R_C R^3 h_1}{G \cdot r^4} = \frac{4 \cdot 250 \cdot 10^3 \cdot 4}{8 \cdot 10^5 \cdot 1^3} = 5 \text{ sm}$$

Yuqori prujina sterjenidagi kuchlanish

$$\tau_1 = \frac{R_C \cdot 4}{\pi \cdot d^2} + \frac{2R_C \cdot R}{\pi \cdot r^3} = \frac{250 \cdot 4}{\pi \cdot (2)^2} + \frac{2 \cdot 250 \cdot 10}{\pi \cdot 1^3} = 1672 \frac{\text{kG}}{\text{sm}^2}$$

Pastki prujina sterjenidagi kuchlanish

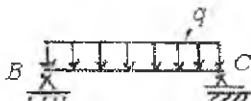
$$\tau_2 = \frac{R_B \cdot 4}{\pi \cdot d^2} + \frac{2R_B \cdot R}{\pi \cdot r^3} = \frac{200 \cdot 4}{\pi \cdot (2)^2} + \frac{2 \cdot 200 \cdot 10}{\pi \cdot 1^3} = 1338 \frac{\text{kG}}{\text{sm}^2}$$

## VI BOB. EGILISH

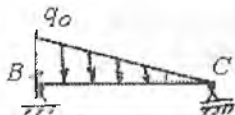
Amaliyotda ko'priklarning ramalari, imoratlarning ayrim qismlari, vagonning o'qlari va h.k. egilish deformatsiyasiga uchraydi. Ikki tayanchga tayangan va egilish deformatsiyasiga uchraydigan brus – balka deyiladi. Ayrim balkalarning ko'rinishlarini keltiramiz: ko'p qavatli uylarning qavatlar orasidagi ulaydigan balkalar teng taqsimlangan kuchlar bilan yuklangan (6.1-rasm, a). Suv omboridagi platinaning ustuni, shatun taqsimlangan kuch intensivligi (suvni bosimi) bilan yuklangan. Bu kuchning qiymati noldan  $q$  - gacha o'zgaradi (6.1-rasm, b). Ko'priknig asosiy balkasi, lokomotiv g'ildiraklarining bosimi ta'sirida bo'ladi (6.1-rasm, v). Quyidagi balkalarning egilishini o'rganamiz:

1. Balka kesimining, hech bo'lmaganda bitta simmetriya o'qi bor.
2. Barcha tashqi kuchlar balkaning simmetriya o'qi tekisligida joylashgan.
3. Balkaga ta'sir etuvchi barcha kuchlar, shu jumladan reaksiya kuchlari ham simmetriya o'qi tekisligida yotganligi uchun, balkaning egilgan o'qi ham shu tekislikda yotadi. Bunday egilish tekis egilish deyiladi.

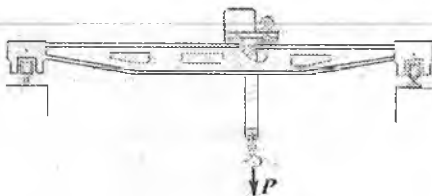
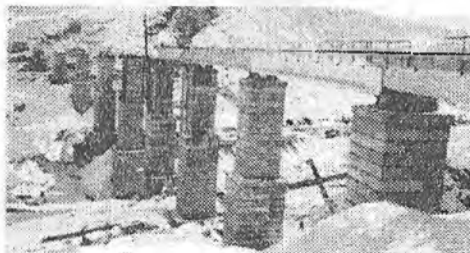
a)



b)



v)

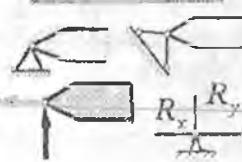
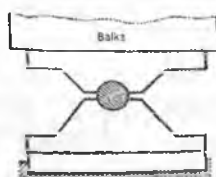
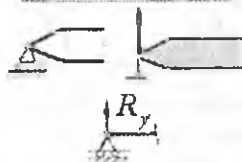
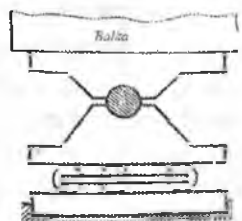


6.1-rasm

## 6.1. Tayanch va tayanch turlari

Jism harakatini cheklovchi sabab bog'lanish deyiladi. Bog'lanishlar tayanch vazifasini bajaradilar. Bunday tayanchlar imoratlarning asoslari, valni dvigatel korpusiga, shkiv va yulduzchalarni valga o'rnatishda va h.k. larda hosil bo'ladi.

### Sharnirli tayanchlar to'g'risida tushuncha



Uch xil tayanch turlari mavjud:

1) quzg'aluvchi sharnirli tayanch, sterjenning tayanch kesimini sharnir uqi atrofida aylanish burchagini va sterjenning gorizont tekislikdagi harakatini cheklamaydi. Shuning uchun, quzg'aluvchi – sharnirli tayanchda faqat vertikal reaksiya kuchi hosil buladi.

Bir chiziqli bog'lanish yoki qo'zg'aluvchan sharnirli tayanch, bog'lanish tekislikida tayanch nuqtasining harakatini cheklaydi. Tayanch kesim ikkita erkinlik darajaga ega, bitta reaksiya hosil bo'ladi

2) Quzg'almas sharnirli tayanch, sterjenning tayanch kesimini vertikal va gorizont tekisliklardagi harakatini chegaralaydi; kesimni aylanish burchagini cheklamaydi. Bu tayanchda vertikal va gorizont reaksiya kuchlari hosil buladi.

Ikki bog'lanishli tayanch yoki qo'zg'almas sharnirli tayanch, bog'lanish yo'nalishlarida gorizont va vertikal tekisliklarda tayanch kesimining harakatini cheklaydi. Tayanch kesim bitta erkinlik darajaga ega va unda ikkita reaksiya kuchi hosil bo'ladi.

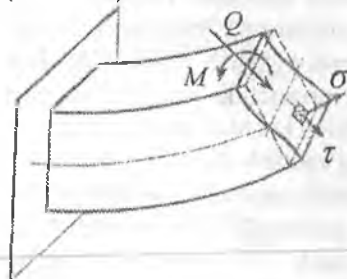
3) Quzg'almas biki mahkamlangan tayanch. Sterjenning tayanch kesimini barcha harakatlarini chegaralaydi. Uch bog'lanishli tayanch hamma erkinlik darajani cheklaydi. Sterjen 3 vertikal tekislikdagi ha-

rakatni, 1 va 2 stejnlar esa gorizont tekislikdagi harakatni va kesimni aylanishini cheklaydi. Tayanchda uchta reaksiya vertikal, gorizont reaksiya kuchlari va reaktiv moment hosil bo'ladi. Reaksiya kuchlarini aniqlash uchun statikaning muvozanat shartlarini tuzamiz:

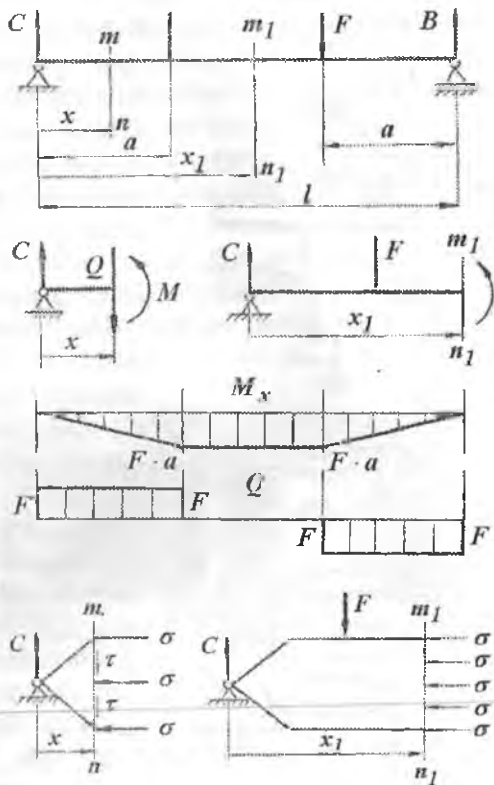
$$\sum x = 0; \quad \sum y = 0 \quad \text{va} \quad \sum M_o = 0$$

## 6.2. Egilishda normal kuchlanishni aniqlash

Egilishda brusning ko'ndalang kesim yuzasida eguvchi moment va ko'ndalang kuch hosil bo'ladi. O'zaro teng  $F$  kuchlar bilan yuklangan balkani  $m - n$  kesimida, pastga yo'nalgan ichki kuch  $Q$  ta'sir qiladi. Ko'ndalang kuch  $Q$  balkani kesilgan yuzasiga,  $m-n$  tekislikka urinma bo'lib yo'nalgan. Shuning uchun bu yuzada urinma kuchlanish  $\tau$  hosil bo'ladi (6.4-rasm).



6.4-rasm. Egilishda ichki kuch faktorlari va kuchlanishlar.



Vertikal tekislikda joylashgan  $C$  va  $Q$  kuchlari balkani  $x$  oraliqda  $M = Cx$  juft kuch momentini hosil qiladi. Juft kuch momenti  $M$  balkani  $m-n$  tekisligidagi kesim yuzasida normal kuchlanishlar  $\sigma$  - ni keltirib chiqaradi.

Demak, balkani C tayanchidan  $x$  masofada joylashgan kesim yuzasida  $\tau$  va  $\sigma$  kuchlanishlari hosil bo'lib, bu kuchlanishlar balkani bir kesimidan ikkinchi kesimiga uzatiladi (6.4-rasm). Berilgan balkaning  $m-n$  kesimidan normal kuchlanish  $\sigma$  - ni topish uchun, shu kesimdagi urinma kuchlanishni qiymatini, uning kesim yuzasidagi tarqalish xususiyatini bilishimiz kerak. Kesim yuzasidagi  $\tau$  noma'lum bo'lganligi uchun, normal kuchlanishni balkaning bu kesimidagi kuchlanganlik holatidan foydalanib topolmaymiz, chunki  $\sigma$  va  $\tau$  o'zaro bog'lanishda. Demak, ikkita kuchlanishdan bittasini topish uchun, ularning bittasi berilgan bo'lishi yoki nolga teng bo'lishi kerak. Balkaning  $x_1$  oralig'idagi  $m_1-n_1$  kesimida  $Q = C - F = F - F = 0$  yoki  $\tau = 0$  bo'lganligi uchun bu kesimda faqat  $M = F \cdot a$  eguvchi moment yoki normal kuchlanishlar  $\sigma$  ta'sir qiladi. Egilishdagi kuchlanish holatining ko'ndalang kuch nolga teng bo'lgan ( $Q=0$ ) xususiy holi, sof egilish deyiladi.

Demak, urinma kuchlanish nolga teng bo'lib, faqat normal kuchlanishlar ta'siridagi balkani deformatsiyasi – sof egilish ekan. Normal kuchlanishni sof egilish holatidan foydalanib topamiz.

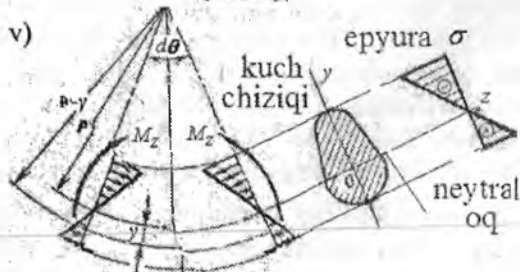
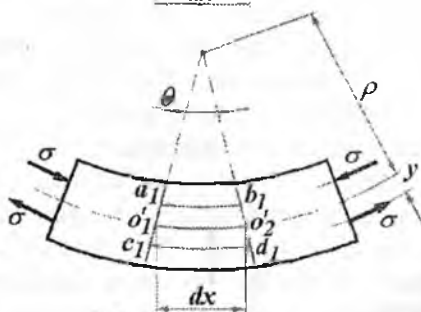
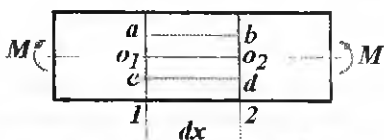
Buning uchun quyidagi gipotezalardan foydalanamiz:

- balkaning deformatsiyasigacha tekis bo'lgan ko'ndalang kesim yuzasi deformatsiyadan keyin ham tekisligicha qoladi (6.5-rasm) va bir-biriga nisbatan  $\theta$  burchakka og'adi: o'zaro parallel bo'ylama chiziqlar egrilanadi va parallelligicha qoladi. Yuqoridagi bo'ylama chiziqlar siqiladi, pastdagilari esa cho'ziladi (teskari holat ham mavjud); balkaning materiali Guk qonuniga bo'ysunadi; cho'ziladigan va siqiladigan tolalar uchun  $E = const$  deb qabul qilinadi; tolalar bir-biriga vertikal tekislikda bosim ko'rsatmaydi. Demak, 6.5-rasm (b) dagi  $ab$  chiziq siqiladi,  $cd$  – chiziq esa cho'ziladi. Siqiladigan va cho'ziladigan tolalar orasidagi  $O_1O_2$  tola cho'zilmaydi ham, siqilmaydi ham. Shuning uchun  $O_1O_2 = O_1'O_2' = dx$ , ya'ni  $O_1O_2$  tolni uzunligi o'zgarmaydi. Balkaning deformatsiyalanishida, o'z uzunligini o'zgartirmaydigan material qatlami neytral tola deyiladi. Neytral tola bilan ko'ndalang kesimning kesishishidan hosil bo'lgan chiziq neytral o'q deyiladi.

6.5-rasm (b)dan  $cd$  tolning nisbiy uzayishini topamiz:



a)  
b)



6.5-rasm. Egilish.

a) egilish xarakteri; b) egilishda neytral qatlam holatini aniqlash; v) eguvchi moment va normal kuchlanishni tarqalish qonuniyati.

$$\varepsilon = \frac{\Delta_{cd}}{cd} = \frac{c_1 d_1 - cd}{cd} = \frac{c_1 d_1 - dx}{dx}$$

Bu yerda sxemadan

$$c_1 d_1 = \theta(\rho + y) \quad \text{va} \\ dx = \theta \cdot \rho.$$

Unda  $\varepsilon = \frac{y}{\rho}$  ifodani Guk

$\sigma = \varepsilon \cdot E$  qonuniga keltirib qo'yilsa,

$$\sigma = \frac{y}{\rho} E \quad (6.6)$$

(6.6) formula yordamida normal kuchlanish kesim yuzaning balandligi bo'ylab o'zgartirish qonuniyatini aniqlash mumkin (6.5 - rasm):

$$y = 0 \quad \text{bo'lsa} \quad \sigma = 0$$

$$y = y_{\max} \quad \text{bo'lsa}$$

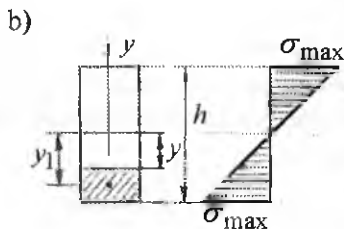
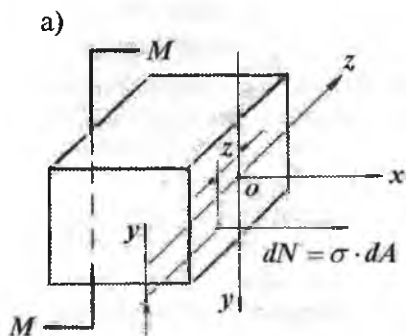
$$\sigma = \sigma_{\max}$$

Demak, normal kuchlanish kesimining markazida, ya'ni neytral o'qda nolga teng va kesimning sirtida, ya'ni kesimning neytral o'qdan eng uzoqda joylashgan nuqtasida katta qiymatga erishadi.

(6.6) formuladan  $\sigma$  ni topish uchun, uni tashqi kuch yoki eguvchi moment bilan bog'lashimiz (6.6-rasm, a) kerak. Buning uchun, balkadan ajratib olingan  $dx$  uzunlikdagi kesimini tashqi

kuch momenti  $M$  va ichki bo'ylama kuch  $dN$  ta'siridagi muvozanatini statikaning tenglamalari yordamida tekshiramiz. Sof egilishda – kesim yuzasidagi elementar  $dN$  bo'ylama kuchlarining ta'sir etuvchisi nolga

$$\text{teng bo'ladi } \sum X = N = \int_A \sigma \cdot dA = 0 \quad \text{va} \quad \int_A \frac{E}{\rho} y dA = 0$$



6.6-rasm. Sof egilishdan ajratib olingan balka bo'lagining a) yuklanish sxemasi; b) to'g'ri turtburchak yuzasida normal kuchlanish epyurasi.

Integral ostidagi  $\frac{E}{\rho}$  qiymat o'zgarmas miqdor va nolga teng bo'lmaganligi uchun, uni integral ishorasi oldiga chiqaramiz va butun tenglikni shu qiymatga qisqartiramiz. Unda integral  $\int_A y dA = 0$  kesim yuzasining neytral o'qi  $OZ$  ga nisbatan statik momenti bo'lib, nolga tengdir. Shuning uchun  $OZ$  o'q kesim yuzasining og'irlik markazidan o'tadi. Ichki bo'ylama kuch va moment  $M$  kesim yuzasini  $Y$  va  $Z$  o'qlariga proeksiya bermaydi. Shuning uchun  $\sum Z = 0$ ;  $\sum y = 0$  tenglamalaridan foydalanmaymiz. Shuningdek,  $dN$  va  $M$  ni kesim yuzasini  $Ox$  va  $Oy$  o'qlariga nisbatan momentlari ham ayniyatga aylanganligi uchun  $\sum M_x = 0$ ,  $\sum M_y = 0$  tenglamalaridan foydalanmaymiz. Unda  $\sum M_z = 0$  tenglamani tuzamiz:

$$M_z = \int_A dN \cdot y = \int_A \sigma \cdot dA \cdot y = \int_A \frac{E}{\rho} y^2 dA = \frac{E}{\rho} \cdot \int_A y^2 dA$$

Bu ifodadagi integral balka kesim yuzasining  $OZ$  o'qga nisbatan



inersiya momentini bildiradi -  $\int_A y^2 dA = I_z$ . Unda  $M_z = \frac{E}{\rho} \cdot I_z$  ni hosil

qilamiz. Bu tenglikdan  $\frac{1}{\rho} = \frac{M_z}{EI_z}$  - neytral qatlam egriligini (6.6)

formulaga qo'yib egilishda normal kuchlanish formulasini topamiz

$$\sigma = \frac{M_z \cdot y}{I_z} \quad (6.7)$$

(6.7) formula balka ko'ndalang kesim yuzasida neytral o'qdan  $y$  - masofadagi gorizontal chiziqda (6.6-rasm,b) yotuvchi istalgan nuqtadagi kuchlanishni topish uchun ishlatiladi. Agar,  $y = y_{max}$  va  $M_z = M_{max}$  bo'lsa

$$\sigma = \sigma_{max} = \frac{M_{max} \cdot Y_{max}}{I_z} \quad \text{yoki} \quad \sigma_{max} = \frac{M_{max}}{\frac{I_z}{Y_{max}}} = \frac{M_{max}}{W_z} \quad (6.8)$$

bu yerda  $W_z$  - kesimning oz o'qqa nisbatan qarshilik momenti

**Egilishda normal kuchlanish bo'yicha mustahkamlik shart.**

Egilishda normal kuchlanish bo'yicha mustahkamlik sharti

quyidagicha yoziladi:  $\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W} \leq [\sigma]$  (6.9)

(6.9) formula asosida, materiallar qarshiligida uch xil masala echilishi mumkin.

1. Konstruksiya qo'yilishi mumkin bo'lgan yukning qiymati topiladi:

$$M_{max} = [\sigma] \cdot W$$

2. Konstruksiyaning kesimi tanlanadi:  $W \geq \frac{M_{max}}{[\sigma]}$

3. Konstruksiyaning mustahkamlik sharti tekshiriladi:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W} \leq [\sigma]$$

Agar, balkaning materiali cho'zilish va siqilishga har xil qarshilik ko'rsatsa, ya'ni  $[\sigma]_k \neq [\sigma]_q$  bo'lsa, unda

$$\sigma_{max.u} = \frac{M_{max}}{W_1} \leq [\sigma]_k \quad \text{va} \quad \sigma_{max.c} = \frac{M_{max}}{W_2} \leq [\sigma]_q \quad (6.10)$$

## Egilishda urinma kuchlanishni aniqlash

Shakli to'g'ri burchakli kesimning bo'ylama o'qiga perpendikulyar bo'lgan ko'ndalang yuzadagi urinma kuchlanishni topamiz (6.7-rasm). Sof egilishdan farqli bu yuzada normal  $\sigma$  va urinma kuchlanish  $\tau$  hosil bo'ladi, chunki balkani shu oraliq'ida eguvchi moment ham, ko'ndalang kuch ham nolga teng emas. Urinma kuchlanish to'g'risida quyidagi fikrlarni yuritamiz:

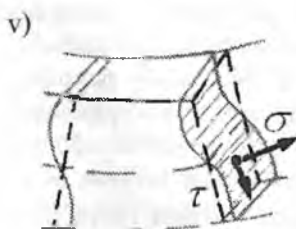
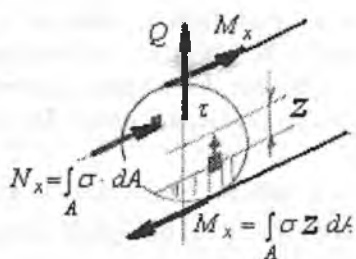
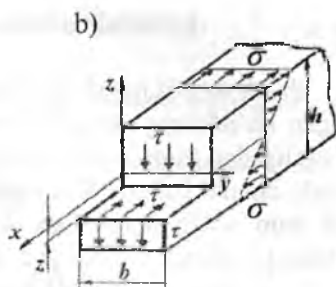
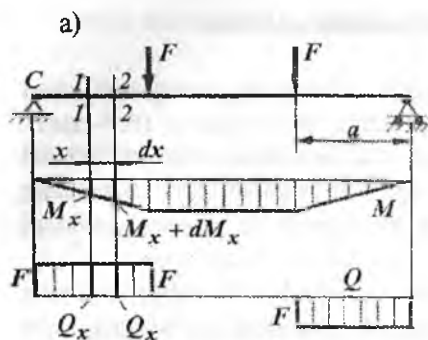
1. Ko'ndalang kuch  $Q$  barcha ichki urinma kuchlanishlarning teng ta'sir qiluvchisi. Urinma kuchlanishlarning yo'nalishi ko'ndalang kuch yo'nalishi bilan mos tushadi.

2. Kesimning neytral o'qidan bir xil masofada joylashgan yuzalardagi urinma kuchlanishlar o'zaro tengdir (6.7-rasm,b). Urinma kuchlanishlarning juftlik alomatiga ko'ra, balkani ko'ndalang kesimiga perpendikulyar bo'lgan bo'ylama kesimida urinma kuchlanishlar hosil bo'ladi (6.7-rasm, b), ya'ni:  $\tau = -\tau'$ .

Demak, balkaning bo'ylama o'qi yo'nalishida ham, urinma kuchlanishlar  $\tau'$  hosil bo'lar ekan, ular balka tolalarini bir-biriga nisbatan siljitadi.

3. Tekis ko'ndalang egilish gipotezasiga asosan, deformatsiyagacha tekis bo'lgan ko'ndalang kesim yuzalar deformatsiyadan keyin qisman egrilanadi (6.7-rasm,v). Ko'ndalang kesimning bunday qisman egrilanishi normal kuchlanishning tarqalish qonuniyatiga ta'sir qilmaydi. Shuning uchun egilishda urinma kuchlanishni topishda tolalarning siljishi gipotezasi hisobga olinmaydi. Egilishda urinma kuchlanish formulasini keltirib chiqarish uchun, balkani  $C$  tayanch nuqtasidan  $X$  va kesimning neytral qatlamidan  $Z$  masofada joylashgan  $dx$  elementar uzunlikdagi qismini ajratib olamiz (6.8-rasm). Ajratib olingan to'g'ri burchakli elementning gorizontaal  $BB_1O_1O_2'$  yuzasi  $\tau'$  urinma kuchlanishlari; vertikal  $BKO_1O_1'$  yuzasi  $N_1$  va unga parallel yuzada  $N_2$  ichki bo'ylama kuchlari ta'sirida bo'ladi (6.8-rasm).  $BB_1O_1O_2'$  yuzadagi  $\tau'$  urinma kuchlanishlarining teng ta'sir qiluvchisi  $dT = \tau' b dx$  balkani bo'ylama o'qiga parallel yo'naladi.

$BO_1'$  qirraga ta'sir qilayotgan  $N_1$  bo'ylama kuch  $BKO_1O_1'$

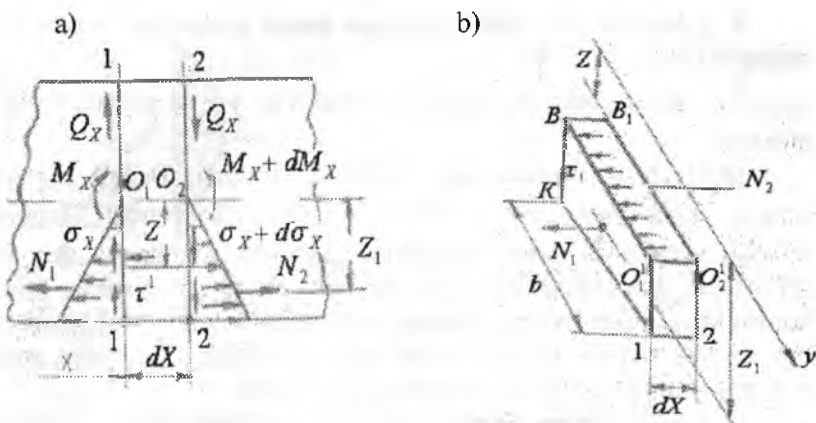


6.7-rasm. Egilishda urinma kuchlanishni aniqlashga oid: a) balka uchun ko'ndalang kuch va eguvchi moment epyurlari; b) urinma kuchlanishlarni juftlik alomati; v) egilishda balka kesim yuzasining egrilanishi.

yuzadagi  $\sigma_x$  normal kuchlanishlarning teng ta'sir qiluvchisi, ya'ni:

$$N_1 = \int_0^A \sigma_x dA = \frac{M_x}{I_y} \int_0^A Z_1 dA$$

Bu yerda integral  $\int_0^A Z_1 dA$  balkaning neytral qatlamidan  $Z$  masofada ajratib olingan  $BK'O_1$  yuzaning neytral o'q  $y$ -ga nisbatan statik momenti, ya'ni:  $S_y^0 = \int_0^A Z_1 dA$ . Unda  $N_1 = \frac{M_x}{I_y} \cdot S_y^0$  hosil bo'ladi  $B_1O_2$  qirraga ta'sir qilayotgan  $N_2$  ichki bo'yлама kuch  $\sigma_0 + d\sigma_x$



6.8-rasm. Balkaning elementar oraliqdagi qarama-qarshi kesim yuzalarida (a) ichki kuch faktorlari va cho'zuvchi kuchlanishlar; b) urinma kuchlanishni topish sxemasi.

normal kuchlanishlarning teng ta'sir qiluvchisi, ya'ni:

$$N_2 = \int_0^A (\sigma_x + d\sigma_x) dA = \frac{M_x + dM_x}{I_y} \int_0^A Z_1 dA = \frac{M_x + dM_x}{I_y} S_y^0$$

Ajratilgan olingan elementni muvozanat shartini yozamiz:

$$\Sigma x = N_1 + dT - N_2 = 0; \quad \frac{M_x}{I_y} \cdot S_y^0 + \tau^1 b dx - \frac{(M_x + dM_x)}{I_y} \cdot S_y^0 = 0$$

Ayrim soddalashtirishlardan keyin:  $\tau = \frac{dM_x}{dx} \cdot \frac{S_y^0}{I_y \cdot b}$  hosil bo'ladi.

Agar,  $\frac{dM_x}{dx} = Q_x$  differensial bog'lanishni hisobga olsak, e'gillishda

$$\text{urinma kuchlanish formulasi kelib chiqadi. } \tau = \frac{Q_x \cdot S_y^0}{I_y \cdot b} \quad (6.11)$$

bu yerda  $S_y^0$  - ajratib olingan elementning  $BKO_1$  yuzasini, ya'ni balkaning neytral o'qidan  $Z$  masofadan pastda va balka kesimining chetki 1 nuqtasidan yuqorida qolgan  $BKO_1'$  yuzasini neytral o'q  $u$  - ga nisbatan statik momenti;

$b$  - kuchlanishi tekshirilayotgan nuqta joylashgan kesim yuzasining eni

$I_y$  - balka kesim yuzasining neytral o'q  $y$  - ga nisbatan inersiya momenti.

(6.11) formula Juravskiy formulasi deyiladi. Demak, egilishda urinma kuchlanish ( $Q_x = const; I_y = const$ ) kesimning balandligi bo'ylab kuchlanishi tekshirilayotgan nuqtaning o'miga va shu nuqta joylashgan kesimning eni  $b$ -ga bog'liq ekan. Amaliyotda, hamma konstruksiya qismlarining kesimi ham balandligi bo'ylab o'zgaras enli bo'lavermaydi. O'zgaruvchan enli kesimlarda  $\tau$ , kesim enining o'zgarish nuqtasida ikki xil qiymatga ega bo'ladi.

(6.11) formulaga asosan,  $\tau$  kesimning balandligi bo'ylab egri chiziqli qonuniyat bilan o'zgaradi. 6.9-rasmdan ko'rinishicha  $Z$  masofa qanchalik kichik bo'lsa,  $BKO_1$  yuza shuncha kattalashadi, unda yuzani  $y$  -o'qiga nisbatan statik momenti ham qatnashadi. Demak, kuchlanishi tekshirilayotgan nuqta neytral o'qqa yaqinlashsa, undagi urinma kuchlanish  $\tau$  ham kattalashar ekan. Agar, kuchlanishi tekshirilayotgan nuqta  $B$  yoki  $O_1$  nuqtalar neytral o'qdan eng uzoqda joylashsa, ya'ni  $B$  nuqta 1 nuqta bilan ustma-ust tushsa, unda ajratilgan elementning yuzasi nolga teng bo'ladi,  $BKO_1$  yuzani  $y$  -o'qiga nisbatan statik momenti ham nolga teng bo'ladi. Demak,  $Z = Z_{max}$  nuqtada, ya'ni kesimning chetki nuqtasida urinma kuchlanish nolga teng bo'lar ekan.

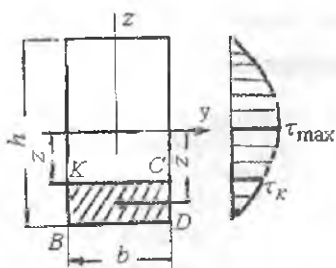
Urinma kuchlanish kesimning neytral qatlamida eng katta qiymatga va kesimning chetki nuqtalarida nol qiymatga erishar ekan.

To'g'ri to'rtburchak kesimida urinma kuchlanishning tarqalish qonuniyatini aniqlash uchun Juravskiy formulasidan foydalanamiz

$$\tau = \frac{QS_y^0}{I_y b}$$

bu yerda  $S_y^0$  - to'g'ri to'rtburchakning kesim yuzasidan ajratilgan  $BKCD$  shtrixlangan yuzaning  $y$ -o'qiga nisbatan static momenti, ya'ni

$S_y^0 = A_{BKSD} \cdot Z_1$   $A_{BKSD} = e \left( \frac{h}{2} - Z \right)$  - ajratilgan  $BKSD$  shtrixlangan yuza;



6.9-rasm. Urinma kuchlanishni tarqalish qonuniyati.

$$Z_1 = \frac{h}{2} - \frac{1}{2} \left( \frac{h}{2} - Z \right) \text{ - ajratilgan BKSD}$$

yuzaning og'irlik markazidan neytral o'qigacha bo'lgan masofa. Unda

$$S_y^0 = b \left( \frac{h}{2} - Z \right) \left[ \frac{h}{2} - \frac{1}{2} \left( \frac{h}{2} - Z \right) \right] = \frac{b}{2} \left( \frac{h^2}{4} - Z^2 \right)$$

$I_y = \frac{bh^3}{12}$  - to'g'ri to'rtburchakning markaziy o'qiga nisbatan inersiya momenti.

Unda

$$\tau = \frac{Q \cdot \frac{b}{2} \left[ \frac{h^2}{4} - Z^2 \right]}{\frac{bh^3}{12} \cdot b} = \frac{6Q \left[ \frac{h^2}{4} - Z^2 \right]}{bh^2} \quad (6.12)$$

Bu yerda, agar  $Z = 0$  bo'lsa  $\tau = \tau_{\max} = \frac{3Q}{2bh}$  va  $Z = \frac{h}{2}$  da  $\tau = 0$

(6.12) formulada  $Z$  masofa ikkinchi darajada, shuning uchun  $\tau$  to'g'ri to'rtburchakning balandligi bo'ylab parabola qonuniyati bilan o'zgaradi, to'g'ri to'rt burchakning chetki nuqtalarida  $\tau$ -nol qiymatga va neytral qatlamida eng katta qiymatga erishadi.

### Normal va urinma kuchlanish formulalarini turli kesimlarga tadbiiq etish

1. Uchburchak. Kesimning 1 va 2 nuqtalari neytral o'qdan uzoqda bo'lib, 1 nuqta cho'zilish va 2 nuqta siqilish toalarida joylashgan.

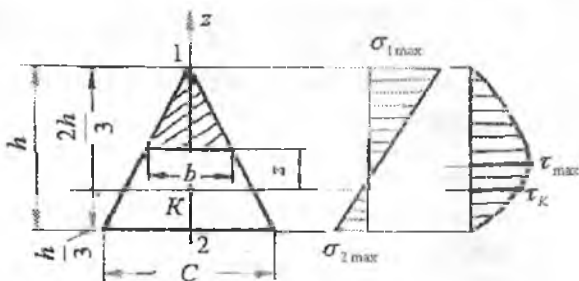
Mustahkamlik shart:  $\sigma_{1\max} = \frac{M_{\max}}{W_x^1} \leq [\sigma]; \quad \sigma_{2\min} = \frac{M_{\max}}{W_x^{11}} \leq [\sigma]$

bu yerda  $W_x^1 = \frac{bh^2}{24}$  va  $W_x^{11} = \frac{bh^2}{12}$  qarshilik momentlar

Uchburchakning kesimida urinma kuchlanishining tarqalish qonuniyatini

aniqlash uchun Juravskiy formulasidan foydalanamiz:  $\tau = \frac{QS_y^0}{I_y b}$

Uchburchakdan ajratilgan (shtrixlangan) yuzaning  $Y$  - o'qqa nisbatan statik momentini yozamiz:  $S_y^0 = \frac{b}{3} \left( \frac{2h}{3} - Z \right) \left( \frac{h}{3} + Z \right)$



*Uchburchak yuzasining balandligi bo'yicha normal va urinma kuchlanishlarni o'zgarish epyurasi*

Uchburchakning og'irlik markazidan o'tgan o'q  $y$  - ga nisbatan inertsiya momenti  $I_y = \frac{ch^3}{36}$  va statik momentni Juravskiy formulasiga

keltirib qo'yamiz:  $\tau = \frac{QS_y^0}{I_y b} = \frac{Q \cdot \frac{b}{3} \left( \frac{2h}{3} - Z \right) \left( \frac{h}{3} + Z \right)}{\frac{ch^3}{36} b} = \frac{12Q \left( \frac{2h}{3} - Z \right) \left( \frac{h}{3} + Z \right)}{ch^3}$

bu yerda  $-\frac{h}{3} \leq Z \leq \frac{2h}{3}$ .

Agar:  $Z = -\frac{h}{3}$  bo'lsa,  $\tau = 0$  (pastki chetki nuqta)

$Z = \frac{2h}{3}$  bo'lsa,  $\tau = 0$  (yuqori chetki nuqta)

$Z = 0$  bo'lsa,  $\tau = \frac{8}{3} \cdot \frac{Q}{ch} = \tau_k$   $Z = \frac{h}{6}$  masofada  $\tau = \tau_{\max} = \frac{3Q}{ch}$

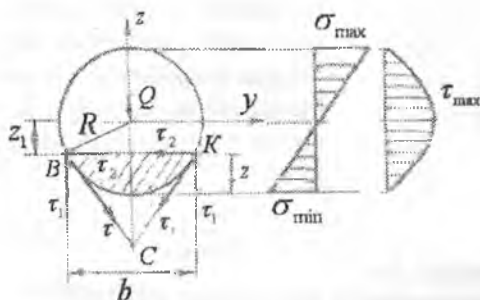
Demak, uchburchaksimon kesimlarda urinma kuchlanish neytral qatlamdan  $\frac{h}{6}$  - masofada joylashgan nuqtada maksimal qiymatga erishar ekan.

## 2. Doiraviy kesim. Kesimning qarshilik momenti:

$$W_x = W_y = \frac{\pi \cdot d^3}{32}$$

Mustahkamlik sharti  $\sigma_{\min} = \frac{32M_{\max}}{\pi \cdot d^3} \leq [\sigma]$

Neytral qatlamdan  $Z_1$  masofada joylashgan  $B$ ,  $K$  nuqtalaridagi urinma kuchlanishni topamiz. Bu nuqtalardagi urinma kuchlanishlar doiraviy kesimning shu nuqtasidagi urinma tekislik bilan bir xil yo'nalishda bo'ladi va  $Z$  o'qi bilan  $C$  nuqtada kesishadi.  $B$  va  $K$  nuqtalardagi  $\tau$  urinma kuchlanishlarni  $\tau_1$  va  $\tau_2$  kuchlanishlariga ajratish mumkin. Kesimning  $B$  va  $K$  nuqtalaridagi gorizontaal urinma kuchlanishlari ( $\tau_2$ ) o'zaro muvozanatlashadi,  $\tau_1$  urinma kuchlanishlarining yig'indisi esa ko'ndalang kuch  $Q$  ga tenglashadi. Demak, doiraviy kesimdagi  $\tau_1$  urinma kuchlanishlari to'g'ri burchakli kesimdagi to'liq urinma kuchlanish  $\tau$  bilan bir xil funksiyada bo'lar ekan.



*Doiraviy kesimning diametri balandligi bo'yicha normal va urinma kuchlanishlarni o'zgarish epyurasi*

Shuning uchun, doiraviy kesimlardagi urinma kuchlanishni topish uchun ham Juravskiy formulasiidan foydalanamiz, ya'ni

$$\tau = \frac{QS_y^0}{I_y b} \quad (6.13)$$

bu yerda  $S_y^0$  - doiraviy kesimning  $Z$  - masofa va kesimning chetki nuqtasi bilan chog'aralangan ajratilgan yuzasining neytral o'qqa nisbatan statik momenti.

$$S_y^0 = \frac{2}{3}(R^2 - Z^2)^{3/2} \quad \text{va} \quad b = 2\sqrt{(R^2 - Z^2)}$$

Doiraviy kesimning neytral o'qqa nisbatan inersiya momenti  $I_y = \frac{\pi \cdot R^4}{4}$ ,

ajratilgan yuzaning statik momenti  $S_y^0$  va kesimning eni  $b$  ni (6.13) formulaga qo'yamiz:



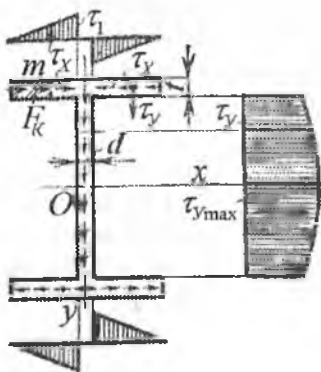
$$\tau = \frac{Q \frac{2}{3} (R^2 - Z^2)^{\frac{3}{2}}}{\frac{1}{4} \pi \cdot R^4 \cdot 2\sqrt{(R^2 - Z^2)}} = \frac{4Q}{3\pi \cdot R^4} (R^2 - Z^2) \quad (6.14)$$

bu yerda  $0 \leq Z \leq \pm R$  oraliqda o'zgaradi.

Agar,  $Z = 0$  bo'lsa  $\tau = \tau_{\max} = \frac{4Q}{3\pi \cdot R^2}$  ya'ni urinma kuchlanish

doiraviy kesimning neytral o'qida maksimal qiymatga erishadi.

Agar,  $Z = R$  bo'lsa  $\tau = 0$  ya'ni doiraviy kesimning chetki nuqtasida urinma kuchlanish nolga teng bo'ladi. (6.14) formulaga asosan,  $\tau$  doiraviy kesimni diametri bo'ylab parabola qonuni bilan o'zgarar ekan.



*Qo'shtavr kesimining balandligi va polkasining eni bo'yicha urinma kuchlanish epyurasi*

**3. Qo'shtavrli kesim.** Qo'shtavrli kesim oddiy to'g'ri to'rtburchaklardan tashkil topgan. Shuning uchun qo'shtavrli kesimning neytral o'qidan  $y$  masofada joylashgan nuqtasining urinma kuchlanishini Juravskiy formulasi bilan aniqlash mumkin:

$$\tau = \frac{QS_x^0}{I_x b(d)} \quad (6.15)$$

bu yerda  $S_x^0$  - neytral o'qdan  $y$  va qo'shtavrli kesimning chetki nuqtalari oralig'ida qolgan yuzaning neytral o'q  $x$ - ga nisbatan statik momenti:

$$\tau_B = \frac{Qt(h-t)}{2I_x} \quad \tau_1 = \frac{Qt(h-t)b}{2I_x \cdot d}$$

$b$  - kuchlanishi tekshirilayotgan nuqta joylashgan kesimning eni.

Qo'shtavrli kesim supachasining eni bo'ylab, urinma kuchlanish bir xil emas. Shuning uchun qo'shtavrning supachasidagi urinma kuchlanish Juravskiy formulasi bilan topilishi mumkin emas. Qo'shtavr supachasining  $y$  o'qiga yaqin yuzasida urinma kuchlanish tahminan egri

chiziq qonuni bilan tarqaladi deb qabul qilish mumkin ( $\tau$  - epyurasidagi punktir chiziq).

Qo'shtavming supachasi neytral o'qdan uzoq masofada joylashganligi uchun, bu yuza asosan normal kuchlanishlar ta'sirida bo'ladi. Qo'shtavr devoriy qismidan neytral o'qqa yaqinlashgan sayin normal kuchlanish kichiklashib keladi va neytral o'q ustida  $\sigma = 0$ . Qo'shtavr devorining  $K$  nuqtasidagi urinma kuchlanishni topish uchun shtrixlangan yuzaning statik momentini

yozamiz. 
$$S_x^0 = bt \left( \frac{H-t}{2} \right) + \frac{d}{2} \left( \frac{h_1^2}{4} - y^2 \right)$$

Urinma kuchlanish: 
$$\tau = \frac{Q}{2I_x d} \left[ bt(H-t) + d \left( \frac{h_1^2}{4} - y^2 \right) \right] \quad (6.16)$$

bu yerda  $I_x = \frac{d \cdot h_1^3}{12} + 2 \left[ \frac{b \cdot t^3}{12} + bt \left( \frac{H-t}{2} \right)^2 \right]$  - qo'shtavr kesimining neytral o'q  $x$  - ga nisbatan inersiya momenti,  $d$  - kuchlanish tekshirilayotgan nuqta joylashgan kesimning eni.

(6.16) formulaga asosan, qo'shtavr devorining balandligi bo'ylab  $\tau$  parabola qonuniyati bilan o'zgarar ekan

Agar,  $u = 0$  bo'lsa  $\tau = \tau_{\max} = \frac{Q}{2I_x d} \left[ bt(H-t) + \frac{d^2}{4} \right]$  va

$$y = \frac{h_1}{2}; \quad \tau = \tau_1 = \frac{Qbt(H-t)}{2I_x d}$$

Qo'shtavming supachasiga nisbatan devorida  $y$ -ni turli qiymatida  $S_x^0$  kichik chegarada o'zgaradi. Shuning uchun, qo'shtavmi devorida urinma kuchlanish juda katta. Demak, qo'shtavming devori asosan urinma kuchlanishlar ta'siridadir. Bu kuchlanishlar  $y$  o'qiga parallel yo'nalishda bo'ladi.

Urinma kuchlanishlarning juftlik alomatiga ko'ra, qo'shtavrning devoriga perpendikulyar yuza - supachada ham kesimni neytral o'qiga parallel yo'nalgan urinma kuchlanishlar hosil bo'ladi va quyidagi

formula bilan topiladi: 
$$\tau_n = \frac{QS_x^0}{I_x t_n}$$

Qo'shtavr supachasidan ajratib olingan,  $x$ -uzunlikdagi shtrixlangan yuzaning statik momentini topamiz:  $S_x^0 = x \cdot t \frac{H-t}{2}$  shuning uchun

$$\tau_n = \frac{Q \cdot x(H-t)}{2I_x} \quad (6.17)$$

(6.17) formulada  $y$ - birinchi darajada bo'lganligi uchun  $\tau_n$ , supachaning uzunligi bo'ylab to'g'ri chiziqli qonuniyat bilan o'zgaradi  $x=0$  bulsa  $\tau=0$  va  $x=b_1$ ;

$$\tau_{n \max} = \frac{Qb_1(H-t)}{2I_x}$$

Demak,  $\tau_n$  qo'shtavr supachasining  $u$  o'qga yaqin yuzasida eng katta qiymatga ega ekan.

### 6.3. Egilish markazi

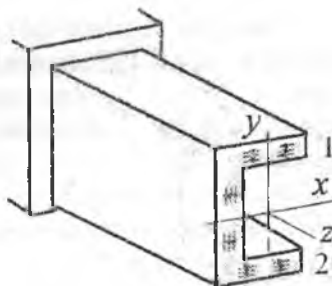
Ayrim profillarda urinma kuchlanishlarning oqimi kesim yuzaning markazidan o'tadi. Masalan: doira, to'rtburchak, qo'shtavr, uchburchak. Ochiq profilli ayrim kesimlarda (shvellar, burchak, halqasimon kesim va h.k.) urinma kuchlanishlar to'plami (6.10-rasm, a) profilning og'irlik markazidan o'tmaydi. Natijada, kuchlanishlar to'plami kesimning og'irlik markaziga nisbatan  $M_\delta$  - moment hosil qiladi:  $M_\delta = QX + T(h-t)$ , bu yerda  $X$  - shvellar devorining qalinligi  $-\delta$  ning yarmidan og'irlik markazi  $O$  nuqttagacha bo'lgan masofa (6.10-rasm, v)  $X = \frac{b^2}{2b+h}$ , va

$$T = \frac{\tau_{\max} \cdot n + 0}{2} t b_1 = \frac{Q b_1^2 (h-t)}{4I_y} t$$

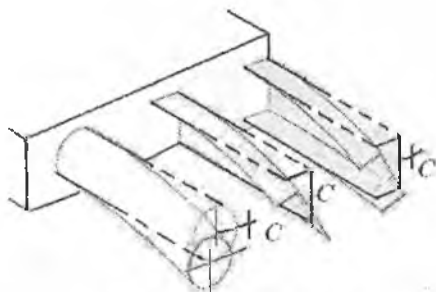
shvellar supachasidagi urinma kuchlanishlarning teng ta'sir qiluvchisi.  $M_\delta$  - burovchi moment ta'sirida ochiq profilli element buraladi.

Natijada element egilish bilan birga buralishga (6.10-rasm, b) ham uchraydi. Ochiq profilli elementning kuchlanganlik holati murakkablashadi. Agar urinma kuchlanishlarning teng ta'sir qiluvchilari -  $Q$  ko'ndalang kuch va  $T$  tangentsial kuchlarning kesimdan tashqaridagi biror nuqtaga nisbatan momentlarini nolga tenglashtirib,  $M_\delta$  burovchi momentni muvozanatlashtirilsa ochiq profilli elementning buralishini cheklab qo'yish mumkin.

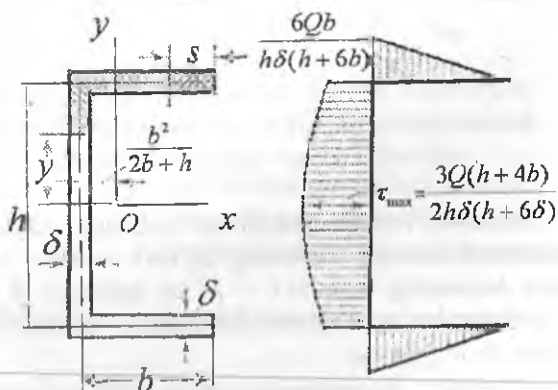
a)  
 urinma  
 kuchlanishlar  
 potoki va  
 ularnig  
 yo'nalishi



b)  
 urinma  
 kuchlanishlar  
 momenti ta'-  
 sirida pro-  
 filning defor-  
 matsiyasi



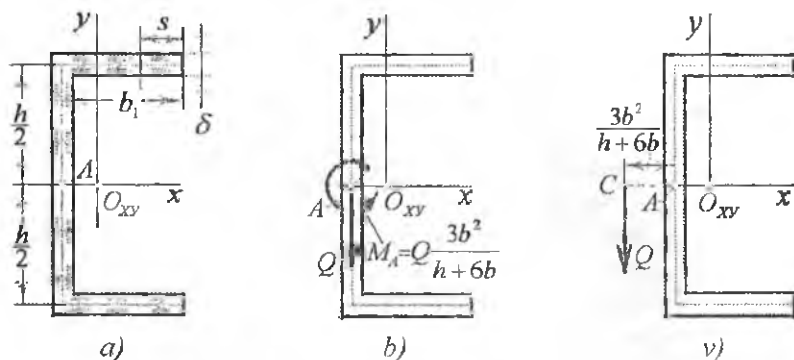
v)  
 shveller  
 kesim yuza-  
 sida urinma  
 kuchlanishni  
 aniqlash  
 va uning  
 tarqalish  
 qonuniyatiga  
 oid



6.10-rasm.

$$\sum M_s = Q\ell - T(h-t) = 0 \quad \text{va} \quad \ell = \frac{T(h-t)}{Q} = \frac{b_1^2(h-t)(h-t)}{4 \cdot I_y} t \quad (6.18)$$

Bu nuqta egilish markazi deyiladi va  $Q$  ko'ndalang kuchdan  $\ell$ -masofada joylashadi (6.11-rasm). Egilish markazi deb, ichki kuch momentlarining yig'indisi nolga teng bo'lgan nuqtaning holatiga ayti-ladi. Egilish markazi kesim yuzasidan tashqarida joylashadi. Egilish markaziga shunday kuch qo'yiladiki, bu kuch ichki kuchlarning profil kesimining og'irlik markaziga nisbatan momentlarini muvozanatlashti-radi. Demak, egilish markaziga nisbatan tashqi va ichki kuchlar momentlarining yig'indisi nolga teng bo'ladi



6.11-rasm. Egilish markazini aniqlash sxemalari: a) urinma kuchlanishlar oqimi; b) urinma kuchlanishlarning teng ta'sir qiluvchilari; v) egilish markazining koordinatasi.

**Misol-4.** Vertikal tekislikda egilishga uchraydigan yupqa devorli halqasimon kesimli balkaning og'irlik markazi topilsin. Yarim halqasimon kesimning radiusi  $r = 25 \text{ sm}$ , qalinligi  $\delta = 0.25 \text{ sm}$ .  $Q = 70 \text{ kN}$  ko'ndalang kuch ta'siridan kesimning urinma kuchlanish epyurasini quring (6.12 - rasm).

**Yechish.** Kesimdagi barcha urinma kuchlarning teng ta'sir qiluvchisini ko'ndalang kuch  $Q$  deb qabul qilamiz. Yarim halqasimon kesimdan ajratilgan elementar yuzachadagi urinma kuch:

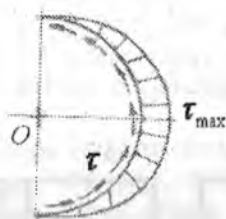
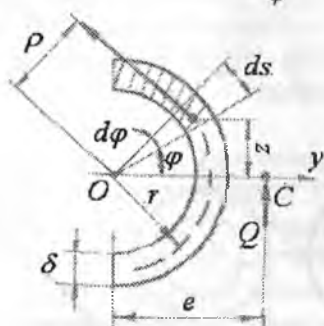
$dI' = \tau \cdot dA = \tau \cdot \delta \cdot ds$  ni  $O$  nuqtaga nisbatan momenti  $Q$  kuchning shu nuqtaga nisbatan momentiga teng bo'ladi,

ya'ni:  $Q\ell = \int^S dT \cdot \rho = \int^S \tau \cdot \delta \cdot dS \rho = \int^S \frac{QS_y^0}{I_y \delta} \delta \cdot \rho \cdot dS$ . Chizmadan (6.12-rasm)  $\rho = r$ ;  $dS = r d\varphi$  va ajratilgan elementar yuzaning  $y$  o'qiga

nisbatan statik momenti:  $S_y^0 = \int^A Z dA = \int^{\frac{\pi}{2}} r \sin \varphi \cdot \delta \cdot r \cdot d\varphi = r^2 \delta \cos \varphi$

va  $\ell = \frac{1}{I_y} \int^S S_y^0 \rho \cdot dS$ . Chizmadan  $\rho = r$ ,  $ds = r \cdot d\varphi$  va ajratilgan elementar yuzani  $y$  o'qiga nisbatan statik momenti

$$S_y = \int^A z \cdot dA = \int^{\frac{\pi}{2}} r \cdot \sin \varphi \cdot \delta \cdot r \cdot d\varphi = r^2 \cdot \delta \cdot \cos \varphi$$



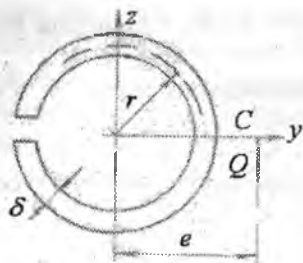
6.12-rasm. Yarim halqasimon kesimda urinma kuchlanishlar oqimi va tarqalish qomuniyati.

Yarim halqasimon kesimning  $y$  - o'qiga nisbatan inersiya momenti:

$$I_y = \int^A Z^2 dA = 2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} (r \sin \varphi)^2 \delta \cdot r d\varphi = \frac{\pi \cdot r^3 \delta}{2}$$

$$\text{Unda } \ell = \frac{1}{I_y} \int^S S_y^0 \rho dS = \frac{2}{I_y} \int_0^{\frac{\pi}{2}} r^2 \delta \cos \varphi \cdot r \cdot r d\varphi = \frac{2r^4 \delta}{I_y} = \frac{4r}{\pi}$$

Demak, yarim halqasimon kesimning egilish markazi  $O$  nuqtadan  $\ell = \frac{4r}{\pi}$  masofada joylashgan  $S$  nuqtada bo'ladi.



6.13-rasm. Doiraviy kesimli ochiq profil.

Kesimning istalgan nuqtasidagi urinma kuchlanishni topamiz:

$$\tau = \frac{QS_y^0}{I_y \delta} = \frac{Q \cdot r^2 \cos \varphi}{I_y} = \frac{2Q \cos \varphi}{\pi \cdot r \delta}$$

Eng katta urinma kuchlanish:

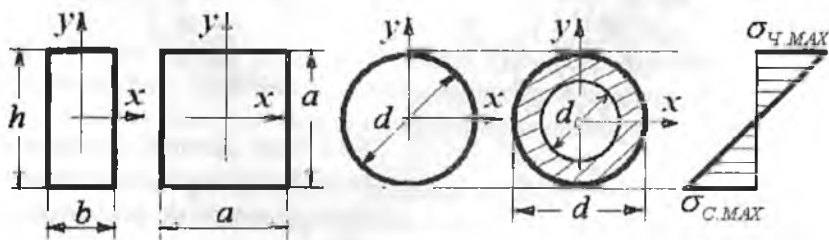
$$\tau_{\max} = \frac{2Q}{\pi \cdot r \delta} = \frac{2 \cdot 7000}{3,14 \cdot 25 \cdot 0,25} = 715 \text{ kg/cm}^2$$

Kesilgan halqa uchun  $\ell$  ni topamiz:

$$S_y = r^2 \delta (1 - \cos \varphi); \quad I_y = \pi \cdot r^3 \delta$$

Unda  $\ell = 2r$  hosil bo'ladi.

**Ratsional kesim.** Qarshilik moment – egilishga ishlovchi brusni mustahkamlikka geometrik xarakteristikasi. Qarshilik moment qancha katta bo'lsa, ko'ndalang kesimdagi kuchlanish shuncha kichiklashadi (bir xil yuklanishda) va berilgan ruxsat etilgan kuchlanishda katta kuchni qabul qilib xavfsiz ishlashi mumkin.



To'g'ri burchak, kvadrat, aylana va halqali kesimlarning qarshilik momentlarini bosh markaziy inersiya momentlaridan foydalanib topamiz:

to'g'ri to'rtburchak  $W_x = \frac{b \cdot h^2}{6}$ , kvadrat  $W_x = \frac{a^3}{6}$ ,

aylana  $W_x = \frac{I_x}{\frac{d}{2}} = \frac{\pi \cdot d^3}{32}$  va halqa  $W_x = \frac{I_x}{\frac{d}{2}} = \frac{\pi \cdot d^3}{32} (1 - c^4)$

$h$  - to'g'ri to'rtburchak inersiya momenti olingan  $x$ -o'qiga perpendikulyar joylashgan kesimni balandligi. Kesimi simmetrik bo'lgan plastik materiallardan tayyorlangan balkalar cho'zilish va siqilishga bir

xil qarshilik ko'rsatadi, shuning uchun bu kesimlarda  $\sigma_{x, \max} = \sigma_{C, \max}$ . Amalda hamma simmetrik kesimlar ham ratsional emas. Masalan, doiraviy kesimda materialning asosiy qismi kam yuklangan – kichik kuchlanishli neytral qatlam atrofida joylashadi. Bu material to'liq foydalanilmaydi. Bu masalada kvadrat kesim ozroq qulaydir. Qo'shtavr profilining kesimi ratsionaldir, chunki materialni asosiy qismi – polkada, ya'ni eng katta kuchlanishlar tomonida joylashgan. Qo'shtavr devorining asosiy vazifasi kesimning monolitligini ta'minlashdir.

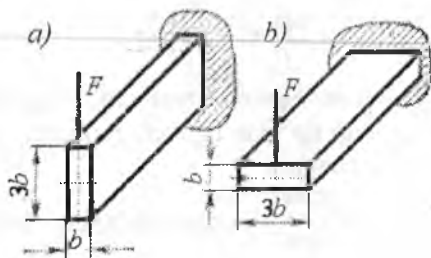
Berilgan uzunlikdagi balka materialining sarfi ko'ndalang kesim yuzaga to'g'ri proporsionaldir. Shuning uchun,  $W_x$  - qancha katta va kesim yuza kichik bo'lsa, balka kesimining shakli ratsionaldir. Kesimni ratsionalligini baholovchi o'lchov birliksiz xarakteristika qabul qilamiz:

$$\omega_x = \frac{W_x}{\sqrt{A}}$$

Bu yerda  $\omega_x$  - solishtirma qarshilik momenti;  $A$  - kesim yuza.

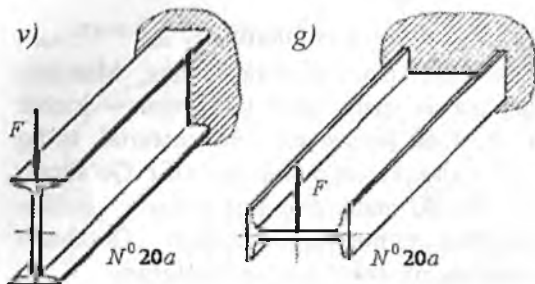
Solishtirma qarshilik momenti aylana uchun  $\omega_x = 0,141$ ; halqa uchun  $\omega_x = 0,294$  ( $s = 0,7$ ); №10 qo'shtavr  $\omega_x = 0,955$  va №20 qo'shtavr  $\omega_x = 1,33$ .

Kesimni tashqi kuchning ta'sir chiziqiga nisbatan joylashuviga ko'ra mustahkamlik o'zgaradi (yuk o'zgarmas). Masalan,  $h : b = 3$  nisbatda bo'lgan to'g'ri to'rt burchak brus uchun ruxsat etilgan yuk, kesimni  $90^\circ$  ga aylantirgandagi holatiga nisbatan uch barobar ko'p. Shunga o'xshash №20 qo'shtavr uchun ham profilni  $90^\circ$  ga aylantirilganda 7,2 marotaba kam kuchni qabul qiladi. Demak, kuch chiziqi minimal inersiya o'qi bilan ustma-ust tushishi kerak ekan. Shunda egilish – katta bikrlilik tekisligida hosil bo'ladi.



Mashinasozlik konstruksiyalarida, masalan, har xil ramalar, stanoklar, podshipniklarning podveskalarini tayyorlashda mo'rt materialkullrang cho'yan ishlatiladi. Kulrang cho'yan cho'zilish-



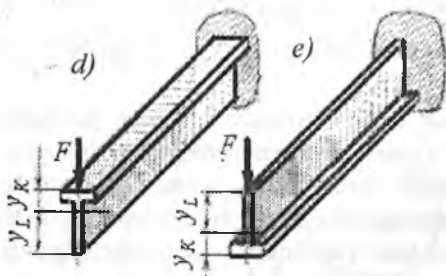


ga nisbatan siqilishga ko'proq qarshilik ko'rsatadi. Shuning uchun

$$\frac{|\sigma_c|}{|\sigma_t|} = 3 \dots 4,5. \quad \text{Bunda,}$$

simmetrik kesimdan foydalanish noqulay, chunki siqiladigan.

a), b) to'rtburchak va v), g) qo'shtavr tomon materiali kam yuklanadi va ortiqcha material sarflanishiga olib keladi. Shuning uchun mo'rt materiallardan tayyorlangan konstruksiya elementining kesimi nosimmetrik tavrli,  $\Pi$  - shaklli va nosimmetrik qo'shtavr bo'lishi kerak.



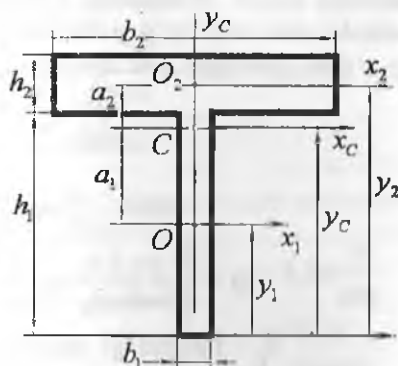
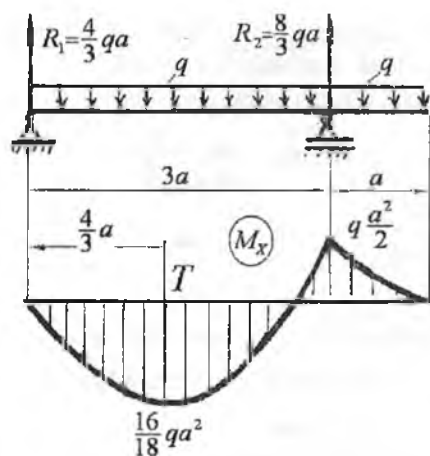
Bunday kesimlarni shunday joylashtirish kerakki, materialni asosiy qismi chiq'ziladigan tomonda joylashsin. Masalan, d-rasmda ko'rsatilgan tavrli kesim e-rasmda

ko'rsatilgan tavrli kesimdan 2,22 marotaba ko'p yukni ko'taradi. Bu holatni aniqlash uchun  $\frac{y_K}{y_C} = \frac{|\sigma_y|}{|\sigma_c|}$  tenglikdan foydalanildi:

$$\sigma_{\max, y} = \frac{M_{\max}}{I_x} \cdot y_K \leq [\sigma] \quad \text{va} \quad \sigma_{\max, c} = \frac{M_{\max}}{I_x} \cdot y_C \leq [\sigma_c]$$

Bu shart balka uzunligi bo'yicha eguvchi moment o'zgarmas bo'lsa samarali bo'ladi. Balkani uzunligi bo'ylab eguvchi moment o'zgaruvchan bo'lgan hol uchun misol yechamiz.

**Misol.**  $|\sigma_y| = 40 \frac{N}{mm^2}$  va  $|\sigma_c| = 120 \frac{N}{mm^2}$  kuchlanishlardan foydalanib cho'yon balka uchun ruxsat etilgan yuk hisoblansin.



*Berilgan balkaning kesim yuzasi*

**Yechish.** 1. Kesimni geometrik xarakteristikalarini hisoblaymiz. Buning uchun uni ikkita to'g'ri to'rtburchakka ajratamiz va og'irlik markazini topamiz:

$$y_c = \frac{A_1 \cdot y_1 + A_2 \cdot y_2}{A_1 + A_2} = 11 \text{ sm}$$

bu yerda  $h_1 = 120 \text{ mm}$ ;  $b_1 = 15 \text{ mm}$ ;  $h_2 = 30 \text{ mm}$ ;  $b_2 = 120 \text{ mm}$ ;  $y_1 = 60 \text{ mm}$ ;  $y_2 = 135 \text{ mm}$ ;  $A_1 = 1,5 \cdot 12 = 18 \text{ sm}^2$  va  $A_2 = 3 \cdot 12 = 36 \text{ sm}^2$

$x_c, y_c$  - bosh markaziy o'qlarga nisbatan kesimni inersiya momentini hisoblaymiz:

$$I_y = I_{y1}^1 + I_{y2}^1 = \frac{b_1^3 \cdot h_1}{12} + \frac{b_2^3 \cdot h_2}{12} = \frac{12 \cdot (1,5)^3}{12} + \frac{3 \cdot (12)^3}{12} = 435 \text{ sm}^4$$

$$I_x = I_{x1}^1 + a_1^2 \cdot A_1 + I_{x2}^1 + a_2^2 \cdot A_2 = \frac{b_1 \cdot h_1^3}{12} + (5)^2 \cdot 1,5 \cdot 1,2 + \frac{b_2 \cdot h_2^3}{12} + (2,5)^2 \cdot 12 \cdot 3 =$$

$$= \frac{1,5 \cdot (12)^3}{12} + 450 + \frac{12 \cdot (3)^3}{12} + 225 = 918 \text{ sm}^4$$

bu yerda  $a_1 = y_c - y_1 = 11 - 6 = 5 \text{ sm}$ ;

$a_2 = y_2 - y_c = 13,5 - 11 = 2,5 \text{ sm}$

2. Balkani xavfli va ratsional kesimini tanlaymiz. Eng katta eguvchi moment  $T'$  - kesimda hosil bo'ladi. Bu kesimda yuqori qatlam materiali siqiladi. Kesimni neytral o'qiga nisbatan polka tomondagi materialning og'irligi  $112,5 \text{ kG}$  bo'lib, polkaga qarama-qarshi tomonda joylashgan materialning og'irligidan ( $49,5 \text{ kG}$ ) - 2,273 marotaba katta.

Shuning uchun kesimning polkasini pastda joylashtirish lozim. Bu holatda materialni ko'p qismi cho'ziladigan tomonda joylashadi.

Cho'ziladigan tola bo'yicha ruxsat etilgan yukni hisoblaymiz:

$$\sigma_{\max, y} = \sigma_K = \frac{M_T}{I_X} \cdot y_K \leq [\sigma] \quad \text{bu yerda} \quad M_T = \frac{16}{18} q \cdot a^2$$

$$\text{unda} \quad \sigma_{\max, y} = \frac{16q \cdot a^2}{18 \cdot I_X} \cdot y_K \leq [\sigma] \quad \text{va}$$

$$q = \frac{18 \cdot [\sigma] \cdot I_X}{16 \cdot a^2 \cdot y_K} = \frac{18 \cdot 40 \cdot 918 \cdot 10^4}{16 \cdot (1000)^3 \cdot 40} = 10,33 \frac{N}{mm}$$

$T$  - kesimdagi siquvchi va cho'zuvchi kuchlanishlar:

$$\sigma_C = \sigma_L^T = \frac{M_T}{I_X} \cdot y_L = \frac{16 \cdot 10,33 \cdot 10^6 \cdot 110}{918 \cdot 10^4} \approx 110 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_q = \sigma_K^T = \frac{M_T}{I_X} \cdot y_K = \frac{16 \cdot 10,33 \cdot 10^6 \cdot 40}{918 \cdot 10^4} \approx 40 \frac{N}{mm^2}$$

Balkani  $B$  - tayanch kesimida neytral o'qdan yuqori qatlam materiali cho'ziladi, pastki qatlam materiali siqiladi. Unda polka siqiladigan material tomonida joylashadi. Bu kesimda eguvchi moment  $M_B = q \cdot \frac{a^2}{2}$  ga teng. Mustahkamlik shart cho'ziladigan material uchun quyidagicha yoziladi.

$$\sigma_{\max, y} = \frac{M_B}{I_X} \cdot y_L \leq [\sigma] \quad \text{yoki} \quad \sigma_{\max, y} = \frac{q \cdot a^2}{2 \cdot I_X} \cdot y_L \leq [\sigma]$$

$$\text{Bu yerdan} \quad q = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot I_X}{a^2 \cdot y_L} = \frac{2 \cdot 918 \cdot 10^4}{16 \cdot 110} = 6,68 \frac{N}{mm}$$

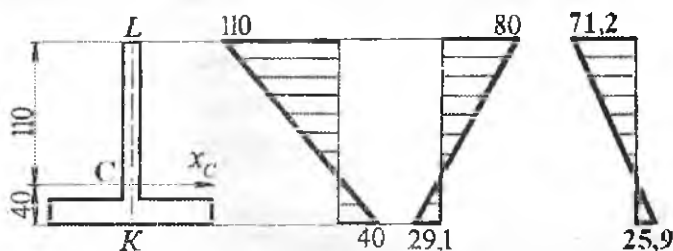
$B$  - kesimdagi siquvchi va cho'zuvchi kuchlanishlar:

$$\sigma_C = \sigma_K^B = \frac{M_B}{I_X} \cdot y_K = \frac{6,68 \cdot 10^6 \cdot 40}{918 \cdot 10^4} \approx 29,1 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_q = \sigma_L^B = \frac{M_B}{I_X} \cdot y_L = \frac{6,68 \cdot 10^6 \cdot 110}{918 \cdot 10^4} \approx 80 \frac{N}{mm^2}$$

Ushbu nuqtalardagi kuchlanishlarni  $q = 10,33 \frac{N}{mm}$  kuch ta'sirida hisoblansa  $\sigma_L^B = 123,75 \frac{N}{mm^2} > [\sigma_c]$  va  $\sigma_K^B = 45 \frac{N}{mm^2} > [\sigma_q]$  hosil bo'ladi. Ruxsat etilgan yukni  $q = 6,68 \frac{N}{mm}$  qabul qilamiz.

Normal kuchlanish epyurlari			
Tavr profili	$T$ - kesim	$B$ - kesim	$q = 6,68 \frac{N}{mm}$ yukda $T$ - kesim



*Turli kesimlardagi normal kuchlanish epyurlari*

3. Qo'shtavr profilning polkasini yuqorida joylashgan holat uchun ruxsat etilgan yukni hisoblaymiz.

Cho'ziladigan tola bo'yicha ruxsat etilgan yukni hisoblaymiz:

$$\sigma_{\max, n} = \sigma_L = \frac{M_T}{I_x} \cdot y_L \leq [\sigma]_L \quad \sigma_{\max, n} = \frac{16q \cdot a^2}{18 \cdot I_x} \cdot y_L \leq [\sigma]_L$$

$$\text{bu yerdan } q = \frac{18 \cdot [\sigma_q] \cdot I_x}{16 \cdot a^2 \cdot y_L} = \frac{18 \cdot 40 \cdot 918 \cdot 10^4}{16 \cdot (1000)^3 \cdot 110} = 3,76 \frac{N}{mm}$$

$T$  - kesimdagi siquvchi va cho'zuvchi kuchlanishlar:

$$\sigma_c = \sigma_K^T = \frac{M_T}{I_x} \cdot y_K = \frac{16}{18} \cdot 3,76 \cdot 10^6 \cdot 40 = 14,56 \frac{N}{mm^2}$$

$$\sigma_y = \sigma_L^T = \frac{M_T}{I_y} \cdot y_L = \frac{16 \cdot 3,76 \cdot 10^6 \cdot 110}{918 \cdot 10^4} = 40 \frac{N}{mm^2}$$

Balkani  $B$  - tayanch kesimida neytral o'qdan yuqori qatlam materiali cho'ziladi. Unda polka cho'ziladigan material tomonida joylashadi. Mustahkamlik shart cho'ziladigan material uchun quyidagicha yoziladi

$$\sigma_{\max, y} = \frac{M_B}{I_x} \cdot y_K \leq [\sigma], \quad \text{yoki} \quad \sigma_{\max, y} = \frac{q \cdot a^2}{2 \cdot I_x} \cdot y_K \leq [\sigma]$$

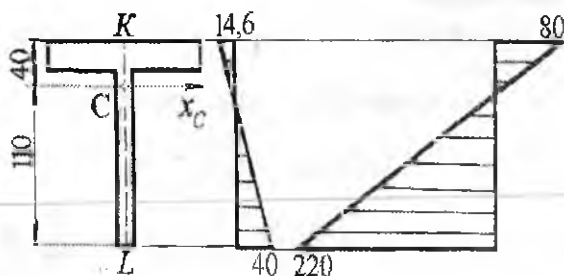
bu yerdan  $q = \frac{2 \cdot [\sigma] \cdot I_x}{a^2 \cdot y_K} = \frac{2 \cdot 918 \cdot 10^4}{16 \cdot 40} = 18,36 \frac{N}{mm}$

$B$  - kesimdagi siquvchi va cho'zuvchi kuchlanishlar:

$$\sigma_y = \sigma_K^B = \frac{M_B}{I_x} \cdot y_K = \frac{18,36 \cdot 10^6 \cdot 40}{918 \cdot 10^4} \approx 80 \frac{N}{mm^2} > [\sigma_y]$$

$$\sigma_C = \sigma_L^B = \frac{M_B}{I_x} \cdot y_L = \frac{18,36 \cdot 10^6 \cdot 110}{918 \cdot 10^4} \approx 220 \frac{N}{mm^2} > [\sigma_C]$$

Normal kuchlanish epyurlari		
Tavr profili	$T$ - kesim	$B$ - kesim



Ushbu nuqtalardagi kuchlanishlarni

$q = 3,76 \frac{N}{mm}$  kuch ta'sirida hisoblaymiz

$$\sigma_L^B = 45 \frac{N}{mm^2} < [\sigma_C]$$

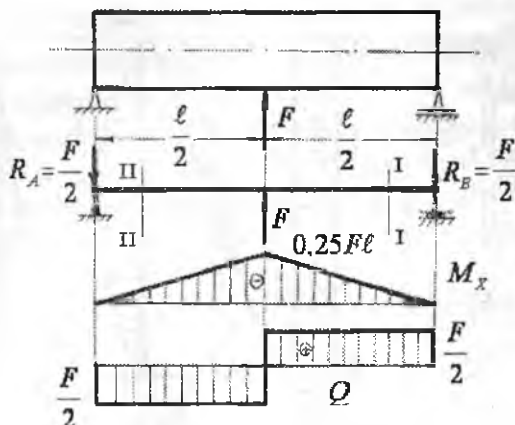
va

$$\sigma_K^B = 16,4 \frac{N}{mm^2} < [\sigma_y]$$

hosil bo'ladi.

*Turli kesimlardagi normal kuchlanish epyurlari*

#### 6.4. Balka mustahkamligini bosh kuchlanishlar bo'yicha tekshirish



6.14-rasm. Balkani berilgan yuklanish sxemasi uchun eguvchi moment va ko'ndalang kuch epyurlari

Egilayotgan balking ko'ndalang kesim yuzasida normal  $\sigma$  va urinma kuchlanish  $\tau$  hosil bo'lishini ko'rib o'tgan edik. Normal kuchlanishning eng katta qiymati balka kesimining neytral o'qidan eng uzoqda joylashgan nuqtalarida, ya'ni kesimning chetki nuqtalarida hosil bo'ladi. Bu nuqtalarda urinma kuchlanish nolga teng. Urinma kuchlanish eng katta qiymaga erishgan balking neytral qatlamida joylashgan materialda normal kuchlanish nolga teng. Shuning uchun kesimning neytral o'qidan eng uzoqda joylashgan tolalarining mustahkamligi

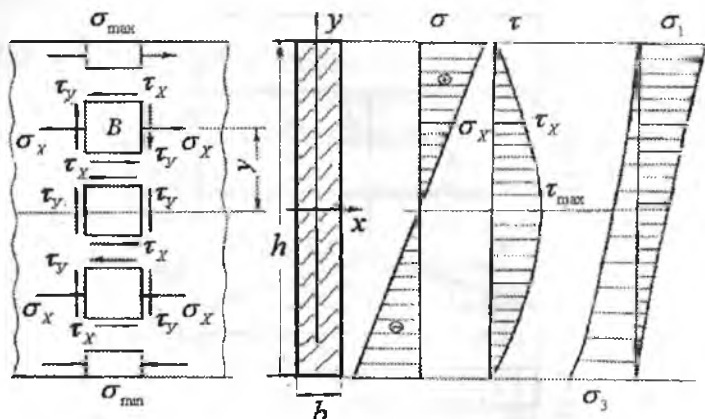
normal kuchlanishlar bo'yicha ta'minlanadi: 
$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W} \leq [\sigma]$$

Balka kesimining neytral qatlamida joylashgan materialning mustahkamligi urinma kuchlanishlar bo'yicha ta'minlanadi:

$$\tau_{\max} = \frac{Q_{\max} \cdot S_{\max}}{I_x d} \leq [\tau]$$

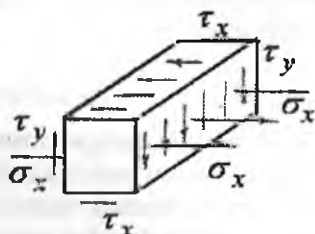
Balka kesimining neytral o'qidan  $y$  masofada joylashgan materialining (B element) (6.15-rasm) mustahkamligini normal kuchlanishlar bo'yicha ham, urinma kuchlanishlar bo'yicha ham ta'minlash mumkin emas. Chunki B elementda  $\sigma$  va  $\tau$  lar noldan farqli bo'lganligi uchun bu elementning mustahkamligi yuqorida keltirilgan egilishdagi normal

va urinma kuchlanishlar bo'yicha mustahkamlik shartlariga bo'ysunmaydi.



6.15-rasm. Balka kesimining balandligi bo'ylab normal va urinma hamda bosh normal kuchlanishlarni tarqalish qonuniyati

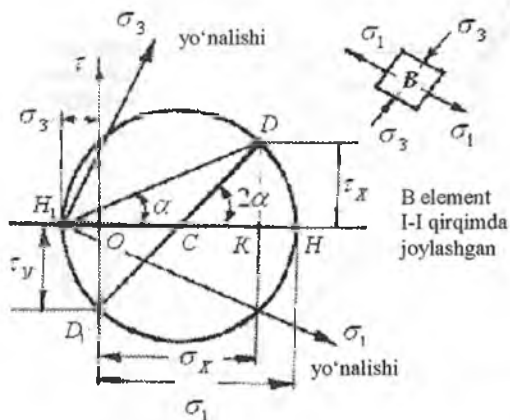
Ajratilgan B elementning old qismi – balkaning yon sirtiga ustma - ust tushadi va bu yuza normal va urinma kuchlanishlardan ozod, shuning uchun bu yuzacha bosh yuza. B elementni vertikal yuzalari  $\sigma_x$  va  $\tau_y$  kuchlanishlari, gorizontaal yuzasi esa faqat  $\tau_x$  urinma kuchlanishi ta'sirida bo'ladi. Demak, B elementning kuchlanganlik holati murakkab bo'lib, tekis kuchlanganlik holatiga to'g'ri keladi (6.16-rasm). Tekis kuchlanganlik holatida bo'lgan elementning mustahkamligi bosh kuchlanishlarga bog'liq bo'lib, mustahkamlik nazariyalari asosida tekshiriladi.



6.16-rasm

Tekis kuchlanganlik holatidagi elementda uchta bosh normal kuchlanishlardan bittasi (masalan  $\sigma_2 = 0$ ) nolga teng.  $\sigma_1$  va  $\sigma_3$  bosh normal kuchlanishlarni, berilgan  $\sigma_x; \tau_x = -\tau_y$  kuchlanishlari yordamida Mor doirasini qurish usuli bilan topamiz (6.17- rasm). Buning uchun  $\sigma\tau$  koordinata sistemasini olamiz.

Koordinata boshidan ( $O$  nuqtadan) kuchlanishlar masshtabida  $\sigma_x = OK$  masofani,  $K$  nuqtadan  $\sigma$  o'qiga perpendikulyar tekislikda musbat ishorali urinma kuchlanish  $\tau_x = KD$  joylashtiriladi. B elementning gorizontaal yuzadagi normal kuchlanish  $\sigma_y = 0$  bo'lganligi uchun bu kuchlanish  $\sigma\sigma\tau$  koordinata sistemasining  $O$  nuqtasida joylashadi.  $O$  nuqtadan  $\tau$  o'qining manfiy tomoniga  $\tau_y = OD_1$  kuchlanishini joylashtirib,  $D$  va  $D_1$  nuqtalarni birlashtirsak Mor doirasining markazi  $C$  nuqta hosil bo'ladi.  $D$  va  $D_1$  nuqtalar Mor doirasining chetki nuqtalari bo'lganligi uchun kuchlanishlar doirasi  $CD = R$  radiusi bilan chiziladi (6.17-rasm) Mor doirasi  $\sigma$  o'qining  $H$  va  $H_1$  nuqtalarda kesib o'tadi.



6.17-rasm.

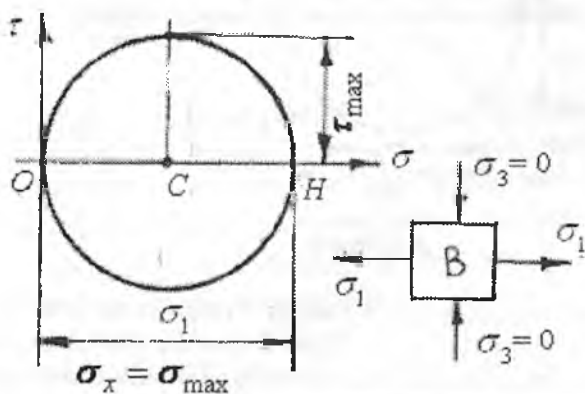
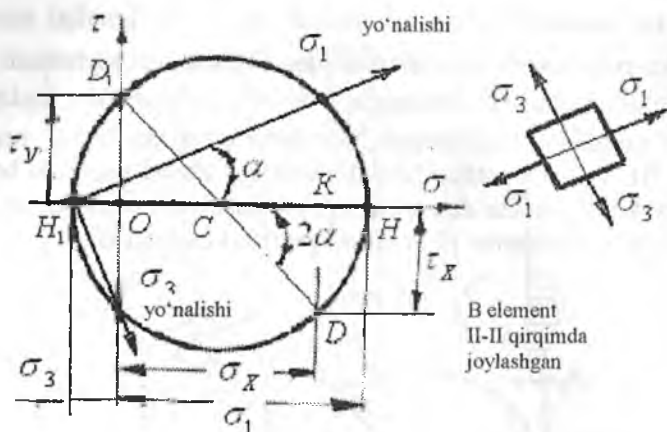
Kuchlanishlar masshtabida  $ON$  masofa  $\sigma_1$  eng katta bosh normal kuchlanishga,  $ON_1$  masofa esa  $-\sigma_3$  bosh normal kuchlanishga teng.  $\sigma_1$  va  $\sigma_3$  bosh normal kuchlanishlar quyidagi formula bilan topiladi.

$$\sigma_{1,3} = \frac{1}{2} \left[ \sigma_x \pm \sqrt{\sigma_x^2 + 4\tau_x^2} \right] \quad (6.19)$$

(6.19) formuladan ko'rinishicha  $\sigma_1$  va  $\sigma_3$  bosh normal kuchlanishlar  $\sigma_x$  va  $\tau_x = -\tau_y$  kuchlanishlarning qiymatlariga bog'liq ekan.  $\sigma_x$  normal va  $\tau_x = -\tau_y$  urinma kuchlanishlar esa B element balka kesimining neytral qatlamidan qanday masofada joylashishiga bog'liq. Agar  $y = y_{max}$  bo'lsa,  $\sigma_x = \sigma_{max}$  va  $\tau_x = 0$ . Unda Mor doirasi  $\sigma$  o'qining musbat tomonida bo'ladi (6.18-rasm). Ajratilgan B element faqat cho'zuvchi  $\sigma_1$  bosh normal kuchlanish ta'sirida bo'ladi, chunki bu

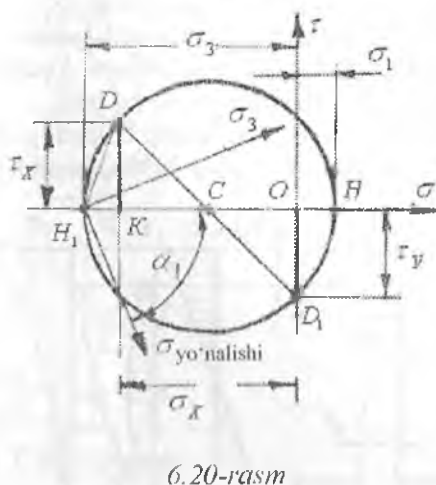
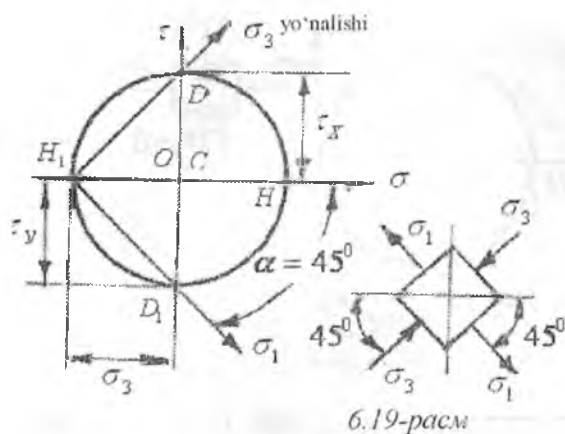


nuqta siqilmaydi,  $\sigma_3 = 0$ . Agar,  $y=0$  bo'lsa  $\sigma_x = 0$  va  $\tau_x = \tau_{\max}$  so'f siljish hosil bo'ladi.

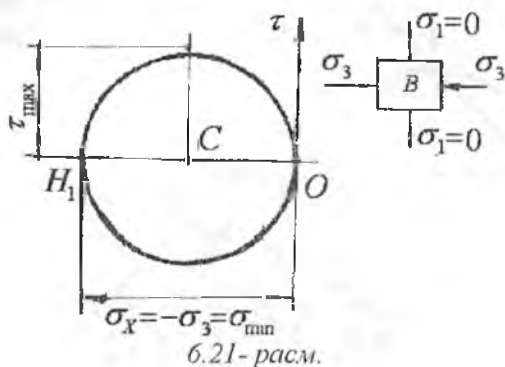


6.18-rasm.

Bu holatda Mor doirasi  $\tau_x = -\tau_y$  urinma kuchlanishlarning qiymatlarida chiziladi. Mor doirasining markazi C nuqta koordinata boshi O nuqta bilan ustma-ust tushadi. (6.19-rasm). Balkadan ajratilgan B element neytral qatlam bilan eng chetki siqiladigan tola oralig'ida joylashsin. Bu nuqtadagi normal kuchlanish manfiy, urinma kuchlanish esa musbat ishorali (6.20-rasm).

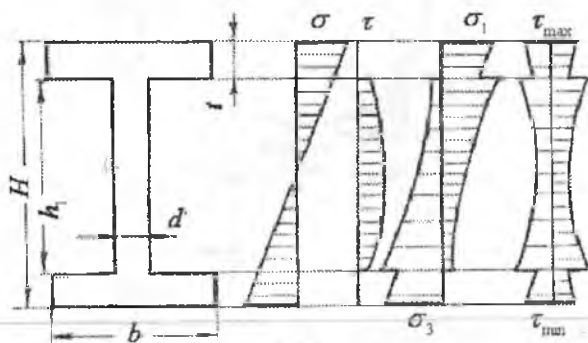


Mor doirasini qurish uchun  $-\sigma_x = OK$  va  $\tau_x = KD$  masofalardan foydalanamiz.  $ON$  masofa eng katta bosh normal kuchlanish  $\sigma_1$  - ga teng.  $\sigma_1$  bosh kuchlanish ta'sirida B element cho'ziladi.  $ON_1$  masofa eng kichik bosh normal kuchlanish  $\sigma_3$  - ga teng.  $\sigma = \sigma_{\min}$  va  $\tau_x = 0$  bo'lgan nuqta atrofida ajratilgan elementga ta'sir qilayotgan bosh normal kuchlanishlarni topamiz. Bu element siqiladigan tolalarda joylashganligi uchun normal kuchlanish manfiy ishorali. Shuning uchun Mor doirasi to'liq  $\sigma\tau$  koordinata o'qining manfiy tomonida chiziladi (6.21-rasm).

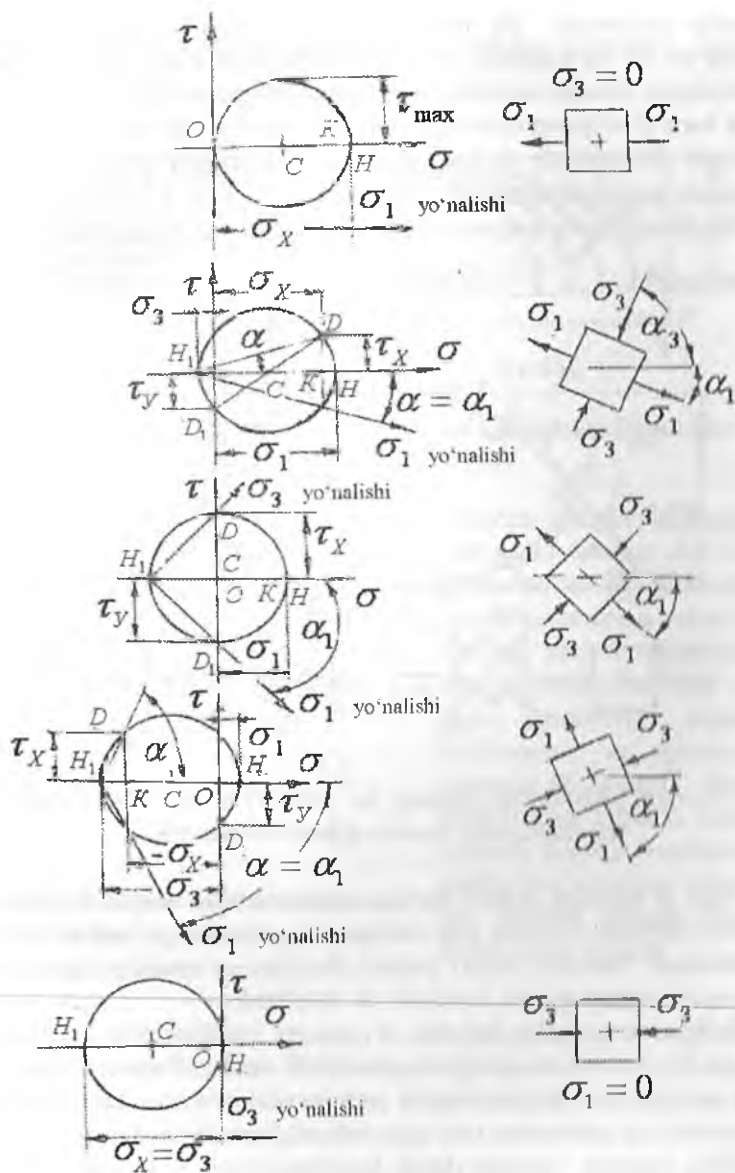


(6.19) formula asosida yoki Mor doirasi yordamida topilgan bosh kuchlanishlarni balka kesimining balandligi bo'ylab o'zgarish grafikasi quriladi (6.17 va 6.23-rasmlar). Agar balka kesimining eni uning balandligi bo'ylab o'zgarmas bo'lsa, bosh normal kuchlanishlarning epyurasi silliq o'zgaruvchi egri chiziqdan iborat bo'ladi.

Agar, balka kesimining eni uning balandligi bo'ylab o'zgaruvchan bo'lsa, masalan: qo'shtavr, shvellar, burchaksimon.



Element va kesim enining o'zgarish nuqtasida  $\sigma_1$  va  $\sigma_3$  epyuralarida sakrash bo'ladi. Yuqorida keltirilgan balkaning yuqori tolalari cho'zilishga, pastki tolalari esa siqilishga uchrayapti. Shuning uchun musbat ishorali normal kuchlanish va  $\sigma_1$  bosh normal kuchlanish epyuralari I-I chiziqning (6.16 va 6.17-rasmlar) o'ng tomonida joylashadi. Agar, balka kesimining yuqori tolalari cho'zilsa, Mor doirasi  $\sigma$  o'qining musbat

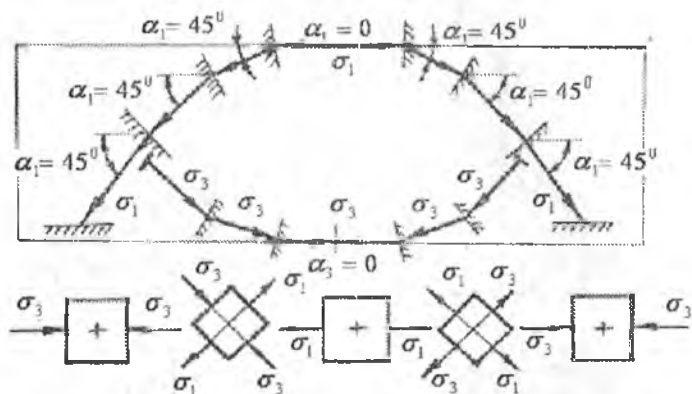


6.23-rasm. Balka kesimining balandligi bo'yicha  $\sigma_1$  bosh normal kuchlanish yo'nalishining o'zgarishi.

tomonida joylashadi. Bu nuqta faqat  $\sigma_1$  bosh normal kuchlanishi ta'sirida bo'lib, bu nuqtada  $\sigma_3 = 0$ . Kuchlanishi tekshirilayotgan nuqta cho'ziladigan toladan siqiladigan tolalar tomonga harakat qilaversa, Mor doirasi ham  $\sigma$  o'qning musbat tomonidan manfiy ishorali tomoniga o'ta boshlaydi. Bu holatda  $\sigma_1$  bosh kuchlanish kamayib boradi,  $\sigma_3$  bosh kuchlanish esa kattalashadi (6.23-rasm).

Bosh kuchlanishlarning yo'nalishi analitik usulda quyidagi formula bilan topiladi:

$$\operatorname{tg} 2\alpha = -\frac{2\tau_x}{\sigma_x} \quad (6.20)$$



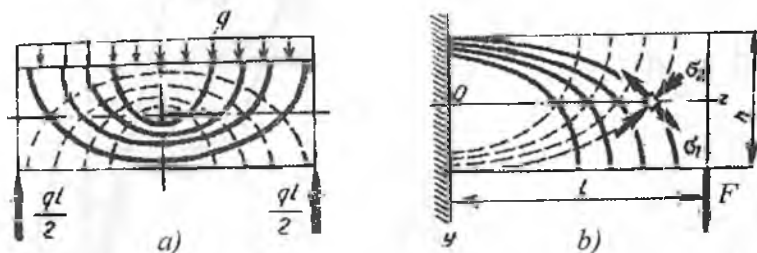
6.24-rasm. Balkaning uzunligi bo'ylab  $\sigma_1$  va  $\sigma_3$  bosh normal kuchlanishlar traektoriyasini o'zgarishi.

Agar  $\alpha$  burchak manfiy bo'lsa, eng katta bosh normal kuchlanishning ( $\sigma_1$ ) abtissa o'qidan soat strelkasining harakat yo'nalishi bo'ylab joylashtiriladi. Balkani yuqori tolalari cho'zilsa  $\alpha$  manfiy. Agar balkaning yuqori tolalari siqilsa burchak  $\alpha$  musbatdir.

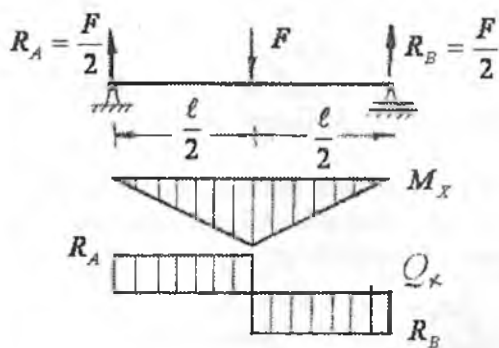
Balkaning uzunligi bo'ylab  $\sigma_1$  va  $\sigma_3$  bosh normal kuchlanishlarini traektoriyasini aniqlash mumkin (6.24-rasm). Buning uchun, balkaning uzunligi bo'ylab bir nechta nuqtalarning o'rinlari tanlab olinadi. Nuqtalar neytral qatlamdan turli masofalarda joylashishi kerak.

Bitta nuqtada topilgan bosh kuchlanishning yo'nalishi ikkinchi nuqtagacha davom ettiriladi. Ikkinchi nuqtadagi bosh kuchlanishning yo'nalishi, keyingi nuqta bilan tutashtiriladi. Shunday qilib, balkaning uzunligi bo'yicha bosh kuchlanishlarning yo'nalishini traektoriyasi

topiladi. Bu masala xavfli kesimga nisbatan amalga oshirilsa – osonroq yechiladi (6.25-rasm).



6.25-rasm. Balkaning uzunligi bo'ycha bosh kuchlanishlar yo'nalishining traektoriyasi.

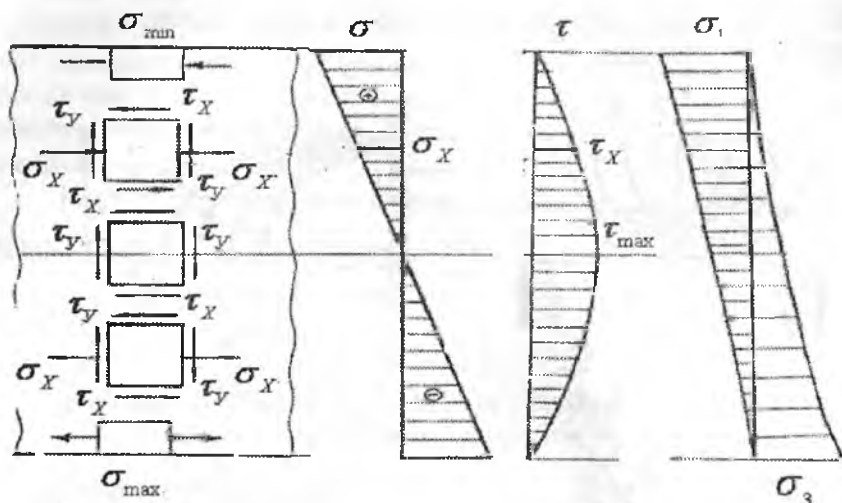


6.26-rasm. Berilgan balkani yuklanish sxemasi uchun eguvchi moment va ko'ndalang kuch epyurlari.

Yuqori tolalari siqiladigan va pastki tolalari cho'ziladigan balkaning (6.26-rasm) xavfli kesimining balandligi bo'ylab bosh kuchlanishlarning qiymatlarini Mor doirasi yordamida topamiz (6.26-rasm) va epyurasini quramiz (6.27-asm). Balkaning yuqori tolasida manfiy ishorali normal kuchlanish, pastki cho'ziladigan tolasida esa musbat ishorali kuchlanish hosil bo'ladi.

Urinma kuchlanishning ishorasi ko'ndalang kuch  $Q$  - ning ishorasiga mos ravishda topiladi. Balkaning o'ng tomonida urinma kuchlanish manfiy, chap tomonida musbat. Bosh kuchlanishlarning yo'nalishi quyidagi formuladan aniqlandi:

$$\operatorname{tg} 2\alpha = -\frac{2\tau}{(-\sigma_x)}$$



6.27-rasm. Balka kesimining balandligi bo'ylab normal va urinma hamda bosh normal kuchlanishlarni tarqalish qonuniyati.

Balka kesimining turli nuqtalaridagi bosh kuchlanishlarni aniqlab, mustahkamlik nazariyalari asosida mustahkamlik shartlarini tuzamiz:

I – nazariya Eng katta normal kuchlanishlar nazariyasi:

$$\sigma_1 \leq [\sigma], \quad \frac{1}{2} \left| \sigma_x + \sqrt{\sigma_x^2 + 4\tau^2} \right| \leq [\sigma]$$

II – nazariya. Eng katta nisbiy deformatsiyalar nazariyasi:

$$|\sigma_1 - \mu(\sigma_2 + \sigma_3)| \leq [\sigma]$$

Bu yerda  $\sigma_2 = 0$  va  $\sigma_1$  va  $\sigma_3$  bosh kuchlanishlarni hisobga

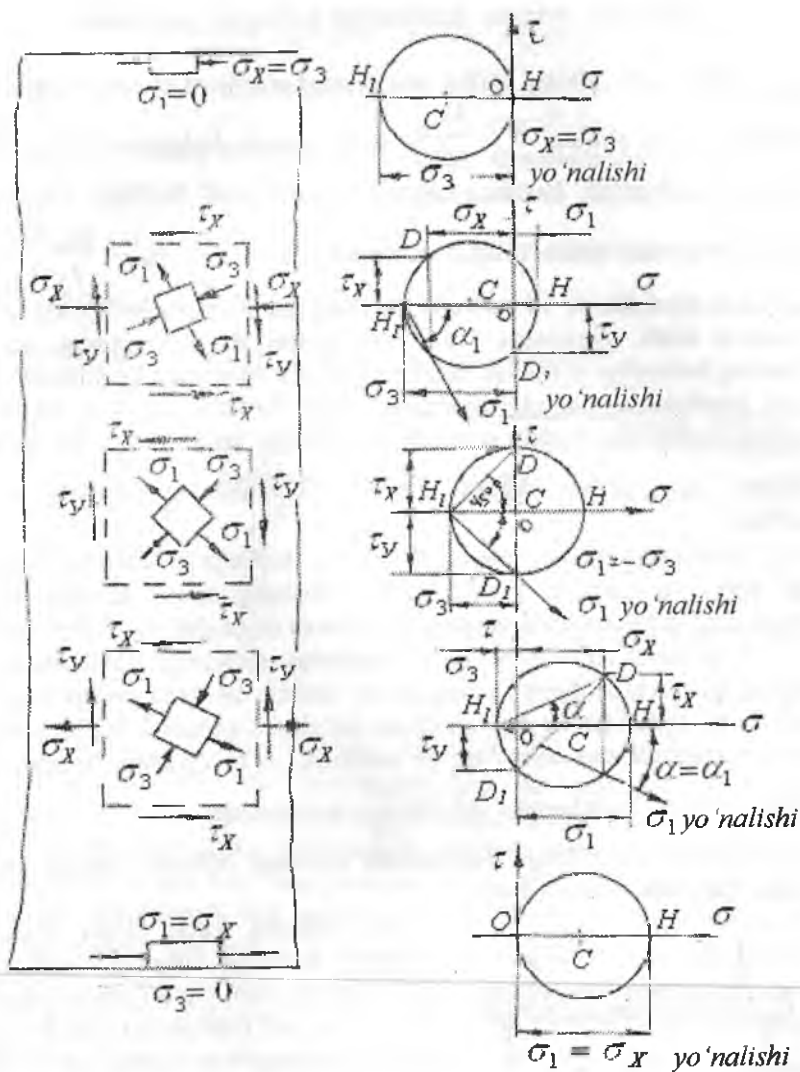
olsak:  $\left[ \frac{1-\mu}{2} \sigma_x + \frac{1+\mu}{2} \sqrt{\sigma_x^2 + 4\tau^2} \right] \leq [\sigma]$

III – nazariya. Eng katta urinma kuchlanishlar nazariyasi.

$$\sigma_1 - \sigma_3 \leq [\sigma] \quad \text{yoki} \quad \left| \sqrt{\sigma_x^2 + 4\tau^2} \right| \leq [\sigma]$$

IV – nazariya. Shakl o'zgarishdagi potensial energiya.

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2[\sigma]^2 \quad \text{yoki} \quad \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq [\sigma]$$



6.28-rasm. Balka kesimining balandligi bo'yicha  $\sigma_1$  bosh normal kuchlanish yo'nalishining o'zgarishi.



## Balkani urinma kuchlanish bo'yicha tekshirish

**Ichki juft elkasi.** Balka kesimining o'lchamlari eng katta eguvchi moment ta'siridan  $W \geq \frac{M_{\max}}{[\sigma]}$  shart asosida belgilanadi. Eng katta urinma kuchlanish kesimni neytral o'qida hosil bo'ladi. Bu kuchlanish ta'siridan kesim o'lchamlarini tanlash uchun  $\tau_{\max} = \frac{Q_{\max} S_x^0}{I_x \cdot b} \geq [\tau]$  shartdan foydalanish va balka kesimining yarim yuzasini neytral o'qqa nisbatan statik momentini hisoblash lozim. Balkani uzunligi va kesimning balandligi orasidagi bog'lanishga ko'ra urinma kuchlanish balkani hisoblashda turlicha ahamiyatga ega bo'lishi mumkin. Masalan, prokat balkalarda kesim devorining qalinligi ancha katta bo'lganligi uchun  $\tau_{\max}$  ruxsat etilgan urinma kuchlanishdan sezilarli kichik bo'ladi.

Parchin mixli eki payvand tarkibiy balkalarda kesimni balandligi katta va qalinligi kichik bo'ladi. Shuning uchun tarkibiy balka kesimining o'lchamlarini urinma kuchlanish ta'siridan tekshirish lozim.

Yog'ochni tolalari bo'ylab sirpanishga qarshiligi, tolalarni ko'ndalang qirqilishga qarshiligidan ancha kichik. Shuning uchun yog'och balkalarni egilishda neytral qatlamda bo'ylama sirpanish kuchlanishlari hosil bo'ladi. Sosna uchun bu yo'nalishda, ya'ni egilishda sirpanishga ruxsat etilgan kuchlanish  $[\tau] = 20 \frac{\kappa G}{\text{sm}^2}$  belgilanadi.

Balkalarni egilishga hisoblashda quyidagi hollarda urinma kuchlanish bo'yicha tekshiriladi.

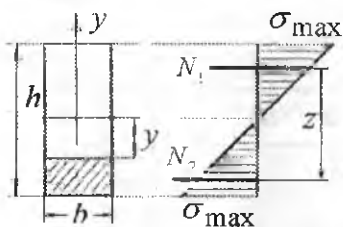


1. Ko'ndalang kuch ta'siri eguvchi moment ta'siriga nisbatan xavfli (kichik proleth yoki yuqori yuklanishda).
2. O'ta yuqori yuklanish tayanch yaqinida (masalan, yog'ochdan tayyorlangan temir yo'l ko'prigidagi ko'ndalang brus).

Bunday hollarda eng katta eguvchi moment ta'siridan hisoblangan kesim o'lchami egilishdagi bo'ylama sirpanish kuchlanishni ko'tarolmasligi mumkin. Bo'ylama siljituvchi kuchni bir birlik uzunlikka to'g'ri keladigan qiymati  $t = \frac{Q \cdot S_x}{I_x}$  formula bilan topiladi. Agar,

balkani biror oraligida  $Q = const$  bo'lsa, siljituvchi kuch  $T = t_F \cdot a$  bo'ladi, agar  $Q$  kuch o'zgaruvchan bo'lsa  $T = \frac{Q}{S_x} \int_{x_1}^{x_2} Q \cdot dx$  hosil bo'ladi.

$X_1$  va  $X_2$  - oraliq boshlanish va oxirgi nuqtalarining koordinatalari. Oraliqni boshi va oxiridagi momentlarni  $M_1$  va  $M_2$  bilan belgilasak,  $T = \frac{S_x}{I_x} (M_1 - M_2)$  hosil bo'ladi. Cho'zuvchi va siquvchi normal kuchlanishlarning teng ta'sir qiluvchilari  $N_1$  va  $N_2$  kuchlar ta'sir chiziq-lari orasidagi masofa  $z = \frac{I_x}{S_x}$  ga teng. Ichki kuch



elkasi, kesim inersiya momentini statik momentga bo'linmasiga teng. Bu kesimda  $\tau_{max} = \frac{Q}{b \cdot z}$ .

To'g'ri burchak uchun  $S = \frac{b \cdot h^2}{8}$

va  $z = \frac{2}{3}h$ , va doiraviy kesim.

uchun  $S = \frac{2R^3}{3}$  va  $z = 0,6 \cdot d$

**Tarkibiy balkalar.** Tarkibiy balkalar deb, takibidagi barcha elementlar (detallar) o'zaro parchin mix yoki payvand birikmalar bilan birlashtirilgan murakkab shaklli kesimni tashkil qiluvchi balkaga aytiladi

Tarkibiy balkalarni hisoblashda, birlashtiruvchi elementlar birlashtiriluvchi detallarni birlashtirishini hosil qilib bir butun balka kabi ishlashni ta'minlaydi deb qabul qilinadi. Shuning uchun balkalarda kuchlanishlarni aniqlash uchun bir butun balkalarni mustahkamlikka hisoblash formulalaridan foydalanamiz. Parchin mix o'rni uchun tayyorlangan teshik tarkibiy balka kesimini zaiflashtiradi, shuning uchun tarkibiy balkalarni hisoblashda balka kesimining  $I_{netto}$  inersiya momenti quyidagicha aniqlanadi:  $I_{netto} = I_{brutto} - I_T$

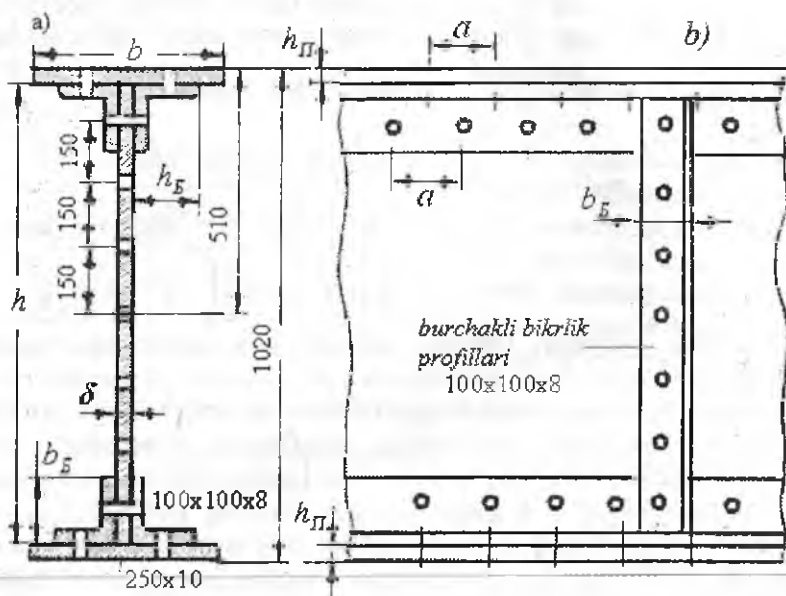
bu yerda  $I_{brutto}$  - balka zaiflashgan kesimining to'liq inersiya momenti.

$I_T$  - parchin mix o'rni uchun tayyorlangan teshik kesimining inersiya momenti.

Parchin mixli biriktirilgan tarkibiy balka (6.29 -rasm) tarkibida vertikal devor to'rtta teng tomonli burchak, bitta yoki bir nechta gorizontal list bor. Kesimlardagi kuchlanishlarni tekshirish va burchak va balka devorini biriktiruvchi parchin miqdari qadamini aniqlaymiz. Tayanchlarga nisbatan simmetrik  $540\text{kN}$  kuch bilan yuklangan tarkibiy balkani hisoblaymiz (6.30-rasm). Balka materiali uchun ruxsat etilgan kuchlanishlar:  $[\sigma] = 1600 \frac{\text{kg}}{\text{sm}^2}$  va  $[\tau] = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{sm}^2}$

Parchin mix uchun ruxsat etilgan kuchlanish:

$$[\sigma]_{\text{pax}} = 2800 \frac{\text{kg}}{\text{sm}^2} \quad \text{va} \quad [\tau] = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{sm}^2}$$

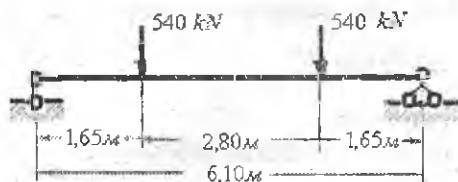


6.29-rasm. Tarkibiy kesim.

Yuk osilgan kesimda  $Q_{\text{max}} = 540\text{kN}$  va  $M_{\text{max}} = 540 \cdot 1,65 = 891\text{kN} \cdot \text{m}$

Balka uchun talab etilgan karshilik momenti:

$$W = \frac{M_{\text{max}}}{[\sigma]} = \frac{8910000}{1600} = 5570\text{sm}^3$$



6.30-rasm. Balka

Balka kesimini tanlash uchun uning balandligini

$h = 1,2 \sqrt{\frac{W}{\delta}}$  taqribiy formuladan topamiz.

Balka devorining qalinligini urinma kuchlanish bo'yicha mustahkamlik shartidan tanlanadi. Ko'ndalang kuch  $Q$  butunlay devorga ta'sir qilganligi uchun uni balandligi  $h$  va qalinligi  $\delta$  bo'lgan to'g'ri to'rtburchak deb qabul qilib, shartli ravishda quyidagicha hisoblash mumkin:

$$\tau_{\max} = \frac{3}{2} \cdot \frac{Q_{\max}}{h \cdot \delta} \leq [\tau] \text{ bu yerdan } \delta \geq \frac{3Q_{\max}}{2[\tau] \cdot h} = \frac{3 \cdot 540000}{2 \cdot 1000 \cdot 100} = 0,81 \text{ sm}$$

$$\text{Unda } h = 1,2 \sqrt{\frac{W}{\delta}} = 1,2 \sqrt{\frac{5570}{0,8}} \approx 100 \text{ sm}$$

Biz  $h = 102 \text{ sm}$  va  $\delta = 0,8 \text{ sm}$  qabul qilamiz. Balka kesimining har bir tokchasida bittadan qalinligi  $10 \text{ mm}$  bo'lgan gorizontallist o'rnatiladi. Unda talab qilingan netto inersiya momenti:

$$I_{\text{NETTO}} = W \cdot \frac{h}{2} = 5570 \cdot 51 = 284000 \text{ mm}^4$$

Parchin mix o'imi uchun tayyorlangan teshiklar balka kesimini taxminan 15% ga zaiflashtiradi. Unda kerak bo'lgan brutto inersiya momenti:

$$I_{\text{BRUTTO}} = \frac{284000}{0,85} = 334000 \text{ mm}^4$$

Balka tokchalarining kesimini tanlaymiz. Tokchaga birlashtiriluvchi burchak tomonlarining o'lchamlari balka balandligiga taxminan  $\frac{1}{10}$  nisbatda olinadi. Unda  $100 \times 100 \times 8 \text{ mm}$  teng tomonli burchak qabul qilamiz. Teng tomonli burchakning geometrik xarakteristikalarini yozamiz: kesim yuzasi  $A_s = 15,6 \text{ sm}^2$  inersiya momentlari  $I_{x\delta} = 147 \text{ mm}^4$ ,  $I_{xO} = 233 \text{ mm}^4$ ,  $I_{yO} = 60,9 \text{ mm}^4$ ,  $I_{x1} = 265 \text{ mm}^4$  og'irlik markazining koordinatasi  $z_O = 2,75 \text{ sm}$ . Devor va burchak brutto inersiya momentlarini

$$\text{hisoblaymiz: } I_{\text{tr}} = \frac{\delta \cdot h^3}{12} = \frac{0,8 \cdot (100)^3}{12} = 66700 \text{ sm}^4$$

$$I_{yT} = 4 \left[ I_{xB} + A_B \cdot y_B^2 \right] = 4 \cdot \left[ 147 + 15,6 \cdot (47,2)^2 \right] = 142400 \text{sm}^4$$

bu yerda  $y_B = \frac{h}{2} - z_0 = \frac{100}{2} - 2,75 = 47,25 \text{sm}$

Gorizontal listlarning inersiya momenti

$$I_{JI} = I_{BRUTTO} - I_{CT} - I_{yT} = 334000 - 66700 - 142400 = 124900 \text{sm}^4$$

Qalinligi  $h_{II} = 10 \text{mm}$  bo'lgan har bir list kesimining eni-  $b$  - ni tokcha kesim yuzasini balkaning neytral o'qiga nisbatan inersiya momentidan foydalanib hisoblaymiz. Polka kesimining enini  $b = 250 \text{mm}$  qabul qilamiz.

$$I_{JI} = 2 \cdot \left[ \frac{b \cdot h_{II}^3}{12} + b \cdot h_{II} \cdot (y_{II})^2 \right] = 2 \cdot \left[ \frac{25 \cdot 1^3}{12} + 25 \cdot 1 \cdot (50,5)^2 \right] = 127516 \text{sm}^4$$

bu yerda  $y_{II} = \frac{h}{2} + \frac{h_{II}}{2} = \frac{100}{2} + \frac{1}{2} = 50,5 \text{sm}$

$$I_{brutto} = I_{JI} + I_{CT} + I_{yT} = 127516 + 66700 + 142400 = 336616 \text{sm}^4$$

inersiya momentini topamiz.

Kesimning zaiflashganini va xavfli kesimdagi kuchlanishni hisoblaymiz. Parchin mix diametrini  $d = 20 \text{mm}$  qabul qilamiz. Parchin mix teng tomonli burchakni balkaning gorizontal tokchasi va vertikal devorlarini biriktirish uchun ishlatiladi. Teng tomonli burchakni vertikal qismi balka devoriga bikrlilik qirrasini rolini o'ynaydi. Kesimni zaiflashishi parchin mix o'zini uchun tayyorlangan teshiklar hisobiga balka kesim yuzasini va uning inersiya momentini keskin kamayishi bilan belgilanadi. Inersiya momentini kamayishi balka kesimini  $I_{BRUTTO}$  - inersiya momentidan teshiklar kesim yuzalarini neytral o'qga nisbatan inersiya momentini -  $I_{OTV}$  ayirmasiga teng.

$$I_{HETTO} = I_{BRUTTO} - I_{OTV} = 336616 - 46200 = 290416 \text{sm}^4$$

bu yerda

$$I_{OTV} = 4d(h_{II} + t_B) \left[ \left( \frac{h}{2} + h_{II} \right) - \frac{1}{2} \left( \frac{h}{2} + t_B \right) \right]^2 + 2d \cdot \delta (15^2 + 30^2 + 45^2) =$$

$$4 \cdot 2 \cdot 1,8 \cdot (50,1)^2 + 2 \cdot 2 \cdot 0,8 \cdot 3150 = 46200 \text{sm}^4$$

Bu yerda  $b_A, h_A, t_A$  - teng tomonli burchakning o'lchamlari

Ushbu inersiya momentini hisoblashda teng tomonli burchakning vertikal qirrasidagi teshik kesim yuzasi e'tiborga olinmadi, chunki bu teshik yuzasining markaziy o'qida normal kuchlanishning qiymati tarkibiy balka xavfli kesimidagi kuchlanishdan kichik. Zaiflashgan

kesimning qarshilik momenti:

$$W = \frac{I_{BRUTTO}}{\frac{h}{2} + h_{II}} = \frac{290416}{\frac{100}{2} + 1} = 5694 \text{ sm}^3$$

Balka xavfli nuqtasidagi eng katta kuchlanish

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{8190000}{5694} = 1564 < 1600 \frac{\text{KG}}{\text{sm}^2}$$

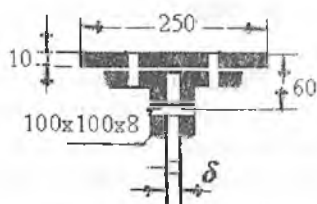
Balka kesimning devoridagi urinma kuchlanishni tekshiramiz. Buning uchun balka kesimining neytral o'qidan bir tomonda joylashgan yuzasining brutto statik momentini hisoblaymiz:

$$S_{OB} = b \cdot h_n \left( \frac{h + h_{II}}{2} \right) + 2A_s \left( \frac{h}{2} - z_o \right) + \delta \cdot \frac{h}{2} \cdot \frac{h}{4} =$$

$$= 25 \cdot 1 \cdot 50,5 + 2 \cdot 15,6 \cdot 47,2 + 50 \cdot 0,8 \cdot 25 = 3735 \text{ sm}^3$$

Neytral qatlamdagi urinma kuchlanish

$$\tau_{\max} = \frac{Q \cdot S_{OB}}{I_{BRUTTO} \cdot \delta} = \frac{540000 \cdot 3735}{336616 \cdot 0,8} = 745 \frac{\text{KG}}{\text{sm}^2}$$



Parchin mixni hisoblash sxemasi.

Parchin mixlar qadamini hisoblaymiz. Balkani egilishida gorizontal listlar va teng tomonli burchaklar devorga nisbatan harakatlantirishiga ezilishga ishlovchi gorizontal (devordagi) parchin mixlar qarshilik ko'rsatadi. Balkani 1sm uzunligiga to'g'ri keluvchi kuch

$$T_F = \frac{Q \cdot S_1}{I} \text{ formuladan topiladi.}$$

Parchin mix qadamini  $a$  - bilan belgilaymiz. Balkaning chetki oraliqlarida ko'ndalang kuch o'zgarmas bo'lganligi uchun, kesuvchi kuch gorizontal kesimda - tokchada teng taqsimlanadi. Bitta parchin mixdagi kesuvchi kuch  $T = T_F \cdot a = 438,75 \text{ KG}$ . Bu shart parchin mixni qirg'ilishiga va ezilishga qarshilik kuchidan ortib ketmasligi kerak.  $a$  - ni hisoblash uchun 2 ta shartdan foydalanamiz:

1)  $T \leq 2 \cdot \frac{\pi \cdot d^3}{4} [\tau]$  - ikki qirg'imli parchin mixni qirg'ilishga

2)  $T \leq d \cdot \delta \cdot [\sigma]_{CM}$  - ezilishga

Birinchi shartdan  $a \leq 2 \cdot \frac{3,14 \cdot 2^3}{438,75 \cdot 4} \cdot 1000 = 14,3 \text{ sm}$

$$\text{Ikkinchi shartdan } a \leq \frac{2 \cdot 0,8 \cdot 2800}{438,75 \cdot 4} = 10,21 \text{ sm}$$

Gorizontal va vertikal parchin mixlar uchun  $a = 100 \text{ mm}$  qabul qilamiz. Bosh kuchlanishlarni tekshirish balka devorini teng tomonli burchak bilan birlashtirilgan kesimda bajariladi, chunki shu kesimda tokchadan devorga kesuvchi kuch uzatiladi.

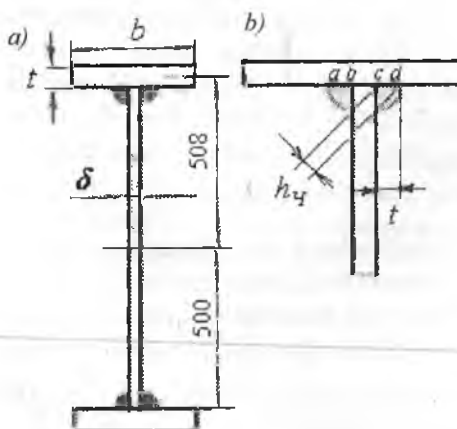
$$\text{Normal kuchlanish } \sigma = \frac{M \cdot y}{I_{\text{NETTO}}} = \frac{8910000 \cdot 45}{290416} = 1380 \frac{\text{kg}}{\text{sm}^2}$$

$$\text{Urinma kuchlanish } \tau = \frac{Q \cdot S}{I_{\text{BRUTTO}} \cdot \delta} = \frac{540000 \cdot 2925}{336616 \cdot 0,8} = 586 \frac{\text{kg}}{\text{sm}^2}$$

$S = 2735 + 0,8 \cdot 5 \cdot 47,5 = 2925 \text{ sm}^3$  - bosh kuchlanishlarni tekshirish nuqtasidan yuqorida qolgan balka kesim yuzasini neytral o'qga nisbatan statik momenti. Bosh kuchlanish

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{\sigma}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2} = \frac{1380}{2} + \sqrt{\left(\frac{1380}{2}\right)^2 + (586)^2} = 1595 \frac{\text{kg}}{\text{sm}^2}$$

**Payvand balkalar.** Payvand balkalami tokchasi qalinligi katta-roq bo'lgan gorizontal list tayyorlanib, devor bilan ikkita burchakli chok yordamida payvandlanadi.



6.31-rasm

Payvand balkalarda kesimni tanlash parchin mixli balkalardagi kesimni zaiflashmagan. Rasmda ko'rsatilgan balka uchun payvand tarkibli kesim tanlansin.

Balkani devori  $1000 \times 8 \text{ mm}$  inersiya momenti

$$I_{CT} = 66700 \text{ sm}^4$$

Gorizontal listni qalinligini  $h_{\text{fl}} = 16 \text{ mm}$  qabul qilamiz, uning eni  $b$ -ni topish uchun tokchani inersiya momentini hisoblaymiz:

$$I_{\text{lp}} = \frac{1}{2} (I_{\text{netto}} - I_{\text{st}}) = \frac{1}{2} (290416 - 66700) = 111858 \text{ sm}^4$$

Polka kesim yuzasini neytral o'qga nisbatan inersiya momenti formulasidan (o'zining markaziy o'qiga nisbatan inersiya momentini e'tiborga olinmasdan) polka kesim yuzasining enini topamiz:

$b \cdot h_{II} \cdot (50,8)^2 = 111858 \text{sm}^4$  va  $b = 27,0 \text{sm}$ . Balkani inersiya momenti

$$I = 2 \cdot b \cdot h_{II} \cdot \left(\frac{h}{2} + \frac{h_{II}}{2}\right)^2 + \frac{\delta \cdot h^3}{12} = 2 \cdot 27 \cdot 1,6 \cdot (50,8)^2 + \frac{0,8 \cdot (100)^3}{12} = 289634 \text{sm}^4$$

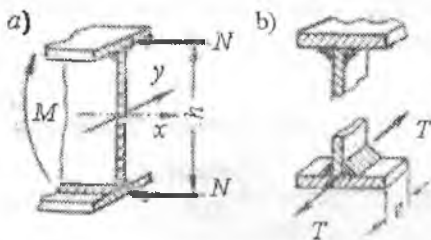
va qarshilik momenti  $W = \frac{I}{\frac{h}{2} + h_{II}} = \frac{289634}{51,6} = 5613 \text{sm}^3$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{8190000}{5613} = 1587 \frac{\text{kg}}{\text{sm}^2}$$

Chok kalinligini payvand uchun  $[\tau] = 800 \frac{\text{kg}}{\text{sm}^2}$  ruxsat etilgan kuchlanishdan foydalanib topamiz. Tokcha bilan devor orasidagi bir birlik uzunlikka to'g'ri keluvchi kesuvchi kuch  $t_F = \frac{Q \cdot S_I}{I}$ . Tokcha kesim yuzasining statik momenti

$$S_{II} = b \cdot h_{II} \cdot \left(\frac{h}{2} + \frac{h_{II}}{2}\right) = 27 \cdot 1,6 \cdot \left(\frac{100 + 1,6}{2}\right) = 2195 \text{sm}^3$$

$t_F = \frac{54000 \cdot 2195}{289634} = 409 \frac{\text{kg}}{\text{sm}}$ . Bu kuch chokni *ab, cd* yuzalarida ta'sir etadi.



6.32-rasm. Payvand birikmali kesimlar.

Burchakli choklar uchun hisoblashda  $h = 0,7 \cdot t$  o'lcham ishlatiladi. Shuning uchun chokni qalinligi  $h$  -ni  $t_F = 1,4 \cdot h \cdot [\tau]$  tenglikdan topamiz:

$$h_{cr} = \frac{409}{1,4 \cdot 800} = 0,365 \text{sm}$$

Amalda burchakli chokni qalinligi 6mm dan kichik olinmaydi. Payvand balkalarda bosh kuchlanishlar chok qatlamida tekshiriladi.

Normal kuchlanish  $\sigma = \frac{M \cdot y}{I} = \frac{8910000 \cdot 50}{289634} = 1538 \frac{\text{kg}}{\text{sm}^2}$

Urinma kuchlanish  $\tau = \frac{t_F}{\delta} = \frac{409}{0,8} = 511 \frac{\text{kg}}{\text{sm}^2}$



Bosh kuchlanish

$$\sigma_{\max} = \frac{\sigma}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2} = \frac{1538}{2} + \sqrt{\left(\frac{1538}{2}\right)^2 + (511)^2} = 1692 \frac{\text{kg}}{\text{sm}^2}$$

O'ta kuchlanish 5.75% ni tashkil etadi, bunga yo'l qo'yish mumkin emas. Buning uchun tokcha (list) qalinligini to'g'ri tanlash lozim.

Tokcha kesimning o'lchamlarini taxminiy belgilash uchun tokchalarga eguvchi moment yelkasi  $h$ -ga teng bo'lgan (80-85%) juft kuchlar  $-N$  tarzda ta'sir qiladi deb taxmin qilinadi (6.32-rasm). Demak,

$$N = \frac{0,8 \cdot M}{h}$$

Kuch tokchalarni cho'zilishiga va siqilishiga sabab buladi. Shuning uchun tokcha kesimining yuzasi

$$A_{\text{TOKCHA}} \geq \frac{N}{[\sigma]} = \frac{0,8 \cdot M}{h \cdot [\sigma]} = \frac{0,8 \cdot 8910000}{100 \cdot 1600} = 44,6 \text{ sm}^2$$

Konstruktiv mulohazalarga ko'ra tokchalarning enini  $b = (0,3 \dots 0,4)h$  deb olinadi. Bizda  $b = (0,3 \dots 0,4) \cdot 100 = 100 \dots 25 \text{ sm}$  yoki  $b = 27 \text{ sm}$  deb

olib tokchani qalinligini topamiz  $h_{II} = \frac{A_{\text{TOKCHA}}}{b} = \frac{44,6}{27} = 1,65 \text{ sm}$ .

$h_{II} = 1,8 \text{ sm}$  qabul qilamiz, belgilangan o'lchamlar asosida kesimning markaziy o'qqa nisbatan inersiya momentini hisoblaymiz:

$$I = 2 \cdot b \cdot h_{II} \cdot \left(\frac{h + h_{II}}{2}\right)^2 + \frac{\delta \cdot h^3}{12} = 2 \cdot 27 \cdot 1,8 \cdot (50,9)^2 + 66667 = 318494 \text{ sm}^4$$

Balka kesimining qarshilik momenti  $W = \frac{I}{\frac{h}{2} + h_{II}} = \frac{318494}{51,8} = 6148 \text{ sm}^3$

$$\text{Kuchlanish } \sigma = \frac{8910000}{6148} = 1450 \frac{\text{kg}}{\text{sm}^2}$$

Tokcha kesim yuzasining statik momenti

$$S_{II} = 27 \cdot 1,8 \cdot \left(\frac{100 + 1,8}{2}\right)^2 = 2473 \text{ sm}^3 \quad \text{urinma kuch}$$

$$t_{II} = \frac{54000 \cdot 2473}{318494} = 419 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$$

Chokni qalinligi  $h_y = \frac{419}{14 \cdot 800} = 0,374 \text{ sm}$

Normal kuchlanish  $\sigma = \frac{M \cdot y}{I} = \frac{8910000 \cdot 50}{318494} = 1400 \frac{\text{kg}}{\text{sm}^2}$

Urinma kuchlanish  $\tau = \frac{t_F}{\delta} = \frac{419}{0,8} = 524 \frac{\text{kg}}{\text{sm}^2}$

Bosh kuchlanish

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{\sigma}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2} = \frac{1400}{2} + \sqrt{\left(\frac{1400}{2}\right)^2 + (524)^2} = 1574 \frac{\text{kg}}{\text{sm}^2}$$

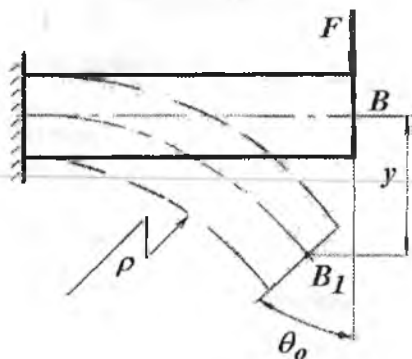
## VII BOB. EGILISHDA BALKALARNING KO'CHISHINI ANIQLASH

Muhandislik inshootlari yoki mashina va mexanizm elementlarini egilishida kesim yuzadagi kuchlanishlarni hisoblash va tarqalish qonuniyatini o'rganishda – egilish deformatsiyasiga kuchlanishni aniqlash nuqtai nazaridan e'tibor bergan edik.

Hisoblangan kuchlanishlar konstruksiyaning mustahkamligini tekshirish imkonini beradi. Biroq mustahkamligi yetarli bo'lgan balkalar bikrligi yetarli darajada bo'lmasligi tufayli foydalanishga yaroqsiz bo'lishi mumkin. Masalan, tomni yopuvchi plitalarni ko'taradigan balkalar, ko'priqli kranlarni asoslari (balkasi), ko'priklarni ramalari, uzatmalarni vallari va h.k. Agar balka ushbu balka uchun belgilangan chegaraviy egilishdan ko'proq egiladigan bo'lsa, inshootdan foydalanishda qo'shimcha qiyinchiliklar paydo bo'ladi. Balkaning bikrligini tekshirish uchun uning o'qida yotuvchi ayrim nuqtalarining ko'chishlarini topishni o'rganish lozim.

### 7.1. Salqiliq va kesimning aylanish burchagi

Balkani biror inersiya o'qi tekisligida tashqi kuch bilan yuklansa, uning o'qi shu inersiya o'qi tekisligida egri bo'ladi, ya'ni tekis egilish sodir bo'ladi. Unda  $B$  nuqta  $B_1$  holatga ko'chadi (7.1-rasm). Bu ko'chish  $F$  kuch yo'nalishida sodir bo'lib, balkaning salqiligi deyiladi.



7.1-rasm. Egilish.

Salqilik  $y$  bilan belgilanadi. Balka egri o'qining tenglamasi  $y = f(x)$ . Aslida, balkaning o'qi neytral qatlamda yotgani uchun uning uzunligi o'zgarmagani sababli  $B_1$  nuqta vertikal chiziqdan bir tomonga qochishi kerak, biroq balkaning uzunligiga nisbatan salqilik juda kichik miqdor bo'lganligi uchun, bu qochish ikkinchi tartibli kichik miqdor bo'ligi uchun u e'tiborga olinmaydi.

Egilishgacha tekis bo'lgan balkaning kesimi, deformatsiyadan keyin ham tekisligicha qolib, o'zining boshlang'ich holatiga nisbatan  $\theta$  burchakka aylanadi. Shuning uchun  $\theta$  burchak balka kesimini aylanish burchagi deyiladi.  $y$  va  $\theta$  absissaning funksiyasidir. Balkaning har bir kesimi uchun  $y$  bilan  $\theta$  orasida matematik bog'lanishi bor:

$$\operatorname{tg}\theta = \frac{dy}{dx}$$

Burchak  $\theta$  ni juda kichik miqdor ekanligini hisobga olsak,

$$\operatorname{tg}\theta = \theta \quad \text{yoki} \quad \theta = \frac{dy}{dx} \quad (7.1)$$

Demak, balka har bir kesimining aylanish burchagi  $\theta$  shu kesimdagi salqilik  $y$  dan abtsissa bo'yicha olingan birinchi tartibli hosilaga teng ekan.

Balka bikrligini tekshirish uchun eng katta salqilik  $y_{\max} = f$  balka prolyotining qandaydir ulushidan oshib ketmaganligini aniqlashdan iboratdir  $f = \frac{\ell}{300 \dots 1000}$ . Mas'uliyatli inshootlar, masalan, temir yo'l ko'priklari uchun  $f = \frac{\ell}{1000}$  olinadi. Bundan ko'rinib turibdiki, egilishda salqilik balka prolyotiga nisbatan juda kichik bo'ladi.

Egilishda ko'chishni aniqlashni ikkita maqsadi bor:

- 1) yuklanish ta'sirida balkaning elastik deformatsiyasini naqadar kichik bo'lishini ta'minlash;
- 2) statik noaniq masalalarni, masalan, uzluksiz balkalar va statik noaniq ramalarni yechish.

Salqilik va kesimni aylanish burchagini tahliliy va tajriba usullari bilan aniqlash mumkin. Tahliliy usullar quyidagilardan iborat:

- 1) balka egilgan o'qining taqribiy tenglamasini uzluksiz integ-rallash usuli;
- 2) boshlang'ich parametrlar usuli;
- 3) grafoanalitik usul;
- 4) energetik usul.

Balkaning deformatsiyasini o'rganish, uni egilgan o'qining tenglamasini tuzish va hosil bo'lgan tenglamani differentsiyalash usuli bilan balkaning istalgan kesimini aylanishi burchagi  $\theta$  ni topish mumkin.

## 7.2. Balka egilish o'qining differensial tenglamasi

Salqilik  $y$  ni abtsissa funksiyasi ko'rinishida hosil qilish uchun, balkani deformatsiyasini tashqi kuch bilan bog'lash kerak. Shunday bog'lanish, birinchidan, balkaning egrilik radiusi bilan eguvchi moment, balka materialining elastiklik moduli va balka kesimining inersiya momenti orasidagi bog'lanish va ikkinchidan, egrilik radiusi  $\rho$  bilan uning  $x$  va  $y$  koordinatalari orasidagi bog'lanishdir, ya'ni

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI}; \quad (7.2) \quad \frac{1}{\rho} = \pm \frac{\frac{d^2y}{dx^2}}{\sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2}} \quad (7.3)$$

unda

$$\frac{M}{EI} = \pm \frac{\frac{d^2y}{dx^2}}{\sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2}} \quad (7.4)$$

(7.4) formula balka egilgan o'qining differensial tenglamasi. Amaryotda burchak  $\theta = \frac{dy}{dx}$  kichik miqdordir, shuning uchun uning kvadrati

yana ham kichik bo'ladi. Demak, (7.4) formuladagi  $\left(\frac{dy}{dx}\right)^2$  ifodani birga nisbatan hisobga olmasak ham bo'ladi. Unda

$$\pm \frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M}{EI} \text{ yoki } EI \frac{d^2y}{dx^2} = \pm M \quad (7.5)$$

Bu formula balka egilgan o'qining taqribiy differensial tenglamasi deyiladi. (7.5) tenglamaning ishorasi  $M$  eguvchi momentning ishorasiga bog'liq.

**Balka egilgan o'qining taqribiy differensial tenglamasini integrallash usuli.** Balka egilgan o'qining differensial tenglamasidan salqilik tenglamasi  $y = f(x)$  ni hosil qilish uchun, (7.5) tenglamani

integrallash kerak: birinchi integrali:  $EI \frac{dy}{dx} = \int M dx + C$  va ikkinchi tartib-

li integrali:  $EI \cdot y = \int dx \int M dx + CX + D$  ko'rinishda bo'ladi.

Unda kesimni aylanish burchagi  $\theta = \frac{1}{EI} [\int M dx + C]$

va salqilik tenglamasini hosil qilamiz.  $y = \frac{1}{EI} [\int dx \int M dx + CX + D]$  (7.6)

bu yerda  $S$  va  $D$  - integrallash doimiyliklari.



Agar,  $M = -FX$  bo'lsa aylanish burchagi va salqilik tenglamalari quyidagicha ko'rinishga keladi:

$$\theta = \frac{1}{EI} \left[ -F \frac{x^2}{2} + C \right] \quad \text{a)} \quad y = \frac{1}{EI} \left[ -F \frac{x^3}{6} + CX + D \right] \quad \text{(b)}$$

Integrallash doimiylari  $C$  va  $D$  ni topish uchun balka uchlarining tayanish shartlaridan foydalaniladi. Agar,  $x=0$  bo'lsa, (a) tenglamadan

$$\theta = \theta_0 = \theta_0 = \frac{C}{EI} \quad \text{yoki} \quad C = \theta_0 EI \quad \text{(v)}$$

Demak, integrallash doimiysi  $S$  balka boshlang'ich kesimining aylanish burchagi  $\theta_0$  ni balkaning bikrligi  $EI$  ga ko'paytmasiga teng ekan.

(a) tenglamadan  $\theta_0$  burchak noma'lum bo'lganligi uchun  $C$  ham

noma'lumligicha qoladi. (b) tenglamadan  $y = y_0 = y_0 = \frac{D}{EI}$  va

$$D = y_0 EI \quad \text{(g)}$$

Demak, integrallash doimiysi  $D$  balka boshlang'ich nuqtasining salqiligi  $y_0$  ni balkaning bikrligi  $EI$  ga ko'paytmasiga teng.

Agar,  $x=l$  bo'lsa,  $K$  tayanch kesim qo'zg'almas bo'lganligi uchun (a) tenglamadan  $\theta = \theta_K = 0$  va (b) tenglamadan  $y = y_B = 0$  hosil

bo'ladi. Unda (a) tenglamadan  $C = \frac{F \ell^2}{2}$  ifodani (b) tenglamaga keltirib

qo'yamiz va  $D = \frac{F \ell^3}{6} - \frac{F \ell^2}{2} \cdot \ell = -\frac{F \ell^3}{3}$  ifodani hosil qilamiz.

$C$  va  $D$  integrallash doimiylarini (a) va (b) tenglamalarga keltirib

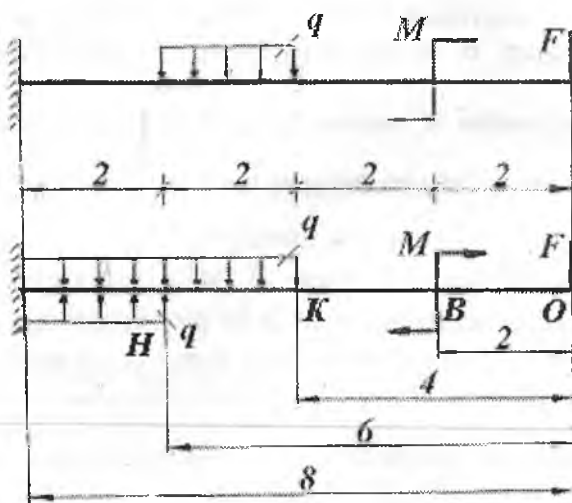
$$\text{qo'ysak:} \quad \theta = \frac{1}{EI} \left[ -F \frac{x^2}{2} + F \frac{\ell^2}{2} \right] \quad \text{va} \quad y = \frac{1}{EI} \left[ -F \frac{x^3}{6} + F \frac{\ell^2}{2} x - \frac{F \ell^3}{3} \right]$$

hosil bo'ladi. Bu tenglamalardan  $x$  ni turli qiymatlarida balkaning uzunligi bo'ylab kesimni aylanish burchagi  $\theta$  va salqilik  $y$  - topiladi.

### 7.3. Boshlang'ich parametrlar usuli

Uzunligi bo'ylab bir nechta oraliqlardan iborat bo'lgan har qanday balka uchun ham  $\theta$  va  $y$  - larni aniqlashda, taqribiy differensial tenglamani tadbiiq etish foydali bo'lavermaydi. Chunki,  $n$  - ta oraliqdan iborat balkani deformatsiyasini aniqlash uchun  $n$  - ta taqribiy differensial tenglama tuzish kerak. Bu tenglamalarni integrallash natijasida  $2n$ -ta integrallash doimiyliklari hosil bo'ladi va masalani yechish murakkablashadi. Shuning uchun, uzunligi bo'ylab ikkita va undan ko'proq oraliqlardan iborat balkalarda elastik egilgan o'qning differensial tenglamasini tadbiiq etish va undagi doimiyliklarni aniqlash ancha murakkab va noqulaydir.

Agar, balkani deformatsiyasiga ta'sir qilmagan holda uning sxemasini o'zgartirishda va elastik egilgan o'qning differensial tenglamasini integrallashda ayrim cheklanishlarni qabul qilsak, differensial tenglamalardagi  $2n$  - ta noma'lumni 2-taga qadar kamaytirish mumkin.



7.2-rasm. Universal formulani hosil qilish sxemasi.

Buning uchun quyidagi cheklanishlarni qabul qilamiz:

- 1) balkani  $XOU$  koordinata sistemasiga joylashtiramiz va balkani boshlang'ich nuqtasini aniqlaymiz;

2) balkaning oraliq masofalarini, koordinata boshidan ma'lum tartibda joylashtiramiz.

3) Balkaning biror oraliqdagi taqsimlangan kuch intensivligini ta'siri, balkani oxirigacha davom etmasa, balkani shu oraliqlarini o'zaro teng va qaramaqarshi yo'nalgan taqsimlangan kuch intensivligi bilan to'ldiramiz.

4) Juft kuch momentini  $MX^0$  - ko'rinishda yozamiz;

5) Differensial tenglamani integrallashda - qavslarni ochmaymiz.

Integrallashni quyidagicha bajaramiz:  $\int (x-a)^n dx = \frac{(x-a)^{n+1}}{n+1}$

Balkani har bir oraliqlari uchun egilgan o'qning differensial tenglamasini tuzamiz va integrallaymiz:

**OB - qirgim.**  $0 \leq x_1 \leq 2M$

$$EI \cdot y_1'' = -Fx_1; \quad ; \quad EI \cdot y_1' = -F \frac{x_1^2}{2} + C_1 \quad EI \cdot y_1 = -F \frac{x_1^3}{6} + C_1 x_1 + D_1$$

**OK - qirgim.**  $2 \leq x_2 \leq 4M$

$$EI \cdot y_2'' = -Fx_2 - M(x_2 - 2)^0;$$

$$EI \cdot y_2' = -F \frac{x_2^2}{2} - M(x_2 - 2)' + C_2$$

$$EI \cdot y_2 = -F \frac{x_2^3}{6} - M \frac{(x_2 - 2)^2}{2} + C_2 x_2 + D_2$$

**OH - qirgim.**  $4 \leq x_3 \leq 6M$

$$EI \cdot y_3'' = -Fx_3 - M(x_3 - 2)^0 - q \frac{(x_3 - 4)^2}{2}$$

$$EI \cdot y_3' = -F \frac{x_3^2}{2} - M(x_3 - 2)' - q \frac{(x_3 - 4)^3}{6} + C_3$$

$$EI \cdot y_3 = -F \frac{x_3^3}{6} - M \frac{(x_3 - 2)^2}{2} - q \frac{(x_3 - 4)^4}{24} + C_3 x_3 + D_3$$

**OJ - qirgim.**  $6 \leq x_4 \leq 8M$

$$EI \cdot y_4'' = -Fx_4 - M(x_4 - 2)^0 - q \frac{(x_4 - 4)^2}{2} + q \frac{(x_4 - 6)^2}{2}$$

$$EI \cdot y_4' = -F \frac{x_4^2}{2} - M(x_4 - 2)' - q \frac{(x_4 - 4)^3}{6} + q \frac{(x_4 - 6)^3}{6} + C_4$$

$$EI \cdot y_4 = -F \frac{x_4^3}{6} - M \frac{(x_4 - 2)^2}{2} - q \frac{(x_4 - 4)^4}{24} + q \frac{(x_4 - 6)^4}{24} + C_4 x_4 + D_4$$

Integrallash doimiyliklarini aniqlaymiz:



$X_1 = 2 m$  va  $X_2 = 2 m$  bo'lsa  $y_1' = y_2'$  va  $y_1 = y_2$  hosil bo'ladi, ya'ni  $OV$  oraliqdan  $KV$  oraliqqa o'tish kesimidagi aylanish burchaklari va salqiliklari teng:  $-F \frac{4}{2} + C_1 = -F \frac{4}{2} + C_2$  va

$$-F \frac{8}{6} + C_1 \cdot 2 + D_1 = -F \frac{8}{6} + C_2 \cdot 2 + D_2$$

Shuning uchun  $C_1 = C_2$  va  $D_1 = D_2$  shu usul bilan  $x_2 = 4 m = x_3$  nuqtada  $y_2' = y_3'$  va  $y_2 = y_3$  tengliklar asosida  $C_3 = C_2$  va  $D_3 = D_2$  lar;  $x_3 = 6 m$   $x_4 = 6 m$  nuqtada  $y_3' = y_4'$  va  $y_3 = y_4$ . Shuning uchun  $C_3 = C_4$  va  $D_3 = D_4$  tengliklar hosil qilinadi.

Demak,  $C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = CS$  va  $D_1 = D_2 = D_3 = D_4 = D$  ko'rinishda hamma integrallash doimiyliklari o'zaro teng ekanligi kelib chiqadi. To'rta oraliqdan iborat balkani differensial tenglamalarini integrallashda hosil bo'lgan sakkizta noma'lum integrallash doimiyliklari ikkita keltiriladi. Bu doimiyliklarni:  $C = EI \cdot \theta_0$  va  $D = EI \cdot y_0$  ko'rinishda, ya'ni balkani boshlang'ich kesimini aylanish burchagi  $\theta_0$  va salqiligi  $y_0$  orqali ifodalash mumkin. Barcha integrallash doimiyliklari tengligidan foydalanib balkaning oxirgi oraliqlari uchun differensial tenglamani quyidagicha ko'rinishda yozamiz:

$$\theta = \theta_0 + \frac{1}{EI} \left[ -F \frac{x^2}{2} - M(x-2)' - q \frac{(x-4)^3}{6} + q \frac{(x-6)^3}{6} \right] \quad (7.7)$$

$$y = y_0 + \theta_0 x + \frac{1}{EI} \left[ -F \frac{x^3}{6} - M \frac{(x-2)^2}{2} - q \frac{(x-4)^4}{24} + q \frac{(x-6)^4}{24} \right] \quad (7.8)$$

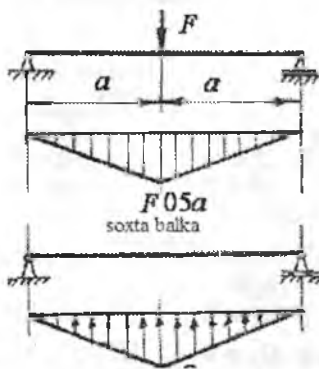
Hosil bo'lgan tenglamalar (7.7) va (7.8) universal formulalar deyiladi. Formulaning universalligi, uning balkani uzunligi bo'ylab barcha oraliqlarini hisobga olishida. Balkani qaysi oraliqning deformatsiyasini o'rganish kerak bo'lsa, universal formulada – shu oraliqdagi kuchlar qoldiriladi; boshqa kuchlar esa tashlab yuboriladi. Balkaning barcha oraliqlari uchun  $\theta_0$  va  $y_0$  lar umumiydir.

#### 7.4. Egilishda ko'chishni topishning grafoanalitik usuli

Grafoanalitik usul bilan balkani tanlangan kesimining salqiligi va aylanish burchagini aniqlash mumkin. Bu usulni analitik tomoni balka egilgan o'qining taqribiy differentsial tenglamasiga asoslangan, ya'ni:

$$\frac{d^2(EI \cdot y)}{dx^2} = EI \frac{d^2 y}{dx^2} = M \quad (7.9)$$

bu yerda  $M$  – berilgan balkaning eguvchi momenti (7.3-rasm)



7.3-rasm. Haqiqiy va soxta balkalar

Masalani grafik tomonini yoritish uchun soxta balka va soxta kuch tushunchalarini kiritamiz. Soxta balka haqiqiy balkadan farq qiladi va u soxta kuch intensivligi  $q_f$ , ya'ni haqiqiy balkani eguvchi momentining epyurasi bilan yuklaymiz. Demak, soxta kuch miqdor jihatdan eguvchi momentga teng ekan, ya'ni:  $M = q_f \cdot a$ . Soxta kuch intensivligi  $q_f$  - haqiqiy balkaning eguvchi momenti qonuniyati bilan o'zgaradi. Soxta kuch intensivligi bilan soxta eguvchi moment orasidagi differentsial bog'lanishni haqiqiy balkadagi  $M$  va  $q$  orasidagi bog'lanish asosida yozamiz:

$$\frac{d^2 M_f}{dx^2} = q_f \cdot a \quad (7.10)$$

$M = q_f \cdot a$  tenglikni hisobga olsak, (7.9) va (7.10) tenglamalarni solishtirib quyidagi formulani hosil qilamiz:

$$\frac{d^2(EI \cdot y)}{dx^2} = \frac{d^2 M_f}{dx^2} \quad (7.11)$$

(7.11) formulani integrallab, ixtiyoriy o'zgarmas chap va o'ng tomon integrallash doimiylarini o'zaro tenglashtirsak, quyidagini hosil qilamiz:

$$\frac{d(EI \cdot y)}{dx} = EI \theta = \frac{dM_f}{dx} \quad \text{va} \quad EI \cdot y = M_f$$

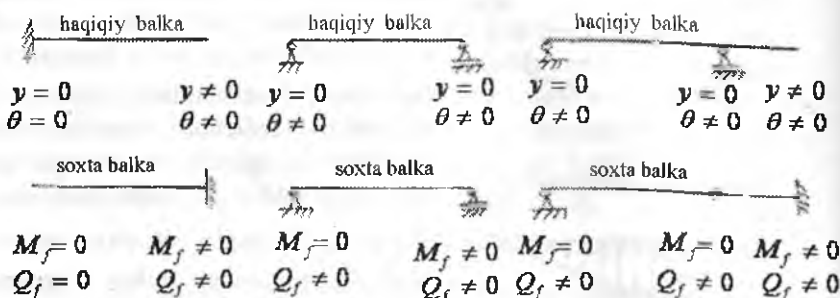
Berilgan tashqi kuch ta'sirida haqiqiy balkani ixtiyoriy kesimining aylanish burchagi -  $\theta$ , soxta balkani shu kesimidagi ko'ndalang

kuchning haqiqiy balkani bikrligiga bo'linmasiga teng:  $\theta = \frac{Q_f}{EI} \quad (7.12)$

Berilgan tashqi kuch ta'sirida haqiqiy balkaning ixtiyoriy nuqtasining salqiligi -  $y$ , soxta balkaning shu nuqtasidagi eguvchi moment  $M_f$  - ning haqiqiy balkaning birligi bo'linmasiga teng:

$$y = \frac{M_f}{EI} \quad (7.13)$$

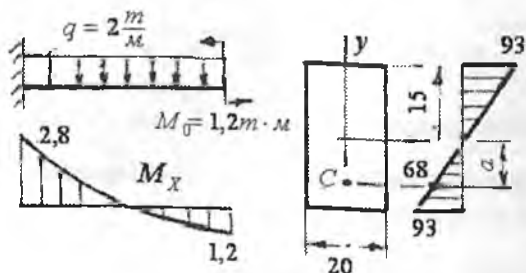
Haqiqiy balkani tanlangan kesimining aylanish burchagi va salqiligini aniqlash uchun soxta balkani shu kesimidagi soxta ko'ndalang kuch va soxta eguvchi momentini aniqlash kerak ekan. Soxta balkani tanlash shartlari 7.4-rasmda ko'rsatilgan.



### Savollar

1. Sof egilish deb nimaga aytiladi?
2. Sof egilishga misollar keltiring.
3. Neytral qatlam deb qanday materialga aytiladi?
4. Egilishda normal kuchlanish formulasini yozing.
5. Egilishda normal kuchlanish balka kesimini yuzasida qanday qonuniyat bilan o'zgaradi?
6. Egilishda urinma kuchlanish formulasini yozing.
7. Egilishda urinma kuchlanishi balka kesimini yuzasida qanday qonuniyat bilan o'zgaradi?
8. Egilishda normal kuchlanish bo'yicha mustahkamlik shart formulasini yozing.
9. Egilishda urinma kuchlanish bo'yicha mustahkamlik shart formulasini yozing.
10. Teng qarshilik ko'rsatuvchi balkalar deb nimaga aytiladi?
11. Balka kesimini aylanish burchagi va salqiligi nima?
12. Egilish deformatsiyasi qanday usullar bilan topiladi?
13. Balka egilgan o'qining taqribiy differensial tenglamasini yozing.

14. Universal formulani yozing.



7.5-rasm.

### Misol-1.

Berilgan balka uchun eguvchi moment epyurasi qurilsin; xavfli kesimdagi eng katta normal kuchlanish va shu kesimdagi C nuqtaning kuchlanishi topilsin

**Yechish.**  $M_x = M_0 - q \frac{x^2}{2}$  tenglamadan  $x=0$  da  $M_x = 1,2 \text{ tm}$ ;  $x=1,09 \text{ m}$ ,  $M_x = 0$  va  $x=2,8 \text{ m}$ ,  $M_x = 2,5 \text{ tm}$  hosil qilamiz. Kesimning  $x$  o'qi-ga nisbatan qarshilik momentini topamiz:

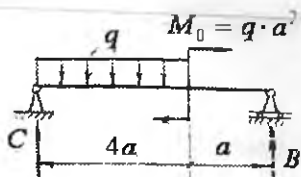
$$W_x = \frac{bh^2}{6} = \frac{0,2(0,3)^2}{6} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

Eng katta eguvchi moment balkaning tayanch kesimida hosil bo'ladi:  $M_{\max} = 28 \text{ kNm}$  va  $\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_x} = \frac{2,8}{3 \cdot 10^{-3}} = 9,3 \cdot 10^3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

C nuqta balka kesimining  $x$  o'qidan  $y-a = \frac{h}{2} - 4 = 0,1 \text{ m}$  masofada joylashgan.  $\sigma_c = \frac{-M_{\max}}{I_x} \cdot 0,11 = \frac{25 \cdot 0,11}{4,5 \cdot 10^{-4}} = -0,684 \cdot 10^4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

bu yerda  $I_x = \frac{bh^3}{12} = \frac{0,2(0,3)^3}{12} = 4,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$

**Misol-2.** Uzunligi  $l=3 \text{ m}$  bo'lgan, kesimi to'g'ri burchakli balka 7.6-rasmda ko'rsatilgandek yuklangan. O'lchamlari  $h = 0,2 \text{ m}$ ;  $b = 0,12 \text{ m}$  bo'lgan balkani xavfli kesimdagi eng katta normal kuchlanish  $\sigma_{\max} = 1,21 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ -dan foydalanib, taqsimlangan kuch intensivligi -  $q$  topilsin.



7.6-rasm.

**Yechish:** Reaksiya kuchlarini topamiz:

$$\Sigma M_c = q4a \cdot \frac{4a}{2} + M_0 - B5a = 0; \quad B = \frac{9}{5}q \cdot a$$

$$\Sigma M_B = C \cdot 5a - q4a \left( \frac{4a}{2} + a \right) + M = 0; \quad C = \frac{11}{5}q \cdot a$$

$$M_x \text{ va } Q \text{ tenglamalarini tuzamiz: } M_x = c \cdot x - q \frac{x^2}{2} \text{ va } Q = c - qx$$

Balkani  $Q = 0$  bo'lgan nuqtasida  $M_x = M_{\max}$ . Shuning uchun,  $Q = 0$  nuqtaning koordinatasi  $x$ -ni topamiz.  $C - qx = 0$  yoki

$$x = \frac{c}{q} = \frac{11 \cdot q \cdot a}{5q} = \frac{11a}{5}; \quad \text{unda } M_{\max} = C \cdot \frac{11a}{5} - q \frac{\left(\frac{11a}{5}\right)^2}{2} = 2,42qa^2$$

Balka xavfli kesimining mustahkamlik shartini yozamiz:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{2,42qa^2}{\frac{bh^2}{6}} = 1,21 \frac{\kappa N}{m^2}$$

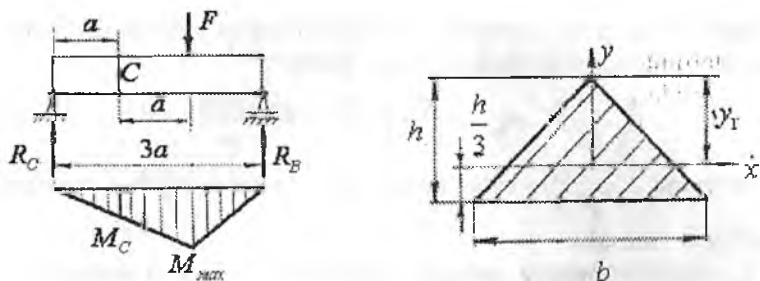
$$\text{Bu yerdan } q = \frac{1,21 \cdot b \cdot h^2}{2,42 \cdot 6 \cdot a^2} = \frac{1,21 \cdot 0,12 \cdot (0,21)^2}{2,42 \cdot 6 \cdot 1} = 4 \cdot 10^{-4} \frac{\kappa N}{m}$$

**Misol -3.**  $G'$  kuch ta'siridan balka kesimining  $S$  nuqtasida hosil bo'lgan normal kuchlanish  $\sigma_c = 3 \frac{\kappa N}{m^2}$ . Balkaning  $M = M_{\max}$  bo'lgan xavfli kesimidagi absolyut qiymati eng katta bo'lgan normal kuchlanish topilsin.

**Yechish.** Reaksiya kuchlari  $R_c = \frac{F}{3}$  va  $R_B = \frac{2F}{3}$ . Eguvchi moment epyurasidan  $M_c = R_c \cdot a = \frac{Fa}{3}$  va  $M_{\max} = \frac{2}{3}Fa$  hosil qilamiz. Nuqta

uchun balkaning mustahkamlik sharti  $\sigma_c = \frac{M_c}{W}$  dan

$$M_c = \sigma_c \cdot \frac{I_s}{y} = \sigma_c \frac{bh^3 \cdot 3}{12 \cdot h} = 0,75bh^2$$



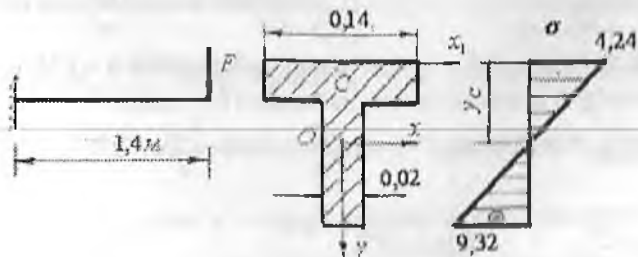
7.7-rasm. Berilgan balka va uning kesimi.

Eguvchi moment epyurasidan va mustahkamlik shartidan kelib chiqqan  $M_s$  momentlarini solishtirsak,  $F = \frac{2,25bh^2}{a}$  ni hosil qilamiz.

Unda  $M_{\max} = \frac{2}{3} \cdot \frac{2,25bh^2 \cdot a}{a} = 1,5bh^2$ . Balkaning xavfli kesimidagi eng katta normal kuchlanish

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max} \cdot y_1}{I_x} = \frac{1,5bh^2}{bh^3} \cdot \frac{2}{3}h = \frac{1,5 \cdot 2}{1} \cdot \frac{2}{3} = 12 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}$$

**Misol-4.** Uzunligi  $\ell = 1,4\text{m}$  konsol balkaning xavfli kesimidagi cho'zuvchi normal kuchlanish  $\sigma = 4,24 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}$ . Balkaga qo'yilgan  $G'$  kuch va siquvchi normal kuchlanish topilsin.



Konsolni yuklanish sxemasi, kesimi va normal kuchlanish epyurasi.

**Yechish.** Balkaning tayanch kesimi eng xavfli hisoblanadi, chunki bu kesimda  $M_x = M_{\max} = -F \cdot \ell = -1,4F'$ .  $G'$  kuch ta'siridan balkani egilishida yuqori tolalr cho'ziladi, pastki tolalari esa siqiladi. Yuqori tola-

lardagi eng katta cho'zuvchi kuchlanish bo'yicha balkani xavfli holatidagi materialining mustahkamlik sharti:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max} \cdot y_0}{I_x} = 4,24 \frac{\kappa N}{m^2}$$

Bu yerda  $y_0 = \frac{\sum Sx}{\sum A}$  – balka kesimining neytral o'qidan C nuqtaga-cha bo'lgan masofa:

$I_x$  - balka kesimning neytral o'qqa nisbatan inersiya momenti

$S_{x_1}$  - balka kesimining  $x_1$  o'qiga nisbatan statik momenti

$$\sum S_{x_1} = 0,14 \cdot 0,02 \cdot 0,01 + 0,14 \cdot 0,02 \left( \frac{0,14}{2} + 0,02 \right) = 2,8 \cdot 10^{-4} m^3;$$

$$\sum A = 2 \cdot 0,14 \cdot 0,02 = 5,6 \cdot 10^{-3} m^2;$$

Unda  $y_0 = \frac{2,8 \cdot 10^{-4}}{5,6 \cdot 10^{-3}} = 0,05 m$

$$I_x = \frac{0,14(0,02)^3}{12} + 0,14 \cdot 0,02(y_0 - 0,01)^2 + \frac{0,02(0,14)^3}{12} + 0,02 \cdot 0,14(0,02 + 0,07 - y_0)^2 = 1,3623 \cdot 10^{-5} m^4$$

formuladan foydalanib  $F$  kuchni topamiz:  $\frac{1,4Fy_0}{I_x} = 4,24 \frac{\kappa N}{m^2}$  va

$$F = \frac{4,24 \cdot I_x}{1,4 \cdot y_0} = \frac{4,24 \cdot 1,3623 \cdot 10^{-5}}{1,4 \cdot 0,05} \approx 8,25 \cdot 10^{-5} \kappa N$$

Kesimni V nuqtasidagi normal kuchlanishni topamiz:

$$M_{\max} = 82,5 \cdot 10^{-5} \cdot 1,4 = 115,5 \cdot 10^{-5} \kappa N \cdot m$$

$$\sigma_B = \frac{115,5 \cdot y_B \cdot 10^{-5}}{1,3623 \cdot 10^{-5}} = \frac{115,5 \cdot 10^{-5} (0,16 - 0,05)}{1,3623 \cdot 10^{-5}} = 9,32 \frac{\kappa N}{m^2}$$

**Misol-5.** Yog'ochdan tayyorlangan balka uchun  $h = 1,5b$  nisbatdan foydalanib to'g'ri burchakli kesim tanlansin (7.9-rasm).

Berilgan:  $a = 0,25m$ ;  $q = 10 \frac{\kappa N}{m}$ ;  $F = 10qa = 25\kappa N$

$$[\sigma] = 10 \frac{\kappa N}{m^2}; \quad [\tau] = 0,12 \frac{\kappa N}{m^2}$$

**Yechish:** Bir tomoni qistirib mahkamlangan balkaning xavfli kesimidagi eguvchi moment va ko'ndalang kuchini topamiz.

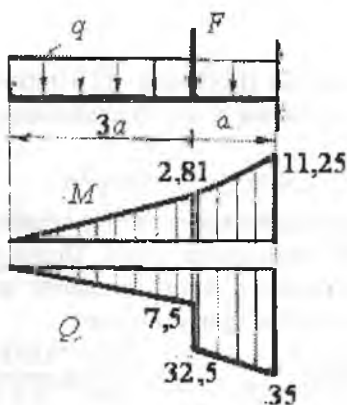
**I-qirg'jim**  $0 \leq x_1 \leq 0,75m$

$$Mx_1 = -q \frac{x_1^2}{2} \quad \text{va} \quad Q_1 = -qx_1$$

II-qirgim  $0,75 \leq x_2 \leq 1m$

$$I\ddot{o}_2 = -q \frac{x_2^2}{2} - F(x_2 - 0,75)$$

$$Q_2 = -qx_2 - F$$



7.9-rasm

Balkaning xavfli kesimi tayanch nuqtasida ekan:  $M_{\max} = -11,25\kappa Nm$  va  $Q_{\max} = -35\kappa N$ . Xavfli kesim uchun normal va urinma kuchlanishlar bo'yicha mustahkamlik shartlar:  $\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_x} \leq [\sigma]$  va  $\tau_{\max} = \frac{Q_{\max} \cdot S_x}{I_x \cdot b} \leq [\tau]$ .

Bu yerda:  $W_x = \frac{bh^2}{6}$  kesimning  $x$  o'qiga nisbatan qarshilik momenti

( $m^3$ ),  $S_x = b \cdot \frac{h}{2} \cdot \frac{h}{4} = \frac{bh^2}{8}$  kesimning  $x$  o'qiga nisbatan statik momenti

( $m^3$ ),  $I_x = \frac{bh^3}{12}$  kesimni  $x$  - o'qiga nisbatan inersiya momenti. Kesimning

o'lchamlarini normal kuchlanish bo'yicha mustahkamlik

shartidan foydalanib topamiz.  $\frac{M_{\max}}{hb^2} = [\sigma]$  yoki  $h = 1,5b$  ni hisobga olsak:

$$b = \sqrt[3]{\frac{\sigma \cdot M_{\max}}{1,5[\sigma]}} = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot 11,25}{1,5 \cdot 10^4}} = 0,165m \quad h = 1,5 \cdot b = 1,5 \cdot 0,165 = 0,2475m$$



Kesimning o'lchamlarini urinma kuchlanishga bog'lab aniqlaymiz:

$$\tau_{\max} = \frac{Q_{\max} \cdot \frac{bh^2}{2}}{\frac{bh^3}{12} \cdot b} \leq [\tau]; \quad h = 1,5b \text{ nisbatni hisobga olsak:}$$

$$b = \sqrt{\frac{Q_{\max}}{[\tau]}} \approx 0,17m \text{ va } h = 1,5 \cdot b = 1,5 \cdot 0,17 = 0,255m; \text{ o'lchamlarni qabul qilamiz.}$$

**Misol-6.**  $\Pi$  - shaklli profilning (7.10-rasm) devorlar balandligi bo'ylab normal  $\sigma$  va urinma  $\tau$  kuchlanishlarning tarqalish qonuniyati grafikasini quring.

Berilgan:  $Q_{\max} = 120kN$ ;  $M_{\max} = 50kNm$

**Yechish:** Kesimning neytral o'qining holatini aniqlaymiz. Neytral o'q kesimning og'irlik markazidan o'tadi. Shuning uchun  $\Pi$  - shaklli kesimni og'irlik markazining koordinatalarini aniqlaymiz. Kesim Z o'qiga nisbatan simmetrik bo'lganligi uchun

$$y_c = 0. \quad \text{Unda} \quad z_c = \frac{\sum S_{y_1}}{\sum A} = \frac{11,04 \cdot 10^{-4}}{9,6 \cdot 10^{-3}} = 0,115m$$

$\sum S_{y_1}$  - kesimning  $y_1$  o'qiga nisbatan statik momenti,  $m^3$

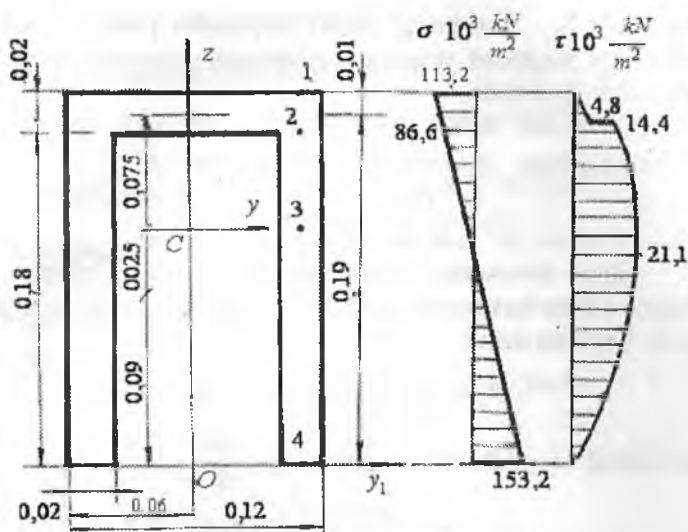
$\sum A$  - shaklning kesim yuzasi,  $m^2$

$$\sum S_{y_1} = 0,02 \cdot 0,12 \cdot 0,19 + 2 \cdot 0,18 \cdot 0,02 \cdot 0,09 = 11,04 \cdot 10^{-4} m^3$$

$$\sum A = 2 \cdot 0,02 \cdot 0,18 + 0,02 \cdot 0,12 = 9,6 \cdot 10^{-3} m^2$$

Parallel o'qlarga nisbatan inersiya momentlari formulasi bilan foydalanib kesimning  $y$  - o'qiga nisbatan inersiya momentini topamiz.

$$I_y = 2 \left[ \frac{0,02 \cdot (0,18)^3}{12} + (0,025)^2 \cdot 0,02 \cdot 0,18 \right] + \frac{0,12(0,02)^3}{12} + 0,75^2 \cdot 0,02 \cdot 0,12 = 37,52 \cdot 10^{-6} m^4$$



7.10-rasm. P-shaklli profil kesimining balandligi bo'yicha normal va urinma kuchlanishlarning epyurlari.

$\sigma = \frac{M_{\max} \cdot Z}{I_y}$  - formuladan foydalanib kesimning balandligi bo'ylab

normal kuchlanishning o'zgarishini topamiz: bu yerda  $Z$  – kuchlanish tekshirilayotgan nuqtadan kesimning neytral o'qigacha bo'lgan masofa,  $m$

1. nuqta ( $Z_1 = 0,085m$ );  $\sigma^I = \frac{-50 \cdot 0,085}{37,52 \cdot 10^{-6}} = -113,273 \cdot 10^3 \frac{\kappa N}{m^2}$

2. nuqta ( $Z_2 = 0,065m$ )  $\sigma^{II} = \frac{-50 \cdot 0,065}{37,52 \cdot 10^{-6}} = -86,62 \cdot 10^3 \frac{\kappa N}{m^2}$

3. nuqta ( $Z_3 = 0$ ) ( $\sigma^{III} = 0$ )

4. nuqta ( $Z_4 = 0,115m$ )  $\sigma^{IV} = \frac{50 \cdot 0,115}{37,52 \cdot 10^{-6}} = 153,25 \cdot 10^3 \frac{\kappa N}{m^2}$

Masalaning berilishda eguvchi momentning ishorasi musbat. Demak, kesimning 1 va 2 nuqtalar joylashgan qismi siqilishga va 4 nuqta joylashgan tomoni cho'zilishga ishlaydi. Kesimning balandligi

bo'ylab urinma kuchlanish o'zgarishini aniqlaymiz:  $\tau = \frac{Q_{\max} \cdot S_y}{I_y b(d)}$

bu yerda  $S_y$  – kesimning chetki nuqtasidan pastda va kuchlanish tekshiriladigan nuqtadan yuqorida joylashgan yuzasining neytral o'qqa nisbatan statik momenti.

1. nuqta uchun  $S_1 = 0$  va  $\tau_1 = 0$

2. nuqta uchun  $S_2 = 0,02 \cdot 0,12 \cdot 0,075 = 1,8 \cdot 10^{-4}, m^3$

$$\tau_2 = \frac{120 \cdot 1,8 \cdot 10^{-4}}{37,52 \cdot 10^{-6} \cdot 0,12} = 4,8 \cdot 10^3 \frac{\kappa N}{m^2}$$

2. nuqta kesimning supachasidan devoriga o'tish qismida joylashgani uchun kesimning eni 0,12 metrdan 0,02 metrqa qadar kamayadi. Shuning uchun

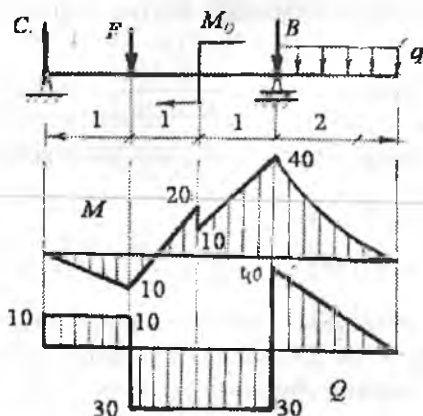
$$\tau_2^1 = \frac{120 \cdot 1,8 \cdot 10^{-4}}{37,52 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 0,02} = 14,4 \cdot 10^3 \frac{\kappa N}{m^2}$$

3. nuqta uchun  $S_3 = 1,18 \cdot 10^{-4} + 2 \cdot 0,02 \cdot 0,065 \cdot \frac{0,065}{2} = 26,45 \cdot 10^{-5} m^3$

$$\tau_3 = \frac{120 \cdot 26,45 \cdot 10^{-4}}{37,52 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 0,02} = 21,15 \frac{\kappa N}{m^2}$$

4. nuqta uchun  $S_4 = 0$  va  $\tau_4 = 0$

**Misol-7.** Berilgan po'lat materialidan tayyorlangan balka uchun qo'shtavrlri kesim tanlansin. Balkani xavfli kesimi III-mustahkamlik nazariyasi asosida to'liq tekshirilsin. Balka materialining ruxsat etilgan urinma  $[\tau] = 100 mPa$  va normal kuchlanishi  $[\sigma] = 160 mPa$



7.11-rasm.

Berilgan:  $F = 40 \text{ kN}; M_0 = 10 \text{ kNm}; q = 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

**Yechish:** Reaksiya kuchlarini topamiz:

$$\sum M_c = F \cdot 1 + M_0 - B \cdot 3 + q \cdot 2 \left( \frac{2}{2} + 3 \right) = 0; \quad B = 70 \text{ kN}$$

$$\sum M_B = C \cdot 3 - F \cdot 2 + M_0 + q \cdot 2 \left( \frac{2}{2} \right) = 0; \quad C = 10 \text{ kN}$$

Balkani uzunligi bo'yicha eguvchi moment  $M_x$  va ko'ndalang kuch  $Q$  - ni topamiz.

**I-I-qirqim**  $0 \leq x_1 \leq 1 \text{ m}$   $M_{x_1} = C \cdot x_1$   $Q_1 = C = 10 \text{ kN}$

**II - II qirqim**  $0 \leq x_2 \leq 1 \text{ m}$

$$M_{x_2} = C(1 + x_2) - Fx_2; Q_2 = C - F = -30 \text{ kN}$$

**III - III qirqim**  $0 \leq x_3 \leq 1 \text{ m}$

$$M_{x_3} = C(2 + x_3) - F(1 + x_3) + M_0; \quad Q_2 = C - F = 10 - 40 = -30 \text{ kN}$$

**IV - IV qirqim**  $0 \leq x_4 \leq 2 \text{ m}$

$$M_{x_4} = -qx_4 \frac{x_4}{2} \text{ va } Q_4 = qx_4$$

Balkaning B tayanch kesimi xavfli holatda  $M_{\max} = -40 \text{ kNm}$  va  $Q_{\max} = 40 \text{ kN}$  Normal kuchlanish bo'yicha mustahkamlik sharti

$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_x} \leq [\sigma]$  asosida balkaning kesimini tanlaymiz:

$$W_x = \frac{M_{\max}}{[\sigma]} = \frac{40}{160 \cdot 10^3} = 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ va } W_T = 0,254 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

qarshilik momentli N-22a qo'shtavrni qabul qilamiz. Tanlangan qo'shtavrli kesimda normal kuchlanish bo'yicha mustahkamlik shartini tekshiramiz.

$$\sigma_{\max} = \frac{40}{0,254 \cdot 10^{-3}} = 157,48 \cdot 10^3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} < [\sigma]$$

Kesimdagi eng katta normal kuchlanish,  $\sigma_{\max}$  balkaning materiali uchun ruxsat etilgan kuchlanishidan kichik ekan. Shuning uchun  $W_T = 0,254 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$  qarshilik momenti N-22a qo'shtavrni qabul qilamiz:

$$h = 0,22 \text{ m}; \quad b = 0,12 \text{ m}; \quad d = 0,0054 \text{ m}; \quad t = 0,0089 \text{ m};$$

$$I_x = 2790 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4; \quad W_x = 0,254 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \quad S_x = 143 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3.$$

Balkaning mustahkamligini urinma kuchlanish bo'yicha tekshiramiz:  $\tau_{\max} = \frac{Q_{\max} \cdot S_x}{I_x \cdot d} = \frac{40 \cdot 143 \cdot 10^{-6}}{2790 \cdot 10^{-5} \cdot 0,0054} = 3,87 \cdot 10^3 < [\tau]$

$\sigma$  va  $\tau$  qo'shtavrning balandligi bo'yicha o'zgarish tavsifini aniqlaymiz. Buning uchun qo'shtavrning balandligi bo'yicha to'q-qizta nuqtaning normal va urinma kuchlanishlarini topamiz.

Normal kuchlanish quyidagi formula bilan topiladi.  $\sigma = \frac{M_{\max}}{I_x} \cdot y;$

bu yerda  $y$  - kuchlanish tekshirilayotgan nuqtadan qo'shtavr kesimining neytral o'qigacha bo'lgan masofa,  $m$

$$y_1 = \frac{h}{2} = \frac{0,22}{2} = 0,11m; \quad y_{2,3} = \frac{h}{2} - t = \frac{0,22}{2} - 0,0089 = 0,101m$$

$$y_4 = \frac{h_0}{4} = \frac{h-2t}{4} = \frac{0,22-2 \cdot 0,009}{4} = 0,05m$$

$$y_5 = 0; \quad y_6 = -0,05m; \quad y_{7,8} = -0,101m; \quad y_9 = -0,11m$$

Urinma kuchlanish Juravskiy formulasi bilan topiladi.

$$\tau = \frac{Q_{\max} \cdot S_x^0}{I_x b(d)}$$

$S_x^0$  - qo'shtavr kesimining chetki nuqtasi bilan kuchlanishi tekshirilayotgan nuqta orasidagi yuzasini neytral o'qqa nisbatan statik momenti,  $m^3$

$I_x$  - qo'shtavr kesimining neytral o'qqa nisbatan inersiya momenti,  $m^4$

$b(d)$  - kuchlanishi tekshirilayotgan nuqta joylashgan kesimning eni,  $m$ .

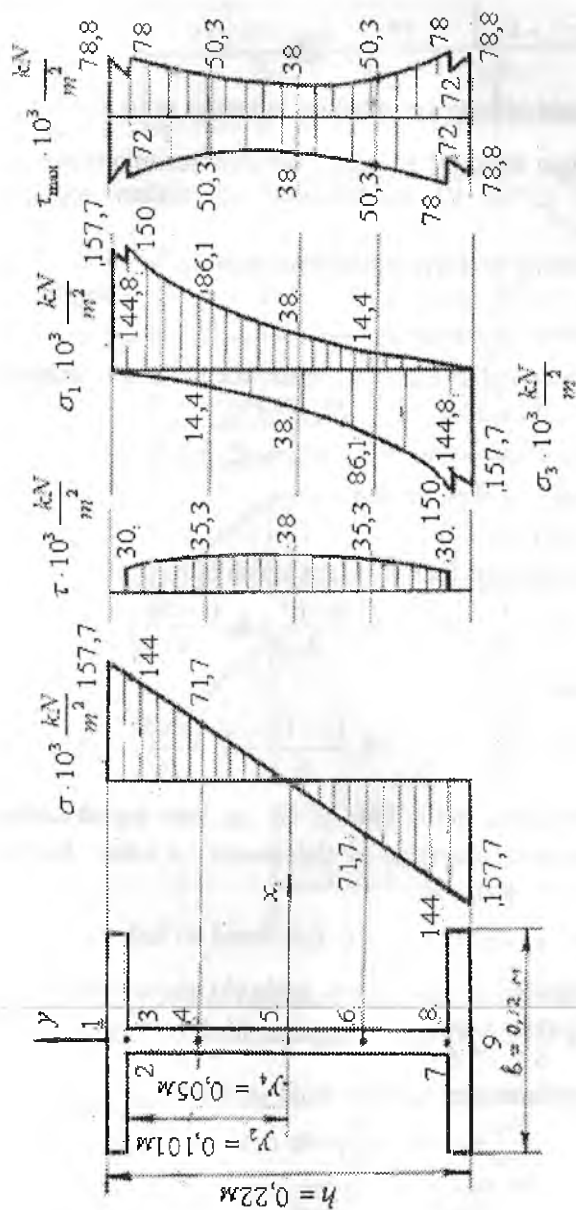
Qo'shtavrning balandligi bo'yicha  $\tau$  - ning o'zgarishi  $S_x^0$  ga bog'liq.  $S_x^1 = 0$

$$S_x^{II} = S_x^{III} = b \cdot t \frac{h-t}{2} = 0,12 \cdot 0,0089 \frac{0,22-0,0089}{2} = 1,13 \cdot 10^{-4} m^4$$

$$S_x^{IV} = 1,13 \cdot 10^{-4} + \frac{d}{2} \left( \frac{h_0^2}{y} - y^2 \right) = 1,13 \cdot 10^{-4} + \frac{0,0054}{2} \left[ \frac{(0,2022)^2}{4} - (0,05)^2 \right] = 1,33 \cdot 10^{-4} m^3$$

$$S_x^V = 1,33 \cdot 10^{-4} + \frac{0,0054}{2} \cdot \frac{(0,2022)^2}{4} = 1,4 \cdot 10^{-4} m^3 \approx S_x$$

$\sigma$  va  $\tau$  - kuchlanishlarning hisoblangan qiymatlari asosida ularning epyuralari quriladi (7.12-rasm). Kesimning balandligi bo'y-lab bosh kuchlanishlarni quyidagi formulalar bilan aniqlaymiz:



7. 12-rasm. Qo'shtayrning balandligi bo'ylab normal kuchlanish, urinma kuchlanish, bosh normal kuchlanish va bosh urinma kuchlanishlarni tarqatish epyurari.

$$\sigma_{\text{wp}} = \frac{1}{2} \left[ \sigma \pm \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \right] \quad \text{va} \quad \tau_{\text{max}}^{\text{min}} = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}$$

Bosh normal kuchlanishlarning yo'nalishini topamiz:  $\text{tg}2\alpha = -\frac{2\tau}{\sigma}$

**Misol-8.** Berilgan balka (7.13-rasm) tayanch kesimlarining aylanish burchaklari, C va D nuqtalarning salqiliklari topilsin.

$$EI = 4 \cdot 10^3 \text{ kNm}^2$$

**Yechish.** Balkaning reaksiya kuchlarini topamiz.

$$\sum M_A = -F \cdot 1 - R_B \cdot 4 + F \cdot 5 = 0; \quad R_B = F = 40 \text{ kN}$$

$$\sum M_B = -F \cdot 5 - R_A \cdot 4 + F \cdot 1 = 0; \quad R_A = 40 \text{ kN}$$

Eguvchi moment tenglamalarini tuzamiz va epyurasini quramiz.

**I – I-qirqim**  $0 \leq x_1 \leq 1\text{m}$   $M_{x_1} = -Fx_1;$

**II – II-qirqim**  $1 \leq x_2 \leq 5\text{m}$   $M_{x_2} = -F_{x_2} + R_A(x_2 - 1)$

**III – III-qirqim**  $5 \leq x_3 \leq 6\text{m}$

$$M_{x_3} = -Fx_3 + R_A(x_3 - 1) + R_B(x_3 + 5)$$

Universal formulani tuzamiz: Kesimning aylanish burchagi

$$\theta = \theta_0 + \frac{1}{EI} \left[ -F \frac{x^2}{2} + R_A \frac{(x-1)^2}{2} + R_B \frac{(x-5)^2}{2} \right] \quad (a)$$

va salqilik tenglamasi

$$y = y_0 + \theta_0 x + \frac{1}{EI} \left[ -F \frac{x^3}{6} + R_A \frac{(x-1)^3}{6} + R_B \frac{(x-5)^3}{6} \right] \quad (b)$$

Universal formuladagi noma'lum  $\theta_0$  va  $y_0$  larni topish uchun balka uchlarning tayanish shartidan foydalanamiz:  $x = 1\text{m}$  bo'lsa,  $\theta = \theta_A \neq 0$ ;  $y = y_0 = 0$  unda (b)

tenglamadan  $y_0 + \theta_0 \cdot 1 - \frac{F \cdot 1^3}{6EI} = 0$  (v) hosil bo'ladi.

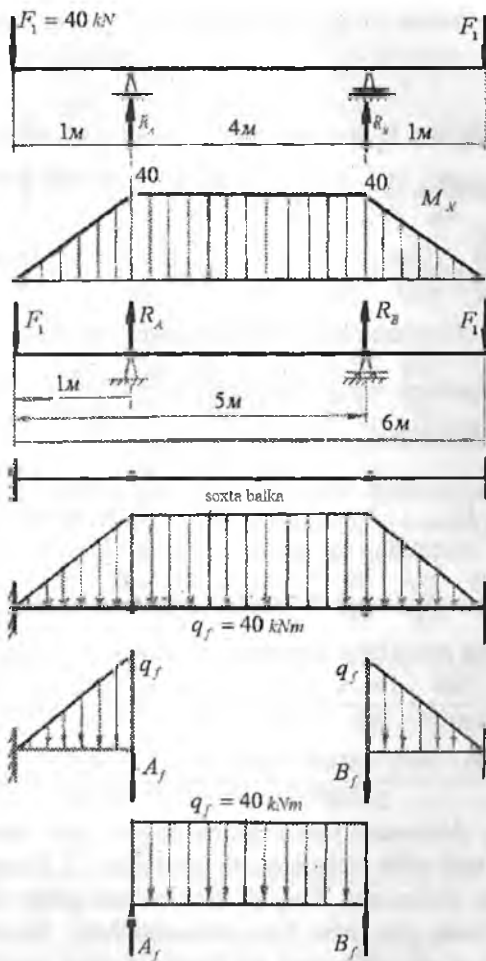
$x = 5\text{m}$  bo'lsa,  $\theta = \theta_B \neq 0$ ;  $y = y_B = 0$  unda (b) tenglamadan

$$y_0 + 5\theta_0 + \frac{1}{EI} \left[ -F \frac{125}{6} + R_A \frac{64}{6} \right] = 0 \quad \text{tenglama hosil bo'ladi.}$$

(v) va (g) tenglamalarni sistema qilib yechamiz:

$$y_0 + \theta_0 - \frac{F}{6EI} = 0;$$

$$y_0 + 5\theta_0 - \frac{125F}{6EI} + \frac{64R_A}{6EI} = 0$$



7.13 -rasm. Berilgan balkadan soxta balkani tanlash va ularning yuklanish sxemalari.

Yuqoridagi tenglamani - lga ko'paytirib, hosil bo'lgan tenglamani pastki tenglamaga qo'shamiz:  $4\theta_0 - \frac{124F}{6EI} + \frac{64R_A}{6EI} = 0$

bu yerdan 
$$\theta_0 = \frac{124F - 64R_A}{24EI} = \frac{124 \cdot 40 - 64 \cdot 40}{24EI} = \frac{100}{EI}$$



$\theta_0 = \frac{100}{EI}$  ifodani ( $v$ ) tenglamaga qo'yib,  $y_0$ -ni topamiz

$$Y_0 = \frac{F}{6EI} - \theta_0 = \frac{40}{6EI} - \frac{100}{EI} = -\frac{560}{6EI}$$

Topilgan  $\theta_0$  va  $Y_0$  larni universal formulaga keltirib qo'yamiz:

$$\theta = \frac{100}{EI} + \frac{1}{EI} \left[ -F \frac{x_2}{EI} + R_A \frac{(x-1)^2}{2} + R_B \frac{(x-5)^2}{2} \right]$$

$$Y = -\frac{560}{6EI} + \frac{100x}{6EI} + \frac{1}{EI} \left[ -F \frac{x^3}{6} + R_A \frac{(x-1)^3}{6} + R_B \frac{(x-5)^3}{6} \right]$$

Balkaning  $A$  tayanch kesimining aylanish burchagi:

$$\theta = \theta_A = \frac{100}{EI} - \frac{F \cdot 1^2}{2EI} = \frac{100}{EI} - \frac{20}{EI} = \frac{80}{EI} = \frac{80}{4 \cdot 10^3} = 0,02 \text{ rad}$$

$V$  tayanch kesimining aylanish burchagi

$$\theta = \theta_B = \frac{100}{EI} + \frac{1}{EI} \left[ -F \frac{25}{5} + R_A \frac{16}{2} \right] = \frac{100}{EI} - \frac{80}{EI} = -\frac{20}{4 \cdot 10^3} = -0,02 \text{ rad}$$

$C$  nuqtaning salqiligini topamiz  $X = 3 \text{ m}$

$$Y_C = -\frac{560}{6EI} + \frac{100 \cdot 3}{6EI} - \frac{27F}{6EI} + \frac{8R_A}{6EI} = \frac{-560 + 1800 - 1080 + 320}{6EI} = \frac{480}{24 \cdot 10^3} = 0,02 \text{ m}$$

$D$  nuqtaning salqiligini topamiz: ( $x = 6 \text{ m}$ )

$$Y_D = -\frac{560}{6EI} + \frac{100 \cdot 6}{6EI} + \frac{1}{EI} \left[ -F \frac{216}{6} + R_A \frac{125}{6} + R_B \frac{1}{6} \right] = \frac{-560 + 3600 - 8640 + 5000 + 40}{24 \cdot 10^3} = -\frac{560}{24 \cdot 10^3} = -0,0233 \text{ m}$$

Balkaning deformatsiyasini grafoanalitik usul bilan aniqlash uchun, haqiqiy balkadan soxta balkani tanlaymiz (7.13-rasm) va uni soxta kuch bilan yuklaymiz. Haqiqiy konsol balkaning tayanch nuqtalari soxta balkada sharnirlar bilan almashtiriladi. Sharnirli kesimlarda momentni ta'siri nolga teng bo'lganligi uchun, soxta balkaning uchta oddiy balkalarga ajratamiz. O'rta soxta balkaning reaksiya kuchlarini topamiz.

$$\sum M_A = q_f \cdot \frac{4^2}{2} - B_f \cdot 4 = 0 \quad \text{yoki} \quad B_f = 2 \cdot 40 = 80 \text{ kNm}^2$$

$$\sum M_B = -q_f \cdot 8 + A_f \cdot 4 = 0 \quad \text{yoki} \quad A_f = 80 \text{ kNm}^2$$

$A$  kesimning aylanish burchagi:  $\theta_A = \frac{\theta_f^A}{EI} = \frac{A_f}{EI} = \frac{80}{4 \cdot 10^3} = 0,02 \text{ rad}$

$B$  kesimning aylanish burchagi:  $\theta_B = -\frac{\theta_f^B}{EI} = \frac{B_f}{EI} = -\frac{80}{4 \cdot 10^3} = -0,02 \text{ rad}$

$$C \text{ nuqtaning salqiligi: } y_C = \frac{M_f^c}{EI} = \frac{80}{4 \cdot 10^3} = 0,02m$$

$$\text{bu yerda } M_f^c = A_f \cdot 2 - q_f \frac{2^2}{2} = 80 \cdot 2 - 40 \cdot 2 = 80 \text{ kNm}^3$$

D nuqtaning salqiligini topish uchun B - D uzunlikdagi soxta

$$\text{balkani o'rganamiz: } y_D = \frac{M_f^D}{EI} = \frac{-\omega \frac{2}{3} \cdot 1 - B_f \cdot 1}{EI} = \frac{-\frac{40}{3} - 80}{4 \cdot 10^3} = -0,023m$$

$$\text{bu yerda } \omega = \frac{1}{2} q_f \cdot 1 = \frac{40}{2} = 20 \text{ kNm}^2$$

**Misol-9.** Bir uchi qistirib mahkamlangan balkaning  $\theta$  va B nuqtalari salqiligi boshlangich parametrlar va grafonalitik usullar bilan toping.

**Yechish:** Balkaning oraliqlarga bo'lib eguvchi momentning tenglamalarini tuzamiz va epyurasini quramiz (7.14-rasm).

$$\text{I - I-qirqim} \quad 0 \leq x_1 \leq 1m \quad M_{x_1} = -Fx_1;$$

$$\text{II - II-qirqim} \quad 1 \leq x_2 \leq 2m \quad M_{x_2} = -Fx_2 - M;$$

$$\text{III - III-qirqim} \quad 2 \leq x_3 \leq 3m \quad M_{x_3} = -Fx_3 - M - q \frac{(x_3 - 2)^2}{2};$$

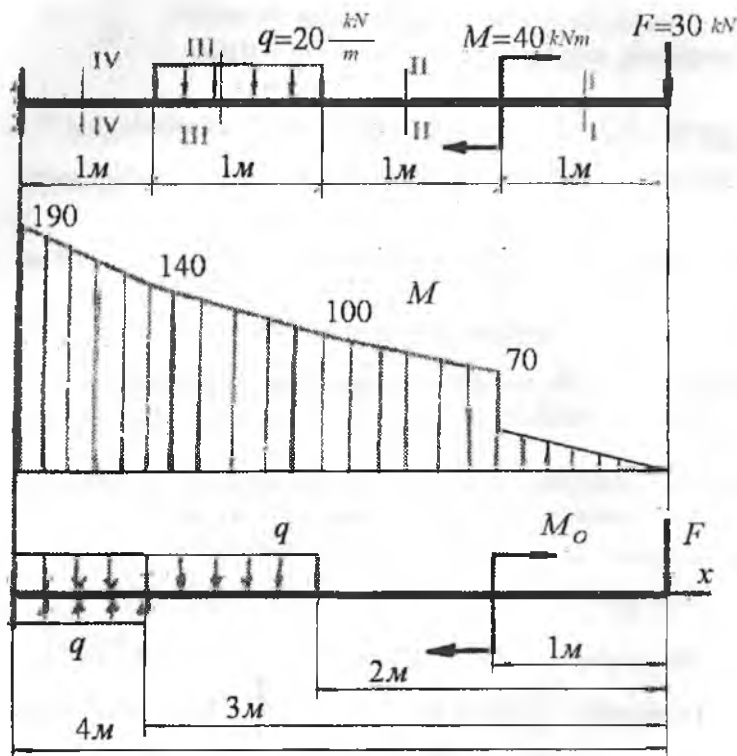
$$\text{IV - IV-qirqim} \quad 3 \leq x_4 \leq 4m \quad M_{x_4} = -Fx_4 - M - q \cdot 1(x_4 - 2,5);$$

Balka uchun universal formulani tuzamiz:

$$\theta = \theta_0 + \frac{1}{EI} \left[ -F \frac{x^2}{2} - M(x-1) - q \frac{(x-2)^3}{6} + q \frac{(x-3)^3}{6} \right]$$

$$y = y_0 + \theta_0 x + \frac{1}{EI} \left[ -F \frac{x^3}{6} - M \frac{(x-1)^2}{2} - q \frac{(x-2)^4}{24} + q \frac{(x-3)^4}{24} \right]$$

Universal formuladagi  $\theta_0$  va  $y_0$  noma'lumlarni balka uchlarining tayanish shartidan foydalanib topamiz.  $x = 0$  nuqta tayanchdan ozod, bu kesim da  $\theta = \theta_0 \neq 0$  va  $y = y_0 \neq 0$ . Shuning uchun,  $x = 0$  shartdan foydalanib bo'lmaydi.  $x = 4m$  masofadagi tayanch kesimning barcha yo'nalishdagi harakatlari chegaralangan.



7.14-rasm. Berilgan balka uchun eguvchi moment epyurasi va universal formulani tuzish sxemasi.

Shuning uchun  $x = 4$  m. bo'lsa  $\theta$  va  $y$  tenglamalaridan quyidagini hosil qilamiz:

$$\theta = 0 \text{ va } y = 0$$

$$\theta_0 = \frac{1}{EI} \left[ F \frac{16}{2} + M \cdot 3 + q \frac{8}{6} - q \frac{1}{6} \right] = \frac{2300}{6EI}$$

$$y_0 = -\frac{2300 \cdot 4}{6 \cdot EI} + \frac{1}{EI} \left[ F \frac{64}{6} + M \cdot \frac{9}{2} + q \frac{16}{24} - q \frac{1}{24} \right] = -\frac{24500}{24EI}$$

hosil bo'ladi. Topilgan  $\theta_0$  va  $y_0$  - larni universal formulaga keltirib qo'yamiz.

$$\theta = \frac{2300}{6EI} + \frac{1}{EI} \left[ -F \frac{x^2}{2} - M(x-1)^1 - q \frac{(x-2)^3}{6} + q \frac{(x-3)^3}{6} \right]$$

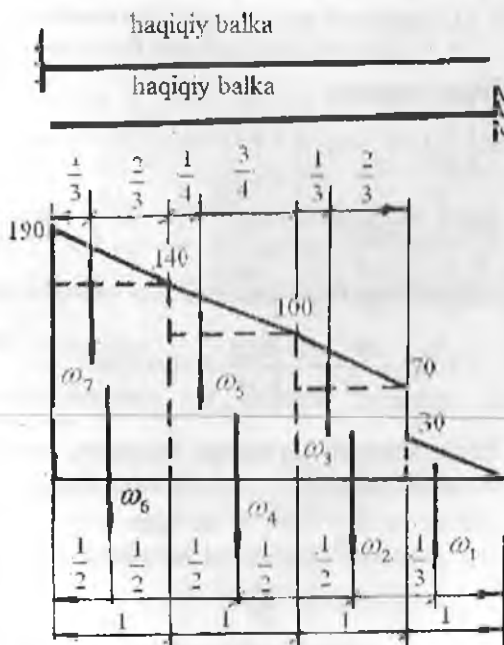
$$y_x = -\frac{24500}{24EI} + \frac{2300}{6EI} \cdot x + \frac{1}{EI} \left[ -F \frac{x^3}{6} - M \frac{(x-1)^2}{6} - q \frac{(x-1)^4}{24} + q \frac{(x-3)^4}{24} \right]$$

O nuqtani salqiligi  $x = 0$  nuqtaga to'g'ri kelib  $y = y_0$  hosil bo'ladi.  $y_0 = -\frac{24500}{24 \cdot 10^5} = -0,0102m$

$V$  nuqtaning salqiligini topamiz ( $x = 2 m$ )

$$y_2 = -\frac{24500}{24EI} + \frac{2300 \cdot 2}{6EI} - \frac{240}{6EI} - \frac{40}{2EI} \approx -3,14 \cdot 10^{-3} m$$

Balkaning deformatsiyasini grafoanalitik usul bilan aniqlaymiz. Buning uchun haqiqiy balkadan soxta balkani tanlaymiz. Soxta balkani haqiqiy balkaning eguvchi momenti bilan yuklaymiz. Soxta balkada notekis tarqalgan soxta kuchlar hosil bo'ladi. Soxta balkaning har bir nuqtasidagi soxta kuch miqdori jihatdan haqiqiy balkaning shu nuqtasidagi eguvchi momentga teng bo'ladi ( $q_j = M_j$ ) soxta kuch intensivligi bilan yuklangan kuch yuzalarini topamiz (7.15-rasm).



7.15-rasm. Soxta kuch yuzalarini hisoblash sxemasi.

$$\omega_1 = \frac{1}{2} \cdot 30 \cdot 1 = 15 \kappa \text{Nm}^2;$$

$$\omega_2 = 70 \kappa \text{Nm}^2;$$

$$\omega_3 = \frac{1}{2} (100 - 70) \cdot 1 = 15 \kappa \text{Nm}^2;$$

$$\omega_4 = 100 \cdot 1 = 100 \kappa \text{Nm}^2;$$

$$\omega_5 = \frac{1}{3} (140 - 100) \cdot 1 = \frac{40}{3} \kappa \text{Nm}^2;$$

$$\omega_6 = 140 \cdot 1 = 140 \kappa \text{Nm}^2;$$

$$\omega_7 = \frac{1}{2} (190 - 140) \cdot 1 = 25 \kappa \text{Nm}^2$$

**B nuqtaning salqiligini topamiz:**

$$\begin{aligned} M_B^f &= -\omega_1 \left( \frac{2}{3} \cdot 1 + 1 \right) - \omega_6 \left( \frac{2}{3} \cdot 1 + 1 \right) - \omega_5 \left( \frac{3}{4} \cdot 1 \right) - \omega_4 \cdot \frac{1}{2} \cdot 1 = \\ &= -25 \frac{5}{3} - 140 \frac{3}{2} - \frac{40}{3} \cdot \frac{3}{4} - 100 \frac{1}{2} = -\frac{935}{3} \kappa \text{Nm}^3 \\ y_B &= \frac{M_B^f}{EI} = -\frac{935}{3 \cdot 10^5} = 3,11 \cdot 10^{-3} \text{ m} \end{aligned}$$

**C nuqtaning salqiligini topamiz:**

$$\begin{aligned} M_C^0 &= -\omega_7 \left( \frac{2}{3} \cdot 1 + 3 \right) - \omega_6 \left( \frac{2}{3} \cdot 1 + 3 \right) - \omega_5 \left( \frac{3}{4} \cdot 1 + 2 \right) - \omega_4 \left( \frac{1}{2} \cdot 1 + 2 \right) - \\ &- \omega_3 \left( \frac{2}{3} \cdot 1 + 1 \right) - \omega_2 \left( \frac{1}{2} \cdot 1 + 1 \right) - \omega_1 \left( \frac{2}{3} \cdot 1 \right) = -25 \frac{11}{3} - 140 \frac{7}{2} - \frac{40}{3} \cdot \frac{11}{4} - \\ &- 100 \frac{5}{2} - 15 \frac{5}{3} - 70 \frac{3}{2} - 15 \frac{2}{3} = -\frac{3025}{3} \kappa \text{Nm}^3 \\ y_C &= \frac{M_C^0}{EI} = -\frac{3025}{3 \cdot 10^5} = -0,0101 \text{ m} \end{aligned}$$

**Misol-10.** Ikkita sharnirli tayanchga tayangan, uzunligi  $\ell = 1$ . Balkaning o'rta kesimida salqilik  $f = 6,25 \text{ mm}$ . Balkaning kesimi, tomonlari  $b = 0,06 \text{ m}$  va  $h = 0,04 \text{ m}$  bo'lgan to'g'ri burchaklidir. Balka materialining elastiklik moduli va bo'ylama o'qining egrilik radiusi topilsin.  $\sigma_{\max} = [\sigma] = 10 \cdot 10^3 \frac{\kappa \text{N}}{\text{m}^2}$

**Yechish:** Balkaning normal kuchlanish bo'yicha mustahkamlik shartini yozamiz:  $\sigma_{\max} = \frac{M \cdot y_{\max}}{I_x} = [\sigma]$ . Bu yerda  $y_{\max} = \frac{h}{2}$  va  $M$

balkaning xavfli kesimidagi eguvchi momenti.  $M$  - momentli balkaning eng katta salqiligini  $f$  bilan belgilaymiz.  $f = \frac{M\ell^2}{8EI_x}$  va

$M = \frac{fEI_x \cdot 8}{\ell^2}$  unda mustahkamlik sharti quyidagicha yoziladi:

$$\frac{fEI_x \cdot 8 \cdot \frac{h}{2}}{I_x \cdot \ell^2} = [\sigma] \quad \text{va}$$

$$E = \frac{[\sigma]\ell^2}{f \cdot 8 \cdot \frac{h}{2}} = \frac{1 \cdot 10^4}{6,25 \cdot 10^{-3} \cdot 8 \cdot \frac{0,04}{2}} = 1 \cdot 10^7 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Egrilik radiusi  $\rho$  bilan  $M$  va balkaning egilishdagi bikrligi  $EI$ , orasidagi bog'lanishni yozamiz:  $\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI}$ , bu yerdan

$$\rho = \frac{EI_x}{M} = \frac{EI_x \ell^2}{fEI_x \cdot 8} = \frac{\ell^2}{f \cdot 8} = \frac{1^2}{6,25 \cdot 10^{-3} \cdot 8} = 20\text{m}$$

### Misol-11. Balkani egilishga to'liq hisoblash. (7.16-rasm)

1) Balkaning reaksiya kuchlarini hisoblaymiz.

$$\Sigma M_B = 0; \quad -6A + q \cdot 2 \left( \frac{2}{2} + 4 \right) - 4F + M = 0 \quad \text{va} \quad A = \frac{100}{6} \text{ kN}$$

$$\Sigma M_A = 0; \quad 2F - q \cdot \frac{(2)^2}{2} + M + 6B = 0 \quad \text{va} \quad B = \frac{100}{6} \text{ kN}$$

$$\text{Tekshirish: } \Sigma Y = A + F + B - 2q = 0 \quad \text{va} \quad \frac{100}{6} + 40 - \frac{100}{6} - 2 \cdot 20 = 0$$

Balkani eguvchi moment va kundalang kuch epyuralarini quramiz.

$$\text{I-I-oraliq. } 0 \leq x_1 \leq 2\text{m.} \quad Q_1 = A - qx_1 \quad \text{va} \quad M_{x_1} = Ax_1 - q \frac{x_1^2}{2}$$

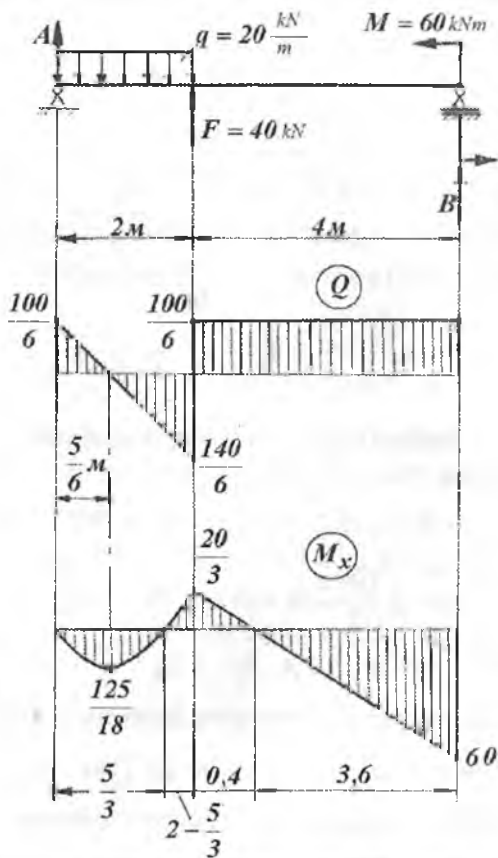
$Q_1 = 0$  bo'lganda nuqtada  $M_{x_1}$  eguvchi moment maksimumga erishadi.

$$Q_1 = A - qx_1 = 0; \quad x_1 = \frac{A}{q} = \frac{100}{6 \cdot 20} = \frac{5}{6} \text{ m}$$

$$M_{x_1 \max} = \frac{100}{6} \cdot \frac{5}{6} - 20 \cdot \frac{\left(\frac{5}{6}\right)^2}{2} = \frac{125}{18} \text{ kNm}$$

Birinchi va ikkinchi oraliqlarda  $M_{x_1} = Ax_1 - q \frac{x_1^2}{2} = 0;$

$x_1 = \frac{100}{60} = \frac{5}{3} m$  va  $M_{x1} = A(2+x_2) - q \cdot 2(\frac{2}{2} + x_2) + Fx_2 = 0$   
 $x_2 = 0,4 m$  nuqtada  $M_x$  ishorasini o'zgartiradi.



7.16-rasm. Berilgan balka uchun ko'ndalang kuch va eguvchi moment epyurlari.

2. Balkani xavfli kesimi uchun normal kuchlanish bo'yicha mustahkamlik shartidan qo'shtavrlri profil tanlaymiz.

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_x} \leq [\sigma]$$

Bu yerda  $M_{\max} = 60 \text{ kNm}$  - balkani B xavfli kesimidagi eguvchi moment;  $[\sigma] = 160 \text{ MPa}$ , balkani materiali uchun ruxsat etilgan kuchlanish, mustahkamlik shartdan xavfli kesimni talab etilgan qarshilik momentini hisoblaymiz.

$$W_x = \frac{M_{\max}}{[\sigma]} = \frac{60}{160 \cdot 10^3} = 0,375 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

Qo'shtavrli kesimning tartib raqamini tanlaymiz:

$W_T = 0,371 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$  qarshilik momentli №27 va  $W_T = 0,407 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$  qarshilik momentli - №27 a - raqamli qo'shtavrlar.

Tanlangan -  $W_T$  qarshilik momentlar asosida - mustahkamlik shartni tekshiramiz.

$$\sigma_{\max}^{27} = \frac{M_{\max}}{W_x} = \frac{60}{0,371 \cdot 10^{-3}} = 161,725 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} > [\sigma]$$

$$\sigma_{\max}^{27a} = \frac{60}{0,407 \cdot 10^{-3}} = 147,42 \cdot 10^{-3} \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} < [\sigma]$$

№ 27-raqamli qo'shtavr -  $\frac{161,725 - 160}{160} \cdot 100\% = 1,08\%$  yuqori kuchlanishda va № 27a-raqamli qo'shtavr  $\frac{147,42 - 160}{160} \cdot 100\% = -7,86\%$  to'liq yuklanmagan vaziyatda ishlaydi. Qo'shtavrlar mustahkamligini balkani ko'ndalang kuch bo'yicha xavfli kesimidagi urinma kuchlanishlar asosida tekshiramiz.

$$\tau_{\max}^{27} = \frac{Q_{\max} \cdot S_{\max}}{I_x} = \frac{140}{6} \cdot \frac{100 \cdot 210}{5010 \cdot 0,6} = 163 \frac{\text{kg}}{\text{sm}^2} < [\tau]$$

$$\tau_{\max}^{27a} = \frac{Q_{\max} \cdot S_{\max}}{I_x \cdot d} = \frac{140}{6} \cdot \frac{100 \cdot 229}{5500 \cdot 0,6} = 162 \frac{\text{kg}}{\text{sm}^2} < [\tau]$$

Bu yerda  $Q_{\max} = \frac{140}{6} \cdot 100 \text{ kG}$  - balkadagi eng katta ko'ndalang kuch;  $S_{\max}$ ,  $I_{\max}$  va  $d$  - qo'shtavrli kesimni tegishli geometrik xarakteristikalar. Balkani xavfli kesimida mustahkamlikni ta'minlash uchun № 27a-qo'shtavrni tanlaymiz va uning geometrik xarakteristikalarini yozamiz:

$$h = 270 \text{ mm}, \quad e = 135 \text{ mm}, \quad d = 6 \text{ mm}, \quad t = 10,2 \text{ mm} \quad I_x = 5500 \text{ sm}^4$$

$$S_x = 229 \text{ sm}^3 \quad W_T = 407 \text{ sm}^3$$



Qo'shtavrli kesimni balandligi bo'yicha normal -  $\sigma$ - va  $\tau$ - urunma kuchlanishlarini hisoblaymiz.

- normal kuchlanish:  $\sigma = \frac{M}{I_x} \cdot y$  formula bilan hisoblanadi.

Bu yerda  $y$  qushtavrli kesimni  $x$  neytral o'qidan tegishli nuqtalargacha bo'lgan masofa.

$$1\text{-nuqta } y_1 = y_9 = \frac{h}{2} = \frac{27}{2} = 13,5 \text{ sm}; \quad \sigma_1 = -1472,7 \frac{\kappa G}{\text{sm}^2}$$

$$2\text{-nuqta } y_{2,3} = y_{7,8} = \frac{h}{2} - t = \frac{27}{2} - 1,02 = 12,48 \text{ sm} \quad \sigma_2 = -1361,45 \frac{\kappa G}{\text{sm}^2}$$

$$4\text{-nuqta } y_{4,6} = \frac{1}{2} \left( \frac{h}{2} - t \right) = \frac{1}{2} \left( \frac{27}{2} - 1,02 \right) = 6,24 \text{ sm} \quad \sigma_4 = -680,73 \frac{\kappa G}{\text{sm}^2}$$

$$5\text{-nuqta } y_5 = 0; \quad \sigma_5 = 0$$

Balka kesimining neytral o'qidan yuqorida joylashgan materiali siqilishga va pastki qatlam materiali cho'zilishga qarshilik ko'rsatganligi uchun 1, 2, 3 va 4 nuqtalarda normal kuchlanish ishorasi manfiy. Urinma kuchlanish

$$\tau = \frac{Q_{\max} \cdot S_x^0}{I_x \cdot b(d)} \text{ formula bilan hisoblanadi.}$$

Bu yerda  $S_x$  - qushtavrli kesimning chetki va kuchlanishi hisoblanishi lozim bo'lgan - tanlangan nuqtalar orasidan ajratilgan yuzani neytral o'qga nisbatan statik momentni va u quyidagicha hisoblanadi.

$$1\text{-nuqta} - S_x^{01} = 0; \text{ demak, } \tau_{1,9} = 0$$

$$2\text{-nuqta} - S_x^{02} = \left( \frac{h-t}{2} \right) \cdot t \cdot b = \left( \frac{27-1,02}{2} \right) \cdot 1,02 \cdot 13,5 = 178,9 \text{ sm}^3$$

Qushtavmi 2 va 3 nuqtalari joylashga kesimining eni  $b = 13,5 \text{ sm}$  dan  $d = 0,6 \text{ sm}$  ga qadar kichiklashadi. Shuning uchun bu nuqtalardagi kuchlanishlar bir-biridan tubdan farq qiladi:

$$\tau_2 = \frac{14000 \cdot 178,9}{6 \cdot 5500 \cdot 13,5} = 5,62 \frac{\kappa G}{\text{sm}^2} \quad \text{va} \quad \tau_3 = \frac{14000 \cdot 178,9}{6 \cdot 5500 \cdot 0,6} = 126,5 \frac{\kappa G}{\text{sm}^2}$$

$$4\text{-nuqta uchun } S_x^{04} = 178,9 + \frac{d}{2} \left( \frac{h_c^2}{4} - y^2 \right), \text{ bu yerda}$$

$$h_c = h - 2t = 27 - 2 \cdot 1,02 = 24,96 \text{ sm} \quad \text{va} \quad y = y_4 = \frac{h_c}{4} = 6,24 \text{ sm}$$

$$\text{Unda, } S_X^{04} = 213,9 \text{ sm}^3 \text{ va } \tau_4 = \frac{14000 \cdot 213,9}{6 \cdot 5500 \cdot 0,6} = 151,2 \frac{\text{kg}}{\text{sm}^2}$$

$$5\text{-nuqta uchun } S_x^{05} = S_{\text{max}} = 229 \text{ sm}^3; \text{ va } \tau_{\text{max}} = 162 \text{ kg/sm}^2$$

4. Balka mustahkamligini bosh kuchlanishlar bo'yicha tekshirish uchun qushtavrlı kesimni har bir nuqtasidagi bosh normal kuchlanishlar topiladi:

$$\sigma_{1,3} = \frac{1}{2} \left| \sigma \pm \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \right| \text{ formula bilan hisoblanadi.}$$

$$1\text{-nuqta uchun } \sigma_1 = 0 \text{ va } \sigma_3 = -1472,7 \frac{\text{kg}}{\text{sm}^2}$$

$$2\text{-nuqta } \sigma_{1,3} = \frac{1}{2} \left[ -1361,4 \pm \sqrt{(1361,4)^2 + 4 \cdot (5,62)^2} \right] = \frac{1}{2} (-1361,4 \pm 1361,44)$$

$$\text{bu yerdan } \sigma_1 = 0,02 \frac{\text{kg}}{\text{sm}^2} \text{ va } \sigma_3 = -1361,42 \frac{\text{kg}}{\text{sm}^2}$$

$$3\text{-nuqta } \sigma_{1,3} = \frac{1}{2} \left[ -1361,4 \pm \sqrt{(1361,4)^2 + 4 \cdot (126,5)^2} \right] = \frac{1}{2} (-1361,4 \pm 1384,7);$$

$$\text{bu yerdan } \sigma_1 = 11,7 \frac{\text{kg}}{\text{sm}^2} \quad \sigma_3 = -1373,4 \frac{\text{kg}}{\text{sm}^2}$$

$$4\text{-nuqta. } \sigma_{1,3} = \frac{1}{2} \left[ -681,7 \pm \sqrt{(681,7)^2 + 4 \cdot (151,2)^2} \right] = \frac{1}{2} (-681,7 \pm 745,8);$$

$$\text{bu yerdan } \sigma_1 = 32 \frac{\text{kg}}{\text{sm}^2} \text{ va } \sigma_3 = -713,8 \frac{\text{kg}}{\text{sm}^2}$$

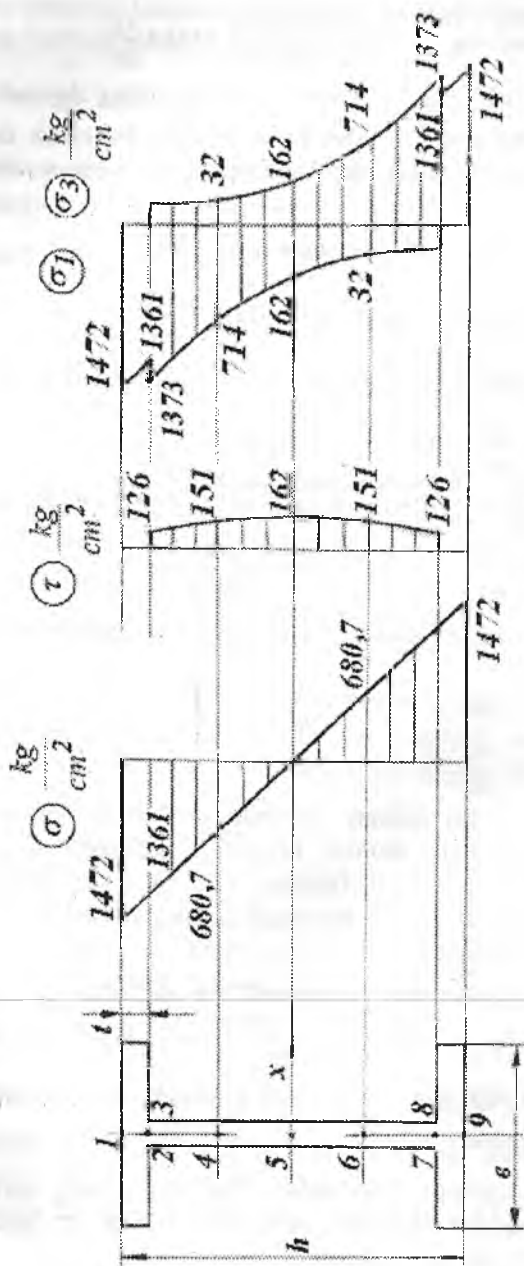
$$5\text{-nuqta } \sigma_{1,3} = \pm 162 \frac{\text{kg}}{\text{sm}^2}$$

Neytral o'qdan pastki qatlam materiali cho'zilish deformatsiyasiga qarshilik ko'rsatadi, shuning uchun bu qatlamda normal kuchlanish musbat ishorali bo'ladi. Demak, 6,7,8 va 9 nuqtalardagi  $\sigma_{1,3}$  - bosh normal kuchlanishlarini hisoblashda normal kuchlanish -  $\sigma$  musbat ishora bilan olinadi.

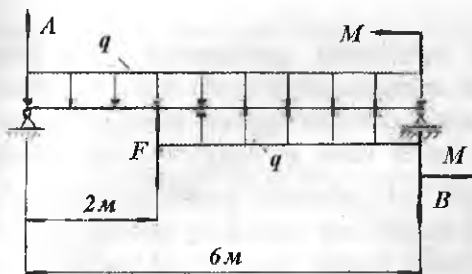
Bosh urinma kuchlanishni maksimal va minimal qiymati kesimni har bir nuqtasi uchun  $\tau_{\text{max/min}} = \pm \frac{1}{2} \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}$  formula bilan

hisoblanadi. Hisoblash natijalari 7-jadvalga kiritiladi. Bosh normal kuchlanishlarni yo'nalishlari  $1g^2 \alpha_0 = -\frac{2\tau}{\sigma}$

Bosh kuchlanishlarning yo'nalishlari Mor doirasining qurish usuli bilan topiladi. Mor doirasini qurishda  $\sigma$  va  $\tau$  kuchlanishlarining qiymatlaridan foydalanamiz.



7.17-rasm. Qo'shtavring balandligi bo'ylab normal kuchlanish, urinma kuchlanish, bosh normal kuchlanish epyurlari.



7.18-rasm

5. Balkani egilishdagi ko'chishini boshang'ich parametrlar usuli bilan hisoblaymiz. Balkani berilgan sxemasini 7.18-rasmda ko'rsatilganidek chizamiz va universal formulani tuzamiz.

Kesim aylanish burchagining formulasi:

$$\theta = \theta_0 + \frac{1}{EI} \left[ A \frac{x^2}{2} - q \frac{x^3}{6} + F \frac{(x-2)^2}{2} + q \frac{(x-2)^3}{6} \right] \text{ va}$$

salqilik formulasi 
$$y = y_0 + \theta_0 x + \frac{1}{EI} \left[ A \frac{x^3}{6} - q \frac{x^4}{24} + F \frac{(x-2)^3}{6} + q \frac{(x-2)^4}{24} \right]$$

Balka boshlang'ich kesimining aylanish burchagi  $\theta_0$  va salqiligi  $y_0$  larni balka uchlarining tayanch turlariga bog'liq ravishda aniqlaymiz. Masalan,  $x_0 = 0; \theta = \theta_A = \theta_0 \neq 0; y = y_A = y_0 = 0$ , ya'ni  $A$  tayanch kesimning aylanish burchagi nolga teng emas, lekin vertikal ko'chishi cheklangan. Shuning uchun bu tengliklardan  $y_0 = 0$  va  $\theta_0$  ni topib bo'lmaydi.  $x = 6 \text{ m}$  bo'lsa  $\theta = \theta_B \neq 0$  va  $y = y_B = 0$ . Unda ikkinchi tenglamadan

$$6\theta_0 + \frac{1}{EI} \left[ \frac{100 \cdot 6^3}{6} - 20 \frac{6^4}{24} + 40 \frac{4^3}{6} + 20 \frac{4^4}{24} \right] = 0 \text{ yoki } \theta_0 = \frac{-26,7}{EI}$$

balka kesimini aylanish burchagi

$$\theta = \theta_0 + \frac{1}{EI} \left[ A \frac{x^2}{2} - q \frac{x^3}{6} + F \frac{(x-2)^2}{2} + q \frac{(x-2)^3}{6} \right] -$$

va salqilik tenglamasi

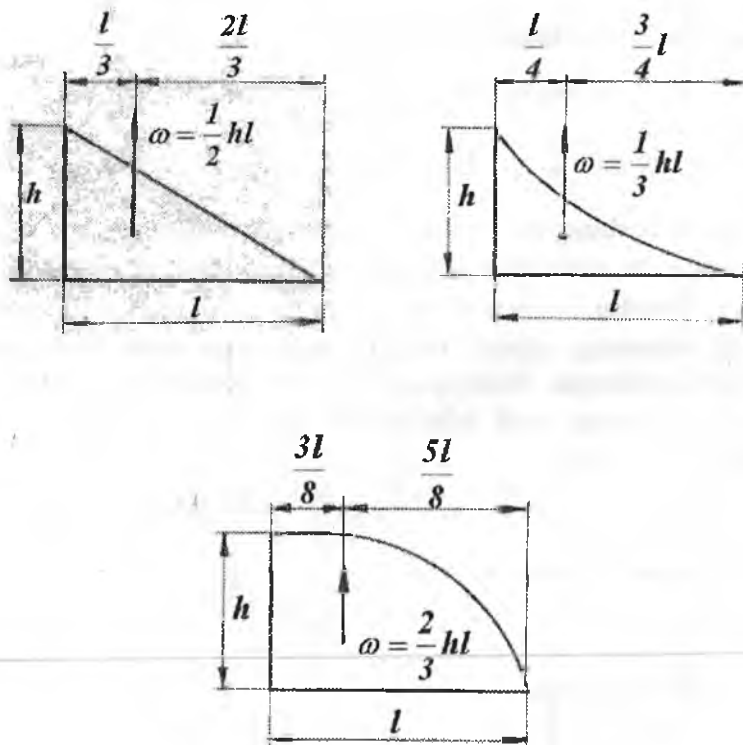
$$y = \frac{-3840}{144EI} x + \frac{1}{EI} \left[ A \frac{x^3}{6} - q \frac{x^4}{24} + F \frac{(x-2)^3}{6} + q \frac{(x-2)^4}{24} \right]$$

Balkani turli kisimlar uchun  $y$  va  $\theta$  ni hisoblaymiz.

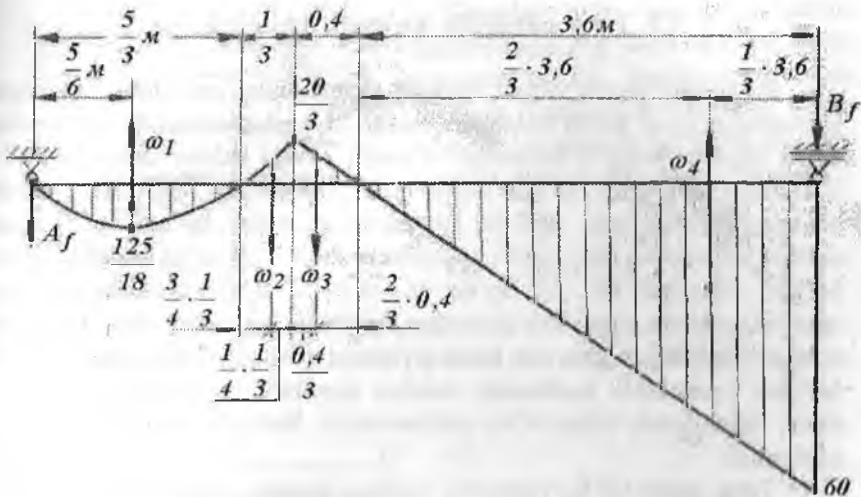
$$x = 2 \text{ m}, \quad y = \frac{-3840 \cdot 2}{144EI} + \frac{1}{EI} \left[ \frac{100 \cdot 8}{6} - 20 \frac{16}{24} \right] = \frac{44,4}{EI}$$

$$x = 6 \text{ m}, \quad \theta_B = \frac{-3840}{144EI} + \frac{1}{EI} \left[ \frac{100 \cdot 36}{6} - 20 \frac{216}{6} + 40 \frac{16}{2} + 20 \frac{64}{6} \right] = \frac{86,63}{EI}$$

6. Balkani egilishdagi ko'chishini grafoanalitik usul bilan hisoblaymiz. Balkani berilgan sxemasi uchun soxta balka tanlaymiz. Soxta balkani berilgan balka uchun qurilgan eguvchi moment epyurasi bilan yuklaymiz (7.20-rasm). Soxta kuch  $q_f = M_x$  - soxta balkani uzunligi bo'ylab to'g'ri chiziqli yoki parabola qonuniyati bilan o'zgarishi mumkin, yoki soxta balkani ma'lum oraliqida o'zgarmas bo'lishi mumkin. 7.19-rasmda har xil kuch yuzalar va ularning og'irlik markazlari koordinatalarining hisoblash formulalari keltirilgan.



7.19-rasm. Turli shaklli kesim yuzalar og'irlik markazlarining koordinatalari.



7.20-rasm. Soxta balkaning kuch yuzasi.

Soxta balkani reaksiya kuchlarini topamiz  $\sum M_b = 0$

$$A_f \cdot 6 - \omega_1 \left( 6 - \frac{5}{6} \right) + \omega_2 \left( 4 + \frac{1}{12} \right) + \omega_3 \left( 3,6 + \frac{0,8}{3} \right) - \omega_4 \frac{3,6}{3} = 0$$

bu yerda  $\omega_1 = \frac{2}{3} \cdot \frac{4}{3} \cdot \frac{125}{18} \approx 7,71605 \text{ kNm}^2$        $\omega_2 = \frac{1}{3} \cdot \frac{20}{3} \cdot \frac{1}{3} = \frac{20}{27} \text{ kNm}^2$

$$\omega_3 = \frac{1}{2} \cdot \frac{20}{3} \cdot 0,4 = \frac{4}{3} \text{ kNm}^2$$

$$\omega_4 = \frac{1}{2} \cdot 60 \cdot 3,6 = 108 \text{ kNm}^2$$

Unda  $A_f \cdot 6 - \frac{156770}{972} = 0$ ;  $A_f = \frac{156770}{6 \cdot 972} \approx 26,9 \text{ kNm}^2$

$y$  va  $\theta$  larni aniqlaymiz  $y_k = \frac{M_f^k}{EI} = \frac{-44,8}{EI}$  bu yerda

$$M_f^k = -A_f \cdot 2 + \omega_1 \left( \frac{5}{6} + \frac{1}{3} \right) - \omega_2 \frac{1}{12} = -26,9 \cdot 2 + 7,716 \cdot \frac{7}{6} - 0,74 \cdot \frac{1}{12} = -44,8 \text{ kNm}^2$$

Soxta balkaning B tayanch reaksiya kuchini aniqlaymiz.

$$\sum M_A = -\omega_1 \cdot \frac{5}{6} - \omega_2 \left( \frac{5}{3} + \frac{31}{43} \right) - \omega_3 \left( 2 + \frac{0,4}{3} \right) + \omega_4 \left( 2,4 + \frac{2}{3} \cdot 3,6 \right) - B_f \cdot 6 = 0$$

$B_f = 86,76 \text{ kHM}^2$ ; Unda B tayanch kesimning aylanish burchagi

$$\theta_B = \frac{Q_f^B}{EI} = \frac{B_f}{EI} = \frac{86,76}{EI}$$

## 7.5. Teng qarshilik ko'rsatuvchi balkalar

Balkaning kesim yuzasi eguvchi momentning eng katta qiymatiga erishadigan ya'ni xavfli holatdagi kesimi bo'yicha tanlanadi. Ko'pincha balka kesimlarining o'lchamlari - xavfli kesim uchun tanlangan o'lchamlarga teng qilib olinadi. Lekin xavfli kesimdagi eguvchi moment boshqa kesimlardagi eguvchi momentdan katta bo'lganligi uchun normal kuchlanish ham xavfli kesimda boshqa kesimlarga nisbatan katta bo'ladi. Masalan:  $M_x = 0$  bo'lsa  $\sigma = 0$  (7.21-rasm), tayanch kesimda eguvchi moment eng katta qiymatga erishadi. Demak, shu kesimda normal kuchlanish ham eng katta qiymatga erishadi. Balkaning uzunligi bo'ylab kesimlarda kuchlanish notekis tarqaladi, uzunlik bo'ylab material kuchlanish bilan to'liq yuklanmaydi. Natijada ortiqcha material sarflanadi.

Teng qarshilik ko'rsatuvchi balkani tanlash uchun, kesim yuzasi to'g'ri to'rtburchak ko'rinishida va balandligi o'zgarmas bo'lgan balkaning xavfli kesimi va erkin uchidan  $x$  masofada joylashgan kesimi uchun mustahkamlik shartlarini yozamiz:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{F\ell}{\frac{bh^2}{6}} \leq [\sigma] \quad \text{va} \quad \sigma_x = \frac{M_x}{W_x} = \frac{F_x}{\frac{b_x h^2}{6}} \leq [\sigma],$$

bu yerdan  $\frac{6F\ell}{bh^2} = \frac{6F_x}{b_x h^2}$  yoki  $b_x = b \cdot \frac{x}{\ell}$  (7.14)

$M_{\max}$  - qistirib mahkamlangan kesimdagi moment;

$M_x$  - balkaning erkin uchidan  $x$  - masofada joylashgan kesimining momenti;

$W$  - qistirib mahkamlangan kesimning qarshilik momenti;

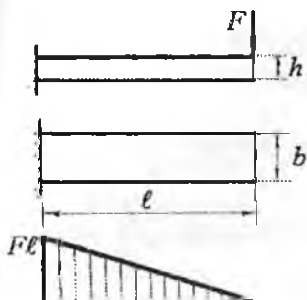
$W_x$  - balkaning  $x$  masofadagi kesimining qarshilik momenti.

(7.14) formuladagi  $b_x$  teng qarshilik ko'rsatuvchi balkaning uzunligi bo'yicha kesimning eni balkaning uzunligi bo'ylab to'g'ri chiziqli qonuniyat bilan o'zgaradi;

$x$  - masofadagi kesimning qarshilik momenti.

$$W_x = \frac{b_x h^2}{6} = \frac{bh^2}{6} \cdot \frac{x}{\ell} = W \frac{x}{\ell}$$

Bu kesimdagi kuchlanishni tekshiramiz  $\sigma_x = \frac{M_x}{W_x} = \frac{F_x}{W \frac{x}{\ell}} = \frac{F\ell}{W} = \sigma_{\max} = \text{const}$

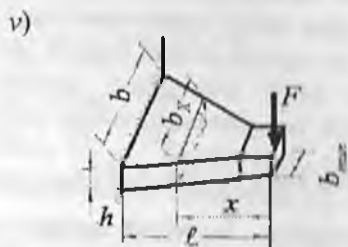
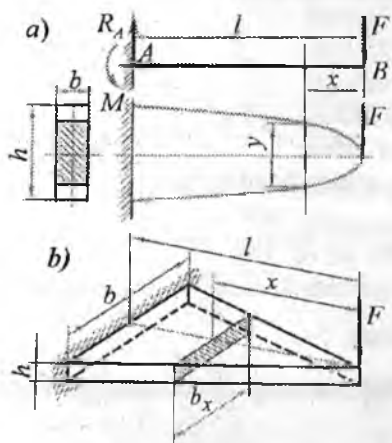


7.21-rasm

Shunday qilib, balkaning barcha kesimlarida eng katta normal kuchlanishlar bir xil. Tashqi yukni ko'taradigan kesimning minimal enini urinma kuchlanish bo'yicha mustahkamlik shartidan foydalanib topamiz.

$$\tau_{\max} = \frac{3Q}{2b_{\min}h} \leq [\tau],$$

$$b_{\min} = \frac{3Q}{2h[\tau]}$$



7.22-rasm. a) Bertilgan balkani yuklanish sxemasi va o'zgaruvchan kestimli balka; b) 7.14-formula asosida tayyorlangan balka; v) teng qarshilik ko'rsatuvchi balka.

**O'zgaruvchan kesimli balkalarda ko'chishlarni aniqlash.** O'zgaruvchan kesimli balkalarning bikrligi  $x$ -ning funksiyasi. Shuning uchun egilgan o'qning taqribiy tenglamasi quyidagicha yoziladi (7.22-

rasm):  $EI_x \frac{d^2y}{dx^2} = M_x$

Bu yerda  $I_x$ - balka kesimining o'zgaruvchan inertsiya momenti, ya'ni:

$$I_x = \frac{b_x h^3}{12} = \frac{b h^3}{12} \cdot \frac{x}{l} = I \frac{x}{l}$$



Unda  $EI \frac{x}{\ell} \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} = -Fx$  yoki  $EI \frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{Fxl}{x} = -F\ell$  (7.15)

(7.15) tenglamani integrallaymiz:

$$EI \frac{dy}{dx} = -F\ell x + C \quad \text{va} \quad EI y = -F\ell \frac{x^2}{2} + Cx + D$$

$x = \ell$  bo'lsa, salqilik  $y = 0$  va aylanish burchagi:  $\frac{dy}{dx} = \theta = 0$

Unda  $0 = -F\ell^2 + C$  va  $0 = -F\frac{\ell^3}{2} + C\ell + D$

Bu yerdan  $C = F\ell^2$  va  $D = -\frac{F\ell^2}{2}$

$\theta$  va  $Y$  tenglamalari quyidagicha ko'rinishga keladi:

$$\theta = -\frac{F\ell}{EI}x + \frac{F\ell^2}{EI} = \frac{F\ell^2}{EI} \left(1 - \frac{x}{\ell}\right)$$

$$y = -\frac{F\ell x^2}{2EI} + \frac{F\ell^2 x}{EI} - \frac{F\ell^3}{2EI} = -\frac{F\ell^3}{2EI} \left(1 - 2\frac{x}{\ell} + \frac{x^2}{\ell^2}\right)$$

Eng katta salqilik balkaning erkin uchida hosil bo'ladi:

$$x = 0 \text{ bo'lsa } y_{\max} = f = -\frac{F\ell^3}{2EI}$$

Agar, balka uzunligi bo'ylab o'zgarmas kesimli bo'lsa, eng katta salqilik  $f = -\frac{F\ell^3}{3EI}$  formula bilan topiladi.

Demak, o'zgaruvchan kesimli balkalarning egiluvchanligi katta ekan.

## 7.6. Egilishda ko'chishlarni topishning energetik usullari

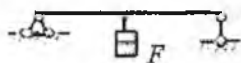
Yuqorida, to'g'ri sterjenning ko'ndalang egilishdagi ko'chishini aniqlashni turli usullarini ko'rib o'tdik. Balka egilgan o'qining taqribiy differentsial tenglamasini integrallash usuli, boshlang'ich parametrlar va grafoanalitik usullarni tadbqiq etish usullari bilan balkaning egilishini oddiy ko'rinishlarida, uni aniqlash yoki hisoblash qulay

Egilishga uchraydigan konstruktsiya qismlarining ayrim murakkab shakl yoki ko'rinishlari mavjudki, bu xildagi konstruktsiya qismlarining ko'chishlarini aniqlash uchun egilishdagi deformatsiyaning energiyasiga asoslangan Mor yoki Vereshagin usullarini tadbqiq etish osondir. Mor yoki Vereshagin usullari bilan to'g'ri sterjenlarning cho'zilish yoki

sqilish, buralish va egilishdagi ko'chishlarini aniqlash va statik noaniq masalalarni yechish mumkin.

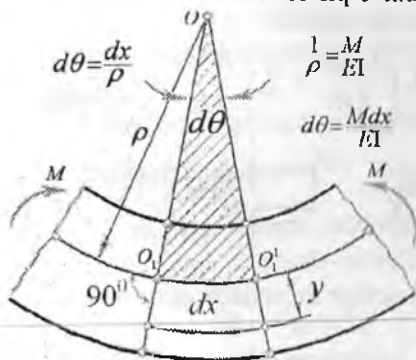
### 7.6.1. Egilish deformatsiyasining potensial energiyasi

Balkaga o'sib boruvchi elementar kichik  $dF$  yuk bilan ta'sir qilinsin (7.23-rasm). Yuk  $dF$  miqdorga ortganda balkaga yuklangan oldingi yuk pastga tushadi va uning potensial energiyasi ( $U_F$ ) kamayadi, balka deformatsiyasining energiyasi ( $U$ ) esa tegishliicha ortadi. Balkani har bir  $dF$  miqdordagi yuklanganida, uni zarrachalarining harakat xususiyati o'zgarmaydi.



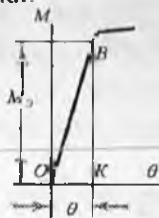
7.23-rasm.

Shuning uchun, har bir yuklashda balkani hamma qismida muvozanat holati sodir bo'ladi. Demak, balkani deformatsiyasi uni muvozanat holatini buzmasdan hosil bo'lar ekan. Shuning uchun balkaning har bir yuklanish holatida,  $U_F = U$  tenglik kelib chiqadi, ya'ni yukning potensial energiyasi  $U_F$  balka deformatsiyasining potensial energiyasiga to'liq o'tadi.



7.24-rasm. Egrilik radiusi va eguvchi moment orasidagi bog'lanish.

Boshqa turga aylangan energiyaning o'lchami sifatida, konstruksiyaga ta'sir qiluvchi tashqi kuchni bajargan ishi qabul qilinadi.



7.25-rasm.

Unda  $U_F$  tashqi kuchning musbat ishorali ishi  $A_F$  bilan o'lchanadi, deformatsiyaning potentsial energiyasi esa ichki kuchlarning manfiy ishorali ishi ( $A$ ) bilan o'lchanadi. Ichki kuchlar balka nuqtalarini ko'chishiga teskari tomonga yo'nalganligi uchun, ( $A$ ) ish manfiydir.

Demak,  $A_F = 0$ , ya'ni muvozanat buzilmagan holatdagi ko'chishda tashqi va ichki kuchlarning bajargan ishlarning yig'indisi nolga teng ekan. Yuqoridagi tenglikka asosan, deformatsiyaning potentsial energiyasi  $U$  tashqi kuchning bajargan ishi  $A$  ga teng ekan, ya'ni:  $U = A_F$ .

Balkaning sof egilishida bo'lgan qismidan ajratilgan  $dx$  uzunlikdagi bo'lagining deformatsiyasini tekshiramiz (7.24-rasm). Balka o'qining egrilanishida, uning kesimlari  $d\theta$  burchakka aylanadi. Egrilik radiusi  $\rho$  eguvchi moment va  $d\theta$  burchak orasidagi bog'lanish 7.24-rasmda ko'rsatilgan.

Balka egilishining proporsionallik chegarasida eguvchi momentning bajargan ishi  $OBK$  uchburchakning yuzasi bilan o'lchanadi (7.25-rasm).

$$dA = \frac{Md\theta}{2} = \frac{M^2 dx}{2EI} \quad \text{yoki} \quad dU = dA = \frac{M^2 dx}{2EI} \quad \text{Agar}$$

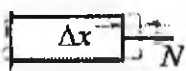
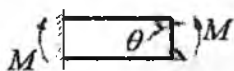
balkaning uzunligi bo'ylab  $M = \text{const}$  va  $EI = \text{const}$  bo'lsa, ya'ni bir

$$\text{jinsli deb qaralsa:} \quad U = \int_0^l \frac{M^2 dx}{2EI} = \frac{M^2 l}{2EI} \quad (7.16)$$

Egilayotgan balkaning ko'ndalang kesimida  $M$ ,  $Q$  va  $N$  ichki kuch faktorlari hosil bo'ladi.

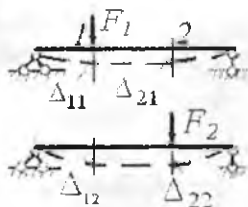
U paytda to'liq potentsial energiya quyidagicha yoziladi:

$$U = \sum \int_0^l \frac{M^2 dx}{2EI} + \sum \int_0^l \frac{N^2 dx}{2EI} + \sum \int_0^l \frac{Q^2 dx}{2GA}$$



7-26-rasm. Ichki kuch faktorlari va ular ta'siridagi deformatsiya.

Ko'ndalang kuch va bo'ylama kuchlar ta'siridagi deformatsiyalar, eguvchi moment ta'siridagi deformatsiyaga nisbatan kichik miqdor bo'lganligi uchun,  $Q$  va  $N$  ta'siridan hosil bo'lgan ishlarni e'tiborga olmasak ham bo'ladi.



7.27-rasm. Ketma-ket qo'yilgan kuchlar ta'sirida balkani egilishi.

## 7.6.2. Ishlar orasidagi bog'lanishlar teoremasi. Ko'chishlar orasidagi bog'lanishlar teoremasi

Balkani tashqi kuch bilan yuklanishida to'rt xil holatni ko'ramiz.

**I-holat.** Balka  $F_1$  kuch bilan 1 nuqtada yuklangan. 1 va 2 nuqtalarning  $F_1$  kuch ta'siridagi ko'chishlarini  $\Delta_{11}$  va  $\Delta_{21}$  bilan belgilaymiz.

**II-holat.** Balkaning 2 nuqtasiga  $F_2$  kuch qo'yiladi. 1 va 2 nuqtalarning  $F_2$  kuch ta'siridagi ko'chishini  $\Delta_{12}$  va  $\Delta_{22}$  bilan belgilaymiz (7.27-rasm):

Bu yerda:  $\Delta_{11}$  - birinchi nuqtaning  $F_1$  kuch ta'sirida shu kuch yo'nalishi bo'yicha ko'chishi.

$\Delta_{21}$  - ikkinchi nuqtaning  $F_1$  kuch ta'sirida  $F_1$  kuch yo'nalishidagi ko'chishi;

$\Delta_{12}$  - birinchi nuqtaning  $F_2$  kuch ta'sirida  $F_2$  kuch yo'nalishidagi ko'chishi;

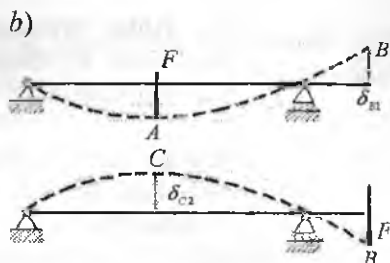
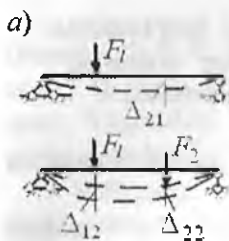
$\Delta_{22}$  - ikkinchi nuqtaning  $F_2$  kuch ta'sirida shu kuch yo'nalishidagi ko'chishi.

$F_1$  va  $F_2$  tashqi kuchlarning bajargan ishlarini Klapeyron formulasi bilan aniqlaymiz:  $A_{11} = \frac{F_1 \Delta_{11}}{2}$  va  $A_{22} = \frac{F_2 \Delta_{22}}{2}$

$A_{11}$  va  $A_{22}$  ishlarni, balkaning ko'ndalang kesimida hosil bo'ladigan ichki omil, eguvchi moment yordamida ham aniqlash mumkin:

$$A_{11} = \sum \int_0^l \frac{M_1^2 dx}{2EI} \quad \text{va} \quad A_{22} = \sum \int_0^l \frac{M_2^2 dx}{2EI}$$

**III-holat.** Balkani ketma-kot, avval  $F_1$  kuch bilan, keyin  $F_2$  kuch bilan yuklaymiz. 7.27-rasm 1-nuqtani ko'chishida  $F_1$  kuchning bajargan ishi  $A_{11}$  ni topgan edik.  $F_2$  kuch egilgan balkadagi 2 nuqtaga qo'yiladi.  $F_2$  kuch nol qiymatdan - eng katta qiymatga o'sishi davomida,  $F_1$  kuch o'zgarmas bo'ladi va  $\Delta_{12}$  miqdorga ko'chishida  $A_{12} = F_1 \Delta_{12}$  ishni bajaradi.



7.28-rasm.  
a) ketma-ket  
qo'yilgan  
kuchlar  
ta'sirida  
balkani egilishi  
b) Maksvell  
teoremasiga oid.

Bu paytda  $F_2$  kuch  $A_{22}$  ishni bajaradi. Unda, balkani  $F_1$  va  $F_2$  kuch bilan ketma-ket yuklanganda bajarilgan to'liq ish:

$$A = A_{11} + A_{12} + A_{22} = \frac{F_1 \Delta_{11}}{2} + F_1 \Delta_{12} + \frac{F_2 \Delta_{22}}{2} \quad (7.17)$$

Boshqa tomondan to'liq ishni,  $F_1$  va  $F_2$  kuchlarni tegishli ko'chishlarga ko'paytmalarini yig'indisining yarmiga teng deb qabul qilish mumkin:  $A = \frac{F_1(\Delta_{11} + \Delta_{12})}{2} + \frac{F_2(\Delta_{21} + \Delta_{22})}{2}$  (7.18)

(7.17) va (7.18) tenglamalarni o'zaro tenglashtirsak,  $F_1 \Delta_{12} = F_2 \Delta_{21}$  hosil bo'ladi. Bu yerda  $A_{12} = F_1 \Delta_{12}$  bo'lib,  $F_2$  kuch ta'sirida 1 nuqtaning ko'chishida  $F_1$  kuchni o'z yo'nalishida bajargan ishdir. Unda,  $A_{21} = F_2 \Delta_{21}$  ish  $F_1$  kuch ta'sirida 2 nuqtaning ko'chishida  $F_2$  kuchni o'z yo'nalishida bajargan ishdir (7.28- rasm, a)

Demak,  $A_{12} = A_{21}$  ikkinchi kuch ta'sirida birinchi kuch qo'yilgan nuqtaning shu kuchning yo'nalishidagi ko'chishida bajargan ishi miqdor jihatdan, birinchi kuch ta'siridan ikkinchi kuch qo'yilgan nuqta yo'nalishidagi ko'chishida bajargan ishiga teng ekan. Bu ta'rif ishlar orasidagi bog'lanishlar teoremasi bo'lib, Betti teoremasi deyiladi.

To'liq  $A$  - ishni eguvchi momentlar orqali ifodalaymiz:

$$A = \sum_0^l \frac{(M_1 + M_2)^2 dx}{2EI} \quad (7.19)$$

bu yerda -  $M_1$  va  $M_2$  ichki kuch faktorlari,  $F_1$  va  $F_2$  ta'sirida balkaning ko'ndalang kesimida hosil bo'lgan eguvchi momentlaridir. (7.17) tenglikdan  $A_{12}$  ishni topamiz:  $A_{12} = A - A_{11} - A_{22}$  yoki

$$A_{12} = \sum_0^l \frac{(M_1 + M_2)^2 dx}{2EI} - \sum_0^l \frac{M_1^2 dx}{2EI} - \sum_0^l \frac{M_2^2 dx}{2EI}$$

bu yerdan:  $A_{12} = \sum_0^l \int \frac{M_1 M_2 dx}{EI}$  va  $A_{21} = \sum_0^l \int \frac{M_2 M_1 dx}{EI}$

**IV – holat.**  $F_1 = F_2 = 1$  birlik kuch deb qabul qilsak,

$$1 \cdot \Delta_{12} = 1 \cdot \Delta_{21} \text{ yoki } \delta_{12} = \delta_{21} \quad (7.20)$$

hosil bo'ladi, ya'ni birinchi birlik kuch ta'siridan ikkinchi birlik kuch yo'nalishidagi ko'chishi  $\delta_{12}$  miqdor jihatdan, ikkinchi birlik kuchi ta'siridan birinchi birlik kuchi yo'nalishidagi ko'chishi  $\delta_{21}$  - ga tengdir. Bu ta'rif Maksvell teoremasi deyiladi va ko'chishlar orasidagi bog'lanishlar teoremasi bo'ladi. Ushbu ta'rifga asosan Kastiliano teoremasi quyidagicha yoziladi.

$\delta_{B1} = \delta_{C2}$  va ta'riflanadi (7.28-rasm, b). B nuqtaga qo'yilgan  $F'$  ta'siridagi C nuqtaning ko'chishi C nuqtaga qo'yilgan  $F'$  ta'siridagi B nuqtaning ko'chishiga miqdor jihatdan teng.

### 7.6.3. Egilishda ko'chishlarni aniqlashning Mor integrali

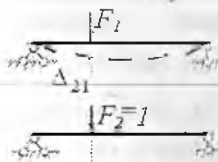
Balka yuklanishining 2 xil holatini ko'ramiz.

Birinchi holda balkaga  $F_1$  tashqi kuch, ikkinchi holda  $F_2 = 1$  birlik kuch qo'yilgan bo'lsin (7.29-rasm).  $\Delta_{21}$  ko'chishda  $F_2 = 1$  birlik kuchning bajargan ishi  $A_{21}$  - ni aniqlaymiz.

$$A_{21} = F_2 \Delta_{21} = 1 \cdot \Delta_{21} = \Delta_{21}$$

$A_{21}$  ishning ichki kuch omili eguvchi moment bilan ifodalalanadi.

$$A_{21} = \Delta_{21} = \int_0^l M_2 \frac{M_1 dx}{EI} \quad (7.21)$$



7.29-rasm. Tashqi va birlik kuchlar ta'siridagi balkalar.

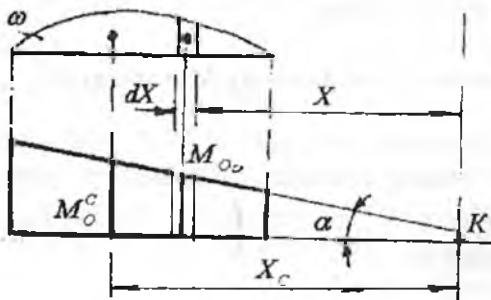
bu yerda  $M_2$  - birlik  $F_2 = 1$  kuch ta'siridan hosil bo'lgan moment. (7.21) tenglik, Mor integrali. Demak, Mor integrali yordamida har qanday ko'chishni ichki kuch bilan ifodalash mumkin emas. Buning uchun berilgan balkaning sxemasi yonida birlik kuch bilan yuklangan soxta balka sxemasi chizilar ekan.

Agar chiziqli ko'chish topilsa, soxtaga balkaga  $F = 1$  o'lchov birliksiz to'planma kuch qo'yiladi; agar kesimning aylanish burchagi topilsa soxta balkaga  $M = 1$  o'lchov birligisiz moment ta'sir qildiriladi.

Birlik kuchning yoʻnalishi koʻchishning yoʻnalishi bilan mos tushishi kerak.

#### 7.6.4. Vereshagin qoidasi

Birlik kuch toʻplanma kuch yoki moment boʻlishidan qatʼiy nazar, bu momentning epyurasi toʻgʻri chiziqdir. Tashqi kuch momentining epyurasi toʻgʻri chizikli ham, egri chizikli ham boʻlishi mumkin. Faraz qilaylik, tashqi kuch momenti  $M$ -ning epyurasi egri chizikli, birlik kuch momenti  $M_0$  - ni epyurasi toʻgʻri chizikli boʻlsin (7.30-rasm). Unda integral  $\int_0^l MM_0 dx$  - moment  $M$  - ning har qanday holatida -  $\omega \cdot M_0$  ifoda bilan almashtirish mumkin.



7.30-rasm. Vereshagin qoidasiga sxema.

Sxemadan:  $M = x \cdot tg\alpha$  boʻlsa,

$$\int_0^l MM_0 dx = \int_0^l d\omega \cdot x \cdot tg\alpha$$

kelib chiqadi. Bu yerda  $M dx = d\omega$  - eguvchi moment  $M$  epyurasidan ajratilgan elementar yuza.

$$- \int_0^l d\omega \cdot x = \omega \cdot x_c = S_k$$

- eguvchi moment epyurasini  $K$  nuqtaga nisbatan statik momenti. Unda  $\omega \cdot x_c \cdot tg\alpha = \omega \cdot M_0^c$

bu yerda  $M_0^c = x_c \cdot tg\alpha$  eguvchi moment  $M$  epyurasining ogʻirlik markaziga toʻgʻri keluvchi birlik kuch momentining ordinatasi. Unda

Vereshagin formulasi: 
$$\delta = \frac{\omega \cdot M_0^c}{EI} \quad (7.22)$$

Vereshagin usuli bilan egilishda koʻchishlarni topish uchun, belgilan balka eguvchi momentining epyurasi ostida birlik kuch momenti epyurasi qurilishi kerak, keyin epyuralar oʻzaro koʻpaytiriladi.

## Ramalarda ko'chishlarni hisoblashga oid misollar

**Misol-1.** Berilgan ramani  $B$  tayanchining gorizontal ko'chishi,  $C$  nuqtani vertikal kuchishi va  $D$  kesimni aylanish burchagi topilsin (7.31-rasm). Berilgan:

$$q=20 \text{ kN/m}; \quad a=2 \text{ m}; \quad n=3 \text{ m}; \quad EI = \text{const}$$

**Yechish:** 1. Ramani tayanch kuchlarini aniqlaymiz.

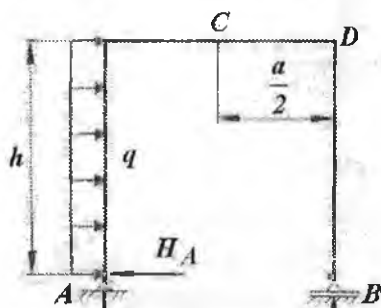
$$\sum x = -H_A + qh = 0; \quad H_A = 60 \text{ kN}; \quad \text{va}$$

$$\sum M_A = 0; \quad Ba - q \frac{h^2}{2} = 0 \text{ bu yerdan } B = q \frac{h^2}{2a} = 45 \text{ kH}$$

$$\sum M_B = 0 \quad Aa - q \frac{h^2}{2} = 0 \text{ tenglamadan } A = q \frac{h^2}{2a} = 45 \text{ kH} \text{ hosil bo'ladi.}$$

2. Eguvchi moment tenglamalarini tuzamiz va epyuralarini quramiz.

I-I-qirqim.  $0 \leq y_1 \leq h = 3 \text{ m} \quad M_{x_1} = H_A \cdot y_1 - q \frac{y_1^2}{2}.$



II-II-qirqim.  $0 \leq x_1 \leq a = 2 \text{ m}.$

$$M_{x_1} = -Ax_1 - q \frac{h^2}{2} + A_A h = -Ax_1 + 90$$

III-III-qirqim.  $0 \leq y_2 \leq h; \quad M_{x_3} = 0$

Masalani shartida talab qilingan ko'chishlarni Vereshagin usuli bilan aniqlaymiz. Berilgan balkani eguvchi momenti epyurasining yuzalarini hisoblaymiz. (7.32-rasm, a).

7.31-rasm. Berilgan rama.

$$\omega_1 = \frac{2}{3} \cdot 90 \cdot 3 = 180 \text{ kNm}^2; \quad \omega_2 = \frac{1}{2} \cdot 90 \cdot 2 = 90 \text{ kNm}^2;$$

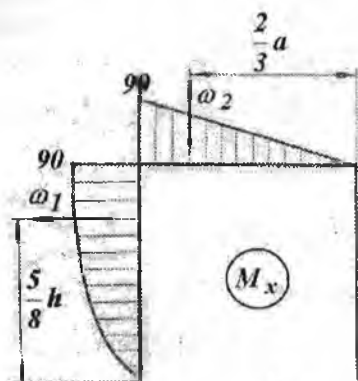
Ramani  $x=1$  birlik kuchi ta'siridan eguvchi moment epyurasini quramiz.  $\omega_1$  va  $\omega_2$  kuch yuzalarining og'irlik markaziga to'g'ri keluvchi birlik kuch momenti epyurasining ordinatasini topamiz.  $M_1^0 = \frac{5}{8}h$  va  $M_2^0 = h = 3$  (7.32-rasm, b).

$$B \text{ nuqtani gorizontal ko'chishi } \Delta_B = \frac{\omega_1 M_1^0}{EI} + \frac{\omega_2 M_2^0}{EI} = \frac{180 \cdot \frac{5}{8} \cdot 3}{EI} + \frac{90 \cdot 3}{EI} = \frac{4860}{8EI}$$

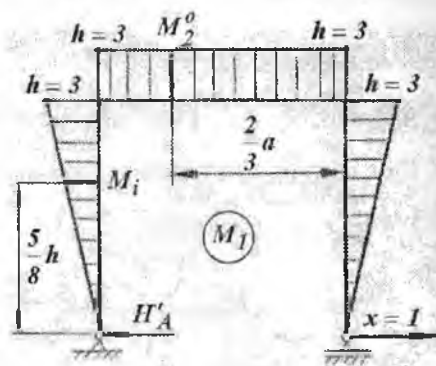


C nuqtani vertikal ko'chishini aniqlash uchun, ramani shu nuqtasiga  $x_1 = 1$  birlik kuchini qo'yamiz va eguvchi moment epyurasini quramiz (7.33-rasm).  $x_1 = 1$  birlik kuch rama gorizontal qismining o'rtasida ta'sir qilganligi uchun  $A' = B' = \frac{1}{2}$ . Unda

$$M_c = -A' \frac{a}{2} = -\frac{1}{2} \cdot \frac{a}{2} = -\frac{1}{2} m$$



a)



b)

7.32-rasm. Eguvchi moment epyuralari: a) tashqi kuch va b) birlik kuch ta'siridan.

C nuqtani vertikal ko'chishi 
$$\Delta_C = \frac{\omega_2 M_3^0}{EI} = \frac{\omega_{x_1} M_9^0}{EI}$$

bu yerda 
$$\omega_{x_1} = \frac{1}{2} \cdot 0,5 \cdot \frac{a}{2} \cdot a = \frac{1}{2} \cdot 0,5 \cdot \frac{2}{2} \cdot 2 = \frac{1}{2} m^2$$

$$M_9^0 = B' \cdot \frac{a}{2} = 45 \cdot \frac{2}{2} = 45 \text{ kNm}$$
 – berilgan ramaning gorizontal qismidagi

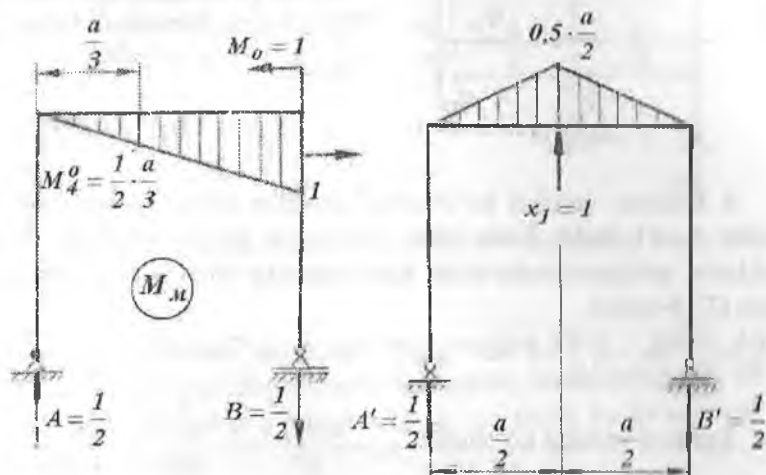
eguvchi moment epyurasini  $x_1 = 1$  birlik kuchi momenti epyurasining yuzi  $\omega_{x_1}$ ni og'irlik markaziga to'g'ri keluvchi ordinatasi. Unda

$$\Delta_C = \frac{\frac{1}{2} \cdot 45}{EI} = \frac{22,5}{EI}$$

D kesimni aylanish burchagini aniqlash uchun ramani shu nuqtada  $M_0 = 1$  birlik momenti bilan yuklaymiz (7.33-rasm) va reaksiya kuch-

larini aniqlaymiz:  $A = -B = \frac{M}{a} = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{i} \right)$  birlik momenti ( $M_M$ ) epyurini

quramiz.  $D$  kesimini aylanish burchagi:  $\theta_D = \frac{\omega_2 \cdot M_4^0}{EI} = \frac{90 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{3}}{EI} = \frac{30}{EI}$



7.33-rasm. Eguvchi moment epyurlari: a) birlik moment va b) birlik kuch ta'siridan.

**Misol-2.** Berilgan rama (7.34-rasm)  $A$  kesimining vertikal,  $B$  kesimining gorizontallik ko'chishlari va  $C$  kesimining aylanish burchaklari topilsin. Ramani gorizontallik va vertikal sterjenlari uchun  $EI = \text{sonst}$ .

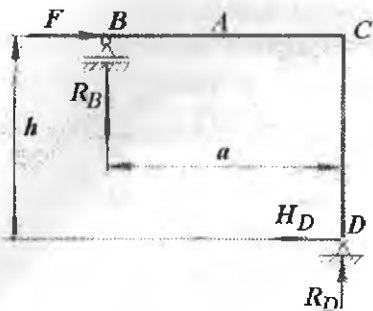
**Yechish:** Ramani  $D$  va  $B$  tayanchlaridagi  $R_D$  va  $R_B$  reaksiya kuchlarini aniqlaymiz (7.34-rasm).  $\sum x = 0 \quad F - H_D = 0$  va  $H_D = F$

$$\sum M_B = -H_D \cdot h + R_D \cdot a = 0 \quad \text{va} \quad R_D = \frac{H_D \cdot h}{a} = \frac{F \cdot h}{a}$$

$$\sum M_D = -F \cdot h + R_B \cdot a = 0 \quad \text{va} \quad R_B = \frac{Fh}{a}$$

Tekshirish:  $\sum y = R_D - R_B = 0$  yoki  $\frac{F \cdot h}{a} - \frac{F \cdot h}{a} = 0$

Ramani eguvchi momenti epyuralarini quramiz. Ramani har bir oraliqidagi eguvchi momenti epyuralarining yuzalarini hisoblaymiz va ularning og'irlik markazlarini topamiz.



7.34-rasm

$$\omega_1 = \frac{1}{2} \cdot R_B \cdot a \cdot a = l' \cdot h \cdot a \cdot \frac{1}{2};$$

$$\omega_2 = \frac{1}{2} \cdot H_D \cdot h \cdot h = \frac{1}{2} F h^2$$

Ramaning tegishli kesimlaridagi salqilik va aylanish burchaklarini Vereshagin formulasi bilan aniqlaymiz.  $\Delta = \frac{\omega \cdot M^0}{EI}$

A kesimni vertikal ko'chishini aniqlash uchun ramani shu nuqtasidan  $x_1 = 1$  birlik kuch bilan yuklangan soxta ramani reaksiya kuchlarini aniqlaymiz va birlik kuch eguvchi momenti epyurasini quramiz (7.35-rasm).

$$\sum M_D = B a - x_1 \frac{a}{2} = 0 \quad \text{va} \quad B = \frac{x_1}{2} \quad M_A = -B \frac{a}{2} = -\frac{x_1 a}{4} = -\frac{a}{4}$$

$$A \text{ kesimni vertikal ko'chishi} \quad \Delta_A = \frac{\omega_1 M_A^0}{EI} = \frac{\frac{1}{2} \cdot a \cdot \frac{a}{4} \cdot \frac{F h}{2}}{EI} = \frac{F h a^2}{16 EI}$$

bu yerda  $\omega_1' = \frac{1}{2} \cdot a \cdot \frac{a}{4} = \frac{a^2}{8}$  birlik kuch eguvchi momenti epyurasining yuzasi;  $M_F^0$  - birlik kuch eguvchi momenti epyurasi yuzasining og'irlik markaziga to'g'ri keluvchi tashqi kuch eguvchi momenti epyurasining ordinatasi,  $M_F^0 = R_B \cdot a = \frac{F h}{2}$

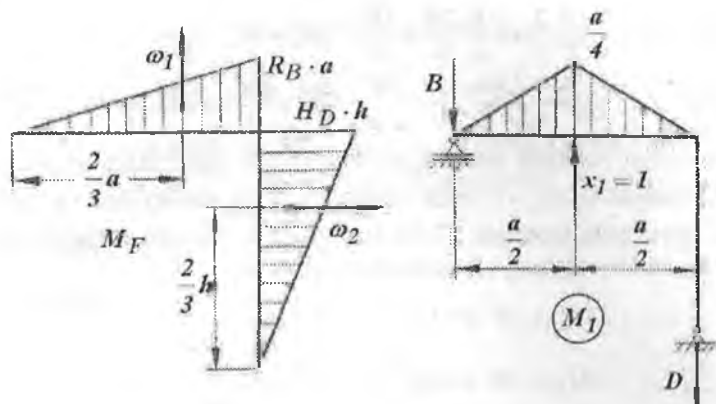
B kesimni gorizontal ko'chishini aniqlash uchun ramani shu nuqtasiga gorizontal  $x_2 = 1$  birlik kuchini joylashtiramiz va soxta ramani  $x_2 = 1$  birlik kuchi eguvchi momenti epyurasini quramiz

$$\text{- Reaksiya kuchlari} \quad \sum x = x_2 - H_D' = 0; \quad H_D' = x_2 = 1$$

$$\sum M_B = -H_D' \cdot h + R_D' \cdot a = 0 \quad \text{va} \quad R_D' = \frac{H_D' h}{a} = \frac{x_2 h}{a} = \frac{h}{a}$$

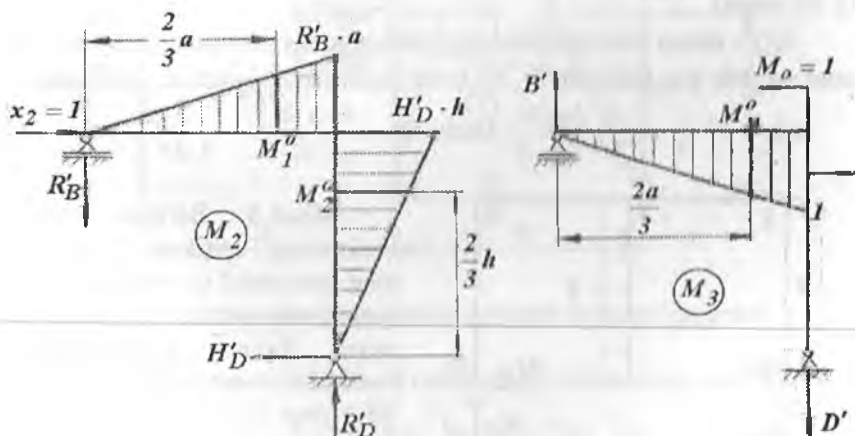
$$\sum M_D = -x_2 \cdot h + R_B' \cdot a = 0 \quad \text{va} \quad R_B' = \frac{h}{a}$$

B kesimni gorizontal ko'chishini Vereshagin formulasi bilan aniqlaymiz.  $\Delta_B = \frac{\omega_1 M_1^0 + \omega_2 M_2^0}{EI}$  bu yerda  $\omega_1 = \frac{F h a}{2}$  va  $\omega_2 = \frac{F h^2}{2}$  - tashqi



7.35-rasm. Eguvchi moment epyurlari: a) tashqi kuch va b) birlik kuch ta'siridan.

kuch eguvchi momenti epyuralarining yuzalari (7.36 - rasm),  $M_1^0$  va  $M_2^0$  - tashqi kuch eguvchi momenti epyuralari yuzalarining ( $\omega_1$  va  $\omega_2$ ) og'irlik markazlariga to'g'ri keluvchi  $x_2 = 1$  birlik kuchi eguvchi momenti epyurasining



7.36 -rasm. Eguvchi moment epyurlari: a) birlik kuch va b) birlik moment ta'siridan.

$$\text{ordinatasi. } M_1^0 = R_B^1 \cdot \frac{2}{3}a = \frac{h}{a} \cdot \frac{2a}{3} = \frac{2h}{3}, \quad M_2^0 = H_D^1 \cdot \frac{2h}{3} = 1 \cdot \frac{2h}{3} = \frac{2h}{3}$$

$$\text{Unda } \Delta_B = \frac{1}{EI} \left( \frac{Fha}{2} \cdot \frac{2h}{3} + \frac{Fh^2}{2} \cdot \frac{2h}{3} \right) = \frac{Fh^2}{3} (a+h)$$

C kesimni aylanish burchagini Vereshagin usuli bilan aniqlash ramani shu nuqtasini  $M_0 = 1$  birlik momenti bilan yuklaymiz va eguvchi moment epyurasini quramiz (7.36-rasm). Soxta ramani tayanch nuqtalaridagi  $B'$  va  $D'$  - reaksiya kuchlarini hisoblaymiz.

$$\Sigma M_{D'} = -B' \cdot a + M^0 = 0 \quad \text{va} \quad B' = \frac{M^0}{a} = \frac{1}{a}$$

$$\Sigma M_{B'} = -D' \cdot a + M^0 = 0 \quad \text{va} \quad D' = \frac{M^0}{a} = \frac{1}{a}$$

$$\text{tekshirish: } \Sigma y = B' - D' = 0 \quad \text{yoki} \quad \frac{1}{a} - \frac{1}{a} = 0$$

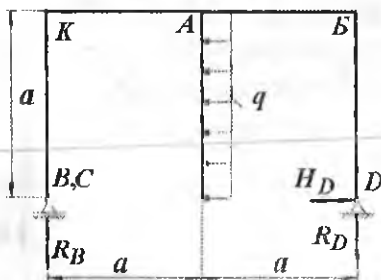
$$S \text{ nuqtadagi eguvchi momenti } M_c = B' \cdot a = \frac{1}{a} \cdot a = 1$$

$$\text{Kesimni aylanish burchagining formulasi } \theta_c = \frac{\omega_1 \cdot M^0}{EI}$$

Bu yerda  $\omega_1 = \frac{Fha}{2}$  - tashqi kuch eguvchi momenti epyurasining yuzasi (7.36 -rasm);

$M_M^0$  - tashqi kuch eguvchi momenti epyurasi yuzasining ( $\omega_1$ ) og'irlik markaziga to'g'ri keluvchi  $M_0 = 1$  birlik momenti epyurasining ordinatasi,

$$M_M^0 = B' \cdot \frac{2}{3} \cdot a = \frac{1}{a} \cdot \frac{2a}{3} = \frac{2}{3}. \quad \text{Unda } \theta_c = \frac{F \cdot h \cdot a \cdot 2}{2 \cdot EI \cdot 3} = \frac{F \cdot h \cdot a}{3 \cdot EI}$$



7.37-rasm

**Misol-3.** Berilgan rama A kesimining vertikal, B kesimining gorizontal ko'chishlari va C kesimining aylanish burchagi topilsin. Ramani gorizontal va vertikal sterjenlari uchun  $EI = \text{const}$  (7.37-rasm).

**Yechish.**

1) Ramani tayanch nuqtalaridagi  $R_B$  va  $R_D$  reaksiya kuchlarini hisoblaymiz.

$$\Sigma x = H_D - qa = 0 \quad \text{va} \quad H_D = qa$$

$$\sum M_D = -R_B 2a + q \frac{a^2}{2} = 0 \quad \text{va} \quad R_B = \frac{qa}{4}$$

$$\sum M_B = -R_D 2a + q \frac{a^2}{2} = 0 \quad \text{va} \quad R_D = \frac{qa}{4}$$

2) Ramani eguvchi moment epyurasini quramiz. Buning uchun ramani B, K, A, B' va D nuqtalaridagi momentlarini hisoblaymiz (7.38-rasm).

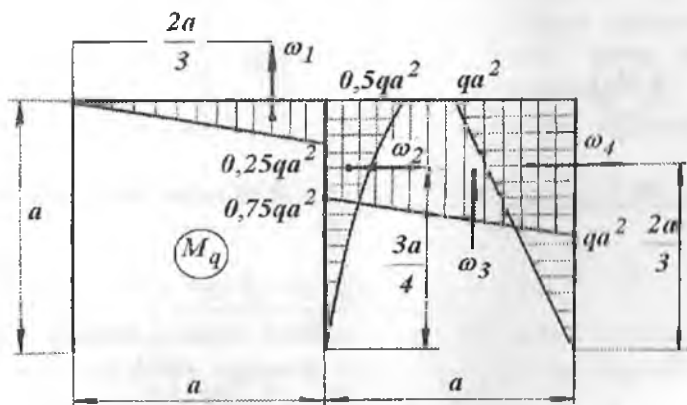
$$BK - \text{oraliq. } M_B = 0; \quad M_K = 0;$$

$$AK - \text{oraliq. } M_A = R_B \cdot a = q \frac{a^2}{4}$$

$$A\Gamma - \text{oraliq. } M_\Gamma = 0 \quad M_A = -q \frac{a^2}{2};$$

$$AB - \text{oraliq. } M_A = H_D a - R_D a = \frac{3}{4} qa^2$$

$$DB - \text{oraliq. } M_D = 0; \quad M_B = H_D a = qa = qa^2$$



7.38-rasm. Tashqi kuch ta'siridan eguvchi moment epyurasini.

Ramani har bir oraliq eguvchi moment epyuralarining yuzalari:

$$\omega_1 = \omega'_3 + \omega_3 = 0.75qa^2a + \frac{1}{2}(qa^2 - 0.75qa^2) \cdot a = \frac{7}{8}qa^3;$$

$$\omega_4 = \frac{1}{2} \cdot qa^2a = \frac{qa^3}{2}; \quad \omega = \frac{1}{2} \cdot 0.25qa^2a = \frac{qa^3}{8} \quad \omega_2 = \frac{1}{3} \cdot 0.5qa^2a = \frac{qa^3}{6}$$

3) B, C va A - kesimlarning ko'chishlari va aylanish burchaklarini Vereshagin qoidasi bilan topamiz. A - kesimni vertikal ko'chishini

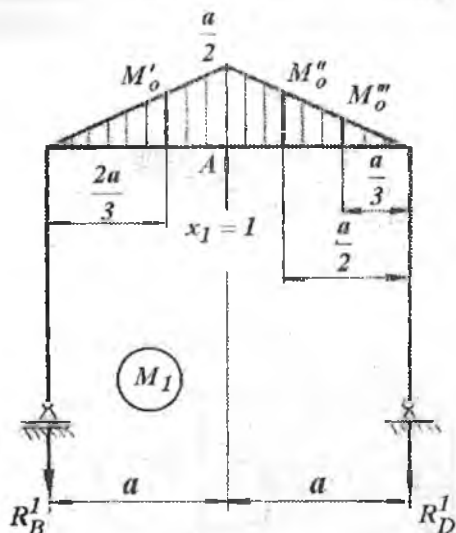
aniqlash uchun ramani shu nuqtasidan  $x_1 = 1$  birlik kuch bilan yuklaymiz va eguvchi moment epyurasini quramiz.

Soxta ramaning reaksiya kuchlari va eguvchi moment epyurasi (7.39-rasm).

$$\sum M_D = R'_B \cdot 2a - x_1 \cdot a = 0 \quad \text{va} \quad R'_B = \frac{x_1 a}{2a} = \frac{x_1}{2} = \frac{1}{2}$$

$$\sum M_B = -R'_D \cdot 2a + x_1 \cdot a = 0 \quad \text{va} \quad R'_D = \frac{1}{2}$$

A kesimdagi  $x_1 = 1$  kuch eguvchi momenti  $M_{1,A} = -R'_B \cdot a = -\frac{a}{2}$  (m) va vertikal ko'chish



7.39-rasm. Birluk kuch momenti.

$$\Delta_A = -\frac{\omega_1 \cdot M'_0 + \omega'_3 \cdot M''_0 + \omega''_3 \cdot M'''_0}{EI} =$$

$$= \frac{qa^3}{8} \cdot \frac{a}{3} + 0,75qa^3 \cdot \frac{a}{4} + \frac{1}{2} (qa^2 - 0,75qa^2) \cdot a \frac{a}{6} = -\frac{qa^4}{4}$$

Bu yerda  $M'_0$  - Berilgan ramani tashqi kuch eguvchi moment epyurasi  $\omega_1$  - yuzasining og'irliq markaziga to'g'ri keluvchi  $x_1 = 1$  birlik kuch eguvchi momenti  $M_1$  - epyurasining ordinatasi.

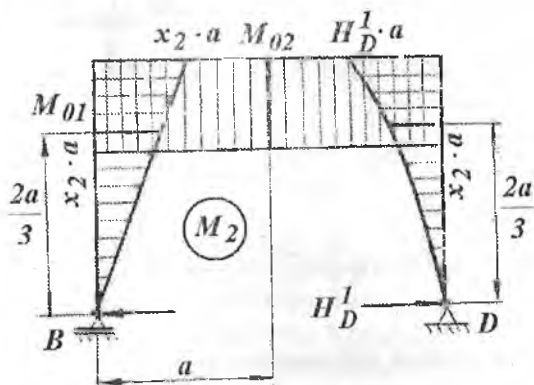
$$M'_0 = R'_B \cdot \frac{2a}{3} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2a}{3} = \frac{a}{3};$$

$$M''_0 = R'_D \cdot \frac{a}{2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{a}{2} = \frac{a}{4}; \quad M'''_0 = R'_D \cdot \frac{a}{3} = \frac{1}{2} \cdot \frac{a}{3} = \frac{a}{6};$$

Ramani  $AB$  – oraliqda eguvchi moment epyurasining yuzasi trapeziya shaklida bo‘lib, uni balandligi  $0,75qa^2$  va asosini eni  $-a$  bo‘lgan to‘g‘ri to‘rtburchak hamda balandligi  $(qa^2 - 0,75qa^2)$  va asosi  $-a$  bo‘lgan uchburchakdan tashkil topgan.

$M_0''$  - to‘g‘ri to‘rtburchak yuzasi  $\omega_3'$  ning og‘irlik markaziga to‘g‘ri keluvchi  $x_1 = 1$  birlik kuch eguvchi momentni epyurasining ordinatasi.

$M_0'''$  - uchburchak yuzasi -  $\omega_3''$  ning og‘irlik markaziga to‘g‘ri



7.40-rasm. Birlik kuch momenti epyuri.

$$M_{02} = x_2 \cdot a = a \quad \text{va} \quad M_{03} = H_D^I \cdot \frac{2a}{3} = \frac{2a}{3}$$

$C$  kesimni aylanish burchagini aniqlash uchun ramani shu kesimidan  $M_0 = 1$  birlik momenti bilan yuklaymiz va eguvchi moment epyurasini quramiz. kesimni gorizontall ko‘chishi.

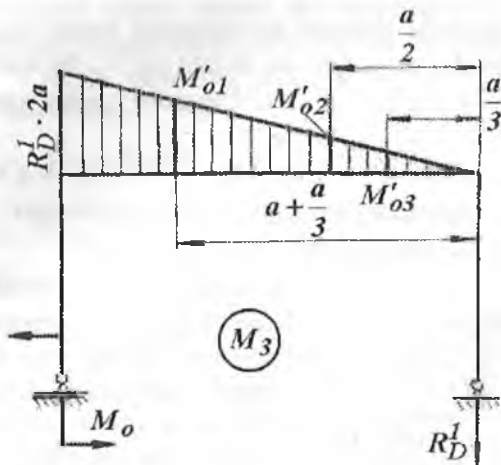
$$\Delta_B = \frac{1}{EI} (\omega_1 \cdot M_{02} + \omega_3 \cdot M_{02} + \omega_4 \cdot M_{03})$$

keluvchi  $x_1 = 1$  birlik kuch eguvchi momentni epyurasining ordinatasi  $B$  kesimni gorizontall ko‘chishini hisoblash uchun ramani shu nuqtasidan  $x_2 = 1$  birlik kuch bilan yuklaymiz va eguvchi moment epyurasini quramiz. Soxta ramani  $D$  nuqtasidagi  $H_D^I$  reaksiya kuchini topamiz (7.40-rasm).

$$\Sigma x = -x_2 + H_D^I = 0 \quad \text{va}$$

$$H_D^I = x_2 = 1$$



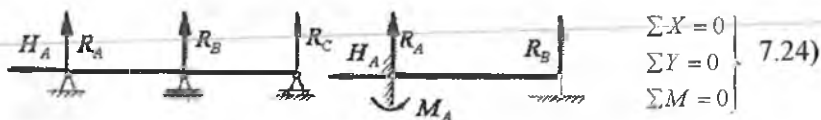


7.41 - rasm. Birlik moment epyuri.

$$\Delta_B = \frac{1}{EI} \left( \frac{qa^3}{8} \cdot a + \frac{7}{8} qa^3 \cdot a + q \frac{a^3}{2} \cdot \frac{2a}{3} \right) = \frac{4}{3} qa^4$$

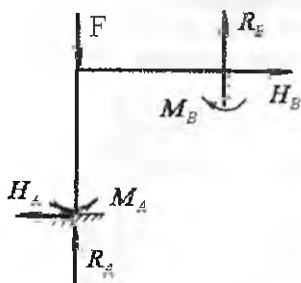
### 7.7. Statik noaniq sistemalar

Ayrim konstruksiyalarning ish sharoitiga ko'ra, undagi tayanch sonini ko'paytirish kerak. Tayanch soni, konstruksiya qismlarining ayrim nuqtalaridagi ko'chishini cheklash uchun ham ko'paytiriladi. Bunday hollarda sistemada ortiqcha bog'lanishlar paydo bo'ladi (7.42-rasm). Ortiqcha bog'lanishlar sistemada qo'shimcha noma'lum - reaksiya kuchlarini keltirib chiqaradi ( $N_A$ ;  $R_A$ ;  $R_B$ ;  $R_C$ ;  $H_B$ ;  $M_A$ ;  $M_B$ ). Noma'lum reaksiya kuchlarini topish uchun statikaning tenglamalaridan foydalanamiz:



Statikaning tenglamalaridan va rasmdan ko'rinib turibdiki, har bir Sistemadagi noma'lum reaksiya kuchlarining soni statikaning tenglamalari sonidan ortiqcha ekan. Bunday sistemalar statik noaniq sistemalar, noma'lum reaksiya kuchlarini aniqlash statik noaniq masalalar

deyiladi. Statik noaniq sistemalarni hisoblash uchun, avval uni aniqmaslik darajasi topiladi:  $S = n - 3$



7.42-rasm. Statik noaniq rama.

3-statikaning muvozanat tenglamalari soni;  $n$  – sistemadagi noma'lumlar soni;

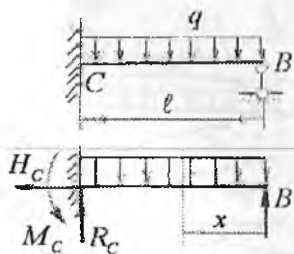
Sistemaning aniqmaslik darajasi-ning ortiqcha bog'lanishlari soniga teng bo'ladi. Ortiqcha bog'lanishlari yo'qotilgan yoki statik aniqmaslik darajasi ochilgan har qanday statik noaniq sistema – statik aniq sistemadir. Sistemani aniqmaslik darajasi qo'shimcha tenglamalar – sistemaning deformatsiya tenglamasi tuzilishi bilan ochiladi.

Sistemani deformatsiya tenglamasi quyidagi usullardan bittasini tadbiiq etish bilan tuziladi:

- 1) balka egilgan o'qining differentsial tenglamasi;
- 2) ko'chishlarni taqqoslash;
- 3) Mor integrali yoki Vereshagin formulasini tadbiiq etish;
- 4) Uch moment teoremasini tatbiiq etish;
- 5) Kuch usuli. Kanonik tenglama tuzish.

**Balka egilgan o'qining differentsial tenglamasini tatbiiq etish.**

Ortiqcha bog'lanish yoki ortiqcha noma'lum sifatida B tayanchdagi reaksiya kuchini tanlaymiz. B noma'lum reaksiya kuchi va  $q$  bilan yuklangan sistema statik noaniq sistema bo'lib asosiy sistema deyiladi.



7.43-rasm. Statik noaniq balka.

Asosiy sistema berilgan sistemaga-ekvivalentdir. Noma'lum reaksiya kuchlarini topish uchun statikaning muvozanat tenglamalarini tuzamiz:

$$\sum X = -H_C = 0 \quad a)$$

$$\sum Y = -R_C - ql + B = 0 \quad b)$$

$$\sum M_C = -M_C + q \frac{l^2}{2} - Bl = 0 \quad v)$$

(a), (b) va (v) tenglamalardan ko'rinib turibdi-ki, noma'lum reaksiya kuchlarining soni statikaning muvozanat tenglamalaridan

ortiqcha ekan. Shuning uchun, bu masala statik noaniqdir. Sistemaning aniqlaslik darajasini topamiz:  $S = n - 3 = 4 - 3 = 1$

Sistemaning aniqlaslik darajasi birga teng ekan, ya'ni  $S = 1$ . Sistemani aniqlaslik darajasini ochish uchun bitta qo'shimcha tenglama tuzish kerak. Buning uchun balka egilgan o'qining differensial tenglamasidan foydalanamiz.  $EI \cdot y^{11} = Bx - q \frac{x^2}{2}$

Differensial tenglamani ikki marotaba integrallaymiz:

$$EI \cdot y^1 = B \frac{x^2}{2} - q \frac{x^4}{6} + C \quad g)$$

$$EI \cdot y = B \frac{x^3}{6} - q \frac{x^4}{24} + CX + D \quad d)$$

Integrallash doimiyliklari  $C$  va  $D$  hisobiga noma'lumlar soni ikkitaga ortdi. Lekin, balka uchlarning tayanchlarga tayanish shartlariga ko'ra:  $X = 0$  da  $U = 0$  va  $D = 0$   $X = \ell$  da  $y = 0$ , va  $y^1 = 0$

$$\text{unda} \quad \left. \begin{aligned} B \frac{\ell^2}{2} - q \frac{\ell^3}{6} + C &= 0 \\ B \frac{\ell^3}{6} - q \frac{\ell^4}{24} + C\ell &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (\hat{a})$$

(e) tenglamalar sistemasidan  $B = \frac{3}{8} q\ell$  kelib chiqadi.

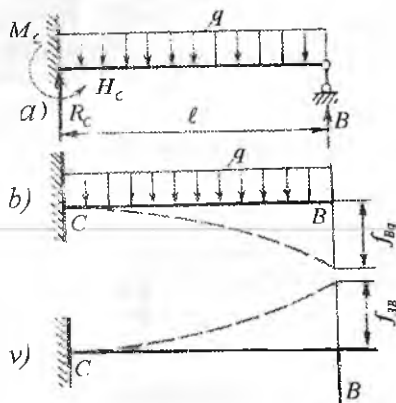
**Ko'chishlarni taqqoslash usuli.** Asosiy sistemadagi  $B$  nuqtaning salqiligi  $q$  va  $B$  reaksiya kuchlari ta'siridagi salqilklarning yig'indisiga teng bo'ladi (7.44-rasm), ya'ni

$$f_B = f_{Bq} + f_{BB} = 0;$$

bu yerda:  $f_{Bq} = -\frac{q\ell^4}{8EI}$   $B$  nuqtaning  $q$  kuchi ta'siridan salqiligi.

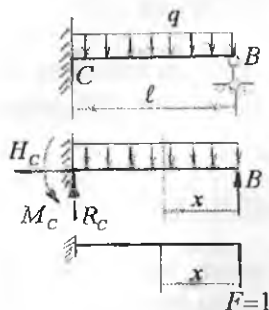
$$f_{BB} = \frac{B\ell^3}{3EI} - B$$

nuqtaning  $B$  reaksiya kuchi ta'siridan ko'chishi,  $-\frac{q\ell^4}{8EI} + \frac{B\ell^3}{3EI} = 0$



7.44-rasm.

yoki  $B = \frac{3q\ell}{8}$  B reaksiya kuchining qiymatini shunday hisoblab topildi-ki, bu holatda  $q$  va  $B$  kuchlar ta'siridagi ko'chishlar o'zaro teng bo'ldi.



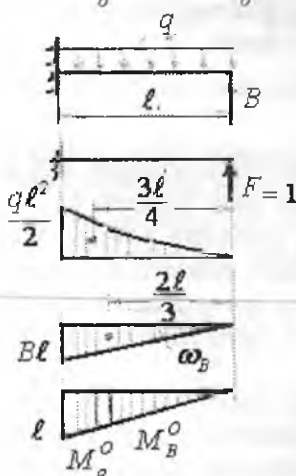
7.45-rasm. Tashqi va birlik kuch bilan yuklangan balkalar.

**Mor integralini tadbiiq etish.** Bu usulda berilgan balkaning ostida asosiy va birlik kuch bilan yuklangan soxta balkalar chiziladi. Asosiy va soxta balkalarning  $X$  oraliq uchun moment tenglamalari yoziladi (7.45-rasm).  $M_x = Bx - q \frac{x^2}{2}$  tashqi kuch va noma'lum reaksiya kuchi  $B$  ta'siridagi eguvchi moment tenglamasi

$$M_o = Fx = 1 \cdot x = x$$

$B$  nuqtaning salqiligi nolga teng, ya'ni:  $f_B = 0$  yoki

$$f_B = \int_0^{\ell} \frac{M_x M_o dx}{EI} = \int_0^{\ell} \frac{(Bx - q \frac{x^2}{2}) \cdot dx}{EI} = 0; \text{ bu yerda } \frac{1}{EI} \neq 0,$$



$\int_0^{\ell} (Bx - q \frac{x^2}{2}) \cdot dx = 0$  yoki integrallashdan keyin  $B = \frac{3}{8} q\ell$

**Vereshagin formulasi tadbiiq etish.** Berilgan kuch  $-q$ , noma'lum reaksiya kuchi  $-B$  va  $F = 1$  birlik kuchi ta'siridan hosil bo'lgan eguvchi momenti epyuralarini kuramiz. Har qaysi eguvchi moment epyurasi yuzalarini topamiz:

$$\omega_q = \frac{1}{3} q \frac{\ell^2}{2} \ell = q \frac{\ell^3}{6}, \quad \omega_B = \frac{1}{2} B\ell \cdot \ell = \frac{B\ell^2}{2}$$

Ushbu yuzalarning og'irlik

7.46-rasm

markazlariga to'g'ri keluvchi birlik kuchi momenti epyurasining ordinatasini topamiz:  $M_q^o = \frac{3}{4}\ell$  va  $M_B^o = \frac{2}{3}\ell$ .

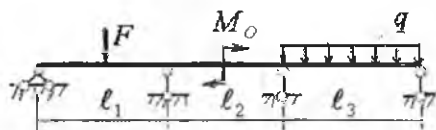
B nuqtaning ko'chishini yozamiz:

$$f_B = \frac{\omega_q \cdot M_q^o + \omega_B \cdot M_B^o}{EI} = \frac{1}{EI} \left( -q \frac{\ell^3}{6} \cdot \frac{3}{4} \ell + \frac{B\ell^2}{2} \cdot \frac{2}{3} \ell \right) = 0 \text{ va } B = \frac{3}{8}q\ell$$

Ortiqcha noma'lum reaksiya kuchi B topilgan balkaning eguvchi moment va ko'ndalang kuch epyuralari statik aniq balkadagi kabi quriladi.

## 7.8. Uzlüksiz balkalar. Uch moment teoremasi

Statik aniqmas konstruksiyalarning asosiy ko'rinishlaridan biri uzlüksiz balkalardir. Uzlüksiz deb, kamida uchta tayanchga tayanuvchi va oraliq sharnirlar bo'lmagan balkaga aytiladi. Uzlüksiz balkaning chetki kesimlari shamirli yoki qistirib, mahkamlangan tayanchlarga tayanadi.

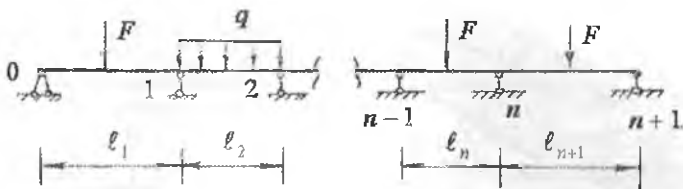


7.47-rasm. Uzlüksiz balka.

Bo'ylama kuchni qabul qilish uchun uzlüksiz balkaning bitta tayanchi qo'zg'almas shamirli bo'lishi kerak.

Harorat ta'sirida uzunligini o'zgartirishi uchun uzlüksiz balkaning qolgan tayanchlarini qo'zg'aluvchan shamirli qabul qilinadi. Agar balka  $n + 1$  ta shamirli tayanchga tayansa, unda gorizonta reaktsiya kuchini hisobga olmaganda, shuncha vertikal yo'nalgan reaktsiya kuchlari hosil bo'ladi. Berilgan uzlüksiz balka uchun ikkita muvozanat shartini tuzish mumkin bo'lganligi uchun, bu balka  $n - 1$  marotaba noaniqdir (7.48-rasm).

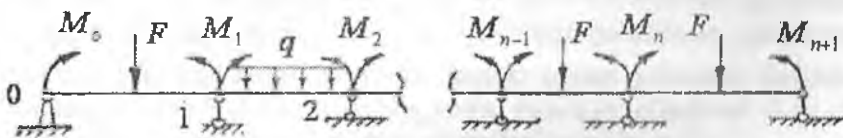
Balkaning tayanchlari chapdan o'ngga qarab  $0; 1; 2; 3 \dots n-1$  va  $n + 1$  sonlari bilan belgilanishi mumkin. Tayanchlar orasidagi masofalar  $l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$  va  $l_{n+1}$  bilan belgilanadi. Har bir oraliq uzunligining indeksi o'ng tayanch nomeriga to'g'ri keladi.



7.48-rasm. Uzlüksiz balkani hisoblash sxemasi.

Balkaning uzunligi bo'ylab kesimning inersiya momenti bir xil bo'lsin. Uzlüksiz balkaning aniqmaslik darajasini ochish uchun uch moment teoremasidan foydalanamiz. Buning uchun uzlüksiz balkaning asosiy sistemasini tanlaymiz. Asosiy sistemada oraliq sharnirli tayanchlar ustiga sharnirlar, noma'lum reaksiya kuchlari o'rniga esa noma'lum tayanch momentlari qabul qilingan.

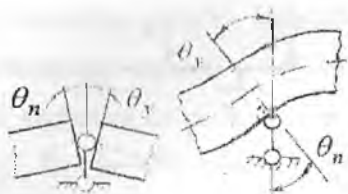
Bunday asosiy sistemada har bir tashqi kuch, o'zi qo'yilgan oraliqqa ta'sir qiladi, ya'ni tashqi kuch balkaning boshqa oraliqlariga ta'siri noma'lum tayanch momentida ifodalanadi.



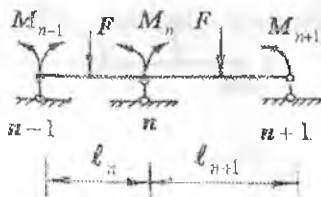
7.49-rasm. Noma'lum momentlar bilan yuklangan uzlüksiz balka.

Demak, asosiy sistema – sharnirlarga tayangan, tashqi kuch va noma'lum momentlar bilan yuklangan oddiy – balkalar ekan. Oddiy ikki tayanchli balkalardagi har bir tayanch kesimining ko'chishi (aylanish burchagi) shu oraliqdagi tashqi kuchga va noma'lum tayanch momentiga bog'liqdir.

Asosiy sistemada, har bir oddiy ikki tayanchli balka, boshqa balkalardagi kuchlarga bog'liq bo'lmasdan, o'ziga qo'yilgan tashqi kuch ta'sirida aloxida deformatsiyalanadi. Demak, ikkita balkaning bir tayanchga tayanuvchi kesimlaridan bittasi  $\theta_n$  burchakga, ikkinchisi esa  $\theta_y$  burchakka aylanan ekan. Berilgan balkada bu ikkita kesim bir butun



7.50-rasm.  
Tayanch kesimni aylanishi.



7.51-rasm. Ikki prolyotli uzluksiz balka.

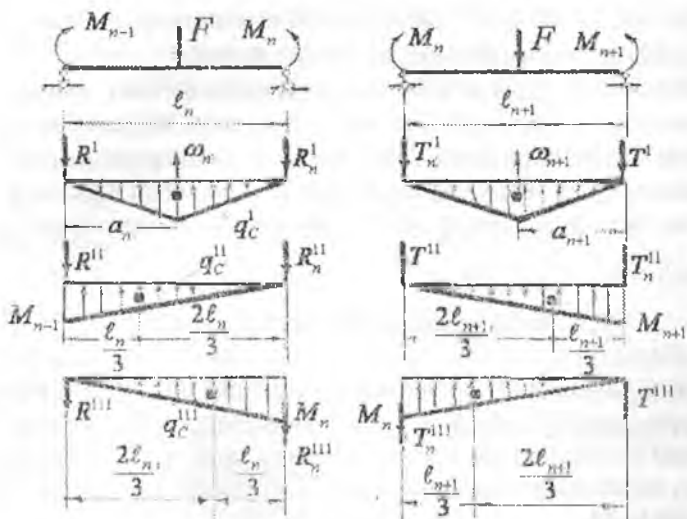
bo'lganligi uchun, tayanch kesimining deformatsiyasi (aylanish burchagi) quyidagicha bo'ladi.

Bu yerda  $\theta_n$  - uzunligi  $l_n$  bo'lgan chap balkani tayanchga tayanuvchi kesimining aylanish burchagi;

$\theta_y$  - uzunligi  $l_{n+1}$  bo'lgan o'ng balkaning  $n$  tayanchga tayangan kesimining aylanish burchagi. Bu ikkita kesim bir butun bo'lganligi uchun  $\theta_n = \theta_y$ , ya'ni o'zaro qarama-qarshi burchaklar tengdir.  $n$  - tayanchga tayanuvchi chap va o'ng balkalardagi  $M_{n-1}$ ;  $M_n$  va  $M_{n+1}$  noma'lum momentlari faqat  $\theta_n = \theta_y$  shart uchun tegishli bo'lmasdan uzluksiz balkaning barcha tayanch kesimlari uchun ham ahamiyatlidir.  $\theta_n$  va  $\theta_y$  burchaklarini topish uchun grafoanalitik usuldan foydalanamiz.  $l_n$  va  $l_{n+1}$  uzunlikdagi balkalarni alohida-alohida chizib olamiz. Har qaysi balkalar uchun berilgan tashqi kuch va noma'lum momentlar ta'siridagi eguvchi momentlar epyuralarini quramiz. Uchta soxta balkani bir butun - bitta soxta balka deb qarash kerak, chunki biz o'quvchiga  $F$  kuchi;  $M_{n-1}$ ;  $M_n$  va  $M_{n+1}$  noma'lum momentlarining eguvchi momenti tushunarli bo'lsin deb, har bir asosiy balka uchun uchtadan eguvchi moment epyurasini qurdik.

$$\text{Unda } R_n = R_n^I + R_n^{II} + R_n^{III} \quad \text{va} \quad T_n = T_n^I + T_n^{II} + T_n^{III}$$

$R_n$  va  $T_n$  reaksiya kuchlarini topish uchun soxta balkadagi taqsimlangan kuch intensivligi  $q_0$  - lardan va  $R_n^I, R_n^{II}, R_n^{III}; T_n^I, T_n^{II}$  va  $T_n^{III}$  reaksiya kuchlaridan  $n-1$  va  $n+1$  tayanchlarga nisbatan momentlarining yig'indisini nolga tenglashtiramiz.



7.52-rasm.  $n$  - tayanch kesimining aylanish burchagini grafoanalitik usulda hisoblash sxemalari.

Chap balka uchun:

$$\sum M_{n-1} = R_n \cdot \ell_n - \omega_n \cdot a_n - \frac{M_{n-1} \cdot \ell_n \cdot \ell_n}{2 \cdot 3} - \frac{M_n \cdot \ell_n \cdot 2\ell_n}{2 \cdot 3} = 0$$

Bu yerdan

$$R_n = \frac{M_{n-1} \cdot \ell_n}{6} + \frac{M_n \cdot \ell_n}{3} + \omega_n \frac{a_n}{\ell_n}$$

U paytda chap balka tayanch kesimini aylanish burchagi quyidagicha topiladi.

$$\theta_n = \frac{Q_n^n}{EI} = \frac{R_n}{EI} = \frac{1}{EI} \left( \frac{M_{n-1} \ell_n}{6} + \frac{M_n \ell_n}{3} + \omega_n \frac{a_n}{\ell_n} \right) \quad (7.25)$$

O'ng balka uchun:

$$\sum M_{n+1} = -T_n \cdot \ell_{n+1} + \omega_{n+1} \cdot a_{n+1} + \frac{M_{n+1} \cdot \ell_{n+1} \cdot \ell_{n+1}}{2 \cdot 3} + \frac{M_n \cdot \ell_{n+1} \cdot 2\ell_{n+1}}{2 \cdot 3} = 0$$

Bu yerdan

$$T_n = \frac{M_{n+1} \cdot \ell_{n+1}}{6} + \frac{M_n \cdot \ell_{n+1}}{3} + \omega_{n+1} \frac{a_{n+1}}{\ell_{n+1}} \quad \text{va}$$

$$\theta_y = \frac{Q_y^y}{Ey} = \frac{T_n}{EI} = \frac{1}{EI} \left[ \frac{M_{n+1} \ell_{n+1}}{6} + \frac{M_n \ell_{n+1}}{3} + \frac{\omega_{n+1} a_{n+1}}{\ell_{n+1}} \right] \quad (7.26)$$

$Q_n$  va  $Q_y$  ifodalarni (7.25) va (7.26) -larni o'zaro tenglashtirsak:

$$M_{n-1} \ell_n + 2M_n (\ell_n + \ell_{n+1}) + M_{n+1} \ell_{n+1} = -6 \left( \frac{\omega_n a_n}{\ell_n} + \frac{\omega_{n+1} a_{n+1}}{\ell_{n+1}} \right) \quad (7.27)$$

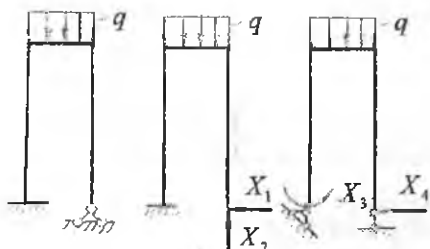


$\omega_n$  va  $\omega_{n+1}$  - tashqi  $I'$  kuch eguvchi momenti epyurasining yuzasi (kuch yuzasi) uch moment tenglamasi hosil bo'ladi.

Uzluksiz balkada uch moment tenglamasining soni, undagi oraliq tayanchlarining soniga tengdir. Barcha uch moment tenglamalari sistema ko'rinishda hisoblansa, noma'lum reaksiya momentlari topiladi. Uzluksiz balkaning har bir oraliqi – alohida ikki tayanchli balka deb qabul qilinsa va eguvchi moment va ko'ndalang kuch epyuralari qurilsa bo'ladi.

### 7.9. Statik noaniq ramalarni hisoblash

Ramali (birikmalar) konstruksiyalar o'zaro biki qilib biriktirilgan sterjenlardan tashkil topgan. Ulardan bittasining deformatsiyasi unga yondashgan boshqalarining deformatsiyasiga sabab bo'ladi. Bunday statik noaniq sistemalarni kuch usuli bilan hisoblashda ham asosiy sistema tanlab olish kerak.



7.53-rasm. Berilgan statik noaniq rama va unga ekvivalent hisoblangan asosiy sistemalarning mumkin bo'lgan variantlari.

Sistema bir necha variantda tanlab olinadi. Asosiy sistemani tanlashda ortiqcha bog'lanishlar ortiqcha noma'lumlar  $X$  bilan almashtiriladi. Asosiy sistemada statik noaniq sistema sodda va statik aniq ko'rinishga ega bo'lishi, geometrik o'zgarmas bo'lishi kerak.

Ikki marta statik noaniq rama uchun asosiy sistemaning ikkita varianti va bir marta statik noaniq ramaning asosiy sistemasi 7.53-rasmda ko'rsatilgan. Asosiy sistemalarning qaysi variantda noma'lum bog'lanishlarning birlik qiymatida ( $X_1=1$ ;  $X_2=1$ ) va tashqi kuch ta'sirida eguvchi moment epyuralarini qurish) oson bo'lsa, o'sha variant qabul qilinadi. Asosiy sistemani tanlashda ham chiziqli, ham burchakli bog'lanishlar tashlab yuborilar ekan.

Asosiy sistema variantlaridan biri (7.53-rasm) ga ko'ra B tayanch qo'zg'almas – sharnirli bo'lib, noma'lum reaksiya kuchlari  $X_1$  va  $X_2$  birlik kuchlar bilan almashtirilgan. Kuchlar ta'sirining mustaqillik alomati

asosida har bir kuch ta'siridan ko'chishlar topiladi, so'ngra ular qo'shiladi, bularning yig'indisi nolga teng bo'lishi kerak, chunki  $V$  nuqtaning barcha kuchlar ta'siridan gorizontal va vertikal ko'chishlari cheklangandir, ya'ni:  $\Delta_{\beta}(q; x_1, x_2) = 0$ .

Deformatsiya tenglamalari bu holda quyidagicha yoziladi:

$$\Delta_{\beta} = \Delta_{\beta k1} + \Delta_{\beta k2} + \Delta_{\beta k3} = 0 \quad (\text{gorizontal ko'chish})$$

$$\Delta_{\beta} = \Delta_{\beta v1} + \Delta_{\beta v2} + \Delta_{\beta v3} = 0 \quad (\text{vertikal ko'chish})$$

$X_1$  va  $X_2$  noma'lumlardan hosil bo'ladigan ko'chishlarni quyidagicha yozish mumkin:  $\Delta_{\beta k1} = \delta_{\beta 1} x_1$  va  $\Delta_{\beta k2} = \delta_{\beta 2} x_2$

Bu yerda  $\delta_{\beta 1}$  va  $\delta_{\beta 2}$  - asosiy sistema B tayanchini  $X_1 = 1$ ,  $X_2 = 1$  birlik kuchlari ta'siridan ko'chishidir. Gorizontal ko'chishda  $\Delta_{\beta} = \Delta_1$  va vertikal ko'chishda  $\Delta_{\beta} = \Delta_2$  deb qabul qilinsa, yuqoridagi tenglama quyidagicha yoziladi:

$$\left. \begin{aligned} \delta_{11} x_1 + \delta_{12} x_2 + \Delta_{1\alpha} &= 0 \\ \delta_{21} x_1 + \delta_{22} x_2 + \Delta_{2\alpha} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (7.28)$$

Hosil bo'lgan tenglama kuch usulining kanonik tenglamalari deyiladi. Ularning soni sistemaning statik noaniqlik darajasiga teng bo'ladi. Kanonik tenglamalardagi ko'chishlarni topish uchun asosiy sistemada  $X_1 = X_2 = 1$  noma'lum birlik kuchlardan va tashqi kuchdan eguvchi moment epyuralari quriladi. Mor formulasi yoki Vereshagin qoidasi bo'yicha kerakli epyuralar o'zaro ko'paytirilib, kanonik tenglamaning birkh kuch va berilgan tashqi kuch ta'siridan bo'ladigan ko'chishlari topiladi. Kanonik tenglamalarni hisoblab  $X_1$  va  $X_2$  noma'lumlar aniqlanadi. Noma'lumlar topilgach, balka statik aniq ko'rinishga keladi.

### Savollar

1. Balka egilishining potentsial energiyasi nimaga teng?
2. Ishlar orasidagi bog'lanishlar teoremasini ayting.
3. Ko'chishlar orasidagi bog'lanishlar teoremasini ayting.
4. Mor integralini yozing.
5. Veremagin formulasini yozing.
6. Statik noaniq sistema deb nimaga aytiladi?
7. Statik noaniq sistemalar qanda usullar bilan ochiladi?
8. Uch moment tenglamasini yozing.
9. Kanonik tenglamani yozing.

**Misol-1.** 1) Berilgan statik aniqmas balkaning B tayanchdagi reaktiv moment  $M_B$  topilsin; 2)  $M_x$  va  $Q_x$  epyuralari qurilsin.

1) Balkaning uzunligi bo'ylab salqilik epyurasi qurilsin.  $\alpha = 1,0$

**Yechish:** Berilgan sistemaning ekvivalent sxemasini tanlaymiz. (7.54-rasm). Agar balkaning A tayanchdan keyingi oralig'ida taqsimlangan kuch intensivligi ta'sir qilmasa, asosiy (ekvivalent) sxemani tanlashda, balkaning shu qismi bir-biriga teng va qarama-qarshi yo'nalgan  $q$  - kuchlar bilan to'ldiriladi. Birinchi savolga javob topish uchun barcha kuchlardan A tayanch nuqtaga nisbatan olingan momentlar yig'indisini nolga tenglashtiramiz:

$$\sum M_A = M_B + B \cdot 2\ell - P\ell - P\ell - q\ell^2 + q \frac{\ell^2}{2} = 0 \quad \text{yoki}$$

$$M_B = 2B\ell - 2P\ell - q \frac{\ell^2}{2} \quad (a)$$

(a) tenglamada ikkita noma'lum bo'lib, B-ni topish uchun qo'shimcha tenglama tuzishga to'g'ri keladi. Qo'shimcha tenglama sifatida balkaning istalgan kesimini salqiligini ifodolovchi universal formulani tuzamiz.

$$f = y_0 + Q_0 x + \frac{1}{EI} \left[ B \frac{x^3}{6} - M_B \frac{x^2}{2} - q \frac{(x-\ell)^4}{24} + A \frac{(x-2\ell)^3}{6} + q \frac{(x-2\ell)^4}{24} - P \frac{(x-\ell)^3}{6} \right] \quad (a')$$

$U_0$  va  $Q_0$  balkaning boshlang'ich B kesimining salqiligi va aylanish burchagi (b) tenglamadagi  $x = 0$  va balkaning B kesimida tayanishga asosan nolga tengdir,  $x = 2\ell$  bo'lsa balkaning A tayanchida salqilik nolga teng bo'ladi.

$$\text{Demak, } f = f_A = \frac{1}{EI} \left[ B \frac{8\ell^3}{6} - M_B \frac{4\ell^2}{2} - q \frac{\ell^4}{24} - P \frac{\ell^3}{6} \right] = 0 \quad \text{yoki}$$

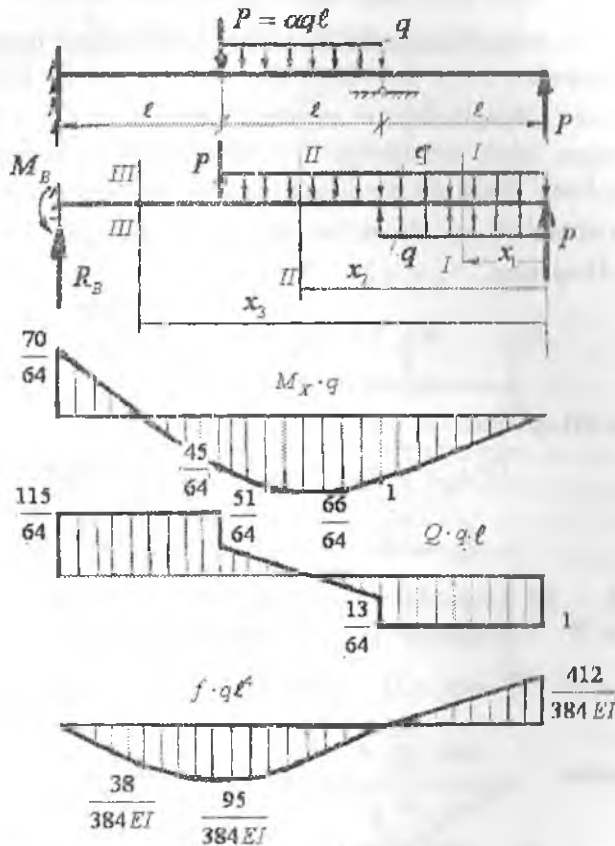
$$\frac{8B\ell^3}{6} - \frac{4M_B\ell^2}{2} - \frac{P\ell^3}{6} - \frac{q\ell^4}{24} = 0 \quad \text{bu yerdan}$$

$$M_B = \frac{1}{2} \left( \frac{8B\ell^3}{6} - q \frac{\ell^3}{6} - q \frac{\ell^3}{24} \right) = \frac{4B\ell}{6} - \frac{5 \cdot q \cdot \ell^2}{48} \quad (v)$$

(a) va (v) tenglamalarni o'zaro tenglashtirib, B reaksiya kuchini topamiz:  $2B\ell - 2P\ell - q \frac{\ell^2}{2} = 4B\ell - \frac{5q\ell^2}{48}$

bu yerdan  $B = \frac{115 \cdot 6}{48 \cdot 8} q \ell^2 = \frac{115}{64} q \ell^2$  ifodani (a) tenglamaga qo'ysak,

$$M_a \text{ momentni topamiz: } M_B = 2 \cdot \frac{115}{64} q \ell^2 - 2q \ell^2 - q \frac{\ell^2}{2} = \frac{70}{64} q \ell^2$$



7.54-rasm. Statik noaniq balka uchun eguvchi moment, ko'ndalang kuch va salqilik epyurlari.

Endi barcha kuchlardan B nuqtaga nisbatan moment tenglamasini tuzamiz va A tayanch kuchini topamiz:

$$\Sigma M_B = -M_B + P \ell + q 2 \ell \left( \frac{2 \ell}{2} + \ell \right) - A \cdot 2 \ell - P \cdot 3 \ell - q \ell \left( \frac{\ell}{2} + 2 \ell \right) = 0$$

$$A = \frac{-M_B + P\ell + 4q\ell^2 - 3P\ell - 2,5q\ell^2}{2\ell} = -\frac{102}{128}q\ell$$

tekshirish:  $\sum y = B - P - 2q\ell + A + q\ell + P = 0$  yoki

$$B + A - q\ell = \frac{115}{64} - \frac{102}{128} - 1 = 0; \quad 0 = 0$$

Balkani uchta oraliqqa, bo'lib  $M_x$  va  $Q_x$  qpyuralarni quramiz:

**I-I-qirqim.**  $0 \leq x_1 \leq \ell$   $M_{x_1} = Px_1 = q\ell x_1$  va  $Q_{x_1} = -P = -q\ell$

$M_x$  va  $Q_x$  tenglamalarini tuzishda balkaning  $0 \leq x_1 \leq \ell$  oraliqdagi taqsimlangan kuch intensivligi  $q$  - ning ta'sirini hisobga olmadik. Chunki  $q$  kuch faqat ( $\delta$ ) tenglamani keltirib chiqarishda va  $f$  salqilikni topishda ishlatiladi.  $x_1 = 0$  bo'lsa  $M_{x_1} = 0$  va  $x_1 = \ell$  da  $M_{x_1} = q\ell^2$

**II-II-qirqim.**  $\ell \leq x_2 \leq 2\ell$

$$M_{x_2} = P \cdot x_2 + A(x_2 - \ell) - q \frac{(x_2 - \ell)^2}{2}$$

$$Q_{x_2} = -P - A + q(x_2 - \ell)$$

**III-III-qirqim.**  $2\ell \leq x_3 \leq 3\ell$

$$M_{x_3} = P_{x_3} + A(x_3 - \ell) - q\ell \left[ x_3 - \left( \ell + \frac{\ell}{2} \right) \right] - P(x_3 - 2\ell)$$

$$Q_{x_3} = -P - A + q\ell + P = \frac{51}{64}q\ell + q\ell = \frac{115}{64}q\ell$$

III - III qirqimda ko'ndalang kuch o'zgarmas qiymatga ega  $M_{\max}$  - ni II - II qirqimdan  $Q_{x_2} = 0$  kesimdan aniqlaymiz.

$$0 = -P - A + q(x_2 - 2\ell) \quad \text{yoki} \quad 0 = -q\ell + \frac{51}{64}q\ell + qx_2 - q\ell$$

tenglamadan 
$$x_2 = \frac{2q\ell - \frac{51}{64}q\ell}{q} = \frac{77}{64}q \approx 1,2\ell$$

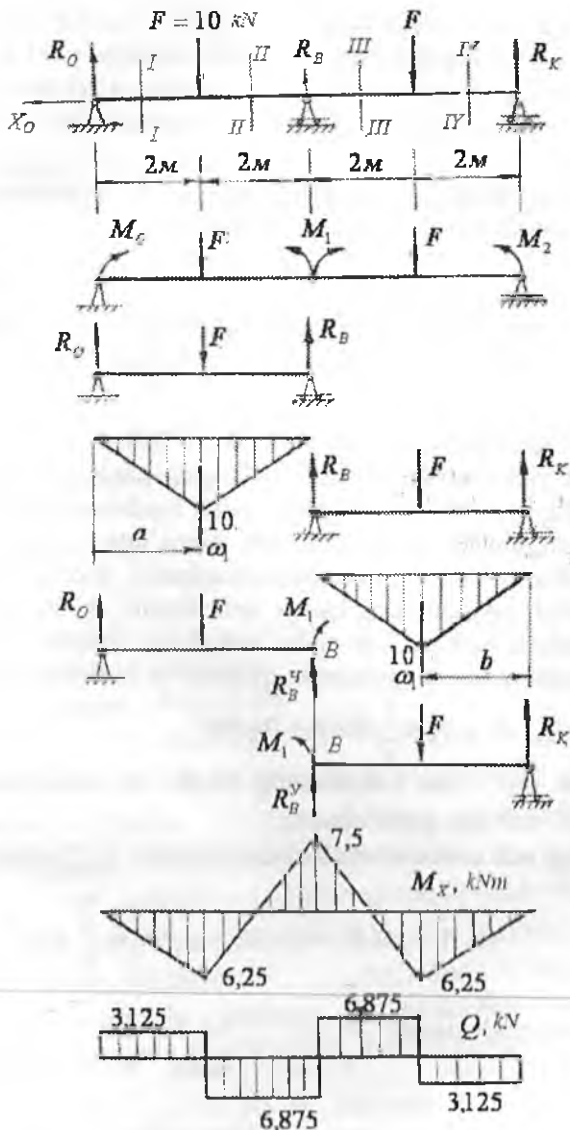
$$M_{x_2} = M_{\max} = q\ell \cdot 1,2\ell - \frac{51}{64}q \cdot 0,2\ell^2 - q \frac{0,04\ell^2}{2} = \frac{65,5}{64}q\ell^2$$

Uchinchi savolga javob berish uchun ( $\delta$ ) tenglamadan foydalanamiz:

$$f = \frac{1}{EI} \left[ B \frac{x^3}{6} - P \frac{(x-\ell)^3}{6} - M_B \frac{x^2}{2} - q \frac{(x-\ell)^4}{24} + A \frac{(x-2\ell)^3}{6} + q \frac{(x-2\ell)^4}{24} \right]$$

$$x = 0,5\ell, \quad f = -\frac{38,1q\ell^4}{384EI} \quad x = \ell, \quad f = -\frac{95q\ell^4}{384EI}$$

$$x = 1,5\ell, \quad f = -\frac{93,37q\ell^4}{384EI}; \quad x = 2\ell, \quad f = 0; \quad x = 3\ell, \quad f = \frac{412}{384}q\ell^4$$



7.55-rasm. Uzlüksiz balkada eguvchi moment va ko'ndalang kuch epyurlarini qurish.

**Misol-2.** Ikki oraliqli balka, sxemada ko'rsatilganidek yuklangan. Balkaning statik noaniqlik darajasi topilsin: reaksiya kuchlari aniqlansin:  $M$  va  $Q$  epyuralari qurilsin va  $h:b=2$  nisbatdan foydalanib balka kesimining o'lchamlari topilsin. Balkaning materiali - po'lat  $[\sigma]=160mPa$  (7.55-rasm)

**Yechish:** Berilgan uzluksiz balka uchun statikaning tenglamalaridan quyidagilarni hosil qilamiz (7.55-rasm).

$$\sum x = -x_0 = 0 \quad (1)$$

$$\sum y = R_0 - F + R_B + R_C - F = 0 \quad (2)$$

$$\sum M_0 = -F \cdot 2 - R_B \cdot 4 + F \cdot 6 - R_C \cdot 8 = 0 \quad (3)$$

Uchta tenglamada to'rtta noma'lum. Demak, uzluksiz balka bir marotaba statik noaniq. Uzluksiz balkaning statik noaniqlik darajasini ochish uchun uch moment tenglamasidan foydalanamiz. Uzluksiz balkadagi noma'lum reaksiya kuchlarini noma'lum tayanch momentlari bilan almashtirib, asosiy sistemani hosil qilamiz. Asosiy sistemada o'rtta (1) tayanchni ortiqcha bog'lanish deb sharnir bilan almashtiramiz. Sharnir uzluksiz balkani 2 ta oddiy balkalarga ajratadi. Oddiy balkalar uchun eguvchi moment epyurlarini quramiz va ularni kuch yuzalari deb

qabul qilamiz.  $\omega_1 = \omega_2 = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 4 = 20 \kappa Nm^2$

$\omega_1$  va  $\omega_2$  - dan balkalarning chetki tayanchlarigacha bo'lgan masofalarni  $a, b$  deb qabul qilamiz

Keyingi uch moment tenglamasini tuzamiz (7.55-rasm)

$$M_0 \cdot \ell_1 + 2M_1(\ell_1 + \ell_2) + M_2 \cdot \ell_2 = -6 \left( \omega_1 \frac{a}{\ell_1} + \omega_2 \frac{b}{\ell_2} \right)$$

Uch moment tenglamasida  $M_0 = 0; \quad M_2 = 0; \quad \ell_1 = 4m; \quad \ell_2 = 4m$   
 $a = 2m; \quad b = 2m$  unda,  $M_1 = -7,5 \kappa Nm$

Oddiy balkalarni  $M_1$  - momenti bilan yuklaymiz (7.55 g-rasm) har bir oddiy balkaning  $F$  tashqi kuchi va  $M_1$  momenti ta'siridan reaksiya kuchlarini topamiz.

Chap balka (7.55 g-rasm)

$$\sum M_0 = F \cdot 2 - R_B^y \cdot 4 + M_1 = 0; \quad R_B^y = \frac{27,5}{4}, \kappa N.$$

$$\sum M_B = R_0 \cdot 4 - F \cdot 2 + M_1 = 0; \quad R_0 = \frac{12,5}{4}, \kappa N$$

O'ng balka (7.55 g - rasm)

$$\sum M_B = -M_1 + F \cdot 2 - R_c \cdot 4 = 0; \quad R_c = \frac{12,5}{4}, \kappa N.$$

$$\sum M_c = -M_1 + R_B^y \cdot 4 - F \cdot 2 = 0; \quad R_B^y = \frac{27,5}{4}, \kappa N$$

Uzluksiz balkaning reaksiya kuchlarini yozamiz:

$$R_0 = \frac{12,5}{4} = 3,125 \kappa N; \quad R_c = \frac{12,5}{4} = 3,125 \kappa N$$

$$R_B = R_B^y + R_B^x = \frac{27,5}{4} + \frac{27,5}{4} = 13,75 \kappa N$$

Uzluksiz balkani oraliqlarga bo'lib,  $M$  va  $Q$  tenglamalarini tuzamiz:

**I-I-qirqim.**  $0 \leq x_1 \leq 2m$

$$M_{x_1} = R_0 x_1; \quad Q_1 = R_0 = 3,125 \kappa N;$$

$$x_1 = 0; \quad M_1 = 0; \quad x_1 = 2m; \quad M_1 = 6,25 \kappa Nm$$

**II - II-qirqim.**  $0 \leq x_2 \leq 2m$

**III - III-qirqim.**  $0 \leq x_3 \leq 2m$

$$M_{x_3} = R_0(4 + x_3) - F(2 + x_3) + R_B x_3;$$

$$Q_3 = R_0 - F + R_B = 3,125 - 10 + 13,75 = 6,875 \kappa N;$$

$$x_3 = 0; \quad M_3 = -7,5 \kappa Nm; \quad x_3 = 2m; \quad M_{x_3} = 6,25 \kappa Nm$$

**IV-IV-qirqim.**  $0 \leq x_4 \leq 2m$

$$M_{x_4} = R_0(6 + x_4) - F(4 + x_4) + R_B(2 + x_4) - Fx_4;$$

$$Q_4 = R_0 - 2F + R_B = 3,125 - 10 + 13,75 - 10 = -3,125 \kappa N;$$

$$x_4 = 0; \quad M_{x_4} = 6,25 \kappa Nm; \quad x_4 = 2m; \quad M_{x_4} = 0$$

Eng katta eguvchi moment B tayanchda hosil bo'ladi:  
 $M_{\max} = 7,5 \kappa Nm$ . Egilishda mustahkamlik shartiga asosan

$$W_x = \frac{M_{\max}}{[\sigma]} = \frac{7,5}{160 \cdot 10^3} = 4,7 \cdot 10^{-5} m^3. \text{ Bu yerda } W_x = \frac{bh^2}{6} \text{ va } h = 2b$$

$$\text{Unda } b = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot 4,7 \cdot 10^{-5}}{4}} = 0,0413 m; \quad h = 2 \cdot 0,0413 = 0,086 m$$



**Misol-3.** Uch oraliqli uzluksiz balka uchun eguvchi moment va ko'ndalang kuch epyuralari qurilsin.

**Yechish.** Uzluksiz balka ikki marotaba statik noaniq. Shuning uchun uzluksiz balkaning ikkita oddiy ikki oraliqli, bir marotaba statik noaniq balkalarga ajratamiz.

Har qaysi ikki oraliqli uzluksiz balkalarni oddiy ikki tayanchli balkalarga ajratib, tashqi kuch ta'siridan eguvchi moment epyurlarini quramiz. Kuch yuzalarining teng ta'sir qiluvchilarini topamiz (7.56, v, g-rasm).  $\omega_1 = \omega_2 = \frac{1}{2} \cdot 87 \cdot 5,8 = 252,3 \text{ kNm}^2$ ;  $a_1 = b = 2,9 \text{ m}$

Har qaysi ikki oraliqli uzluksiz balka uchun uch moment tenglamasini tuzamiz:

$$M_2 \cdot 4,6 + 2M_1(4,6 - 5,6) + M_2 \cdot 5,8 = -6 \frac{\omega_1 \cdot a_1}{5,8}$$

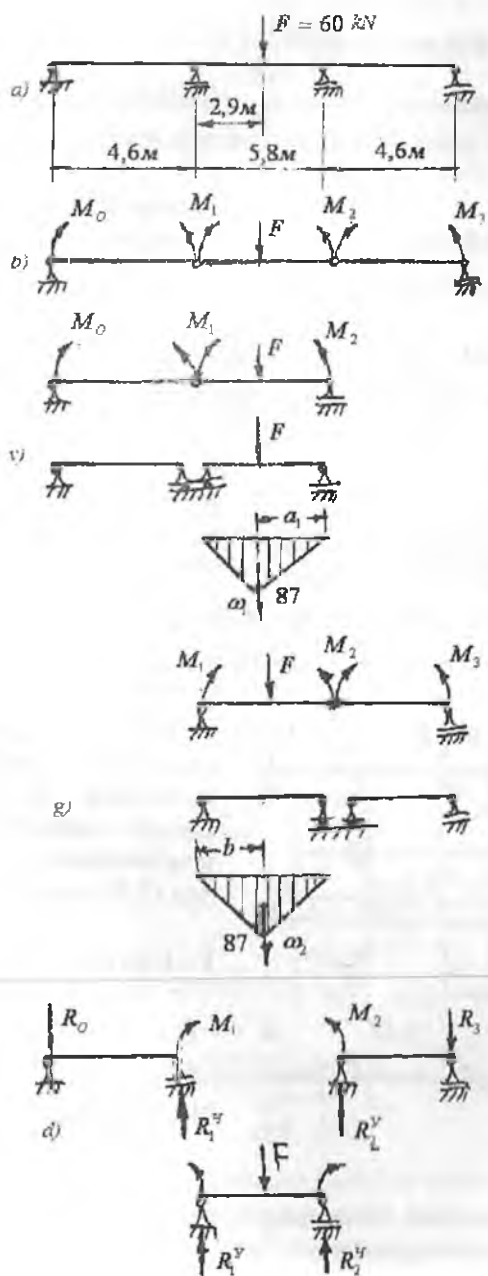
$$M_1 \cdot 5,8 + 2M_1(5,8 + 4,6) + M_3 \cdot 4,6 = -6 \frac{\omega_2 \cdot b}{5,8}$$

$$\text{bu yerda } M_0 = 0 \quad M_3 = 0 \quad \left. \begin{aligned} 20,8M_1 + 5,8M_2 &= -6 \frac{\omega_1 a_1}{5,8} \\ 5,8M_1 + 20,8M_2 &= -6 \frac{\omega_2 \cdot b}{5,8} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} &(-20,3) \\ &(5,8) \end{aligned}$$

$$\text{Unda } \left. \begin{aligned} -432,64M_1 - 120,64M_2 &= 124,8 \frac{\omega_1 \cdot a_1}{5,8} \\ 33,64M_1 + 120,64M_2 &= -34,8 \frac{\omega_2 \cdot b}{5,8} \end{aligned} \right\}$$

Ikki tenglamani qo'shsak,

$$-399M_1 = 124,8 \frac{252,3 \cdot 2,9}{5,8} - 34,8 \frac{252,8 \cdot 2,9}{5,8}; \quad M_1 = -28,45 \text{ kNm} \text{ hosil}$$



7.56-rasm. Uzlüksiz balkani oddiy balkalarga ajratish tartibi.

- a) uzlüksiz balka;
- b) oraliq sharnirlar o'rnatilgan va nominal momentlar bilan yuklangan uzlüksiz balka;
- v) uzlüksiz balkadan ajratib olingan chap tomon ikki prolyotli balkaning variantlari va eguvchi moment epyurasi;
- g) uzlüksiz balkadan ajratib olingan o'ng tomon ikki prolyotli balkaning variantlari va eguvchi moment epyurasi;
- d) uzlüksiz balkadan ajratib olingan va qiymatlari va yo'nalishlari aniqlashtirilgan  $M_1$  va  $M_2$  momentlar bilan yuklangan ikki tayanchli balkalar.

$$\text{bo'ladi va } 20,8(-28,45) + 5,8M_2 = -6 \frac{252,3 \cdot 2,9}{5,8}; \quad M_2 = -28,45 \text{ kNm}$$

Oddiy ikki tanyachli balkalarni  $M_1$  va  $M_2$  momentlari bilan yuklaymiz (7.56-rasm). Har bir oddiy balkaning reaksiya kuchlarini topamiz:

### 1 balka

$$\sum M_0 = M_1 - R_1^y \cdot 4,6 = 0; \quad R_1^y = 6,2 \text{ kN}$$

$$\sum M_1^y = -R_0 \cdot 4,6 + M_1 = 0; \quad R_0 = 6,2 \text{ kN}$$

### 2 balka

$$\sum M_1^y = F \cdot 2,9 - M_1 + M_2 - R_2^y \cdot 5,8 = 0; \quad R_2^y = 30 \text{ kN}$$

$$\sum M_2^y = R_1^y \cdot 5,8 - M_1 + M_2 - F \cdot 2,9 = 0; \quad R_1^y = 30 \text{ kN}$$

### 3 balka

$$\sum M_2^y = R_3 \cdot 5,8 - M_2 = 0; \quad R_3 = 6,2 \text{ kN}$$

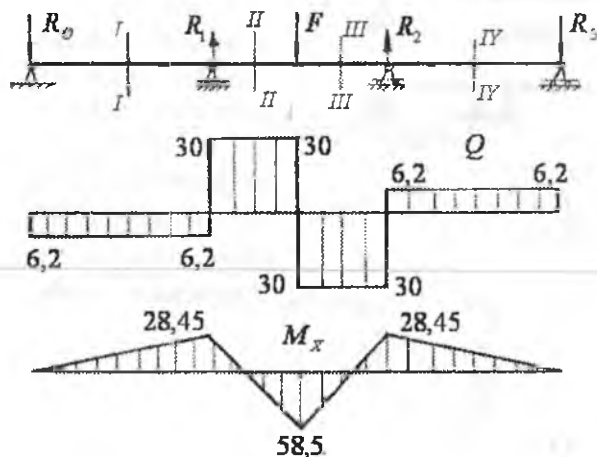
$$\sum M_3 = R_2^y \cdot 5,8 - M_2 = 0; \quad R_2^y = 6,2 \text{ kN}$$

Uzluksiz balkaning reaksiya kuchlari:

$$R_0 = 6,2 \text{ kN}; \quad R_3 = 6,2 \text{ kN}$$

$$R_1 = R_1^y + R_1^y = 6,2 + 30 = 36,2 \text{ kN};$$

$$R_2 = R_2^y + R_2^y = 30 + 6,2 = 36,2 \text{ kN}$$



Uzluksiz balkani oraliqlarga bo'lib ko'ndalang  $Q$  va eguvchi moment  $M$  tenglamalarini tuza-miz (7.57-rasm).

### I – I-qirg'iqim.

$$0 \leq x_1 \leq 4,6 \text{ m}$$

$$Q_1 = -R_0 = -6,2 \text{ kN};$$

$$M_{x_1} = -R_0 x_1$$

### II – II-qirg'iqim.

$$4,6 \leq x_2 \leq 7,5 \text{ m}$$

7.57-rasm. Uzluksiz balka uchun ko'ndalang kuch va eguvchi moment epyurlari.

$$Q_2 = -R_0 + R_1 = -6,2 + 36,2 = 30 \text{ kN};$$

$$M_{x_2} = -R_0 x_2 + R_1 (x_2 - 4,6)$$

III – III-qirgim.  $7,5 \leq x_3 \leq 10,4 \text{ m}$

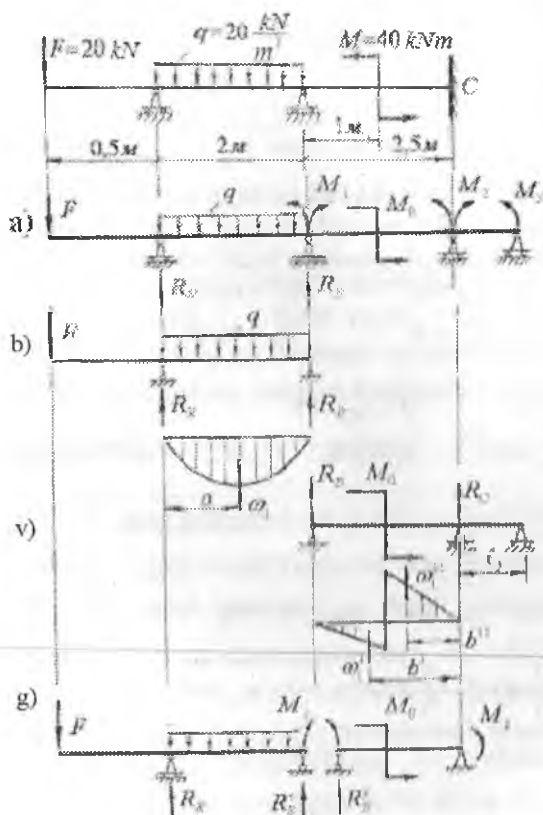
$$Q_3 = -R_0 + R_1 - F = -6,2 + 36,2 - 60 = -30 \text{ kN};$$

$$M_{x_3} = -R_0 x_3 + R_1 (x_3 - 4,6) - F(x_3 - 7,5)$$

IV – IV-qirgim.  $10,4 \leq x_4 \leq 15 \text{ m}$

$$Q_4 = -R_0 + R_1 - F + R_2 = -6,2 + 36,2 - 60 + 36,2 = 6,2 \text{ kN}$$

$$M_{x_4} = -R_0 x_4 + R_1 (x_4 - 4,6) - F(x_4 - 7,5) + R_2 (x_4 - 10,4)$$



**Misol-4.** Uzluksiz balka uchun  $M$  va  $Q$  epyuralari qurilsin (7.58-rasm).

**Yechish.** Uzluksiz balka  $K$  va  $B$  nuqtalarda qo'zg'aluvchan sharmirli tayanchlarga tayanaadi;  $C$  nuqtada esa birk mahkamlangan. Birk mahkamlangan tayanch o'miga bir-biridan  $l_3 = 0$  masofada joylashgan – ikkita tayanch qabul qilamiz (7.58-rasm,a).

7.58-rasm. Uzluksiz balka: a) asosiy sistema; b) – v) uzluksiz balkadan ajratilgan ikki tayanchli balkalar; g) noma'lum momentlar bilan yuklangan oddiy balkalar.

Hosil bo'lgan uzluksiz balkani ikkita oddiy ikki tayanchli balkalarga ajratamiz (7.58, b,v-rasm). Har qaysi balka uchun reaksiya kuchlarini topib,  $M$  – eguvchi moment epyurlami quramiz. Birinchi balka: (7.58, a-rasm)  $M$  epyurasining oddiy ko'rinishini hosil qilish va uni og'irlik markaining koordinatalarini hisoblashni osonlashtirish uchun  $F$  kuch ta'sirini olmaymiz

### Birinchi balka

$$\sum M_B = R_x \cdot \ell_1 - q \frac{\ell_1^2}{2} = 0; \quad R_x = 20\kappa N;$$

$$\sum M_x = -R_B \cdot \ell_1 + q \frac{\ell_1^2}{2} = 0; \quad R_B = 20\kappa N;$$

$$M_x = R_x \cdot x_1 - q \frac{x_1^2}{2}; \quad 0 \leq x_1 \leq \ell_1$$

$$x_1 = 0; M_x = 0; \quad x_1 = \ell_1; \quad M_x = 0; \quad x_1 = \frac{\ell}{2}; \quad M_x = 10\kappa Nm$$

**Ikkinchi balka:** (7.58, b-rasm) ikkinchi oraliqning uzunligi bo'lganligi uchun, balkada faqat B va C tayanchlar qoladi. Demak, ikkinchi balka ikki tayanchli va  $Mo$  – juft kuch momenti bilan yuklangan.

$$\sum M_B = -M_0 + R_c \cdot 2,5 = 0; \quad R_c = 16\kappa N$$

$$\sum M_c = -M_0 + R_B \cdot 2,5 = 0; \quad R_B = 16\kappa N$$

### I–I-qirqim.

$$M_{x_1} = R_B \cdot x_1; \quad 0 \leq x_1 \leq 1m$$

$$x_1 = 0; M_{x_1} = 0; \quad x_1 = 1m; \quad M_{x_1} = 16\kappa Nm$$

### II–II-qirqim.

$$M_{x_2} = -R_c \cdot x_2; \quad 0 \leq x_2 \leq 1,5m$$

$$x_2 = 0; M_{x_2} = 0; \quad x_2 = 1,5m; \quad M_{x_2} = -24\kappa Nm$$

Ikkita oddiy balkalardagi kuch yuzalarining teng ta'sir etuvchilarini topamiz.

$$\omega_q = \frac{2}{3} \cdot 10 \cdot \ell_1 = \frac{2}{3} \cdot 10 \cdot 2 = \frac{40}{3} \kappa Nm^2; \quad \alpha_q = 1m$$

$$\omega_1^I = \frac{1}{2} \cdot 16 \cdot 1 = 8\kappa Nm^2; \quad b^I = \frac{1}{3} \cdot 1 + 1,5 = \frac{5,5}{3} m;$$

$$\omega_1^{II} = \frac{1}{2} \cdot 24 \cdot 1,5 = 18\kappa Nm^2; \quad b^{II} = \frac{2}{3} \cdot 1,5 = 1m;$$

7.58, v-rasmga asosan, uch moment tenglamasini tuzamiz.

$$\begin{cases} M_k \ell_1 + 2M_1(\ell_1 + \ell_2) + M_2 \ell_2 = -6 \left( \frac{\omega_q \cdot a_q}{\ell_1} + \frac{\omega_1^1 b_1^1 + \omega_1^{11} b^{11}}{\ell_2} \right) \\ M_1 \ell_2 + 2M_2(\ell_2 + \ell_3) + M_3 \ell_3 = -6 \left( \frac{\omega^1 \frac{2}{3} \cdot 1 - \omega^{11} \left( 1 + \frac{1,5}{3} \right)}{\ell_2} + \frac{\omega_3 \cdot a_3}{\ell_3} \right) \end{cases}$$

Bu yerda  $M_k = -F \cdot 0,5 = -10 \kappa N$ ;  $M_3 = 0$ ;  $\omega_3 = 0$ ;  
 $a_3 = 0$ ;  $\ell_3 = 0$

Unda  $-10 \cdot 2 + 9M_1 + 2,5M_2 = -6 \left( \frac{40 \cdot 1}{6} + \frac{8 \cdot \frac{5,5}{3} - 18 \cdot 1}{2,5} \right)$

$$M_1 2,5 + 5M_2 = -6 \left[ \frac{16}{7,5} - \frac{18 - 1,5}{2,5} \right] \quad \text{va}$$

$$\left. \begin{array}{l} -20 + 9M_1 + 2,5M_2 = -32 \\ 2,5M_1 + 5M_2 = 52 \end{array} \right\} \text{ yoki } \begin{array}{l} 9M_1 + 2,5M_2 = -12 \\ 2,5M_1 + 5M_2 = 52 \end{array}$$

Ikki noma'lumli, ikkita tenglamalar sistemasi hosil bo'ldi.

Bu yerda  $M_1 = -4,9 \kappa Nm$  va  $M_2 = 12,84 \kappa Nm$ , hosil bo'ladi.  $M_1$  va  $M_2$  - momentlarning qiymatlarini va ishoralarini hisobga olib, oddiy ikki tayanchli balkalarning reaksiya kuchlarini topamiz (7.58 g-rasm).

Chap balka  $\sum M_k = -F \cdot 0,5 + q \frac{\ell^2}{2} + M_1 - R_B'' \cdot \ell_1 = 0$ ;  $R_B'' = 17,45 \kappa N$

$$\sum M_B = -F' \cdot (0,5 + \ell_1) - q \frac{\ell_1^2}{2} + M_1 - R_k \cdot \ell = 0; \quad R_k = 42,25 \kappa N$$

O'ng balka  $\sum M_B^y = -M_1 - M_0 - M_2 + R_c \cdot \ell_2 = 0$ ;  $R_c = 23,096 \kappa N$

$$\sum M_c = -M_1 - M_0 - M_2 + R_B^y \cdot \ell_2 = 0; \quad R_B^y = 23,096 \kappa N$$

Uzluksiz balkaning reaksiya kuchlari:  $R_k = 42,55 \kappa N$ ;  $R_c = 23,096 \kappa N$

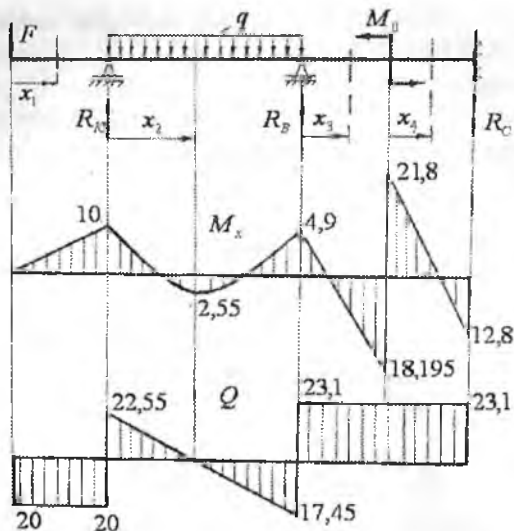
$$R_B = R_B'' + R_B^y = 17,45 + 23,096 = 40,545 \kappa N$$

Uzluksiz balkaning  $S$  qo'zg'almas tayanch nuqtasidagi reaksiya kuchi

$$R_c = 23,096 \kappa N \text{ va tayanch momenti } M_2 = M_c = 12,84 \kappa Nm$$

Balkani (7.59-rasm) oraliqlarga bo'lib  $M$  va  $Q$  tenglamalarini topamiz

I - I-qirgim.  $0 \leq x_1 \leq 0,5 m$   $M_x = -F'x_1$ ;  $Q_1 = -F' = -20 \kappa N$ ;



7.59-rasm. Uzlüksiz balka uchun eguvchi moment va ko'ndalang kuch epyurlari.

**II – II-qirqim.**  $0 \leq x_2 \leq 2m$

$$M_{x_2} = -F(0,5 + x_2) + R_k x_2 - q \frac{x_2^2}{2}; \quad Q_2 = -F + R_k - q x_2$$

$Q$  - ko'ndalang kuch abtsissa o'qini kesib o'tish nuqtasida nolga teng bo'ladi. Shu nuqtada balkaning ikkinchi qirqimdagi cho'ziladigan tolalarida  $M_{x_2} = M_{\max}$ , eguvchi moment eng katta qiymatga erishadi.

$$-F + R_k - q x_2 = 0 \quad \text{yoki} \quad x_2 = \frac{R_k - F}{q} = 1,1275m \quad \text{unda}$$

$$M_{x_2} = M_{2_{\max}} = -20 \cdot 1,6275 + 42,55 \cdot 1,1275 - 20 \frac{(1,1275)^2}{2} = 2,71 \text{ kNm}$$

**III – III-qirqim.**  $0 \leq x_3 \leq 1m$

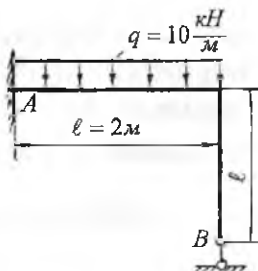
$$M_{x_3} = -F(2,5 + x_3) + R_k(2 + x_3) - q \cdot 2(1 + x_3) + R_B x_3$$

$$Q_3 = -F + R_k - 2q + R_B = 23,096 \text{ kN}$$

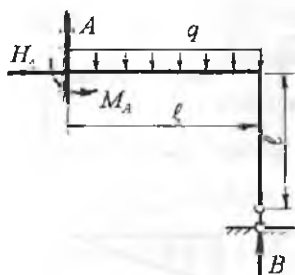
**IV – IV-qirqim.**  $0 \leq x_4 \leq 1,5m$

$$M_{x_4} = -F(3,5 + x_4) + R_k(3 + x_4) - q \cdot 2(2 + x_4) + R_B(1 + x_4) - M_0$$

$$Q_4 = -F + R_k - 2q + R_B = 23,096 \text{ kN}$$



7.60-rasm. Statik noaniq rama.



7.61-rasm. Statik noaniq masala.

**Misol-5.** Statik noaniq ramaning  $M$ ,  $Q$  va  $N$  epyuralari qurilsin:

**Yechish.** Ramaning  $A$  kesimi bika mahkamlangan tayanchga  $B$  kesimi qo'zg'aluvchan shamirli tayanchga tayanadi. Shuning uchun  $A$  kesimda uchta,  $B$  kesimda bitta reaksiya kuchlari hosil bo'ladi. Sistemada to'rtta noma'lum reaksiya kuchlari hosil bo'lib, ularni topish uchun statikaning uchta muvozanat tenglamalarini tuzish mumkin (7.61-rasm):

$$\sum x = 0; \quad H_A = 0$$

$$\sum y = 0; \quad A - ql + B = 0$$

$$\sum M_A = 0; \quad -M_A + q \frac{l^2}{2} - Bl = 0$$

Sistemadagi noma'lum reaksiyalar soni, statikaning tenglamalari sonidan bittaga ko'p ekan. Sistema bitta ortiqcha bog'lanishga ega. Ortiqcha bog'lanishlari bo'lgan sistemalarda barcha reaksiyalarni statikaning muvozanat tenglamalari yordamida topib bo'lmaydi.

Bunday sistemalar statik noaniq sistemalar deyiladi. Ortiqcha noma'lumlar soni sistemaning noaniqlik darajasini bildiradi:

$$S = m - 3 = 4 - 3 = 1$$

$m$  - sistemadagi noma'lum reaksiyalar soni.

Statik noaniq masalani yechish uchun berilgan sistemadan asosiy sistemaga o'tiladi. Asosiy sistema, bu noma'lum reaksiyani noma'lum bog'lanish kuchi  $X$  bilan almashtirilgan holati yoki statik noaniq sistemani statik aniq ko'rinishga keltirilishi (7.62-rasm).

Asosiy sistemaga qo'yilgan noma'lum ortiqcha bog'lanish kuchi- $X$  birlik kuch deyiladi. Berilgan sistemada  $q$  va  $B$  kuchlari ta'siridan  $B$

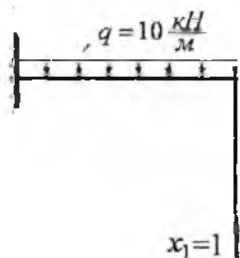


nuqtaning ko'chishi nolga teng, ya'ni  $\Delta_B = 0$  edi. Asosiy sistemada B nuqtaning ko'chishi  $q$  va  $x_1$  kuchlaridan nolga teng deb qabul qilinadi:

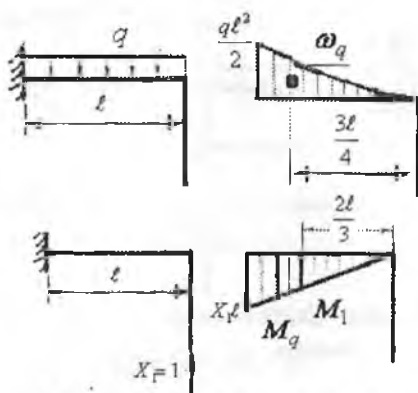
$\Delta_B = x_1 \delta_{11} + \Delta_{1q} = 0$  yoki  $\delta_{11} + \Delta_{1q} = 0$  tenglama kanonik tenglama sistemaning noaniqlik darajasi qancha bo'lsa kanonik tenglamalar soni ham shuncha bo'ladi.

Bu yerda  $\delta_{11}$  - asosiy sistema B nuqtasining  $x_1$  kuch yo'nalishida  $x_1 = 1$  kuch ta'siridan ko'chishi;

$\Delta_{1q}$  - B nuqtaning noma'lum  $x_1$  kuch yo'nalishida  $q$  kuch ta'siridan ko'chishi.



7.62-rasm. Tashqi va birlik kuch bilan yuklangan rama.



7.63-rasm. Tashqi va birlik kuchlari ta'siridan eguvchi moment epyurlari.

$\delta_{11}$  va  $\Delta_{1q}$  ko'chishlarni topish uchun asosiy sistemada noma'lum birlik kuchlardan va tashqi kuch  $q$  dan eguvchi moment epyuralari quriladi.  $\delta_{11}$  va  $\Delta_{1q}$  - larni Mor - Maksvell yoki Vereshagin formulalari bilan topish mumkin:

$$\text{Mor-Maksvell formulasi: } \delta_{11} = \int_0^{\ell} \frac{M_1^2}{EI} dx, \quad \Delta_{1q} = \int_0^{\ell} \frac{M_q M_1}{EI} dx$$

bu yerda  $M_1$  - asosiy sistema uchun  $x_1 = 1$  kuchidan qurilgan eguvchi momentning epyurasi;  $M_q$  - asosiy sistema uchun  $q$  kuchidan qurilgan eguvchi moment epyurasi;

$EI$  – balkaning bikrligi. 
$$\delta_{11} = \int_0^{\ell} \frac{x \cdot x dx}{EI} = \frac{1}{EI} \int_0^{\ell} x^2 dx = \frac{\ell^3}{3EI} = \frac{8}{3EI};$$

$$\Delta_{1q} = - \int_0^{\ell} \frac{q \frac{x^2}{2} \cdot x \cdot dx}{EI} = -q \frac{\ell^4}{8EI} = -\frac{20}{EI}.$$

$\delta_{11}$  va  $\Delta_{1q}$  - larni kanonik tenglamaga qo'yib  $x_1$  noma'lum kuchni topamiz:

$$x_1 \cdot \frac{\ell^3}{3EI} - q \frac{\ell^4}{8EI} = 0 \quad \text{yoki} \quad x_1 = \frac{3}{8} q \ell; \quad x_1 = \frac{60}{8} = 7,5 \text{ kN}$$

Vereshagin formulasi:  $\delta_{11} = \frac{\omega_1 \cdot M_1}{EI}$  va  $\Delta_{1q} = \frac{\omega_q \cdot M_{1q}}{EI}$

bu yerda:  $\omega_1$  va  $\omega_q$  - asosiy sistema uchun  $x_1 = 1$  va  $q$  kuchlardan qurilgan  $M_1$  va  $M_q$  eguvchi moment epyuralarining yuzasi (7.63-rasm);

$M_1$  - ( $\delta_{11}$  ko'chish uchun)  $\omega_1$  yuzaning og'irlik markaziga to'g'ri keluvchi birlik kuch momentining ordinatasi,  $M_1 = \frac{2\ell}{3} \cdot X_1 = \frac{2\ell}{3}$

$M_{1q}$  - ( $\Delta_{1q}$  ko'chish uchun) -  $\omega_q$  yuzaning og'irlik markaziga to'g'ri keluvchi birlik kuch momentining ordinatasi,  $M_{1q} = \frac{3\ell}{4} \cdot X_1 = \frac{3\ell}{4}$ .

$$\delta_{11} = \frac{1}{EI} \left( \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 2 \right) \left( \frac{2}{3} \cdot 2 \right) = \frac{8}{3EI} \quad \Delta_{1q} = - \frac{1}{EI} \left( \frac{1}{3} \cdot 20 \cdot 2 \right) \left( \frac{3}{4} \cdot 2 \right) = -\frac{20}{3EI}$$

Kanonik tenglamadan  $x_1 \frac{8}{3EI} - \frac{20}{EI} = 0$  yoki  $x_1 = \frac{60}{8} = 7,5 \text{ kN}$

Demak,  $x_1 = B = 7,5 \text{ kN}$ .

$B = 7,5 \text{ kN}$  kuch yordamida berilgan balka uchun eguvchi moment  $M$ , ko'ndalang kuch  $Q$  va bo'ylama kuch  $N$  epyuralarini quramiz.

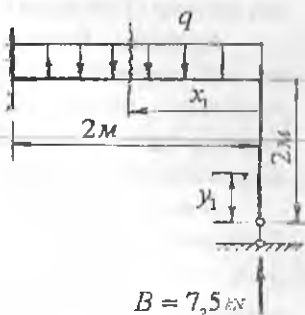
**I - I-qirg'iq (BC oraliq) (7.64-rasm)**

$$0 \leq y_1 \leq 2m$$

$$M_y = 0; \quad Q_1 = 0; \quad N_1 = -B = -7,5 \text{ kN}$$

**II - II-qirg'iq (CA oraliq).**

$$0 \leq x_1 \leq 2m$$

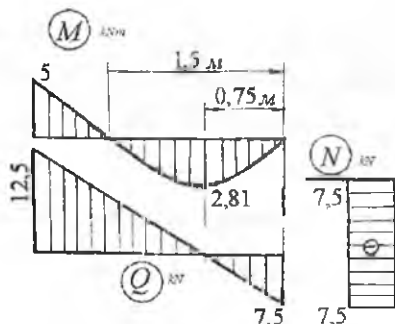


7.64-rasm. Statik aniq rama.

$$M_2 = Bx_1 - q \frac{x_1^2}{2}; \quad Q_2 = -B + qx_2; \quad \text{va} \quad N_2 = 0$$

CA - oraliqda eguvchi moment  $M_{eg}$  egri chiziqli  $Q_2$  to'g'ri chiziqli qonuniyat bilan o'zgaradi  $Q_2$  kuch C nuqtada manfiy ishorali, A nuqtada musbat ishorali qiymatga ega.

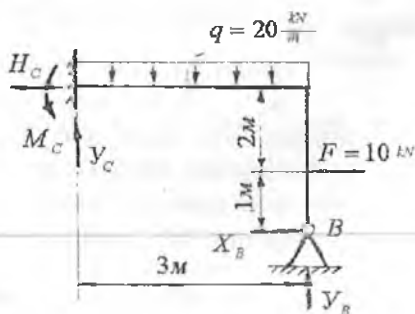
Ko'ndalang kuch absissa o'qini kesib o'tish nuqtasida, ya'ni  $Q_2 = 0$  nuqtada  $M_{eg}$  ekstremal qiymatga erishdi:  $Q_2 = -B + qx_1 = 0$  yoki  $x_1 = \frac{B}{q} = 0,75m$   $M_2 = 7,5 \cdot 0,75 - 10 \frac{(0,75)^2}{2} = 2,8125kNm$ ,



$M_{eg} = 0$  nuqtani topamiz:

$$M_{eg} = 7,5x_1 - 10 \frac{x_1^2}{2} = 0; \quad x_1 = 1,5m$$

7.65-rasm. Eguvchi moment ko'ndalang va bo'ylama kuch epyurlari.



7.66-rasm. Statik noaniq rama.

**Misol-6.** Statik noaniq rama uchun  $M$ ,  $Q$  va  $N$  epyurlari qurilsin (7.66-rasm).

**Yechish:** Ramaning  $S$  tayanch nuqtasida uchta va  $B$  nuqtasida ikkita reaksiya kuchlari hosil bo'ladi. Ramaning auiqmaslik darajasi

$$S = n - 3 = 5 - 3 = 2$$

$B$  tayanch ta'sirini  $x_1 = 1$  va  $x_2 = 1$  birlik kuchlar bilan almashtirib asosiy sistemani hosil qilamiz (7.67-rasm).

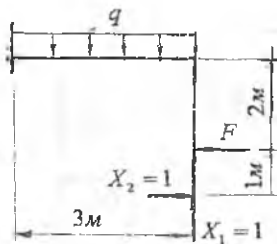
Kanonik tenglama:

$$x_1 \delta_{11} + x_2 \delta_{12} + \Delta_{1F} + \Delta_{1q} = 0$$

$$x_1 \delta_{12} + x_2 \delta_{22} + \Delta_{2F} + \Delta_{2q} = 0$$

Kanonik tenglamaning koef-  
fisiyentl arini Vereshagin formu-  
lasidan foydalanib topamiz:

$$\delta_{11} = \sum \frac{M_i^2}{EI} \quad \text{va} \quad \delta_{12} = \sum \frac{M_i M_k}{EI}$$



7.67-rasm. Tashqi va birlik kuchlar  
bilan yuklangan rama.

Birluk va tashqi kuchlar momentlarining epyuralarini quramiz (7.68-rasm):  $M_1$  - birluk  $x_1$  kuch momentining epyurasi;  $M_2$  - birluk kuch momentining epyurasi;  $M_s$  - birluk  $x_1=1$  va  $x_2=1$  kuchlar momentlarining epyuralari

$$\delta_{11} = \frac{1}{EI} \cdot \frac{1}{2} \cdot 3 \cdot 3 \cdot \frac{2}{3} \cdot 3 = \frac{9}{EI}; \quad \delta_{12} = \frac{1}{EI} \left( \frac{1}{2} \cdot 3 \cdot 3 \cdot \frac{2}{3} + 3 \cdot 3 \cdot 3 \right) = \frac{36}{EI}$$

$$\delta_{12} = \delta_{21} = \frac{1}{EI} \left( \frac{1}{2} \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 \right) = \frac{27}{2EI}; \quad \Delta_{1F} = \frac{\omega_F \cdot \overline{M}_1}{EI} = -\frac{20 \cdot 3 \cdot \frac{3}{2}}{EI} = -\frac{90}{EI}$$

$$\Delta_{2F} = \frac{\omega_F \cdot \overline{M}_2}{EI} = -\frac{1}{EI} \left( \frac{1}{2} \cdot 20 \cdot 2 \cdot \frac{7}{3} + 20 \cdot 3 \cdot 3 \right) = -\frac{680}{3EI}$$

$$\Delta_{2q} = \frac{\omega_q \cdot \overline{M}_2}{EI} = -\frac{\frac{1}{3} \cdot 90 \cdot 3 \cdot 3}{EI} = -\frac{270}{EI}$$

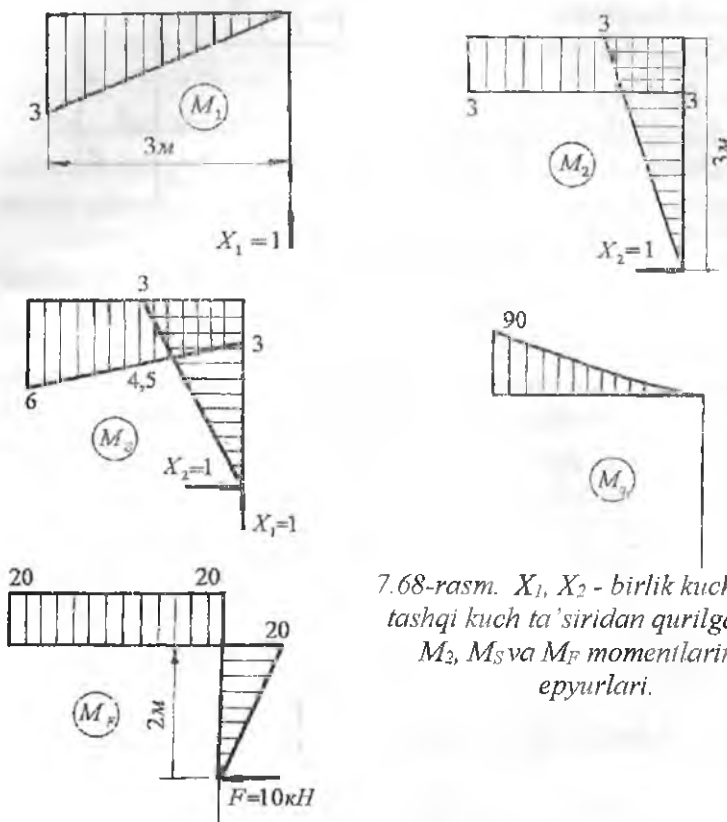
$$\Delta_{1q} = \frac{\omega_q \cdot \overline{M}_1}{EI} = -\frac{\frac{1}{3} \cdot 90 \cdot 3 \cdot \frac{3}{4} \cdot 3}{EI} = -\frac{810}{4EI}$$

$$\delta_s = \frac{1}{EI} \left[ \frac{1}{2} \cdot 3 \cdot 3 \cdot \frac{2}{3} \cdot 3 + 3 \cdot 3 \cdot 4,5 + \frac{1}{2} \cdot 3 \cdot 3 \cdot \left( 3 + \frac{2}{3} \cdot 3 \right) \right] = \frac{72}{EI}$$

Tekshirish:  $\delta_{11} + \delta_{12} - \delta_{21} + \delta_{22} = \delta_s$

$$\frac{9}{EI} + \frac{27}{2EI} + \frac{27}{2EI} + \frac{36}{EI} = \frac{72}{EI}; \quad \frac{72}{EI} = \frac{72}{EI}$$

$$\Delta_{1q} + \Delta_{1F} + \Delta_{2F} + \Delta_{2q} = -\frac{202,5}{EI} - \frac{90}{EI} - \frac{680}{3EI} - \frac{270}{EI} = -\frac{789,1}{EI}$$



7.68-rasm.  $X_1, X_2$  - birlik kuchlari va tashqi kuch ta'siridan qurilgan  $M_1, M_2, M_S$  va  $M_F$  momentlarining epyurlari.

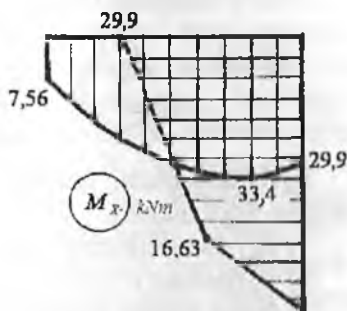
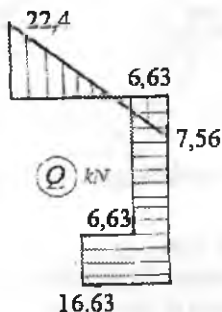
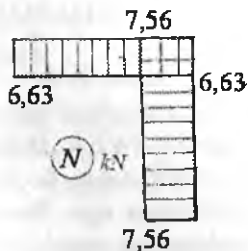
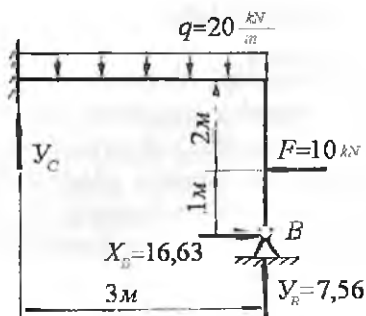
$$\sum \frac{M_i (M_q + M_F)}{EI} - \frac{1}{EI} \left( -\frac{1}{2} \cdot 20 \cdot 2 \cdot \frac{7}{3} - 20 \cdot 3 \cdot 4,5 - \frac{1}{3} \cdot 90 \cdot 3 \cdot \frac{21}{4} \right)$$

$$\sum \frac{M_S (M_q + M_F)}{EI} = -\frac{789,17}{EI}$$

Topilgan koeffitsiyentlarni kanonik tenglamaga keltirib qo'yamiz va

$$x_1, x_2 \text{ noma'lumlarni topamiz: } \left. \begin{aligned} x_1 \frac{9}{EI} + x_2 \frac{27}{2EI} - \frac{90}{EI} - \frac{810}{4EI} &= 0 \\ -x_1 \frac{27}{2EI} + x_2 \frac{36}{EI} - \frac{680}{3EI} - \frac{270}{EI} &= 0 \end{aligned} \right\}$$

Bu yerdan  $x_1 = 7,56kN$  va  $x_2 = 16,63kN$ .



7.69-rasm.  $M$ ,  $Q$  va  $N$  epyurlarini quramiz.

**I – I-qirgim.**  $0 \leq x_1 \leq 1m$  Eguvchi moment tenglamasi

$$Mx_1 = x_B \cdot x_1$$

Ko'ndalang kuch tenglamasi  $Q_1 = -x_B = -16,63kN$ ; va bo'ylama kuch tenglamasi  $N_1 = -y_B = -7,56kN$

**II – II-qirgim.** Eguvchi moment tenglamasi

$$Mx_2 = x_B \cdot x_2 - F(x_2 - 1)$$

Ko'ndalang kuch tenglamasi  $Q_2 = -x_B + F = -6,63kN$ ; va bo'ylama kuch tenglamasi  $N_2 = -y_B = -7,56kN$

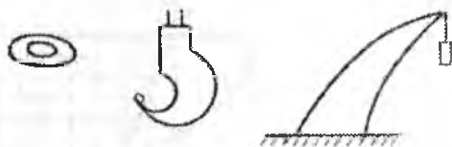
**III – III-qirgim.**  $0 \leq x_3 \leq 3m$ ;

Eguvchi moment tenglamasi  $Mx_3 = y_B \cdot x_3 - q \frac{x_3^2}{2} + x_B \cdot 3 - 2F$

Ko'ndalang kuch tenglamasi  $Q_3 = -y_B + qx_3$ ; va bo'ylama kuch tenglamasi  $N_3 = x_B - F = 6,63kN$

## VIII BOB. EGRI STERJENLAR

Ayrim konstruksiya va mexanizmlardagi elementlarda egrilik markazidan o'tuvchi o'qlar egri bo'ladi. Masalan: zanjimning bug'inlari, ilgaklar, arklar va h.k. Bundan tashqari amaliyotda uchraydigan barcha sterjenlar ideal tekis bo'lmasdan, qandaydir darajada notekisliklarga yoki egriliklarga ega. Shuning uchun egri o'qli sterjenning kesimida kuchlanishlarning tarqalish qonuniyati, egri sterjenlarni mustahkamlikka hisoblashni bilish kerak.



8.1-rasm.  
Xalqa, kryuk va  
yuk ko'taruvchi  
kranning sxemasi.

Egri sterjenlarni mustahkamlikka hisoblashida quyidagi cheklashlarga rioya qilamiz.

- 1) sterjen kesimining simmetriya o'qi bor;
- 2) sterjenning o'qi tekis egri bo'lib, simmetriya tekisligida yotadi;
- 3) tashqi kuchlar simmetriya tekisligida ta'sir qiladi;
- 4) deformatsiyagacha tekis bo'lgan kesim yuzasi sterjenning deformatsiyasidan keyin ham tekisligicha qoladi.

### 8.1. Ko'ndalang va bo'ylama kuchlar bilan bog'liq bo'lgan kuchlanishlar

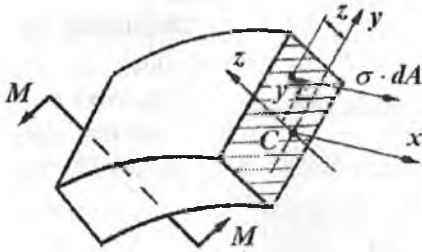
Nazariy izlanishlar, egri sterjenlarda urinma kuchlanishlarning tarqalish qonuniyati to'g'ri chiziqli sterjenlardagi urinma kuchlanishlarni tarqalish qonuniyatiga yaqin bo'lishini ko'rsatadi. Shuning uchun, egri sterjenlarda ham kesimdagi urinma kuchlanishni Juravskiy formulasi bilan aniqlaymiz:  $\tau = \frac{QS_x}{I_x b} \leq [\tau]$



Egri sterjendan ajratilgan element oddiy cho'zilish yoki siqilishga uchraydi.  $\sigma_n = \frac{N}{A}$

## 8.2. Eguvchi moment bilan bog'liq bo'lgan kuchlanishni aniqlash

Eguvchi moment bilan bog'liq bo'lgan kuchlanishni aniqlash uchun sof egilish holatidan foydalanamiz (8.3-rasm). Egri sterjenning ajratib olingan qismi eguvchi moment va bo'ylama kuch  $N = \sigma \cdot dA$  ta'sirida bo'ladi.



8.3-rasm. Sof egilishdagi egri sterjenning yuklanish sxemasi.

Kesim neytral qatlamining holati bizga aniq emas va kesimni egrik markazi  $O$  nuqtadan o'tmaydi deb faraz qilamiz. Egri sterjenning ajratib olingan qismining koordinata sistemasiga; boshlang'ich nuqtasini esa  $C$  nuqtaga joylashtiramiz,  $Z$  o'qi kesimning simmetriya o'qi. Eguvchi moment  $XCZ$  tekisligida yotadi.  $M$  va  $\sigma \cdot dA$  ta'sirida muvozanatda bo'lgan sterjen uchun oltita muvozanat shartini yozish mumkin.

$$\sum x = 0; \quad \int_A \sigma \cdot dA = 0$$

$$\sum z = 0 \text{ va } \sum y = 0$$

$$\sum M_x = 0 \text{ va } \sum M_z = 0$$

$$\sum M_y = M - \int \sigma \cdot dA \cdot z = 0. \quad M = \int_0^A \sigma \cdot dA \cdot z$$

Egri sterjenning egilishiga asosan normal kuchlar ta'sirida aniqlash uchun oltita muvozanat shartlaridan faqat  $\sum x = 0$  va  $\sum M_y = 0$  tenglamalardan foydalanish mumkin. Lekin, bu tenglamalardan  $\sigma$  ni sterjenning kesimini balandligi bo'ylab o'zgarishi aniqlash mumkin.

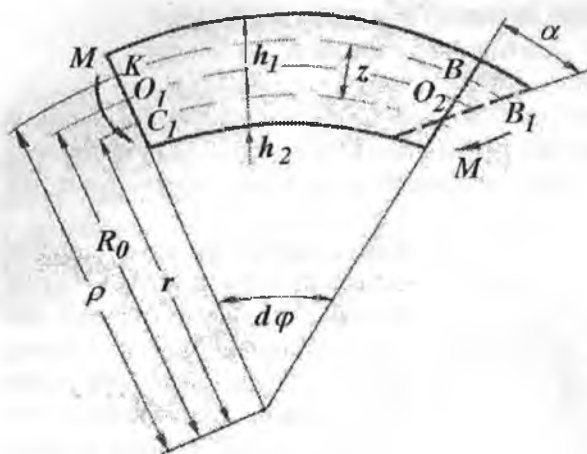
Demak, normal kuchlanishni aniqlash mumkin. Shuning uchun egri sterjenning deformatsiyasini o'rganamiz. Sterjenning egilishida ko'ndalang kesim tekisligicha qolib, oldingi holatiga nisbatan  $\alpha$  burchak  $B_1$  miqdoriga uzayadi.  $KB$  tolaning uzayishi o'zgar olmaydi;  $KB$  to'g'ri bo'ladi, ya'ni (8.4-rasm)

$$\sigma = \varepsilon_{KB} \cdot E$$

$$\text{Guk qonuniga } \frac{BB_1}{KB} = \frac{z\alpha}{\rho \cdot d\varphi} \text{ unda } \sigma = \frac{z\alpha}{\rho \cdot d\varphi} \cdot E \quad (8.2)$$

bu yerda





8.4-rasm. Eguvchi moment bilan bog'liq kuchlanishni aniqlash sxemasi.

(8.2) formulaga asosan egri sterjenda kuchlanish giperbola qonuniyati bilan o'zgaradi. Egilishga qadar egri sterjen tashqi tolalarining uzunligi ichki tolalarining uzunligidan katta edi; shuning uchun chekka tashqi toladagi normal kuchlanish ichki toladagi normal kuchlanishdan kichik bo'ladi (8.5-rasm). (8.1) formuladan  $\sigma$  - ning ifodasini, (8.2) formulaga keltirib qo'yamiz.



8.5-rasm. Normal kuchlanishni tarqalish qonuniyati.

$$\int_0^A \sigma \cdot dA = \int_0^A E \frac{z\alpha}{\rho \cdot d\varphi} dA = 0 \quad \text{bu}$$

yerda  $E \frac{\alpha}{d\varphi} \neq 0$ .

Shuning uchun  $\int_0^A \frac{z}{\rho} dA = 0$ .

Lekin  $z = \rho - r$ , unda  $\int_0^A \frac{\rho - r}{\rho} dA = \int_0^A \frac{\rho}{\rho} dA - \int_0^A \frac{r}{\rho} dA = A - r \int_0^A \frac{1}{\rho} dA = 0$

Sterjenning har bir kesimi uchun  $\frac{\alpha}{d\varphi}$  va  $E$  o'garmas bo'lganligi uchun,  $\sigma$  - ning iymati  $Z$  va  $\rho$  masofaga bog'liq bo'ladi.

$\rho$  - sterjenning egrilik radiusi;

$\rho = r + z$  va  $r$  - sterjen neytral qatlaminin egrilik radiusi.

bu yerdan  $r = \frac{A}{\int_A \frac{dA}{\rho}}$  (8.3) neytral qatlam tenglamasi.

(8.2) formuladan  $\sigma$  - ning ifodasini (8.1) formulaga keltirib qo'yamiz

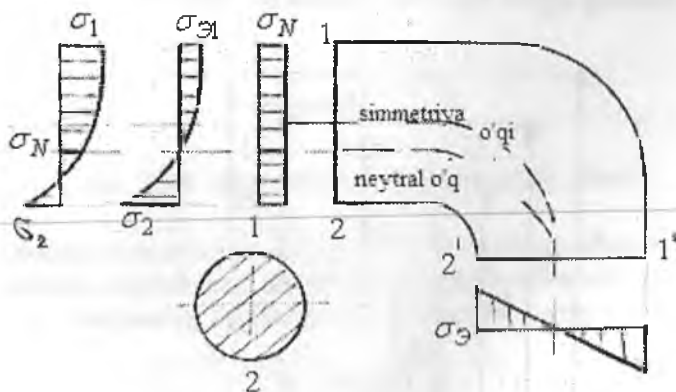
$$M = E \frac{\alpha}{d\varphi} \int_0^A \frac{z}{\rho} \cdot z \cdot dA, \text{ bu yerda integralni alohida hisoblaymiz.}$$

$$\int_0^A \frac{z}{\rho} \cdot z \cdot dA = \int_0^A \frac{\rho - r}{\rho} \cdot z \cdot dA = \int_0^A z \cdot dA - r \int_0^A \frac{z}{\rho} dA$$

Bu hisoblashga asosan oxirgi integral:  $\int_0^A \frac{z}{\rho} dA = 0$ ; birinchi  $\int_0^A z \cdot dA$  integral esa, sterjen kesim yuzasining neytral o'qqa nisbatan statik momentidir, ya'ni:  $S = A \cdot Z$ , unda  $M = E \frac{\alpha}{d\varphi} \cdot S$  va  $\frac{\alpha}{d\varphi} = \frac{M}{ES}$  formulani (8.2) ga keltirib qo'ysak egri sterjenning kesimida eguvchi moment ta'siri dagi normal kuchlanish formulasi hosil bo'ladi:

$$\sigma_s = \frac{MZ}{S\rho} \quad (8.4)$$

Shunday qilib, egri sterjenning ko'ndalang kesimida eguvchi moment ta'siridan hosil bo'ladigan normal kuchlanish  $\sigma_s$  kesimning neytral



8.6-rasm. Egri sterjenning kesimidagi bo'ylama kuchga, eguvchi momentga bog'liq hamda to'liq kuchlanish.

qatlamlardan kuchlanishi tekshirilayotgan nuqtagacha bo'lgan masofa  $Z$  - ga va sterjenning egrilik radiusi  $\rho$  - ga bog'liq ekan. Kesimning neytral qatlamlardan eng uzoqda joylashgan chetki nuqtalarida  $\sigma$ , eng katta qiymatga erishadi (8.6-rasm), ya'ni:  $Z = Z_{1,2}$  va  $\rho = \rho_{1,2}$  bo'lsa

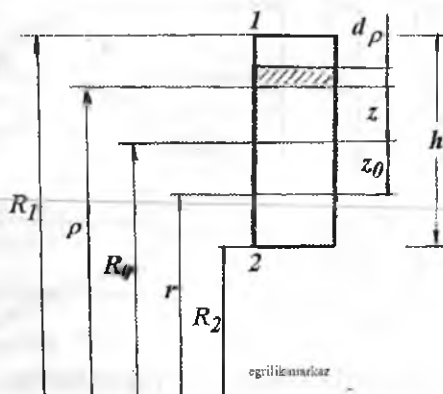
$$\sigma_s = \sigma_{\max} = \pm \frac{MZ_{1,2}}{S\rho_{1,2}}$$

Egri sterjenning ko'ndalang kesimida ichki bo'ylama kuch  $N$  ta'sirida ham normal kuchlanish hosil bo'ladi. Unda kesimning to'liq normal kuchlanishi eguvchi moment va bo'ylama kuch ta'sirida hosil bo'lgan normal kuchlanishlar yig'indisidan iborat bo'ladi.

$$\sigma_{1,2} = \frac{N}{A} \pm \frac{MZ_{1,2}}{S\rho_{1,2}} \quad (8.5)$$

### 8.3. Egri sterjenda neytral o'q holatini aniqlash.

Egri sterjenlarda (8.5.) formula bo'yicha normal kuchlanishni aniqlash uchun neytral o'q holatini aniqlash kerak. Buning uchun neytral qatlamlarning egrilik radiusi ( $r$ ) yoki kesimning og'irlik markazi yoki markaziy o'qidan neytral o'qgacha bo'lgan masofa  $Z_0$  - ni aniqlash zarur. Ko'ndalang kesim yuzasi to'g'ri to'rtburchak bo'lgan egri sterjen neytral o'qining egrilik radiusini topamiz (8.7-rasm).



8.7-rasm. To'rtburchak kesimning neytral o'qini aniqlash sxemasi.



Masalan:  $\frac{R_0}{h} \leq 5$ , egriligi katta sterjenlar (ilgak, halqa va h.k.

$\frac{R_0}{h} \leq 5$  egriligi kichik sterjenlar. Bu sterjenlarda  $\frac{z}{\rho}$  - nisbatni hisobga olmasa ham bo'ladi. Shuning uchun egri sterjenning  $M$  ta'siridagi normal kuchlanish formulasi to'g'ri sterjenlar uchun topilgan normal kuchlanish formulasidan kam farq qiladi.

$R_0 = 5h$  bo'lsa

$$r = \frac{h}{\ln \frac{R_0 + 0,5h}{R_0 - 0,5h}} = \frac{h}{\ln \frac{5,5}{4,5}} = \frac{h}{0,20067} = 4,9833h$$

$$Z_0 = R_0 \cdot r = 5h - 4,9833h = 0,0167 \quad \text{yoki} \quad Z_0 = 0,00334R_0$$

ya'ni neytral o'q kesimini og'irlik markazidan:

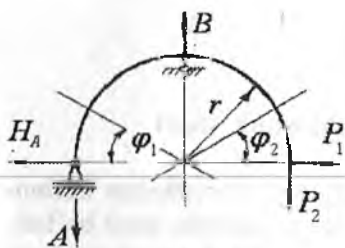
$$Z_1 = 0,5167h, \quad Z_2 = 0,4833h \quad \text{birlikka farq qiladi.}$$

Unda 
$$\sigma_1 = \frac{MZ_1}{S_y R_1} = \frac{M \cdot 0,5167h}{b_n \cdot 0,0167h \cdot 5,5h} = \frac{0,567M \cdot 6}{0,5511bh^2} = 0,935 \frac{M}{W}$$

$$\sigma_2 = \frac{MZ_2}{S_y R_2} = \frac{M \cdot 0,4833h}{b_n \cdot 0,0167h \cdot 4,5h} = \frac{0,4833M \cdot 6}{0,4809bh^2} = 1,071 \frac{M}{W}$$

$R_0 = 5h$  o'rtacha egrilikdagi sterjenlarda normal kuchlanish to'g'ri sterjenlardagi normal kuchlanishdan 7% ga farq qiladi.

**Misol-1.** Egri sterjenni xavfli kesim normal kuchlanishini toping (8.8-rasm).



8.8-rasm.

Berilgan:

$$P = 1100N; \quad d = 5,0smm$$

$$r = 16sm;$$

$$P_1 = P_2 = P$$

**Yechish:** Egri sterjen  $A$  va  $B$  tayanchlarga tayanadi. Reaksiya kuchlarini topamiz:

$$\sum x = 0; \quad -H_A + P_1 = 0$$

$$\text{yoki } H_A = P_1 = 1100H; \quad \sum M_A = 0$$

$$P_2 \cdot 2r - Br = 0$$

$$\text{bu yerdan } B = 2P_2 = 2200N$$

$$\sum M_B = 0; \quad H_A \cdot r - A \cdot r + P \cdot r - P_1 r = 0$$

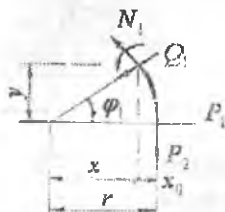
$$\text{bu yerdan } A = \frac{H_A \cdot r}{r} = H_A = 1100H. \quad \text{Tekshirish: } \sum y = -A - B - P = 0$$

I – I qirg'im.  $0 \leq \varphi_1 \leq 90^\circ$

Eguvchi moment tenglamasini tuzamiz:  $M_1 = P_2 x_0 - P_1 y$ .

Bu yerda  $x_0 = r - x = r - r \cdot \cos \varphi = r(1 - \cos \varphi)$ ,  $y = r \cdot \sin \varphi$

Unda  $M_1 = P_2 r(1 - \cos \varphi_1) - P_1 r \sin \varphi_1$



8.9-rasm.

Ko'ndalang kuch  $Q$  va bo'ylama kuch  $N$  tenglamalarini tuzamiz. Buning uchun  $P_1$  va  $P_2$  tashqi kuchlarni egri sterjenni kesilgan ko'ndalang kesim yuzasiga urinma va perpendikulyar joylashgan tekisliklarga proektsiyalaymiz

$$Q_1 = P_2 \sin \varphi_1 - P_1 \cos \varphi_1 \quad \text{va} \quad N_1 = P_2 \cos \varphi_1 - P_1 \sin \varphi_1$$

Hisoblashni quyidagi jadvalda bajarish qulay.

Burchak	Eguvchi moment	Ko'ndalang kuch	Bo'ylama kuch
0	0	-1,1	-1,1
30	-0,0644	-0,4026	-1,5026
45	-0,0704	0	-1,54
60	-0,0644	0,4026	-1,5026
90	0	1,1	-1,1

II – II qirg'im.  $0 \leq \varphi_2 \leq 90^\circ$

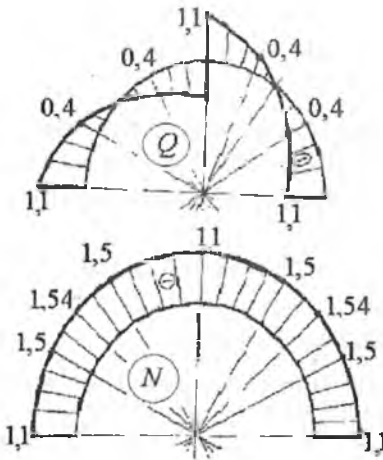
$$M_2 = Ar(1 - \cos \varphi_2) - H_A \cdot r \cdot \sin \varphi_2, \quad Q_2 = -H_A \cdot \cos \varphi_2 + A \cdot \sin \varphi_2$$

$$N_2 = -A \cos \varphi_2 - H_A \cdot \sin \varphi_2$$

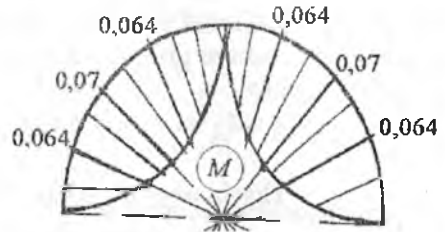
Eguvchi moment epyurasini egri sterjenning cho'ziladigan tolalari tomoniga quriladi.  $Q$  va  $N$  kuchlarni musbat ishorali qiymati sterjenning tashqi tomoniga, manfiy ishorali qiymatini ichki tomoniga joylash-tiramiz (8.10-rasm).

Hisoblashni jadvalda bajaramiz.

Burchak	Moment	Ko'ndalang kuch	Bo'ylama kuch
0	0	-1,1	-1,1
30	-0,0644	-0,4026	-1,5026
45	-0,0704	0	-1,54
60	-0,0644	0,4026	-1,5026
90	0	1,1	-1,1



Sterjenning xavfli kesimi  
 $\varphi = 45^\circ$  da joylashadi:  
 $M_{\max} = 0,07 \text{ kNm}$ ,  $N_{\max} = 1,54 \text{ kNm}$

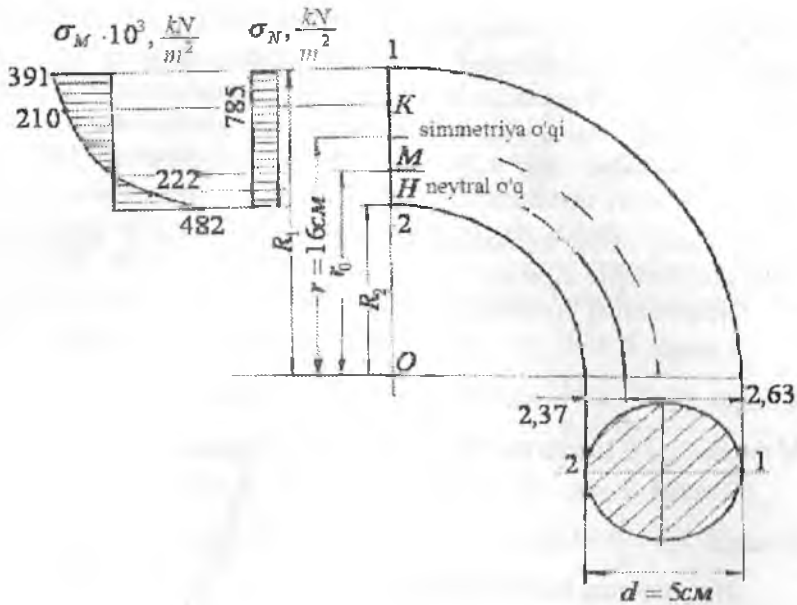


8.10-rasm. Egri sterjen uchun ko'ndalang kuch, eguvchi moment va bo'ylama kuch epyurlari.

Xavfli kesimidagi normal kuchlanishni topish uchun quyidagi sxemani chizamiz (8.11-rasm). Sxemadan

$$R_1 = r + \frac{d}{2} = 16 + 2,5 = 18,5 \text{ sm}; \quad R_2 = r - \frac{d}{2} = 16 - 2,5 = 13,5 \text{ sm}$$

$R_1$  va  $R_2$  - egrilik markazi O nuqtadan 1 va 2 nuqtalargacha bo'lgan masofa, sm:  $F = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 25}{4} = 19,625 \text{ sm}^2$  - sterjenning ko'ndalang kesim yuzasi. Neytral o'qning egrilik radiusini topamiz:



8.11-rasm

$$r_0 = \frac{d}{\frac{R_1}{\ell_n} - \frac{R_2}{\ell_n}} = \frac{5}{\frac{18,5}{13,5} - \frac{5}{0,315}} = 15,87 \text{ sm}$$

Simmetriya o'qi - u - bilan neytral o'q orasidagi masofa:

$$Z_0 = r - r_0 = 16 - 15,87 = 0,13 \text{ sm}$$

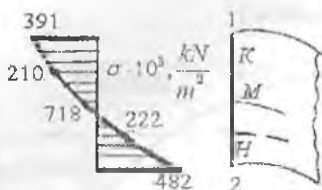
Kesimning neytral o'qqa nisbatan statik momenti:

$$S = I' \cdot Z_0 = 19,625 \cdot 0,13 \approx 2,55 \text{ sm}^3$$

Xavfli kesimning  $M$  va  $N$  ta'siridan hosil bo'lgan to'liq normal kuchlanishini quyidagi formuladan topamiz:  $\sigma = \frac{N_{\max}}{F} - \frac{M_{\max} \cdot Z_1}{S \cdot \rho_1}$

Bu yerda  $Z_1$  - kuchlanishi tekshirilayotgan nuqta bilan neytral o'q orasidagi masofa,  $\text{sm}$





$\rho_i$  - kuchlanishi tekshirilayotgan nuqta bilan sterjenning egrilik markazi  $Q$  nuqta orasidagi masofa. Sterjen kesimining diametri bo'ylab  $\sigma$  epyurali egri chiziq bo'ladi.

Shuning uchun kesimning diametri bo'ylab  $IKMN2$  nuqtalaridagi to'liq kuchlanishni topamiz.

Nuqtalarning koordinatalari:

$$I \text{ nuqta } Z_I = R_I - r_0 = 18,5 - 15,87 = 2,63 \text{ sm}, \quad \rho_I = R_I = 18,5 \text{ sm}$$

$$K \text{ nuqta } Z_K = \frac{Z_I}{2} = \frac{2,63}{2} = 1,315 \text{ sm}, \quad \rho_K = R_I - \frac{Z_I}{2} = 18,5 - \frac{2,63}{2} = 17,185 \text{ sm}$$

$$M \text{ nuqta } Z_M = 0 \text{ (nuqta neytral o'q ustiga joylashgan)} \quad \rho_M = r_0 = 15,87 \text{ sm}$$

$$2 \text{ nuqta } Z_2 = r_0 - R_2 = 15,87 - 13,5 = 2,37 \text{ sm}, \quad \rho_2 = R_2 = 13,5 \text{ sm}$$

$$N \text{ nuqta } Z_N = \frac{Z_2}{2} = 1,185 \text{ sm}, \quad \rho_N = r_0 - \frac{Z_2}{2} = 15,87 - 1,185 = 14,685 \text{ sm}$$

Nuqtalarning kuchlanishlarini topamiz:

$$\sigma_I = -\frac{1,54}{19,625 \cdot 10^{-4}} - \frac{0,07 \cdot 10^2 \cdot 2,63 \cdot 10^{-2}}{2,55 \cdot 10^{-6} \cdot 18,5 \cdot 10^{-2}} = -391 \cdot 10^3 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma_K = -\frac{1,54}{19,625 \cdot 10^{-4}} - \frac{0,07 \cdot 10^2 \cdot 1,315 \cdot 10^{-2}}{2,55 \cdot 10^{-6} \cdot 17,185 \cdot 10^{-2}} = -210,84 \cdot 10^3 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma_M = -\frac{1,54}{19,625 \cdot 10^{-4}} = -784,7 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma_A = -\frac{1,54}{19,625 \cdot 10^{-4}} - \frac{0,07 \cdot 10^2 \cdot 1,185 \cdot 10^{-2}}{2,55 \cdot 10^{-6} \cdot 14,685 \cdot 10^{-2}} = -222,3 \cdot 10^3 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}$$

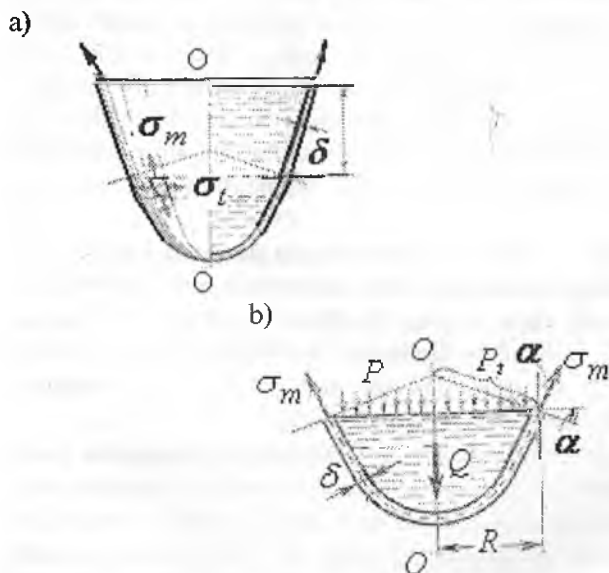
$$\sigma_r = -\frac{1,54}{19,625 \cdot 10^{-4}} - \frac{0,07 \cdot 10^2 \cdot 2,37 \cdot 10^{-2}}{2,55 \cdot 10^{-6} \cdot 13,5 \cdot 10^{-2}} = -482,7 \cdot 10^3 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}$$

## 8.5. Yupqa devorli idishlarni hisoblash

Yupqa devorli idishlarni hisoblashning momentsiz va momentli nazariyalari haqida tushuncha. Suv, bug' yoki gazlarning ichki bosimlari ta'sir etuvchi idishlarning devorlari ikki tomonlama cho'zilish holatida bo'ladi. Bunday idishlarga bug' qozonlari, gazgolderlar, neft quyiladigan baklar, suv minoralari va h.k. kiradi.

Bunday konstruksiyalarning o'ziga xos tomonlaridan biri ularning devorlari qalinligi  $\delta$  ning inshoot gabarit o'lchamlariga nisbatan juda

kichikligidir, shuning uchun ular «yupqa devorli idishlar» deb yuritiladi. Yupqa devorli idishlarning o'ziga xos belgilaridan biri shuki, ular aylanish jismlari ko'rinishida bo'ladi, ya'ni ularning sirtki berilgan egri chiziq  $S$  ni  $O-O$  o'qi atrofida aylantirish yo'li bilan olinishi mumkin (8.12-rasm, a). Idishning  $O-O$  o'qi orqali o'tgan tekislik bilan hosil qilingan kesimi meridional kesimi deb, meridianlarga, ya'ni  $S$  egri chiziqqa normal o'tgan kesimi aylanma kesim deb ataladi. 8.12,a-rasmda ko'rsatilgan idish devorining pastki qismi yuqori qismdan aylanma kesim bilan ajratilgan. Idish devorining qalinligini teng ikkiga bo'lavchi sirtga o'rta sirt deyiladi.



8.12-rasm. a) yupqa devorli idish va b) uning yuklanish sxemasi.

Umumiy holda idishga o'qiy simmetriyaga ega bo'lgan nagruzka (ya'ni, aylana bo'ylab o'zgaraydigan, faqat meridian bo'ylab o'zgaradigan nagruzka) ta'sir etganida aylanma va meridional kesimlar bilan ajratilgan idish o'rta sirtidagi element o'zaro perpendikulyar yo'nalishlarda cho'ziladi va egrilanadi. Elementning tomonlama cho'zilishiga devor qalinligi  $\sigma$  bo'yicha normal kuchlanishlarning tekis taqsimlanishi to'g'ri keladi. Meridional va aylanma kesimlarda element egriligining o'zgarishi oddiy balkadagiga o'xshash. Devor qalinligi bo'yicha chiziqli

qonunga bo'ysunuvchi normal kuchlanishlarni yuzaga keltiradi. Birinchi holda element o'qlari bo'ylab normal kuchlar, ikkinchi holda eguvchi momentlar ta'sir qiladi.

Ko'pgina masalalarda normal kuchlarning miqdori katta bo'lganligidan egilishdan hosil bo'ladigan normal kuchlanishlarni e'tiborga olmasa ham bo'ladi. Bu idish devorining shakli va unga ta'sir etuvchi nagruzka ostida eguvchi moment paydo bo'lmasdan tashqi va ichki kuchlarning muvozanati mumkin bo'lganda o'rinlidir. Masalan, tekis taqsimlangan nagruzka ostida salqilangan ip faqat cho'zilishga ishlaydi. Lekin xuddi shunday salqilangan ip to'plangan kuchni muvozanatlay olmaydi. Buning uchun kesimida eguvchi momentlar paydo bo'lishi, yoki ip o'z shaklini o'zgartirish lozim. Xuddi shunga o'xshash sferik idishning yupqa devorlari faqat cho'zilishgagina ishlab gazning ichki bosimini muvozanatlaydi, to'plangan kuch ta'sir qilganida ular intensiv ravishda egilishga ishlaydi. Eguvchi moment qiymatiga idish devorlarining mahkamlanish sharti va nisbiy qalinligi sezilarli ta'sir qiladi (idish devorining qalinligi ortishi bilan eguvchi momentlarning roli ham ortadi).

Eguvchi momentlar e'tiborga olinmaydigan darajada kichik bo'lganida idish devorining kuchlanish holati momentsiz holat deb ataladi. Agar idishga kuchlanish faqat normal kuchlarni hisobga olib topilsa. Eguvchi momentlarni esa hisobga olinmasa, hisoblash momentsiz nazariya bo'yicha bajariladi deyiladi. Eguvchi moment hisobga olinadigan hisoblash nazariyasi momentli nazariya deb ataladi.

Yupqa devorli idishlar qobiqlar deb ataladigan sistemalar keng sinfning xususiy holidir, ularning hisoblash nazariyasi (ayniqsa, momentli nazariyasi) juda murakkabdır. Bu nazariya qurilish mexanikasining maxsus kurslarida o'rganiladi. Qobiq qalin bo'lganida eguvchi momentlarni hisobga olish bilan birga qobiq qalinligi bo'yicha normal kuchlanish taqsimlanishining chiziqli qonunidan voz kechishga to'g'ri keladi. Bu masalani yanada murakkablashtiradi, ular qalin devorli qobiqlar nazariyasida echiladi.

Bu erda meridional va aylanma kesimlard paydo bo'ladigan kuchlanishlar statik aniq bo'lgan hol uchun yupqa devorli idishlarning momentsiz nazariyasi ko'rib chiqiladi. Momentli nazariya elementlari bilan tsilindrik qobiq egilishi haqidagi sodda misolda tanishib o'tamiz.

**Idish devoridagi kuchlanishlarni momentsiz nazariya bo'yicha aniqlash.** Suyuqlik og'irligi yoki gaz bosimi ta'siridagi yupqa devorli, o'qqa nisbatan simmetrik idishni ko'rib chiqamiz (8.13-rasm). Idish

devoridan ikkita meridional va ikkita aylanma kesimlar bilan ajratib olingan cheksiz kichik elementning muvozanatini tekshiramiz. Idishning aylanma yoki meridional kesimi o'zaro siljishga intilmaydi, shuning uchun mazkur kesimlarda urinma kuchlanishlar bo'lmaydi. Demak, ajratilgan elementga faqat bosh normal kuchlanishlar ta'sir qiladi. Ularni quyidagicha belgilaymiz:  $\sigma_m$  - meridional kuchlanish (u aylanma kesimning yuzachalariga ta'sir qiladi).  $\sigma_t$  - aylanma kuchlanish.

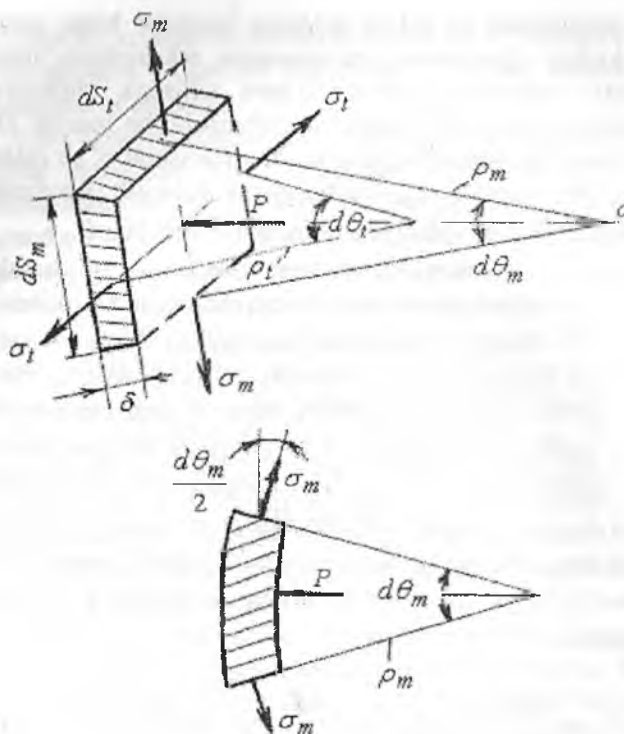
Momentsiz nazariyaga muvofiq element tomonlarining yuzasiga ta'sir qiladigan  $\sigma_m$  va  $\sigma_t$  kuchlanishlar tekis taqsimlangan va idishning barcha o'lchamlari devorining o'rta sirtidan hisoblaymiz. Idish o'rta sirti ikki xil egrilikka ega bo'lgan sirtidan iboratdir. Meridianning tekshirilaetgan nuqtadagi egrilik radiusini  $\rho_m$  bilan, sirtga o'tkazilgan normalning o'rta sirtning mazkur nuqtasidan  $O-O$  o'qqacha bo'lgan kesmasiga teng boshqa egrilik radiusini  $\rho_t$  bilan belgilaymiz (8.12-rasm). Element yoqlariga  $\sigma_m \delta \cdot dS_t$  va  $\sigma_t \delta \cdot dS_m$  kuchlar ta'sir qiladi. Ajratilgan elementning ichki sirtiga suyuqlik bosimi  $p$  ta'sir qiladi: uning teng ta'sir etuvchisi  $p dS_1 dS_m$  ga teng. Aytib o'tilgan kuchlarni  $n-n$  normalga proektsiyalaymiz

$$2\sigma_m \delta \cdot dS_t \sin \frac{d\alpha_m}{2} + 2\sigma_t \delta \cdot dS_m \sin \frac{d\alpha_t}{2} - p \cdot dS_t \cdot dS_m = 0 \quad (a)$$

Bu yerda birinchi qo'shiluvchan elementning 8.13-rasmida tasvirlangan meridional tekislikdagi proektsiyasi asosida yozilgan. Ikkinchi qo'shiluvchi analogiya bo'yicha yozilgan. (a) tenglamada burchak kichik bo'lganligidan sinusni uning argumenti bilan almashtirib va barcha hadlarni  $\alpha dS_1 dS_m$  ga bo'lib quyidagini topamiz:

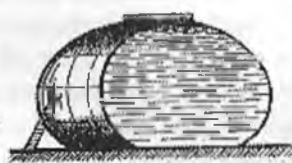
$\sigma_m \frac{d\alpha_m}{dS_m} + \sigma_t \frac{d\alpha_t}{dS_1} = \frac{p}{\delta}$ , yoki  $\frac{d\alpha_t}{dS_1} = \frac{1}{\rho_t}$  va  $\frac{d\alpha_m}{dS_m} = \frac{1}{\rho_m}$  ekanligini hisobga olib, quyidagini olamiz:

$$\frac{\sigma_m}{\rho_m} + \frac{\sigma_t}{\rho_t} = \frac{\rho}{\delta} \quad (8.8)$$



8.13-rasm.  
Kuchlanish-  
larni  
aniqlashni  
momentsiz  
nazariyasiga  
oid sxema.

(8.8) ifoda Laplas tenglamasi deyiladi. Uni o'tgan asming boshlarida suyuqlik ta'siridan sirtning cho'zilishini o'rganishda Laplas keltirib chiqargan. Bu yerda e'tiborni sirtqi cho'zilishga ishlayotgan suyuqlikning yupqa pardasi bilan idish devori o'rtasidagi o'xshashlikka jalb qilish o'rinlidir. Analogiya shundan iboratki, parda ham, idish devori ham cho'zilishga ishlab, sirti ma'lum shaklga ega bo'lgan suyuqlik hajmini muvozanatda ushlab turadi. Namlanmaydigan sirtga tushgan suyuqlik tomchisi sirtqi cho'zilish hisobiga yoyilib ketmaydi.



8.14-rasm.

Shuni aytib o'tish kerakki, konstruksiyalarni saqlash uchun sig'im yaratishda tomchi shaklidan foydalanalar, haqiqatan ham bunday sig'imler boshqalariga nisbatan xato afzalliklarga ega (8.14-rasm). Tenglamada ikkita noma'lum kuchlanish  $\sigma_m$  va  $\sigma_t$  lar bor.

Lekin  $\sigma_m$  kuchlanishni boshqa tenglamadan topsa ham bo'ladi, bunda Laplas tenglamasidan  $\sigma_t$  ni topishda foydalaniladi.  $\sigma_m$  ni topish uchun idishning qirqib olingan hajmiga ta'sir qiluvchi barcha kuchlarning  $O-O$  o'qiga proeksiyalarining yig'indisi tenglamasini tuzamiz (8.12-rasm). Idish devorining aylanma kesimi yuzasini  $2\pi R\delta$  formula bo'yicha hisoblash mumkin. Sistema  $O-O$  o'qiga nisbatan simmetriyaga ega bo'lganligidan bu yuza bo'yicha  $\sigma_m$  kuchlanishlar tekis taqsimlanadi.

Demak, 
$$\sigma_m 2\pi \cdot R \cdot \delta \cdot \cos\alpha - p \cdot \pi \cdot R^2 - Q = 0$$

Undan 
$$\sigma_m = \frac{pR}{2\pi \cos\alpha} + \frac{Q}{2\pi \cdot R \cdot \delta \cdot \cos\alpha} \quad (8.9)$$

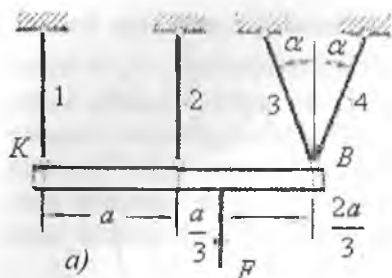
bu yerda  $Q$  – aylanma kesimdan pastda yotuvchi idish bo'lagining va suyuqlikning og'irligi;  $p$  – suyuqlik bosimi bo'lib, Paskal qonuni bo'yicha barcha yo'nalishlarda bir xil va  $\gamma \cdot h$ ga teng; bu yerda  $h$  o'rganilayotgan nuqtaning chuqurligi,  $\gamma$  – hajm birligidagi suyuqlik og'irligi. Ba'zan suyuqlik idishda atmosfera bosimi  $q$  dan ortiqcha bosim ostida saqlanadi. Bu holda  $p = \gamma \cdot h + q$ . (8.8) tenglama (8.9) formula idish devorining har bir nuqtasidagi ikkala  $\sigma_m$  va  $\sigma_t$  kuchlanishlarni topish imkonini beradi.

### Chekli yuk bo'yicha hisoblash asoslari

Konstruksiyani mustahkamlikka chekli yuk bo'yicha hisoblash mumkin. Chekli yuk deb shunday yuk tushuniladiki, uni hosil bo'lishidan sistemani yuklanish qobiliyati yo'qoladi, ya'ni sistemada sezilarli geometrik o'lchamlarni o'zgarishi sodir bo'ladi. Chekli yukni ishchi yukga nisbati chekli yuk bo'yicha chtiyotlik koeffitsiyenti deyiladi.

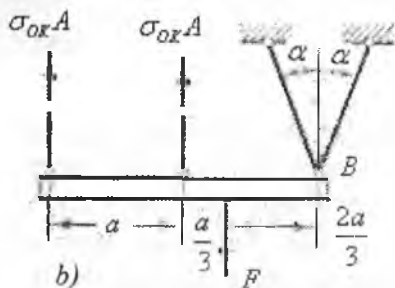
**Misol.** Bir xil materialdan tayyorlangan, bir xil ko'ndalang kesimli sterjenlar absolyut qattiq balka vositasida bog'langan. Sistema uchun chekli yuk hisoblansin (8.20-rasm,a).

$F$  kuchni o'sishi bilan sterjenlardagi ichki kuchlar ham ortadi.  $F$  kuchni keyingi ortishida 1 yoki 3 va 4 sterjenlarda kuchlanish oquvchanlik chegaradagi kuchlanishga tenglashadi. 2 sterjenda plastik



deformatsiyani hosil bo'lishidagi kuchi - chekli kuch bo'ladi. Unda sistema yoki  $K$  yoki  $B$  nuqta atrofiga aylanadi

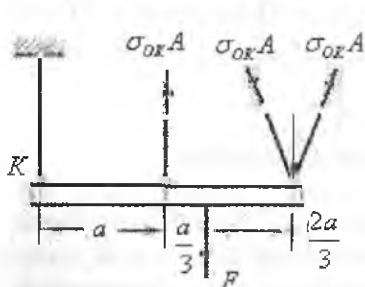
Agar, 1 va 2 sterjenlarda oquvchanlik boshlansa, barcha kuchlardan  $B$  nuqtaga nisbatan olingan momentdan chekli yuk topiladi:



$$\sigma_{OK} A \cdot 2a + \sigma_{OK} A \cdot a = F_{CHEK} \frac{2a}{3}$$

yoki  $F_{CHEK} = \frac{9}{2} \sigma_{OK} A$

Agar, 2,3 va 4 sterjenlarda oquvchanlik boshlansa, barcha kuchlardan  $K$  nuqtaga nisbatan olingan momentdan chekli yuk topiladi:



$$\sigma_{OK} A \cdot 4a \cdot \cos \alpha + \sigma_{OK} A \cdot a = F_{CHEK} \frac{4a}{3}$$

yoki  $F_{CHEK} = \frac{3}{4} \sigma_{OK} A (1 + 4 \cdot \cos \alpha)$

Ko'rilgan ikki variantdan ikkinchisida  $\alpha$  burchakni har qanday qiymatida chekli yuk kichik qiymatga ega.

8.20-rasm. Chekli yuk bo'yicha hisoblashga oid.

## IX BOB. MURAKKAB QARSHILIKLAR

Texnikada ishlaydigan hamma detallar ham oddiy deformatsiyalar, ya'ni cho'zilish va siqilish, siljish, buralish yoki egilish deformatsiyalariga uchramasdan, balki bir paytda shu oddiy deformatsiyalarning kamida ikkitasi ta'sirida bo'lishi mumkin. Bunday holda konstruksiya qismi murakkab deformatsiyaga duch keladi. Shuning uchun, mashina yoki inshoot qismlarining ko'ndalang kesimida bir vaqtda ikkita va undan ortiq ichki kuch faktorlari hosil bo'ladi. Natijada kesim yuzasida shunday murakkab kuchlanganlik holati kelib chiqadi-ki, kuchlarning mustaqillik alomatiga asosan bu kuchlanganlik holati oddiy kuchlanganliklar yig'indisidan iborat deb qarash mumkin. Kuchlarning mustaqillik alomatini murakkab deformatsiyaga tadbqiq etish uchun, elementning deformatsiyasi kichik va uning materiali Guk qonuniga bo'ysunishi kerak. Quyidagi rasmlarda murakkab qarshilik holatidagi ayrim konstruksiya elementlari ko'rsatilgan.

9.1-rasm, a.-da imoratlarning tomiga o'rnatiladigan stropila ko'rsatilgan. Stropila shifer, yomg'ir, shamol va qorning bosimi ta'sirida bo'ladi. 9.1-rasm, a. da imoratlarning tomiga o'rnatiladigan stropila ko'rsatilgan. Stropila shifer, yomg'ir, shamol va qorning bosimi ta'sirida bo'ladi. Vertikal pastga yo'nalgan  $G$  - og'irlik kuchi stropila kesimining birorta ham (markaziy) simmetriya o'qi tekisligida yotmaydi. Unda stropila  $G$  - kuchning ta'sir chiziqiga va  $x, y$  -o'qlari bilan mos tushmaydigan teksilikda egiladi. Murakkab - qiyshiq egilish hosil bo'ladi.

9.1-rasm, b.da detalni parmalaydigan stanok ko'rsatilgan. Uning ver tikal korpusi parmalashda hosil bo'lgan bosim kuchi ta'sirida markazlashmagan cho'zilish va siqilishda bo'ladi.

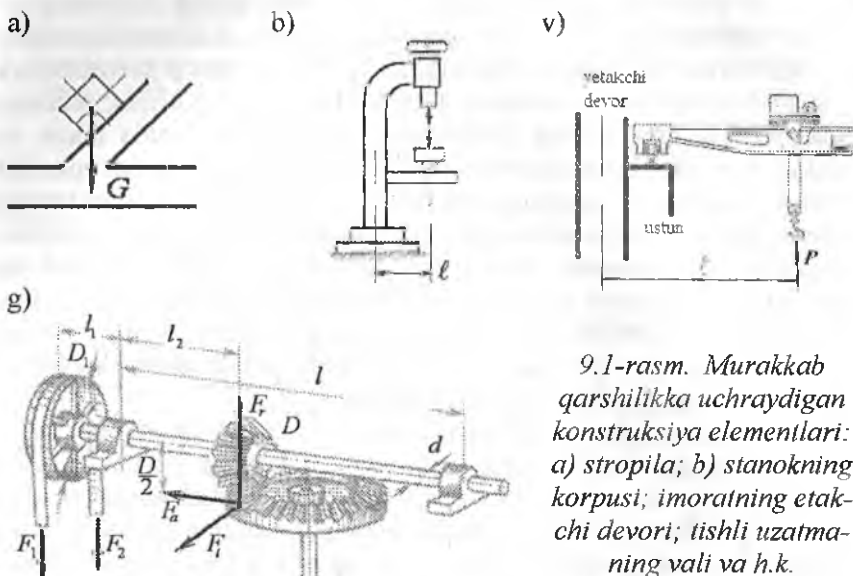
9.1-rasm, v.da, ko'priklil kran va undagi yukning og'irligi ta'siridan markazlashmagan cho'zilish va siqilishga qarshilik ko'rsatayotgan yetakchi devor ko'rsatilgan. Devorning kesimida cho'zilish yoki siqilishdagi va egilishdagi normal kuchlanishlar hosil bo'ladi.

9.1-rasm, g.da tasmali uzatma harakatni elektrodvigateldan olib val orqali konussimon tishli uzatmaga va uning yordamida ikkinchi vertikal valga uzatadi

Tasmalarni bosim kuchi ta'sirida va uzatmaning shesternya va g'ildirak ilashmasida hosil bo'lgan doiravi  $F$ , radial  $F_r$  va bo'ylama  $F_a$  - kuchlar ta'siridan esa val egilish deformatsiyasiga, tasma va uzatma orasidagi aylantiruvchi moment ta'sirida esa buralish deforma-



tsiyasiga uchraydi. Demak, val bir vaqtda buralish va egilish deformatsiyalariga uchraydi. Valni kesim yuzasida buralishdagi urinma va egilishdagi normal kuchlanish hosil bo'ladi.

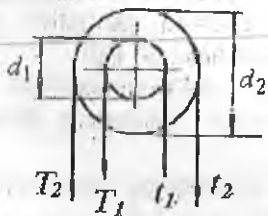


9.1-rasm. Murakkab qarshilikka uchraydigan konstruktsiya elementlari: a) stropila; b) stanokning korpusi; imoratning etakchi devori; tishli uzatmaning vali va h.k.

### 9.1. Egilish bilan buralishning birgalikdagi ta'siri

Buralishga ishlaydigan sterjen val deyiladi. Val mashina, stanok va mexanizmlarning harakatga keltiruvchi asosiy elementi bo'lib, ko'pincha buralish bilan egilish deformatsiyalarining ta'siri natijasida

ishlaydi. Shkivga o'rnatilgan remenlarning taranglik kuchlarining valga bosimi ( $R$ ) (9.2-rasm) ta'sirida egilish deformatsiyasi, remenni yetaklovchi va etaklanuvchi qismlarining taranglik kuchlari val kesimining markaziga nisbatan momentlari ( $M_1$   $M_2$ ) ta'sirida buralish deformatsiyasi hosil bo'ladi.



9.2-rasm. Remenli uzatma.

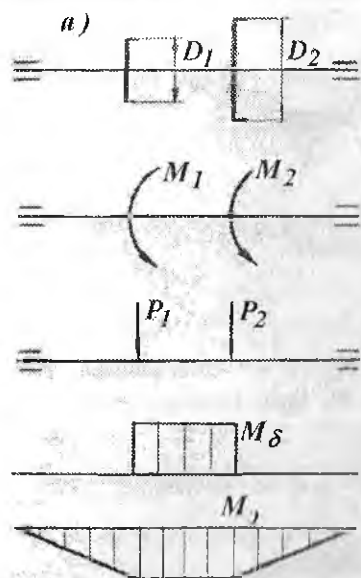
$$M_1 = T_1 R_1 - t_1 R_1 = t_1 R_1, \quad M_2 = t_2 R_2,$$

$$P_1 = T_1 + t_1 = 3t_1 \quad \text{va} \quad R_2 = 3t_2$$

Demak, valning kesimda buralishdagi burovchi moment; egilishdagi eguvchi moment va ko'ndalang kuch hosil bo'ladi.

Burovchi moment ta'sirida, valning ko'ndalang kesimda buralishdagi urinma kuchlanishi hosil bo'ladi:  $\tau_\delta = \frac{M_\delta}{W_\rho}$  (9.1)

Urinma kuchlanish val kesimining chetki nuqtalarida eng katta qiymatga erishadi. Ko'ndalang kuch  $Q$  ta'siridagi urinma kuchlanish, burovchi momentdan hosil bo'lgan urinma kuchlanishga nisbatan kichikdir.

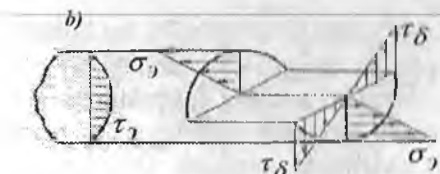
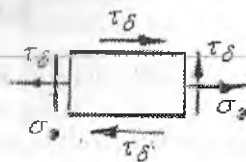


Bu kuchlanish val kesimining markazida eng katta qiymatga erishadi. Lekin valni hisoblashda, bu kuchlanishning ta'siri sezilarli emas (9.3-rasm, b).

Eguvchi moment ta'sirida valning ko'ndalang kesimda egilishida normal kuchlanish hosil bo'ladi.

$$\sigma_y = \frac{M_x}{W_x} \quad (9.2)$$

Normal kuchlanish val kesimining chetki nuqtalarida eng katta qiymatga erishadi va kesim markazida nolga teng.



9.3-rasm. Valni hisoblash:

a) valni yuklanish sxemasi, burovchi va eguvchi moment epyurlari; balning kesimidagi kuchlanishlar.

Demak, val kesimining chetki nuqtasida  $\tau_\delta = \tau_{\delta \max}$  va  $\sigma_y = \sigma_{y \max}$  bo'lib, bu nuqta atrofida ajratilgan elementar yuza xavfli holatda va murakkab kuchlanganlik

holatida ekan. Ajratilgan elementning old qismi va unga parallel bo'lgan orqa tomoni har qanday kuchlanishlar ta'siridan ozod yuza xavfli holatda va murakkab kuchlanganlik holatida ekan. Shuning uchun bu yuza bosh yuza ekan va bu yuzadagi bosh normal kuchlanish nolga teng. Uchta bosh kuchlanishlardan bittasi nolga teng bo'lgan holatdagi elementning kuchlanganlik holati tekis kuchlanganlik. Murakkab kuchlanganlik holatidagi valning mustahkamligi, mustahkamlik nazariyalari asosida tekshiriladi. Po'latdan tayyorlangan valning mustahkamligi III va IV mustahkamlik nazariyalari bo'yicha tekshiriladi.

$$\text{III nazariya} \quad \sigma_1 - \sigma_3 \leq [\sigma] \quad (9.3)$$

Agar  $\sigma_s = \frac{M_s}{W}$  va  $\tau_\theta = \frac{M_\theta}{W_\rho} = \frac{M_\theta}{2W}$  kuchlanishlarni III nazariyaga

$$\text{keltirib qo'ysak:} \quad \frac{\sqrt{M_s^2 + M_\theta^2}}{W} \leq [\sigma] \quad (9.4)$$

bu yerda  $\sqrt{M_s^2 + M_\theta^2} = M$  keltirilgan moment.

$$\text{Mustahkamlik shart} \quad \frac{M_{\text{kol}}}{W} \leq [\sigma]. \quad (9.5)$$

Bal kesimining o'lchamlari quyidagicha topiladi  $W = \frac{M_{\text{kol}}}{[\sigma]}$  yoki

$$\text{agar } W = \frac{\pi \cdot d^3}{32} \text{ bo'lsa, valning diametri: } d = \sqrt[3]{\frac{32M_{\text{kol}}}{\pi \cdot [\sigma]}} \quad (9.6)$$

IV nazariya  $\sqrt{\sigma_s^2 + 3\tau_\theta^2} \leq [\sigma]$  va  $\sigma_s, \tau_\theta$  larni hisobga olsak,

$$\frac{\sqrt{M_s^2 + 0,75M_\theta^2}}{W} \leq [\sigma] \text{ va } W = \frac{\sqrt{M_s^2 + 0,75M_\theta^2}}{[\sigma]} = \frac{M_{\text{kol}}}{[\sigma]} \quad (10.7)$$

## 9.2. Qiyshiq egilish

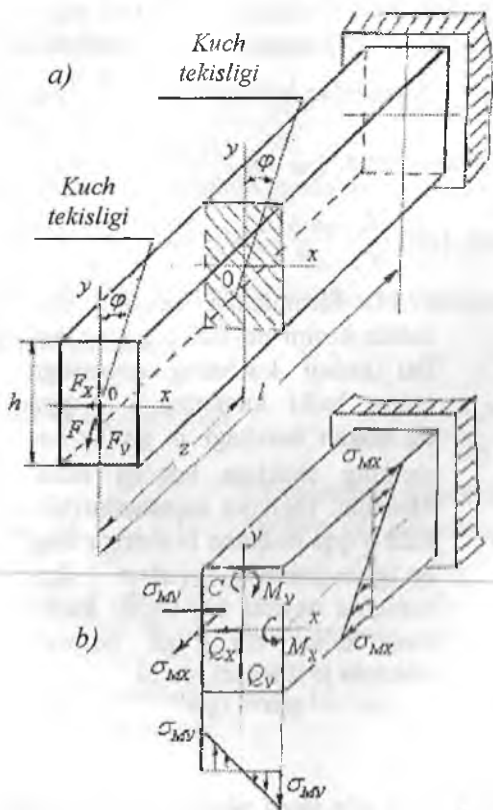
Amaliyotda shunday konstruksiya qismlari uchraydiki, bu holatda elementga qo'yilgan tashqi kuchning ta'sir chizig'i elementning bo'ylama o'qiga perpendikulyar joylashib, uning ko'ndalang kesimining birorta ham bosh inersiya o'qlari tekisligidan o'tmaydi. Bunday sterjenning egilishi tashqi kuchning ta'sir qilish tekisligida yotmaydi. Qiyshiq egilish sodir bo'ladi. Masalan, bino tomidagi tunuka ostiga qoqiladigan taxtalar qiyshiq egilishga ishlaydi (9.4-rasm, a).  $F$  kuch  $u$  bosh inersiya o'qiga nisbatan  $\varphi$  burchak ostida joylashgan.  $F$  kuchning  $x$  va  $u$  o'qlaridagi ajratuvchilarini topamiz.  $F_y = F \cos \alpha$  va  $F_x = F \cdot \sin \varphi$

Ixtiyoriy  $Z$  masofada joylashgan bosh inersiya o'qlari ( $X_I$  va  $Y_I$ ) ga nisbatan  $F_X$  va  $F_Y$  kuchlarining eguvchi momentlari quyidagicha yoziladi:

$$M_{y_I} = -F_z \cdot z = -F \cdot z \cdot \sin \alpha \qquad M_{x_I} = -F_y \cdot z = -F \cdot z \cdot \cos \alpha$$

$M = F \cdot z$  deb qabul qilsak,  $M_X = M \cdot \sin \varphi$  va  $M_Y = M \cdot \cos \varphi$  hosil bo'ladi. Demak, sterjenning ko'ndalang kesimida ikkita eguvchi moment paydo bo'lar ekan va bu momentlar sterjenni ikkita bosh inersiya tekisliklarida egadi. Sterjenning kesim yuzasidan tanlangan ixtiyoriy  $C$  nuqtasi kuchlanishining formulasini yozamiz:

$$\sigma_c = -\frac{M_Y \cdot X_C}{I_Y} - \frac{M_X \cdot Y_C}{I_X} = -M \left( \frac{\cos \varphi \cdot X_C}{I_Y} + \frac{\sin \varphi \cdot Y_C}{I_X} \right) \quad (9.8)$$



Bu yerda  $I_Y$  va  $I_X$  sterjen kesimining  $u$  va  $x$  o'qlariga nisbatan inersiya momenti.

$x_C$  va  $y_C$  sterjen kesimidan ajratilgan  $C$  nuqtaning koordinatalari.  $C$  nuqta sterjenning siqiladigan tolarari tomonida joylashganligi uchun  $\sigma_c$  normal kuchlanishning ishorasi manfiy.

Agar,  $C$  nuqtani koordinata o'qlarining manfiy tomoniga yoki sterjen materialining cho'ziladigan tolarariga o'tkzatsak, normal kuchlanishning ishorasi musbat bo'ladi.

9.4-rasm. Qiyshiq egilish:  
a) brusni yuklanishi;  
b) kesimdagi kuchlanishlar

Tekis ko'ndalang egilishdagidek, qiyshiq egilishda ham normal kuchlanishning qiymati, asosan  $u$  va  $x$  koordinatalariga bog'liq. Qiyshiq egilishda kesimning aylanishida neytral o'qdan eng uzoqda joylashgan tolasi eng katta deformatsiyaga uchraydi. Shuning uchun, qiyshiq egilishda xavfli holatdagi nuqtani aniqlash uchun, avvalo, sterjenning kesimida neytral o'qning holati va undan eng uzoqda joylashgan nuqta topiladi. Tekis ko'ndalang egilishdan ma'lumki, normal kuchlanish neytral qatlamda nolga teng, ya'ni

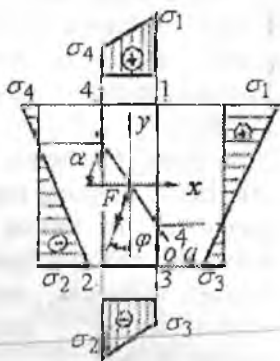
$$O = -M \left( \frac{\cos \varphi \cdot X_o + \sin \varphi \cdot Y_o}{I_y} \right) \text{ yoki } \left( \frac{\cos \varphi \cdot X_o + \sin \varphi \cdot Y_o}{I_y} \right) = 0 \quad (9.9)$$

bu yerda  $X_o$  va  $Y_o$  normal kuchlanishi nolga teng bo'lgan holatga to'g'ri keluvchi nuqtaning koordinatalari. (9.9) formulaga asosan, neytral o'q koordinata boshidan o'tuvchi to'g'ri chiziqdir. Neytral o'q  $y$  - o'qiga  $\alpha$  burchak ostida joylashgan (9.5-rasm). (9.9) formuladan

$$\left[ \frac{X_o}{Y_o} \right] = \operatorname{tg} \varphi \cdot \frac{I_y}{I_x} \quad (9.10) \text{ hosil qilamiz. 9.5-rasmdan ko'rinishicha, } \left[ \frac{X_o}{Y_o} \right] = \operatorname{tg} \alpha,$$

unda (9.10) formulani quyidagicha yozamiz:  $\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \varphi \cdot \frac{I_y}{I_x}$  (9.11) yoki

$$\operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg} \alpha \cdot \frac{I_x}{I_y} \quad (9.12)$$



9.5-rasm. Brus kesimining tomonlarida kuchlanishlarni tarqalish qonuniyati.

(9.11) formuladan, qiyshiq egilishda kesim neytral o'qining holati tashqi kuchning qiymatiga emas, balki kuchning  $y$  o'qiga og'ishgan burchagi  $\varphi$  ga va kesimning shakliga bog'liq ekan. Masalan: inersiya momentlari ikkala o'qqa nisbatan bir-biriga teng bo'lgan doiraviy, kvadrat - kesimlarda neytral o'q tashqi kuchning ta'sir chizig'iga perpendikulyar joylashadi, ya'ni

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \varphi$$

Boshqa barcha kesimlarda neytral o'q kuch chizig'iga perpendikulyar bo'lmaydi. Tomonlari  $h$  va  $b$  bo'lgan to'g'ri to'rtburchak kesim uchun kuchning ta'sir chizig'i kesimning diagonali bo'yicha joylashsa,

neytral o'q kesimning ikkinchi diagonalidan o'tadi.

$$tg\varphi = \frac{bh^3 \cdot 12}{b^3h \cdot 12} \cdot \frac{b}{h} = \frac{h}{b}$$

Qiyshiq egilishda normal kuchlanish quyidagi formula bilan

$$\text{topiladi: } \sigma = \pm M \left( \frac{\cos\varphi \cdot x}{I_y} + \frac{\sin\varphi \cdot y}{I_x} \right) \quad (9.13)$$

Kesimning neytral o'qda joylashgan I va II nuqtalarida kuchlanish maksimal qiymatga, neytral o'q ustidagi barcha nuqtalarida nolga teng va neytral o'qqa yaqin joylashgan nuqtalarda (3 va 4) minimal bo'ladi. Kesimni turli nuqtalari uchun topilgan kuchlanishlarning qiymatlari yordamida qiyshiq egilishdagi kuchlanish epyurasini qurishi mumkin.

(9.13) formulada ko'pincha  $\frac{I_y}{x_{\max}} = W_y$ ,  $\frac{I_x}{y_{\max}} = W_x$  ifoda bilan almash-

$$\text{tiriladi } \sigma = \pm M \left( \frac{\cos\varphi}{W_y} + \frac{\sin\varphi}{W_x} \right) \quad (9.14)$$

Qiyshiq egilishda mustahkamlik sharti.

$$\sigma_{\max} = M_{\max} \left( \frac{\cos\varphi}{W_y} + \frac{\sin\varphi}{W_x} \right) \leq [\sigma] \quad (9.15)$$

Qiyshiq egilishda ko'chishni aniqlash. Kuchlarning mustaqillik alomatiga asosan:

$$f_z = \frac{F_z \ell^3}{3EI_y} \quad \text{va} \quad f_y = \frac{F_y \ell^3}{3EI_z} \quad (9.16)$$

Unda to'liq ko'chish

$$f = \sqrt{f_z^2 + f_y^2} = \frac{F \ell^3}{3E} \sqrt{\frac{\cos^2\varphi}{I_y^2} + \frac{\sin^2\varphi}{I_z^2}}$$



Yuqoridagi formulalardan ko'rinishicha, sterjening egilishi uning bikrligiga bog'liq

$$\frac{f_y}{f_z} = tg\alpha = tg\varphi \cdot \frac{I_y}{I_z} \quad \text{va} \quad f = \frac{f_y}{\sin\varphi} = \frac{f_z}{\sin\alpha}$$

hosil qilamiz. Agar  $\alpha = \varphi$  bo'lsa, sterjening egilishi neytral o'qqa perpendikulyar tekislikda sodir bo'ladi.

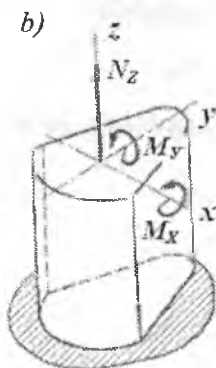
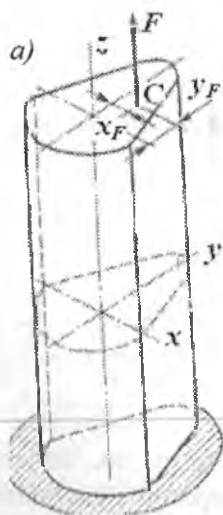
*Qiyshiq egilishda ko'chishni aniqlash.*

### 9.3 Markazlashmagan siqilish (cho'zilish)



Markazlashmagan siqilish (cho'zilish) qurilishda bino ustunlarini hisoblashda, ko'p uchraydi.  $XOY$  o'qlariga nisbatan  $X_F$  va  $Y_F$  masofalarda joylashgan  $F$  kuch ta'siridagi brusning markazlashmagan cho'zilishini ko'rib chiqaylik.  $F$  kuch ta'sirida brusning istalgan kesimida  $N_z = -F$  cho'zuvchi bo'vlama kuch va  $M_x = -F y$  va  $M_y = -F X$  eguvchi momentlari hosil bo'ladi. Brus  $M_y$  eguvchi momenti ta'sirida  $OY$  neytral o'qi atrofida  $OX$  tekisligida egiladi.

Kesimdan ajratilgan ixtiyoriy nuqta  $C$  brusning cho'ziladigan tolalarida joylashganligi uchun bu nuqtadagi normal kuchlanish musbat ishorali bo'ladi (9.5-rasm).  $M_x = Fy$  momenti ta'siridan brus  $OY$  tekisligida  $OX$  neytral o'qi atrofida egiladi (9.5-rasm).



9.6-rasm. Markazlashmagan cho'zilish va siqilish: a) brusni yuklanish sxemasi; b) kesimdagi ichki kuch faktorlar.

$C$  nuqta brusning cho'ziladigan tolalarida joylashgan. Shuning uchun normal kuchlanish – musbat ishorali. Unda  $C$  nuqtadagi kuchlanish quyidagicha:

$$\sigma_a = \frac{F}{A} + \frac{FY_F \cdot Y_c}{I_x} + \frac{FX_F \cdot X_c}{I_y} = F \left( \frac{1}{A} + \frac{Y_F Y_c}{I_x} + \frac{X_F X_c}{I_y} \right) \quad (9.17)$$

Agar  $\frac{I_x}{A} = i_x^2$  va  $\frac{I_y}{A} = i_y^2$  brus kesimining  $X$  va  $Y$  o'qlariga nisbatan

$$\text{inersiya radiuslarini hisobga olsak: } \sigma_a = \frac{F}{A} \left( 1 + \frac{Y_F Y_c}{i_x^2} + \frac{X_F X_c}{i_y^2} \right) \quad (9.18)$$

(9.18) formuladan ko'rinishicha brus istalgan nuqtasining kuchlanishini topish mumkin. Buning uchun nuqtaning koordinatalari  $X$  va  $Y$  ishoralarini hisobga olish kerak. Masalan: kesimdan ixtiyoriy tanlangan koordinatalari  $X_B$  va  $Y_B$  bo'lgan  $B$  nuqta brusning siqiladigan tolalarida joylashsa nuqtadagi kuchlanishning ishorasi manfiy bo'ladi.

$$\sigma_B = -\frac{F}{A} \left( 1 - \frac{Y_F Y_B}{i_x^2} - \frac{X_F X_B}{i_y^2} \right)$$

Demak, markazlashmagan siqilishda ham oddiy ko'ndalang yoki qiyshiq egilishdagi kabi normal kuchlanish nuqtaning qaysi chorakida yoki qaysi tolalarida joylashganligiga bog'liq ekan. Markazlashmagan siqilishda brusning xavfli holatidagi materialni aniqlash uchun, avvalo, brus kesimidagi neytral o'qning holati va undan eng uzoqda joylashgan nuqtasini topamiz. Ko'ndalang egilishdan ma'lum-ki, neytral o'qda normal kuchlanish nolga teng, ya'ni

$$\sigma = -\frac{F}{A} \left( 1 + \frac{X_F X_o}{i_y^2} + \frac{Y_F Y_o}{i_x^2} \right) = 0$$

bu yerda  $X_o$  va  $Y_o$  - neytral o'q ustida joylashgan nuqtaning koordinatalari.

$$\frac{F}{A} \neq 0 \text{ bo'lmaganligi uchun } 1 + \frac{X_F X_o}{i_y^2} + \frac{Y_F Y_o}{i_x^2} = 0 \quad (9.19)$$

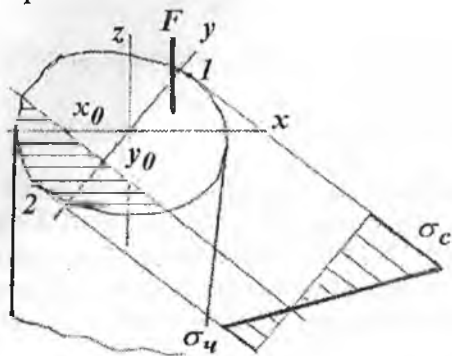
(9.19) tenglama neytral o'q tenglamasi. Neytral o'q koordinata boshidan o'tmaydigan to'g'ri chiziqdir. Bu tenglamadan  $XOY$  koordinata boshidan neytral o'qgacha bo'lgan masofalar  $X_o$  va  $Y_o$  larni topish mumkin.  $y = 0$  bo'lsa, (9.19) dan  $1 + \frac{X_F X_o}{i_y^2} = 0$ .

Shuningdek,  $X_o = 0$  bo'lsa  $1 + \frac{Y_F Y_o}{i_x^2} = 0$  hosil bo'ladi.

$$\text{Bu tenglamalarni yechib } X_o = -\frac{i_y^2}{X_F} \text{ va } Y_o = -\frac{i_x^2}{Y_F} \quad (9.20)$$



neytral o'q koordinata o'qlarining kesishidan hosil bo'lgan kesmalarni topamiz.



9.7-rasm. Kesim yuzada normal kuchlanishni tarqalish qonuniyati.

Demak, neytral o'q  $X$  va  $y$  o'qlarining  $X_0$  va  $Y_0$  masofalardan kesib o'tar ekan (9.6-rasm). Neytral o'q kesim yuzasini ikki qismga, cho'ziladigan va siqiladigan tolalarga ajratadi. Agar kesimning konturiga neytral o'qga parallel urinmalar o'tkazsak, brus kesimining neytral o'qdan eng uzoqda joylashgan nuqtalarini (1 va 2) aniqlaymiz.

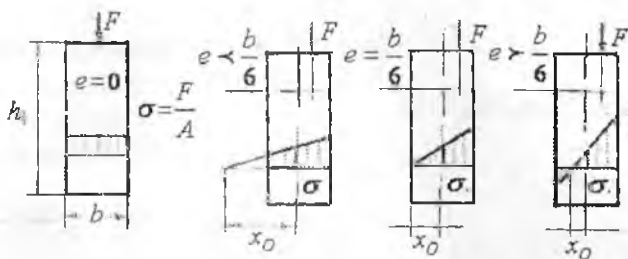
Kesimdagi eng katta cho'zuvchi va siquvchi normal kuchlanishlar 1 va 2 nuqtalarda hosil bo'ladi (9.6-rasm). 1 nuqta brusning cho'zilgan tolasida joylashganligi uchun normal kuchlanish musbat, 2 nuqtada esa manfiy. Normal kuchlanish kesim yuzasida to'g'ri chiziqli qonuniyat bilan o'zgaradi va kesimning konturida eng katta qiymatga erishadi

$$\sigma_{1,2} = \pm \frac{F}{A} \left( 1 \pm \frac{X_F \cdot X_{1,2}}{i_y^2} \pm \frac{Y_F \cdot Y_{1,2}}{i_x^2} \right)$$

Kesim yuzasi to'g'ri to'rtburchakdan iborat bo'lgan brusning markazlashmagan siqilishida, kesimning neytral o'qini turli hollarda o'zgartirib ko'ramiz (9.8-rasm). Kuch  $OY$  o'qi bo'ylab ( $X_A = e$ ;  $Y_F = 0$ ) yo'nalgan (9.18) formuladan quyidagini topamiz:

$$\sigma = -\frac{F}{A} \pm \frac{M_y}{W_y} = -\frac{F}{A} \pm \frac{F\ell}{hb^2} = -\frac{F}{A} \left( 1 + \frac{6\ell}{b} \right) \quad (9.21)$$

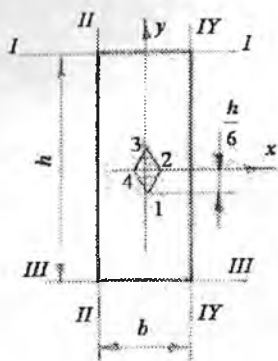
Bu formuladan ko'rinib turibdiki,  $e = 0$  bo'lganda kesimning barcha nuqtalarida bir xil kuchlanish paydo bo'ladi (9.8-rasm).



9.8-rasm. Kuchni qo'yilish nuqtasiga bog'liq holda normal kuchlanishni tarqalish qonuniyati.

**Kesim yadrosi.** Texnikada va qurilishda uchraydigan ayrim materiallar (beton, kirpich, yog'och, cho'yan, shisha) cho'zilish va siqilishga bir xil qarshilik ko'rsata olmaydi. Bunday materiallarning kesim yuzasida ikki xil ishorali kuchlanish hosil bo'lishi noqulaydir, ya'ni maqsadga muvofiq emas. Masalan: Mo'rt materiallar siqilishga nisbatan cho'zilishda tez yemiriladi. Shuning uchun mo'rt materialdan tayyorlangan brus markazlashmagan siqilishga uchrasa, ko'ndalang kesim yuzasida bir xil ishorali kuchlanish (siquvchi) hosil bo'lgani ma'qul. Buning uchun kesimning neytral o'qining egallagan o'rnini o'zgartirish kerak. Masalan: (9.20) formulaga asosan  $X_0$  va  $Y_0$  masofalarni shunday tanlash mumkinki, bu holatda neytral o'q kesimning konturiga  $D$  nuqtada urinma bo'lib qoladi. Unda  $F$  kuch kesimning markaziga yaqinlashadi va 2 nuqtada joylashadi. Xuddi shunday 3,4,5 nuqtalarni kesimning markazi atrofida aylantirsak, bu nuqtalarga mos ravishda 3,4,5 chiziqlar, ya'ni neytral o'qlarning holatlari to'g'ri keladi. Neytral o'qlar kesimning sirtiga urinma bo'lib joylashadi. Neytral o'qlarning bu holatlariga to'g'ri keladigan cheksiz kuch nuqtalarni kesimning markazi atrofida aylantirishida hosil bo'lgan egri chiziqli soxa - kesim yadrosi deyiladi. Kesim yadrosi ichiga qo'yilgan har qanday tashqi kuch kesim yuzasida bir xil ishorali kuchlanishni yuzaga keltiradi. Masalan: Tomonlari  $b$  va  $h$  bo'lgan to'g'ri to'rtburchakli kesim uchun kesim yadrosini topamiz. Buning uchun kesimning tomonlariga urinmalar o'tkazamiz (9.8-rasm), I-I urinmani  $XOY$  koordinata sistemasidagi koordinatalari:

$X_o = -\frac{i_y^2}{x_n}$  va  $Y_o = -\frac{i_x^2}{y_n}$  formulalaridan foydalanib kesim yadrosini koordinatalarini topamiz:



9.9-rasm. Kesim yadrosini aniqlash sxemasi.

$$X_p = X_n = -\frac{i_y^2}{\infty};$$

$$Y_p = Y_n = -\frac{i_x^2}{\frac{h}{2}} = -\frac{2I_x}{hF} = -\frac{2bh^3}{12bh^2} = -\frac{h}{6}$$

$$X_n = Y_n = \pm \frac{i_x^2}{R} = \pm \frac{I_x}{FR} = \pm \frac{\pi \cdot R^4}{4\pi \cdot R^2 \cdot R} = \pm \frac{R}{4}$$

Shunday qilib, I-I urinmaga to'g'ri keluvchi kesim yadrosini 1 nuqtasi OY

o'qida OX o'qidan  $Y_{ya} = -\frac{h}{6}$  masofada

joylashadi. III-III urinmaga to'g'ri keladigan kesim yadrosining 3 nuqtasi ham

OY o'qida OX o'qidan  $Y_{ya} = \frac{h}{6}$

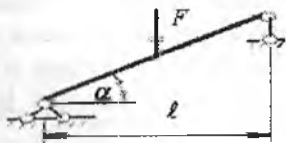
masofada joylashadi.

II-II va IV-IV urinmalar uchun  $Y_{ya} = 0$  va  $X_n = \pm \frac{h}{6}$  hosil bo'ladi. 1,

2, 3, 4 nuqtalarni to'g'ri chiziqlar bilan tutashtirsak, romb hosil bo'ladi (9.9-rasm). Doiraviy kesim uchun kesim yadrosi doiraning markazi atro-

fida joylashgan va radiusi  $r = \frac{R}{4}$  bo'lgan doira bo'ladi.

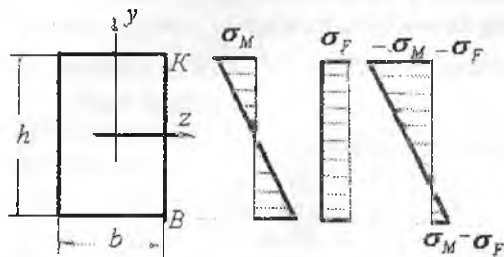
#### 9.4. Egilish bilan cho'zilishni yoki siqilishning birgalikdagi ta'siri



Tashqi F kuch bilan yuklangan balka sharnirli tayanchga tayangan va gorizontalga nisbatan  $\alpha$  burchakda joylashgan F kuchni balka kesimining bo'y-lama o'qiga va normaliga proeksiyalaymiz.

$$F_y = F \cos \alpha \quad \text{va} \quad F_x = F \sin \alpha$$

$F_x$  kuch taʼsirida balka oddiy koʻndalang egilishda boʻladi. Natijada balkaning koʻndalang kesimida egilishdagi, yaʼni eguvchi moment taʼsiridagi normal kuchlanish hosil boʻladi  $F_x$  - kuch taʼsirida balka siqiladi va balkaning koʻndalang kesim yuzasida teng tarqalgan siquvchi normal kuchlanish hosil boʻladi:



9.10-rasm. Kuchlanishlar.

$\sigma_F = -\frac{F}{A}$ . Balka kesimining chetki nuqtalaridagi toʻliq kuchlanish

$$\sigma = \pm \frac{M}{W_z} \pm \frac{F}{A}$$

$$\sigma_k = -\frac{M}{W_z} - \frac{F}{A}$$

$$\sigma_b = \frac{M}{W_z} - \frac{F}{A}$$

## Savollar

1. Murakkab qarshiliklar nima?
2. Murakkab qarshiliklar turlarini ayting.
3. Valni buralish bilan egilishida kesim yuzasida qanday kuchlanishlar hosil boʻladi?
4. Buralish bilan egilishda mustahkamlik shartni yozing.
5. Valni diametrini aniqlang.
6. Qiyshiq egilish sxemasini chizing.
7. Qiyshiq egilishda neytral oʻq tenglamasini yozing.
8. Qiyshiq egilishda mustahkamlik shart formulasini yozing.
9. Qiyshiq egilishda mustahkamlik shart formulasidan foydalanib kesimni tanlang.
10. Markaziy boʻlmagan choʻzilish va siqilishda normal kuchlanish formulasini yozing.
11. Markaziy boʻlmagan choʻzilish va siqilishda kesimni neytral oʻq tenglamasini yozing.
12. Markaziy boʻlmagan choʻzilish va siqilishda mustahkamlik shart formulasini yozing.
13. Kesim yadrosi nima?
14. Markaziy boʻlmagan choʻzilish va siqilishda deformatsiya qanday aniqlanadi.

15. Markaziy bo'lmagan cho'zilish va siqilishda normal kuchlanish sterjen kesim yuzasida qanday qonuniyat bilan o'zgaradi?

**Misol-1.** Berilgan  $P = 15 \text{ kN}$ ;  $\ell = 2 \text{ m}$ ;  $h : b = 2,5$

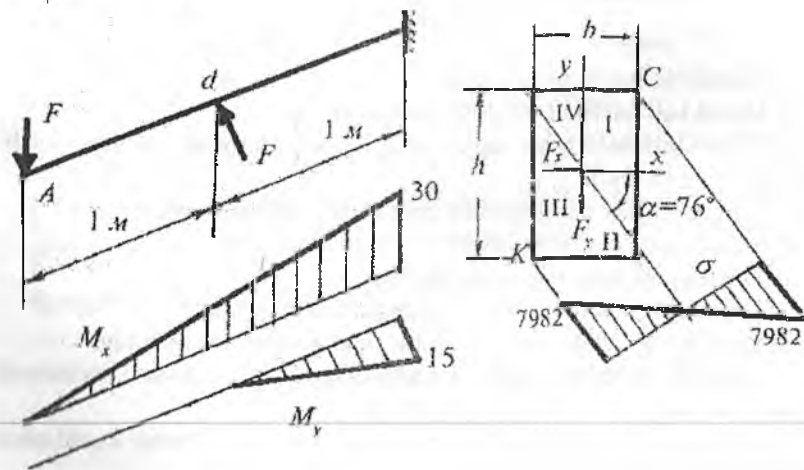
Balka kesimining o'lchamlari aniqlansin va xavfli nuqtalardagi kuchlanishlar topilsin. Balkaning tayanch kesimidagi  $M_x$  va  $M_y$  eguvchi momentlarni aniqlaymiz va epyurasini quramiz.  $M_x = 2R = 30 \text{ kNm}$ ; va  $M_y = R = 15 \text{ kNm}$ .

Balkaning mustahkamlik shartini yozamiz

$$\sigma_{\max} = \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \leq [\sigma] \quad \text{va} \quad \frac{6M_x}{bh^2} + \frac{6M_y}{b^2h} \leq [\sigma].$$

Agar  $h = 2,5 b$  ni va  $M_x$  va  $M_y$  momentlarning qiymatlarini hisobga olsak, mustahkamlik shartidan kesimning eni  $b$ -ni topamiz:

$$b = \sqrt[3]{\frac{405}{6,25 \cdot 8 \cdot 10^3}} \approx 0,2 \text{ m}$$



9.11-rasm. Ikkita tekislikda tashqi kuchlar ta'siridagi balkaning kesimida normal kuchlanishni tarqalish qonuniyati.

Kesimning balandligi  $h = 2,5 \cdot 0,2 = 0,5 \text{ m}$ . Neytral o'qning holatini

aniqlaymiz:

$$|\operatorname{tg} \varphi| = \left| \frac{M_y \cdot I_x}{M_x \cdot I_y} \right| = \operatorname{tg} \beta \frac{I_x}{I_y}$$

Bu yerda  $I_x = \frac{bh^3}{12}$  va  $I_y = \frac{b^3h}{12}$  kesimning  $X$  va  $U$  o'qlariga nisbatan inersiya momentlari;

$$I_x = \frac{0,2 \cdot (0,5)^3}{12} = 2,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4; \quad I_y = \frac{0,5 \cdot (0,2)^3}{12} = 3,4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$\text{tg } \varphi = \frac{2,1 \cdot 10^{-3}}{3,4 \cdot 10^{-4}} \cdot 0,5 = 4,242 \quad \text{yoki} \quad \varphi = 76^\circ$$

Agar kuchni ta'sir chizig'i I – III choraklardan o'tsa, neytral o'q II – IV choraklardan o'tishi kerak; agar kuchni ta'sir chiziqi II – IV choraklardan o'tsa neytral chiziq I – III choraklardan o'tishi kerak. Kesimning  $C$  va  $K$  nuqtalari neytral o'qdan eng uzoqda joylashganligi uchun normal kuchlanish katta qiymatga erishadi. Ikkita nuqtadan  $C$  nuqta eng xavfli holatda, chunki bu nuqtada cho'zuvchi kuchlanish hosil bo'ladi.

$C$  nuqta koordinatlari.  $x_c = \frac{h}{2} = 0,1 \text{ m}$ ,  $y_c = \frac{b}{2} = 0,25 \text{ m}$

$$\sigma_c = \frac{M_x}{I_x} \cdot y_c + \frac{M_y}{I_y} \cdot x_c \quad \text{va} \quad \sigma_c = -7982 \frac{\text{kH}}{\text{m}^2}$$

Balka erkin uchining ( $A$  nuqta) to'liq salqiliginı topamiz.

$$f = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = \sqrt{\left(\frac{Pl^3}{3EI_y}\right)^2 + \left(\frac{Pl^3}{3EI_x}\right)^2} = \frac{Pl^3}{3E} \sqrt{\frac{1}{(I_y)^2} + \frac{1}{(I_x)^2}} =$$

$$= \frac{15 \cdot 8}{3 \cdot 2 \cdot 10^8} \sqrt{\frac{1}{(8 \cdot 0,00034)^2} + \frac{1}{(0,0021)^2}} = 33,34 \cdot 10^{-5} \text{ m}$$

**Misol-2.** Po'latdan tayyorlangan val minutiga  $n = 900$  marotaba aylanadi va yetaklanuvchi shkiylari bilan  $N_2 = 10 \text{ kVt}$  va  $N_3 = 20 \text{ kVt}$  quvvat uzatadi. Valning diametri topilsin. Berilgan:

$$D_1 = 0,6 \text{ m}; D_2 = 0,2 \text{ m}; D_3 = 0,4 \text{ m}; a = 1 \text{ m}; \alpha_1 = 0^\circ; \alpha_2 = 60^\circ; \alpha_3 = 180^\circ$$

**Yechish:** Yetaklovchi shkiivning uzatayotgan quvvati yetaklanuvchi shkiivlar quvvatlarining yig'indisiga teng bo'ladi:

$$N_1 = N_2 + N_3 = 10 + 20 = 30 \text{ kVt}$$

Shkiivlardagi aylantiruvchi momentlarnı topamiz.

$$M_1 = 9736 \frac{N_1}{n} = 9736 \frac{30}{900} = 324,5 \text{ Nm} \quad M_2 = 9736 \frac{N_2}{n} = 9736 \frac{10}{900} = 108,2 \text{ Nm}$$

$$M_3 = 9736 \frac{N_3}{n} = 9736 \frac{20}{900} = 216,3 \text{ Nm}$$

Aylantiruvchi momentlarning yo'nalishlari yetaklovchi remenlarning tortishish kuchlarining yo'nalishlari bilan mos. Shkivlardagi momentlar yetaklanuvchi remenning tortishish kuchlari bilan quyidagicha bog'lanishda

$$M_1 = M_2 = t \cdot \frac{D}{2} \quad t_1 = \frac{2M_1}{D_1} = \frac{2 \cdot 324,5}{0,6} = 1081,6 \text{ N}$$

$$t_2 = \frac{2M_2}{D_2} = \frac{2 \cdot 108,2}{0,2} = 1081 \text{ N} \quad t_3 = \frac{2M_3}{D_3} = \frac{2 \cdot 216,3}{0,4} = 1081 \text{ N}$$

Bu yerdan yetaklovchi va yetaklanuvchi remenlarning tortishish kuchlarining valga nisbatan bosim kuchini aniqlaymiz:

$$P_1 = 3t_1 = 3 \cdot 1081,67 = 3245 \text{ N};$$

$$P_2 = 3t_2 = 3 \cdot 1081 = 3243 \text{ N}; \quad P_3 = 3t_3 = 3 \cdot 1081 = 3245 \text{ N}$$

Remenlar shkivga turli burchaklar ostida joylashtirilgani uchun, tortishish kuchlarining valga nisbatan bosimi ham shu burchak ostida yo'naladi.

$$R_1, R_2 \text{ va } R_3 \text{ kuchlarning vertikal } P_1^B = 0; \quad P_3^B = 0$$

$P_2^B = P_2 \cdot \sin 60^\circ = 2805,8 \text{ H}$  va gorizontaal tekislikda ajratuvchilarni topamiz:

$$P_1^F = P_1 = 3245 \text{ N}; \quad P_3^F = -P_3 = -3245 \text{ N};$$

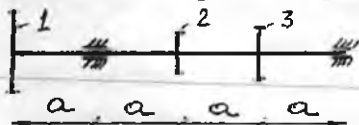
$$P_2^F = P_2 \cdot \cos 60^\circ = 1621,5 \text{ N}$$

Vertikal tekislikda eguvchi moment epyurasini quramiz:

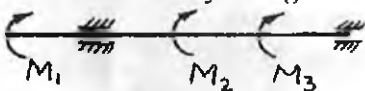
$$R_k = \frac{P_2^B \cdot 1}{3} = \frac{2805,81}{3} = 936,3 \text{ N} \quad \text{va} \quad R_B = \frac{2 \cdot 2805,8}{3} = 1870,5 \text{ N}$$

$$\text{Tekshirish: } \Sigma y = -1870,5 + 2805,8 - 936,3 = 0.$$

Berilgan sxema



Shkivlardagi aylantiruvchi momentlar bilan yuklangan val



Eguvchi moment  $M_9^B$  - ni aniqlaymiz.  $0 \leq x_1 \leq 1 \text{ m}$  oraliq

$$M_u^B = -R_B \cdot x_1 \quad \text{va} \quad 0 \leq x_2 \leq 2 \text{ m} \text{ oraliq}$$

$$M_9^B = -R_k \cdot x_2$$

Gorizontaal tekislikda eguvchi moment epyurasini quramiz.

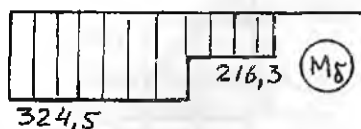
$$\Sigma M_B = 0 \quad \Sigma M_K = 0$$

$$P_1^F \cdot 1 - P_2^F \cdot 1 + P_3^F \cdot 2 - R_k \cdot 3 = 0;$$

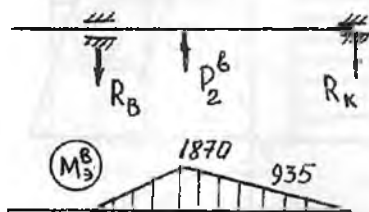
$$P_1^F \cdot 4 - R_B^F \cdot 3 + P_2^F \cdot 2 - P_3 \cdot 1 = 0;$$

$$R_k = 2701 \text{ N}; \quad R_B = 4326,7 \text{ N}$$

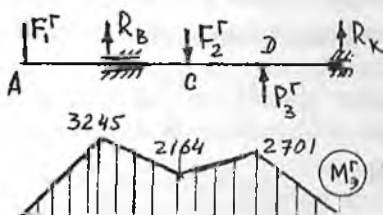
Burovchi moment epyurasi



Valni vertikal tekislikda yuklanish sxemasi va eguvchi moment epyurasi.



Valni gorizontaal tekislikda yuklanish sxemasi va eguvchi moment epyurasi.



9.12-rasm. Valni buralish bilan egilishga hisoblash.

Eguvchi moment  $M_9^r$  - ni aniqlaymiz.

$$0 \leq x_1 \leq 1m \text{ oraliq } M_9^r = -P_1 x_1$$

$$0 \leq x_2 \leq 1m \text{ oraliq}$$

$$M_9^r = -P_1^r (1 + x_2) + P_B x_2$$

$$0 \leq x_3 \leq 1m \text{ oraliq}$$

$$M_9^r = -P_1^r (1 + x_3) + P_B (1 + x_3) - P_2^r x_3$$

$$0 \leq x_4 \leq 1m \text{ oraliq } M_9^r = -R_k \cdot x_4$$

To'liq eguvchi momentni  $M_9^B$  va  $M_9^r$  momentlarning yig'indisi sifatida topamiz.

$$M_{xc}^2 = (M_9^B)^2 + (M_9^r)^2$$

$$M_{xa} = 0; \quad M_{xb} = \sqrt{0 + (M_9^r)^2} = 3245Nm;$$

$$M_{xc} = \sqrt{(2164)^2 + (1870,8)^2} = 2862Nm;$$

$$M_{xd} = \sqrt{(2701)^2 + (935,3)^2} = 2862Nm;$$

$$M_{xe} = 0.$$

Eguvchi va burovchi moment epyuralariga asosan B tayanch kesimi xavfli holatda bo'ladi.

III - mustahkamlik nazariyasiga asosan, keltirilgan momentni topamiz:

$$M_{kel} = \sqrt{M_x^2 + M_n^2} = \sqrt{(3245)^2 + (324,5)^2} = 3261,2Nm$$

$$\tau_{max} = \frac{M_{kel}}{W} \leq [\tau] \quad \text{yoki} \quad \frac{32M_{kel}}{\pi \cdot d^3} = [\tau] \quad \text{bu yerdan}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{32M_{kel}}{\pi [\tau]}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 3261,2}{3,14 \cdot 8 \cdot 10^7}} = 0,0746 = 74,6mm$$

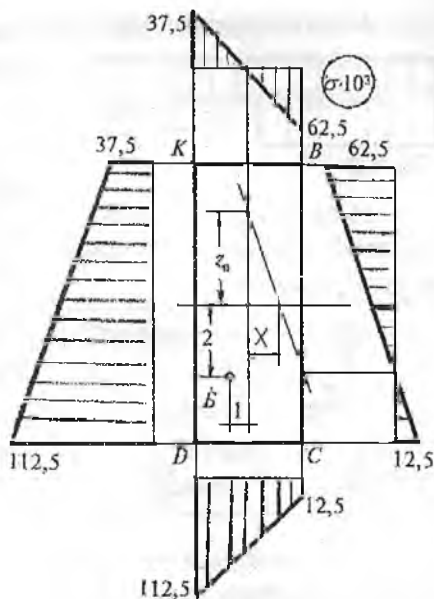
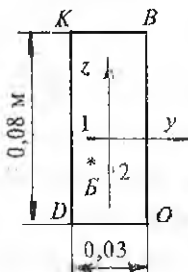


**Misol-3.** Uzunligi  $\ell = 1,5m$  bo'lgan po'lat sterjen  $G' = 60 kN$  kuch ta'sirida cho'ziladi. To'g'ri burchakli kesimning  $K, C, B, D$  nuqtalarining kuchlanishlari topilsin.

**Yechish:**

Kesim B nuqtasining koordinatalari  $y_B = -1sm$ ,  $Z_B = -2sm$

Sterjen ko'ndalang kesim yuzasining geometrik tavsiflarini topamiz:



Kesim yuzasi

$$A = 3 \cdot 8 = 24 \text{ cm}^2 = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Inersiya radiuslari:

$$i_y^2 = \frac{0,03(0,08)^3}{12 \cdot 2,4 \cdot 10^{-3}} = 0,0534 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2;$$

$$i_z^2 = \frac{0,08(0,03)^3}{12 \cdot 2,4 \cdot 10^{-3}} = 0,075 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2;$$

Kesim neytral o'qining tenglamasi.

Normal kuchlanish:

$$\sigma = \frac{F}{A} \left( 1 + \frac{y_F y}{i_z^2} + \frac{z_F z}{i_y^2} \right)$$

$$1 + \frac{y_F \cdot y_0}{i_z^2} + \frac{z_F \cdot z_0}{i_y^2} = 0;$$

agar  $Z_0 = 0$  bo'lsa  $y_0 = -\frac{i_z^2}{y_F} = \frac{0,075 \cdot 10^{-3}}{0,01} = 7,5 \cdot 10^{-3} m$

agar  $y_0 = 0$  bo'lsa  $Z_0 = -\frac{i_y^2}{z_F} = \frac{0,0534 \cdot 10^{-2}}{0,02} = 2,67 \cdot 10^{-2} m$ .

Demak, neytral o'q kesimning ZOY koordinata o'qlarining musbat chorakidan  $y_0$  va  $Z_0$  masofalarda kesib o'tar ekan.

Kesimning $KBCD$ nuqtalaridagi normal kuchlanishlari $\frac{kN}{m^2}$			
$z_k = 0,04m;$	$z_B = 0,04m;$	$z_c = 0,04m;$	$z_d = 0,04m;$
$y_k = -0,015m$	$y_B = -0,015m$	$y_c = -0,015m$	$y_d = -0,015m$
$\sigma_k = 37,5 \cdot 10^3$	$\sigma_A = -62,5 \cdot 10^3$	$\sigma_n = 12,5 \cdot 10^3$	$\sigma_d = 112,5 \cdot 10^3$

## X BOB. SIQILGAN STERJENLARNI USTUVORLIKKA HISOBLASH

**Ustuvorlik haqida tushuncha.** Ko'pgina injenerlik inshootlarini hisoblashda, ularning mustahkamlik sharti bilan bir qatorda ustuvorligi ham ta'minlanishi kerak. Botiq yoki qabariq sirt ustida yotgan sharning muvozanat holati ustuvor yoki noustuvor muvozanatga misol bo'ladi (10.1-rasm).



10.1-rasm. Ustuvor va noustuvor sharlar.

uzun va ingichka sterjenlar, ingichka qobiq va plastinkalarni ustuvorlikka hisoblash katta ahamiyatga ega.

Sekin-asta o'suvchi kuch ta'sirida sterjen siqilsa, kuchning biror kritik qiymatida sterjen o'zining to'g'ri chiziqli holatini yo'qotadi (10.2-rasm). Sterjenning ustuvor muvozanat holati buziladi. Agar, kuchni shu qiymatida ushlab turilsa, sterjenda muvozanat holat yuzaga keladi va sterjenning yangi ustuvor muvozanati sodir bo'ladi. Agar siquvchi kuch kattalashtirilsa, sterjenning noustuvorligi oshadi va yana kuchning qiymati oshsa sterjen emirilishi mumkin.



10.2-rasm.  
Sterjenni ustuvor  
va noustuvor  
(punktir) holati.

Demak, kritik kuchdan kichik siquvchi kuch ta'sirida sterjen siqiladi, kritik kuchdan katta qiymatda siqilish va egilishga uchraydi, kritik kuch yemiruvchi xarakterga ega. Sterjen to'g'ri chiziqli holatidan chetga chiqishi noustuvordir. Noustuvor sterjen bo'ylama egilish holatida bo'ladi. Bo'ylama egilish juda xavflidir, chunki siquvchi kuch ozgina orttirilganda sterjenni egilishi tez ortadi, chunki salqilik va kuch o'zaro chiziqsiz bog'lanishda. Natijada egilishda bo'ladigan kuchlanish ham tez ortadi, sterjen yemirilishi mumkin. Siquvchi kuchni kritik qiymatida konstruksiyaning elementida deformatsiyaning xarakteri o'zgaradi, konstruksiya ishdan chiqadi. Shuning uchun ustuvorlikka

hisoblash konstruksiyani boshlang'ich shaklida, ya'ni kritik kuchdan kichik yuklanishda ishlashini ta'minlash kerak. Ustuvorlikga hisoblash sterjenni o'lchamlari, materialining xarakteristikasi va unga ta'sir qiluvchi kuchni shunday tanlash kerak-ki, bo'ylama egilish xavfli bo'lmasin. Ustuvorlikka noto'g'ri hisoblash oqibatida, juda ko'p konstruksiyalarning yemirilishi sodir bo'lgan. Masalan: 1907-yil AQSHda Shimoliy Lavrentiya daryosiga qurilgan, bosh prolyoti 549 m bo'lgan konsol sistemali katta ko'priklar ag'darilib tushgan. 9000 tonnali konstruksiya butunlay ishdan chiqqan; konstruksiyaning katta qismi suvga 40 m chuqurlikka cho'kib 74 kishi halok bo'lgan. Shunday voqea Kvebek daryosidagi ko'priklar ham ikki marotaba sodir bo'lgan. Birinchi halokatdan 9 yil o'tgach, 1916-yil oldingi sxema bo'yicha yangi Kvebek ko'prigi quriladi va ikkinchi marotaba ham osma prolet suvga ag'darilib cho'kib ketadi.

1981-yil may oyida Shveysariyaning Menxenshteyn qishlog'idagi ko'priklar bo'lgan halokatli hodisa siqilgan sterjenlarning ustuvorlikka puxta hisoblash naqadar zarur va muhimligini ko'rsatuvchi saboqdir. Halokat ro'y bergan paytda ko'priklar uzunligi 42 m bo'lgan va 12 vagon iborat bo'lgan passajir poezdi o'tgan. Parovoz ko'priklar o'tib bo'lib, lekin daryoga qulagan 6 ta vagon uni ham tortib ketgan. Falokatda ko'p kishi o'lgan va 200 kishi yarador bo'lgan. Falokat fermaning siqilgan tirgovichlaridan biri ustuvorligini yo'qotish natijasida sodir bo'lgan.

Siquvchi kuchning kritik qiymatida sterjenning ko'ndalang kesimida kritik kuchlanish hosil bo'ladi. 
$$\sigma_{\kappa} = \frac{F}{A} \quad (10.1)$$

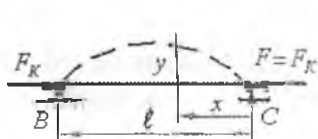
### 10.1. Kritik kuchni aniqlash. Eyler formulasi

Kritik kuchni aniqlashni Eyler usuli elastik sistema muvozanati bo'lgan shakllarning qismlari analiziga asoslangan. Muvozanat holat qismlarga ajralayotgan paytga to'g'ri keluvchi siquvchi kuchning kichik qiymati kritik kuch deyiladi.

Ikki uchi sharnirli tayanchga tayangan o'zgarmas kesimli siqilayotgan sterjendagi kritik kuchni topish uchun, sterjen egilgan o'qining differensial tenglamasidan foydalanamiz (10.3-rasm). Siqilayotgan sterjenning deformatsiyasi elastik bo'lib, kritik kuch ta'siridan sterjenning ko'ndalang kesimida hosil bo'lgan kuchlanish sterjen materialining

proporsionallik chegarasidagi kuchlanishdan katta bo'lmaydi. Bunda sterjen egilgan o'qining differensial tenglamasi

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{M}{EI} = -\frac{Fy}{EI} \quad \text{yoki} \quad \frac{d^2 y}{dx^2} + K^2 \cdot y = 0 \quad (10.2)$$



bu yerda  $K^2 = \frac{F}{EI}$  (10.2) differensial tenglamaning integrali quyidagicha yoziladi:

$$y = a \cdot \sin kx + b \cdot \cos kx \quad (10.3)$$

10.3-rasm. Eylar formulasini aniqlash sxemasi.

bu yerda  $a, b$  – integrallash doimiyliklari, sterjen uchlarini tayanish shartlaridan topiladi.

Masalan: 1) birinchi shart  $X = 0$  bo'lganida,  $y = y_c = 0$  va  $b = 0$  bo'ladi. Unda sterjen egilgan o'qining tenglamasi quyidagicha yoziladi:

$$y = a \cdot \sin kx \quad (10.4)$$

Bu tenglamadan aniq-ki, sterjenni egilgan o'qi sinusoida ekan, ya'ni sterjen sinusoida bo'yicha egiladi.

2) ikkinchi shart:  $x = l$  da  $y = y_B = 0$  bo'ladi. Bu yerda  $a \neq 0$ , demak,  $\sin k\ell = 0$ , bu hol uchun  $K\ell = \pi, 2\pi, \dots, n\pi$  ekanligini topamiz. Agar,  $K = \frac{n\pi}{2}$  yoki  $K^2 = \frac{n^2 \pi^2}{\ell^2}$  - ni hisobga olsak,

$$F_k = \frac{n^2 \pi^2 EI_{\min}}{\ell^2} \quad (10.5)$$

$n$  – ihtiyoriy butun son.

Bu formulani (1744-y.) birinchi marotaba L.Eyler olganligidan, uni Eyler formulasi, uning yordamida topiladigan kuchni kritik kuch deyiladi. L.Eyler ta'rifiga ko'ra, kritik kuch deb, sterjenning eng kichik og'ishi uchun kerak bo'ladigan kuchga aytiladi. Ustuvorlik yo'qolishida sterjen kichik birkirik tekisligida egiladi, ya'ni uning ko'ndalang kesimi inersiya momenti minimal bo'lgan bosh o'qi atrofida aylanadi. Shuning uchun Eyler formulasida  $I_{\min}$  qatnashadi.

(10.5) formula Eyler formulasi. Shunday qilib, yengil egilgan sterjenni muvozanatda ushlaydigan kuch bir nechta qiymatga ega bo'lishi

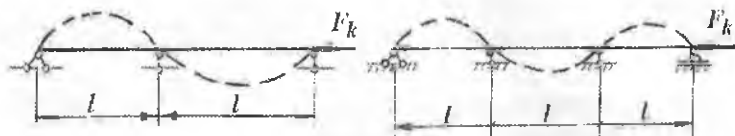
mumkin ekan. Sterjenning bo'ylama – egilishidagi siquvchi kuchni minimal qiymati  $n = 1$  to'g'ri keladi. Unda  $F_k = \frac{\pi^2 EI}{l^2}$  (10.6)

$G_k$  kuchni bu qiymatiga sterjenni yarim to'liqinli sinusoida shaklidagi egilishiga to'g'ri keladi.  $y = a \cdot \sin \frac{\pi x}{l}$  (10.7)

Agar  $n = 2$  va  $n = 3$  bo'lsa, sterjenni egilishi ikkita va uchta yarim to'liqinli sinusoidal chiziq bo'ladi: (10.4-rasm) va u noustuvordir.

$$K = \frac{2\pi}{l}; \quad y = a \cdot \frac{\sin 2\pi x}{l}; \quad F_k = \frac{4\pi^2 EI}{l^2}$$

$$K = \frac{3\pi}{l}; \quad y = a \sin \frac{3\pi x}{l}; \quad F_k = \frac{9\pi^2 EI}{l^2}$$



10.4-rasm. Sterjenni ikki va uch yarim to'liqinli (sinusida) noustuvor holatalari.

Eyler formulasidan ko'rinishicha,  $F_k$  kuch sterjenning bikrligiga to'g'ri va sterjen uzunligi kvadratiga teskari proporsionaldir.

Elastiklik chegarasida ishlaydigan sterjen uchun kritik kuch sterjenning geometrik o'lchamlari va materialning elastiklik moduliga bog'liq; sterjen tayyorlangan materialning mustahkamlik tavsifnomalariga bog'liq emas. Masalan: Yumshoq va yuqori sortli po'latlarda  $E$  qiymati taxminan bir xil bo'lganligi uchun, ularda kritik kuch ham bir xildir, ya'ni ular bir xil kritik kuchda ustuvorligini yo'qotadi.

Shunday qilib, siqilishga va cho'zilishga ishlaydigan sterjenlar orasida keskin farq bor. Chegaraviy cho'zuvchi kuch bevosita materialning mustahkamlik xarakteristikalariga bog'liq bo'lganligidan turli sort po'latlar uchun turlichadir. Lekin, elastiklik chegaradagi siqilishda boshqa holni ko'ramiz. Chegaraviy cho'zuvchi kuch sterjenning uzunligiga bog'liq emas, lekin chegaraviy siquvchi kuch qiymati sterjen uzunligi ortishi bilan keskin kamayadi. Siqilgan sterjenlarda bo'ylama egilish to'satdan sodir bo'lganligi uchun xavfli, shuning uchun o'lchamlari no-

to'g'ri belgilangan konstruksiyalarda uni oldini olish qiyin. Cho'zilgan sterjenlarda xavfli holat belgilari yemirilishdan oldin paydo bo'ladi.

Ikkita sharnir tayanchli sterjenning egilishdagi eng katta salqiligi  $x = \frac{\ell}{2}$  masofasidagi nuqtasida hosil bo'ladi:

$$y_{\max} = a \sin kx = a \sin \frac{\pi}{\ell} \cdot \frac{\ell}{2} = a$$

Sterjen uchlari mahkamlanish shartini kritik kuchning qiymatiga ta'sirini aniqlashi uchun, har xil tayanchlarga tayangan sterjenlarning bo'ylama egilishdagi deformatsiyalarini ikkita sharnirli tayanchga



10.5-rasm. Bir tomoni qistirib mahkamlangan, ikki tayanchli va bir tomoni qistirib ikkinchi tomoni sharnirli sterjenlarning noustivor holatdagi shakli.

tayangan sterjenning deformatsiyasi bilan taqqoslaymiz. Masalan, bir uchi qistirib mahkamlab qo'yilgan sterjen deformatsiyasining uzunligini ikkita uchi sharnirli mahkamlab qo'yilgan sterjen deformatsiyasi uzunligining yarmiga teng. Demak, bir uchi qistirib mahkamlangan, har birining uzunligi  $\ell$  bo'lgan ikkita sterjenlar egilgan o'qlarining shakli erkin uchlari orasida hosil bo'lgan yarim to'lqin (sinusida) uzunligiga teng ekan, ya'ni:  $\ell_0 = 2\ell$ . Eyler formulasi:

$$F_k = \frac{\pi^2 EI}{\ell_0^2} \quad \text{yoki} \quad F_k = \frac{\pi^2 EI}{(2\ell)^2} = \frac{\pi^2 EI}{4\ell^2}$$

Sterjen uchlari mahkamlanish shartlariga ko'ra, kritik kuchning formulalarini yozamiz.  $F_k = \frac{\pi^2 EI}{(\mu\ell)^2}$  (10.8)

bu yerda  $\mu$  - keltirilgan uzunlik koeffitsiyenti;  
 $\ell_0 = \mu \cdot \ell$  - keltirilgan uzunlik.

## 10.2. Eyler formulasini ishlatish chegarasini aniqlash

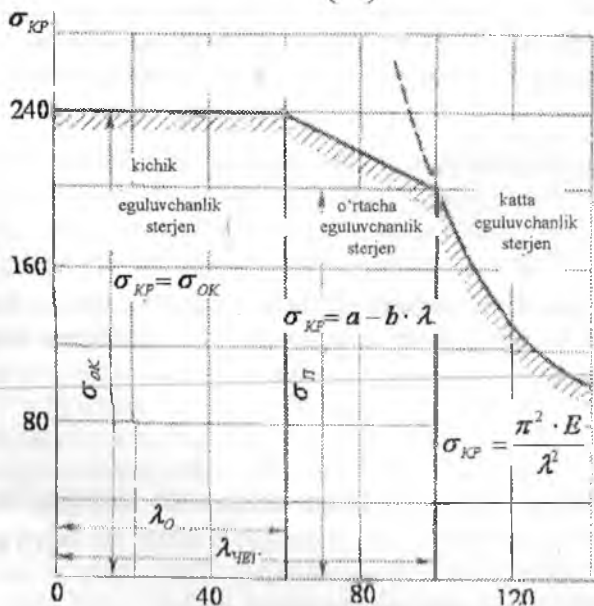
Siquvchi kuchni kritik qiymatida ko'ndalang kesimda hosil bo'lgan normal kuchlanish kritik kuchlanish deyiladi.

Kritik kuchni aniqlash uchun Eyler formulasi sterjen materialining Guk qonuni kuchiga ega bo'lgan chegarada keltirib chiqarilgan edi. Shuning uchun Eyler formulasi yordamida topilgan kritik kuchlanishni materialning proporsionallik chegarasidagi kuchlanishdan katta bo'lgan

hollarda foydalanib bo'lmaydi, ya'ni  $\sigma_{kp} \leq \sigma_l$ . Unda  $\sigma_{kp} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \leq \sigma_{II}$

hosil bo'ladi. Bu yerdan  $\lambda \geq \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{\sigma_{II}}}$ , ya'ni chegaraviy egiluvchanlik materialni fizikmexanik xossasiga bog'liq, lekin sterjen o'lchamlariga bog'liq emas. Eyler formulasidan kritik kuchlanishni aniqlaymiz:

$$\sigma_k = \frac{Fk}{A} = \frac{\pi^2 EI}{Al^2} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{\mu l}{i}\right)^2} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \quad (10.9)$$



Bu yerda:

$$i_{\min}^2 = \frac{I}{A} - \text{inersiya radiusi.}$$

10.6-rasm. Kritik kuchlanish va egiluvchanlik orasidagi bog'lanishning grafikasi.

Yasinskiy ta'rifidan  $\lambda = \mu \frac{\ell}{i}$  - sterjenning egiluvchanligi,

$\lambda$  - siqilgan sterjenni o'lchov birliksiz xarakteristikasi, sterjen ustuvorligini yo'qolishiga qarshilik ko'rsatadi, bir vaqtda sterjen uzunligiga va ko'ndalang kesim bikrligini ifodalaydi.  $\lambda \geq \lambda_{\text{qer}}$ , ya'ni chegaraviy egiluvchanlik tushunchasi asosida Eyer formulasini ishlatish chegarasini belgilaymiz. Eyer formulasi sterjen uchun hisoblangan egiluvchanlik chegaraviy egiluvchanlikga teng yoki undan katta bo'lsa ishlatiladi.

(10.9) formuladan aniq-ki,  $\sigma_k$  sterjenning egiluvchanligiga bog'liq. Ingichka va uzun sterjenlarda kritik kuchlanish kichik bo'ladi. Mustahkamlik chegarasi  $\sigma_B = 40 \text{ MPa}$  bo'lgan st.3 po'lat uchun  $\lambda = 150$  va  $E = 2 \cdot 10^5 \text{ mPa}$  bo'lsa:

$$\sigma_k = \frac{\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{(150)^2} = 87,7 \text{ mPa} \leq 160 \text{ mPa} \quad (10.10)$$

$$\lambda = 50 \text{ bo'lsa } \sigma_k = \frac{\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{(50)^2} = 300 \text{ mPa} > [\sigma] = 160 \text{ mPa} \quad (10.11)$$

Siqilayotgan sterjendagi kuchlanish kritik kuchlanishdan kichik kuchlanishda yemirilish sodir bo'ladi. Agar  $\sigma_k = \sigma_n$  deb olinsa, (10.10) formuladan egiluvchanlikni chegaraviy qiymatini topamiz:  $\lambda_0 = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{\sigma_n}}$ . Agar  $\lambda = \lambda_0$  bo'lsa, Eyer formulasidan foydalanish mumkin. St.3 po'lat uchun:  $\sigma_n = 200 \text{ mPa}$ .

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5}{200}} \approx 100 \quad (10.12)$$

St.5 po'lat uchun  $\lambda_0 = 90$ . Shunday qilib, egiluvchanligi  $\lambda = 100$  sterjenlar uchun Eyer formulasi ishlatilishi mumkin (10.6-rasm). Egiluvchanlik 0 dan 40-50 gacha bo'lsa, sterjen kalta bo'ladi. Bunday sterjenlar mustahkamlik yo'qolishi bilan yemiriladi. Shuning uchun, kritik kuchlanish oquvchanlik (plastik material) yoki mustahkamlik chegarasidagi kuchlanishga (mo'rt material) teng qilib olinadi (10.6-rasm).



Ayrim materiallar uchun  $a, b, c$  koeffitsiyentlar:

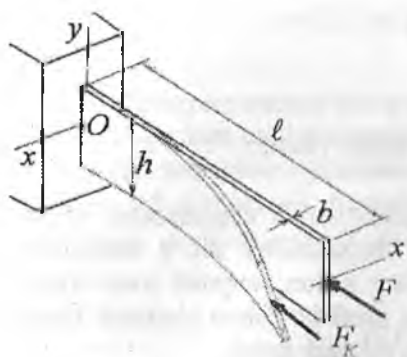
Material	$\lambda$	$a$	$b$	$c$
St.2, St.3	100	3100	11,4	-
St.5	100	4640	32,6	-
Stal 40	90	3210	11,6	-
Kremniy stal	100	5890	38,2	-
Sosna	110	193	1,94	-
cho'yan	80	7760	120	0,53

Egiluvchanligi ( $50 \leq \lambda \leq \lambda_0$ ) orahqda bo'lgan sterjenlar elastik plastik deformatsiyalanib, ustuvorligini yo'qotadi. Bunda, kritik kuchlanish sterjen materialining proporsionallik yoki oquvchanlik chegaralaridagi kuchlanishiga teng bo'ladi. Kritik kuchlanishni bunday o'zgarishi to'g'ri chiziq bo'lib, Yasinskiy formulasiga bo'ysunadi va u quyidagicha yoziladi:  $\sigma_k = a - b\lambda$  cho'yan uchun:  $\sigma_k = a - b\lambda + c\lambda^2$

### 10.3. Siqilgan sterjenning kundalang kesimdagi ratsional shakli

Siqilgan sterjenlar uchun Eyler formulasini qo'llab, kritik kuchni topganda sterjen uchlarning mahkamlanishiga bog'liq holda bosh tekisliklarda ustuvorlikni yo'qotishning turli shakllari bo'lishi mumkinligini inobatga olish zarur. Bir uchi qistirib mahkamlangan, ikkinchi uchi esa ozod bo'lgan sterjenning ustuvorligi bikrligi kichik bo'lgan tekislikda yo'qoladi, chunki bu tekislikda egilishga mos keluvchi kritik kuch eng kichik bo'ladi (10.7-rasm).

$I_y = I_{\min} = \frac{hb^3}{12}$  va  $I_x = \frac{h^3b}{12}$ . Egilish  $X$  o'qi tekisligida bo'ladi  $F_{1k} = \frac{\pi^2 EI_x}{(\mu_1 \ell)^2}$  va  $F_{2k} = \frac{\pi^2 EI_x}{(\mu_2 \ell)^2}$  deb qabul qilaylik.  $I_x > I_y$  bo'lganligi uchun:  $F_{1k} > F_{2k}$ . Sterjen ikkala bosh inersiya tekisligida ham bir xil egilishi uchun  $I_x = I_y$  yoki  $\mu_1 = \mu_2$  bo'lishi kerak.



10.7-rasm. Noustuvor holat.

Masalan: kesim yuzasi ikkita shvellardan tashkil topgan bo'lsa, ularning ikkala bosh inersiya tekisligida bir xil ustuvorlikni yo'qotishini ta'minlashi uchun  $I_x = I_y$  tenglikni hosil qilamiz. Buning uchun  $a$ -masofa shunday tanlanishi kerak-ki,

$$2I_{x1} = 2 \left[ I_{y1} + A \left( \frac{a}{2} \right)^2 \right] \quad \text{shart}$$

bajarilsin.

Demak,  $P_{1k} = P_{2k}$  tenglik yuzaga keladi, unda quyidagi teng ustuvorlik sharti hosil bo'ladi.  $\frac{I_x}{\mu_1^2} = \frac{I_y}{\mu_2^2}$ . Agar,  $\mu_1 = \mu_2$  bo'lsa, ham

sterjen ikkala bosh inersiya tekisligida ustuvorlikni bir xil yo'qotadi.  $i_{\min}$  - minimal inersiya radiusining eng katta qiymatga olib keladigan yuza ratsional kesim bo'ladi. O'lchov birligisiz tavsifnoma tanlaymiz:

$$\zeta = \frac{i_{\min}}{\sqrt{A}} \quad (10.13)$$

Kesimning ratsionalligini  $\zeta$  - ning qiymati yordamida aniqlaymiz:

kvadrat	- 0,289;	doira	- 0,283;	to'rtburchakli	- 0,204
shveller				0,41	- 0,29
qo'shtavr				0,41	- 0,27
burchak				0,5	- 0,3
trubasimon ( $d = 0,7 - 0,8$ )				1,2	- 1,0
trubasimon ( $d = 0,95 - 0,8$ )				2,25	- 1,64

#### 10.4. Siqilgan sterjenlarni ustuvorlikka amaliy hisoblash

Siqilgan sterjenlarni mustahkamlikda hisoblash o'lchamlarini shunday tanlash kerakki, ularni ekspluatatsiya qilish jarayonida kuch ta'siridan ustuvorlikni yo'qotilmasligi kerak. Buning uchun siqilgan sterjenning kesimdagi normal kuchlanish kritik kuchlanishdan kichik bo'lishi kerak:

$$\sigma = \frac{N}{A_{\delta}} < \frac{F_k}{A_{\delta}} = \sigma_k \quad (10.14)$$

bu yerda  $N$  - siquvchi kuch;

$A_{\delta}$  - sterjenning zaiflashgan kesim yuzasi.

Kritik kuchlanish materialning oquvchanlik chegarasidan plastik material uchun yoki mustahkamlik chegarasidan mo'rt materiallar uchun, xavfli bo'lishi mumkin. Shuning uchun sterjenni ustuvorlikka analiy hisoblashda kritik kuchlanishni hosil bo'lishini cheklash kerak, ya'ni ustuvorlikka ehtiyotlik shartini ta'minlash kerak:

$$\sigma_y = \frac{F_k}{A_{\delta}} = [\sigma]_y \quad (10.15)$$

Ustuvorlikka ruxsat etilgan kuchlanish  $[\sigma]_y$  ustuvorlikka ehtiyotlik koeffitsiyenti ( $n_y$ ) orqali topiladi:

$$[\sigma]_y = \frac{\sigma_k}{n_y} \quad (10.16)$$

Unda 
$$\sigma_y = \frac{F_k}{A_{\delta} \cdot \varphi} \leq [\sigma] \quad (10.17)$$

Bu shart orqali sterjenning ko'ndalang kesimi tanlanishi mumkin.

Ustuvorlikka ehtiyotlik koeffitsiyenti  $n_y$  mustahkamlikka ehtiyotlik koeffitsiyenti  $n$  - dan katta qabul qilinadi:

yog'och -  $n_y = 2,8 \dots 3,2$ ; po'lat -  $n_y = 1,8 \dots 3,0$ ; cho'yan  $n_y = 5 \dots 5,5$

$[\sigma]$  - sterjenning mustahkamlikka ruxsat etilgan kuchlanishi;

$\varphi$  - mustahkamlikka ruxsat etilgan kuchlanishning kamaytirish koeffitsiyenti. Koeffitsiyent  $\varphi$  - materialning egiluvchanligiga bog'liq ravishda topiladi. Yog'och uchun koeffitsiyent  $\varphi$  - quyidagi formulada

topiladi:  $\lambda = 75$  bo'lsa,  $\varphi = 1 - 0,5 \left( \frac{\lambda}{100} \right)^2$

$$\lambda = 75 \text{ bo'lganida } \varphi = \frac{3100}{\lambda^2}$$

Koeffitsiyent sterjen kesimining o'lchamlariga bog'liq bo'lganligi uchun uni qiymati oldindan berilgan bo'lmaydi. Shuning uchun kesimni o'lchamlari asta-sekin yaqinlashish usuli bilan topiladi. Birinchi marotaba  $\varphi = 0,5$  deb olinadi. Keyingi yaqinlashishda  $\lambda$  - ga bog'liq holda koeffitsent  $\varphi$  interpolatsiya usuli bilan topiladi:

$$\varphi_1 = \varphi' - \frac{\varphi' - \varphi''}{10} \cdot K$$

Topilgan  $\varphi$  yordamida kuchlanish, aniqlanish va uning kuchlanishini ruxsat etilgan qiymat bilan solishtiriladi. Ikkala kuchlanish orasida farq bo'lishi mumkin. Agar  $\sigma_y < |\sigma|$  bo'lsa, kesim o'lchamining qiymati kichiklashtirilishi kerak, agar  $\sigma_y > |\sigma|$  bo'lsa, kesim o'lchamlarini oshirish kerak. Hisoblangan kuchlanish  $\sigma$  bilan kuchlanishning ruxsat etilgan qiymati orasidagi farq 3-5% olib borilishi kerak. Masalani qo'yi-lishiga ko'ra hisoblash uch xil variantda olib boriladi. Dastlabki hisoblash - bunda ustuvorlikka ehtiyotlik koeffitsiyentining haqiqiy qiymati aniqlanadi va talab etilgan qiymati bilan taqqoslab ko'riladi:

$$n_y = \frac{F_{sp}}{F} \leq [n_y]$$

Ruxsat etilgan yuk hisoblanadi  $|F| = \frac{F_{sp}}{[n_y]}$

Loyihaviy hisoblash - sterjen ko'ndalang kesimining talab etilgan o'lchamlari aniqlanadi. Bunda Eyer formulasi yordamida ko'ndalang kesimining minimal inersiya momenti:

$$I_{min} \geq \frac{F \cdot [n_y] \cdot (\mu \cdot l)^2}{\pi^2 E}$$

## 10.5. Bo'ylama va ko'ndalang egilish

Cho'zilish yoki siqilishni egilish bilan birgalikdagi ta'sirida bo'lgan sterjenning ko'ndalang kesimidagi to'liq kuchlanishni, kuchlarning mustaqillik printsipiga asosan cho'zilish yoki siqilishdagi va egilishdagi kuchlanishlarning yig'indisiga teng qabul qilingan:

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{A} + \frac{M}{W} \leq [\sigma] \quad (10.18)$$

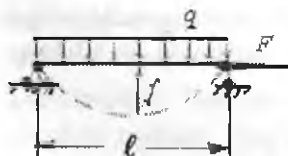
bu yerda  $M$ -faqat ko'ndalang kuch ta'siridagi eguvchi sterjendagi bo'ylama siquvchi kuch sterjenning egilgan o'qini har bir nuqtasiga nisbatan qo'shimcha moment hosil qiladi. Natijada sterjenning ko'ndalang kesim yuzasida qo'shimcha kuchlanish kelib chiqadi. Xavfli kesimdagi eng katta kuchlanish quyidagicha topiladi:

$$\sigma_{\max} = \left| \frac{F}{A} + \frac{M_0}{W} + \frac{F \cdot f}{W} \right| \quad (10.19)$$

$f$  - bo'ylama va ko'ndalang kuchlar ta'siridagi sterjenning eng katta salqiligi.

Bo'ylama kuch cho'zuvchi bo'lsa,  $f$  ning qiymati kichik, agar bo'ylama kuch siquvchi bo'lsa, salqilik sezilarli va katta. Bo'ylama va ko'ndalang egilishda to'liq kuchlanishni kuchlarni mustaqillik prinsipiga asosan topib bo'lmaydi, chunki  $f$  bu alomatga bo'ysunmaydi.

Ingichka va uzun sterjenlarda  $f$  ning qiymatini hisobga olmaslik, konstruksiyaning xavfli holatiga olib kelishi mumkin. Shuning uchun bo'ylama va ko'ndalang egilishga uchrayotgan sterjenning maksimal salqiligin ( $f$ ) topamiz. Bo'ylama va ko'ndalang egilish ta'siridagi sterjen elastik chiziqning differentsial tenglamasi quyidagicha yoziladi:



$$EI_y'' = M_0 - Fy \quad (10.20)$$

bu erda:  $M_0 = q \frac{l}{2} x - q \frac{x^2}{2}$  ko'ndalang kuch ta'siridagi eguvchi moment.

(10.20) tenglamani  $M_0 = EIy_0''$  - ni hisobga olib quyidagi ko'ri-  
nishga olib kelamiz:

$$EIy'' = EI \cdot y_0'' - Fy \quad (10.21)$$

(10.21) tenglamaning  $x = \frac{\ell}{2}$  nuqta uchun ayrim chiklashlar orqali  
umumiy yechimini yozamiz:

$$f = f_0 \frac{1}{1 - \frac{F}{F_k}} = f_0 \cdot c \quad (10.22)$$

Sterjenning bo'ylama va ko'ndalang egilishdagi eng katta salqiligi  
(10.22) formuladan ko'rinishicha, siquvchi kuch kritik qiymatga erishsa,  
salqilik  $f$  nazariy jixatdan cheksiz bo'lishi kerak.

$f_0 = \frac{5q\ell^4}{384EI}$  - sterjenning ko'ndalang taqsimlangan kuch ta'siridagi  
eng katta salqiligi. Endi, bo'ylama va ko'ndalang egilish uchun to'liq  
kuchlanish formulasini yozamiz.

$$\sigma_{\max} = \frac{F}{A} + \frac{M_0}{W} + \frac{F \cdot f_0 \cdot c}{W} = \frac{F}{A} + \frac{M_0 + F \cdot f_0 \cdot c}{W} = \frac{F}{A} + \frac{M_{\max}}{W} \quad (10.23)$$

Bu yerda  $M_{\max} = M_0 + Ff_0c = \frac{q\ell^2}{8} + Ff_0c$  yoki

$$M_{\max} = \frac{q\ell^2}{8} + F \frac{5q\ell^4}{384EI} = q \frac{\ell^2}{8} \left( 1 + \frac{5F\ell^2}{48EI} \right)$$

Qavsni quyidagicha o'zgartiramiz:  $\frac{5\pi^2 F\ell^2}{48\pi^2 EI} = \frac{1,028F}{F_k}$

Unda 
$$M_{\max} = q \frac{\ell^2}{8} \left( 1 + \frac{1,028F}{F_k} \right) = q \frac{\ell^2}{8} \left( 1 + \frac{F}{F_k} \cdot \frac{F_k}{F_k - k} \right) = q \frac{\ell^2}{8} \left( 1 + \frac{F}{F_k - F} \right) =$$

$$= q \frac{\ell^2}{8} \frac{F_k}{F_k - F} = q \frac{\ell^2}{8} C = M_0 \cdot C$$

$$\text{Kuchlanish: } \sigma_{\max} = \frac{F}{A} + \frac{M_0}{W} C = \frac{F}{A} + \frac{M_0}{W} \cdot \frac{F_k}{F_k - F} \quad (10.24)$$

Agar,  $\frac{F}{F_k}$  nisbat kichik bo'lsa, (10.24) formuladagi C koeffitsiyentning qiymati birga yaqin bo'ladi

$$\sigma_{\max} = \frac{F}{A} + \frac{M_0}{W} = \frac{F}{A} + \frac{q\ell^2}{8W} \quad (10.25)$$

Nosimmetrik kuchlar bilan yuklangan sterjenlarning to'liq ko'chishini (10.24) formula bilan amalda hisoblasak, xatolik 5-7% bo'ladi. Agar,  $F = F_k$  bo'lsa,  $\sigma$  - ning qiymati cheksiz katta bo'ladi, sterjen yemiriladi. Yuqoridagi formulalardan ko'rinishicha, salqilik va kuchlanish kuchlar bilan chiziqli bog'lanishda emas. Agar, kuch  $n$  - marotaba oshsa, kuchlanish undan ko'proq ortadi. Mustahkamlik shart bajarilmaydi. Shuning uchun, bo'yлама va ko'ndalang egilishdagi sterjenning mustahkamligi chekli yuk bo'yicha ta'minlanishi kerak, ya'ni kuch  $K_0$  marotaba oshsa, sterjendagi eng katta kuchlanish oquvchanlik chegarasiga erishadi:

$$\frac{K_0 F}{A} + \frac{M_0 K}{W} \cdot \frac{1}{1 - \frac{K_0 F}{F_k}} = \sigma_{ok}$$

Bu yerda  $K_0 F$  va  $K_0 M$  - chekli yuk. Yuqoridagi tenglikni quyidagicha yozamiz:

$$\frac{F}{A} + \frac{q\ell^2}{8W} \cdot \frac{1}{1 - \frac{K_0 F}{F_k}} = \frac{\sigma_{ok}}{K_0}$$

Bu yerda  $\frac{\sigma_{ok}}{K_0} = [\sigma]$  siqilishga ruxsat etilgan kuchlanish sterjenning mustahkamlik shartini yozamiz:

$$\frac{F}{A} + \frac{q\ell^2}{8W} \cdot \frac{1}{1 - \frac{K_o F}{F_k}} = [\sigma]$$

Bu yerda  $C_o = \frac{1}{1 - \frac{K_o F}{F_k}} = \frac{F_k}{F - K_o F}$  bo'ylama kuchning kuchlanishga

ta'sirini ifodalovchi koeffitsiyent. Sterjenning salqiligini cheklash uchun bikrlilik shartini yozamiz:

$$f_{\max} = f_o \frac{1}{1 - \frac{K_o F}{F_k}} = f_o \frac{F_k}{F_k - K_f F} \leq [f]$$

$[f]$  - ruxsat etilgan salqilik;  $K_f$  - salqilikning ehtiyotlik koeffitsiyenti

### Savollar

1. Ustuvorlik nima?
2. Eyler formulasini yozing.
3. Balka uchlarini tiralish shartlarini Eyler formulasiga ta'siri bormi?
4. Kritik kuchlanish qanday formula bilan topiladi?
5. Egiluvchanlik nima?
6. Eyler formulasi qanday egiluvchanlik qiymatida ishlatiladi?
7. Ustuvorlik shartni yozing.

**Misol-1.** Kesimi teng yonli bo'lmagan ikki burchakni o'zaro birlashtirishdan tarkib topgan ferma sterjenidagi siquvchi kuchning ruxsat etilgan miqdori aniqlansin. Sterjen st.3 markali po'latdan tayyorlangan (10.8-rasm).  $140 \times 90 \times 6$  teng tomonsiz burchak uchun:

$$I_{y_s} = 120 \text{sm}^4 \quad I_{x_s} = 364 \text{sm}^4 \quad x_o = 2,03 \text{sm}; \quad A = 18 \text{sm}^2$$

**Yechish:** Ruxsat etilgan kuchni sterjenning ustuvorlik shartidan foydalanib yozamiz:

$$\sigma_y = \frac{F}{\varphi A} \leq [\sigma], \quad \text{unda} \quad [N] = \varphi A [\sigma]$$

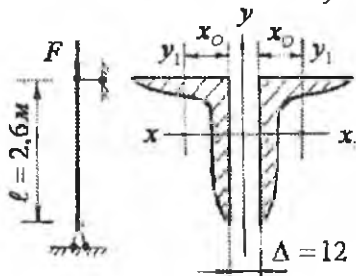


$\varphi$  - koeffitsiyent miqdorini topish uchun sterjenning egiluvchanligini aniqlash kerak. Bu esa o'z navbatida sterjen kesimini minimal inersiya momenti va inertsiya radiusini topishni talab etadi.

$$I_x = 2I_{x_0} = 2 \cdot 364 = 728 \text{sm}^4$$

$$I_y = 2 \left[ I_{y_0} + (x_0 + 0,5 \cdot \Delta)^2 \cdot A \right] = 2 \left[ 120 + (2,03 + 0,5 \cdot 1,2)^2 \cdot 18 \right] = 489 \text{sm}^4$$

Shunday qilib,  $I_y < I_x$  va minimal inersiya radiusi



10.8-rasm.

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{489}{2 \cdot 18}} = 3,68 \text{sm}$$

Sterjenning egiluvchanligini aniqlaymiz:

$$\lambda = \mu \frac{\ell}{i_{\min}} = 1 \cdot \frac{260}{3,68} = 70,65$$

Jadvaldan :	$\lambda = 70$	$\varphi' = 0,81$
	$\lambda = 80$	$\varphi'' = 0,75$

Qiymatlarni interpolyatsiyalab

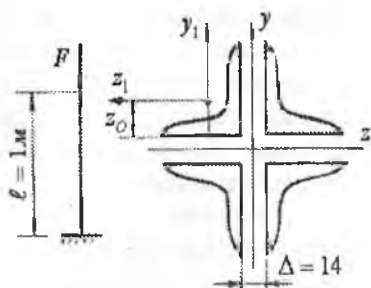
$$\lambda = 70,65$$

egiluvchanlikka to'g'ri keladigan koeffitsiyent  $\varphi$  - ni qiymatini topamiz.

$$\varphi = 0,81 - \frac{0,81 - 0,75}{10} \cdot 0,65 = 0,806$$

Siquvchi kuchning ruxsat etilgan qiymati

$$[N] = 0,806 \cdot 2 \cdot 18 \cdot 1600 = 46425,6 \text{kg} = 464,256 \text{kN}$$



10.9-rasm.

**Misol-2.** Kesimni to'rtta 90 x 90 x 2 mm teng tomonli burchakdan tashkil topgan st.3 markali po'latdan tayyorlangan ustunning ustavorlikka ehtiyotlik ko'effitsiyenti  $[\mu_y] = 2$  uchun siquvchi kuchning ruxsat etilgan qiymati topilsin. 90 x 90 x 2 mm teng tomonli burchak uchun

$$Z_0 = 2,55sm; \quad I_{y_1} = 118sm^4; \quad A = 15,6sm^2$$

**Yechish:** Kesimning inersiya momentini topamiz:

$$I_z = I_y = 4[I_{z_1} + a^2 \cdot A] = 4[118 + (3,25)^2 \cdot 15,6] = 1131,1sm^4$$

Bu yerda  $a = Z_0 + 0,5 \cdot \Delta = 2,55 + 0,5 \cdot 1,4 = 3,25sm$

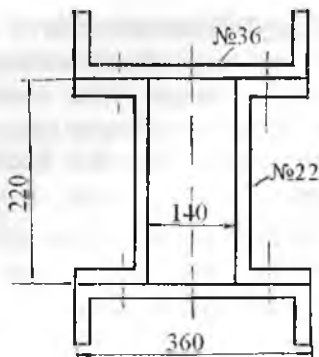
Inersiya radiusi  $i_z = i_y = i_{min} = \sqrt{\frac{I_z}{\Sigma A}} = \sqrt{\frac{1131,1}{4 \cdot 15,6}} = 4,25sm$

Ustunning egiluvchanligi  $\lambda = \mu \frac{l}{i_{min}} = \frac{2 \cdot 100}{4,25} = 47,05$

$\lambda < \lambda_{krit}$  bo'lgani uchun kritik kuchni Eyler formulasi bilan topib bo'lmaydi. Kritik kuchni Yasinskiy formulasi bilan aniqlaymiz.

$$F_{kr} = \sigma_{kr} \cdot A = (a - b\lambda) \Sigma A = (3100 - 11,4 \cdot 47,05) \cdot 4 \cdot 15,6 = 159970,5kN$$

Ustunga ta'sir etuvchi ruxsat etilgan kuch  $[F] = \frac{F_{kr}}{[\mu_y]} = \frac{159,97}{2} = 79,985kN$



10.10-rasm.

**Misol-3.** Quyidagi ikkita 36 va 22 profilli shvellarlar bi-rikmasidan tayyorlangan kolonnani sxemasi ko'rsatilgan birikmani ikkita uchlari ham shamirli tayanchda..

Ustuvorlik va mustahkamlik shartlaridan foydalanib kolonnaga qo'yilishi mumkin bo'lgan siquvchi kuchni to- ping.

Material St.3.  $[\sigma] = 160 \text{ mPa}$ ,

$$\ell = 9 \text{ m}, \mu = 1$$

**Yechish:** Kesimdagi shvellarlarni tavsiflarini yozib olamiz. Kesim- ning o'lchamlarini masshtabda ifodalaymiz.

Kolonnaning kesim yuzasini topamiz:

$$A = 2(53,4 + 26,7) = 160,2 \text{ sm}^2$$

Kesimning minimal inertsiya momentini parallel o'qlarga nisbatan inertsiya momenti formulasidan topamiz:

$$I_x = 2 \left[ 513 + \left( \frac{22}{2} + 2,68 \right)^2 \cdot 53,4 \right] + 2 \cdot 2110 = 25232,808 \text{ sm}^4$$

$$I_y = 2 \cdot 10820 + 2 \left[ 151 + (7 + 2,21)^2 \cdot 26,7 \right] = 26471,607 \text{ sm}^4$$

$$I_x = I_{\min} = 25232,808 \text{ sm}^4$$

Kesimning minimal inertsiya radiusini topamiz.

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A}} = \sqrt{\frac{25232,808}{160,2}} = 12,55 \text{ sm}$$

Kolonnaning egiluvchanligi:  $\lambda = \mu \frac{\ell}{i_{\min}} = 1 \cdot \frac{900}{12,55} = 71,713$

Jadvaldan foydalanib  $\varphi$ -ni qiymatini topamiz:

$$\lambda = 70; \quad \varphi' = 0,81$$

$$\lambda = 80; \quad \varphi'' = 0,75$$

$$\varphi = 0,81 - \frac{0,81 - 0,75}{10} \cdot 1,713 = 0,7997$$

Ruxsat etilgan siquvchi kuchni topamiz:

$$[F] = \varphi[\sigma] \cdot A = 0,7997 \cdot 1600 \cdot 160,2 = 206979 \text{ kG}$$

Kolonning kesimi to'rtta parchin mix o'rti bilan zaiflashtirilgan.

$$A_H = A - 4d(0,95 + 0,75) = 160,2 - 4 \cdot 2 \cdot 1,7 = 146,6 \text{ sm}^2$$

Kolonning mustahkamlik sharti  $\sigma_{\max} = \frac{F}{A_H} \leq [\sigma]$  dan ruxsat

etilgan siquvchi kuchni topamiz.  $F \leq [\sigma] \cdot A_H = 1600 \cdot 146,6 = 234560 \text{ kG}$

**Misol-4.** Po'latdan tayyorlangan sterjen  $F = 28 \text{ t}$  kuch bilan siqilayapti. Sterjenning uzunligi  $\ell = 3,6 \text{ m}$  va ikkita shamirli tayanchga tayanadi. Sterjenning ustuvorlik shartidan foydalanib kesimi tanlansin.

Ruxsat etilgan kuchlanish  $[\sigma] = 1600 \frac{\text{kG}}{\text{sm}^2}$



10.11-rasm.

**Yechish:** I-hisoblash sterjenning hisoblangan kesim yuzasini topa-

$$\text{miz: } A = \frac{F}{\varphi[\sigma]} = \frac{28000}{\varphi \cdot 1600} = \frac{17,5}{\varphi}; \quad \varphi = 0,5; \quad A = \frac{17,5}{0,5} = 35 \text{ sm}^2$$

Kesim yuzasi  $A = 35 \text{ sm}^2$  bo'lgan qo'shtavni katalogdan tanlaymiz. Qo'shtavr 24:  $A = 34,8 \text{ sm}^2$  va  $I_y = 198 \text{ sm}^4$

Kesimning minimal inersiya radiusi:  $i_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A}} = \sqrt{\frac{198}{34,8}} = 2,385 \text{ sm}$

Sterjening egiluvchanligi:  $\lambda = \mu \cdot \frac{\ell}{i_{\min}} = 1 \cdot \frac{360}{2,385} = 150,94$

Jadvaldan st.3 materiali uchun  $\varphi$ -ni qiymatini topamiz:

$$\lambda = 150; \quad \varphi' = 0,32$$

$$\lambda = 160; \quad \varphi'' = 0,29$$

Interpolyatsiya usuli bilan  $\varphi_1 = 0,32 - \frac{0,32 - 0,29}{10} \cdot 0,94 = 0,317$

$$\text{va } \varphi_2 = \frac{\varphi + \varphi_1}{2} = \frac{0,5 + 0,317}{2} = 0,4085 \text{ - ni topdik } \varphi > \varphi_2$$

### II-hisoblash

$A = \frac{175}{0,4085} = 42,84 \text{ sm}^2$ . Kesim yuza 27 a qo'shtavmi kesim yuzasiga

yaqin:

$$A = 43,2 \text{ sm}^2; \quad I_y = I_{\min} = 337 \text{ sm}^4$$

Sterjening egiluvchanligi  $\lambda = \frac{360}{\sqrt{\frac{337}{43,2}}} = \frac{360}{2,793} = 128,89$

Jadvaldan  $\lambda = 120; \quad \varphi' = 0,45$   
 $\lambda = 130; \quad \varphi'' = 0,4$

$$\text{Unda } \varphi_3 = 0,45 - \frac{0,45 - 0,4}{10} \cdot 8,89 = 0,406$$

Haqiqiy kuchlanishni topamiz:

$$\sigma_z = \frac{28000}{43,2} = 648,15 \frac{\text{KG}}{\text{sm}^2}$$

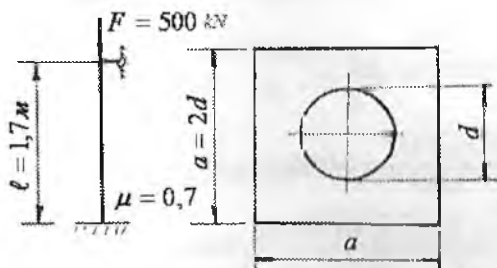
Ruxsat etilgan kuchlanish:

$$[\sigma]_y = \varphi_3 \cdot [\sigma] = 0,406 \cdot 1600 = 649,6 \frac{\kappa G}{\text{sm}^2}; \quad \sigma_x < [\sigma]_y$$

Shuning uchun 27 a qo'shtavrli kesimni tanlaymiz. Sterjenning egi-luvchanligi 100. Kritik kuchni Eyer formulasi yordamida topamiz:

$$F_{kp} = \frac{\pi^2 EI_{\min}}{\ell^2} = \frac{(3,14)^2 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 337}{(360)^2} \approx 52006 \kappa G$$

Koeffitsiyent:  $K_y = \frac{F_k}{F} = \frac{52006}{28000} \approx 1,86$



10.12-rasm.

**Misol-5.** Po'latdan tayyor-langan sterjen F kuch bilan siqilayapti:

- 1)  $[\sigma] = 160 \text{ MPa}$  kuchlanish-dan foydalanib sterjen ko'ndalang kesimining geometrik o'lchamlarini to-ping;
- 2) kritik kuch aniqlansin

**Yechish:** Sterjen ko'ndalang kesimining yuzasi:

$$A = a \cdot a - \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 2d \cdot 2d - \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 3,215d^2$$

Minimal inersiya moment  $I_{\min} = I = \frac{a^4}{12} - \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{(2d)^4}{12} - \frac{\pi \cdot d^4}{64} = 5,27d^4$

va inersiya radiusi  $i_{\min} = \sqrt{\frac{5,27d^4}{3,215d^2}} = \sqrt{\frac{5,27(0,0441)^2}{3,215}} = 0,0564 \text{ m}$

I-hisoblash ( $\varphi = 0,5$ ):  $A \geq \frac{P}{\varphi[\sigma]} = \frac{500}{0,5 \cdot 160 \cdot 10^3} = 0,00625 \text{ m}^2$  bo'ladi.

unda  $d = \sqrt{\frac{0,00625}{3,215}} = \sqrt{0,001944} = 0,0441m$ , sterjenning egiluvchanligi

$\lambda = 0,7 \frac{1,7}{0,0564} = 21,1$  jadvaldan po'lat material uchun:

$\lambda = 20$   $\varphi = 0,96$  topamiz. Interpolyatsiya usuli bilan

$\lambda = 30$   $\varphi = 0,94$

$\lambda = 21,1$  egiluvchanlik uchun  $\varphi$  - ning qiymatini topamiz.

$\varphi_1 = 0,96 - \frac{0,96 - 0,94}{10} \cdot 1,1 = 0,9578$ ;  $\varphi_1 = 0,9518$  - birinchi marotaba qa-

bul qilingan  $\varphi = 0,5$  dan farq qiladi

2 hisoblash  $\varphi_2 = \frac{\varphi + \varphi_1}{2} = \frac{0,5 + 0,9578}{2} = 0,7289$ ,

$$A \geq \frac{P}{\varphi_2 [\sigma]} = \frac{500}{0,7289 \cdot 160 \cdot 10^3} = 0,042872 m^2$$

$$d = \sqrt{\frac{F_1}{3,215}} = \sqrt{\frac{0,0042872}{3,215}} \approx 0,036m;$$

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{5,27d^4}{3,215d^2}} = \sqrt{\frac{5,27 \cdot 0,001296}{3,215}} = 0,046m$$

Sterjenning egiluvchanligi  $\lambda = 0,7 \frac{1,7}{0,046} = 25,87$

Jadvaldan sterjenning materialiga va egiluvchanligiga qarab

$\lambda = 20$   $\varphi = 0,96$  - ni topamiz,

$\lambda = 30$   $\varphi = 0,94$

$\varphi_3 = 0,96 - \frac{0,96 - 0,94}{10} \cdot 5,87 = 0,94826$ , topilgan  $A = 0,0042872 m^2$

kesim yuzasi va  $\varphi_3 = 0,94826$  qiymatda ustuvorlikni ta'minlashi kerak bo'lgan ruxsat etilgan kuchlanishni topamiz:

$$\sigma_y = \frac{P}{\varphi_3 \cdot F} = \frac{500}{0,948 \cdot 0,0043} = 122,6 \cdot 10^3 \frac{kN}{m^2} < [\sigma]$$

Demak, sterjen tashqi siquvchi kuch bilan to'liq yuklanmagan  $\varphi$ -ni yangi qiymatini topamiz:

III-hisoblash: Sterjen o'lchami  $d = 0,03 \text{ m}$  qabul qilamiz.

Unda  $A = 3,215d^2 = 3,215(0,03)^2 = 0,00289\text{m}^2$  va

kesimning inersiya radiusi:  $i_{\min} = \sqrt{\frac{5,27d^2}{3,215}} = \sqrt{\frac{5,27 \cdot (0,03)^2}{3,215}} = 0,0384\text{m}$

sterjenning egiluvchanligi  $\lambda = 0,7 \frac{1,7}{0,0384} = 30,98$

jadvaldan po'lat sterjen uchun

$\lambda = 30$  da  $\varphi_3 = 0,94$  va  $\lambda = 40$  da  $\varphi_4 = 0,92$

Interpolyatsiya usuli bilan  $\varphi_4 = 0,94 - \frac{0,94 - 0,92}{10} \cdot 0,98 = 0,938$

IV-hisoblash  $\varphi_5 = \frac{\varphi_3 + \varphi_4}{2} = \frac{0,9482 + 0,938}{2} = 0,943$

Ustuvorlik shartidan sterjenning ko'ndalang kesim yuzasi

$A = \frac{P}{\varphi_5 [\sigma]} = \frac{500}{0,943 \cdot 160 \cdot 10^3} = 0,00331\text{m}^2$  va o'lchami

$d = \sqrt{\frac{A}{3,215}} = \sqrt{\frac{0,00331}{3,215}} = 0,032\text{m}$ ,

ko'ndalang kesimning inersiya radiusi

$i = \sqrt{\frac{5,27d^2}{3,215}} = \sqrt{\frac{5,27(0,032)^2}{3,215}} = 0,0411\text{m}$

sterjenning egiluvchanligi  $\lambda = 0,7 \frac{1,7}{0,0411} = 29,02$

$\lambda = 20$  da  $\varphi_6 = 0,96$  va  $\lambda = 30$  da  $\varphi_6 = 0,94$

interpolyatsiya usuli bilan  $\varphi_6 = 0,96 - \frac{0,96 - 0,92}{10} \cdot 0,92 = 0,942$  ni

topamiz.  $\varphi_6 = 0,942$  qiymatda ustuvorlikka ruxsat etilgan kuchlanish



$$[\sigma]_y = \varphi_6 [\sigma] = 0,942 \cdot 160 = 150,72 \text{ mPa bo'lib,}$$

$$\sigma_y = \frac{F}{\varphi_6 \cdot A} = \frac{500}{0,942 \cdot 0,00331} = 160,358 \text{ mPa, tenglashadi: } \sigma_y \text{-ni qiymati od-$$

diy cho'zilish va siqilishga ruxsat etilgan kuchlanishidan 0,22 % katta bo'lib.  $[\sigma]_y$  dan esa 9,638 mPa farq qiladi. Shuning uchun sterjenning o'lchami  $d = 0,033 \text{ m}$  olib ko'ramiz.

V – hisoblash

$$d = 0,033 \text{ m va } A = 3,215d^2 = 3,215(0,033)^2 = 0,0035 \text{ m}^2$$

Sterjen kesimining inersiya radiusi

$$i = \sqrt{\frac{5,27d^2}{3,215}} = \sqrt{\frac{5,27(0,033)^2}{3,215}} = 0,04225 \text{ m va egiluvchanligi}$$

$$\lambda = 0,7 \frac{l}{0,04225} = 28,16 \text{ qiymatida jadvaldan } \varphi \text{-ni yangi}$$

qiymatini topamiz:  $\varphi_7 = 0,96 - \frac{0,96 - 0,94}{10} \cdot 8,16 = 0,9437$  ustuvorlikka ruxsat etilgan kuchlanish  $[\sigma]_y = \varphi_7 [\sigma] = 0,9437 \cdot 160 = 151 \text{ mPa}$

$\sigma_y = \frac{F}{\varphi_7 \cdot A} = \frac{500}{0,9437 \cdot 0,0035} = 151,379 \text{ mPa} < 160 \text{ mPa}$  po'lat materiali uchun egiluvchanlik ( $\lambda_{\text{tek}} = 100$ ) dan kichik bo'lsa, kritik kuchni topish uchun empirik formuladan foydalanamiz:

$$F_{kp} = A(a - b\lambda) = 0,0035(310 \cdot 10^3 - 1,14 \cdot 10^3 \cdot 28,18) = 972,65 \text{ kN}$$

ustuvorlik koeffitsiyenti  $n_y = \frac{F_{kp}}{F} = \frac{072,65}{500} = 1,95$  sterjenga qo'yilishi mumkin bo'lgan kuchni ruxsat etilgan qiymati

$$[F] = \varphi A [\sigma] = 0,9437 \cdot 0,0035 \cdot 160 \cdot 10^3 = 528,472 \text{ kN.}$$

**Misol-6.** Ikki tomoni sharnirli tayanchdagi sterjen, kesimining og'irlik markaziga quyilgan  $F$  kuch ta'sirida. Sterjenni materiali – St.3; uzunligi  $l = 4 \text{ m}$ ; kesimi № 30 – qushtavr. Ruxsat etilgan yuk hisob-lansin.

**Yechish.** Ruxsat etilgan yukni topamiz  $[F] = \varphi[\sigma]_y A$ . №30-qo'sh-tavr uchun:  $I_{\min} = I_y = 337 \text{ sm}^4$ ;  $i_{\min} = 2,69 \text{ sm}$ ;  $A = 46,5 \text{ sm}^2$

$$\text{Sterjenni egiluvchanligi } \lambda = \frac{\mu \cdot l}{i_{\min}} = \frac{1 \cdot 400}{2,69} = 148$$

$$\text{Interpolyatsiya usuli bilan } \varphi = 0,36 - \frac{0,36 - 0,32}{10} \cdot 8 = 0,328$$

Bu yerda  $\lambda = 140$  da  $\varphi^I = 0,36$  va  $\lambda = 150$  da  $\varphi^{II} = 0,32$

$$\text{Unda } [F] = 0,328 \cdot 160 \cdot 46,5 \cdot 10^2 = 244 \text{ kN}$$

Egiluvchanlik  $\lambda > 100$ , shuning kritik kuchni Eylér formulasidan topamiz:

$$F_{kp} = \frac{\pi^2 EI_{\min}}{(\mu \cdot l)^2} = \frac{(3,14)^2 \cdot 2 \cdot 10^2 \cdot 337 \cdot 10^4}{(1 \cdot 4000)^2} = 418 \text{ kN}$$

Ustuvorlikka ehtiyotlik koeffitsiyenti:

$$n_v = \frac{F_{kp}}{[F]} = \frac{418}{244} = 1,71$$

**Misol-7.** Fermaning sterjenlarida  $F = 352 \text{ kN}$  siquvchi kuch hosil bo'ladi. Sterjenni kesimi ikkita teng tomonli burchakdan tashkil topgan bo'lib tavr shaklida joylashtirilgan. Sterjenni materiali St.3, uzunligi  $l = 5310 \text{ mm}$ , ikki tomoni sharnirli tayanchda. Sterjen kesimining o'lchamlari topilsin.

**Yechish** Hisoblashni buylama egilish koeffitsiyenti asosida olib boriladi.

$$A = \frac{F}{\varphi[\sigma]_y} = \frac{352 \cdot 10^3}{0,6 \cdot 160} = 3670 \text{ mm}^2 = 36,7 \text{ sm}^2$$

Dastlabki hisoblashda  $\varphi = \varphi_1 = 0,6$  qabul qildik. Bitta teng tomonli burchakni talab etilgan kesim yuzasi  $A = \frac{A}{2} = \frac{36,7}{2} = 18,4 \text{ sm}^2$

$100 \times 100 \times 10$  (mm) burchakda  $A_1 = 19,2 \text{ sm}^2$ ,  $i_{\min} = i_x = 3,05 \text{ sm}$ .

Sterjenni egiluvchanligi  $\lambda = \frac{1 \cdot 531}{3,05} = 174$  bo'lsa interpolyatsiya usuli

bilan  $\varphi$ -ni hisoblaymiz:  $\lambda = 170$  da  $\varphi^1 = 0,26$  va  $\lambda = 180$  da  $\varphi'' = 0,23$

va  $\varphi_T = 0,26 - \frac{0,26 - 0,23}{10} \cdot 4 = 0,248$

$\varphi_1$  va  $\varphi_T$  - koeffitsiyentlar orasidagi farq katta.

Ikkinchi hisoblash:  $\varphi_2 = \frac{\varphi_1 + \varphi_T}{2} = \frac{0,6 + 0,248}{2} = 0,424$

$$A = \frac{3,52 \cdot 10^3}{0,424 \cdot 160} = 5190 \text{ mm}^2 = 51,9 \text{ sm}^2; A_1 = \frac{51,9}{2} \approx 26 \text{ sm}^2$$

Burchak  $125 \times 125 \times 12$  (mm) da  $A_1 = 28,9 \text{ sm}^2$ ,  $i_x = 3,82 \text{ sm}$

Sterjenni egiluvchanligi  $\lambda = \frac{1 \cdot 531}{3,82} = 139$   $\varphi_T = 0,36$

Uchinchi hisoblash  $\varphi_3 = \frac{\varphi_2 + \varphi_T}{2} = \frac{0,424 + 0,36}{2} = 0,392$

$$A = \frac{352 \cdot 10^3}{0,392 \cdot 160} = 5620 \text{ mm}^2 = 56,2 \text{ sm}^2; A_1 = \frac{56,2}{2} \approx 28,1 \text{ sm}^2$$

Agar  $125 \times 125 \times 12$  (mm) burchakni qabul qilsak

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{352 \cdot 10^3}{2 \cdot 2890} = 61 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

va  $[\sigma]_y = \varphi_T [\sigma] = 0,36 \cdot 160 = 57,6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ , ya'ni sterjen 5,57 % zo'riqishda bo'ladi.  $140 \times 140 \times 9$  (mm) burchakni tanlaymiz:  $A_1 = 24,7 \text{ sm}^2$ ;  $i_x = 4,34 \text{ cm}$ .

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{352 \cdot 10^3}{2 \cdot 2470} = 71,2 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \lambda = \frac{1 \cdot 531}{4,34} = 122 \quad \varphi_I = 0,44$$

$$[\sigma]_y = \varphi_r [\sigma] = 0,44 \cdot 160 = 70,6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Kritik kuchlanish  $\sigma_{kr} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} = \frac{(3,14)^2 2,1 \cdot 10^5}{(122)^2} = 139 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

$$n_y = \frac{\sigma_{kr}}{\sigma} = \frac{139}{71,2} = 1,95$$

## XI BOB. DINAMIK KUCHLAR

**Umumiy tushunchalar.** Materiallar qarshiligi fanining asosiy masalasi - konstruktsiya qismlarini ko'ndalang kesimining o'lchamlari yoki ularni materialini tanlashni, shu paytgacha faqat statik yuk ta'sirida o'rgandik. Noldan o'zining oxirgi qiymatiga sekin-asta o'sadigan kuch statik yukga misol bo'ladi. Statik yuk ta'sirida element deformatsiyasining tezligi vaqt oralig'ida sezilarli bo'lmaydi, chunki bunda inshoot qismlarida paydo bo'ladigan harakat tezlanishi juda kichik bo'ladi. O'zgarmas tezlik bilan ko'tarilayotgan yukning kanatga ta'siri statik kuch; agar yuk ma'lum tezlanish bilan ko'tarilsa, dinamik kuch bo'ladi. Dinamik kuch ta'siridagi element zarrachalarining harakat tezlanishi vaqt oralig'ida sezilarli bo'ladi. Dinamik yuk o'zining qiymatini o'zgartirib turdi.

Dinamik yuk ta'siridagi element Dalamber alomatiga asosan har daqiqa tashqi va inersiya kuchlari ta'sirida muvozanatda deb qarash mumkin. Inersiya kuchlari element materialining zarrachalarini harakat tezlanishi asosida qo'shimcha kuch sifatida hosil bo'ladi. Elementning xususiy og'irligi kabi, inersiya kuchi ham hajmiy kuch deb qaralishi mumkin. Har bir zarrachaga ta'sir qiluvchi elementar inersiya kuchining qiymati  $dP_i$ , zarrachaning massasi  $m$  - ni uning tezlanishi  $a$  ko'paytmasiga tengdir va tezlanishga teskari tomonga yo'naladi:

$$dP_i = dm \cdot a \quad (11.1)$$

Elementar zarracha massasi  $dm = \frac{dG}{g}$  ni hisobga olsak,

$$dP_i = \frac{dG}{g} \cdot a = \frac{\gamma \cdot dv}{g} \cdot a \text{ hosil bo'ladi.}$$

$dG = \gamma \cdot dv$  zarrachaning xususiy og'irligi;

$g$  - erkin tushish tezlanishi,  $9,81 \text{ m./sek}^2$

$\gamma$  - materialning solishtirma og'irligi;  $kn/m^3$

$dv$  - elementar zarrachaning hajmi,  $m^3$

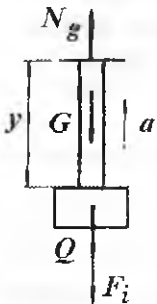
Sterjenli sistemalarni hisoblashda, hajmiy inersiya kuchlari, sterjenning o'qi bo'ylab tarqalgan inersiya kuchlari bilan almashtiriladi. Elementar uzunlik  $dx$  bo'ylab tarqalgan inersiya kuchi quyidagi formula bilan topiladi

$$dP_i = \frac{\gamma \cdot A \cdot dx}{g} \cdot a$$

Ichki yonuv dvigatellarining qismlari, tebranma harakatda qatnashuvchi konstruksiyalar, zarb ta'sirida ishlaydigan mexanizmlar dinamik yuklar ta'sirida bo'ladi.

### 11.1. Berilgan tezlanishli harakatda kuchlanishni aniqlash

1. Trosni hisoblash.  $a$  - tezlanish bilan yuqoriga harakat qilayotgan, og'irligi  $Q$  bo'lgan yuk po'latdan tayyorlangan trosqa osilgan. Trosni ixtiyoriy  $u$  uzunligidan kesib, pastki qismining muvozanat holatini o'rganamiz (11.1-rasm).



Tros o'zining xususiy og'irligi  $\gamma Ay$ ,  $Q$  yuk va yukni yuqoriga  $a$  tezlanish bilan harakat qilishda hosil bo'lgan qo'shimcha inersiya kuchi  $\frac{Q + \gamma Ay}{g} a$  ta'sirida bo'ladi. Trosning ixtiyoriy tanlangan ko'ndalang kesimidagi dinamik kuchlanish quyidagicha topiladi:

$$\sigma_g = \frac{N_g}{A} = \frac{1}{A} \left( Q + \gamma Ay + \frac{Q + \gamma Ay}{g} \cdot a \right) = \frac{Q + \gamma Ay}{A} \left( 1 + \frac{a}{g} \right)$$

11.1-rasm.  
Trosni  
yuklanish  
sxemasi.

$\frac{Q + \gamma Ay}{A}$  trosning harakatlanmayotgan, ya'ni yukni qo'zg'almas bo'lgan holatiga to'g'ri keluvchi statik kuchlanishni ifodalaydi.

$$\sigma_g = \sigma_{cm} \left( 1 + \frac{a}{g} \right) = K_g \cdot \sigma_{cm} \quad (11.2)$$

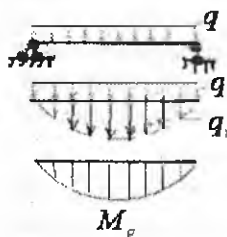
$K_g = 1 + \frac{a}{g}$  dinamik koeffitsiyent deyiladi.

Shunday qilib, yukni tekis tezlanishda harakatlantirsak, dinamik kuchlanish statik miqdordan katta bo'lar ekan.

Sistemaning mustahkamlik sharti  $\sigma_{g \max} = \sigma_{c \max} \cdot K_g \leq [\sigma]$  dan quyidagini hosil qilamiz

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{[\sigma]}{K_g} \quad (11.3)$$

Dinamik koeffitsiyentni nazariy usul bilan topish mumkin bo'lmasa, faqat tajribaviy qiymati ishlatilsa, dinamik masalalar statik hisoblash bilan almashtiriladi.



11.2-rasm.

2. Taqsimlangan kuch intensivligi  $q$  ta'siridagi elementlarda kuchlaishni aniqlash. Teng taqsimlangan kuch intensivligi  $q$  ta'siridagi o'zgarmas kesimli balka  $a$  tezlanish bilan kran yordamida ko'tariladi. Natijada balkaning uzunligi bo'ylab tarqalgan inersiya kuchi  $q_i$  hosil bo'ladi. Balka, taqsimlangan kuch  $q$  ta'siridan tashqari, inersiya kuchidan ham egiladi. Balka taqsimlangan kuch intensivligi  $-q$  ta'sirida

egilganligi uchun, uni ko'tarishda har bir kesimi turli tezlanish bilan ko'chadi. Shuning uchun balkaning uzunligi bo'ylab inersiya kuchining intensivligi o'zgaruvchan bo'ladi. Xususiyl holda balkaning egilishdagi birligi yoki kesimining salqiligi juda katta bo'lsa,  $a$  tezlanish orqali inersiya kuchlari ta'sirida hosil bo'lgan deformatsiyani hisobga olsak ham bo'ladi. Natijada balkaning hamma kesimlarini ko'chish tezlanishi bir xil inersiya kuchi  $q_i$  balkaning uzunligi bo'ylab teng tarqalgan deb qaraladi. Unda dinamik taqsimlangan  $q_g = q + \frac{q}{g}a$  kuch ta'siridagi

eguvchi moment

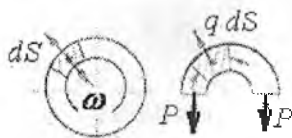
$$M_g = \frac{q_g \cdot l^2}{8} = \left( q + \frac{q}{g}a \right) \frac{l^2}{8} = \frac{q l^2}{8} \left( 1 + \frac{a}{g} \right) = M_c \cdot K_g \text{ va xavfli kesim-}$$

$$\text{dagi dinamik kuchlanish } \sigma_g = \frac{M_g}{W} = \frac{M_c}{W} \cdot K_g = \sigma_c \cdot K_g \quad (11.4)$$

$$\text{va mustahkamlik sharti } \sigma_{g\text{-max}} = \sigma_{c\text{-max}} \cdot K_g = K_g \cdot \frac{q l^2}{gW} \leq [\sigma] \quad (11.5)$$

formulalar bilan topiladi. Lokomotivni ikkita g'ildiragini birlashtiruvchi spurnik (tirsakli-sharnirli o'q) dagi eng katta eguvchi moment ham shu usul bilan aniqlanishi mumkin:

$$M_{\max} = \frac{q_g \ell^2}{8} = \frac{\gamma A \ell^2}{8} \left( 1 + \frac{\omega^2 r}{g} \right)$$



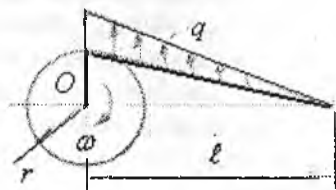
11.3-rasm.

**3. Aylanuvchan halqasimon elementda kuchlanish.** O'zgarmas kesimli tez aylanayotgan halqaning kuchlanishini topamiz. Halqaning aylanishida, ajratilgan  $ds$  uzun likdagi element o'zgarmas burchak tezlik  $\omega$  bilan harakat qiladi.

Burchak tezlanish  $\varepsilon = 0$ , shuning uchun tangentsial tezlanish  $\omega_t = 0$ , markazga intiluvchi tezlanish  $\omega_n = \frac{\omega^2 D}{2}$  halqaning markaziga intiladi. Hosil bo'lgan inersiya kuchi quyidagicha topiladi:  $q ds = \frac{\gamma A \omega^2 D}{g} ds = \omega_n \frac{\gamma A}{g} ds$   $q$  - halqaning bir birlik uzunligidagi inersiya kuchining intensivligi. Halqaning cho'zuvchi kuchi  $P = \frac{Dq}{2}$  ni hisobga olsak, dinamik kuchlanishni topamiz:

$$\sigma_g = \frac{P}{A} = \frac{Dq}{2A} = \frac{D}{2A} \cdot \frac{\gamma A}{g} \cdot \frac{\omega^2 D}{2} = \frac{\gamma \omega^2 D^2}{4g} \quad (11.6)$$

**4. Shatunni hisoblash.** O'zgarmas burchak tezlikda shatunni  $A$  nuqtasida markazga intiluvchi,  $B$  nuqtada faqat tangentsial tezlanish hosil bo'ladi.  $AB$  (11.4) shatunni hamma nuqtasida ( $A$  va  $B$  nuqtalardan tashqari) markazga intiluvchi va tangentsial kuchlanishlar hosil bo'ladi.  $OA$  krivoship  $AV$  shatunga perpendikulyar bo'lgan holatda, markazdan qochuvchi inersiya kuchlari shatun o'qiga perpendikulyar yo'naladi va  $AV$  uzunlikda chiziqli qonuniyat bilan o'zgaradi.  $A$  nuqtada  $q = q_0$  va  $V$  nuqtada  $q = 0$ . Shatunni ikki tayanchli balka deb qabul qilsak, eng katta eguvchi moment  $x = \sqrt{\frac{\ell}{3}}$  masofada hosil bo'ladi:



11.4-rasm. Shatunda dinamik kuch.



$$M_{\max} = \frac{q_i \ell^2}{9\sqrt{3}}, \quad \text{bu yerda} \quad q_i = \frac{A\gamma}{g} \omega^2 r.$$

Dinamik kuchlanish

$$\sigma_n = \frac{M_{\max}}{W} = \frac{q_i^2}{9\sqrt{3}W} = \frac{\gamma A \omega^2 \cdot r \cdot \ell^2}{g 9\sqrt{3}W} \quad (11.7)$$

## 11.2. Tebranma harakatda kuchlanishni aniqlash

Ayrim konstruksiya qismlarini ishlash jarayonida tezlanish yoʻnalishi va ishorasini oʻzgartiradi. Bu holatda kuchlanish va deformatsiyalar ham har davrda ishorasini oʻzgartiradi. Masalan: aylanuvchi yuk osilgan mexanizm bilan jihozlangan balka.



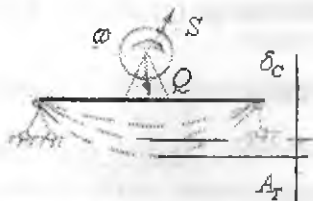
11.5-rasm.

Yukni aylanishida inersiya kuchi hosil boʻladi. Inersiya kuchi balkada har daqiqa ishorasini oʻzgartiruvchi kuchlanish va deformatsiyani keltirib chiqaradi. Balka yukning aylanish davriga teng davr bilan tebranadi. Bunday tebranish majburiy tebranish deyiladi.

Agar, erkin va majburiy tebranishlar davrlari tenglashsa, vaqt oraligʻida tebranish amplitudasi juda tez oʻsadi va rezonans hodisasi sodir boʻladi. Rezonans yemirilishga sabab boʻladi. Shuning uchun rezonans hodisasini cheklash lozim. Buning uchun erkin va majburiy tebranishlar davrlari mos tushmasligi kerak. Kons-truktsiyani loyihalashda (uygʻotuvchi kuchni) majburiy tebranishni davri berillganligi uchun, erkin tebranishning parametrlari - davr, chastota va amplitudalarini tanlash kerak.

Konstruksiyaning tebranma harakati elastik muvozanat holatida davom etadi. Konstruktsiyaning statik deformatsiyasi inersiya kuchi taʼsirida hosil boʻlgan dinamik deformatsiyaga qoʻshiladi. Dinamik deformatsiya tebranma harakatni turiga va amplitudasiga bogʻliq. Choʻzuvchi yoki siquvchi kuch taʼsiridagi prujinani boʻylama tebranishi; xususiy ogʻirligi taʼsirdan tebranayotgan balkani harakati oddiydir. Bu holatda sistemaning deformatsiyasi bitta tekislikdagi (koordinata) yoki yoʻnalishdagi qiymat bilan oʻlchanadi (11.6-rasm).

Bunday tebranma harakat erkinlik darajasi birga teng boʻlgan tebranma harakat deyiladi.



11.6-rasm

Unda balkaning xavfli kesimidagi eng katta salqiligi quyidagicha topiladi:

$$\delta_n = \delta_c + A_m = \delta_c \left( 1 + \frac{A_T}{\delta_c} \right) = K_g \cdot \delta_c \quad (11.8)$$

Balkaning deformatsiyasi elastik bo'lganligi uchun, kuchlanish deformatsiyaga proporsionaldir:

$$\sigma_g = K_g \cdot \sigma_c = \left( 1 + \frac{A_T}{\delta_c} \right) \cdot \sigma_c \quad (11.9)$$

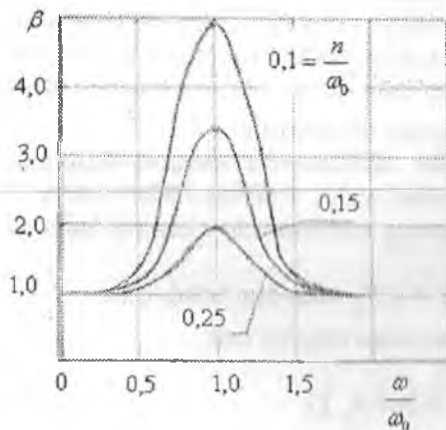
Erkin tebranayotgan  $Q$  yuk harakatining differensial tenglamaci

$$\frac{Q}{g} x'' + cx = 0 \text{ ni echib, erkin tebranish chastotasi } \omega_o = \sqrt{\frac{g \cdot c}{Q}} = \sqrt{\frac{g}{\delta_Q}}$$

va davri  $t_o = \frac{2\pi}{\omega_o}$  topiladi.

**Xususiy hol:** Egilishda dinamik deformatsiya: ikki tayanchli

balka uchun  $\delta_Q = f = \frac{Q\ell^3}{48EI}$  va konsol uchun  $\delta_Q = f = \frac{Q\ell^3}{3EI}$



11.7-rasm. Tebranishni o'sish koeffitsiyenti.

Majburiy tebranishni uyg'otuvchi kuchi  $S$  aylanish davrida sinusoidal chiziq bilan o'zgaradi. Bu holatda  $K_g$  - ning ifodasi ham o'zgaradi:

$$K_g = 1 + \frac{A}{\delta_c} = 1 + \frac{\delta_H}{\delta_c} \cdot \beta \quad (11.10)$$

$$\delta_n = \frac{H}{Q} \delta_Q - \text{eng katta}$$

uyg'otuvchi kuch  $S_{\max} = A$  ta'siridagi deformatsiya:

$$\beta = \frac{A}{\delta_H} - \text{tebranishning o'sish}$$

koeffitsiyenti.  $\beta$  ni qiymati

$\frac{\omega}{\omega_0}$ -nisbatga va tebranishning soʻnish koeffitsiyentiga ( $n$ ) bogʻliq. Agar

$\frac{\omega}{\omega_0} = 1$  va tebranishning soʻnish koeffitsiyenti kichiklashsa, tebranish

amplitudasi va  $\beta$  ni qiymati kattalashadi. Demak, dinamik deformatsiya va kuchlanishlar juda tez oʻsadi. Konstruksiyaning xavfli holatini cheklash uchun, unga tebranishning soʻndiradigan turli moslamalarini oʻrnatish mumkin.

### 11.3. Zarb taʼsirida kuchlanish

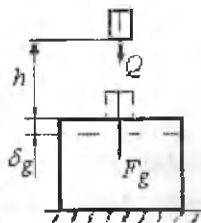
Konstruksiya qismining yoki bir boʻlagining juda kichik vaqt davrida, tezligi oʻzgarishining hodisasi-zarb taʼsirida sodir boʻladi. Zarb taʼsirida zarblanuvchi va zarb beruvchi qismlar orasida juda katta bosim hosil boʻladi. Zarb taʼsirining tezligi qisqa vaqt oraligʻida oʻzgaradi va xususiy holda nolga qadar yaqinlashadi. Chunki zarblanuvchi elementda, zarb beruvchi elementning teskari yoʻnalishga harakatini oʻzgartiruvchi reaksiya hosil boʻladi  $F_g = \frac{Q}{g}a$ , bu erda  $Q$  - zarb beruvchi elementning ogʻirligi. Zarb davomida zarb beruvchi va zarblanuvchi elementlardagi  $F_g$  reaksiyalar oʻzaro teng. Agar  $F_g$  kuch maʼlum boʻlsa, zarblanuvchi elementlardagi kuchlanishni topamiz. Lekin, zarbni davom qilish vaqti nomaʼlum boʻlganligi uchun ( $Q$  yukni-zarb taʼsirini tezligini nolga qadar tushish davri)  $a$  - tezlanishni topib boʻlmaydi. Shuning uchun  $F_g$  kuchning qiymati ham nomaʼlum.  $F_g$  kuchni topish uchun energiyaning saqlanish qonunidan foydalanamiz.

1) zarbning kinetik energiyasi zarblanuvchi element deformatsiyasini potensial energiyasiga aylanadi, yaʼni  $T = I_a$  (11.11)

2) kuchlanish va deformatsiyaning zarblanuvchi elementi hajmida teng tarqalgan deb qabul qilinadi.

Zarb taʼsirining oxirida  $Q$  yuk  $h + \delta_g$  masofani bosib oʻtadi. Unda  $Q$  yukni kinetik energiyasi bajarilgan ishga teng boʻladi:

$$T = A_g = (h + \delta_g) Q \quad (11.12)$$



11.8-rasm. Zarb ta'siri.

Zarblanuvchi element deformatsiyasini potensial energiyasini topish uchun, statik deformatsiyaning potensial energiyasidan foydalanamiz:

$$N_c = \frac{1}{2} Q \cdot \delta_c \quad (11.13)$$

bu yerda  $\delta_c = \frac{Q}{c}$  yoki  $Q = c \cdot \delta_c$ .  $S$  -

elementning birklik ko'effitsiyenti, elementning shakli, o'lchamlari va materiali, deformatsiyasi

turiga bog'lik. Unda  $N_c = \frac{1}{2} Q \delta_c = \frac{c}{2} \cdot \delta_c^2$

Zarblanuvchi elementning deformatsiyasi elastik bo'lsa, dinamik kuchlanish materialning proportsionallik chegarasidan katta bo'lmaydi, unda Guk qonunidan foydalanish mumkin:

$$\delta_c = \frac{F_g}{c} \quad \text{va} \quad U_c = \frac{F_g \cdot \delta_c}{2} = \frac{c}{2} \delta_c^2 = \frac{Q}{2\delta_c} \cdot \delta_c^2;$$

bu yerda  $C = \frac{Q}{\delta_c}$ . Topilgan  $T$  va  $I_g$  larning ifodalarini (11.11) formulaga

keltirib qo'ysak,  $Q = (h + \delta_g) = \frac{Q}{2\delta_c} \delta_g^2$  yoki  $\delta_g^2 = 2\delta_c \delta_g - 2h\delta_c = 0$

hosil bo'ladi. Bu yerdan  $\delta_g = \delta_c \pm \sqrt{\delta_c^2 + 2h\delta_c}$  va

$$\delta_g = \delta_c \left[ 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\delta_c}} \right] = K_g \delta_c \quad (11.14)$$

Guk qonuniga asosan kuchlanish va kuch deformatsiyasiga proportsional; unda

$$\sigma_d = \sigma_c \left[ 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\delta_c}} \right] \quad (11.15)$$

$$F_d = Q \left[ 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\delta_c}} \right] \quad (11.16)$$

bu yerda  $K_g$  – dinamik koeffitsiyent

$$K_g = \left[ 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\delta_c}} \right] \quad (11.17)$$

Yuqoridagi formulalardan ko‘rinishicha dinamik deformatsiya, kuchlanish va kuch statik deformatsiyaga bog‘liq ekan.

Agar  $h = \frac{v^2}{2g}$  bilan almashtirilsa,  $K_g = 1 + \sqrt{1 + \frac{v^2}{g\delta_c}}$  hosil buladi.

Bu yerda  $v$  - zarb beruvchi elementning tezligi .

$$\frac{2h}{\delta_c} = \frac{h \cdot Q}{\frac{Q\delta_c}{2}} = \frac{T_0}{U_c} \text{ ni hisobga olsak, dinamik koeffitsient}$$

quyidagicha topiladi:

$$K_g = 1 + \sqrt{1 + \frac{T_0}{U_c}} \quad (11.18)$$

Bu yerda  $T_0$  - zarb ta'siri boshlangan vaqtdagi yukni kinetik energiyasi: Agar,  $Q$  yuk  $h = 0$  masofadan tushib zarb bersa,  $\delta_g = 2\delta_c$  hosil bo'ladi.  $\sigma_g = 2\sigma_c$  va  $F_g = 2Q$

Masofa  $\delta_c$  deformatsiyadan katta bo'lsa,  $\frac{2h}{\delta_c}$  qiymatga nisbatan ildiz ostidagi bimi hisobga olmasak ham bo'ladi, ya'ni

$$K_g = 1 + \sqrt{\frac{2h}{\delta_c}} \quad (11.19)$$

bu yerda xatolik 5% dan katta bo'lmaydi.

$$\text{Unda, } \delta_g = \delta_c \left( 1 + \sqrt{\frac{2h}{\delta_c}} \right) \quad \text{va} \quad \sigma_g = \sigma_c \left( 1 + \sqrt{\frac{2h}{\delta_c}} \right)$$

Agar,  $\frac{2h}{\delta_c}$  qiymatni juda katta deb qabul qilsak,  $K_g$  -ni quyidagi formula bilan topamiz:

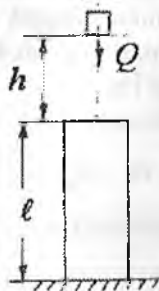
$$K_g = \sqrt{\frac{2h}{\delta_c}} = \sqrt{\frac{T_o}{U_o}} \quad (11.20)$$

Bu yerda  $\sigma_g = \sigma_s \frac{\sqrt{2h}}{\sigma_s}$  kuchlanishni hisoblashda qo'yilgan

xatolik 10 % oshib ketmasligi kerak  $\frac{2h}{\delta_c} > 110$  Zarbni xususiy hollari.

1). **Cho'zilish yoki siqilish.** Dinamik koeffitsiyentni taqribiy formula yordamida topaylik.

$$K_g = \sqrt{\frac{T_o}{U_c}} \quad \text{bu yerda} \quad U_c = \frac{Q\delta_c}{2} = \frac{Q^2\ell}{2EA} = \frac{\sigma_c^2 AE}{2E}; \quad \sigma = \frac{Q}{A}$$



11.9-rasm. Zarb ta'sirida siqilish.

Dinamik kuchlanish:

$$\sigma_g = K_g \sigma_c = \sqrt{\frac{2T_o E}{\sigma_c^2 A \ell}} \cdot \sigma = \sqrt{\frac{2T_o E}{A \ell}} \quad (11.21)$$

Demak, statik kuchdagidek dinamik kuch ta'sirida ham dinamik kuchlanish siqilayotgan sterjenning ko'ndalang kesim yuzasiga bog'liq ekan. Statik kuch sterjenning o'lchamiga bog'liq emas. Dinamik kuch va dinamik kuchlanish, zarbni ta'sir qilish davomiga, sterjenning materialiga va uzunligiga bog'liq. Dinamik kuch ta'siridagi elementning mustahkamlik shartini yozamiz.

$$\sigma_g \leq |\sigma_g| \quad (11.22)$$

Bu yerda  $|\sigma_g| = \frac{\sigma_{\text{ok}}}{K_g}$  ruxsat etilgan dinamik kuchlanish.

$K_g = 1,5 \dots 2,0$  - zarb ta'siriga ehtiyotlik koeffitsiyenti

2) **Egilish.** Egilishda statik deformatsiya, balkani uchlarini mahkamlanish shartiga va tashqi kuch bilan yuklanish sxemasiga bog'liq. Masalan: ikkita sharnirli tayanchga tayangan balka uzunligini o'rtasida  $Q$  yuk ta'sirida (11.10-rasm)

$$f_c = \delta_c = \frac{Q\ell^3}{48EI}; \quad \sigma_c = \frac{Q\ell}{4 \cdot W} \quad \text{va} \quad U_c = \frac{Qf_c}{2} = \frac{Q^2\ell^3}{96EI}$$

Dinamik kuchlanish

$$\sigma_g = K_g \sigma_c = \frac{Q\ell}{4W} \sqrt{\frac{96T_o EI}{Q^2\ell^3}} = \sqrt{\frac{6T_o EI}{W^2\ell^3}}$$

Agar,  $I = i^2 A$  va  $W = \frac{I}{Y_{\max}} = \frac{i^2 A}{Y_{\max}}$  bo'lsa:



$$\frac{I}{W^2} = \frac{i^2 A}{\left(\frac{i^2 A}{Y_{\max}}\right)^2} = \left(\frac{Y_{\max}}{i^2}\right)^2 \cdot \frac{1}{A} \quad \text{Unda}$$

dinamik kuchlanish:

$$\sigma_g = \frac{Y_{\max}}{i} \sqrt{\frac{6TE}{Al}} \quad (12.23)$$

11.10-rasm. Zarb ta'sirida egilish.



Formuladan ko'rinishicha, egilishda dinamik kuchlanish balka materialining elastik moduliga, kesimning o'lchamlari va shakliga, balkani tayanish shartiga bog'liq.

Masalan: to'g'ri burchakli kesim:  $\frac{Y_{\max}}{i} = \frac{\frac{h}{2}}{\sqrt{\frac{bh^3}{12bh}}} = \sqrt{3}$  va  $\sigma_g = \sqrt{\frac{18T_o E}{Al}}$

Doiraviy kesim  $\frac{Y_{\max}}{i} = \frac{\frac{d}{2}}{\sqrt{\frac{\pi \cdot d^4 \cdot 4}{64 \cdot \pi \cdot d^2}}} = 2$  va  $\sigma_g = \sqrt{\frac{24T_o E}{Al}}$

Dinamik koeffitsiyentni aniqlash uchun taqribiy formula tadbiiq etilmasa, dinamik kuchlanish quyidagicha topiladi:

$$\sigma_g = \frac{Ql}{4W} \left[ 1 + \sqrt{1 + \frac{96T_o EI}{Q^2 l^3}} \right] \leq [\sigma_g] \quad (11.24)$$

**3. Buralish.** Aylanayotgan valni bir uchining harakatini qisqa vaqt oralig'ida cheklab qo'ysak, (tormozlansa), ikkinchi uchiga maxovikni ta'siri  $T$  qo'yilsa, valda zarb ta'siridagi burovchi moment hosil bo'ladi. Dinamik buralish burchagi  $\delta_g = \varphi_g = K_g \varphi_c$  va kuchlanish

$$\tau_g = \tau_c \cdot K_g = \tau_c \sqrt{\frac{T_o}{U_c}}$$

Bu yerda  $\varphi_c = \frac{M\ell}{GI_p}$   $U_c = \frac{M \cdot \varphi_c}{2} = \frac{M^2\ell}{2GI_p}$ , unda

$$\tau_g = \frac{M}{W_f} \sqrt{\frac{2T_o GI_p}{M^2\ell}} = \sqrt{\frac{2T_o GI_p}{W_f^2 \ell}}$$

$$\frac{I_p}{W_f^2} = \frac{\pi \cdot d^4}{32} \cdot \frac{1}{\left(\frac{\pi \cdot d^3}{16}\right)^2} = \frac{8}{\pi \cdot d^2} = \frac{2}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}} = \frac{2}{A}$$

Dinamik kuchlanish

$$\tau_g = 2 \sqrt{\frac{T_o G}{A \ell}}$$

Dinamik deformatsiya:

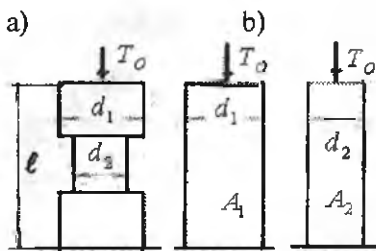
$$\varphi_g = \frac{M\ell}{GI_p} \sqrt{\frac{2T_o GI_p}{M^2\ell}} = \sqrt{\frac{2T_o \ell}{GI_p}}$$

#### 11.4. O'zgaruvchan kesimli sterjenlarda zarb ta'siridagi kuchlanish

Bo'ylama zarb ta'sirida kuchlanishni kamaytirish uchun sterjenning hajmini kattalashtirish kerak, ekanligini oldingi paragrafda ko'rib o'tdik. Bu nazariya, agar sterjenning hajmi uning uzunligi bo'ylab o'zgarmas bo'lsa - o'rindidir. Sterjenning uzunligi bo'ylab ko'ndalang kesim yuzasi o'zgaruvchan bo'lsa, amaliyotda yuqoridagi nazariyalarda o'zgarish bo'lishi mumkin. Masalan: uzunligi bo'ylab  $d_1 > d_2$  diametrlri kesimning eng katta kuchlanishi  $d_2$  diametrlri kesimda hosil bo'ladi. Eng katta kuchlanish sterjenning zaiflashgan kesimi diametriga va uning siquvchanligiga bog'liq. Bu holda sterjenning kuchlanishi ikki xil usul bilan kamaytirilishi mumkin:

1) sterjenning zaiflashgan kesimini  $d_1$  diametr bilan tayyorlash: bunda sterjenning kesim yuzasi kattalashadi; siqiluvchanligi kamayadi:





11.11-rasm. Zarb ta'sirida:

- a) pog'onali brus; o'zgarmas kesimli har xil diametrli;  
 b) - v) bruslar.

$F_g$  kamayadi, kuchlanish ham kamayadi. Bu nazariyalarni hisob usuli bilan tekshiramiz 11.11-rasmda ko'rsatilgan uchta sterjenga ham bir xil  $T_0 = Qh$  zarb ta'siri qo'yib quyidagini belgilaylik

$$\frac{A_2}{A_1} = q \text{ va } \frac{\ell_2}{\ell_1} = P$$

Kuchlanishni taqribiy formula yordamida topamiz: a-sxema uchun (11.11-rasm)

$$\sigma_g = \sigma_g \sqrt{\frac{2h}{\Delta\ell}} = \frac{Q}{A_2} \sqrt{\frac{2h}{\Delta\ell}} = \sqrt{\frac{2T_0 Q}{A_2^2 \Delta\ell}}$$

Bu yerda

$$\Delta\ell = \frac{Q\ell_2}{EA_2} + \frac{Q(\ell_1 - \ell_2)}{EA_1} = \frac{Q\ell_1}{EA_2} [P + q(1-P)]$$

Unda

$$\sigma_g = \sqrt{\frac{2T_0 Q}{A_2^2 \frac{Q\ell_1}{EA_2} [P + q(1-P)]}} \quad (11.25)$$

inersiya kuchi bir oz ortadi.

v) Kesim yuzasi kattalashishi hisobiga kuchlanish kamayadi. Agar sterjen zaiflashgan kesimni taqozo qilsa bu variant kerak emas.

2) Sterjenning mustahkamligini oshirish uchun, uni siqiluvchanligi orttiri-lisii kerak. Siqiluvchanlik, asosan sterjenning uzunligi bo'ylab  $d_2$  diametr bilan tayyorlash evaziga ortti-riladi. Unda dinamik kuch

O'zgarmas kesimli ( $\delta$  va  $b$ ) sterjenlar uchun  $\sigma_\delta = \sqrt{\frac{2T_\delta E}{4h}}$  va

$$\sigma_B = \sqrt{\frac{2T_\alpha E}{A_2 h}} \text{ va } [P + q(1 - P)] < q < 1, \text{ demak, } \sigma_a > \sigma_b > \sigma_\delta$$

Shunday qilib, (a) sxemada – diametрни 20% kichiklashtirilishi, kuchlanishni 50% ga kattalashtiradi, agar sterjenning uzunligi bo'ylab bir xil  $d_2$  diametrdagi tayyorlansa, kuchlanish 20% ga yaqin kamaytiriladi. O'zgaruvchan kesimli sterjenlarga bo'ylama zarb ta'sirida ishlaydigan boltlarni misol qilish mumkin. Bolt zarb ta'sirini yemirilmasdan o'tkazib yuborishi uchun, uni uzunligi bo'ylab diametринi rezbaning ichki diametriga teng qilib tayyorlash kerak. Buning uchun boltning sirti yo'niladi yoki unda ichki kanal hosil qilinadi. Ko'pincha sterjenning uzunligi kattalashtirilishi evaziga ham kuchlanish kamaytiriladi.

**Zarbga sinash.** Tajribalar natijasiga ko'ra, bir xil materialdan tayyorlangan namunalar statik va dinamik kuchlarga har xil qarshilik ko'rsatishi aniqlangan. Masalan: Namunalarni cho'zilishga katta tezlikda sinashda olingan diagramma statik kuch ta'siridagi diagrammadan farq qiladi (11.12-rasm).

1) dinamik kuch ta'sirida materialning oquvchanlik va mustahkamlik chegaralari kattalashadi;

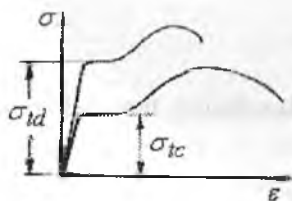
2) yemirilishdagi qoldiq deformatsiyasi kamayadi;

3) diagramma  $\sigma$  o'qi tomonga siljiydi;

4) oquvchanlik vaqti kamayadi;

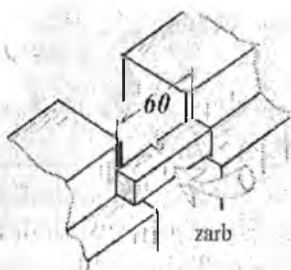
5) materialning elastiklik moduli kattalashadi.

Zarb ta'sirida plastik materialda mo'rtlik namoyon bo'lishi mumkin, ya'ni plastik material mo'rt materialdek yemiriladi. Davidenko N.N. tajribasiga asosan, zarb ta'siridan oquvchanlik chegarasi 20-70% ga, mustahkamlik chegarasi 10-30% ga ortadi.



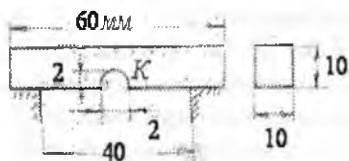
a)

Materialni zarbga sinash uchun maxsus namuna tayyorlanadi. (11.13-rasm). Materialni og'irroq vaziyatda ishlatish uchun namunada o'lchamlari 2 mm bo'lgan kanal tayyorlanadi. Mayatnik tipidagi koperda (11.14-rasm) namunaga K nuqtadan zarb beriladi.



b)

11.12-rasm. Dinamik siqilish va cho'zilish diagrammasi.



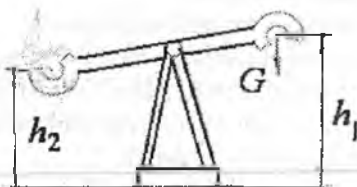
11.13-rasm. Zarbga sinash namunalari.

$S$  mayat nik  $h_1$  balandlikdan tushib namunani yemiradi va ortiqcha qolgan energiya hisobiga  $h_2 \leq h_1$  balandlikka ko'tariladi. Mayatnikning bajargan ishi  $W_{mu} = G(h - h_2)$  - ning bir qismi namunani yemirishga sarflanadi. Ishning bir qismi ishqalanishga, havoning qarshiligini yengishga sarflanadi.

Materialni zarb ta'siriga qarshilik ko'rsatib bilish qobiliyatini zarbga qovushqoqhk tavsiflari aniqlaydi:

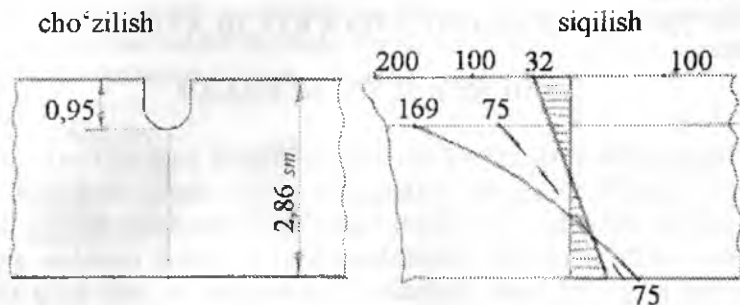
$$a = \frac{W_1}{A} = \frac{W - \Delta W}{A} \quad (11.26)$$

$a$  - tavsiflar qancha katta bo'lsa, materialni zarb ta'siriga qarshilik ko'rsatish qobiliyati shuncha yaxshi bo'ladi.  $a$ -ning qiymati tajribani o'tkazish sharoitiga, namunali o'lchamlariga bog'liq bo'ladi.



11.14-rasm. Koper.

Namunani zaiflashgan kesimida kuchlanishning tarqalish qonuniyatini (11.15-rasm)da ko'rsatilgan:



11.15-rasm. Zarb ta'sirida materialni mexanik xarakteristikasi.

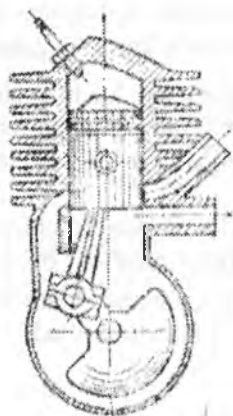
(a) diagramma namunani kanalcha bo'lmagan paytdagi kuchlanish epyurasi. (b) diagramma namunani zarb ta'siridan egilishdagi normal kuchlanish ( $\sigma_{1y}$ ) epyurasi. Punktir chiziqli epyura kanal yonida kuchlanishni mahalliy to'plami hosil bo'lmagan paytdagi kuchlanishni tarqalish qonuniyati. Diagrammadan ko'rinishicha, namunani balandligini 0,95 sm ga kamaytirganda, kuchlanishning-mahalliy to'plami bilan 5,22 marotaba kattalashar ekan.

Kanalchani asosida joylashgan material hajmiy kuchlanganlik holatida bo'ladi.  $\sigma_2$  kuchlanish namunani o'qiga parallel,  $\sigma_1$  perpendikulyar joylashadi. Material oquvchanlik chegarasidan katta bo'lgan  $\sigma_1 = 1,25\sigma_T$  plastik deformatsiya oladi va mo'rt holatda bo'ladi.

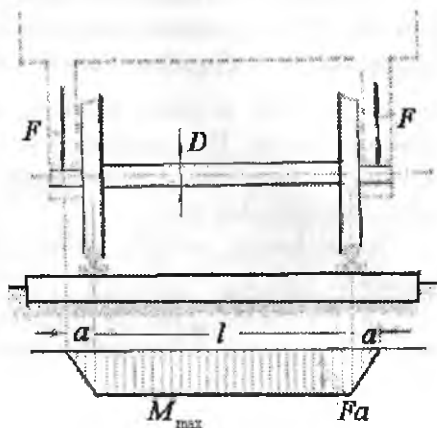
## XII BOB. O'ZGARUVCHAN KUCHLANISHLAR.

### UMUMIY TUSHUNCHALAR

Materiallarni, sistematik ravishda qiymatini yoki qiymati va ishorasini o'zgartirib turadigan yuklarga qarshiligi, ularni statik yoki zarb ta'siriga qarshiligidan farq qiladi. Shuning uchun materialning o'zgaruvchan yuklar ta'siridagi mustahkamligini o'rganish masalasi alohida ahamiyatga ega. Qiymati jihatidan o'zgaruvchan va juda ko'p takrorlanadigan yuklar ta'sirida mashinalarning qismlari, tasodifan va sezilarli darajada qoldiq deformatsiya hosil qilmay yemirilishi qiziqtirib qolgan edi.



*IChki yonuv dvigateli –  
krivoship-porshen guruhi*



*Poezd g'ildiragining o'qi uchun  
eguvchi moment epyuri*

O'zgaruvchan yuklar ta'sirida materiallarni strukturasi o'zgaradi, shuning uchun materialda «toliqishi» – «charchash» hosil bo'lib, emiriladi-plastiklik mo'rtlik bilan almashadi degan fikr paydo bo'lgan edi. XX asrni boshlarida metallarning strukturasi va mexanik xossalari o'zgaruvchan kuchlanishlar ta'siridan o'zgarmas ekanligi isbotlanadi.

Masalan: parovoy mashinani shtoki yoki poezd vagonining o'qi uzoq vaqtlar o'zgaruvchan kuchlanishlar ta'sirida ishlasa ham, o'zining strukturasi va plastiklik xossalarini o'zgartirmaydi. Ko'plab o'tkazilgan tajribalar shuni ko'rsatdiki, o'zgaruvchan yuklar ta'siridagi metalni sirtida mikrodarz (yorilish) paydo bo'ladi. Mikrodarz o'sib, boshqa

mikrodarzlar bilan qoʻshiladi va detalni ichkari tomon rivojlantiradi. Oʻzgaruvchan yuklar taʼsirida darz ketgan yuzalar oʻzaro yaqinlashadi va bir-biriga bosim taʼsirini oʻtkazadi.

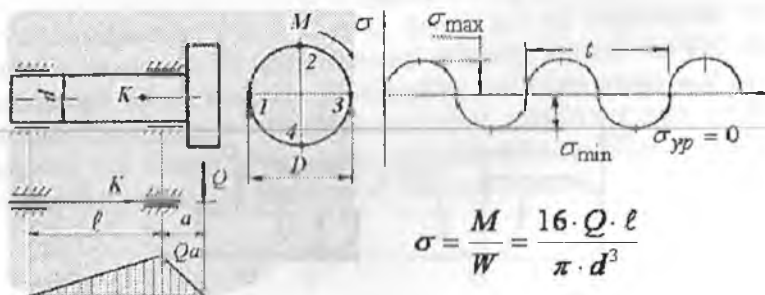


Siklik yuklanishda boʻlgan mexanik uzatmaning tishida va valdagi darz yorihs. Natijada darz yuzalari silliqlashadi. Yangi rivojlangan darz yuzasi esa qoʻpol va donador boʻladi. Bu holat moʻrt yemirishga yaqindir.

Oʻzgaruvchan yuklar taʼsiridagi yemirilishni bunday mexanizmi, darz rivojlanishi bilan detalning kesimi zaiflashishi va detalni mustahkamligi kamayib borayotganligini toʻgʻri tushuntirida. Darzning asosidagi material hajmiy kuchlanganlik holati-mahalliy tavsifga ega, chunki darz va kuchlanganlik holati materialning hamma qismida ham hosil boʻlmaydi.

Demak, texnikani, fanni rivojlanishining yangi etapida-materiallarni oʻzgaruvchan yuklar taʼsirida yemirilishiga asosiy sabab, uning «toliqishi» – «charchashi» emas ekan, balki detalning sirtida hosil boʻlgan darz yuzasi ekan. Shuning uchun, toliqish terminida-materiallarni asta-sekin rivojlanadigan mikrodarzlar taʼsirdan emirilishi tushuniladi.

### 12.1. Kuchlanish sikllarining turlari



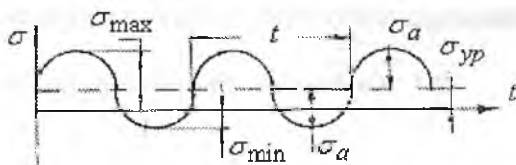
12.1-rasm. Valning kesimida hosil boʻlgan eguvchi moment va siklik oʻzgarib turuvchi normal kuchlanish

Bir uchiga shkiiv oʻatilgan valni sirtidan toʻgʻri keladigan kuchlanishni topaylik. Agar, val shkiivning ogʻirligi  $Q$  taʼsiridan egiladi deb qabul qilsak, valning koʻndalang kesim yuzasida egilishdagi normal kuchlanishlar hosil boʻladi. Kesim yuzasidan ajratilgan 1 va 3 nuqtalar (12.1-rasm) neytral oʻq ustida joylashadi. Shuning uchun bu nuqtalarda egilishdagi normal kuchlanish nolga teng. 2 va 4 nuqtalar val materialning choʻziladigan va siqiladigan tolalarida joylashgan. Bu nuqtalardagi normal kuchlanishlar oʻzaro teng va qarama-qarshi ishoralidir.

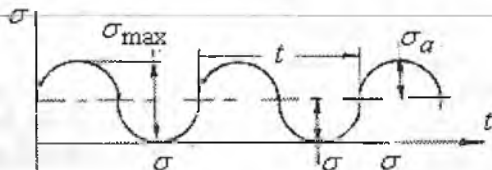
Agar, valning aylanishini hisobga olsak, vaqt oraligʻida, yaʼni maʼlum davrda ( $T$ ) bu nuqtalarning oʻmi almashib turadi. Demak,  $K$  nuqtaning holati 1,2,3 va 4 nuqtalar holati bilan mos tushishi mumkin ekan. Natijada,  $K$  nuqtaning kuchlanishi vaqt oraligʻida qiymatini va ishorasini oʻzgartiradi. Bir davr ichida kuchlanishning oʻzgarishiga kuchlanish sikli deyiladi.

Konstruktsiya qismlarini ishlash jarayonida kuchlanishlar sikllari juda koʻp davom etishi mumkin va turlicha boʻladi (12.2-rasm). Masalan: Nosimmetrik oʻzgaruvchan kuchlanishlar (12.2-rasm,a,b) maksimal va minimal qiymatlari teng va bir xil ishorali va noldan boshlanadigan sikli boʻladi. Agar kuchlanishlarni ( $\sigma_{\max} = \sigma_{\min}$ )

a)



b)



12.2-rasm. Sikl turlari:  
a) nosimmetrik; b) pulsatsiyali.

maksimal va minimal qiymatlari teng va bir xil ishorali bo'lsa, o'zgar-mas kuchlanishlar deyiladi. Simmetrik siklli o'zgaruvchan kuchlanish-larni maksimal va minimal qiymatlari bir-biriga teng va har xil isho-ralidir. Kuchlanishlarning ishorasini hisobga olganda, minimal kuch-lanishni maksimal kuchlanishga nisbati sikl tavsifi deyiladi, ya'ni:

$$\eta = -\frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}$$

Siklning o'rtacha kuchlanishi: 
$$\sigma_{\delta\delta} = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2}$$

Sikl kuchlanishining amplitudasi: 
$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}$$

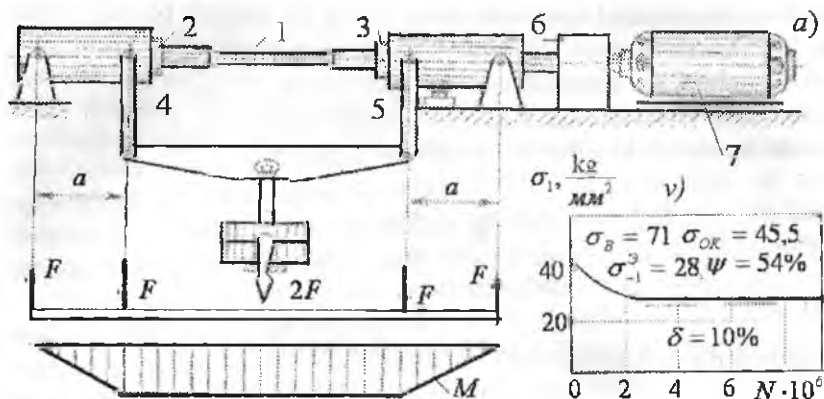
## 12.2. Simmetrik siklda chidamlilik chegarasini aniqlash

Materialda darz paydo bo'lib emirilishi uchun faqat uning toliqishi kifoya qilmasdan, balki eng katta kuchlanishi materialning chidamlilik chegarasidan oshib ketishi kerak.

Chidamlilik chegarasi deb, tsikllar soni juda ko'p bo'lganda, detalni toliqib emirilishiga sabab bo'lmaydigan eng katta kuchlanishga aytiladi.

Simmetrik sikllarda chidamlilik chegarasi  $\sigma_{-1}$ , oddiy cho'zilish va siqilishda  $\sigma_{+1}$  bilan belgilanadi. Simmetrik sikllarda chidamlilik chegarasi boshqa tsikllardagi chidamlilik chegarasidan kichik va uni tajribada aniqlash mumkin. Buning uchun bir xil materialdan 6-10 ta namuna tayyorlab olinadi. Namuna doiraviy kesimli bo'lib, shariko-podshipnik orqali shunday yuklanadiki, uni o'rta qismi sof egilishga ishlasin (bu holatda  $\tau = 0$ ). Namuna (2000 ... 3000) ayl./min. tezlik bilan aylanadi (12.3-rasm). Namunada mahalliy kuchlanishlar to'plami hosil bo'lmasligi uchun, uni shakli silliq etib tayyorlanadi.





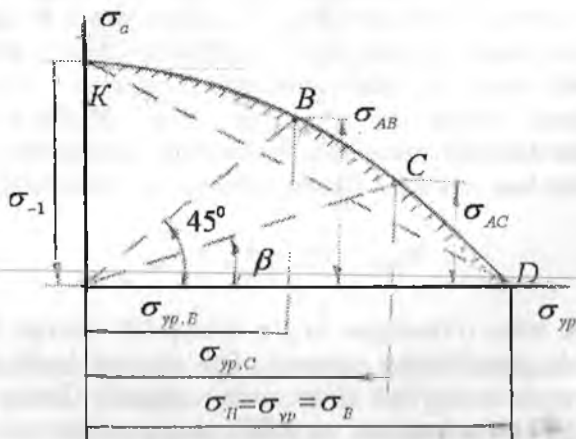
12.3-rasm. Valni o'zgaruvchan kuchlanishga sinash qurilmasi:  
 a) qurilma, v) diagramma  
 1 - namuna, 2 - chap support, 3 - o'ng support, 4 va 5 - richag,  
 6 - indiator, 7 - elektrodvigatel.

Birinchi namuna mashinaga o'ratiladi va tashqi kuch bilan shunday yuklanadiki, uning ko'ndalang kesimidagi eng katta normal kuchlanish, materialning mustahkamlik chegarasidagi kuchlanishni 0,5...0,6 qismini tashkil qilsin. Mashina ishlashi bilan val aylana boshlaydi va  $+\sigma'$  dan  $-\sigma'$ -gacha o'zgaruvchi kuchlanishlar ta'sirida bo'ladi. Tajriba namuna yemirilguncha davom ettiriladi. Namuna yemirilishi bilan mashina to'xtatiladi. Moslamani hisoblash asbobi, namunani yemirilishiga qadar aylangan sikl  $N_1$  sonini ko'rsatadi. Ikkinchi namuna  $\sigma'$  kuchlanishdan kichik  $\sigma''$  kuchlanishi bilan yuklanadi va yemirilish sikli  $N_2$  yozib olinadi. Uchinchi namunaga  $\sigma''' < \sigma''$  kuchlanishi beriladi va h.k. Har bir tajribada tsikl soni yozib olinadi. Kuchlanish kamayib borishi bilan sikl soni ortib boradi, ya'ni  $\sigma' > \sigma'' > \sigma''' > \sigma^{IV} > \dots$  kuchlanishlar uchun  $N_1 < N_2 < N_3 < \dots$  sikllar soni to'g'ri keladi. Kuchlanishlarni kamaytiraverib, shunday sikl sonini topamizki, bunda namuna yemirilmaydi. Agar po'lat materialidan tayyorlangan namuna  $N = 10 \cdot 10^6$  siklda yemirilmasa,  $N = 100 \cdot 10^6 - 200 \cdot 10^6$  siklda ham yemirilmas ekan. Tajriba natijalarini, masalan, xromnikelli po'lat materiali uchun, grafikda ifodalash mumkin (12.3-rasm, v). Buning uchun, ordina-taga har bir namunada hosil qilingan kuchlanishlari, absissada esa sikl

sonlari joylashtiriladi. Egri chiziqqa o'tkazilgan gorizontaal urinmani ordinatasi materialning chidamlilik chegarasini aniqlaydi. Po'lat materialini egilishdagi chidamlilik chegarasi oddiy cho'zilish va siqilishdagi mustahkamlik chegarasi bilan bog'liq:  $\sigma_{-1}^3 = 0,4\sigma_B$ . O'zgaruvchan cho'zuvchi yoki siquvchi kuch ta'siridagi po'latni chidamlilik chegarasi  $\sigma_{-1}^0$  egilishdagi chidamlilik chegarasidan kichik, ya'ni:  $\sigma_{-1}^0 = 0,7$ ; va  $\sigma_{-1}^3 = 0,28\sigma_B$ , chunki cho'zilish va siqilishda kesimining hamma nuqtasi bir xil kuchlanish ta'sirida bo'ladi. Egilishda eng katta kuchlanish, kesimning chetki tolalarida hosil bo'ladi, qolgan materialda kuchlanishning qiymati kichiklashadi. Buralishda chidamlilik chegarasi  $\tau_{-1}^0 = 0,55\sigma_{-1}^0 = 0,22\sigma_B$  va rangli metallar uchun.  $\sigma_{-1}^3 = (0,24..0,50)\sigma_B$

### 12.3. Nosimmetrik siklda chidamlilik chegarasini aniqlash

Nosimmetrik siklda materialning chidamlilik chegarasini aniqlash bir oz murakkab. Chunki namunani egilishi bilan bir qatorda uni cho'zuvchi va siquvchi kuch bilan ham yuklash kerak. Bu holat sinov mashinalarini murakkablashtirishga, qo'shimcha moslamalar tayyorlashga olib keladi. Shuning uchun, nosimmetrik sikllarda materialni



12.4-rasm. Nosimmetrik tesikda chidamlilik chegarani aniqlash diagrammasi.

chidamlilik chegarasini aniqlash uchun, tajribalar asosida qurilgan diagrammadan foydalanamiz (12.4 – rasm). Diagrammani absissasida oʻrtacha kuchlanish  $\sigma_m$  va ordinatasida kuchlanishlar amplitudasi  $\sigma_0$  joylashtiriladi. Har xil sikllardagi kuchlanishlar yordamida  $KBCD$  egri chiziq oʻtkazilgan. Birorta sikl tavsifini qiymati uchun chidamlilik chegarasini topish uchun, koordinatani  $O$  nuqtasidan absissaga  $\beta$  burchak ostida  $OS$  chiziqni oʻtkazamiz:

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{\sigma_a}{\sigma_{yp}} = \frac{1-\eta}{1+\eta}$$

$CC_1$  va  $OC_1$  masofalarni va tegishli  $\sigma_{rc}$  va  $\sigma_{\max}$  kuchlanishlarni yigʻindisi, chidamlilik chegarasining qiymatini beradi, yaʼni

$\sigma_{rc} = \sigma_{\max} = \sigma_{ac} + \sigma_{yp}$ . Absissasi  $\sigma_{yp} = 0$  boʻlgan  $K$  nuqtaning

ordinatasi  $OK = \sigma_{-1}$  simmetrik siklda chidamlilik chegarasini ordi-

natasi  $\sigma = 0$  boʻlgan  $D$  nuqtani absissasi  $OD = \sigma_{yp} = \sigma_{+1} = \sigma_B$

oʻzgarmas kuchlanishdagi chidamlilik chegarasini aniqlaydi.  $\beta = 45^\circ$

burchak ostida joylashgan  $B$  nuqta noldan boshlanadigan siklning chi-

damlilik chegarasini aniqlaydigan oquvchanlik chegarasi boʻlmagan

materiallar uchun chidamlilik chegarasi, statik yuk taʼsiridagi mustah-

kamlik chegarasiga oʻxshagan xavfli hisoblanadi. Agar material plastik

boʻlsa, statik yuk taʼsirida oquvchanlik chegarasi va oʻzgaruvchan

kuchlanishlarda chidamlilik chegarasi xavfli hisoblanadi. Bunday

materiallarda toliqish yemirilishi bilan birga plastik deformatsiyalar

paydo boʻlishi ham xavflidir. Bunda siklning eng katta kuchlanishi

$$\sigma_{\max} = \sigma_a + \sigma_{yp} = \sigma_{OK}$$

Burchak bilan oʻtkazilgan toʻgʻri chiziq  $KB$  chiziqni kesib oʻtsa,

detal toliqish yemirilishiga uchraydi;  $BD$  chiziqni kesib oʻtsa, plastik

deformatsiya paydo boʻlishi bilan ishdan chiqadi. Chiziq statik yuk-

lanishda xavfli kuchlanishni va  $KBD$  chiziq oʻzgaruvchan kuchlar

taʼsiridagi xavfli kuchlanishni bildiradi.

## 12.4. Chidamlilik chegarasiga ta'sir qiluvchi faktorlar

Tajribalar shuni ko'rsatadiki, chidamlilik chegarasiga kuchlanishlar konsentratsiyasi, detalni o'lchamlari, detal sirtini holati, detalni texnologik ishlov berish tavsifi ta'sir qiladi.

a) **kuchlanishlar konsentratsiyasi.** Uzunligi bo'ylab kesimi bir jinsli bo'lmagan detallarda, kichik diametrdan katta diametrga o'tish joylarida yoki zaiflashgan kesimlarda (12.5, 12.6-rasm) kuchlanishlarni tarqalish qonuniyati o'zgaradi va mahalliy kuchlanish, ya'ni kuchlanishlar to'plami hosil bo'ladi.

$$\sigma_M = \alpha_k \frac{F\ell}{W}$$

Bunday kuchlanishlarga kuchlanishlar konsentratsiyasi deyiladi. Maksimal kuchlanishni nominal kuchlanishga nisbati kuchlanishlar konsentratsiyasining koeffitsiyenti deyiladi:

$$\alpha_{KH} = \frac{\sigma_M}{\sigma_{HOM}} \quad (12.27)$$

Bu holatda namuna materiali izotrop va elastik deb qaraladi.

Kuchlanishlar konsentratsiyasining haqiqiy koeffitsiyenti materialning hamma xususiyatlarini hisobga oladi va uni qiymati tajribalar asosida topiladi.

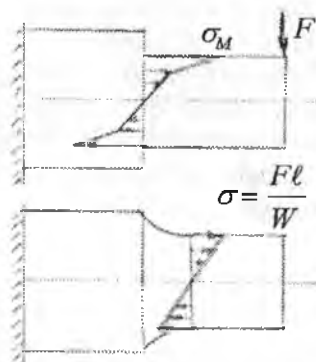
Materialning mahalliy kuchlanishlarga sezgirligi  $q$  yuqoridagi koeffitsiyentlarga bog'liq:

$$q = \frac{\alpha_{kg} - 1}{\alpha_{KH} - 1} \quad (12.28)$$

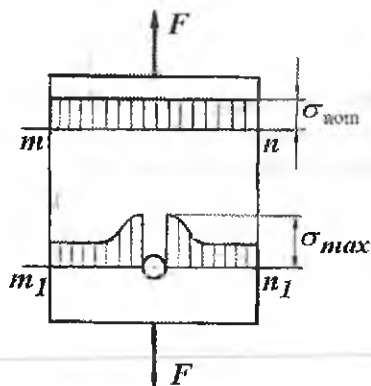
$q$  - ning qiymati yuqori sifatli, termik ishlov berilgan legirlangan po'latda birgacha, kamuglerodli po'latda 0,5 gacha, cho'yonda nolga yaqin bo'ladi. Demak, mustahkamlik chegarasi katta bo'lgan materiallarda  $q$  - ni qiymati katta ekan. Agar,  $\sigma_{HOM} = \sigma_{-1}$  va  $\sigma_M = \sigma_{-1K}$

deb qabul qilsak,  $\alpha_{kg} = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{-1K}}$  hosil bo'ladi. Unda kuchlanish konsentrat-

siyasining haqiqiy koeffitsiyenti chidamlilik chegarasi bilan bog'liq bo'ladi  $\alpha_{kg} = 1 + q(\alpha_{KH} - 1)$ .



12.5-rasm. O'zgaruvchan kesimlarda kuchlanishlar konsentratsiyasi.



12.6-rasm. Notekislik atrofida kuchlanishlar konsentratsiyasi

Po'lat materiali uchun  $\alpha_{kg} = 1,2 + 0,2 \frac{\sigma_B - 40}{110}$ ; kanavkalar, kesimlar o'zgaradigan joylar bo'lsa  $\alpha_{kg} = 1,5 + 1,5 \frac{\sigma_B - 40}{110}$  formula ishlatiladi. Toliqish yemirilishlari kesimlarni o'zgaradigan joylarda, notekisliklar

atroflarida boshlanadi. Bunday hollarda detalning chidamlilik chegarasi kamayadi.

## 12.5. O'zgaruvchan kuchlanishlarda mustahkamlik sharti

Turli tsikllardagi xavfli kuchlanishning qiymati 12.3-12.4-rasm-lardagi diagrammalar asosida topiladi. Mo'rt materiallar uchun 12.4-rasmdagi diagrammani  $KD$  to'g'ri chizig'idan tashqarida joylashgan kuchlanish xavfli deb olinadi. Plastik materiallar uchun  $KN$  to'g'ri chiziqdan (12.5) tashqaridagi kuchlanish xavfli deb olinadi. Ruxsat etilgan kuchlanishni tanlash uchun diagrammalarni absissa va ordi-natalari mustahkamlikka bog'liq kamaytirish kerak. O'zgarmas yukda kuchlanishni ruxsat etilgan qiymati quyidagicha topiladi:

Plastik material uchun:

$$[\sigma_{+1}] = \frac{\sigma_{OK}}{K_{01}} \quad (12.29)$$

Mo'rt material uchun:

$$[\sigma_{+1}] = \frac{\sigma_{\beta}}{K_{02} \cdot \alpha_{kg}}$$

Bu yerda  $K_{01}$  - oquvchanlik chegaraga nisbatan mustahkamlikka ehtiyotlik koeffitsiyenti.

$K_{02}$  - mustahkamlik chegaraga nisbatan mustahkamlikka ehtiyotlik koeffitsiyenti.

$\alpha_{kg}$  - kuchlanishlar konsentratsiyasining haqiqiy koeffitsiyenti.

Simmetrik siklda chidamlilik chegarasida ( $\sigma_{-1}$ ) xavfli kuchlanish bo'ladi:

Mo'rt material uchun:

$$[\sigma_{-1}] = \frac{\sigma_{-1}}{K_0 \cdot \alpha_{kg} \cdot \alpha_n}$$

Plastik material:

$$[\sigma_{-1}] = \frac{\sigma_{-1}}{K_0 \cdot \alpha_{kg} \cdot \alpha_M \cdot K_T \cdot K_3 \cdot K_g} \quad (12.30)$$

bu yerda  $K_0$  – asosiy mustahkamlikka ehtiyoqlik koeffitsiyenti

$K_T$  – detalni tayyorlashning texnologiyasini kuchlanishga ta'siri;

$K_3$  – detalni ekspluatatsiya qilish sharoitining kuchlanishga ta'siri;

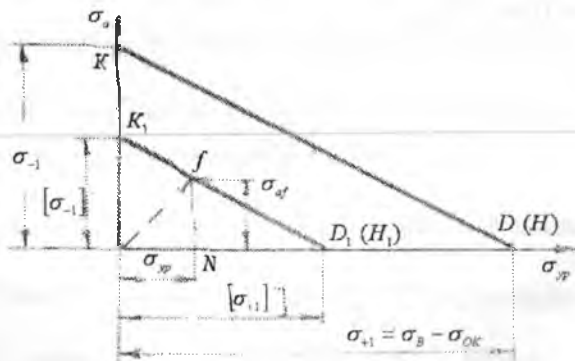
$K_g$  – o'zgaruvchan kuchlanishning zarb ta'siri bilan birgalikdagi ta'sirini hisobga oluvchi dinamik koeffitsient.

12.7-rasmda  $\sigma_a = \sigma_{yp}$  koordinatalarida xavfli kuchlanishlar chiziqni  $KD$  ( $KN$ ) va ruxsat etilgan kuchlanishlar chizig'i  $K_1D_1$  ko'rsatilgan.  $K_1D_1$  chiziq  $AK$  va  $OD_1 = [\sigma_{+1}]$  kuchlanishlar asosida chizilgan.

O'zgaruvchan kuchlanishlarning turli sikllarda ruxsat etilgan kuchlanishini aniqlash uchun koordinata boshi  $O$  nuqtadan absissaga  $\beta$  burchak ostida to'g'ri chiziq o'tkazamiz ( $\tan \beta = \frac{1-r}{1+r}$ ) va  $K_1D_1$  chiziq

bilan kesishguncha davom ettiramiz.  $f$  nuqtaning absissasi  $\sigma_{urf}$  va ordinatasining yig'indisi ruxsat etilgan kuchlanishni beradi:

$$\sigma_{\max f} = [\sigma_n] = \sigma_{urf} + \sigma_{of} \quad (12.31)$$



12.7-rasm. Ruxsat etilgan kuchlanishni aniqlash.

$NfD_1$  uchburchagini  $OK_1D_1$  uchburchagiga o'xshashligidan:

$$\frac{OD_1}{ND_1} = \frac{OK_1}{Nf} \text{ yoki}$$

$$\frac{[\sigma_{+1}]}{[\sigma_{+1}] - \sigma_{yppf}} = \frac{[\sigma_{-1}]}{\sigma_{af}} \text{ va } \sigma_{af} [\sigma_{+1}] + \sigma_{yppf} [\sigma_{-1}] = [\sigma_{+1}] [\sigma_{-1}]$$

lekin  $\sigma_{af} = \frac{1-r}{2} \sigma_{maxf} = \frac{1-r}{2} [\sigma_2]$  va  $\sigma_{yppf} = \frac{1+r}{2} \sigma_{maxf} = \frac{1+r}{2} [\sigma_2]$

unda 
$$[\sigma_2] = \frac{2[\sigma_{+1}][\sigma_{-1}]}{(1+r)[\sigma_{-1}] + (1-r)[\sigma_{+1}]} \quad (12.32)$$

hosil bo'ladi.

Mustahkamlik sharti quyidagicha yoziladi.

$$\sigma_{max} \leq [\sigma_r] \quad (12.33)$$

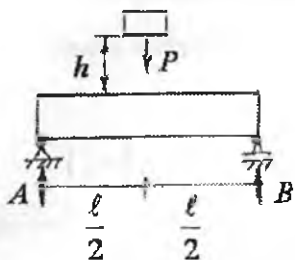
Egilish bilan buralishning birgalikdagi statik yuk ta'sirida

mustahkamlik sharti:  $\frac{\sigma^2}{[\sigma]^2} + \frac{\tau^2}{[\tau]^2} \leq 1$  va o'zgaruvchan yuk ta'sirida:

$$\sigma = \sigma_a + \sigma_w \quad \text{va} \quad \tau = \tau_w + \tau_a \quad \text{yoki} \quad |\sigma| = |\sigma_r^o| \quad \text{va} \quad |\tau_r^o|$$

**Misol-1.** Ikki tayanchli qo'shtavrli balkaga  $h = 20 \text{ sm}$  balandlikdan  $R=1500 \text{ N}$  yuk kelib tushadi (12.1-rasm) Balkaning eng katta dinamik normal kuchlanishini topamiz. O'ng tayanch o'rnini elastik prujina bilan almashtirib birinchi savolga javob beramiz.





12.8-rasm.

Berilgan: qo'shtavr N-22

$$\ell = 2m; \quad 10^3 \alpha = 30 \frac{m}{\kappa N}; \quad \alpha = \frac{30}{10^3};$$

$$E = 2 \cdot 10^6 \frac{\kappa N}{m^2}; \quad I_x = 2550 \cdot 10^{-2} m^4$$

$$W_x = 232 \cdot 10^{-6} m^3$$

**Yechish.** Balkaning xususiy og'irligini hisobga olmaymiz. R yuk ta'siridan A va B tayanchlari dagi reaksiya kuchlari

$A = B = \frac{P}{2} = 750N$  bo'ladi. Eng katta dinamik kuchlanishi quyidagi

formula bilan topiladi:  $\sigma_g = k_g \cdot \sigma_{cm}$ , bu yerda  $K_g = 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\Delta_{cm}}}$

dinamik koeffitsiyent bo'lib, statik ko'chish  $\Delta_{cm}$ - ga bog'liq

$\Delta_{cm} = f_{cm} = \frac{P\ell^3}{48EI_x}$  balkaning R yuk statik ta'sir qilgandagi to'liq

ko'chishi.  $\sigma_{cm} = \frac{M_{cm}}{W_x} = \frac{P\ell}{4W_x}$  statik yuk R ta'siridagi eng katta normal

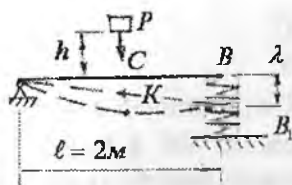
kuchlanish. Dinamik kuchlanish  $\sigma_g = \left[ 1 + \sqrt{1 + \frac{2h \cdot 48EI_x}{P\ell^2}} \right] \cdot \frac{P\ell}{4W_x}$  yoki

$$\sigma_g = 0,295 \cdot 10^6 \frac{\kappa N}{m^2}$$

Endi, balkaning o'ng tayanchini prujina bilan almashtiramiz. Dinamik kuchlanish  $\sigma_g = k_g \cdot \sigma_{cm}$  formula bilan topiladi. Dinamik koeffitsient  $K_d$  - ni aniqlashda. Balkaning statik ko'chishi prujinaning o'ng tayanch kuchining deformatsiyasiga bog'liq bo'ladi (12.9-rasm).

$\Delta_{cm} = \Delta_g + \beta\lambda$  bu yerda  $\Delta_g = f_{cm} = \frac{P\ell^3}{48EI_x}$

$$\lambda = \frac{P}{2} \cdot \alpha = \frac{P}{2} \cdot \frac{30}{10^3} = \frac{1,1 \cdot 30}{2 \cdot 10^3} = 0,0165m$$



12.9-rasm.

Prujining B reaksiya kuchi ta'siridan ko'chishi.  $\beta$  - prujining deformatsiyasi bilan balkaning  $R$  yuk ta'siridagi to'liq ko'chishi orasidagi bog'lanish.  $\Delta BB_1 A \propto \Delta CKA$  o'xshashlikdan

$$CK = \frac{BB_1}{2} = \frac{\lambda}{2} = \beta \lambda$$

$$f_{cm} = \frac{P\ell^2}{48EI_v} = \frac{1,5 \cdot 8}{48 \cdot 2 \cdot 10^8 \cdot 2550 \cdot 10^{-8}} = 4,9 \cdot 10^{-5} \text{ m}$$

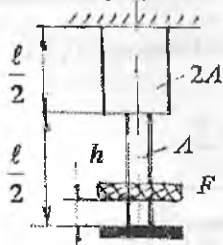
hosil bo'ladi. Demak,  $\beta = 0,5$ .

$$\text{Natijada } \Delta_{cm} = 4,9 \cdot 10^{-5} + 0,5 \cdot 0,0165 = 8,299 \cdot 10^{-3} \text{ m.}$$

$$\text{Dinamik koeffitsiyent } \kappa_g = 1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 0,2}{8,299 \cdot 10^{-3}}} \approx 8 \text{ va kuchlanish}$$

$$\sigma_g = \kappa_g \frac{P\ell}{4W_x} = 8 \cdot \frac{1,5 \cdot 2}{4 \cdot 232 \cdot 10^{-6}} = 0,0258 \cdot 10^6 \frac{\kappa N}{m^2}$$

**Misol-2.** Pog'onali brusning  $K$  nuqtasi  $h = 5 \text{ mm}$  balandlikdan tushayotgan  $Q = 400 \text{ kg}$  yuk ta'sirida zarbga uchraydi. Brusning uzunligi  $l = 5 \text{ m}$  ko'ndalang kesim yuzasi  $A = 2 \text{ sm}$ , materiali po'lat. Eng katta normal kuchlanish topilsin. Agar  $K$  elementga zarb ta'sirini yumshatuvchi silindrik prujina o'rnatilsa, kuchlanishni toping.  $1 \text{ kg}$  statik yuk ta'sirida prujina  $4 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$  siqiladi.



12.10-rasm.

**Yechish:** Pog'onali brusning statik kuch ta'siridagi uzayishini va normal kuchlanishini topamiz: statik uzayish

$$\delta_{cm} = \Delta \ell_{cm} = \frac{F\ell}{EA} + \frac{F\ell}{E2F} = \frac{3F\ell}{4EA}$$

va kuchlanish

$$\sigma_{cm} = \frac{F}{A} = \frac{400}{2} = 200 \frac{\kappa G}{sm^2}$$

Eng katta dinamik kuchlanishni topamiz.

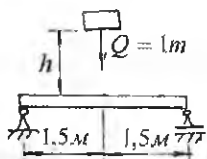
$$\sigma_g = \sigma_{cm} K_g = \sigma_{cm} \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\Delta \ell_{cm}}} \right) = 200 \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 0,06 \cdot 16 \cdot 10^6}{3 \cdot 400 \cdot 500}} \right)$$

$$\text{va } \sigma_g = 1349 \frac{\kappa G}{sm^2}$$

K elementga silindrik prujina o'rnatilganda,  $\delta_{cm}$  statik deformatsiya pog'onali brusni va prujinani siqilishiga teng bo'ladi, ya'ni

$$\delta_{cm} = \Delta \ell_{cm} + \lambda_{cm} = \frac{3F\ell}{4EA} + F \cdot 4 \cdot 10^{-4} = \frac{3 \cdot 400 \cdot 500}{4 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 2} + 400 \cdot 4 \cdot 10^{-4} = 0,1975 sm$$

$$\text{Unda dinamik kuchlanish: } \sigma_g = 200 \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 0,6}{0,1975}} \right) = 732 \frac{\kappa G}{sm^2}$$



**Misol-3.** N 24 profilli balka ikkita shamirli tayanchga tayanadi. Yuk balkaning o'rta qismiga  $50 sm/sec$  tezlik bilan kelib zarb ta'sir qiladi. Eng katta kuchlanishni toping.

**Yechish:** Kitobdagi jadvaldan N-24 qo'shtavrlri kesimning ayrim geometrik tavsiflarini yozib olamiz.

$I_x = 3460 sm^4$ ;  $W_x = 289 sm^3$ ;  $A = 34,8 sm^2$  Balkaning eng katta salqiligini topamiz: Statik kuchlanishni topamiz:

$$f_{cm} = \frac{Ql^3}{48EI} = \frac{1000 \cdot (300)^3}{48 \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 3460} = 0,0813 sm$$

Dinamik kuchlanishni topamiz:

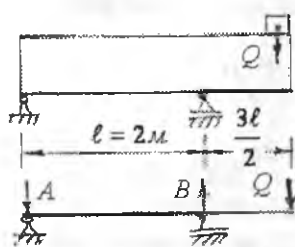
$$\sigma_g = \sigma_{no} \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{V^2}{gf_{nc}}} \right) = 259,5 \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{50^2}{981 \cdot 0,0813}} \right)$$

$$\sigma_x = 259,5 \cdot 6,69 = 1735,4 \frac{\kappa G}{\text{sm}^2}$$

Dinamik deformatsiya  $f_g = f_{cm} \kappa_g = 0,0813 \cdot 6,69 = 0,544 \text{ sm}$

**Misol-4.** Bir minutda  $n$  marotaba aylanma harakat qilayotgan, og'irligi  $Q$  bo'lgan dvigatel ikkita qo'shtavri balkaga o'rnatilgan. Dvigatelning aylanma harakat qilayotgan qismlarini markazdan qochma kuchi  $H = 10 \text{ kN}$ ;  $Q = 30 \text{ kN}$

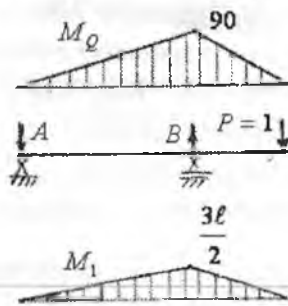
- 1) erkin tebranish chastotasi –  $\omega_0$
- 2) uyg'otuvchi kuch o'zgarishining chastotasi –  $\omega$
- 3) tebranishning o'sish koeffitsiyenti –  $\beta$
- 4) dinamik koeffitsiyent  $K_d$  va



5) eng katta kuchlanish qiymatlari topilsin  
Berilgan qo'shtavr N-40

$$n = 200 \frac{\text{cyl}}{\text{min}}; \quad I_x = 19062 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4,$$

$$E = 2 \cdot 10^8 \frac{\kappa N}{\text{m}^2}; \quad W_x = 953 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$



**Yechish:** Berilgan sxemadan asosiy sxemani tanlab olamiz. Buning uchun  $Q$  yukni o'rniga  $P = 1$  birlik kuchini joylashtiramiz.  $Q$  yuk ta'siridan hosil bo'lgan eguvchi moment epyurasini quramiz:  
a) reaksiya kuchlarini topamiz.

$$\sum M_B = Q \frac{3l}{2} - A l = 0; \quad A = \frac{3Q}{2} = 45 \text{ kN}$$

12.11-rasm

$$\sum M_A = -B l + Q \left( \frac{3l}{2} + l \right) = 0 \quad B = \frac{5}{2} Q = 75 \text{ kN}$$

b) eguvchi moment  $M_Q$ -ni topamiz.  $0 < x_1 < 2m$ ;  $M_Q = -A \cdot x_1$

$$0 < x_2 < \frac{3\ell}{2} = 3m \quad M_Q = -Q \cdot x_2$$

Birlik kuch  $R = 1$  ta'siridan hosil bo'lgan eguvchi moment  $M_r$  epyurasini quramiz (12.10-rasm).

a) reaksiya kuchini topamiz.

$$\sum M_B = P \frac{3\ell}{2} - A\ell = 0 \quad \text{yoki} \quad A = \frac{3}{2}P = 1,5kN \quad \text{va}$$

$$\sum M_A = P \frac{5\ell}{2} - B\ell = 0 \quad \text{yoki} \quad B = \frac{5}{2}P = 2,5kN.$$

b) eguvchi moment  $M_p$  - ni topamiz  $0 \leq x_1 \leq \ell$   $M_p = -A \cdot x_1$

$$0 \leq x_1 \leq \frac{3\ell}{2} \quad M_p = -P \cdot x_1.$$

$Q$  yuk o'rnatilgan nuqtaning ko'chishini topamiz.

$$\Delta = \frac{\omega \cdot M_p^0}{EI} = \frac{1}{2} \cdot 90 \left( \ell + \frac{3\ell}{2} \right) \frac{3\ell}{2} = \frac{1350\ell^2}{8EI} = \frac{1340 \cdot 4}{8 \cdot 2 \cdot 10^8 \cdot 19062 \cdot 16^{-8}} = 0,0177m.$$

$\omega$  - tashqi kuch  $Q$  dan qurilgan eguvchi moment  $M_q$  - ning yuzasi

$M_p^0$  - tashqi kuch  $Q$  ta'siridan qurilgan eguvchi moment  $M_p$  epyurasi yuzasining og'irlik markaziga to'g'ri keluvchi birlik kuch momenti  $M_p$  epyurasining ordinatasi. Erkin tebranish chastotasini topamiz:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{\Delta}} = \sqrt{\frac{9,81}{0,0177}} = 23,54 \frac{1}{cek}$$

Uyg'otuvchi kuch o'zgarishining chastotasi

$$\omega = 2\pi \frac{n}{60} = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{3,14 \cdot 200}{30} = 20,9 \frac{1}{cek}$$

Tebranishning o'qish koeffitsiyenti

$$\beta = \frac{1}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2} = \frac{1}{1 - \left(\frac{20,9}{23,54}\right)^2} = 4,717$$

$\beta$  – qiymati manfiy ishora bilan chiqsa, keyingi hisoblashlarda  $|\beta|$  olinishi kerak. Dinamik koeffitsiyentni topamiz:

$$K_g = 1 + \frac{f_H}{f_a} \beta = 1 + \frac{H}{Q} |\beta| = 1 + \frac{10}{30} 4,717 = 2,57$$

Eng katta normal kuchlanishni topamiz:

$$\sigma_g = K_g \sigma_{cr} = K_g \cdot \frac{M}{W_x} = 2,57 \frac{9}{953 \cdot 10^{-6}} = 0,2427 \cdot 10^6 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}$$

**Misol-5.** CDE va KTI siniq sterjenlar bilan AK valik AB o'q atrofida o'zgaras burchak tezlik bilan aylanadi. (12.11-rasm) CD va KI vertikal hamda DE va IT gorizontalarida hosil bo'lgan inersiya kuchlari ta'siridagi eguvchi moment epyurasi qurilsin:  $[\sigma] = 100 \text{ mPa}$  shartni bajaradigan valikni bir minutdagi aylanishlar sonini ruxsat etilgan qiymati topilsin.

**Yechish:** Inersiya kuchining intensivligi  $g_i$ , siniq sterjenning CD va KI oraliqlarida to'g'ri chiziqli qonuniyat bilan o'zgaradi: K va S nuqtada  $g_i = 0$ ; D va I nuqtalarda  $q_1 = \frac{\gamma A \omega^2}{g} \ell$  ga teng. Sterjenning gorizontalar DE va IT oraliqlarida kuchning intensivligi o'zgaras va teng tarqalgan  $q_1 = \frac{\gamma A \omega^2}{g} \ell$

Sistemaning tayanch kuchlarini topamiz:

$$\sum M_A = 0 \quad \text{yoki} \quad q_1 2\ell \frac{2\ell}{2} + q_1 2\ell \left( \frac{2\ell}{\ell} + 3\ell \right) + \frac{1}{2} q_1 \ell \cdot 5\ell - B \cdot 3\ell = 0$$

$$\sum M_B = 0; \quad A \cdot 3\ell - q_1 \cdot 2 \cdot \ell \left( \frac{2\ell}{2} + \ell \right) - \frac{1}{2} q_1 \ell \cdot 2\ell + q_1 2\ell \frac{2\ell}{2} + \frac{1}{2} q_1 \ell \cdot \ell = 0$$

liqlarida kuchning intensivligi o'zgarmas va teng tarqalgan  $q_1 = \frac{\gamma A \omega^2}{g} \ell$

bu yerdan  $B = \frac{25}{6} \cdot \frac{\gamma A \omega^2 \ell^2}{g}$  va  $A = \frac{5}{6} \cdot \frac{\gamma A \omega^2 \ell^2}{g}$

Eguvchi moment qiymatlarini topamiz:

**I-I-qirqim.**  $0 \leq x_1 \leq \ell$   $M_1 = A x_1 = \frac{5}{6} \cdot \frac{\gamma A \omega^2 \ell^2}{g} \cdot x_1$

**II - II-qirqim.**  $0 \leq x_2 \leq \ell$   $M_2 = q_1 \frac{x_2^2}{2} = -\frac{\gamma A \omega^2 \ell^2}{g} \cdot \frac{x_2^2}{2}$

**III - III-qirqim.**  $0 \leq x_3 \leq \ell$   $M_3 = -q_1 \frac{x_3^2}{2} = -\frac{\gamma A \omega^2 \ell^2}{g} \cdot \frac{x_3^2}{2}$

**IV - IV-qirqim.**  $0 \leq y_1 \leq \ell$ ;  $M_V = 0$

**V - V-qirqim.**  $0 \leq x_4 \leq 2\ell$

$$M_5 = A(x_4 + \ell) - \frac{1}{2} q_1 \ell \cdot x_4 - q_1 \ell \left( \frac{\ell}{2} + x_4 \right) - q_1 \ell \left( x_4 - \frac{\ell}{2} \right) =$$

$$= \frac{5}{6} \frac{\gamma A \omega^2 \ell^2}{g} (x_4 + \ell) - \frac{\gamma A \omega^2 \ell^2}{g} x_4 - \frac{\gamma A \omega^2 \ell^2}{g} \left( \frac{\ell}{2} + x_4 \right) - \frac{\gamma A \omega^2 \ell^2}{g} \left( x_4 - \frac{\ell}{2} \right)$$

**VI - VI-qirqim.**  $0 \leq x_5 \leq \ell$

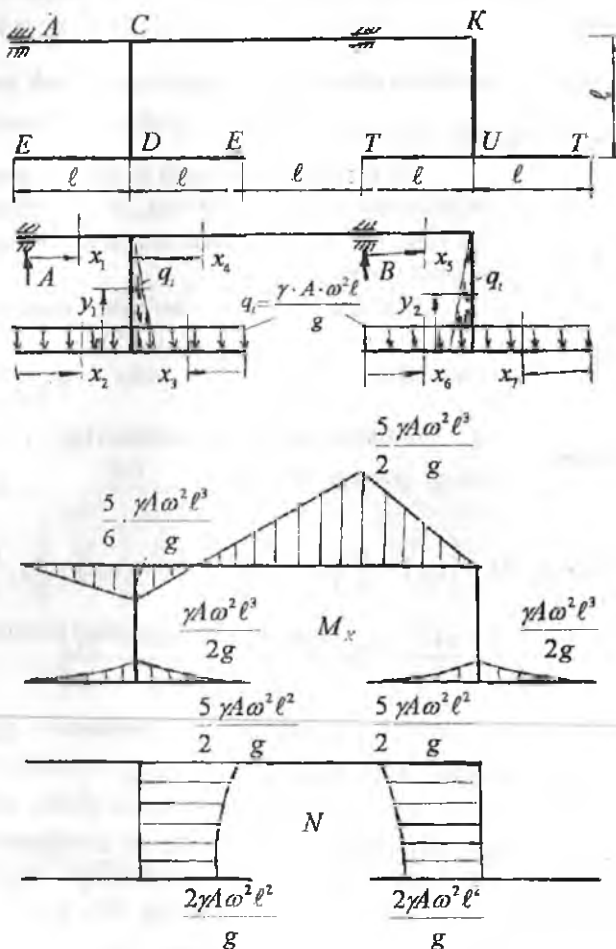
$$M_6 = A(3\ell + x_5) - q_1 2\ell \left( \frac{2\ell}{2} + \ell + x_5 \right) - \frac{1}{2} \cdot q_1 \ell (2\ell + x_5) + Bx_5$$

$$M_6 = \frac{5\gamma A \omega^2 \cdot 4\ell^3}{6g} - \frac{\gamma A \omega^2 \cdot 2\ell^2 \cdot 3\ell}{g} - \frac{\gamma A \omega^2 \cdot 3\ell^3}{2g} + \frac{25\gamma A \omega^2 \ell^3}{6g} = 0$$

**VII - VII-qirqim.**  $0 \leq x_6 \leq \ell$   $M_7 = -q_1 \frac{x_6^2}{2} = -\frac{\gamma A \omega^2 \ell}{g} \cdot \frac{x_6^2}{2}$

VIII – VIII-qirqim.  $0 \leq x_7 \leq \ell$ ;  $M_8 = -q_i \frac{x_7^2}{2} = -\frac{\gamma A \omega^2 \ell}{g} \cdot \frac{x_7^2}{2}$

IX – IX-qirqim.  $M_9 = 0$  Eng katta eguvchi moment B tayanch kesimida hosil bo'ladi.  $M_{\max} = \frac{5}{2} \cdot \frac{\gamma A \omega^2 \ell^3}{g}$



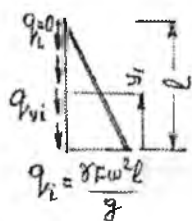
12.12-rasm. Berilgan sistema uchun eguvchi moment va bo'ylama kuch epyurlari.



Berilgan sistemaning  $CD$  va  $IK$  vertikal qismlarida bo'ylama kuch hosil bo'ladi, chunki kuch intensivligi va  $A$  va  $B$  reaksiya kuchlari faqat  $CD$  va  $IK$  sterjen o'qlariga proeksiya beradi.

$$N_1 = 0; \quad N_2 = 0; \quad N_3 = 0; \quad N_4 = q_1 2\ell + \int_0^{y_1=\ell} q_{yi} dy$$

$CD$  uzunlikda  $q_i$  – inersiya kuchi intensivligi to'g'ri chiziqli qonuniyat bilan o'zgaradi. Shuning uchun inersiya kuchi intensivligini teng ta'sir qiluvchisi  $q_i$  – ta'sir chizig'i bilan uni minimal  $q_i = 0$  va maksimal  $q_i = \gamma A \omega^2 \frac{\ell}{g}$  qiymatlaridan hosil bo'lgan uchburchak yuzasi bilan o'lchanadi (12.12-rasm).



12.13-rasm.

$SD$  uchastkada  $N$  kuch o'zgarish qonuniyatini bilishimiz uchun  $y = 0$  va  $y = \ell$  chegara oralig'idagi qiymatlarda ham inersiya kuchini aniqlashimiz lozim.

Masalan:  $y = y_1$  bo'lsin, unda  $q_1 = q_{y\ell}$

sxemadan  $\frac{q_i}{\ell} = \frac{q_{y1}}{\ell - y_1}$  yoki  $q_{yi} = q_i \left(1 - \frac{y_1}{\ell}\right)$

$q_{yi}$  – inersiya kuchining intensivligi  $y = y_1$  holatidagi qiymati. Demak,

$$\begin{aligned} N_4 &= q_1 \cdot 2\ell + \int_0^{\ell} q_i \left(1 - \frac{y_1}{\ell}\right) dy = \frac{\gamma A \omega^2 \ell}{g} \cdot 2\ell + \int_0^{\ell} q_i dy - \int_0^{\ell} q_i \frac{y_1}{\ell} dy = \\ &= \frac{\gamma A \omega^2 \ell}{g} \cdot 2\ell + \frac{\gamma A \omega^2 \ell}{g} \cdot \left[ \frac{\gamma A \omega^2 \ell}{g} \cdot \frac{y_1^2}{2\ell} \right] \end{aligned}$$

$$y_1 = 0 \text{ bo'lsa } N_4 = \frac{\gamma A \omega^2 2\ell^2}{g};$$

$$y_1 = \frac{\ell}{2}; N_4 = \frac{19}{8} \cdot \frac{\gamma A \omega^2 \ell^2}{g}; \quad y_1 = \ell; N_4 = \frac{5}{2} \cdot \frac{\gamma A \omega^2 \ell^2}{g};$$

$$N_5 = 0; \quad N_6 = 0; \quad N_7 = 0; \quad N_8 = 0; \\ 0 \leq y_2 \leq \ell;$$

$$N_9 = q_1 2\ell + \int_0^{y_2=\ell} q_1 y_1 dy = q_1 \cdot 2\ell + \int_0^{\ell} q_1 \left(1 - \frac{y_2}{\ell}\right) dy = \frac{\gamma A \omega^2 \ell}{g} 2\ell + \frac{\gamma A \omega^2 \ell \cdot y_2}{g} - \frac{\gamma A \omega^2 \ell \cdot y_2^2}{2\ell};$$

$$y_2 = 0 \quad N_9 = \frac{\gamma A \omega^2 \ell^2}{g}; \quad y_2 = \frac{\ell}{2}; \quad N_9 = \frac{19}{8} \cdot \frac{\gamma A \omega^2 \ell^2}{g};$$

$$y_2 = \ell; \quad N_9 = \frac{5}{2} \cdot \frac{\gamma A \omega^2 \ell^2}{g}; \quad N_{\max} = \frac{5}{2} \frac{\gamma A \omega^2 \ell^2}{g}$$

Sistemaning xavfli kesimi uchun quyidagi shart bajarilishi kerak:

$$\sigma_{\max} = \frac{N_{\max}}{F} + \frac{M_{\max}}{W} = \frac{N_{\max}}{F} + \frac{32 \cdot M}{\pi d^3} \leq [\sigma]$$

$$\frac{5\gamma A \omega^2 \ell^2}{2Ag} + \frac{32 \cdot 5\gamma A \omega^2 \cdot \ell^2}{2\pi d^3 g} \leq [\sigma]; \quad \frac{5\gamma A \omega^2 \ell^2}{2g} + \frac{8 \cdot 5\gamma A \omega^2 \cdot \ell^3}{2dg} = [\sigma]$$

Bu yerdan

$$\omega_p = \omega = \sqrt{\frac{[\sigma]}{5\gamma \ell^2 + \frac{20\gamma \ell^3}{dg}}} = \sqrt{\frac{100 \cdot 10^3}{\frac{5 \cdot 78 \cdot 0,25}{2 \cdot 9,81} + \frac{20 \cdot 78 \cdot 0,125}{9,81 \cdot 0,02}}} = 10 \frac{1}{\text{cek}}$$

$$\text{Bir minutda valikning aylanish soni } n = \frac{60 \cdot \omega_p}{2\pi} = \frac{60 \cdot \omega_p}{2 \cdot 3,14} = 95,54$$

**Misol-6.** Mustahkamlik chegarasi  $\sigma_B = 600 \text{ MPa}$ ; oquvchanlik chegarasi  $\sigma_T = 300 \text{ MPa}$ ; po'latdan tayyorlangan, diametri  $d = 50 \text{ mm}$  bo'lgan valni xavfli kesimda  $M_g = 320 \text{ Nm}$  burovchi va  $M_s = 320 \text{ Nm}$  eguvchi momentlar ta'sir qiladi. Egilishdagi normal kuchlanishning simmetrik sikldagi: buralishdagi urinma kuchlanishning tepkili sikldagi kuchlanishga teng deb qaralib, xavfli kesim uchun ehtiyotlik koeffitsiyenti topilsin.

**Yechish.** Eng katta normal kuchlanish:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_z}{W} = \frac{32M_z}{\pi d^3} = 0,026 \cdot 10^3 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Eng katta urinma kuchlanish:

$$\tau_{\max} = \frac{M_s}{W} = \frac{16 \cdot M_s}{\pi d^3} = 0,013 \cdot 10^3 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

Buralishda oquvchanlik chegarasi:

$$\tau_{-1} = 0,25\sigma_T = 0,25 \cdot 300 = 75 \text{ MPa}$$

Chidamlilik (bardosh berish) chegarasi:

Buralishda  $\sigma_{-1} = 0,25\sigma_b = 0,25 \cdot 600 = 150 \text{ MPa}$

Egilishda  $\sigma_{-1} = 0,43\sigma_b = 0,43 \cdot 600 = 258 \text{ MPa}$

Kuchlanishlar konsentratsiyasi

$$K = 1,2 + 0,2 \frac{\sigma_b - 40}{110} = 1,2 + 0,2 \frac{600 - 40}{110} = 2,2$$

Mashtab koeffitsiyenti  $\beta_m = 1,2 + 0,1(d - 3) = 1,2 + 0,1(5 - 3) = 1,67$

$\sigma$  va  $\tau$  bo'yicha ehtiyotlik koeffitsiyenti  $n_\tau = \frac{\tau_{\max}}{2} = \frac{13}{2} = 6,5$

$$n_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_{\max}} = \frac{\sigma_{-1}}{k\beta_m \cdot \sigma_{\max}} = \frac{250}{2,2 \cdot 1,67 \cdot 26} = 2,$$

Charchashdan yemirilishdagi va oquvchanlikning boshlanishidagi umumiy ehtiyotlik koeffitsiyentlarini topamiz:

$$n_{\tau_0} = \frac{\tau_{-1}}{k \cdot n_\tau + \beta_m n_\tau} = \frac{75}{2,2 \cdot 6,5 + 1,67 \cdot 6,5} = 2,9$$

$$k_{TM} = \beta_m \cdot \kappa = 1,67 \cdot 2,2 = 3,674$$

burilishdagi oquvchanlikka ehtiyotlik koeffitsiyenti

$$n'_\tau = \frac{\tau_T}{\tau_{\max}} = \frac{75}{13} = 5,77$$

Mustahkamlikning umumiy ehtiyotlik koeffitsiyenti

$$n = \frac{n_\sigma \cdot n'_\tau}{\sqrt{n_\sigma^2 + (n'_\tau)^2}} = \frac{2,7 \cdot 5,77}{\sqrt{(2,7)^2 + (5,77)^2}} = 2,99$$

Charchashdan yemirilishga ehtiyotlik koeffitsiyenti

$$n = \frac{n_\sigma \cdot k_{TM}}{\sqrt{n_\sigma^2 + K_{TM}^2}} = \frac{2,7 \cdot 3,674}{\sqrt{(2,7)^2 + (3,674)^2}} = 2,17$$

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

- 1 M.T. O'rozboev Materiallar qarshiligi kursi. –T.: «O'qituvchi», 1973.
- 2 K.M. Mansurov Materiallar qarshiligi. –T.: «O'qituvchi», 1983.
- 3 S.A.Yo'ldoshbekov Materiallar qarshiligi. –T.: «O'qituvchi», 1983.
- 4 N.S.Bibutov Materiallar qarshiligi asoslari. –T.: «Minhoj», 2003. 557 b.
- 5 N.S.Bibutov Amaliy mexanika. –T.: «Yangiyo'l – poligraf servis», 2008. 544 b.
- 6 M.Ergashov Materiallar qarshiligidan hisoblash loyihalash ishlari. –T.: «Moliya», 2004.
- 7 S.Hasanov Materiallar qarshiligidan misollar yechish. «O'zbekiston» nashriyoti, –T.: 2006.
- 8 A.Nabiev Materiallar qarshiligi, –T.: «Yangi asr avlodi», 2008.
- 9 V.K. Kachurin va Materiallar qarshiligidan masalalar to'plami boshqalar. –T.: «O'qituvchi» 1998.
- 10 N.S Bibutov, Amaliy mexanika, Kasb-hunar kollejlari uchun darslik. –T.: «Uzinkommarkaz», 2003. 171b.  
M.M. Murodov
- 11 N.S Bibutov Texnik mexanikadan amaliy mashg'ulotlar T.: «Ilm-ziyo». 2006. 196 b.

## MUNDARIJA

Soʻz boshi .....	3
Kirish.....	4
1 Kuch va kuch turlari.....	8
2 Ichki kuch faktorlarini aniqlash.....	9
3 Kuchlanish.....	41
4 Deformatsiya va koʻchish.....	43
5 Materiallar qarshiligida qabul qilingan gipotezalar...	45
6 Konsruksiya elementlari.....	50

### I BOB. TEKIS KESIM YUZALARINING GEOMETRIK TAVSIFLARI

1.1 Statik moment va inersiya momentlari haqida tushuncha.....	52
1.2 Parallel oʻqlarga nisbatan inersiya momentlar.....	54
1.3 Oddiy kesim yuzalarining geometrik tavsiflari.....	55
1.4 Murakkab geometrik shakllarning inersiya mo- mentlari.....	58
1.5 Koordinata oʻqlarini aylantirganda inersiya mo- mentlari.....	59
1.6 Inersiya ellipsi haqida tushuncha.....	60

### II BOB. CHOʻZILISH VA SIQILISH

2.1 Boʻylama kuch, Kuchlanish va deformatsiya.....	67
--	----

2.2	Harorat taʼsirida kuchlanish va deformatsiya.....	69
2.3	Xususiy ogʻirlik taʼsiridagi sterjenning choʻzilish yoki siqilishini hisoblash.....	70
2.4	Choʻzilish va siqilishda statik noaniq sistemalar ....	72
2.5	Materiallarni choʻzilish va siqilishga sinash.....	76
2.5.1	Yumshoq poʻlatni choʻzilishga sinash.....	77
	Yumshoq poʻlatning choʻzilish diagrammasi.....	77
2.5.2	Materiallarni siqilishga sinash.....	81
	Materiallarni choʻzilish va siqilish diagrammalari...	82
2.5.3	Choʻzilish va siqilishda potensial energiya.....	82
	Mustahkamlikka ehtiyotlik koeffitsiyenti.....	87
2.6	Ruxsat etilgan kuchlanishni tanlash .....	89
2.7	Qattiqlik .....	91
2.8	Kuchlanishlar konsentratsiyasi.....	91
2.9	Kontakt kuchlanishlar haqida tushuncha.....	93
2.10	Yangi materiallarning mexanik tavsiflari.....	94

### III BOB. KUHLANGANLIK HOLATLARI VA MUSTAHKAMLIK NAZARIYALARI

	Umumiy tushunchalar.....	131
3.1	Chiziqli kuchlanganlik holati.....	135
3.2	Tekis kuchlanganlik holati.....	136
3.3	Kuchlanishlarni grafik usulda topish.....	138
3.4	Hajmiy kuchlanganlik holati.....	139
3.5	Hajmiy deformatsiya.....	141

3.6	Deformatsiyaning potensial energiyasi.....	142
3.7	Mustahkamlik nazariyalari.....	145

#### **IV BOB. SILJISH**

4.1	Sof siljishda kuchlanish va deformatsiya.....	156
4.2	Sof siljishda ruxsat etilgan kuchlanish.....	159
4.3	Parchin mixli birikmalarni hisoblash.....	160
4.4	Payvand birikmalar.....	163

#### **V BOB. BURALISH**

5.1	Burovchi moment haqida tushuncha.....	168
5.2	Doiraviy kesimli bruslarning buralishida kuchlanish va deformatsiya.....	169
5.3	Buralishda mustahkamlik va bikrlilik shartlari.....	172
5.4	Buralishda statik noaniq masala.....	173
5.5	Buralishda kuchlanish holatining tahlili.....	174
5.6	Buralishda potensial energiya.....	176
5.7	Vintsimon silindrik prujinalarni hisoblash.....	176
5.8	Kesimi doiraviy bo'lmagan sterjenlarning buralishi	178

#### **VI BOB. EGILISH**

6.1	Tayanch va tayanch turlari.....	191
6.2	Egilishda normal kuchlanishni aniqlash.....	192



6.3	Egilish markazi.....	205
6.4	Balkalar mustahkamligini bosh kuchlanishlar bo'yicha tekshirish.....	216

## **VII BOB. EGILISHDA BALKALARNING KO'CHISHINI ANIQLASH**

7.1	Salqiliq va kesimni aylanish burchagi.....	237
7.2	Balka egilish o'qining differensial tenglamasi.....	239
7.3	Boshlang'ich parametrlar usuli.....	241
7.4	Egilishda ko'chishni topishning grafoanalitik usuli	244
7.5	Teng qarshilik ko'rsatuvchi balkalar.....	273
7.6	Egilishda ko'chishlarni topishning energetik usullari.....	275
7.6.1	Egilish deformatsiyasining potensial energiyasi....	276
7.6.2	Ishlar orasidagi bog'lanishlar teoremasi.....	278
	Ko'chishlar orasidagi bog'lanishlar teoremasi.....	278
7.6.3	Egilishda ko'chishlarni aniqlashning Mor integrali	280
7.6.4	Vereshagin qoidasi.....	281
7.7	Statik noaniq sistemalar.....	291
7.8	Uzluksiz balkalar. Uch moment teoremasi.....	295
7.9	Statik noaniq ramalami hisoblash.....	299

## **VIII BOB. EGRI STERJENLAR**

8.1	Ko'ndalang va bo'ylama kuchlar bilan bog'liq bo'lgan kuchlanishlar.....	321
-----	---	-----

8.2	Eguvchi moment bilan bog'lik bulgan kuchlanishni aniqlash.....	322
8.3	Egri sterjenda neytral o'q holatini aniqlash.....	325
8.4	Egri sterjenlarda mustahkamlik shart.....	326
8.5	Yupqa devorli idishlarni hisoblash.....	331

## **IX BOB. MURAKKAB QARSHILIKLAR**

9.1	Egilish bilan buralishning birgalikdagi ta'siri.....	339
9.2	Qiyshiq egilish.....	341
9.3	Markazlashmagan siqilish (cho'zilish) .....	345
9.4	Egilish bilan cho'zilishni yoki siqilishning birgalikdagi ta'siri.....	349

## **X BOB. SIQILGAN STERJENLARNI USTUVORLIKKA HISOBLASH**

	Ustuvorlik haqida tushuncha.....	356
10.1	Kritik kuchni aniqlash. Eyler formulasi.....	357
10.2	Eyler formulasini ishlatish chegarasini aniqlash.....	361
10.3	Siqilgan sterjenning ko'ndalang kesimdagi ratsional shakli.....	363
10.4	Siqilgan sterjenlarni ustuvorlikka amaliy hisoblash..	364
10.5	Bo'yлама va ko'ndalang egilish.....	367

## XI BOB. DINAMIK KUHLAR

Umumiy tushunchalar.....	383
11.1 Berilgan tezlanishli harakatda kuchlanishni aniqlash	384
11.2 Tebranma harakatda kuchlanishni aniqlash.....	387
11.3 Zarb ta'sirida kuchlanish.....	389
11.4 O'zgaruvchan kesimli sterjenlarda zarb ta'siridagi kuchlanish.....	394

## XII BOB. O'ZGARUVCHAN KUHLANISHLAR

Umumiy tushunchalar.....	399
12.1 Kuchlanish sikllarining turlari.....	400
12.2 Simmetrik siklda chidamlilik chegarasini aniqlash...	402
12.3 Nosimmetrik siklda chidamlilik chegarasini aniqlash.....	404
12.4 Chidamlilik chegarasiga ta'sir qiluvchi faktorlar.....	406
12.5 O'zgaruvchan kuchlanishlarda mustahkamlik sharti	408
Foydalanilgan adabiyotlar.....	423

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие .....	3
Введение .....	4
1 Сила и классификация сил .....	8
2 Метод сечения. Определение внутренних силовых факторов при растяжении и сжатии, кручение, изгибе и при сложном сопротивлении .....	9
3 Напряжение .....	41
4 Деформация и перемещение .....	43
5 Гипотезы, принятые в сопротивление материалов .....	45
6 Элементы конструкций .....	50

## ГЛАВА. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛОСКИХ СЕЧЕНИЙ

1.1 Статистические моменты и моменты инерции	52
1.2 Моменты инерции относительно параллельных осей .....	54
1.3 Геометрические характеристики простых сечений .....	55
1.4 Моменты инерции и сопротивления сложных сечений .....	58
1.5 Моменты инерции относительно повернутых осей .....	59

1.6	Эллипс инерции .....	60
-----	----------------------	----

## II ГЛАВА. РАСТЯЖЕНИЕ И СЖАТИЕ

2.1	Продольная сила. Напряжение и деформация..	67
2.2	Температурное напряжение и деформация.....	69
2.3	Расчет на растяжение и сжатие с учетом собственного веса.....	70
2.4	Статистически неопределимые системы при растяжении и сжатии .....	72
2.5	Испытание материалов на растяжение и сжатие	76
2.5.1	Испытание на растяжение мягкой стали.....	77
	Диаграмма растяжения мягкой стали .....	77
2.5.2	Испытание материалов на сжатие .....	81
	Диаграммы растяжения и сжатия материалов..	82
2.5.3	Потенциальная энергия при растяжении и сжатии.....	82
	Коэффициент запаса прочности.....	87
2.6	Выбор допускаемого напряжения.....	89
2.7	Твердость.....	91
2.8	Концентрация напряжений.....	91
2.9	Контактные напряжения.....	93
2.10	Механические характеристики новых мате- риалов.....	94

### III ГЛАВА. ТЕОРИИ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ И ПРОЧНОСТИ

	Общие понятия.....	131
3.1	Линейное напряженное состояние .....	135
3.2	Плоское напряженное состояние.....	136
3.3	Графический метод определения напряжений..	138
3.4	Объемное напряженное состояние.....	139
3.5	Объемная деформация.....	141
3.6	Потенциальная энергия деформации.....	142
3.7	Теория прочности.....	145

### IV ГЛАВА. СДВИГ

4.1	Напряжение и деформация при чистом сдвиге	156
4.2	Допускаемое напряжение при чистом сдвиге...	159
4.3	Расчет заклепочного соединения .....	160
4.4	Сварные соединения.....	163

### V ГЛАВА. КРУЧЕНИЯ

5.1	Понятие о крутящем моменте .....	168
5.2	Напряжение и деформация при кручении бруса с круглым поперечным сечением .....	169
5.3	Условия прочности и жесткости при кручении..	172

5.4	Статистически неопределимые задачи при кручении .....	173
5.5	Анализ напряженного состояния при кручении .....	174
5.6	Потенциальная энергия при кручении .....	176
5.7	Расчет цилиндрических винтовых пружин .....	176
5.8	Кручение стержней с некруглым сечением .....	178

## VI ГЛАВА. ИЗГИБ

6.1	Опора и виды опор .....	191
6.2	Определение нормального напряжения при изгибе .....	192
6.3	Определение касательного напряжения при изгибе .....	205
6.4	Центр изгиба .....	216

## VII ГЛАВА. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ БАЛОК ПРИ ИЗГИБЕ

7.1	Прогиб и угол поворота сечения .....	237
7.2	Дифференциальное уравнение изогнутой оси балки .....	239
7.3	Метод начальных параметров .....	241
7.4	Графоаналитический метод определения перемещений при изгибе .....	244

7.5	Балки равного сопротивления. Определение перемещений балок переменного сечения.....	273
7.6.	Энергетический метод определения перемещений .....	275
7.6.1	Потенциальная энергия упругой деформации.....	276
7.6.2	Теорема о взаимности работ. Теорема о взаимности перемещений.....	278
7.6.3	Интеграл Мора .....	280
7.6.4	Правила Верещагина.....	281
7.7	Статистически неопределимые системы.....	291
7.8	Неразрезные балки. Теорема о трех моментах	295
7.9	Расчет статистически неопределимых рам ....	299

## VIII ГЛАВА. КРИВЫЕ СТЕРЖНИ

8.1	Напряжения в зависимости от продольных поперечных сил .....	321
8.2	Определение напряжения в зависимости от изгибающего момента .....	322
8.3	Уравнение нейтральной оси в кривых стержнях	325
8.4	Условие прочности в кривых стержнях.....	326
8.5	Расчет тонкостенных сосудов .....	331



## **IX ГЛАВА. ИЗГИБ БАЛОК МАТЕРИАЛЫ КОТОРЫХ НЕПОДЧИНЯЮТСЯ ЗАКОНУ ГУКА**

9.1	Напряжение.....	339
9.2	Основы расчета по предельной нагрузке .....	341

## **X ГЛАВА. СЛОЖНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ**

10.1	Совместное действие изгиба с кручением .....	357
10.2	Косой изгиб.....	361
10.3	Внецентренное растяжение или сжатие.....	363
10.4	Совместное действие изгиба с растяжением или сжатием.....	364

## **XI ГЛАВА. УСТОЙЧИВОСТЬ СЖАТЫХ СТЕРЖНЕЙ**

	Понятие об устойчивости .....	383
11.1	Критическая сила. Формула Эйлера .....	384
11.2	Пределы применения формулы Эйлера .....	387
11.3	Рациональная форма сечения сжатого стержня..	389
11.4	Практические расчеты на устойчивость.....	394

## XII ГЛАВА. ДИНАМИЧЕСКИЕ СИЛЫ

	Общие понятия .....	399
12.1	Определение динамического напряжения при заданном ускорении.....	400
12.2	Напряжение при колебательном движении .....	402
12.3	Напряжение при ударе .....	404
	Литература.....	423



**N.S.BIBUTOV, A.X.HOJIYEV**

# **MATERIALLAR QARSHILIGI**

**Toshkent – «Barkamol fayz media» – 2016**

Muharrir:	Sh.Kusherbayeva
Tex. muharrir:	M.Holmuhamedov
Musavvir:	D.Azizov
Musahhih:	A.Eshov
Kompyuterda sahifalovchi:	Sh.Muqosimova

---

**Nashr.lits. AIN№149, 12.08.16. Bosishga ruxsat etildi: 26.12.2016.  
Bichimi 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. «Timez Uz» garniturasi. Ofset bosma usulida bosildi.  
Shartli bosma tabog'i 26,75. Nashriyot bosma tabog'i 27,5.  
Tiraji 300. Buyurtma №283.**

ISBN 978-9943-11-377-0



9 789943 113770