

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O'RTA
MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI**

**TOSHKENT KIMYO-TEXNOLOGIYA
INSTITUTI**



**«OZIQ – OVQAT SANOATI MASHINA VA
JIHOZLARI –MEXANIKA ASOSLARI»
KAFEDRASI**

MATERIALLAR QARShILIGI fanidan

MA'RUZALAR MATNI

Toshkent - 2017

Ma'ruzalar matni Ta'lim sohasi: Muhandislik ishi-310000;
5311000 – Texnologik jarayonlar va ishlab chiqarishni avtomatlashtirish
va boshqarish (tarmoqlar bo'yicha).
Ta'lim sohasi: Ishlab chiqarish texnologiyasi – 320000;
5320300 – texnologik mashinalar va jihozlar(tarmoqlar bo'yicha).

Tuzuvchilar:

Katta o'qituvchi Inogamov I.Sh.

Katta o'qituvchi Mo'minov Sh.V.

Taqrizchi: dots. Musaboev B.

MAVZU: KIRISH

Reja:

1. Materiallar qarshiligi fani.
2. Xisob sxemalari.
3. Asosiy farazlar.
4. Materiallar qarshiligi fanining maxsus fanlar bilan bog'liqligi.

Materiallar qarshiligi fani qurilish inshoot qismlarini, konstruktsiya elementlarini mustaxkamlikka, birklikka va ustivorlikka xisoblash usullarini o'rganadigan fandır.

Mustaxkamlik – konstruktsiya elementlariga tashqi kuch ta'sir etganda uning emirilmay qolish qobiliyatidir.

Birklik – konstruktsiya elementlarining tashqi kuch ta'siridan deformatsiyaga qarshilik ko'rsatish qobiliyatidir.

Ustivorlik – konstruktsiya elementlarining tashqi kuch ta'siridan konstruktor tomonidan berilgan shaklini saqlash qobiliyatidir.

Materiallar qarshiligi fanining maqsadi kam material sarf etib, arzon va uzoq vaqt ishlaydigan konstruktsiyalarni yaratishdan iborat.

Materiallar qarshiligi fanida masalalar quyidagi sxemalar bo'yicha echiladi.

1. Xisoblanadigan elementlarning materiali va ko'ndalang kesim shakllarini tanlash.
2. Berilgan ish sharoiti uchun elementning mustaxkamlik ishonchlilik, uzoq vaqt ishlashi va material tejamliligini ta'minlovchi ko'ndalang kesim o'lchamlarini xisoblash.
3. Avvaldan mavjud bo'lgan konstruktsiyalar bardosh bera oladigan tashqi kuch miqdorini aniqlash.

Materiallar qarshiligi fanida masalalarni echishni engillashtirish uchun quyidagi faraz va cheklanishlar qabul qilinadi.

1. Materiallar bir jinsli izotrop.
2. Materiallar yaxlit va uzluksiz tutash.
3. Materiallar ideal elastik.
4. Kuch quyilish tartibining farqi yo'q.
5. Tekis kesimlar farazi o'rinli.
6. Chegaraviy sharoitlarni yumshatish prinsipi bor.

Materiallar qarshiligi fani oliy matematika, fizika va nazariy mexanikka fanlariga asoslangan xolda o'rganiladi.

Materiallar qarshiligi fani VIII asr oxiri IX asr boshlaridan rivojlana boshladi. Uni rivojlantirishda oliy matematika, fizika va nazariy mexanika fanlariga asos solgan olimlar Eyler, Dalamber, Guk va boshqalarning xissasi bor.

MAVZU: TASHQI VA ICHKI KUCHLAR

Reja:

1. Tashqi kuchlar va ularning turlari.
2. Ichki zo'riqish kuchlari.
3. Kesish usuli.

1) Konstruktsiya elementlariga, qurilish inshooti qismlariga qo'yilgan kuchlar tashqi kuchlar deyiladi. Tashqi kuchlar aktiv va passiv kuchlarga bo'linadi. Aktiv kuchlar quyidagicha;

1. Bir nuqtaga qo'yilgan to'planma kuch. $R (N)$
2. Uzunlik bo'yicha tekis taqsimlangan kuch yoki intensiv kuch $q \left(\frac{H}{m} \right)$
3. Juft kuch yoki moment $M (Nm)$
4. Yuza bo'yicha ta'sir etuvchi kuch.
5. Xajmiy kuch.

Passiv kuchlar tayanch reaksiya kuchlari bo'lib, ular statikaning muvozanat tenglamalaridan foydalanib topiladi.

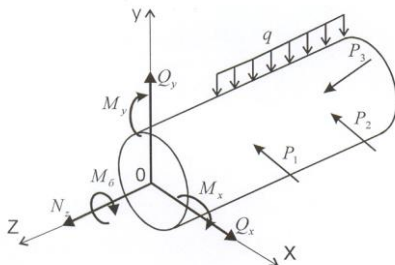
2) Ichki zo'riqish kuchlari: Jism elementar zarrachalarining o'zaro ta'sir kuchlari ichki kuchlar deyiladi. Ichki kuchlar kesish usuli orqali aniqlanadi. Kesish usuli quyidagi tartibda bajariladi.

1. Xayolan jism ixtiyoriy tekislik bilan ikki qismga ajratiladi.
2. Jismning bir qismi olib tashlanadi.
3. Tashlab yuborilgan qismning qolgan qismga ta'sirini teng ta'sir etuvchi kuch bilan almashtiriladi.
4. Statikaning muvozanat tenglamalaridan kesimdagi ichki kuchlar aniqlanadi.

Tashqi kuchlar ta'siridan jism muvozanat xolatda bo'lsin. U xolda

Q_x, Q_y, N – bosh vektorlar.

M_x, M_y, M_z - bosh momentlar.



Jism kesmada 6 ta ichki zo'riqish kuchlari bo'ladi. Q_x , Q_y , N , M_x , M_u , M_z - ichki zo'riqish kuchlari.

Bu erda N – normal yoki bo'ylama kuch. Ixtiyoriy kesimdagi normal kuch xayolan kesib qoldirilgan qismga qo'yilgan barcha tashqi kuchlarning z o'qiga tushirilgan proektsiyalarining algebraik yig'indisiga teng. Agar tashqi kuch ta'siridan kesim cho'zilsa, musbat ishorada, siqilsa manfiy ishorada olinadi. Q_x , Q_y - ko'ndalang kuchlar yoki kesuvchi kuchlardir.

Ixtiyoriy kesimdagi ko'ndalang kuchlar, xayolan kesib, qoldirilgan qismga qo'yilgan barcha tashqi kuchlarning X va Y o'qiga tushirilgan proektsiyalarining algebraik yig'indisiga teng.

Agar tashqi kuch kesim o'qiga nisbatan soat strelkasi bo'ylab yo'nalsa, musbat ishorada, qarama-qarshi yo'nalsa manfiy ishorada xisoblanadi.



M_x , M_u – eguvchi momentlar. Ixtiyoriy kesimdagi momentlar xayolan kesib qoldirilgan qismga qo'yilgan barcha tashqi kuchlardan X va U o'qlariga nisbatan olingan statik momentlarning algebraik yig'indisiga teng.

Agar tashqi kuch ta'siridan jism botiq egilsa eguvchi moment ishorasi musbat, qavariq, egilsa manfiy olinadi.



M_z - burovchi moment.

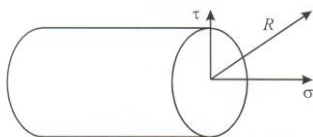
Ixtiyoriy kesimdagi burovchi moment, xayolan kesib, qoldirilgan kesimga qo'yilgan, tashqi kuchlardan Z o'qiga nisbatan olingan momentlarning algebraik yig'indisiga teng.

Burochi moment ishorasi, agar kesim tomonidan qaralganda tashqi kuch jismni soat strelkasi bo'ylab aylantirsa musbat, soat strelkasiga qarama-qarshi aylantirsa manfiy olinadi.

MAVZU: KUCLANISH VA DEFORMATSIYA

Reja:

1. Kuchlanish.
2. Ko'chish.
3. Deformatsiya.
 1. Yuza birligiga ta'sir etuvchi ichki zo'riqish kuchlari kuchlanish deyiladi.



$$R - \text{vektor}$$

$$P = \frac{\lim_{\Delta F \rightarrow 0} \Delta R}{\Delta F}$$

$$\sigma - \text{kuchlanish}$$

To'liq kuchlanish normal va urinma kuchlanish vektorlari yig'indisiga teng.

$$P = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2}$$

σ - normal kuchlanish bo'lib, yuzaga tik yo'naladi.

τ - urinma kuchlanish bo'lib, yuza bo'ylab yo'naladi.

Kuchlanish birligi SI sistemasida $1 \text{ Па} = 1 \frac{\text{H}}{\text{m}^2}$ o'lchanadi.

2. Jismdan ajratilgan ixtiyoriy nuqtaning kuch qo'yguncha va kuch qo'yilgandan keyingi xolatlarni birlashtiruvchi vektor shu nuqtaning chiziqli ko'chishi deyiladi. Jismdan ajratilgan ixtiyoriy kesmaning kuch qo'yguncha va kuch qo'yilgandan keyingi xolatlari orasidagi burchak burchakli ko'chish deyiladi. Barcha ko'chishlar to'plami deformatsiya deyiladi.

3. Deformatsiyalar elastik va plastik deformatsiyalarga bo'linadi. Jism tashqi kuch ta'siridan o'z o'lchamlari va xajmini o'zgartirib kuch olingandan so'ng avvalgi xolatiga qaytsa deformatsiya elastik bo'iadi.

Deformatsiyadan so'ng o'lchamlari va xajmini qayta tiklamasa plastik deformatsiya xosil bo'ladi.

Materiallar qarshiligi fanidan barcha konstruktsiya elementlarining materiali uchun xisob elastiklik chegarasida olinadi. Deformatsiyalarni cho'zilish va siqilish, buralish, egilish ko'rinishlarida o'rganamiz.

MAVZU: CHO'ZILISH VA SIQILISH

Reja:

1. Cho'zilish va siqilish deformatsiyasi.
2. Bo'yлама kuch.
3. Normal kuchlanish.
4. Bo'yлама va ko'ndalang deformatsiyalar.
5. Puasson koeffitsenti.
6. Guk qonuni.
7. Elastiklik moduli.
8. Solishtirma potentsial energiya.

1. Deformatsiya natijasida sterjen kesimlarida faqat bo'ylama kuch xosil bo'lsa, cho'zilish yoki siqilish deformatsiyasi paydo bo'ladi.

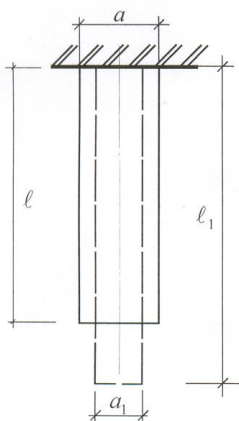
N- normal kuch
F – kesim yuzasi



Sterjen kesimlarida xosil bo'lgan bo'ylama kuch barcha tashqi kuchlarning bo'ylanma z o'qiga proektsiyalarining algebraik yig'indisiga teng. Tashqi kuch ta'siridan sterjen o'qi cho'zilsa bo'ylama kuch ishorasi musbat, siqilsa manfiy olinadi.

Cho'zilish va siqilishda sterjen kesimlarida xosil bo'lgan bo'ylama kuchning kesim yuzasiga nisbati normal kuchlanishni beradi.

$$\sigma = \frac{N}{F} \quad \text{Normal kuchlanish birligi SI sistemasida Paskal (Pa)}$$



$\Delta l = l_1 - l$ sterjenning absolyut bo'ylama uzayishi

l_1 – sterjenning deformatsiyadan keyingi uzunligi.

l – sterjenning deformatsiyadan oldingi uzunligi. sterjenning absolyut bo'ylama uzayishi

$$\varepsilon_\sigma = \frac{\Delta l}{l}$$

nisbiy bo'ylama deformatsiya

$\Delta a = a_1 - a$ absolyut ko'ndalang deformatsiya.

a – sterjenning ko'ndalang o'lchami.

a_1 – sterjenning deformatsiyadan keyingi ko'ndalang o'lchami

$$\boxed{\varepsilon_{\kappa} = \frac{\Delta a}{a}}$$

- nisbiy ko'ndalang deformatsiya.

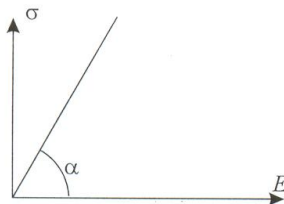
Nisbiy ko'ndalang deformatsiyaning nisbiy bo'ylama deformatsiyaga nisbati Puasson koeffitsienti deyiladi.

$$\mu = \frac{\varepsilon_{\kappa}}{\varepsilon_{\sigma}} \quad \text{Puasson formulasi}$$

Puasson koeffitsienti $\mu(0 \div 0.3)$

Guk qonuni

Normal kuchlanish nisbiy bo'ylama deformatsiyaga to'g'ri proporsional $\sigma = E \cdot \varepsilon$
Guk formulasi E – proporsionallik koeffitsienti bo'lib, 1-tartibli elastiklik moduli.



Masalan: Po'lat uchun $E = 2 \cdot 10^5 \text{ MPa}$

Mis uchun $E = 1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$

Guk konuni bo'yicha absolyut uzayish qo'yidagicha hisoblanadi : $\Delta l = \frac{N \cdot l}{E \cdot F}$

EF - cho'zilish yoki siqilishdagi bikirlik.

Cho'zilish va siqilishda deformatsiyaning potentsial energiyasi jismlarga tashqi kuch ta'sir etganda ko'chish natijasida bajarilgan ish bilan ulchanadi. Cho'zilish va siqilishda normal kuch ta'sirida xosil bo'ladigan deformatsiyaning solishtirma potentsial energiyasi quyidagicha xisoblanadi:

$$U = \frac{N^2 \cdot \ell}{2E \cdot F} \quad N - \text{normal kuch.} \quad \ell - \text{sterjen uzunligi.}$$

EF – cho'zilish va siqilishdagi bikrlilik. Solishtirma potentsial energiya birligi $\frac{H \cdot M}{M^3}$ da o'lchanadi.

MAVZU: MATERIALLARNING MEXANIK XOSSALARINI TAJRIBALAR YORDAMIDA O'RGANISH

Reja:

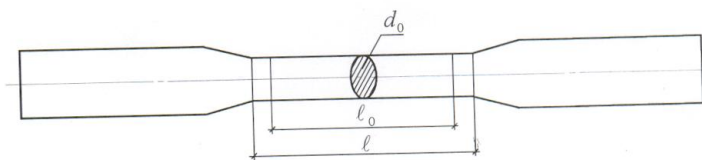
1. Mexanik xossalar.
2. Plastik materiallarning xaqiqiy cho'zilish diagrammasi.
3. Elastiklik zonasi.
4. Oqish zonasi.
5. Mustahkamlanish zonasi.
6. Mahalliy oqish zonasi.
7. Proportsionallik chegarasi.
8. Oquvchanlik chegarasi.
9. Mustahkamlik chegarasi.
10. Vaqtincha qarshilik.
11. Nisbiy qoldiq uzayish.
12. Nisbiy qoldiq torayish.

1. Konstruktsiya elementlari uchun materiallar tajriba sinovlari asosida mexanik xossalarini o'rganib tanlanadi. O'tkazilayotgan tajribalarda materiallardan yasalgan namunalarni emirilguncha bo'lgan xossalari mexanik xossalari deyiladi.

2. Cho'zilishga ishlovchi konstruktsiyalar asosan plastik materiallardan tayyorlanadi. Plastik materiallar siqilishga nisbatan cho'zilishga bardoshligi katta bo'lganligi uchun cho'zilishga ishlaydigan qismlarda ishlatiladi. Plastik materiallarga po'lat, mis, aluminij va shunga o'xshash materiallar kiradi.

Plastiklikning xususiyati qoldiq deformasiya hosil bo'lishidadir. Plastik materiallarni mexanik xossalarini o'rganish uchun uning GOST standarti tomonidan tayyorlangan namunalarni maxsus mashinalarda sinaymiz UMM -20, UMM – 10 R-5 mashinalarida sinovlar o'tkazamiz.

Namuna o'lchamlari va ko'rinishi.



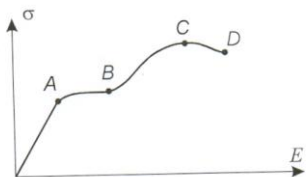
$L_0 = 10d$ uzun sterjen uchun.

$L_0 = 5d$ qisqa sterjenlar uchun.

L_0 - hisobiy uzunlik l – ishchi uzunlik.

Cho'zilishning xaqiqiy diagrammasi.

Namunani maxsus mashinaga qo'yib cho'zuvchi kuch va absolyut uzayish orasidagi bog'lanish cho'zilishining xaqiqiy diagrammasi deyiladi.



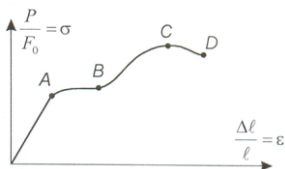
Bu erda OA elastiklik zonasi. Bu zonada kuch absolyut deformatsiyaga to'g'ri proportsional bo'lib, Guk qonuni o'rinli.

4. AB – oqish zonasi. Bu zonada qoldiq deformatsiya hosil bo'ladi. Kuch o'zgarmas bo'lib, absolyut uzayish ortadi.

5. BC – mustahkamlik zonasi. Bu zonada kuch va absolyut uzayish eng katta qiymatiga ortib boradi.

6. SD – mahalliy oqish zonasi bu zonada namunada bo'yincha hosil bo'ladi va D nuqtada namuna uziladi.

7. Materiallar qarshiligi fani bo'yicha emirilish sababini kesimlarda va kuchlanishlar eng katta qiymatga erishadi. Kuchning o'zgarmas kesim yuzaga nisbati normal kuchlanish va absolyut deformatsiyaning sterjen uzunligiga nisbati nisbiy deformatsiya orasidagi bog'lanish, shartli diagramma deyiladi.



shartli diagramma

$$\sigma_{neg} = \frac{Pa}{Po}$$

8. A – nuqta. Proporsionalik chegarasi. Bu kuchlanishga qadar kuchlanish deformatsiyaga to'g'ri proporsional ravishda ortib boradi. Bu chegarada, Guk qonunini tadbiiq etish mumkin $\sigma = E \cdot \epsilon$

9. B – oquvchanlik chegarasi $\sigma_{ok} = \frac{P_o}{F_o}$, kuch ortmasa xam deformasiya o'shishi davom etadi.

10. C – Mustahkamlik chegarasi. $\sigma_{mc} = \frac{P_c}{F_o}$ Bu chegarada namuna bardosh bera

oladigan eng katta shartli kuchlanish xosil bo'ladi.

11. D – Vaqtincha qarshilik uzilish nuqtasida bo'yincha xosil bo'la boshlab kuch kamayib uzayish ortib kuchlanish eng katta qiymatga erishadi.

$$\sigma_o = \frac{P_o}{F_o}$$

12. Nisbiy qoldiq uzayish.

$$\delta = \frac{l_k - l_o}{l_o} \cdot 100\%$$

l_k - sterjen deformasiyadan keyingi uzunligi.

l_o - sterjen uzunligi.

12. Nisbiy qoldiq torayish.

$$\Psi = \frac{F_o - F_b}{F_o} \cdot 100\%$$

F_o - namunaning boshlang'ich kesim yuzasi.

F_b - bo'yinchaning kesim yuzasi.

MAVZU: XUSUSIY OG'IRLIK HISOBGA OLISH MUSTAHKAMLIKKA HISOBLASH

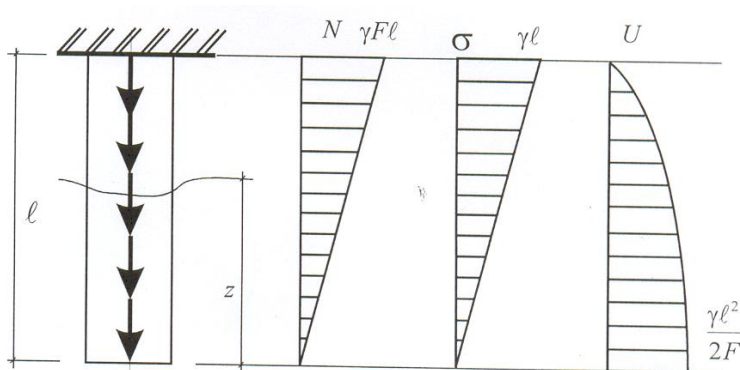
Reja:

1. Xususiy og'irlikni hisobga olish.
2. Normal kuch, normal kuchlanish va kuchishlar epyuralarini qurish.
3. Plastik materiallar uchun mustahkamlik sharti.
4. Mo'rt materiallar uchun mustahkamlik sharti.

1.2. Ba'zi konstruktsiya elementlari qurilish inshooti elementlari cho'zilish va siqilishga ishlayotganda xususiy og'irlikni hisobga olish kerak bo'ladi.

Masalan: Ko'tarma kran trosarlari, betondan yasalgan devorlar, beton ko'priklar.

Uzunligi l kesim yuzasi F , materiali uchun xususiy og'irlikni γ bo'lgan silindrik tayanch osilgan. Bu sterjen uchun normal kuch, kuchlanish va ko'chish epyuralarini ko'ramiz.



Ixtiyoriy kesimida normal kuch xususiy og'irlik koeffitsienti kesim yuzasi va uzunligi ko'paytmasiga teng:

$N = \gamma \cdot F \cdot Z$ Bu kesimda normal kuchlanish normal kuchning kesish yuzasiga nisbati bilan o'lchanadi.

Ya'ni: $\sigma = \frac{N}{F} = \gamma \cdot Z$ kesim ko'chishlari Guk qonuniga asosan topiladi,

ya'ni: $U = \int_z^l \frac{N \cdot d}{EF} = \frac{\gamma}{2F} (l^2 - z^2)$

Barcha funktsiyalarning sterjen o'qi bo'ylab o'zgarish grafigini ya'ni epyurasini quramiz. Xususiy og'irlik koeffisienti γ -materialiga qarab jadvallardan oladi.

3. Mustaxkamlikni hisoblash konstruktsiya elementi kesmalarida hosil bo'ladigan eng katta kuchlanishlar ruxsat etilgan kuchlanishlardan ortmasligi shart. Cho'zilish va siqilish deformatsiyasida sterjen kesimlarida faqat normal kuchlanish xosil bo'ladi.

$$\sigma_{\max} \leq [\sigma] \text{ ruxsat etilgan kuchlanish}$$

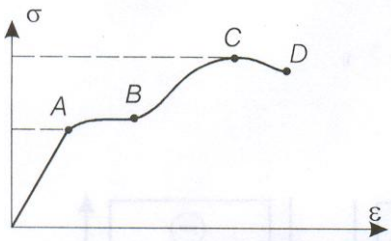
Masalan: po'lat uchun $[\sigma] = 160 \text{ MPa}$,

Mis uchun $[\sigma] = 100 \text{ MPa}$

Yog'och uchun $[\sigma] = 8 \text{ MPa}$

Plastik materiallar siqilishga nisbatan cho'zilishga bardoshi ancha katta bo'lib cho'zilishga ishlaydigan konstruksiyalarda ishlatiladi. Plastik materiallar emirilganda qoldiq deformatsiya xosil bo'ladi. Plastik materiallarga po'lat, mis, alyuminiy misol

bo'la oladi. Plastik materiallarda ruxsat etilgan kuchlanish oquvchanlik chegarasida olinadi.



$$[\sigma] = \frac{\sigma_{o\kappa}}{n}$$

n – mustahkamlik uchun extiyotlik koeffitsienti.

σ - oquvchanlik chegarasidagi kuchlanish.

n - extiyotlik koeffitsienti konstruksiyaga qarab belgilanadi.

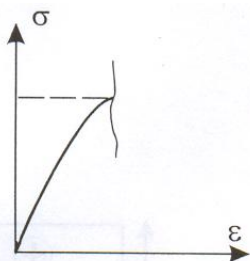
- Mo'rt materiallarga cho'yan, shisha, plastmassa, beton va shunga o'xshash materiallar kiradi. Mo'rt materiallar emirilganda qoldiq deformatsiya xosil bo'lmaydi. Mo'rt materiallar cho'zilishga nisbatan siqilishga bardoshi ancha katta bo'lganligi uchun siqilishga ishlaydigan konstruksiyalarda ishlatiladi.

Mo'rt materiallar uchun mustahkamlik shartlari quyidagicha:

$$\sigma_{\max u} \leq [\sigma_{ch}] - \text{cho'zilish tolalari}$$

$$\sigma_{\max s} \leq [\sigma_s] - \text{siqilish tolalari.}$$

Mo'rt materiallarda ruxsat etilgan kuchlanish mustahkamlik chegarasida olinadi.



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

σ_v – vaqtincha qarshilik nuqtasidagi kuchlanish

Cho'zilish va siqilish uchun mustahkamlik shartlarini qo'llash sxemasi.

- Berilgan konstruksiya elementi materiali va qo'yilgan yuk ma'lum bo'lsa kesim o'lchamlarini aniqlaymiz.

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{F} \leq [\sigma] \quad F \geq \frac{N}{[\sigma]}$$

2. Berilgan sterjen materiali va kesim o'lchamlari berilgan bo'lsa sterjenga qo'yiladigan yukni aniqlaymiz.

$$N \leq F \cdot [\sigma]$$

3. Sterjenga qo'yilgan yuk, sterjen kesim o'lchamlari ma'lum bo'lsa sterjen uchun material tanlaymiz. $[\sigma] = \frac{N}{F}$

MAVZU: CHO'ZILISH VA SIQILISHDA MUSTAHKAMLIKKA VA BIKRLIKKA HISOBLASH. STATIK NOANIQ MASALALAR.

Reja:

1. Cho'zilish va siqilishda mustahkamlik sharti.
2. Ruxsat etilgan kuchlanish bo'yicha hisoblash.
3. Statik noaniq masalalar.
4. Statik noaniq masalalarni echish tartibi.
5. Temperatura o'zgarishi va konstruksiyalarni yig'ishda yo'l qo'yilgan xatolar ta'sirida xosil bo'ladigan masalalar.

1. Cho'zilish va siqilishda sterjen kesimlaridan xosil bo'ladigan eng katta normal kuchlanishlar sterjen materiali uchun ruxsat etilgan kuchlanishdan ortmasligi shart.

$$\sigma_{\max} = \left| \frac{N_{\max}}{F} \right| \leq [\sigma]$$

$N_{\max}$ - sterjen kesimidagi eng katta normal kuchlanish.

F – sterjen kesim yuzasi.

$[\sigma]$ -material uchun ruxsat etilgan kuchlanish.

2.3. Cho'zilish va siqilishdagi mustahkamlikka hisoblash ruxsat etilgan kuchlanishlar bo'yicha olib boriladi.

$$\sigma_{\max} \leq [\sigma]$$

Ruxsat etilgan kuchlanishlar bo'yicha hisoblash. Mustahkamlik shartiga asosan yoziladi.

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{oq}}{n} \quad n - \text{extiyotlik koeffitsienti.}$$

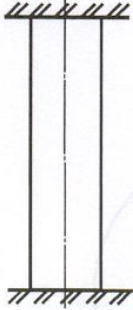
3. Ruxsat etilgan kuchlar bo'yicha hisoblash.

$$P_{\max} \leq [P] \qquad [P] = \frac{P_{ch}}{n}$$

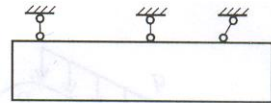
P_{ch} - Chegaraviy eng havfli kuch.

4. Faqat statika tenglamalaridan foydalanib hisoblab bo'lmaydigan masalalar statik noaniq masalalar deyiladi. Statik noaniq masalalarni quyidagicha 3 turga ajratish mumkin.

1. Ikki tomondan mahkamlangan 1 ta sterjen.

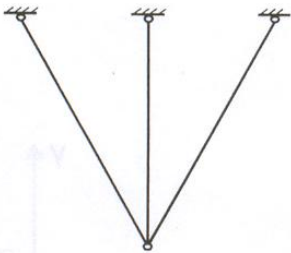


2. o'zaro parallel sterjenlar hususiy hollarda normal bo'lmagan sterjenlar



3. Bir tugunda uchrashuvchi sterjenlar tizimi.

Statik noaniq masalalar quyidagi sabablarga ko'ra hosil bo'ladi.



1. Qo'yilgan tashqi kuchlar ta'siridan.
2. Temperatura o'zgarishi ta'siridan.
3. Konstruktsiyalarni yig'ishda yo'l qo'yilgan xatolar natijasida.
4. 1,2,3 larning kombinatsiyalaridan.
5. Statik noaniq masalalarda noma'lum kuchlar soni statikaning muvozanat tenglamalari sonidan ortiq bo'ladi. Bu ortiqcha noma'lumlarni aniqlash uchun qo'shimcha deformatsiya tenglamalari tuziladi. Statik noaniq masalalar quyidagi tartibda echiladi:

1. Konstruktsiyaga qo'yilgan barcha tashqi kuchlar belgilanadi.
2. Statikaning mumkin bo'lgan tenglamalari tuziladi (tekislikda 3 ta fazoda 6 ta).
3. Masalaning statik noaniqlik darajasi aniqlanadi. $n = S - c$
 n - statik noaniqlik darajasi
 S - noma'lum kuchlar soni.
 C - statikaning muvozanat tenglamalari soni.

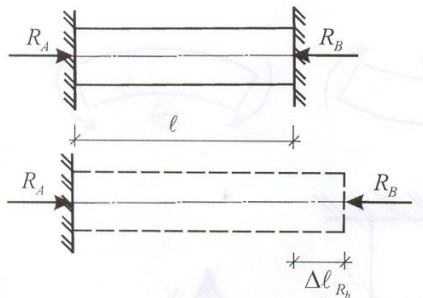
4. Qo'shimcha deformatsiya tenglamalarini tuzamiz. Qo'shimcha deformatsiya tenglamlari soni statikaning noaniqlik darajasiga teng.

5. Qo'shimcha tenglamalar tarkibidagi ko'chishlarni zo'riqishlar bilan almashtiramiz.

$$\Delta l = \frac{N \cdot l}{EF} \text{ Guk qonuniga asosan.}$$

6. Hamma tenglamalarni birgalikda echamiz.

7. Temperatura ta'siridagi sterjenlarni xisoblash. Ikki tayanch bilan maxkamlangan sterjen uzunligi l , kesim yuzasi F , elastiklik moduli E , berilgan. Bu sterjen temperaturasi Δt ga o'zgaradi. Sterjenning ko'ndalang kesimida xosil bo'ladigan kuchlanishlar aniqlansin.



$$1. \Sigma Z = 0 \quad Ra - Rb = 0$$

2. $n = S - c$ statik noaniqlik darajasi 1 ga teng.

$$S = 2 \quad c = 1$$

3. Qo'shimcha deformatsiya tenglamasi. $\Delta l_{RB} = \Delta l \Delta t^0$

$$4. \Delta l_{RB} = \frac{Rb \cdot l}{EF}, \Delta l \Delta t = \alpha \quad l \cdot \Delta t$$

EF - bikrlilik.

α - chiziqli kengayish koeffitsienti.

$$\frac{Rbl}{EF} = \alpha \cdot l \cdot \Delta t^0 \quad Rb = \alpha \cdot \Delta t^0 \cdot EF$$

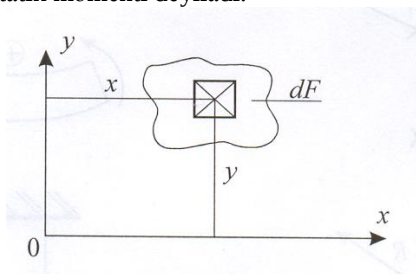
$$\sigma = \frac{N}{F} = -\alpha \Delta t^0 \cdot E \quad N = -Rb \quad Ra = Rb \text{ ga teng.}$$

MAVZU: TEKIS SHAKLLARNING GEOMETRIK XARAKTERISTIKALARI

Reja:

1. Tekis shaklanning statik momentlari.

2. Tekis shaklning og'irlik markazi holatlari.
 3. Markaziy o'q.
 4. Tekis shaklning inertsia momentlari.
 5. Qutbga nisbatan inertsia momentlari.
 6. Markazdan qochma inertsia momentlari.
 7. Oddiy shakllarning inertsia momentlari.
1. Tekis shakldan ajratilgan elementlar yuzachalarining o'qlargacha bo'lgan masofalarga ko'paytmalarining yig'indisi shu shaklning berilgan o'qlarga nisbatan statik momenti deyiladi.



$$S_x = \int_F y df$$

$$S_y = \int_F x df$$

Statik moment birliklari m^3 , sm^3 , mm^3

Statik moment ishoralari manfiy va musbat qiymatda bo'ladi.

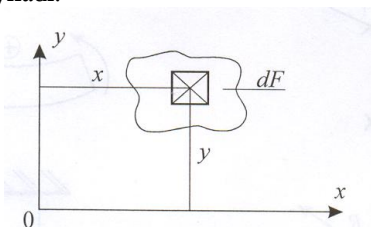
2.3. Tekis shakllarning statik momentlari va yuzalari ma'lum bo'lsa, shu shaklning og'irlik markazi holatlarini aniqlaymiz.

$$X_C = \frac{\sum S_y}{\sum F}$$

$$Y_C = \frac{\sum S_x}{\sum F}$$

Shaklning og'irlik markazidan o'tuvchi o'qlar markaziy o'qlar deyiladi. Markaziy o'qlarga nisbatan shaklning statik momenti 0 ga teng bo'ladi.

4. Tekis shakldan ajratilgan elementar yuzachalarning o'qigacha bo'lgan masofa kvadratiga ko'paytmalari yig'indisi shaklning o'qga nisbatan inertsia momenti deyiladi.

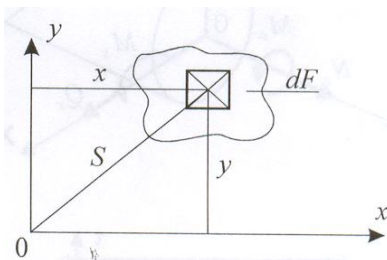


$$J_x = \int_F y^2 \cdot dF, \quad J_y = \int_F x^2 \cdot dF,$$

Inertsia momenti birligi m^4 ,
 mm^4 , sm^4 .

Inertsia momenti ishoralari faqat musbat qiymatda bo'ladi.

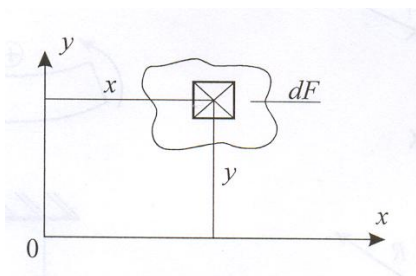
5. Tekis shakldan ajratilgan elementar yuzachalarning qutbgacha bo'lgan masofalarning kvadratlariga ko'paytmalarining yig'indisi qutbga nisbatan inertsia momenti deyiladi.



$$I_p = \int_{(F)} \rho^2 dF$$

$$I_\rho = Jx + Jy = \text{const}$$

6. Tekis shakldan ajratilgan elementar yuzachalardan koordinata o'qlarigacha bo'lgan masofalarga ko'paytmalarning yig'indisi markazdan qochma inertsia momenti deyiladi.



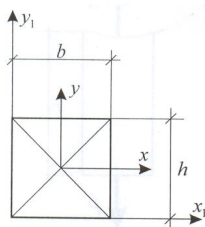
$$I_{xy} = \int_{(F)} xy dF$$

Birligi m^4 , mm^4 , sm^4 ishorasi manfiy va musbat qiymatda bo'ladi.

7. Oddiy shakllarga to'g'ri to'rburchak uchburchak va doira kiradi.

Xar qanday murakkab shakllarni oddiy shakllarga ajratish mumkin.

1) To'rtburchak .

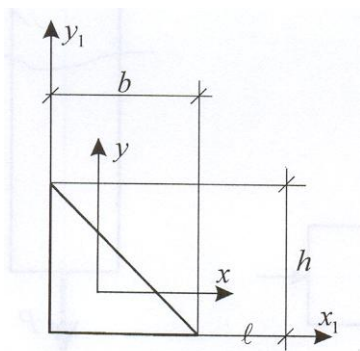


Kesim yuzasi $F = b \cdot h$, inertsia momentlari:

$$Jx = \frac{bh^3}{3}; Jy = \frac{hb^3}{3}$$

$$Jx = \frac{bh^3}{12}; Jy = \frac{hb^3}{12}$$

2) Uchburchak

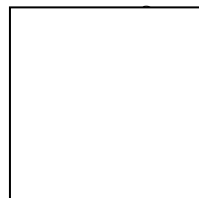


Kesim yuzasi $F = \frac{bh}{2}$

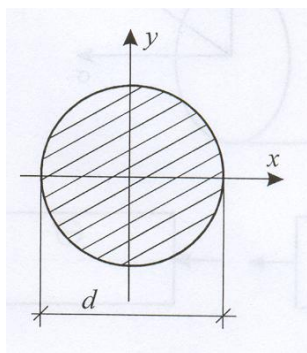
Inertsiya momentlari

$$J_{x_1} = \frac{bh^3}{12}; \quad J_{y_1} = \frac{hb^3}{12};$$

$$J_{x_1 y_1} = \frac{b^2 h^2}{18}$$



3) Doira



Kesim yuzasi $F = \frac{\pi d^2}{4}$

Inertsiya momentlari.

$$J_x = \frac{\pi d^4}{64}; \quad J_y = \frac{\pi d^4}{64};$$

$$J_\rho = \frac{\pi d^4}{32};$$

QARSHILIK MOMENTLARI.

Shaklning o'qiga nisbatan qarshilik momentini shaklning shu o'qdan eng chekka nuqtasigacha bo'lgan masofaga nisbati bilan o'lchanadi.

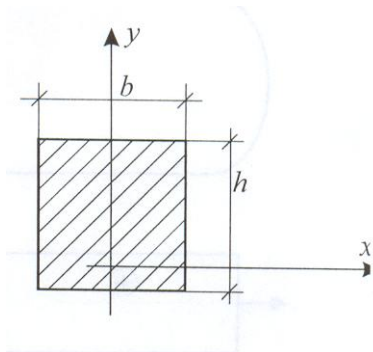
X va Y o'qlariga nisbatan qarshilik momentlari:

$$W_x = \frac{J_x}{y_{\max}}$$

$$W_y = \frac{J_y}{x_{\max}}$$

qarshilik momentining birligi m^3 , mm^3 , sm^3 ishorasi musbat va manfiy tbo'lishi mumkin.

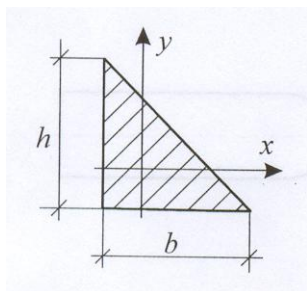
1. To'rtburchak



$$W_x = \frac{bh^2}{6}$$

$$W_y = \frac{hb^2}{6}$$

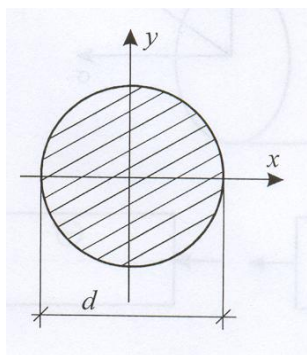
2. Uchburchak.



$$W_x = \frac{bh^2}{24}$$

$$W_y = \frac{hb^2}{24}$$

3. Doira.



$$W_x = \frac{\pi d^3}{32}$$

$$W_\rho = \frac{\pi d^3}{16}$$

MAVZU: BOSH O'QLAR VA BOSH INERTSIYA MOMETLARI.

Reja:

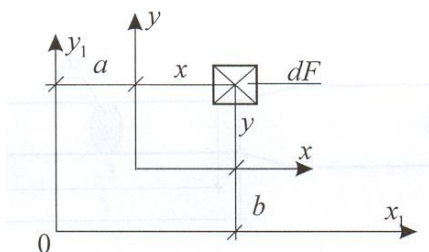
1. O'qlar parallel ko'chirilganda inertsia momentlari o'zgarishi.
2. O'qlar burilganda inertsia momentlari o'zgarishi.
3. Bosh o'qlar va bosh o'qlar holatlari.
4. Bosh inertsia momentlari.
5. Inertsia radiuslari.
6. Oddiy shakllarning geometrik xarakteristikalar.

1. O'qlar parallel ko'chirilganda inertsia momentlari quyidagicha o'zgaradi.

$$J_{x_1} = J_x + a^2 F$$

$$J_{y_1} = J_y + b^2 F$$

$$J_{x_1 y_1} = J_{xy} + abF$$



x, y - markaziy o'qlar

a, b - o'qlar orasidagi masofa $y_1 = y + a$

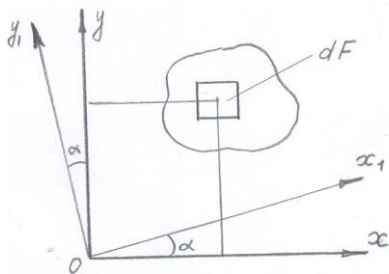
$$x_1 = x + b$$

2. O'qlar α burchakka burilganda inertsia momentlari

$$J_x = J_x \cos^2 \alpha - J_y \sin^2 \alpha + J_{xy} \sin 2\alpha$$

$$J_y = J_x \sin^2 \alpha + J_y \cos^2 \alpha + J_{xy} \sin 2\alpha$$

$$J_{xy} = \frac{J_x - J_y}{2} \sin 2\alpha + J_{xy} \cos 2\alpha$$



$$Y_1 = Y \cos \alpha + X \sin \alpha$$

$$X_1 = Y \sin \alpha + X \cos \alpha$$

3. Yangi o'qlarga nisbatan aniqlangan inertsia momentlarining ekstremal qiymatlarini aniqlaymiz. Buning uchun J_x, J_y, J_{xy} funksiyalaridan α bo'yicha hosila olamiz va 0 ga tenglaymiz.

Natijada $\frac{J_x - J_y}{2} \sin 2\alpha + J_{xy} \cos 2\alpha = 0$ quyidagi ifodani hosil qilamiz.

Bu erda $\tan 2\alpha_0 = \frac{2J_{xy}}{J_x - J_y}$ markaziy o'qlarga nisbatan bosh o'q holati kelib chiqadi.

Bosh o'qlarga nisbatan markazdan qochma inertsia moment 0 ga teng bo'ladi.

$$J_{xy} = 0$$

4. Bosh o'qlar tekis shaklning og'irlik markazidan o'tib markazdan qochma inertsia momenti $J_{xy} = 0$ teng bo'lganda ekstremal qiymatga erishadi.

$$J_{\frac{\max}{\min}} = \frac{J_x + J_y}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(J_x - J_y)^2 + 4J_{xy}^2}$$

5. Inertsia momentlari radiuslari quyidagicha aniqlanadi.

$$J_x = i_x^2 \cdot F \quad J_y = i_y^2 \cdot F \quad J_\rho = i_\rho^2 \cdot F$$

Bu erda o'qlarga nisbatan inertsia radiuslari

$$i_x = \sqrt{\frac{J_x}{F}} : i_y = \sqrt{\frac{J_y}{F}} : i_p = \sqrt{\frac{J_p}{F}}$$

inertiya radiusi birligi m, sm, mm birliklarida o'lchanadi.

6. Oddiy shakllar to'rtburchak, uchburchak va doiraning geometrik harakteristikalari quyidagilardan iborat.

1) kesim o'lchamlari b, h, d .

2) kesim yuzasi F

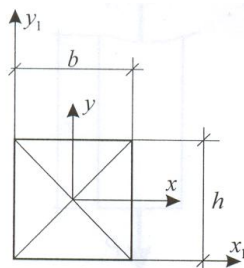
3) shaklning o'qlarga nisbatan statik momentlari $S_x, S_y, \dots$

4) O'qlarga nisbatan inersiya momentlari J_x, J_y, J_s

5) O'qlarga nisbatan qarshilik momentlari W_x, W_y, W_s

6) O'qlarga nisbatan inersiya radiuslari i_x, i_y, i_z

1. To'rtburchak uchun



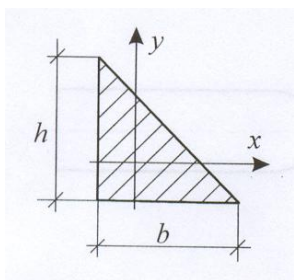
$$2) F = b \cdot h \quad 3) S_x = S_y = 0$$

$$4) J_x = \frac{bh^3}{12}; J_y = \frac{hb^3}{12}$$

$$5) W_x = \frac{J_x}{y_{\max}} = \frac{bh^2}{6}; W_y = \frac{J_y}{x_{\max}} = \frac{hb^2}{6}$$

$$6) i_x = \sqrt{\frac{J_x}{F}} = \sqrt{\frac{h^2}{12}}; i_y = \sqrt{\frac{J_y}{F}} = \sqrt{\frac{b^2}{12}}$$

2. Uchburchak



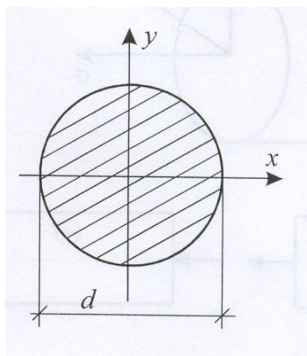
$$2) F = \frac{\rho h}{2} \quad 3) S_x = S_y = 0$$

$$4) J_x = \frac{bh^3}{36}; J_y = \frac{hb^3}{36}$$

$$5) W_x = \frac{J_x}{y_{\max}} = \frac{\rho h^2}{24}; \quad W_y = \frac{J_y}{x_{\max}} = \frac{h\rho^2}{24}$$

$$6) i_x = \sqrt{\frac{J_x}{F}} = \sqrt{\frac{h^2}{18}}; \quad i_y = \sqrt{\frac{J_y}{F}} = \sqrt{\frac{\rho^2}{18}}$$

3. Doira.



$$1) F = \frac{\pi d^2}{4} \quad 3) S_x = S_y = 0$$

$$4) J_x = J_y = \frac{\pi d^4}{64};$$

$$5) W_x = W_y = \frac{\pi d^3}{32}; \quad W_p = \frac{\pi d^3}{16};$$

$$6) i_x = i_y = \sqrt{\frac{d^2}{16}} \quad i_p = \sqrt{\frac{d^2}{8}}$$

2

MAVZU: TEKIS EGILISH

Reja:

1. Tekis ko'ndalang egilish.
2. Eguvchi moment va uning ishoralari.
3. Ko'ndalang kuch va ishoralari.

4. Eguvchi moment ko'ndalang kuch va yoyilgan kuchlar orasidagi differentsial bog'lanishlar.
5. Ichki zo'riqish kuchlari epyuralari.

1. Brus kesimlarida eguvchi moment xosil bo'lgan deformatsiya egilish deyiladi. Xech bo'lmaganda bitta simmetriya o'qiga ega bo'lib tashqi kuchlar shu tekislikda yotsa tekis to'g'ri egilish deyiladi.

Agar tashqi kuchlar simmetriya o'qidan tashqarida bo'lsa, qiya egilish deyiladi.

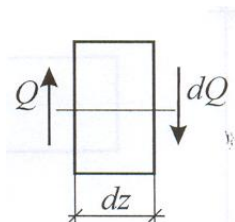
2. Ixtiyoriy ko'ndalang kesimda eguvchi moment hayolan kesib qoldirilgan qismiga qo'yilgan barcha tashqi kuchlardan kesimga nisbatan olingan statik momentlarning algebraik yig'indisiga teng. Tashqi kuch ta'siridan to'sin o'qi botiq holatda egilsa musbat ishorada, qavariq holatda egilsa manfiy ishorada olinadi.



3. Ixtiyoriy kesimda ko'ndalang kuch Q xayolan kesib qoldirilgan qismga qo'yilgan barcha kuchlarning kesimda o'tkazilgan vertikal o'qqa proeksiyalarning algebraik yig'indisiga teng. Agar kesim o'qi tashqi kuch ta'siridan soat strelkasi bo'yicha aylansa kesuvchi kuch musbat, qarama-qarshi yo'nalishida aylansa manfiy ishorada olinadi.



4. M, Q, q orasidagi differentsial bog'lanishlar.



$$Q + dQ$$

$$M + dM$$

kesimda ajratilgan element uchun muvozanat tenglamalarini tuzamiz

$$\sum y = 0; qdz - dQ = 0$$

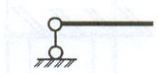
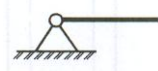
$$\sum M = 0; Q \cdot dz - dM = 0$$

$$\text{bu erda } q = \frac{dQ}{dz}; Q = \frac{dM}{dz}$$

differentensial bog'lanishdan q kelib chiqadi:

$$\frac{d^2 M}{dz^2} = \frac{dQ}{dz} = q$$

6. Tekis egilishdan eguvchi moment va ko'ndalang kuch hosil bo'lsa tekis ko'ndalang egilish deyiladi. Ko'ndalang egilish deformatsiyasida ichki zo'riqish kuchlari epyuralarni qurish uchun berilgan sistemadagi passiv tashqi kuchlarni statikaning muvozanat tenglamalaridan aniqlaymiz. Tekislikda quydagi tayanch turlari mavjud.

- | | | |
|---|---|-----------------------------------|
| 1 |  | -sharnirli qo'zg'aluvchi tayanch. |
| 2 |  | - sharnirli qo'zg'almas tayanch. |
| 3 |  | - qistirib mahkamlangan tayanch |

Egilish deformatsiyasidan ichki zo'riqish kuchlarining epyuralarini qurish uchun quyidagi tartibga rioya qilamiz.

- 1) Statikaning muvozanat tenglamasidan tayanch reaksiya kuchlarini aniqlaymiz.
- 2) Ichki zo'riqish kuchlarining o'zgarishiga qarab uchastkalarga ajratamiz.
- 3) Xar bir kesimdagi ichki zo'riqish kuchlarining analitik ifodasini topamiz.
- 4) Ichki zo'riqish kuchlarining balka o'qi bo'ylab o'zgarish grafigini epyurasini quramiz.

MAVZU: SOF EGILISH. EGILISHDA MUSTAHKAMLIKKA XISOBLASH

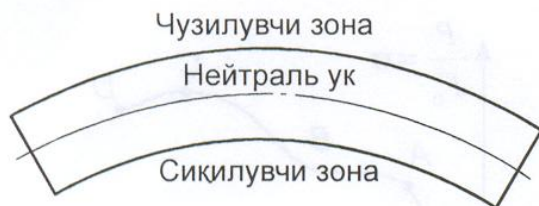
Reja:

1. Sof egilish.
2. Neytral qatlam va neytral o'q.

3. Egilishda normal kuchlanish.
4. Egilishda urinma kuchlanish.
5. Plastik materiallar uchun egilishda mustahkamlik sharti.
6. Mo'rt materiallar uchun egilishda mustahkamlik shartlari.
7. Egilishda mustahkamlikka xisoblash.

1. To'sin ko'ndalang kesimlarida ichki zo'riqish kuchlaridan faqat eguvchi moment xosil bo'lsa, sof egilish deyiladi. $Q = 0$ $M = const$, sof egilish sharti.

2. Sof egilishidan to'sinning ko'ndalang kesimlari deformasiyadan keyin xam tekisligicha qoladi. Uni tashkil etuvchi tolalari oddiy cho'zilish yoki siqilishga ishlaydi. To'sin 2 zonaga ajratiladi. 1 cho'ziluvchi zona. 2 siqiluvchi zona. Bu zonalar chegarasi neytral qatlam deyiladi. Neytral qatlam bilan ko'ndalang kesimning kesishish chizig'i Neytral o'q deyiladi. Neytral o'qda normal kuchlanish $\sigma = 0$ ga teng.



Guk qonuniga asosan $\sigma = E \cdot \varepsilon$; $\sigma = E \cdot \frac{Y}{\rho}$

r - egrilik radiusi.

Muvozanat shartlariga ko'ra $\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EJ_x}$

M - eguvchi moment.

EJ_x - egilishdagi birklik.

Egilishda ixtiyoriy nuqtaning kuchlanishi quyidagicha aniqlanadi.

$\sigma = \frac{M \cdot y}{J_x}$ bu erda; y – aniqlash kerak bo'lgan nuqtaning ordinatasi.

$J_x - x$ o'qiga nisbatan kesimning inertsia momenti.

4. Ko'ndalang egilishda normal kuchlanishlardan tashqari urinma kuchlanishlar ham xosil bo'ladi. Urinma kuchlanishlar ko'ndalang kuch Q xisobiga xosil bo'ladi.

$$\tau = \frac{Q_x \cdot S_x}{J_x \cdot b} \quad Q_x - \text{ko'ndalang kuch.}$$

S_x - ajratilgan kesimning markaziy o'qqa nisbatan Statik momenti.

J_x - kesimning x o'qiga nisbatan inertsia momenti. b - kesimning ko'ndalang o'lchami (eni) egilishda kesimlarda xosil bo'ladigan eng katta urinma kuchlanishlarni Juraviskiy formulasidan topiladi.

$$\tau_{\max} = \frac{Q_{\max} \cdot S_x}{J_x \cdot b}$$

5. Egilish deformatsiyasida normal kuchlanishlar, urinma kuchlanishlarga qaraganda ancha katta bo'lgaligi uchun ko'p hollarda mustahkamlikka normal kuchlanishlar bo'yicha hisoblanadi.

Plastik materiallar uchun mustahkamlik sharti quyidagicha.

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max} \cdot y_{\max}}{J_x} \leq [\sigma] \quad \text{yoki} \quad \sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_x} \leq [\sigma]$$

$J_x - x$ o'qiga nisbatan kesimning inertsia momenti, $y_{\max}$ - kesimning neytral o'qdan eng chekka nuqtasigacha bo'lgan masofa.

$$W_x = \frac{J_x}{y_{\max}}, \quad x - \text{o'qiga nisbatan kesimning qarshilik momenti.}$$

$[\sigma]$ - balka materiali uchun ruxsat etilgan kuchlanish.

6. Mo'rt materiallarning cho'zilishga nisbatan siqilishga chidamliligi katta bo'lganligi uchun mustahkamlik shartlari quyidagicha bo'ladi.

$$(\sigma_{\max})_c = \frac{M_{\max} \cdot (y_{\max})_c}{J_x} \leq [\sigma_c] \quad \text{siqilish tolalari uchun.}$$

$$(\sigma_{\max})_u = \frac{M_{\max} \cdot (y_{\max})_u}{J_x} \leq [\sigma_u] \text{ cho'zilish tolalari uchun.}$$

$M_{\max}$ - xavfli kesimdagi eguvchi moment qiymati.

$(y_{\max})_c$ - siqilish zonasidagi kesimning markaziy o'qdan eng chekka nuqtasigacha bo'lgan masofa.

$[\sigma]_c$ – siqilish zonasi uchun ruxsat etilgan normal kuchlanish.

$(y_{\max})_u$ - cho'zilish zonasidagi markaziy o'qdan eng chekka nuqtasigacha bo'lgan masofa $[\sigma]_u$ - cho'zilish zonasi uchun ruxsat etilgan normal kuchlanish.

7. Egilishda mustahkamlikka hisoblash bo'yicha.

A) Ruxsat etilgan o'lchamni aniqlash.

B) Ruxsat etilgan chekkani aniqlash.

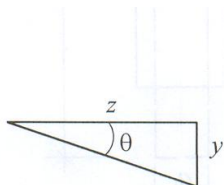
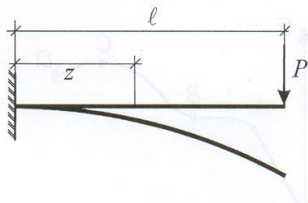
V) To'sin kesimlarida hosil bo'ladigan maksimal kuchlanishni aniqlash.

$$\text{A) } W_x \geq \frac{M_{\max}}{[\sigma]} \quad \text{B) } M_{\max} \leq W_x \cdot [\sigma]$$

$$\text{C) } \sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_x}$$

MAVZU: EGILISH DEFORMATSIYASI. ANALITIK USULIDA HISOBLASH

1.2. To'sin ko'ndalang kesimi og'irlik markazining vertikal ko'chishi salqilik deyiladi va y harfi bilan belgilanadi. Deformatsiya natijasida to'sinning ko'ndalang kesimi qandaydir burchakka buriladi. Bu burchak, buralish burchagi deyiladi va teta θ xarfi bilan belgilanadi.



$$\theta = \frac{dy}{dz}$$

To'sin uzunligiga nisbatan burilish burchagi ancha kichik bo'lganligi sababli $tg \theta \approx \theta$ deb olamiz.

Salqilik bilan burilish burchagi orasidagi differensial bog'lanish.

3. $y = y(z)$ salqilik tenglamasini tuzish uchun to'sin deformasiyasini tashqi kuch bilan quyidagicha bog'laymiz.

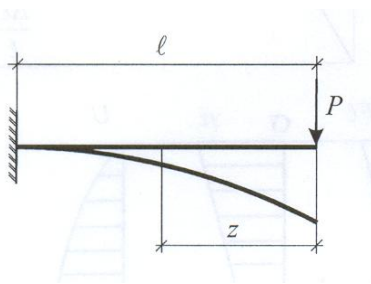
$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EJ_x} \quad \frac{1}{\rho} = \pm \frac{y''}{\sqrt{[1 + (y')^2]^3}}$$

$$y' = \theta \text{ juda kichik } 0 \text{ ga yaqinligi uchun } \frac{1}{\rho} = y''$$

$$\text{shunga teng bo'ladi } y'' = \frac{M}{EJ_x}$$

To'sin egilgan o'qining differensial tenglamasi. Bu erda M - eguvchi moment.

EJ_x - egilishdagi bikrlilik.



Bir uchi qistartirilib maxkamlangan ℓ uzunlikdagi to'sin erkin uchiga R kuch qo'yilgan.

R kuch qo'yilgan nuqtaning salqiligi va burilish burchagi aniqlansin. Ixtiyoriy Z kesim uchun eguvchi moment quyidagicha bo'ladi. $M = P \cdot z$ to'sin egilgan

o'qning differentsial tenglamasiga qo'yamiz.

$$y'' = -\frac{P \cdot z}{EJ_x}$$

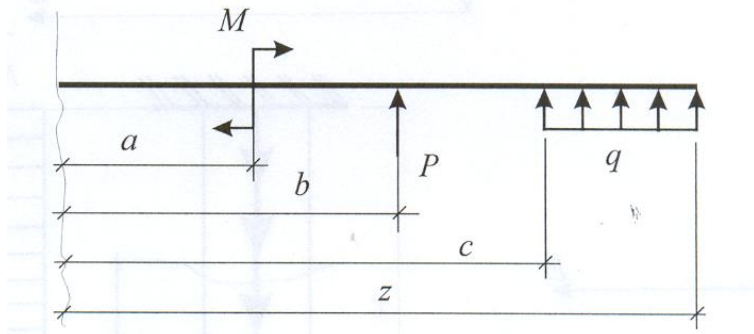
Z bo'yicha bir marta integral o'zgarmaslari bo'lib, chegaraviy shartdan foydalanib topiladi. Chegaraviy shartlar.

$$z = 0 \text{ da } y' = 0; \quad \frac{P\ell^2}{2EJ_x} + c = 0 \Rightarrow c = -\frac{P\ell^2}{2EJ_x}$$

$$z=l \text{ da } y' = 0; -\frac{Pl^3}{6EJ_x} + \frac{Pl^2}{2EJ_x} \cdot l + D = 0 \Rightarrow D = -\frac{Pl^3}{3EJ_x}$$

B. To'sin egilgan o'qining universal tenglamasi ko'p uchastkali to'sinlarga deformatsiya tenglamasi har bir uchastkasi uchun qo'llangan xolda keltirib chiqarilgan universal tenglamadan foydalanmiz.

To'singa ta'sir etuvchi barcha kuchlarni musbat yo'nalishda qaraymiz.



$$EJ_x y = EJ_x y_0 + EJ_x \theta_0 z + \sum M \frac{(z-a)^2}{2} + \sum \frac{P(z-b)^3}{6} + \sum q \frac{(z-c)^4}{24}$$

0 – boshlang'ich nuqta.

a, b, c – koordinata boshidan kuch qo'yilgan nuqtalargacha bo'lgan masofalar.

y_0, θ_0 – boshlang'ich nuqtaning salqiligi va burilish burchagi bo'lib chegaraviy shartlardan foydalanib topiladi.

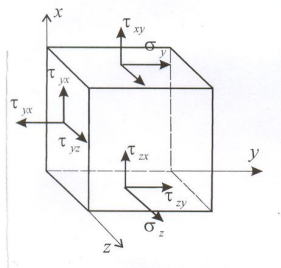
MAVZU: ELASTIK JISM NUQTASINING KUHLANISH HOLATI

Reja:

1. Nuqtaning kuchlanish xolati.
2. Kuchlanish xolati komponentlari.
3. Urinma kuchlanishlarning juftlik qonuni.
4. Ixtiyoriy xolatdagi yuzada kuchlanishlarni aniqlash.
5. Kuchlanishlar tenzori.
6. Bosh yuzachalar va bosh kuchlanishlar.

7. Invariantlar.

1.2. Nuqtaning kuchlanish xolati deb shu nuqta orqali o'tgan barcha yuzalarda payda bo'ladigan kuchlanishlar to'plamiga aytiladi. Elastik jism nuqtasining kuchlanish holatini aniqlash uchun shu nuqta atrofida elementar paralellopiped ajratamiz.



$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ - normal kuchlanishlar.

$\tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yx}, \tau_{yz}, \tau_{zx}, \tau_{zy}$ -

urinma kuchlanishlari. Bu normal va urinma kuchlanishlar kuchlanish holatining komponentlari deyiladi.

3. Muvozanat tenglamalar tuzamiz.

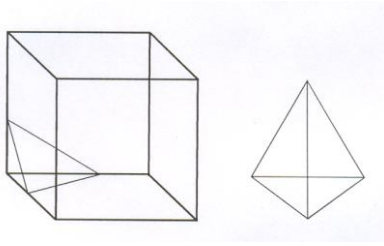
$$\begin{cases} \sum X = 0 \\ \sum Y = 0 \\ \sum Z = 0 \end{cases}$$

Bu tenglamalardan urinma kuchlanishlarning juftlik qonuni kelib chiqadi.

$$\begin{cases} \tau_{xy} = \tau_{yx} \\ \tau_{xz} = \tau_{zx} \\ \tau_{yz} = \tau_{zy} \end{cases}$$

Urinma kuchlanishlar qiymati jihatidan o'zaro teng, yo'nalishi qarama-qarshi bo'ladi.

4. Ixtiyoriy qiyaliklardagi kuchlanish



ΔBCD yuzasi F

ΔACD yuzasi F_x

ΔABC yuzasi F_y

ΔABD yuzasi F_z

$$Fx = Fl, Fy = F \cdot m, Fz = F \cdot n$$

$$l = \cos(X \wedge \vartheta)$$

$$m = \cos(x \wedge \vartheta)$$

$$n = \cos(z \wedge \vartheta)$$

l, m, n — yo'naltiruvchi kosinuslar.

Muvozanat tenglamalarini tuzamiz

$$\sum X = 0; x = \sigma_x F_x + \tau_{xy} \cdot F_y + \tau_{xz} \cdot F_z$$

$$\sum Y = 0; y = \tau_{yx} F_x + \sigma_y F_y + \tau_{yz} \cdot F_z$$

$$\sum Z = 0; z = \tau_{zx} F_x + \tau_{zy} F_y + \tau_z \cdot F_2$$

$$x = \sigma_{x\ell} + \tau_{xy} \cdot m + \tau_{xz} \cdot n$$

$$y = \tau_{yx} \cdot l + \sigma_y \cdot m + \tau_{yz} \cdot n$$

$$z = \tau_{zx} l + \tau_{zy} m + \sigma_z \cdot n$$

ixtiyoriy
qiyalikdagi
kuchlanishlar.

Bu tenglamalarning uchinchi tartibdagi matritsasi kuchlanishlar tenzori deyiladi.

$$T = \begin{pmatrix} \sigma_x \cdot \tau_{xy} \cdot \tau_{xz} \\ \tau_{yx} \cdot \sigma_y \cdot \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \cdot \tau_{zy} \cdot \sigma_z \end{pmatrix}$$

$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yz}$ - kuchlanish holati komponentlari deyiladi.

6. Bosh yuzalar va bosh kuchlanishlarda ixtiyoriy qiyalikdagi urinma kuchlanishlar 0 ga teng bo'lib, normal kuchlanishlar ekstremal bo'lsa, bunday yuza bosh yuza deyiladi. Bosh yuza normal bosh o'q bo'ladi. Ekstremal kuchlanishlar bosh o'qlar bo'yicha yo'nalgan bo'lib, qiymati quyidagicha aniqlanadi.

$$X = \sigma \cdot l, y = \sigma \cdot m, z = \sigma \cdot n$$

X, Y, Z larni ixtiyoriy qiyalikda hisobga olsak quyidagicha hisoblanadi.

$$\sigma \cdot l = \sigma_x \cdot l + \tau_{xy} m + \tau_{xz} \cdot n$$

$$\sigma \cdot m = \tau_{yx} \cdot l + \sigma_y \cdot m + \tau_{yz} n$$

$$\sigma \cdot n = \tau_{zx} \cdot l + \tau_{zy} \cdot m + \sigma_z \cdot n$$

$$(\sigma_x - \sigma)l + \tau_{xy} \cdot m + \tau_{xz} \cdot n = 0$$

$$\tau_{yz} l + (\sigma_y - \sigma)m + \tau_{yz} \cdot n = 0$$

$$\tau_{zx} \cdot l + \tau_{zy} m + (\sigma_z - \sigma)n = 0$$

Bu erda σ - bosh kuchlanishlar.

Bosh kuchlanishlarni aniqlash uchun 3-tartibli determinantni 0 ga tenglaymiz.

$$\Delta = \begin{vmatrix} (\sigma_x - \sigma)\tau_{xy} \tau_{xz} \\ \tau_{yx}(\sigma_y - \sigma)\tau_{yz} \\ \tau_{zx} \tau_{zy}(\sigma_z - \sigma) \end{vmatrix} = 0$$

bu determinantdan uchinchi darajali tenglama kelib chiqadi.

$$\sigma^3 - J_1\sigma^2 + J_2\sigma - J_3 = 0 \quad \sigma_1 \langle \sigma_2 \langle \sigma_3$$

Bosh kuchlanishlar uchun quyidagi munosabat o'rinlidir.

Bu erda J_1, J_2, J_3 - kuchlanish holatining invariantlari deyiladi.

$$J_1 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z$$

$$J_2 = \sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - \tau_{xy}^2 - \tau_{xz}^2 - \tau_{yz}^2$$

$$J_3 = \begin{vmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{vmatrix}$$

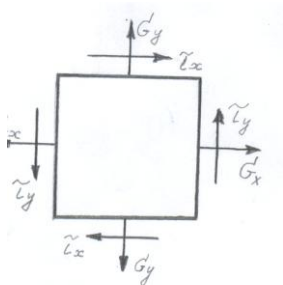
MAVZU: TEKIS KUCHLANISH XOLATI

Reja:

1. Tekis kuchlanish xolati.
2. Tekis kuchlanish xolati uchun qiya yuzadagi kuchlanishlar.
3. Bosh yuzalar va ularning xolati.
4. Bosh kuchlanishlar.
5. Eksternal urinma kuchlanishlar.
6. Mor doirasi.

1) Nuqtaning kuchlanish xolatida biror o'q bo'ylab kuchlanishlar 0 ga teng bo'lsa tekis

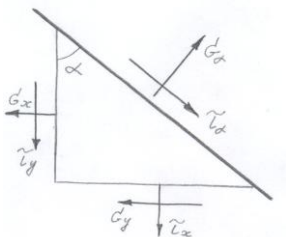
kuchlanish xolati $\tau_z = \tau_{zx} = \tau_{zy} = 0$ bo'ladi.



2) Tekis kuchlanish xolatida α burchak ostidagi yuzachada quyidagi kuchlanishlar xosil bo'ladi.

$$\sigma_{\alpha} = \sigma_x \cos^2 \alpha + \sigma_y \sin^2 \alpha + \tau_{xy} \sin 2\alpha$$

$$\tau_{\alpha} = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \sin 2\alpha - \tau_{xy} \cos 2\alpha$$



3) Tekis kuchlanish xolatida shunday ixtiyoriy yuzacha mavjudki urinma kuchlanishlar 0 ga tengki, bu yuzada normal kuchlanishlar esa ekstremal qiymatga erishadi.

$$\tau_{\alpha} = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \sin 2\alpha_o - \tau_{xy} \cos 2\alpha_o = 0 : \cos 2\alpha$$

$$\operatorname{tg} 2\alpha_o = \frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y}$$

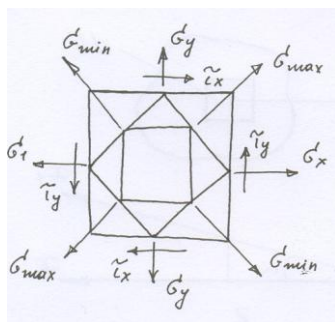
Urinma kuchlanishlar 0 ga teng bo'lgan yuzacha bosh yuzacha deyiladi. Yuqorida keltirib chiqarilgan ifoda bosh yuzacha xolatini aniqlaydi.

4) Bosh yuzachalardagi kuchlanishlar bosh kuchlanishlar deyiladi va quyidagicha ifodalanadi.

$$\tau_{\frac{\max}{\min}} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}$$

5) Bosh yuzachalarga 45° burchak ostidagi yuzachalarda ekstremal urinma kuchlanishlar xosil bo'ladi va quyidagicha aniqlanadi.

$$\tau_{\frac{\max}{\min}} = \pm \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \quad \sigma_{\max}, \sigma_{\min} \text{ bosh kuchlanishlar.}$$



$\alpha_o > 0$ soat strelkasi bo'ylab.

$\alpha_o < 0$ soat strelkasiga qarama-qarshi.

6) Tekis kuchlanish xolatida ixtiyoriy qiyalikdagi kuchlanishlar bosh yuza va bosh kuchlanishlar, ekstremal urinma kuchlanishlar gradus usulida mor doirasi yordamida aniqlanadi.

Ixtiyoriy qiya yuzalikdagi normal va urinma kuchlanishlar ifodalarini o'rin almashtirib va darajasiga ko'tarib qo'shamiz.

$$\left(\sigma_x - \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \right)^2 + \tau_{xy}^2 = \left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \right)^2 + \tau_{xy}^2$$

$$R = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$a^2 + b^2 = R^2$$

$$\left(\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}; 0 \right) - \text{doira markazining koordinatalari.}$$

UMUMLASHGAN GUK QONUNI.

1. Solishtirma potentsial energiya.

1) Cho'zilish va siqilishda Guk qonuni bo'yicha kuchlanish nisbiy deformatsiyaga to'g'ri proporsional edi. $\sigma = \varepsilon \cdot E$ Bu ifoda chiziqli kuchlanish xolati uchun o'rinli. Fazoviy kuchlanish xolati uchun Guk qonuni quyidagicha ifodalanadi.

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} (\sigma_x - \mu(\sigma_y + \sigma_z))$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E} (\sigma_y - \mu(\sigma_x + \sigma_z))$$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E} (\sigma_z - \mu(\sigma_x + \sigma_y))$$

Bu erda

$\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z - X, Y, Z$ o'qlari bo'yicha nisbiy deformatsiyalar.

$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z - X, Y, Z$ o'qlari bo'yicha normal kuchlanishlar.

μ -Puasson koeffitsienti

Yuqorida yozilgan ifoda umumlashgan Guk qonuni deyiladi. Bosh kuchlanish xolati uchun umumlashgan Guk qonuni quyidagicha ifodalanadi.

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{E} (\sigma_1 - \mu(\sigma_2 + \sigma_3))$$

$$\varepsilon_2 = \frac{1}{E} (\sigma_2 - \mu(\sigma_1 + \sigma_3))$$

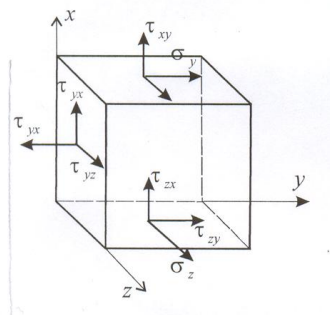
$$\varepsilon_3 = \frac{1}{E} (\sigma_3 - \mu(\sigma_1 + \sigma_2))$$

Bu erda $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ - bosh o'qlar bo'yicha nisbiy deformatsiyalar.

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ -bosh kuchlanishlar .

μ -Puasson koeffitsienti.

2) Kuchlanish xolatida element paralelepipedning deformatsiyagacha bo'lgan o'lchamlarini d_x, d_y, d_z deb belgilaymiz.



$d x + \Delta d x, d y + \Delta d y, d z + \Delta d z$ - paralelepipedning deformatsiyadan keyingi o'lchamlari.

Boshlang'ich xajmi V_o keyingi xajmi V_1 bo'lsa xajmiy absolyut deformatsiya quyidagicha topiladi. $\Delta V = V_1 - V_o$

3) Nisbiy xajmiy deformatsiya $e = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z$ quyidagicha aniqlanadi. Bosh kuchlanish xolati uchun nisbiy xajmiy deformatsiya $e = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3$ hisoblanadi.

4) Jism deformatsiyalanganda nuqtalar o'rnini o'zgarib ko'chadi. Ko'chish natijasida xolati tufayli ish bajaradi. Bajarilgan ish potentsial energiya hisoblanadi.

$$U = \frac{1}{2} (\sigma_x \cdot \varepsilon_x + \sigma_y \cdot \varepsilon_y + \sigma_z \cdot \varepsilon_z + \tau_{xy} \gamma_{xy} + \tau_{xz} \gamma_{xz} + \tau_{yz} \gamma_{yz})$$

Bu erda $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ - chiziqli nisbiy deformatsiyalar.

$\gamma_{xy}, \gamma_{xz}, \gamma_{yz}$ - burchakli nisbiy deformatsiyalar.

$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yz}$ - kuchlanish komponentlari.

To'liq potentsial energiya ikki qismdan iborat.

$$U = U_h + U_{sh}$$

Bu erda U_h - xajm o'zgarishdagi solishtirma potentsial energiya.

U_{sh} - shakl o'zgarishdagi solishtirma potentsial energiya.

5) Deformatsiyalanayotgan jism potentsial energiyasining xajmga nisdati solishtirma potentsial energiyasi deyiladi.

$$U_h = \frac{1-2\mu}{6E}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)$$

$$U_{sh} = \frac{1+M}{3E}(\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2 - \sigma_2 \cdot \sigma_3 - \sigma_3 \cdot \sigma_1)$$

MAVZU: MUSTAHKAMLIK NAZARIYALARI.

Reja:

1. Xavfli kuchlanish xolati.
2. Ekvivalent kuchlanish.
3. Mustahkamlik nazariyalari.
4. Eng katta normal kuchlanishlar nazariyasi.
5. Eng katta chiziqli deformatsiyalar nazariyasi.
6. Eng katta urinma kuchlanishlar nazariyasi.
7. Energetik nazariya.
8. Mor nazariyasi.

1) Tashqi qo'yilgan kuchlar ta'siri va qiymatiga qarab konstruktsiya elementlarining materiallari xar hil mexanik xolatda bo'lishi mumkin. Kichik tashqi kuchlar ta'sirida jism elastik xolatda bo'ladi. Tashqi kuchlar qiymati oshgan sari qoldiq deformatsiyalar xosil bo'ladi. Ya'ni plastik xolatga o'tadi. Bu mexanik xolatlarni tajriba yordamida aniqlaymiz.

Plastik materiallar po'lat, mis va shunga o'xshash materiallarda qoldiq deformatsiya xosil bo'lib emiriladi.

Mo'rt materiallarda esa emirilish qoldiq deformatsiyasiz bo'ladi. Kuchlar ortgan sari jismlarda kuchlanish xolati murakkablashib, chegaraviy xolat ya'ni emirilish ro'y beradi. Chegaraviy xolatlar murakkab kuchlanish xolati konstruktsiya elementlarining xavfli xolatini belgilaydi. Chegaraviy xolatlarni belgilashda uchta o'q bo'yicha kuchlanishlar xisobga olinishi kerak. Materiallar qarshiligi fani bo'yicha kiritilgan ba'zi farazlarga ko'ra kamchiliklarga yo'l qo'yamiz. Bu kamchiliklarni kamaytirish uchun mustahkamlikka xisoblashning kriteriyalarini aniqlash zarur. Kriteriyalarni aniqlashda xavfsizlik koeffitsienti kiritish zarur. Xavfsizlik koeffitsienti deb shunday o'zgarmas songa aytiladiki, agar berilgan kuchlanish xolatining komponentlarini xammasini mos ravishda shuncha marta orttirganda bir mexanikk xolatdan 2-mexanik xolatga o'tadi.

2) Teng xavfli kuchlanish xolatlarini xavfsizlik koeffitsientlari o'zaro teng bo'lsa, teng kuchli ekvivalent kuchlanish deb ataymiz.

3) Murakkab kuchlanish xolatlarini mustahkamlik nazariyalari bo'yicha o'rganamiz. Mustahkamlik nazariyalariga 5 ta nazariya kiradi.

1. Eng katta normal kuchlanish nazariyasi.
2. Eng katta chiziqli deformatsiya nazariyasi.
3. Eng katta urinma kuchlanish nazariyasi.
4. Energetik nazariya.
5. Mor nazariyasi.

4) 1 - mustahkamlik nazariyasi eng katta normal kuchlanishlar nazariyasi deyiladi. Tashqi kuchlar ta'sir etganda konstruktsiya elementlarining chegaraviy xolati, eng katta normal kuchlanishlar xisobiga xosil bo'ladi.

$$\sigma_{\text{KKB}} = \sigma_1 \leq [\sigma]$$

Bu nazariya eng katta normal kuchlanishlar nazariyasi. Bu nazariya hozirgi paytda qo'llanilmaydi faqat tarixiy ahamiyatga ega. Chunki, σ_2, σ_3 qatnashmaydi.

5) 2 – mustahkamlik nazariyasi eng katta chiziqli deformatsiyalar nazariyasi deyiladi. Tashqi kuch ta'sir etganda konstruktsiya elementlaridagi xavfli xolat eng katta deformatsiyalar xisobiga sodir bo'ladi. $\varepsilon_{\text{KKB}} = \varepsilon_1 \leq \varepsilon$

$$\sigma = \varepsilon \cdot E \rightarrow \varepsilon = \frac{\sigma}{E} \qquad \sigma_{\text{KKB}} = \sigma_1 - \mu(\sigma_2 + \sigma_3) \leq [\sigma]$$

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ - bosh kuchlanishlar.

μ - Puasson koeffitsienti.

Bu nazariya 1-nazariya kabi tajribalarda etarli darajada tasdiqlanmagan, faqat mo'rt materiallar uchun o'rinli.

6) 3 – mustahkamlik nazariyasi eng katta urinma kuchlanishlar nazariyasi deyiladi. Tashqi kuchlar ta'sir etganda konstruktsiya elementlaridagi xavfli xolat eng katta urinma kuchlanishlar xisobiga sodir bo'ladi.

$$\tau_{\text{max}} \leq [\tau] \qquad \sigma_{\text{KKB}} = \sigma_1 - \sigma_3 \leq [\sigma]$$

$$\sigma_{\text{KKB}} = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \leq [\sigma]$$

Bu nazariya plastik va mo'rt materiallar uchun o'rinli kamchiligi σ_2 - xisobiga olinmagan.

7) 4 – mustahkamlik nazariyasi energetik nazariya tashqi kuch ta'siridan konstruksiya elementlarida xavfli xolat eng katta solishtirma potentsial energiya xavfli xolat eng katta solishtirma potentsial energiya xisobiga xosil bo'ladi.

$$U \leq [U]$$

$$\sigma_{\text{эКВ}} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2 - \sigma_2 \cdot \sigma_3 - \sigma_1 \cdot \sigma_3} \leq [\sigma]$$

$$\sigma_{\text{эКВ}} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq [\sigma]$$

8) 5 - mustahkamlik nazariyasi Mor mustahkamlik nazariyasi deyiladi. Bu nazariya xozirgi paytda keng qo'llaniladigan tashqi kuch ta'sirida konstruksiya elementlaridagi xavfli xolat bosh kuchlanishlar xisobiga sodir bo'ladi.

$$\sigma_{\text{эКВ}} = \sigma_1 - \frac{[\sigma_2]}{[\sigma_c]} \cdot \sigma_3 \leq [\sigma]$$

$[\sigma_u]$ - cho'zilish tolalari uchun ruxsat etilgan kuchlanish.

$[\sigma_c]$ - siqilish tolalari uchun ruxsat etilgan kuchlanish.

σ_1, σ_3 - bosh kuchlanishlar.

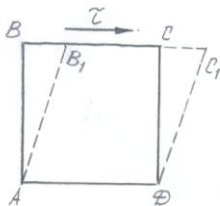
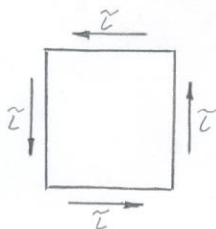
Bu nazariya asosan mo'rt materiallar uchun ishlaydi.

MAVZU: SOF SILJISH.

Reja:

1. Sof siljish.
2. Sof siljishda absolyut va nisbiy deformatsiya.
3. Siljish uchun Guk qonuni.
4. Ikkinchi darajali elastiklik moduli. G, E - orasidagi bog'lanish.
5. Parchin mixli birikmalar xisobi.
6. Payvand birikmalar xisobi.
7. Siljish uchun mustahkamlik sharti.
8. Siljishdagi bikrlilik.

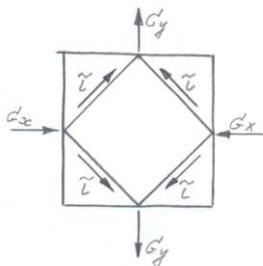
Ajratilgan cheksizlik kichik elementlarning tomonlaridan faqat urinma kuchlanishlar xosil bo'lsa, sof siljish deyiladi. Sof siljish ta'siridan element o'lchamlari o'zgarmaydi. Uning shakli o'zgarib romb shakliga keladi.



$\Delta S = BB_1 = CC_1$ - Absolyut siljish deyiladi.

γ - siljish burchagi yoki nisbiy siljish deyiladi. $\gamma = \frac{\Delta S}{\Delta Z}$

3.4. (Siljish uchun Guk qonuni). Tekis bosh kuchlanish xolati elementiga 45° ostida joylashgan qiya yuzachalarda faqat urinma kuchlanishlar xosil bo'ladi.



Kesimlarda xosil bo'lgan urinma kuchlanishlar nisbiy deformatsiyaga to'g'ri proporsional bo'ladi.

$$\tau = \sigma \cdot \gamma$$

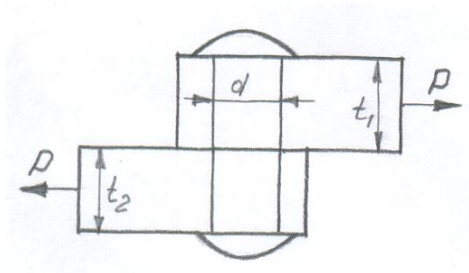
Siljish uchun Guk qonuni ifodasi.

4. Bu erda G - ikkinchi tartibli elastiklik moduli yoki ikkinchi tartibli YUng moduli birinchi tartibli elastiklik moduli bilan quyidagicha bog'langan.

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

Bu erda E – birinchi tartibli elastiklik moduli μ – Puasson koefisienti.

5. Parchin mixli birikmalar xisobi. Parchin mixli birikmalarning parchin mixlari siljishga ulanuvchi listlarning devorlari ezilishga xisoblanadi.



$$\tau = \frac{P}{n \cdot F_m} = \frac{P}{n \cdot \frac{\pi d^2}{4}} \leq [\tau]$$

Bu erda. n -Parchin mixlar soni.

F_m - mixning kesim yuzasi.

$[\sigma]$ - Parchin mix tayyorlash uchun ruxsat etilgan urinma kuchlanish.

$$\sigma_{ez} = \frac{p}{n \cdot t \cdot l} \leq [\sigma_{ez}]$$

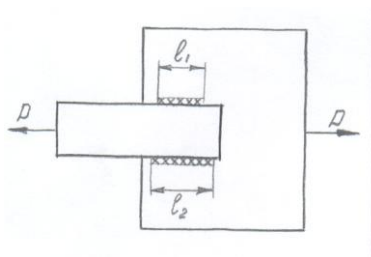
Bu erda t - eng yupqa listning qalinligi.

l - yupqa listning uzunligi

$[\sigma_{ez}]$ - list materiali uchun ezilishga ruxsat etilgan kuchlanish.

6) Payvand birikmalarining choklari siljishga xisoblanadi. Siljishda kesimlarda urinma kuchlanishlar bo'yicha xisoblanadi.

$$\tau = \frac{p}{0,7h(l_1 + l_2)} \leq [\tau]$$

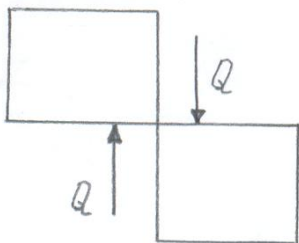


h - payvand chokning balandligi

$l_1 - l_2$ - choklarning uzunliklari.

$[\tau]$ - ruxsat etilgan urinma kuchlanish

7) Siljishdagi urinma kuchlanish ko'ndalang kuchning kesim yuzasi nisbati bilan o'lchanadi.



$\tau = \frac{Q}{F}$ Siljish uchun mustahkamlik sharti.

$$\tau = \frac{Q}{F} \leq [\tau]$$

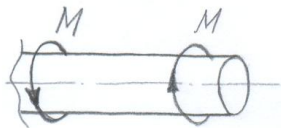
8) Ikkinchi tartibli YUng modulining kesim yuzasiga ko'paytmasi siljishdagi birklik deyiladi. $G \cdot F$ (izox EF - cho'zilish va siqilishdagi birklik EJX - egilishdagi birklik.)

MAVZU: BURALISH

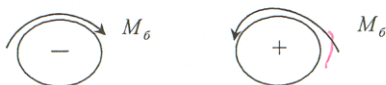
Reja:

1. Buralish.
2. Burovchi moment va ishoralari.
3. Buralishda urinma kuchlanishlar.
4. Buralishda mustahkamlik sharti.
5. Kesimni ratsional tashlash.
6. Buralishda birklik sharti.
7. Buralishda birklik.
8. Buralishdagi ichki zo'riqish kuchlari.

1.2. “Z” O’qiga tik tekislikda kuchlariga teng va qarama-qarshi yo’nalgan kuchlar jufti qo’yilgan bryuslarning deformasiyalanishi buralish deyiladi. Buralish deformasiyasida sterjen kesimlarida ichki zo’riqish kuchlaridan faqat burovchi moment xosil bo’ladi.



Sterjenning ixtiyoriy kesimidagi burovchi moment, xayolan kesib qoldirilgan qismga qo’yilgan brcha tashqi kuchlardan sterjen o’qi z ga nisbatan olingan momentlarning algebravik yig’indisiga teng. Kesimdagi burovchi moment soat strelkasi bo’ylab yo’nalsa, manfiy ishorada soat strelkasiga qarama-qarshi yo’nashda, musbat ishorada olinadi.



3) Sterjen kesimlarida burovchi moment ta’siridan faqat urinma kuchlanishlar xosil bo’ladi va quyidagicha aniqlanadi.

$$\tau = \frac{M_b \cdot \rho}{J_\rho}$$

M_b - burovchi moment

J_ρ - qutbga nisbatan inertsia momenti.

ρ - egrilik radiusi.

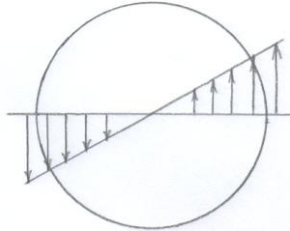
4) Sterjen kesimlarida xosil bo’lgan eng katta urinma kuchlanishlar sterjen materiali uchun ruxsat etilgan kuchlanishdan ortmasligi shart.

$$\tau_{\max} = \frac{(M_\delta)_{\max} \rho_{\max}}{J_\rho} \leq [\tau]$$

yoki

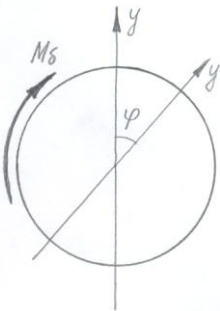
$$\tau_{\max} = \frac{(M_{\delta})_{\max}}{W_{\rho}} \leq [\tau]$$

$$W_{\rho} = \frac{J_{\rho}}{\rho_{\max}} - \text{qutbga nisbatan qarshilik momenti.}$$



5) Burilishda mustahkamlikka xisoblash sharti formulasidan kesimning shaklini qarshilik momenti qancha katta bo'lsa, shu shaklni kesish buralishda ratsional tanlangan xisoblanadi. Kesim shakli rasional bo'lishi uchun kesimning asosiy qismi shakl og'irlik markazidan mumkin qadar uzoqda joylashtirish kerak.

6) Burilishda eng katta deformatsiya ruxsat etigan kuchlanishlardan ortmasligi shart. Buralishda ko'chish burchakli bo'ladi.



$\varphi_{\max} \leq [\varphi]$ valning buralishdagi birklik sharti. Bu erda φ - siljish uchun Guk qonunidan foydalanib topiladi.

$$\varphi = \int_{(\ell)} \frac{M_b \cdot dz}{G \cdot J_{\rho}}$$

7) Ikkinchi tartibli elastiklik modulining qutbga nisbatan inertsia momentiga ko'paytmasi buralishdagi birklik deyiladi. $G \cdot JS$ - buralishdagi birklik. (Izox: EF - cho'zilish va siqilishdagi bikirlik, EJ_x - egilishdagi birklik. GF -siljishdagi birklik.)

SILINDRIK VINTLI PRUJINANING XISOBI.

1. Mashinasozlikda prujinalarning ishlatiladigan elementlari ko'p uchraydi. Prujinalar buralish deformasiyasiga misol bo'la oladi.

R- prujina o'ramining o'rtacha radiusi.

r – prujina simining radiusi.

n – o'ramlar soni.

Prujinaning ixtiyoriy kesimlarida ko'ndalang kuch $Q=P$ ga burovchi moment $M=P \cdot R$ ga teng burovchi moment

$$M_{\sigma} = P \cdot R \quad \text{ga teng bo'ladi.}$$

Qiriyilishdan xosil bo'lgan urinma kuchlanish quyidagicha:

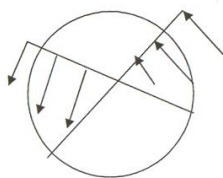
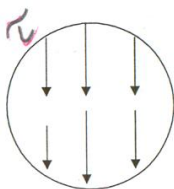
$$\tau_1 = \frac{P}{F} = \frac{P}{\pi r^2}$$

Buralishda xosil bo'ladigan kuchlanishlar quyidagicha aniqlanadi:

$$\tau_2 = \frac{M}{W_{\rho}} = \frac{2P \cdot R}{\pi r^3} = \frac{2P \cdot R}{\pi r^3}$$

Mayda prujinalar xisobini quyidagi yig'indi orqali bajaramiz.

$$\tau_{\max} = \tau_1 + \tau_2 = \frac{2PR}{\pi r^3} + \frac{P}{\pi r^2} = \frac{2PR}{\pi r^3} \left(1 + \frac{r}{R}\right)$$



R kuch ta'siridan prujina cho'ziladi ya'ni nuqtalar ko'chadi. Natijada potentsial energiya xosil bo'ladi.

$$U = \frac{M^2 \pi R n}{G J_\rho} = \frac{\pi R^3 \cdot n P^2}{G J_\rho}$$

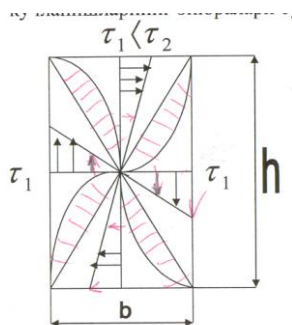
Prujaning kuch ta'sirlaridan uzayishi ya'ni ko'chishi quyidagicha aniqlanadi.

$$\lambda = \frac{4 P R^3 \cdot n}{G r^4}$$

Kesimi doiraviy bo'lmagan sterejenlarning buralishi doiraviy bo'lgan sterjenlarning buralishidan ancha murakkab doiraviy kesim uchun qabul qilingan cheklanishlar to'g'ri kelmaydi kesim yuzasining ayrim nuqtalari sterjen o'qi bo'ylab suriladi, bu xolat kesim yuzasi deplanseriyasi deb ataladi.

Bu xolat to'g'ri to'rtburchakning kesimlarida xosil bo'ladigan urinma kuchlanishlarning epyuralari bo'yicha ko'rib chiqamiz.

$$\tau_1 > \tau_2$$



$$\tau_1 = \frac{M_b}{W_p} \qquad \theta = \frac{M_b l}{GJ_p}$$

Burchakdagi nuqtalarda kuchlanishlar O-ga teng.
Eng katta kuchlanish birinchi nuqtada xosil bo'ladi.

$$\tau_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_p} \qquad W_p = \beta \cdot b^3$$

W_p - qutbga nisbatan qarshilik momenti.

Ikkinchi nuqtaga urinma kuchlanishlar quyidagicha aniqlanadi:

$$\tau_2 = \gamma \cdot \tau_1$$

Burilish burchagi quyidagicha aniqlanadi

$$\theta = \frac{M_b \cdot \ell}{GJ_p}$$

$$J_p = \alpha \cdot b^4$$

M_b -burovchi moment.

G – ikkinchi tartibli elastiklik moduli.

α, β, γ – lar $\frac{h}{b}$ nisbatiga qarab to'ldirilgan jadvallardan olinadi.

Masalan:

$$\frac{h}{b} = 2, \alpha = 0.457, \beta = 0.493, \gamma = 0.795$$

MAVZU: MURAKKAB QARSHILIK QIYA EGILILSH.

Reja

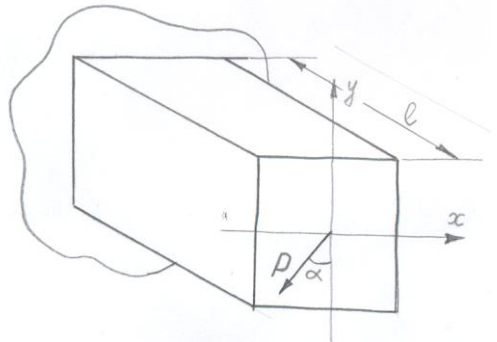
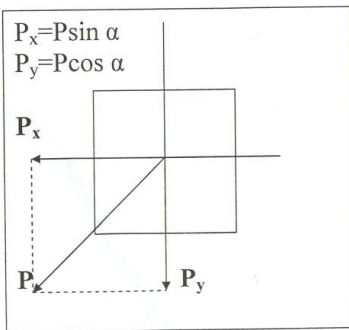
1. Murakkab qarshilik.
2. Qiyshiq egilish.
3. Qiyshiq egilish uchun ichki kuchlarni aniqlash.
4. Qiyshiq egilishda normal kuchlanishni aniqlash.
5. Qiyshiq egilishda neytral o'q xolati.
6. Qiyshiq egilishda mustahkamlik sharti.
7. Qiyshiq egilishda ko'chishni aniqlash.

Murakkab qarshilik. Konstruktsiya elementlarida, mashina qismlarida bir nechta oddiy deformatsiyaning birgalikda ta'siri murakkab qarshilik deyiladi. Konstruktsiya elementlari kesimlarida ikki va undan ortiq ichki zo'riqish kuchlarining xosil bo'lishi murakkab qarshilik xisoblanadi. Murakkab qarshilik quyidagi turlarga bo'linadi:

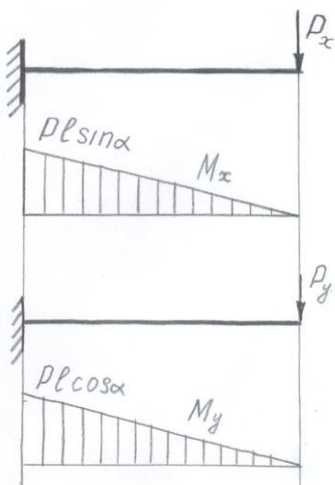
1. Qiyshiq egilish.
2. Markaziy bo'lmagan cho'zilish va siqilish.
3. Egilish bilan burilishning birgalikdagi ta'siri.

Qiyshiq egilish. To'singa ta'sir etayotgan tashqi kuchlar to'sinning simmetriya tekisligida yotmasa qiyshiq egilish deyiladi.

Qiyshiq egilishni xisoblash uchun to'singa qo'yilgan tashqi kuch bosh inertsiya o'qlari bo'ylab tashkil etuvchilarga ajratamiz.



Qiyshiq egilish uchun ichki kuchlarni aniqlash. Bosh inertsia tekisliklari bo'yicha tashkil etuchi tashqi kuchlar ta'siridan eguvchi moment epyurasini quramiz.



$$0 \leq Z \leq l$$

$$M_x = -P_x \cdot z = -P \sin \alpha \cdot z$$

$$0 \leq Z \leq l$$

$$M_y = -P_y \cdot z = -P \cos \alpha \cdot z$$

Qiyshiq egilishda normal kuchlanishni aniqlash. $\sigma = \sigma(M_x) + \sigma(M_y)$

$$\sigma(M_x) = \frac{M_x \cdot y}{I_x}$$

$$\sigma(M_y) = \frac{M_y \cdot x}{I_y}$$

$$\sigma = \frac{M_x \cdot y}{I_x} + \frac{M_y \cdot x}{I_y}$$

M_x, M_y – eguvchi momentlar.

X, Y – kuchlarni aniqlash kerak bo'lgan nuqtaning koordinatalari.

I_x, I_y – x va y o'qlariga nisbatan kesimning inertsia momentlari.

Qiyshiq egilishda neytral o'q xolati. Qiyshiq egilishda neytral o'q xolatini aniqlash uchun normal kuchlanishni 0 ga tenglaymiz. $\sigma = 0$

$$\sigma = \frac{M \cdot \sin \alpha \cdot y}{I_x} + \frac{M \cdot \cos \alpha \cdot x}{I_y} = 0 \quad y = -\frac{I_x}{I_y} x \cdot \operatorname{ctg} \alpha$$

Qiyshiq egilishda mustahkamlik sharti quyidagicha ifodalanadi. To'sin kesimlaridagi xosil bo'ladigan eng kata kuchlanishlar to'sin materiali uchun ruxsat etilgan kuchlanishdan ortmasligi shart.

$$\sigma_{max} = \frac{M_x \cdot y_{max}}{I_x} + \frac{M_y \cdot x_{max}}{I_y} = M \frac{(\sin \alpha \cdot y_{max} + \cos \alpha)}{I_x} \leq [\sigma]$$

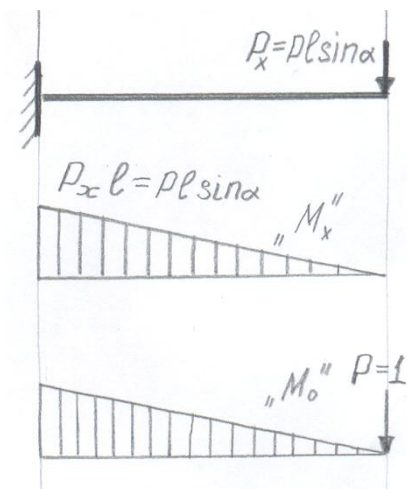
yoki

$$\sigma_{max} = \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \leq [\sigma]$$

$$W_x = \frac{I_x}{Y_{max}} \quad W_y = \frac{I_y}{X_{max}}$$

W - egilishda kesimning qarshilik momenti.

Qiyshiq egilishda ko'chishni aniqlash. Qiyshiq egilishda to'sin nuqtalarining ko'chishlarini Kastilyano teoremasi, Mor integrali, Vereshchagin usulida xisoblaymiz.



Vereshchagin usulini qo'llash uchun qaysi nuqtaning ko'chishini aniqlash kerak bo'lsa, shu nuqtaga birga teng fiktiv kuch qo'shilib, eguvchi moment epyurasi quriladi.

$$\delta_x = (\partial M_x) \cdot (\partial M^0)$$

$$\delta = \sum \frac{\omega \cdot M_c^0}{EI_x}$$

$\omega - M_x$ epyurasining yuzasi.

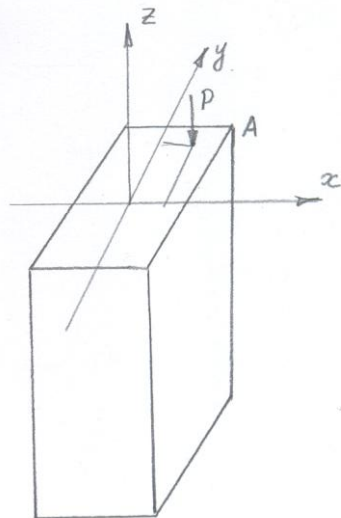
$$\omega = \frac{l \cdot \sin \alpha}{2} = \frac{Pl^2 \cdot \sin \alpha}{2}$$

M_c^0 yuzaning og'irlik markaziga mos keluvchi birlik kuch ta'siridagi chizilgan eguvchi moment epyurasining ordinatasi.

$$\delta_x = \frac{\frac{Pl^2 \sin \alpha}{2} \cdot \frac{2}{3}l}{EI_x} = \frac{Pl^3 \sin \alpha}{3EI_x}$$

MARKAZIY BO'LMAGAN CHO'ZILISH VA SIQILISH. EGILISH BILAN BURALISHNING BIRGALIKDAGI TA'SIRI.

1. Brusni cho'zadigan yoki siqadigan kuch brus o'qiga parallel lekin kuch qo'yilgan nuqta kesimning og'irlik markaziga mos kelmasa markaziy bo'lmagan cho'zilish yoki siqilish deb ataladi. Kuch qo'yilgan nuqta qutb deyiladi. Qutbdan kesimning og'irlik markazigagacha bo'lgan masofa "ekstsentrisset" deyiladi.



A – qutb nuqta

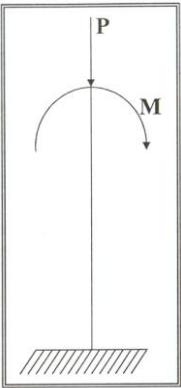
OA - ekstsentrisset

nuqta koordinatalari

2. Markaziy bo'lmagan cho'zilish va siqilishda hisoblash uchun R kuchni og'irlik markaziga ko'chirib X va Y o'qlari atrofidagi momentlarni Z o'qiga joylaymiz. Markaziy bo'lmagan cho'zilish va siqilishda sterjen kesimlarida ichki zo'riqish kuchlari ta'siridan quyidagi normal kuchlanish hosil bo'ladi.

$$\sigma(n) = \frac{N}{F}$$

$$\sigma(M_x) = \frac{M_x \cdot Y}{I_x} \quad \sigma(M_y) = \frac{M_y \cdot X}{I_y}$$

$$\sigma = -\frac{N}{F} + \frac{M_x \cdot Y}{I_x} + \frac{M_y \cdot X}{I_y}$$


M_x, M_y – eguvchi momentlar

x, y – kuchlanishni aniqlash kerak bo'lgan nuqtaning koordinatalari.

I_x, I_y – x, y o'qlarga nisbatan inertsia momentlari.

$$i_x^2 = \frac{I_x}{F} \quad i_y^2 = \frac{I_y}{F} \cdot \text{инерция} \cdot \text{радиуслары}$$

Formulasidan $I_x = i_x^2 F$ $I_y = i_y^2 F$ ligidan normal kuchlanish quyidagicha bo'ladi

$$\sigma = \frac{1}{F} \left(N + \frac{M_x \cdot Y}{i_x^2} + \frac{M_y \cdot X}{i_y^2} \right)$$

Normal kuchlanish O ga teng bo'lgan o'q neytral o'q deyiladi. Neytral o'q xolatini quyidagicha aniqlaymiz.

$$N = \frac{P}{F}; \quad 55$$

$$\sigma = 0$$

$$M_x = P \cdot Y_p$$

$$M_y = P \cdot X_p$$

Neytral o'q tenglamasi.

Neytral o'q xech qachon kesim og'irlik markazidan o'tmaydi. Neytral o'q qutb joylashgan chorakni kesib o'tmaydi. Qutb o'qda joylashsa neytral o'q shu o'qga tik yo'naladi.

Agar $1 + \frac{Y \cdot Y_p}{i_x^2} + \frac{X \cdot X_p}{i_y^2} = 0$ qutb koordinatalari kesim markazlariga yaqinlashsa neytral o'q kesim markazidan uzoqlashadi.

4. Markaziy bo'lmagan cho'zilish va siqilishda brus kesimlarida xosil bo'ladigan eng kata normal kuchlanish brus materiali uchun ruxsat etilgan normal kuchlanishdan ortmasligi shart.

$$\sigma_{max} = \frac{N}{F} + \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \leq [\sigma]$$

N - normal kuch.

M_x, M_y – eguvchi momentlar.

W_x, W_y – x va y o'qlariga nisbatan qarshilik momentlari.

$[\sigma]$ – ruxsat etilgan kuchlanish.

5. Brus kesimining og'irlik markazi atrofidagi bir xil ishorali kuchlanish paydo bo'lishi uchun bo'ylama kuch qo'yilish lozim bo'lgan soxa «kesim yadrosi» deb ataladi.

6. Egilish bilan buralishning birgalikdagi ta'siri. Deformatsiya ta'siridagi brus kesimlarida eguvchi moment va burovchi moment xosil bo'lsa egilish bilan buralishning birgalikdagi ta'siri bo'ladi.

Bunday murakkab qarshiliklar transmission val tirsakli val va shunga o'xshash konstruksiyalar xisobida ko'rish mumkin eguvchi moment ta'siridan

$$\sigma = \frac{M_x \cdot Y}{I_x}$$

normal kuchlanish xosil bo'ladi.

Burovchi moment ta'siridan urinma kuchlanish xosil bo'ladi.

$$\tau = \frac{M_b \cdot \delta}{I_p}$$

Egilish bilan buralishning birgalikdagi ta'siridan xisoblash uchun ekvivalent kuchlanish aniqlab eng katta chiziqli ko'chishlar, yoki energetik mustahkamlik nazariyalaridan foydalanamiz.

$$M_{ekv}^{III} = \sqrt{M_e^2 + M_b^2}$$

$$M_{ekv}^{IV} = \sqrt{M_g^2 + 0,75M_b^2}$$

$$\sigma_{\mathcal{K}\mathcal{B}} = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \leq [\sigma]$$

$$\sigma_{\mathcal{K}\mathcal{B}} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq [\sigma]$$

KO'SHISHLARNI XISOLASHNING ENERGETIK USULLARI

1. Oddiy deformatsiyalar cho'zilish va siqilish, egilish, buralish va siljishlarda xosil bo'ladigan potentsial energiyalarni olamiz.

Cho'zilish va siqilishda potentsial energiya.

$$U = \int_{(l)} \frac{N^2 dz}{2EF}$$

Siljishda potentsial energiya

$$U = K_x \int_{(l)} \frac{Q_x^2 dz}{2GF} + K_y \int_{(l)} \frac{Q_y^2 dz}{2GF}$$

Buralishda potentsial energiya

$$U = \int_{(l)} \frac{M_b^2 dz}{2GI_\rho}$$

Egilishda potentsial energiya

$$U = K_x \int_{(l)} \frac{Q_x^2 dz}{2GF} + \int_{(l)} \frac{M_x^2 dz}{2EI_x} + K_y \int_{(l)} \frac{Q_y^2 dz}{2GF} + \int_{(l)} \frac{M_y^2 dz}{2EI_y}$$

Jismlar umumiy yuklanish xolatida murakkab qarshilik ya'ni bir nechta deformasiyaning birgalikdagi ta'siri bo'ladi. Bu xolatda jismlarga to'plangan potentsial energiya xar bir ichki zo'riqish kuchi ta'siridagi potentsial energiyalar yig'indisiga teng bo'ladi.

$$U = U(N) + U(Q_x) + U(Q_y) + U(M_x) + U(M_y) + U(M_z)$$

$$U = \int_{(l)} \frac{N^2 dz}{2EF} + K_x \int_{(l)} \frac{Q_x^2 dz}{2GF} + K_y \int_{(l)} \frac{Q_y^2 dz}{2GF} + \int_{(l)} \frac{M_x^2 dz}{2EI_x} + \int_{(l)} \frac{M_y^2 dz}{2EI_y} + \int_{(l)} \frac{M_z^2 dz}{2GI_\rho}$$

K_x, K_y – kesim o'lchamlariga bog'liq bo'lgan koefitsient.

N – normal kuch.

Q_x, Q_y – ko'ndalang kuch.

M_b – burovchi moment.

EF – cho'zilish va siqilishda bikirlik.

GF – siljishda bikirlik.

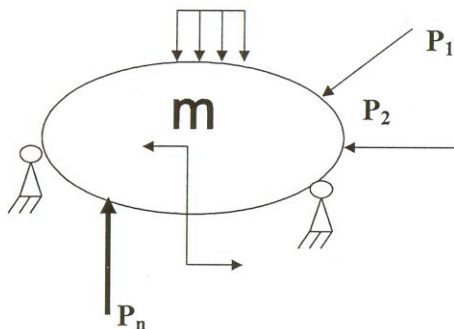
EI_x, EI_y – egilishda bikirlik.

GI_ρ – buralishda bikirlik.

Kastilyano teoremasi

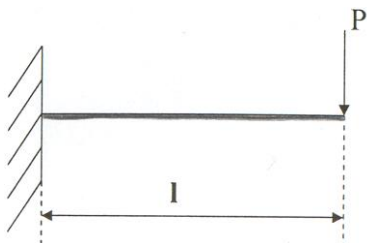
Elastik jismlarda potentsial energiyasidan tashqi qo'yilgan kuch bo'yicha xususiy hosilasi jism qo'yilgan nuqtasining kuch yo'nalishidagi umumiy kuchlanishga teng.

$$\delta_n = \frac{\partial U}{\partial P_n}$$



Kastilyano teoremasida kuch qo'yilgan nuqtaning faqat shu kuch yo'nalishdagi kuchlanishni aniqlaydi.

Kastilyano teoremasi ko'chishlarni aniqlashda boshqa usullar uchun asos bo'lib faqat tarixiy ahamiyatga ega. Xozirgi zamonaviy konstruksiyalar xisobida bu usul qo'llaniladi.



Berilgan: $R, S, EI_x = \text{const}$

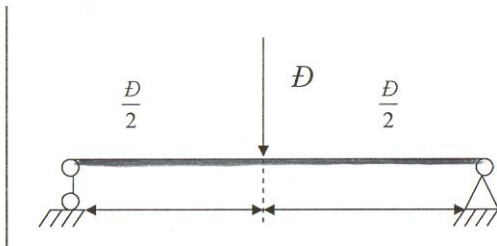
Tekshirish kerak: $\delta_A = ?$

Echish.

$$U = \int_0^l \frac{M^2 dz}{EI_x} = \int_0^l \frac{(-P_z)^2 dz}{2EI_x} = \frac{P^2}{2EI_x} \int_0^l z^2 dz = \frac{P^2 l^3}{6EI_x}$$

$$\delta_A = \frac{\partial u}{\partial P} = \frac{2Pl^3}{6EI_x} = \frac{Pl^3}{3EI_x}$$

2) Berilgan: $R, l, EI = \text{const}$ Tekshirish kerak: $\delta_c = ?$



$$M^{\text{II}} = \frac{P}{2} \cdot z$$

$$M^{\text{I}} = \frac{P}{2} \cdot z$$

$$U = 2 \int_0^l \frac{M^2 dz}{2EI_x} = \int_0^l \frac{\left(\frac{P}{2} \cdot z\right)^2 dz}{EI_x} = \frac{P^2}{4EI_x} = \int_0^l z^2 dz = \frac{P^2 l^3}{12EI_x}$$

$$\delta_c = \frac{\partial U}{\partial P} = \frac{Pl^3}{6EI_x}$$

3) Berilgan $m, l, GI_p = \text{const}$

Tekshirish kerak- θ_A



$$U = \int_0^l \frac{M \delta^2 dz}{2GI_p} = \frac{m^2 \ell}{2GI_p} \Big|_0^\ell = \frac{m^2 \ell}{2GI_p}$$

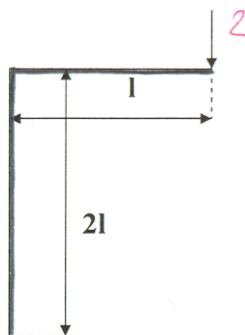
$$\theta_A = \frac{\partial U}{\partial m} = \frac{2m\ell}{2GI_\rho} = \frac{m\ell}{GI_\rho} \text{ (rad)}$$

4) Berilgan: R, b, $EI_x = \text{const}$

Tekshirish kerak: $\delta_k = ?$

$$M_I = -2P \cdot z$$

$$M_I = -2P \cdot z$$

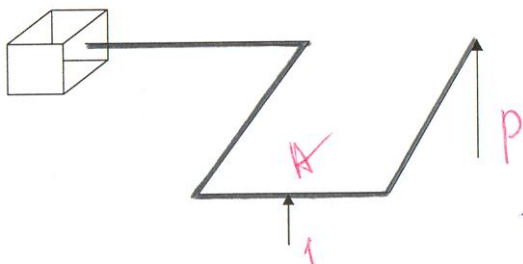


$$U = \int_0^l \frac{(-2Pz)^2 dz}{2EI_x} + \int_0^{2l} \frac{(-2Pl)^2 dz}{2EI_x} = \frac{2P^2}{EI_x} \int_0^l z^2 dz + \frac{2P^2 l^2}{EI_x} \int_0^{2l} dz = \frac{2P^2 l^3}{3EI_x} + \frac{4P^2 l^3}{EI_x} = \frac{14P^2 l^3}{3EI_x}$$

$$\delta_k = \frac{\partial U}{\partial P} = \frac{28Pl^3}{3EI_x}$$

MOR INTEGRALI.

1. Kastilyano teoremasida kuch qo'yilgan nuqtaning kuch yo'nalishi bo'yicha ko'chishlarni aniqlash mumkin. Amalda ixtiyoriy nuqtaning ixtiyoriy yo'nalishidagi kuchlarni aniqlash kerak bo'ladi. Bunday usullardan biri Mor integrali xisoblanadi. Bu usulda ko'chishni aniqlash kerak bo'lgan nuqtaga shu yo'nalish bo'yicha fiktiv kuch qo'yilib jisimning potentsial energiyasi xisoblanadi., kiyinchalik esa Kastilyano teoremasiga asoslanib fiktiv kuch bo'yicha xususiy hosila olib ($F=0$) fiktiv kuchni "0"ga tenglanadi.



Sistemadan A nuqtasining X o'qi bo'yicha fiktiv kuch qo'yib potential energiyasini aniqlaymiz.

$$U = \int_0^l \frac{(M_x + M^0\Phi)^2}{2EJ_x} dz + \int_0^l \frac{(M_b + M^0\Phi)^2}{2GJ_b} dz + \dots + K_x \int_0^l \frac{(Q_x + Q^0\Phi)^2}{2GF} dz$$

A nuqtaning X yo'nalishi bo'yicha ko'chishni aniqlash uchun Katilyano teoremasini qo'llaymiz.

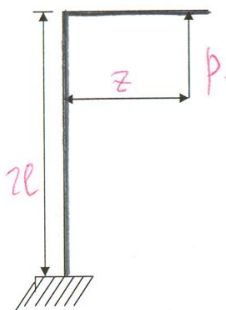
$$\delta_A = \frac{\partial U}{\partial \Phi} \Big|_{\Phi=0} = \int_0^l \frac{M_x \cdot M_x^0}{EJ_x} dz + \int_0^l \frac{M_b \cdot M_b^0}{GJ_\zeta} dz + \dots + K_x \int_0^l \frac{Q_x \cdot Q_x^0}{GF} dz$$

ushbu kelib chiqqan ifoda Mor integrali deyiladi.

Egri brusda nuqtalarning ko'chishlarini faqat Mor integrali yordamida aniqlay olamiz.

Mor integralining kamchiligi integral xisoblarining ko'payib ketishishida.

4. Mor integralining tadbiqui.



Berilgan: $R, l, EI = \text{const}$

$$\delta_A^{gor} - ?, \delta_A^{ver} - ? \quad O_A \quad \delta_A^{to'liq} - ?$$

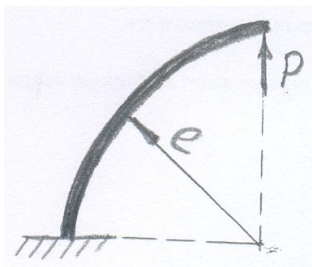
δ - chiziqli ko'chish.

θ - burchakli ko'chish.

$$\delta = \int_{(l)} \frac{M_p \cdot M^0}{EJ} dz$$

M_p – berilgan tashqi kuchlar ta'siridan sistema uchastkalaridagi eguvchi momentning aniqlik ifodasi.

M^0 – Fiktiv birlik kuch ta'sirida eguvchi momentning analitik ifodasi.



Berilgan: $R, l, EI = \text{const}$

$$\delta_A^{gor} - ?, \delta_A^{ver} - ? \theta_A = ? \delta_A^{to'liq} - ?$$

$$\delta = \int_{(l)} \frac{M_p \cdot M^0}{EJ} dz$$

Ko'chishlarni aniqlashda Mor integralidan foydalaniladi.

$$M_p = P \cdot l \cdot \sin \varphi$$

VERESHCHAGIN USULI.

Kuchishlarni aniqlashda energetik usullarda Kastilyano teoremasi va Mor integralining kamchiliklarini to'ldiruvchi usul Vereshchagin usulidir. Mor integralida xisoblarni kamaytirish maqsadida Nyuton-Leybnits formulasiga asosan yuzalarni aniqlash geometrik usullarini qo'llaymiz.

$$\delta = \sum_{i=1}^n \frac{\varpi_i \eta_i}{E_i I_{\chi i}} - \text{Vereshchagin formulasi.}$$

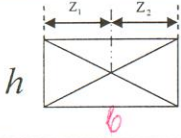
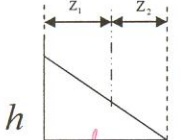
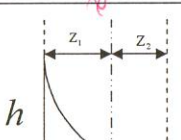
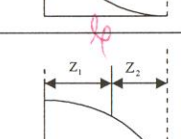
δ — kuchish

ϖ — berilgan kuchlar ta'siridan qurilgan epyuralar yuzasi

η — ϖ epyurasining og'irlik markaziga mos keladigan birlik kuchdan qurilgan epyura ordinatasi

EI — bikrlilik.

Vereshchagin usulini qo'llash uchun quyidagi jadvaldan foydalanamiz.

<i>шакл</i>	<i>ω – юза</i>	$h \quad \frac{b}{4} \quad Z_1$	
		Z_1	Z_2
	$b \cdot h$	$\frac{b}{2}$	$\frac{b}{2}$
	$\frac{b \cdot h}{2}$	$\frac{b}{3}$	$\frac{2b}{3}$
	$\frac{b \cdot h}{3}$	$\frac{b}{4}$	$\frac{3b}{4}$
	$\frac{2b \cdot h}{3}$	$\frac{3b}{8}$	$\frac{5b}{8}$

STATIK NOANIQ SISTEMALARNI XISOBLASH. KUCH USULI.

Konstruktsiya elementlarining sterjenlaridan xosil bo'lgan sistemalar sterjenli sistemalar deyiladi. Elementlari asosan cho'zilish va siqilishga ishlaydigan sistemalar fermalar deyiladi. Fermalarga yuklar asosan tugunlariga qo'yiladi. Sterjenli sistemalar quyidagicha 3 xil bo'ladi:

- agar sistema elementlarining bo'ylama o'qlari va qo'yilgan kuchlar bir tekislikda yotsa sistemalar tekis deyiladi.
- agar sistema elementlarining bo'ylama o'qlari bir tekislikda yotib qo'yilgan kuchlar shu tekislikka perpendikulyar bo'lsa bunday sistemalar tekis-fazoviy deyiladi.
- agar sistema elementlarining bo'ylama o'qlari va qo'yilgan kuchlari ixtiyoriy joylashsa bunday sistemalar fazoviy deyiladi.

Sistemalar kinematik qo'zg'almas, geometrik o'zgarmas bo'lishlari uchun fazoda 6 ta tekislikda 3 ta bog'lanishlarga ega bo'lishlari shart va etarli. Ammo amalda sistemaning mustahkamligini kattalashtirish uchun ularga etarlidan ortiqcha bog'lanishlar qo'yiladi, ortiqcha bog'lanishlar soni statik noaniqlik darajasini belgilaydi. Statik noaniqlik darajasi tekislikda:

1) $s=n+3k-sh-3$, fazoda 2) $s=n+6k-3sh-6$ formulalardan topiladi.

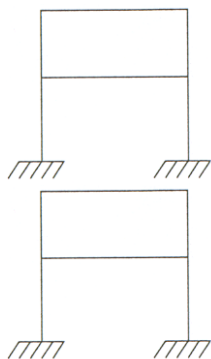
s- statik noaniqlik darajasi.

n- bog'lanishlar soni.

k- yopiq konturlar soni.

sh- oddiy sharnirlar soni.

2 ta sterjinni birlashtiruvchi sharnir oddiy xisoblanadi, 2 tadan ko'p sterjin birlashtiruvchi sharnir murakkab xisoblanib m-1 oddiy sharnirga teng bo'ladi. m-sharnirda uchrashuvchi sterjinlar soni.



$$\begin{aligned} n &= 6 \\ k &= 1 \\ sh &= 0 \\ c &= 6 + 3 \cdot 1 - 0 - 3 = 6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= 4 \\ k &= 2 \\ n &= m - 1 = 3 - 1 = 2 \\ c &= 4 + 2 \cdot 3 - 2 - 3 = 5 \end{aligned}$$

Sterjennli sistemalarda statik noaniqlikni kuch usulida echamiz. Kuch usulini quyidagi tartibda qo'llaymiz.

1. Berilgan sistemaning statik noaniqlik darajasini aniqlaymiz.
2. Berilgan sistemaga asosiy sistema tuzamiz. Asosiy sistema berilgan sistemadagi ortiqcha bog'lanishlarning yo'q deb tasavvur etish.
3. Berilgan sistemaga ekvivalent sistema tanlaymiz. Ekvivalent sistema tuzilgan asosiy sistemada tashlab yuborilgan ortiqcha bog'lanishlarining $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, \dots$ nomalumlari bilan belgilaymiz.
4. Kanonik tenglamalarni tuzamiz. Kanonik tenglamalar soni statik noaniqlik darajasiga teng.

$$\delta_{11}X_1 + \delta_{12}X_2 + \delta_{13}X_3 + \dots + \delta_{2n}X_n + \Delta_{2p} = 0$$

$$\delta_{21}X_1 + \delta_{22}X_2 + \delta_{23}X_3 + \dots + \delta_{2n}X_n + \Delta_{2p} = 0$$

$$\delta_{n1}X_1 + \delta_{n2}X_2 + \delta_{n3}X_3 + \dots + \delta_{nn}X_n + \Delta_{np} = 0$$

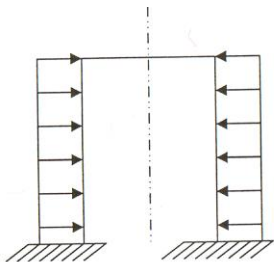
$\delta_1 \Delta - \kappa \ddot{u} \text{чишлар}$

$$\delta = \sum \frac{\omega \cdot \eta^0}{EJ_x}$$

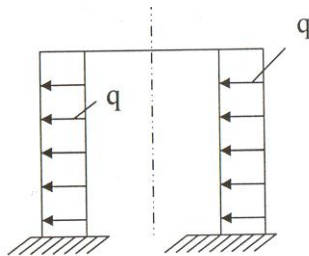
MAVZU: Simmetrik va qiyshiq simmetrik sistemalarga kuch usulini qo'llanilishi.

1. Simmetrik sistemalar.
2. Qiyshiq simmetrik sistemalar.
3. Kuch usulining simmetrik va qiyshiq simmetrik sistemalarga qo'llanilishi.

Sistemalarning simmetriya o'qida bir tomonda yotgan nuqtalarning koordinatalari ikki tomonda yotgan nuqta koordinatalariga mos kelsa va kuchlar yo'nalishi ustma-ust tushsa simmetrik sistemalar deyiladi. Sistemaning xar ikkala tomonidagi nuqta koordinatalari simmetriya o'qiga qarama-qarshi bo'lsa qiyshiq simmetrik sistemalar deyiladi.



Simmetrik sistema



Qiyshiq simmetrik sistema.

Kuch usuli.

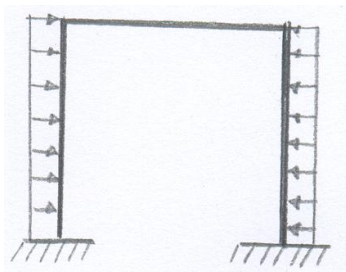
1. Simmetrik noaniqlik darajasini aniqlaymiz.

$$s=n+3k-sh-3=6-3=3.$$

$n=6$ - bog'lanishlar soni

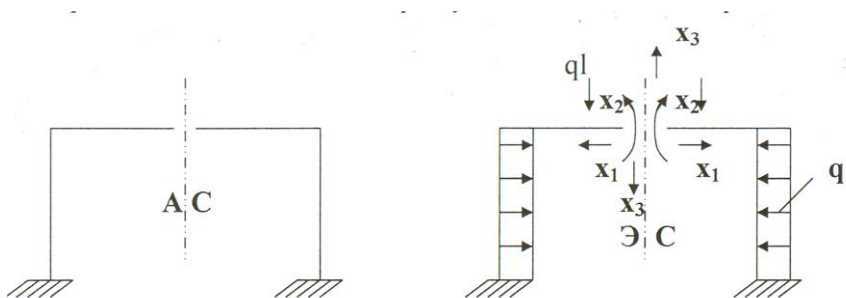
$k=0$ - yopiq kontur soni

sh - sharnirlar soni.



2. Asosiy sistema quramiz.

Berilgan sistemani simmetriya o'qida teng ikkiga ajratamiz.



tashlab yuborilgan ortiqcha nomalumlarni belgilaymiz.

Simmetrik sistemalarda qiyshiq simmetrik yo'nalgan kuchlar nolga teng. Qiyshiq simmetrik sistemalarda simmetrik qo'yilgan nomalum kuchlar nolga teng bo'ladi.

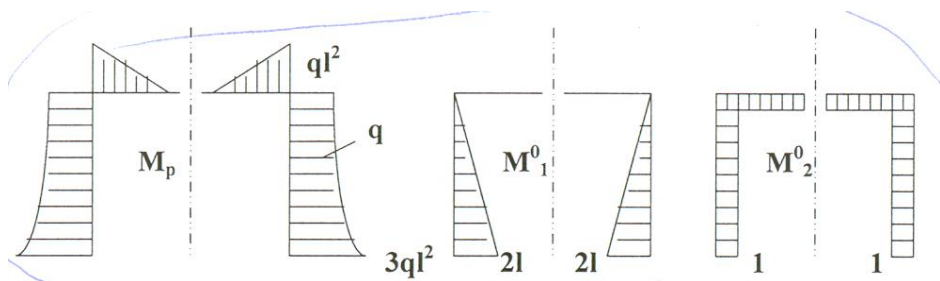
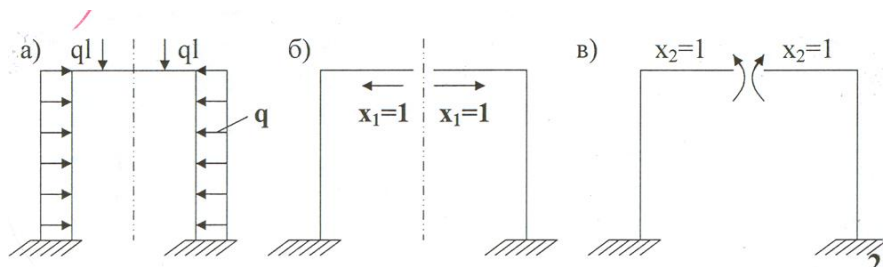
Kuch usulining Kononik tenglamalarini tuzamiz.

$$\delta_{11}x_1 + \delta_{12}x_2 + \Delta_{1p} = 0$$

$$\delta_{21}x_1 + \delta_{22}x_2 + \Delta_{2p} = 0$$

δ, Δ - ko'chishlar.

Kanonik tenglamalardagi Δ talarni aniqlash uchun ekvivalent sistemaning xar bir kuch ta'sirida aloxida eguvchi moment epyuralarini qurib, Vershchagin usulini qo'llaymiz.



$$\delta_{11} = \partial n M_1^0 \times \partial n M_1^0$$

$$\delta_{11} = \frac{\varpi \cdot \eta^0}{EI_x} = \frac{8\ell^3}{3EI_x}$$

$$\delta_{12} = \partial n M_1^0 \times \partial n M_2^0$$

$$\delta_{12} = \frac{2\ell^3}{EI_x}$$

$$\delta_{22} = \partial n M_2^0 \times \partial n M_2^0$$

$$\delta_{22} = \frac{3.5\ell}{EI_x}$$

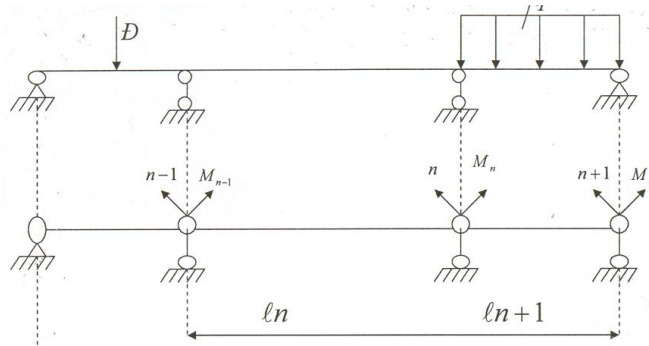
$$\Delta_{1p} = -\frac{4q\ell^4}{EI_x}$$

$$\Delta_{2p} = -\frac{23q\ell^3}{EI_x}$$

Topilgan ko'chishlarni kanonik tenglamalarga qo'yib X_1, X_2 noma'lumlar topiladi. Topilgan noma'lumlarning ekvivalent sistemaga qo'yib kesuvchi kuch, bo'yлама kuch va eguvchi moment epyuralarni quramiz.

UCH MOMENT TEOREMASI.

Ikki tayanchdan ortiq tayanchlarga ega bo'lgan balkalar tutash balkalar deyiladi. Tutash balkalar ko'p prolyotli uzluksiz balkalar xisolanadi. Ikki tayanchdan ortiq tayanchlarga ega bo'lgan balkalar statik aniqlas bo'ladi. Tutash balkalarda statik aniqlaslik uch moment teoremasiga asosan echiladi. Masalaning statik noaniqlik darajasi ortiqcha tayanchlar soniga teng bo'lib uch moment teoremasi tenglamalari soniga teng bo'ladi.



Uch moment formulasi.

$$M_{n-1} \cdot l_n + 2M_n(l_n + l_{n+1}) + M_{n+1} \cdot l_{n+1} = -6\left(\frac{\varpi_n \cdot a_n}{l_n} + \frac{\varpi_{n+1} b_{n+1}}{l_{n+1}}\right)$$

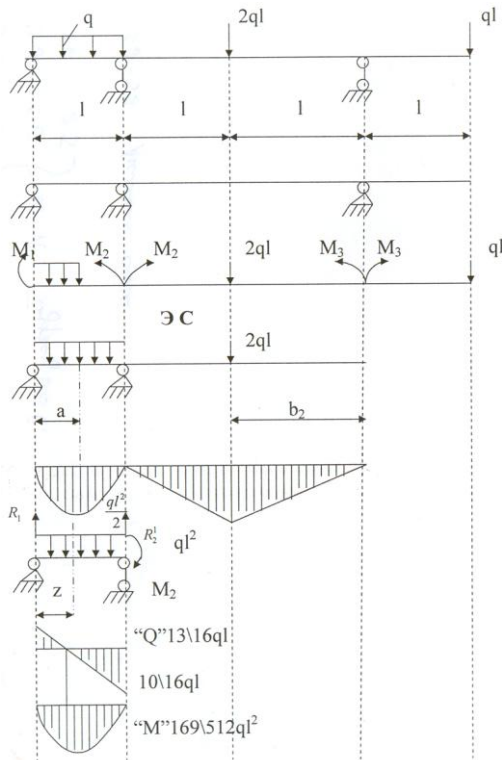
M_{n-1}, M_n, M_{n+1} — Sharnirdagi momentlar.

l_n, l_{n+1} — o'ng va chap pralyotlar uzunligi.

ϖ_n, ϖ_{n+1} — o'ng va chap prolyotlar oralig'idagi eguvchi moment epyuralarning yuzalari.

$a_n - \varpi_n$ — yuzaning og'irlik markazidan chap tayanchgacha bo'lgan masofa.

$b_{n+1} - \varpi_{n+1}$ — yuzaning oraliq markazidan o'ng tayanchgacha bo'lgan masofa.



Uch moment teoremasining tadbiqi.

1. Statik noaniqlik darajasini aniqlaymiz.
2. Asosiy sistema tuzamiz. Tayanchlarda balkalarni kesib sharnirlarni balka ichiga joylaymiz.
3. Ekvivalent sistema tuzamiz. Sharnirlarda muvozanatni ta'mirlash uchun momentlar qo'yamiz.
4. Uch moment teoremasini tuzamiz.

$$M_1 \cdot l_1 + 2M_2(l_1 + l_2) + M_3 \cdot l_2 = -6\left(\frac{\omega_1 \cdot a_1}{l_1} + \frac{\omega_2 \cdot b_2}{l_2}\right)$$

$$l_1=2l \quad l_2=2l \quad M_1=0 \quad M_2=M_2 \quad M_3=ql^2$$

ω_1 yuzani aniqlash uchun 1-polyotda eguvchi moment epyurasini quramiz.

$$\omega_1 = \frac{2}{3} \cdot 2l \cdot \frac{ql^2}{2} = \frac{2ql^3}{3}$$

ω_2 yuzani aniqlash uchun 2-chi prolyot oralig'ida eguvchi moment epyurasini quramiz.

$$\omega_2 = \frac{1}{2}ql^3 \cdot 2l = ql^3 \quad \begin{matrix} \mathbf{a}_1 = l \\ \mathbf{b}_2 = l \end{matrix}$$

Topilgan qiymatlarni uch moment tenglamasiga qo'yamiz.

$$0 \cdot 2l + 2M_2 \cdot 4l - ql^2 - 2l = -6\left(\frac{\frac{2}{3}ql^3 \cdot l}{2l} + \frac{ql^3 \cdot l}{2l}\right)$$

$$8M_2 \cdot l = 5ql^3 + 2ql^3 \quad M_2 = -\frac{3}{8}ql^2$$

5. Topilgan momentlarni ekvivalent sistemaga qo'yib berilgan balka uchun ichki zo'riqish kuchlari epyuralarini quramiz va musthkamlikka va bikirlikka xisoblaymiz.

Birinchi prolyot uchun

$$\sum M_1 = 0 \quad R_2^1 \cdot 2 \cdot l - M_2 - q \cdot 2l \cdot l = 0$$

$$\sum M_2 = 0 \quad R_2^1 = \left(2 \frac{3}{8} : 2\right)ql = \frac{19}{16}ql$$

$$R_1 \cdot 2l + q \cdot 2l \cdot l - M_2 = 0$$

$$Q(z) = R_1 - qz = \frac{13}{16}ql - qz \quad M(z) \cdot R_1 \cdot z - q \frac{z^2}{2} = \frac{13}{16}ql \cdot z - q \frac{z^3}{2}$$

Ikkinchi prolyot uchun

$$\sum M_2 = 0 \quad R_3 \cdot 2l - ql \cdot 3l - 2ql \cdot l + \frac{3}{8}ql^2$$

$$R_3 = \frac{36}{16}ql$$

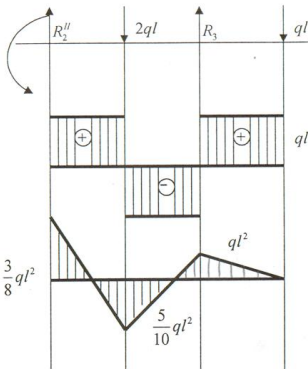
$$-R_2'' \cdot 2l + \frac{3}{8}ql^2 + 2ql - ql^2 = 0$$

$$R_2'' = \frac{11}{16}ql$$

$$Q(z) = \frac{11}{16}ql, \quad Q(z) = -\frac{37}{16}ql, \quad Q(z) = ql$$

$$M(z) = \frac{11}{16}ql \cdot z - \frac{3}{8}ql^2 \quad M(z) = -ql \cdot z$$

$$M(z) = -ql(\ell + z) + \frac{37}{16}ql \cdot z$$



MAVZU: STERJENLARNI USTIVORLIKKA XISOBLASH

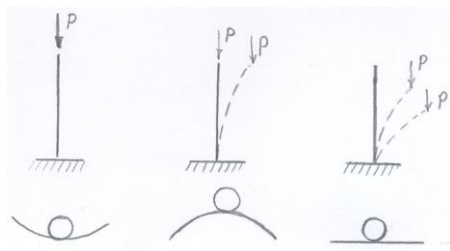
Reja:

1. Bo'ylama egilish.
2. Ustvorlik va noustvorlik muvozanat xolatlari.
3. Kritik kuch.
4. Kritik kuchlarni aniqlashda Eyler formulasi.
5. Sterjen biriktirilishiga bog'liq bo'lgan koefftsient.
6. Ustvorlikka xisoblash.

1. Markazga qo'yilgan P kuch ta'sirida uzun yupqa sterjenlarning egilishi bo'ylama egilish deyiladi.

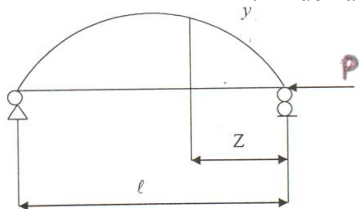
Bunday sterjenlar ma'lum kritik kuchdan oshmaydigan va sterjen siqilganda to'g'ri chiziqli xolatini yo'qotmaydi. Agar siquvchi kuch kritik qiymatdan ohsa sterjen o'qi egiladi, ya'ni o'z ustuvorligini yo'qotadi. Sterjenlarga bo'ylama kuch qo'yilganda

konstruktor tomonidan berilgan shaklini saqlash qobiliyati ustuvorlik deyiladi. Fizika fanida ma'lum. Turg'un xolat, turg'unmas xolat va befarq xolat bilan solishtiramiz.



Bo'ylama tashqi kuch ta'sirida dastlabki muvozanat xolatini saqlash ustivor xisoblanadi. Tashqi kuch ta'siridan dastlabki xaroratga qaytmasa noustvor xisoblanadi. Sterjenning ustvor va noustvor xolatlari orasida kritik xolat yotadi. Sterjen bu xolatda dastlabki muvozanat xolatini saqlaydi, lekin siquvchi kuch ozgina ortsa o'z muvozanatini yo'qotadi. Ustivor xolatdan noustivor xolatga o'tadigan eng kichik kuch qiymati sterjen materialiga kesim shakliga va tayanchlarga bog'liq bo'ladi.

Kritik kuchlarni aniqlashda Eyler formulasi.



Kritik kuchni aniqlash uchun Eyler formulasidan foydalanamiz. $M(z)$ - ixtiyoriy tanlangan kesim uchun eguvchi moment ifodasi.

$$M(z) = -P_{kp} \cdot y$$

$$EI_x \cdot y'' = M(z)$$

balka egilgan o'qining differentsial tenglamasidan 2 darajali differentsial tenglamani xosil qilamiz.

$$EI_x \cdot y \cdot y'' = P_{kp} \cdot y \quad \text{Bu tenglama echimlari quyidagicha topiladi.}$$

$$y = a \sin kz + b \cos kz \quad k \frac{P_{kr}}{EI_x}$$

Integrallash o'zgarmlari boshlang'ich shartlardan foydalanib topiladi.

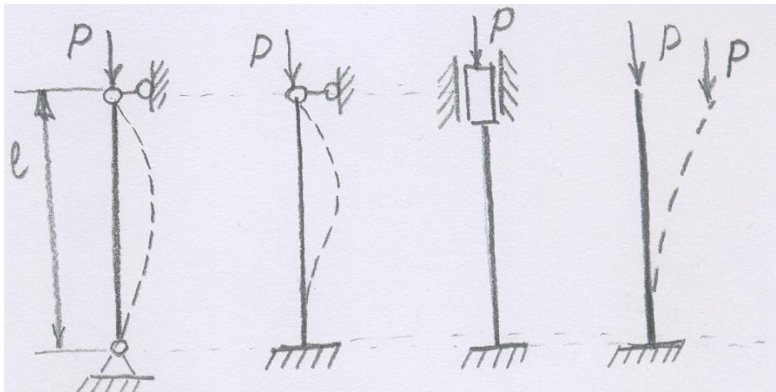
$$P_{kr} = \frac{\pi^2 EI_{\min}}{(\mu \cdot \ell)^2}$$

E - birinchi tartibli elastiklik moduli.

$I_{\min}$ – sterjen kesimining minimal inertsia momenti.

μ – sterjen berkitilishiga bog'liq bo'lgan koeffitsient.

$\mu\ell$ - keltirilgan uzunlik.



6. Ustvorlikka hisoblash uchun kritik kuchlanish aniqlanadi.

R_{kr} - kritik kuch

F - kesim yuza

$$\sigma_{kp} = \frac{P_{kr}}{F}$$

Kritik kuchlanish sterjenlar kesim o'lchamlari materialiga bog'liq.

$$\lambda = \frac{\mu \cdot \ell}{i_{\min}} \text{ sterjenlar o'lchamlariga bog'liq bo'lgan}$$

$\mu\ell$ - keltirilagn uzunlik

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{F}} \text{ minimal inertsia momenti.}$$

$$\lambda_{cheg} = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{\sigma_{pp}}} \text{ chegaraviy egiluvchanilik bo'lib sterjenlar materialiga}$$

bog'liq bo'ladi.
 E - elastiklik moduli

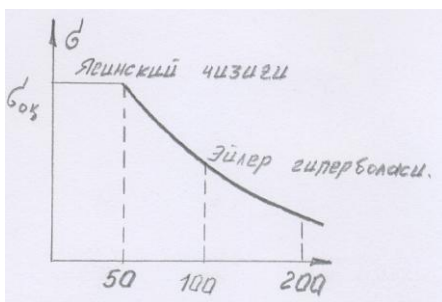
σ_{pp} – proportsionallik chegarasi.

Agar $\lambda \geq \lambda_{cheg}$ bo'lsa kritik kuchni Eyler formulasidan foydalanib aniqlaymiz.

Agar $\lambda < \lambda_{cheg}$ bo'lsa kritik kuchni Yasinskiy formulasidan aniqlaymiz.

MAVZU: YASINSKIY FORMULASI. USTVORLIKKA XISOBLASHNING AMALIY USULI.

1. Yasinskiy chizig'i.
2. Eyler giperbolasi.
3. Eyler formulasidan foydalanish chegarasi.
4. Yasinskiy formulasining foydalanish chegarasi.
5. Egiluvchanlik.
6. Chegaraviy egiluvchanlik.
7. Ustvorlik sharti.
8. Ruxsat etilgan kuchlanishni kamaytirish koeffitsienti.
9. Ustvorlik uchun extiyotlik koeffitsienti.



Normal kuchlanish bilan egiluvchanlik orasidagi bog'lanishlarga qarab kritik kuchlarni aniqlaymiz. Kuchlanish o'zgarmas bo'lib egiluvchanlik λ 0 dan – 50 gacha o'zgarganda oddiy cho'zilish yoki siqilish deformasiyasi xisoblanadi. Normal kuchlanish bilan egiluvchanlik 0-100 oralig'ida chiziqli bog'langan bo'lib kritik kuch Yasinskiy formulasidan topilib ustvorlikka xisoblanadi. λ – egiluvchanlik 100-200 bo'lganda kritik kuch Eyler formulasidan aniqlanib ustuvorlikka xisoblanadi. Egiluvchanlik $\lambda > 200$ bo'lsa ustuvorlikka xam mustahkamlikka xam xisoblay olmaymiz.

Egiluvchanlik $\lambda = 50-100$ bo'lganda to'g'ri chiziq Yasinskiy chizig'i deb ataladi. Egiluvchanlik 100-200 oralig'ida egri chiziq bo'lib Eyler chizig'i deb ataladi yoki giperbolasi.

Egiluvchanlik sterjenlar o'lchamlariga va materialiga bog'liq xolda o'zgaradi.

$$\lambda = \frac{\mu \cdot \ell}{i_{\min}} \quad \text{o'lchamlarga bog'liq bo'lgan egiluvchanlik.}$$

μ - stergen berkitilishiga bog'liq bo'lgan koeffitsient.

$\mu \ell$ - keltirilgan uzunlik.

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{F}} \quad \text{minimal inertsia radiusi}$$

$$\lambda_{cheg} = \pi \sqrt{\frac{E}{\sigma_{pp}}} \quad \text{Chegaraviy egiluvchanlik.} \quad \pi = 3.14 \quad E - \text{elastiklik moduli}$$

σ_{pp} - proporsionallik chegarasi.

Ustvorlikka hisoblashda kritik kuch va kritik kuchlanishlarning qiymatlarini aniqlashda egiluvchanlik va chegaraviy egiluvchanlik qiymatlariga qaraladi. Agar $\lambda < \lambda_{cheg}$ bo'lsa kritik kuch va kuchlanish Yasinskiy formulasidan foydalanib topiladi.

$P_{kr} = F(a - b \cdot \lambda)$ - kritik kuchni aniqlash

$\sigma_{kr} = (a - b \cdot \lambda)$ - kritik kuchlanishini aniqlash

“a” va “b” - Sterjen materialiga bog'liq bulgan kuchlanish koefisientlari.

Masalan: po'lat 3 uchun $a=310$ MPa $b=1.14$ MPa

SPK uchun $a=350$ MPa $b=1.64$ MPa

Agar $\lambda \geq \lambda_{cheg}$ bo'lsa kritik kuch va kuchlanish Eyler formulasidan foydalanib topiladi.

$$P_{kr} = \frac{\pi^2 EI_{\min}}{(\mu \cdot \ell)^2} \quad \text{Eyler formulasi}$$

Cho'zilish va siqilishda mustaxkamlik sharti quyidagicha yoziladi.

$$\sigma = \frac{P}{F} [\sigma]$$

Ustvorlik sharti quyidagicha ifodalanadi.

$$\sigma_{kr} = \frac{P_{kr}}{F} = [\sigma]_u$$

$[\sigma]_u = \varphi[\sigma]$ -ustvorlik uchun ruxsat etilag kuchlanish.

φ -ruxsat etilgan kuchlanishni kamaytirish koeffitsienti bo'lib (0-1) oralig'ida bo'ladi.

Ustvorlikda extiyotlik koeffitsienti aniqlanadi.

$$n_y = \frac{P_{kr}}{P} \text{ yoki } n_y = \frac{\sigma_{kr}}{[\sigma]}$$

Ustvorlikka xisoblashning amaliy usuli.

Ustvorlikka xisoblanayotgan konstruksiyalar ko'p xollarda statik noaniq ko'rinishga ega bo'ladi. Statik noaniqlik (0-1) bo'lgan oraliqda ma'lumligidan asta-sekin yaqinlashish usulidan foydalaniladi. Egiluvchanlik bilan ruxsat etilgan kuchlanishni kamaytirish koeffitsienti bog'lanish jadvalidan foydalanamiz. Asta-sekin yaqinlashish usulidan foydalanish uchun:

1. Sterjenning biriktirilishiga bog'liq bulgan φ koeffisientini aniqlaymiz.
2. Sterjen kesim yuzasini aniqlaymiz.
3. Minimal inertsia momentini aniqlaymiz, chunki sterjen o'z ustvorligini yupqa devor tomoniga yuqotadi.
4. Minimal inertsia radiusini aniqlaymiz. $i_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{F}}$
5. Sterjenning egiluvchanligini aniqlaymiz. $\lambda = \frac{\mu \cdot \ell}{i_{\min}}$
6. Ustvorlik shartini tuzatamiz, bu shartga asosan kesim o'lchamining ruxsat etilgan kuchlanishni kamaytirish koeffitsienti bilan bog'lanishni keltirib chiqaramiz.

$$\sigma = \frac{P}{F} \leq \varphi \cdot [\sigma] ; \quad F = \frac{P}{\varphi \cdot [\sigma]}$$

F, φ -formulalarda noma'lum bo'lgani uchun φ (0-1) bo'lgan xolda asta-sekin yaqinlashish usulini qo'llaymiz.

7. $\varphi=0.5$ yoki $\varphi=0.6$ dan boshlab xisoblaymiz.

$$F \geq \frac{P}{0.5 \cdot [\sigma]}$$

bo'lganda egiluvchanlikni xisoblaymiz va bu egiluvchanlikka mos kelgan φ ni topamiz asta-sekin yaqinlashish usulini berilgan φ va topilgan φ qiymatlari yaqinlashguncha xisoblaymiz.

KRITIK KUCHNI ANIQLASHNING ENERGETIK USULI.

1. Tashqi kuch ta'siridan konstruktsiya elementi o'z shaklini saqlash ustvorlik xisoblanadi. Sterjen kritik xolatda o'z ustvorligini tashqi kuch ta'siridan yo'qotadi. Bu tashqi kuch kritik kuch xisoblanadi. Kritik kuchlanish kritik kuchning kesim yuzasiga nisbati bilan o'lchanadi. Kritik kuch va kritik kuchlanishning qiymati sterjen materialiga kesim o'lchamlariga va biriktirilishiga bog'liq bo'ladi.

Sterjenning o'lchamlariga bog'liq bo'lgan egiluvchanligi

$$\sigma_{kr} = \frac{P_{kr}}{F}$$

$$\lambda = \frac{\mu \cdot \ell}{i_{\min}}$$

Sterjenning materialiga bog'liq bo'lgan egiluvchanligi

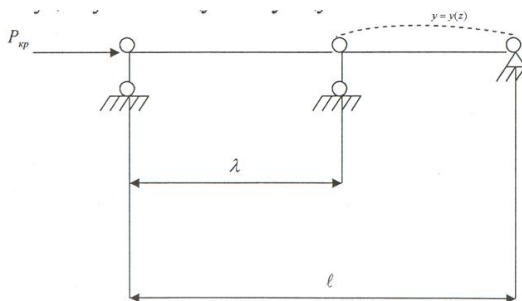
$$\lambda_{cheg} = \pi \sqrt{\frac{E}{\sigma_{pp}}}$$

Qiymatlarga qarab kritik kuchni Eyler formulasi va Yasinskiy formulasi yordamida aniqlanadi.

1. $\lambda \geq \lambda_{cheg}$ bo'lsa Eyler formulasi
2. $\lambda < \lambda_{cheg}$ bo'lsa Yasinskiy formulasi.

Bir uchi qo'zg'almas ikkinchi uchi qo'zg'aluvchan tayanchiga tayangan sterjenga o'qi bo'yicha siquvchi kuch qo'yilgan

$$y'' = \frac{M(z)}{EI_x} \quad (2)$$



Siquvchi R kuch ta'siridan qo'zg'aluvchan tayanch λ masofaga ko'chadi. Kuch ta'siridan ko'chish bajarilgan ish bo'lib to'liq potentsial energiyaga aylanadi. $A=U=P_{kp} \cdot \lambda$ Sterjen R kuchi ta'siridan bo'ylama egilishda bo'lib potentsial energiyasi quyidagicha xisoblanadi.

$$u = \int_{(l)} \frac{M^2(z) dz}{2EI_x} \quad (1)$$

Balkaning differentsial tenglamasi quyidagicha edi.

$$U = \int \frac{(y''(z))^2}{(2EI_x)^{-1}} dz \quad M(z) = y \cdot EI_x$$

Demak, qo'zg'aluvchan tayanchning ko'chishi

$$\lambda = \int_{(l)} \frac{(y'(z))^2}{2} dz \quad \text{teng}$$

bo'ladi.

$$P_{kr} = \frac{U}{\lambda} \quad P_{kr} = \frac{U}{X} = \frac{\int_{(I)} \frac{(y''(z))^2 dz}{(2EI_x)^{-1}}}{\int_{(I)} \frac{(y'(z))^2}{2}} dz$$

bu formula kritik kuchi aniqlashdagi energetik usul xisoblanadi. Kritik kuchni aniqlash uchun

y-funksiyasi ma'lum bo'lishi kerak.

Masalan: Sterjen egilgan o'qining funksiyasi ma'lum bo'lsin

bu funksiyani energetik formulaga qo'ysak quyidagini xosil qilamiz

$$y = b \sin \frac{\pi^2 z}{\ell}$$

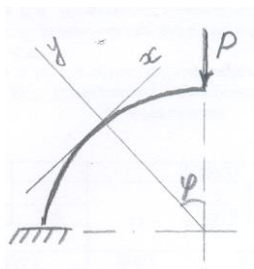
$$P_{kr} = \frac{\pi^2 EI}{\ell^2}$$

Funksiyaning berilishiga qarab kritik kuchning qiymatini aniqlash mumkin bo'ladi. Agar y funksiyaning ko'rinishi noma'lum qolsa Eyler va Yasinskiy formulalaridan foydalanamiz.

EGRI BRUSLAR XISOBI.

1. Qurilish va mashinasozlikda egri chiziqli sterjenlar ko'p uchraydi, ko'tarish kranining ilmog'i bort xalqa g'ildirakning to'lqini orqali ko'priklar egri brus kesimlarida ichki zo'riqishlarning o'zgarishiga qarab xisoblanadi. Bo'ylama kuchlar N ko'ndalang kuch Q va eguvchi moment M larni aniqlash uchun xayolan kesimni radius bo'yicha olamiz. Qutb koordinata sistemasida xisoblanadi. Dekart koordinata sistemasida o'tish uchun kesim o'qi bo'ylab "y" o'qini shu kesimda o'tkazish urinma bo'yicha z o'qini yo'naltiramiz. "Y" o'qiga proektsiya beruvchi kuchlar yig'indisi ko'ndalang kuchga teng. Z o'qiga proektsiya beruvchi kuchlar yig'indisi bo'ylama kuchlar teng bo'ladi.

φ	0^0	30^0	45^0	60^0	90^0
$Q(\varphi)$	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{1}{2}$	0
$N(\varphi)$	0	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	$-\frac{\sqrt{3}}{2}$	-1
$M(\varphi)$	0	$-\frac{1}{2}$	$-\frac{\sqrt{2}}{2}$	$-\frac{\sqrt{3}}{2}$	-1



$$0 \leq \varphi \leq \frac{\pi}{2}$$

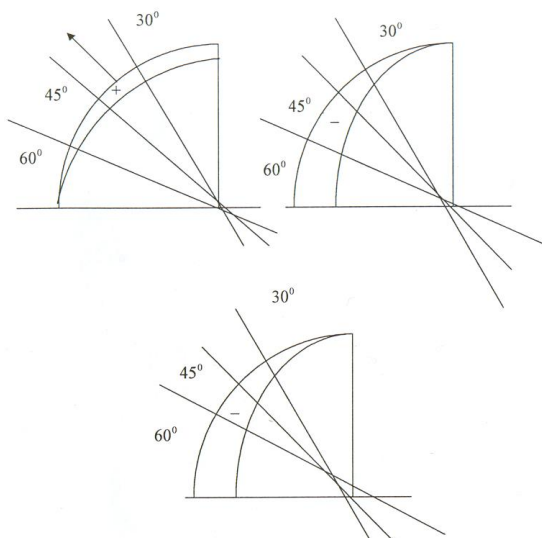
$$Q(\varphi) = P \cos \varphi$$

$$N(\varphi) = -P \sin \varphi$$

$$M(\varphi) = -P\ell \sin \varphi$$

Egri braslarda ichki zo'riqish kuchlari epyuralarini qurish uchun quyidagicha jadval tuziladi.

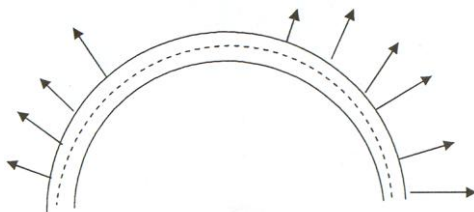
Egri brus ichki zo'riqish kuchlari epyuralarini jadval asosida burchaklarni radiuslar bo'yicha yo'naltiramiz.



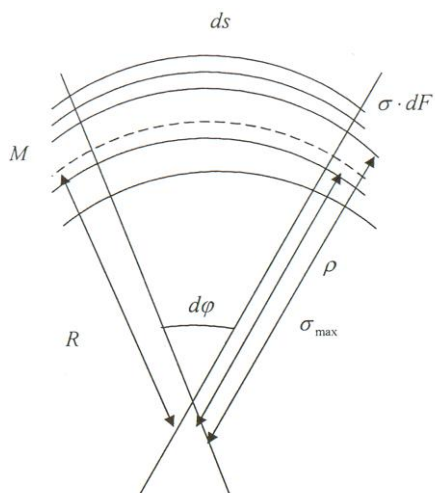
Egri sterjen kesimlaridan xosil bo'ladigan bo'ylama kuchlar ta'siridan cho'zilish yoki siqilish deformatsiyasi xosil bo'ladi. To'g'ri sterjenlarning cho'zilishi va siqilishida qabul qilingan barcha qonun qoidalar o'rinli. Cho'zilish va siqilishda kesimlarda xosil

bo'ladigan normal kuchlanishlar quyidagicha aniqlanadi. $\sigma = \frac{N}{F}$

Bo'ylama kuchlar kesimining og'irlik markaziga qo'yiladi.



3. Egri brus kesimlarida faqat eguvchi moment xosil bo'lsa sof egilish deyiladi.



$$\rho = r + y$$

$$\sigma = \frac{M}{S_x} + \frac{y}{\rho} = \frac{M \cdot y}{S_x(r + y)}$$

Sof egilishda normal kuchlanish formulasi

M-eguvchi moment

S_x -og'irlik markazidan o'tgan X o'qiga nisbatan statik momenti. r - radius. y - neitrat qatlamgacha bo'lgan masofa.

$$\int_F \frac{y}{r + y} dF = 0 \rightarrow \text{neytral o'qtenglamasi}$$

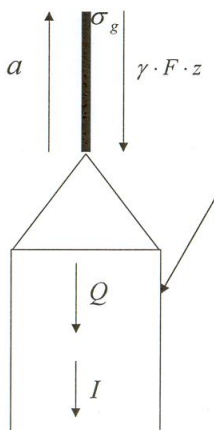
MAVZU: DINAMIK KUCHLAR TA'SIRIDAN MUSTAHKAMLIKKA XISOBLASH.

Reja:

1. Dinamik kuchlar.
2. D'alamber printsipi.
3. Dinamik koeffitsient.
4. Tekis tezlashgan xarakatdagi kuchlanish.
5. Tekis aylanma xarakatdagi xalqaning kuchlanishi.

Vaqt birligida o'zgarib turuvchi kuchlar dinamik kuchlar deyiladi. Dinamik kuchlar ta'sirini xisoblash nazariy mexanika fanida o'tilgan D'alamber printsipi bo'yicha

bajaramiz. Muvozanat tenglamalarini inertiya kuchlarini xisobga olgan xolda tuzamiz. Dinamika masalalarida statik kuchlar ta'sirida xisoblarni asos qilib olamiz.



Q - Liftning og'irligi
I - Inertiya kuchi
 $\gamma F z$ - masofadagi trosning og'irligi

Tros bilan ko'tarilayotgan ya'ni tezlanishdagi lift tros kesimining kuchlanishini aniqlab mustahkamligini xisoblaymiz. Dalamber printsipiga asosan muvozanat tenglamasini tuzamiz.

$$\sum Z = 0 \quad \sigma_d F - \gamma F \cdot z - Q - I$$

$$I = \frac{Q + \gamma F \cdot z}{g} \cdot a$$

Inertiya kuchi jism massasining tezlanishiga ko'paytmasi muvozanat shartidan

$$\sigma_g = \frac{Q \cdot \gamma F \cdot z}{F} \left(1 + \frac{a}{g}\right)$$

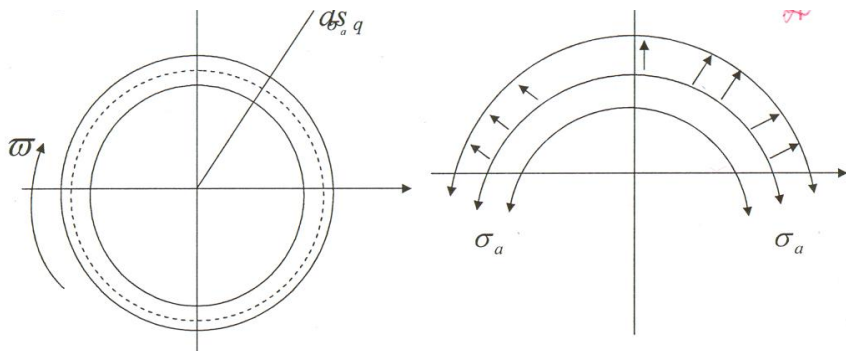
$$\sigma_{st} = \frac{Q \cdot \gamma F \cdot z}{F} - \text{statikkuchlanish} \quad \kappa_d = 1 + \frac{a}{g}$$

dinamiklik koeffisient

Dinamik kuchlanish $\sigma_d = k_d \sigma_{st}$

Dinamik ko'chish $\delta_o = k_d \delta_{st}$ ga teng

Aylanma xarakatdagi xalqaning kuchlanishini xisoblash xalqaning ko'ndalang kesimi F, solishtirma og'irligi γ , aylanishlar soni n, aylanma xarakatning burchak tezligi ω , xalqaning o'rtacha diametri D berilgan.



Tekis aylanma xarakatdagi xalqadan cheksiz kichik ds element ajratamiz. Xalqaning aylanma xarakati vaqtida bu element o'zgarmas ω tezlik bilan xarakat qiladi. Bu xarakatning burchak tezlanishi $\varepsilon = 0$ ga teng bo'ladi. Shuning uchun bu elementning urinma tezlanishi ham 0 bo'ladi.

Markazga intilma tezlanish

$$a = \omega \frac{D}{2}$$

Bu elementning inertsia kuchi $dI = a \frac{F \cdot \gamma ds}{g} = \frac{F \cdot \gamma \cdot \omega^2 D}{2g} ds$

Bu erdan inertsia kuchini ekvivalentini xisoblaymiz

$$d = \frac{dI}{ds} = \frac{F \cdot \gamma \cdot \omega^2 D}{2g}$$

u xolda elementar xalqaning muvozanati quyidagicha ifodalanadi

$$\sum y = 0 \quad -2\sigma_a F \cdot q \cdot D = 0$$

$$\sigma_a = \frac{q \cdot D}{2F} = \frac{\gamma \omega^2 \cdot D^2}{4g}$$

tekis aylanma xarakat qilayotgan kesimidagi
kuchlanish

ZARB KUHLARI TA'SIRI

Juda ham qisqa muddat ichida qo'yilgan va tezligi bir onda 0 ga tenglashuvchi kuch zarbli kuchi deb ataladi. Zarbga bir jismning ikkinchi jismga urilishidan xosil bo'ladi. Zarbga beruvchi jismning tezlik miqdori tez vaqt ichida 0 ga tenglashadi. Bu vaqtda zarba egan jismning kuchlanishi va deformatsiyasi eng katta qiymatga erishadi, shundan keyin zarblanuvchi jismda asta sekin so'nuvchi tebranish xosil bo'lgandan keyin unda muvozanat qaror topadi. Zarblanuvchi jismning kuchlanish bilan deformatsiyasining miqdori zarb kuchi miqdoriga kamayadi.

Zarba kuchining ta'siridan cho'zilish yoki siqilish va egilish deformatsiyalari xosil bo'lishi mumkin. Cho'zilish yoki siqilish va egilish deformatsiyalari xosil bo'lishi mumkin. Cho'zilish yoki siqilish deformatsiyasi xosil bo'ladigan zarba bo'ylama zarba deb ataladi.

Egilish deformatsiyasi xosil bo'ladigan zarba ko'ndalang zarba deb ataladi. Zarba kuchi quyidagicha aniqlanadi:

$$P(t) = \frac{Q}{g} \cdot j(t)$$

$j(t)$ - zarba ta'siridan jismning tezlanishini ya'ni xisoblash qiyin bo'lganligi uchun bu formuladan foydalanish amalda mumkin emas. Shuning uchun zarba ta'sirini energiyaning saqlanish va aylanish qonunidan foydalanamiz. Osonlashtirish maqsadida quyidagi cheklanishlar ishlatiladi.

1.) Zarbadan xosil buladigan kuchlanishlar proporsionallik chegarasidan ortmaydi ya'ni zarba jarayonida Guk qonuni o'z kuchini saqlaydi.

2.) Zarba beruvchi jism noelastik jismdan yasalgan deb qaraladi, bu cheklanish zarba beruvchi zarblanuvchi jismga urilganidan keyin ajralmaydi deb xisoblanadi.

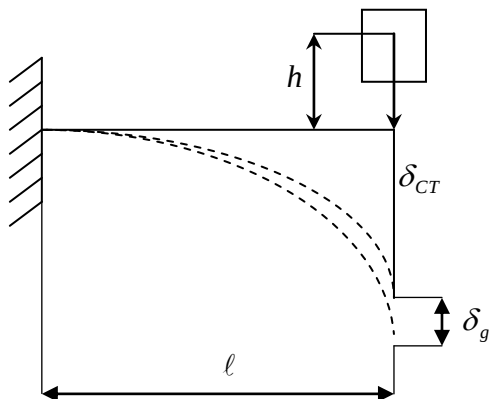
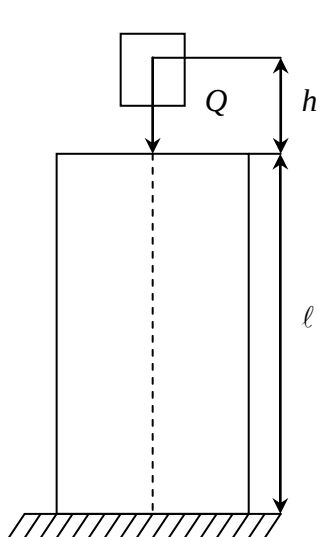
Zarblanuvchi jismning potentsial energiyasi zarbning boshlanishida kinetik energiyaga ega bo'ladi. Deformatsiyada bu energiya nopotentsial energiyaga aylanadi.

Bo'ylama zarba ta'siridan deformatsiyalar ko'chish Guk qonuniga asosan aniqlanadi.

$$K = \frac{mv^2}{2}; \quad \Pi = mg \cdot h; \quad \Pi = K; \quad A = Q(h \cdot \delta_{CT}); \quad U = \frac{1}{2} Q \cdot \delta_g;$$

$$\delta_{CT} = \frac{Q \cdot \ell}{EF} = \frac{Q}{\frac{EF}{\ell}} = \frac{Q}{C}$$

$C = \frac{EF}{\ell}$ – birlilikning sterjen uzunlik nisbati bo'ylama birlilik koeffitsienti deyiladi.



Ko'ndalang zarba uchun ko'chishlar Kastilyano teoremasi Vereshchagin usuli va Mor integrali yordamida deformatsiyalar quyidagicha aniqlanadi.

$$\delta_{st} = \frac{Q \cdot \ell}{EI_x} = \frac{Q}{\frac{EI_x}{\ell^3}} = \frac{Q}{C}$$

$$C = \frac{3EI_x}{\ell^3} -$$

bu erda S ko'ndalang zarba ta'siridan birlilik koeffitsienti.

Zarba ta'siridan dinamik koeffitsient quyidagicha aniqlanadi.

$$k_d = 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\delta_{st}}}$$

Zarba ta'sirida h balandlik kattaroq qiymatga ega bo'lsa dinamik koeffitsient quyidagicha aniqlanadi.

$$k_d = \sqrt{1 + \frac{2h}{\delta_{st}}}$$

Zarba ta'siridan h balandlik juda katta bo'lsa dinamik koeffitsient quyidagicha aniqlanadi.

$$k_d = 1 + \sqrt{\frac{2h}{\delta_{st}}}$$

Bo'ylama zarba

Berilgan

$E=2 \times 10^5$ MPa

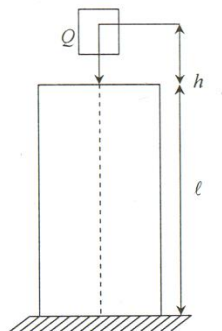
$F=20$ sm²

$l=2$ m

$h=20$ sm

kg=?

$$k_{st} = \sqrt{\frac{2h}{\delta_{st}}}$$



$$\delta_{CT} = \frac{Q \cdot \ell}{EF} = \frac{50 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 100}{2 \cdot 10^{11}} = \frac{5 \cdot 10^6}{2 \cdot 10^{12}} = 2.5 \cdot 10^{-6} \text{ cm}$$

$$k_d = \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 200}{2.5 \cdot 10^{-6}}} = \sqrt{16 \cdot 10^6} \approx 4000$$

MAVZU: MEXANIK TEBRANISH

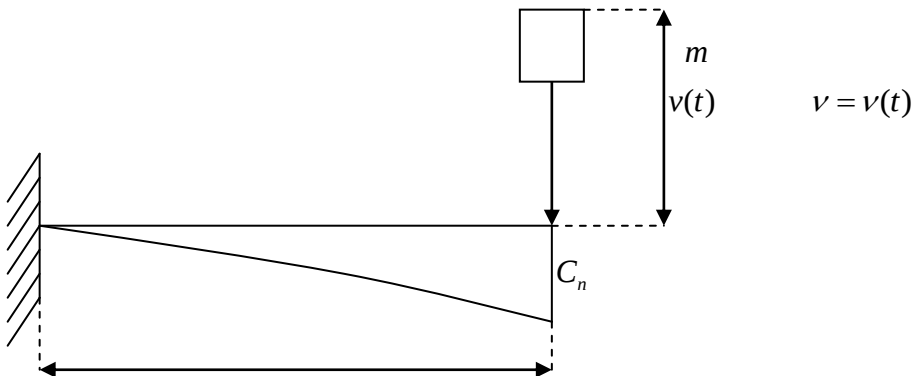
Reja:

1. Tebranma xarakat.
2. Tebranma xarakat turlari.
3. Egilishdagi tebranma xarakat.
4. Xarakat diffirensial tenglmasi.

5. Bo'ylama tebranma xarakat.

Xozirgi zamon texnikasida dinamik kuchlar ta'sirida bo'lgan konstruktsiya elementlari, mashina detallari mustahkamlikka bikrlikka va ustvorlikka xisoblanadi. Dinamik kuchlar va tebranma xarakatlar ko'p konstruktsiya elementlarini emirilishiga sabab bo'ladi, natijada ekstremal xolatlar vujudga keladi. Tebranma xarakatlar ko'ndalang va bo'ylama bo'ladi. Sterjenlar ko'ndalang tebranma xarakat ta'siridan egilish deformatsiyasi vujudga keladi. Bo'ylama tebranma xarakatda sterjenlarda cho'zilish yoki siqilish deformatsiyasi xosil bo'ladi. Texnik inshootlarni loyihalashda asosan uning tebranma xarakat chastotalarini va dinamik kuchlar ta'sirida bu chastotalarni oshishiga yo'l qo'ymaslik zarur bo'ladi.

Egilishdagi tebranma xarakat. 1 uzunlikdagi sterjen bir uchi qistirib maxkamlangan erkin uchiga m massali jism dinamik kuchlar ta'sir qilganda uning erkin tebranishini xosil qilamiz.



to'sin muvozanat xolatidan chetlanish funksiyasi bo'lsa to'singa ta'sir etuvchi kuch quyidagicha aniqlanadi.

$$P - \frac{1}{C_n} \cdot v(t)$$

S_n - to'sinning kuch qo'yilgan nuqtadan birlik kuch ta'siridan vertikal ko'chish bo'lib uning qiymati Mor integrali Vereshchagin usuli orqali aniqlanadi. Bu kuch ta'siridan to'sinning tebranma xarakat tenglamasi quyidagicha bo'ladi.

$$Q = mg \quad m \frac{d^2 v}{dt^2} = - \frac{1}{C_n} v - Q$$

Q - jismning og'irligi

$$P^2 = \frac{1}{C_n} - \text{belgilasak tebranma xarakatning differentsial}$$

$$\frac{d^2 v}{dt^2} = -p^2 v = -g \quad \text{tenglamasi kelib chiqadi.}$$

Differentsial tenglamaning umumiy echilishi quyidagicha ko'rinishda olamiz.

v_{st} - to'sinning og'irlik kuchi ta'siridan vertikal ko'chishi.

$$v(t) = v(0) \cos pt + v(0) \frac{1}{p} \sin pt - v_{CT} (1 - \cos pt)$$

$v(0) - t = 0$ – bo'lgandagi boshlang'ich ko'chish.

Agar yukning boshlang'ich vaqtidagi tezligini 0 deb xisoblasak

$$v(t) = v_{st} + v_0 \cos pt$$

v_0 - tebranma xarakatning amplitudasi

p - tebranma xarakatning chastotasi.

Bo'ylama tebranma xarakat – Texnik masalalarni echish ularda bo'ylama erkin tebranish xosil bo'lishi bilan bog'liq sterjen uchiga zarba ta'siri. Simni troslarga ko'ndalang dinamik kuch ta'siri misol bo'ladi. Bo'ylama erkin tebranishlar yoki bo'ylama to'liq tarqalishi differensial tenglamasi quyidagicha bo'ladi.

$\gamma F dz$ - dz elementning massasi

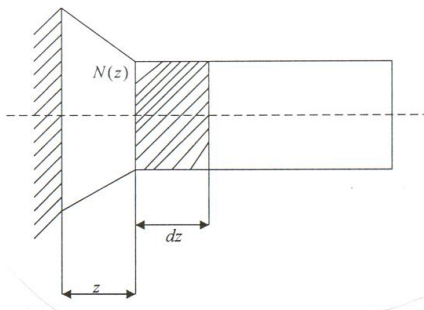
$$\rho F \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} dz = \frac{\partial N}{\partial z} \cdot dz$$

ρ - zichligi

w - sterjen materialining zichligi

N - bo'ylama kuch

$$N(z) + \frac{\partial N(z)}{\partial z} dz$$



Guk qonuniga asosan $N(z) = \sigma \cdot F = \varepsilon EF = EF \frac{\partial w}{\partial z}$ differensial tenglamasiga qo'yamiz.

$$\frac{\partial}{\partial z} (EF \frac{\partial w}{\partial z}) = \rho F \frac{\partial^2 w}{\partial z^2}$$

Differentsial tenglamaning echimi quyidagicha bo'ladi.

$$w(z, t) = w(z) \cdot \cos pt$$

$w(z)$ - tebranma xarakat amplitudasi

p - chastota

Adabiyotlar

1. O'rozboev M.T. Materiallar qarshiligi asosiy kursi.
2. Mansurov X.M. Materiallar qarshiligi.
3. Smirnov A.F. Materiallar qarshiligi.
4. Qoraboev. B. Materiallar qarshiligidan qisqacha kurs.
5. Yo'ldoshev K.A. Materiallar qarshiligi.
6. Materiallar qarshiligi fanidan ma'ruzalar matni.