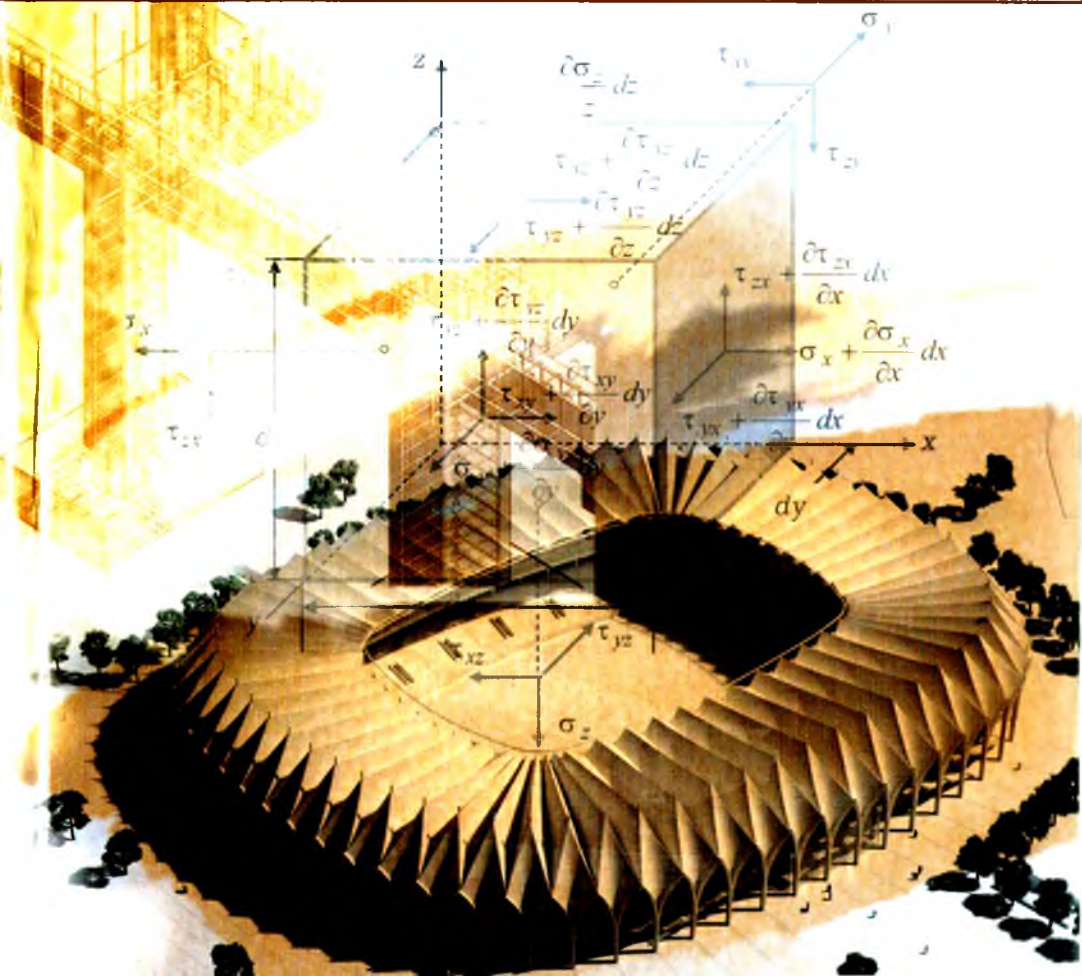


K. Ismayilov, S.K. Toshev, O.I. Eshniyazov,
S.S. Amanov

MATERIALLAR QARSHILIGI



**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIV VA O‘RTA MAXSUS TA‘LIM VAZIRLIGI**

**K. Ismayilov, S. K. Toshev, O. I. Eshniyazov,
S. S. Amanov**

MATERIALLAR QARSHILIGI

O‘quv qo‘llanma

*(5340200 – Bino va inshootlar qurilishi,
5140300 – Mexanika)*

TOSHKENT
“MASHHUR-PRESS”

2017

UO`K: 691 (075)

KBK: 22.171

I 71 Ismayilov K.

Materiallar qarshiligi. [Matn] *O'quv qo'llanma / K. Ismayilov, S.K. Toshev, O.I. Eshniyazov, S.S. Amanov. – Toshkent, "MASHHUR-PRESS", 2017. – 272 bet.*

O'quv qo'llanmada mustaqil ishlarini tashkil etish, nazorat qilish va baholash, qisqacha nazariy ma'lumotlar, masalalarni yechish uchun namunalar va mustaqil ish variantlari berilgan.

O'quv qo'llanma O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi tomonidan tasdiqlangan namunaviy dasturi asosida, 5340200 – Bino va inshoot qurilishi va 5140300 – Mexanika ta'lim yo'nalishi bo'yicha, universitet va oliy texnika o'quv yurtlari talabalari uchun o'quv qo'llanma sifatida yozilgan.

UO`K:691 (075)

KBK: 22.171

Taqrizchilar:

- X.Sh.To'raev** – *Samarqand Davlat arxitektura qurilish instituti professori texnika fanlari doktori.*
- R.Sh.Indiaminov** – *TATU Samarqand filiali professori, fizika-matematika fanlari doktori.*
- Sh.B.Berdiev** – *Samarqand Davlat Universiteti "Nazariy va amaliy mexanika" kafedrasini mudiri, texnika fanlari nomzodi, dotsent.*

Mirzo Ulug'bek nomidagi Samarqand Davlat arxitektura qurilish instituti Ilmiy kengashining 2017-yil 14-sentyabrdagi 1-sonli majlis bayoninomasi bilan nashrga tavsiya etilgan.

ISBN 978-9943-5052-9-2

© K. Ismayilov va boshq., 2017

© "MASHHUR-PRESS", 2017.

Annotatsiya

O'quv fani hajmining kamida 25 foizi mustaqil ta'lim tarzida o'zlashtirilishi shart ekanligi O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligining 2009 yil 14 avgustdagi 286-sonli "Talabalar mustaqil ishlarini tashkil etish to'g'risida"gi buyrug'i bilan belgilab qo'yilgan. Shu sababli materiallar qarshiligi fanida o'xshashi bo'lmagan ushbu o'quv qo'llanma yozildi.

O'quv qo'llanmada mustaqil ishm tashkil etishning shakli, mazmuni, hajmi, axborot texnologiyasi, nazorat qilish va baholash me'zoni va mavzular nomlari, cho'zilish va siqilishda sterjenlarni mustahkamlikka hisoblash usullari, hamda mustaqil ish topshiriqlari, umumlashgan Guk qonumi va teskari ifodalari, bosh kuchlanishlar, ekstremal urinma kuchlanishlar va oktaedrik kuchlanishlar nazariyasi yoritilib ular asosida mustaqil ishlar va topshiriqlari va uni bajarish usuli, jism nuqtasining deformatsiya holati, bosh deformatsiyalar nazariyasi keltirilib bir nechta masalalar yechib ko'rsatilgan, buralish, egilish deformatsiyasi, teng qarshilikli va turli elastik moduili balkalar hisobi, elastik zaminda yotuvchi turli yuklar ta'siridagi turli uzunliklardagi to'sinlar, sterjenlarning bo'ylama egilishi va qobiqlar nazariyasi hisobi va barcha boblar bo'yicha test savollari, mustaqil ish topshiriqlari va misollar ishlab namuna sifatida keltirilgan.

Аннотация

В приказе Министерство высшего и среднего специального образования Республики Узбекистан № 286 от 14 августа 2009 года “Организации самостоятельной работы студентов” отмечено, что усвоение самообразования предмета обязательно должен составлять не менее 25% от общего объема обучения. Поэтому причину написано это учебное пособие которой неимеется аналог по предмету сопротивление материалов.

В учебное пособие рассмотрены вопросы формы организации и содержание, информационная обеспечения самостоятельной работы студентов, оценка критерий и знание студентов на основе рейтинговой системе, объем и содержание самостоятельного образования, расчет на прочность растянутых и сжатых стержней, обобщенный закон Гука и обратной выражения, главные напряжения, экстремальные касательные и октаэдрические напряжения, деформационное состояние в точке тела, главные деформации, деформация кручения изгиба, расчет балок при растяжение и сжатие с различными модулями упругости и равного сопротивления, балки на упругом основании при действие различных нагрузок и различных длины а также, расчет оболочек. Во всех разделах приводятся тестовые вопросы, задание для самостоятельной работы и примеры решения задачи.

Annotation

At least 25 percent of the science which is teaching must be self education according to the order № 286 on 14th of August, 2009 the Ministry of Higher and Secondary Special Education of the Republic of Uzbekistan about "Organization of independent work of students" that's way this manual without any similarity in the subject of resistance of materials has been written by authors.

In the manual form of the organization of independent work, content, size, information technology, control and marking criteria and name of topics, calculation methods of solidity of rods when they have strength and stress, tasks of independent work, generalized Hook's law and it's inverse expressions, main tensions, extrema tangential tensions and octahedral tensions theory is illuminated and according to them independent works and tasks and it's doing method, deformation position of point of solid, main deformation theory is illuminated and some problems have beams with been solved. Spinning, bending deformations, calculs of equal resistance and varions moduls of elastic, infulance of varions loads to weirs with warions length, longitudinal bending of rods and calculs of shells theory and test questions from all chapters, tasks of independent work and examples are expressed as a pattern.

KIRISH

Mazkur o‘quv qo‘llanma o‘n bir bobdan iborat bo‘lib, O‘zbekiston Respublikasi Oliy va o‘rta maxsus ta‘lim vazirligining 2009-yil 14-avgustdagi 286-sonli “Talabalar mustaqil ishlarini tashkil etish to‘g‘risida”gi buyrug‘i bilan tasdiqlangan “Talabalar mustaqil ishini tashkil etish va nazorat qilish” bo‘yicha yo‘riqnoma, 2009-yil 7-avgustdagi 276-sonli buyrug‘i bilan amalga kiritilgan “Oliy ta‘lim muassasalarida talabalar bilimini nazorat qilish va baholashning reyting tizimi to‘g‘risida Nizom” hamda Materiallar qarshiligi fanidan O‘zbekiston Respublikasi Oliy va o‘rta maxsus ta‘lim vazirligining 2017-yil 6-iyundagi 3-sonli buyrug‘i bilan tasdiqlangan o‘quv dasturi va mualliflarining ko‘p yillar davomida turli oliy o‘quv yurtlarida “Materiallar qarshiligi” fanidan dars o‘tish jarayonlarida hosil bo‘lgan tajribalari asosida yozilgan.

“Materiallar qarshiligi” fanidan talabalar mustaqil ishlarini tashkil etish, nazorat qilish va baholash bo‘yicha tayyorlangan ushbu o‘quv qo‘llanma bakalavriat bosqichi 340000 – “Arxitektura va qurilish” ta‘lim sohasining barcha yo‘nalishlari 2-bosqich talabalarining mazkur fandan mustaqil ishini tashkil etish va nazorat qilishda foydalanish uchun tavsiya etiladi.

Mustaqil ishning o‘ziga xosligi shundaki, o‘quv faoliyatining bu qismi talabalarning mustaqil faolligi hamda tegishli professor-o‘qituvchilarning nazorati asosida tashkil etilib, o‘quv rejada semestrlar bo‘yicha belgilangan soatlar hajmiga ko‘ra amalga oshiriladi.

I BOB

MUSTAQIL ISHNI TASHKIL ETISHNING SHAKLI VA MAZMUNI

1.1-§. Talaba mustaqil ishining maqsad va vazifalari

Talaba mustaqil ishining asosiy maqsadi o'qituvchining rahbarligi va nazorati ostida talabada muayyan o'quv ishlarini mustaqil ravishda bajarish uchun zarur bo'lgan bilim va ko'nikmalarini shakillantirish va rivojlantirishdir.

Talaba mustaqil ishning vazifalari quyidagilardan iborat:

- yangi bilimlarni mustaqil tarzda puxta o'zlashtirish ko'nikmalariga ega bo'lish;
- kerakli ma'lumotlarni izlab topish, qulay usul va vositalarni aniqlash;
- axborot manbalari va manzillardan samarali foydalanish;
- ananaviy o'quv va ilmiy adabiyotlar, meyoriy hujjatlar bilan ishlash;
- elektron o'quv adabiyotlar bilan ishiash;
- internet tarmog'idan maqsadli foydalanish;
- berilgan topshiriqning ratsional yechimini belgilash;
- ma'lumotlar bazasini tabliil qilish;
- topshiriqlarni bajarishda tizimli va ijodiy yondashish;
- ishlab chiqilgan yechim, loyiha yoki g'oyani asoslash va mutaxassislar jamoasida himoya qilish.

1.2-§. Talaba mustaqil ishining axborot ta'minoti

Talabaga mustaqil ishni bajarish bo'yicha dastlabki ko'rsatma va tavsiyalar taqdim etiladi.

Mustaqil ishni bajarish uchun talabaga axborot manbai sifatida darslik, o'quv qo'llanmalar, uslubiy qo'llanma, ko'rsatmalar, ma'lumotlar to'plami, ilmiy va ommaviy davriy nashrlar, internet tarmog'idagi tegishli ma'lumotlar, beriladigan mavzu bo'yicha avval bajarilgan ishlar namuna sifatida taqdim etiladi.

Institut rahbariyati tomonidan talabalarga mustaqil ishlarni o'z vaqtida sifatli bajarish uchun kompyuter texnikasi va internet tarmog'idan samarali foydalanish uchun shart sharoitlar yaratib beriladi.

1.3-§. Talaba mustaqil ishini tashkil etish shakllari

Talaba mutaqil ishini tashkil etishda har bir talabaning akademik o'zlashtirish darajasi va qobiliyatini hisobga olgan holda quyidagi shakllardan foydalaniladi:

- ayrim nazariy mavzularni o'quv adabiyotlar yordamida mustaqil o'zlashtirish;
- berilgan mavzu bo'yicha referat tayyorlash;
- amaliy mashg'ulotlariga va laboratoriya ishlarini bajarishga tayyorgarlik ko'rish;
- hisob-grafik ishlarini bajarish;
- stend, maket, model va boshqa namunalarni yaratish;
- ilmiy maqola, anjumanga ma'ruza tezislarni tayyorlash.

3.1. Ayrim nazariy mavzularni o'quv adabiyotlar yordamida mustaqil o'zlashtirish

Darslik va o'quv adabiyotlari bilan ishlash ko'nikma va malakalarini shakllantirish mustaqil ta'lim olishning asosiy ko'rinishlaridan biri hisoblanadi. Darslik va o'quv adabiyotlari bilan ishiashni barcha ta'lim oluvchi talabalar yaxshi o'zlashtirgan bo'lishlari lozim. O'quv adabiyotlari deganda, darsliklar, o'quv qo'llanmalar, texnik adabiyotlar, ma'lumotlar, yo'riqnomalar va x.k. tushuniladi.

3.2. Berilgan mavzu bo'yicha referat tayyorlash

Referat – mavzu bo'yicha talabalar referat tayyorlashi mustaqil ishlarining samarali shakllaridan biri bo'lib, unda quyidagi ishlar bajariladi.

A) yoritiladigan masalalar mazmuni bo'yicha reja tuziladi,

B) darsliklar, o'quv qo'llanmalar, maxsus adabiyotlar, ilmiy jurnallar va lug'atlardan foydalanib mavzu yoritiladi.

Topshiriq talabalarning referat yozish ko'nikmalarini, ilmiy qiziqishlari va bilim darajasini hisobga olgan holda berilishi juda muhim ahamiyatga ega.

Referatni tayyorlash va muhokama qilishning barcha bosqichlarida kafedra professor-o'qituvchilarining tashkiliy-uslubiy yordami va maslahati asosidagina samarali amalga oshishi mumkin. Referat hajmi qo'l yozma shaklida 12-14 bet, komp'yuterda 8-12 bet atrofida bo'lishi mumkin. Referat – talabaning mustaqil ijodiy ishi bo'lib, talaba uni o'quv dasturiga kiritilgan, umumlashtirilgan, qisqartirilgan mavzular bo'yicha bajarsa maqsadga muvofiq bo'ladi.

3.3. Amaliy va laboratoriya ishlarni bajarish

Mustaqil ishlarning asosiy ko'rinishlaridan biri amaliy ishlarni bajarish jarayonidir.

Amaliy mashg'ulotlar talabada bilimni mustahkamlovchi ularni yangi vaziyatga ko'chirib, amaliy masala va vaziyatlarni hal qilish uchun umum-pedagogik tushunchalar va asosiy pedagogik mahoratlarni rivojlantirishga qaratilgan.

Amaliy – laboratoriya mashg'ulotlarida yangi psixologik-pedagogik tashhis va uslublar bilan tanishib, ular bilan ishlaydilar, bilim saviyasiga qarab guruhlariga bo'linadi va berilgan topshiriqlarni tahlil qilishadi.

Laboratoriya mashg'ulotlarining asosiy tavsifi shundaki, unda talabalar mustaqil ravishda vazifa bajaradilar yoki tajriba o'tkazadilar.

Seminarda, nazariy darslarda olgan ma'lumotlarini keng ravishda qayta o'rganish va ularni mustahkamlash imkoni bo'ladi. Semmarlar davomida amaliyot uchun muhim bo'lgan muammoli savollar qo'yiladi va ularga ko'pchilik hamkorligida javob izlanadi. Munozarali seminarlar tashkil qilish talabalarning o'z fikrlarini bildirishlari, muammoli savollarga birgalashib javob qaytarishlarida alohida ahamiyat kasb etadi. Munozarali seminarlar dolzarb mavzular bo'yicha talabalar fikrini o'rganish uchun o'tkaziladi.

3.4. Hisoblash-grafik ishlarini bajarish

Ikkinchi bosqich talabalariga hisoblash-grafik ishlari fanning namunaviy dasturida keltirilgan mavzular semestrlar bo'yicha quyidagicha beriladi

1-hisoblash-grafik ishi

1. Turli shaklga ega bo'lgan bruslar uchun ichki kuchlar epyuralarini qurish.

2. Sterjen va sterjenli tizimlarni cho'zilish va siqilishga hisoblash

2-hisoblash-grafik ishi

1. Balka hisobi. Eguvchi moment va kesuvchi kuch epyuralarini qurish.

2. Balkani kuchlanishlar bo'yicha mustahkamlikka hisoblash.

3. Balkani bikirlikka hisoblash

3-hisoblash-grafik ishi

1. Brusni buralishga hisoblash.

2. Brusni qiya egilishga hisoblash.

4-hisoblash-grafik ishi

1. Bikirligi cheksiz brus (ustun)ni nomarkaziy cho'zilish va siqilishga hisoblash.

2. Qo'shma metall ustunni ustivorlikka hisoblash

Talabalar hisoblash grafik ishlarini sifatli va o'z vaqtida bajarishi uchun kafedra tomonidan darslik, o'quv qo'llanma, kompyuter texnikasi va internet tarmog'idan samarali foydalanish uchun shart sharoitlar yaratilgan va beriladigan hisoblash – grafik ishlari mavzulari bo'yicha avval bajarilgan ishlar namuna sifatida taqdim etiladi.

3.5. Stend maket, model va boshqa ko'rgazmali vositalarni tayyorlash

Talabaga muayyan mavzuni bayon qilish va yaxshiroq o'zlashtirish uchun yordam beradigan ko'rgazmali materiallar (stend, maket, model va boshqa) tayyorlash vazifasi topshiriladi. Mavzu o'qituvchi tomonidan aniqlanib, talabaga ma'lum ko'rsatmalar, yo'l-yo'riqlar beriladi. Ko'rgazmali vositalarning miqdori, shakli va mazmuni talaba tomonidan mustaqil tanlanadi. Bunday vazifani bir mavzu bo'yicha bir necha talabaga yoki talabalar guruhiga topshirish ham mumkin.

Stend, maket va model tayyorlash uchun bir guruh talabalar tomonidan reja bo'yicha mavzu tanlanib, talab qilingan ko'rgazmasi, texnologik tasviri yoki uskunaning tasviri chiziladi va har bir tasvir bo'yicha tushuntirish yozuvlari mutaxassislik bo'yicha adabiyotlardan foydalangan holda yoziladi.

Talabalarga texnik chizmalarni o'qish va tuzishni o'rgatish uchun ularda grafik bilim elementlari bilan tanishishlari chizmalarni o'qishni o'rgatishdan boshlanadi. Sxemalarni o'qish: mashinaning nomi, vazifasi va qaysi joylarda qo'llanishini aniqlash; uning ish jarayonini tushuntirish; detallarning vaziyati, harakatni uzatish usullari hamda ketma-ketligini aniqlash va boshqalar.

Arxitektura va qurilish ta'limning har hil tashkiliy shakl va usullaridan foydalanish; texnik ma'lumotlar berish; tadqiqotchilik va amaliy faoliyat malaka, ko'nikmalarni shakllantirish ishlarini amalga oshirish; texnik bilimlarni, mehnat usullarini, mustaqil ishlash qobiliyatini shakllantirish; yuksak darajadagi mehnat intizomiga va mehnat muhofazasi talablariga rioya etish uchun umumkasbiy fanlardan biri "Materiallar qarshiligi" fanining o'ziga xos o'rni mavjud.

Loyihalash bu asl nusxadagi bino va inshootlar, mashinalar, moslamalar, jihozlar va hokazolarning chizmalarini yaratishga qaratilgan ijodiy jarayondir. Loyihalash bilan shug'ullanish uchun avvalo texnologik bilim va malakalarga ega bo'lish lozim. Shu bilan birga konstruksiya elementlarining mustahkamlikka, bikirlikka va ustuvorlikka hisoblash usullarini bilish zarur bo'ladi.

3.6. Ilmiy maqola, anjumanga ma'ruza tezislari tayyorlash

Talabaga deformatsiyalanuvchi qattiq jismlar mexanikasidan biror mavzu bo'yicha (mavzuni talabaning o'zi ham tanlashi mumkin) ilmiy maqola, tezis yoki ma'ruza tayyorlash topshirilishi mumkin. Bunda talaba o'quv adabiyotlari, ilmiy-tadqiqot ishlari, avtoreferatlar, dissertatsiyalar, ilmiy jurnallardagi maqolalar va monografiyalar hamda boshqa axborot manbalaridan mavzuga tegishli materiallar to'playdi.

1.4-§. Talabalar bilimni reyting tizimi asosida baholash mezozi

Materiallar qarshiligi fani bo'yicha reyting jadvallari, nazorat turi, shakli, soni hamda har bir nazoratga ajratilgan maksimal ball, shuningdek joriy va oraliq nazoratlarining saralash ballari haqidagi ma'lumotlar fan bo'yicha birinchi mashg'ulotda talabalarga e'lon qilinadi.

Fan bo'yicha talabalarning bilim saviyasi va o'zlashtirish darajasining Davlat ta'lim standartlariga muvofiqligini ta'minlash uchun quyidagi nazorat turlari o'tkaziladi:

- joriy nazorat (*JN*) – talabaning fan mavzulari bo'yicha bilim va amaliy ko'nikma darajasini aniqlash va baholash usuli. Joriy nazorat fanning xususiyatidan kelib chiqqan holda amaliy mashg'ulotlarda og'zaki so'rov, test o'tkazish, suhbat, nazorat ishi, kollokvium, uy vazifalarini tekshirish va shu kabi boshqa shakillarda o'tkazilishi mumkin;

- oraliq nazorat (*ON*) – semestr davomida o'quv dasturining tegishli (fanlarning bir necha mavzularini o'z ichiga olgan) bo'limi tugallangandan keyin talabaning nazariy bilim va amaliy ko'nikma darajasini aniqlash va baholash usuli. Oraliq nazorat bir semestrda ikki marta o'tkaziladi va shakli (yozma, og'zaki, test va hokazo) o'quv faniga ajratilgan umumiy soatlar hajmidan kelib chiqqan holda belgilanadi;

- *ON* o'tkazish jarayoni kafedra mudiri tomonidan tuzilgan komissiya ishtirokida muntazam ravishda o'rganib boriladi va uni o'tkazish tartiblari buzilgan hollarda, *ON* natijalari bekor qilinishi mumkin. Bunday hollarda *ON* qayta o'tkaziladi.

- yakuniy nazorat (*YaN*) – semestr yakunida muayyan fan bo'yicha nazariy bilim va amaliy ko'nikmalarni talabalar tomonidan o'zlashtirish darajasini baholash usuli. Yakuniy nazorat asosan tayanch tushuncha va iboralarga asoslangan "Yozma ish" shaklida o'tkaziladi.

Oliy ta'lim muassasasi rahbarining buyrug'i bilan ichki nazorat va monitoring bo'limi rahbarligida tuzilgan komissiya ishtirokida *YaN* ni o'tkazish jarayoni muntazam ravishda o'rganib boriladi va uni o'tkazish tartiblari buzilgan hollarda, *YaN* natijalari bekor qilinishi mumkin. Bunday hollarda *YaN* qayta o'tkaziladi.

Talabning bilim saviyasi, ko'nikma va malakalarini nazorat qilishning reyting tizimi asosida talabning fan bo'yicha o'zlashtirish darajasi ballar orqali ifodalanadi.

“Materiallar qarshiligi” fani bo'yicha talabalarning semestr davomidagi o'zlashtirish ko'rsatkichi 100 ballik tizimda baholanadi.

Ushbu 100 ball baholash turlari bo'yicha quyidagicha taqsimlanadi: *YaN-30* ball, qolgan 70 ball esa *JN-40* ball va *ON-30* ball qilib taqsimlanadi.

4.1. Mustaqil ishlarni baholash mezonlari

· Fan bo'yicha saralash bali 55 ballni tashkil etadi. Talabning saralash balidan past bo'lgan o'zlashtirishi reyting daftarchasida qayd etilmaydi.

· Talabalarning o'quv fani bo'yicha mustaqil ishi joriy, orallq va yakuniy nazoratlar jarayonida tegishli topshiriqlarni bajarishi va unga ajratilgan ballardan kelib chiqqan holda baholanadi.

· Talabning fan bo'yicha reytingi quyidagicha aniqlanadi:

$$R = \frac{V \cdot O}{100};$$

bu yerda: *V* – semestrda fanga ajratilgan umumiy o'quv yuklamasi (soatlarda);

O – fan bo'yicha o'zlashtirish darajasi (ballarda).

Ball	Baho	Talabalarning bilim darajasi
86-100	A'lo	Xulosa va qaror qabul qilish. Ijodiy fikrlay olish. Mustaqil mushohada yurita olish. Olgan bilimlarini amalda qo'llay olish. Mohiyatini tushuntirish, bilish, aytib berish. Tasavvurga ega bo'lish.
71-85	Yaxshi	Mustaqil mushohada qilish. Olgan bilimlarini amalda qo'llay olish. Mohiyatini tushuntirish. Bilish, aytib berish. Tasavvurga ega bo'lish.
55-70	Qoniqarli	Mohiyatini tushuntirish. bilish. aytib berish. Tasavvurga ega bo'lish.
0-54	Qoniqarsiz	Aniq tasavvurga ega bo'lmaslik, bilmaslik.

. Fan bo'yicha joriy va oraliq nazoratlarga ajratilgan umumiy ballning 55 foizi saralash ball hisoblanib, ushbu foizdan kam ball to'plagan talaba yakuniy nazoratga kiritilmaydi.

. *JN* va *ON* turlari bo'yicha 55 ball va undan yuqori ballni to'plagan talaba fanni o'zlashtirgan deb hisoblanadi va ushbu fan bo'yicha yakuniy nazoratga kirmasligi mumkin.

. Talabaning semestr davomida fan bo'yicha to'plagan umumiy ballari har bir nazorat turidan belgilangan qoidalarga muvofiq to'plagan ballari yig'indisiga teng.

. *ON* va *YaN* turlari kalendar tematik rejaga muvofiq dekanat tomonidan tuzilgan reyting nazorat jadvallari asosida o'tkaziladi. *YaN* semestrning oxirgi 2 haftasi mobaynida o'tkaziladi.

. *JN* va *ON* nazoratlarda saralash balidan kam ball to'plagan va uzrli sabablarga ko'ra nazoratlarda qatnasha olmagan talabaga qayta topshirish uchun, navbatdagi shu nazorat turigacha, so'nggi joriy va oraliq nazoratlar uchun esa yakuniy nazoratgacha bo'lgan muddat beriladi.

Talabaning semestrda *JN* va *ON* turlari bo'yicha to'plagan ballari ushbu nazorat turlari umumiy balining 55 foizidan kam bo'lsa yoki joriy, oraliq va yakuniy nazorat turlari bo'yicha to'plagan ballari yig'indisi 55 balidan kam bo'lsa, u akademik qarzdor deb hisoblanadi.

. Talaba nazorat natijalaridan norozi bo'lsa, fan bo'yicha nazorat turi natijalari e'lon qilingan vaqtdan boshlab bir kun mobaynida fakultet dekaniga ariza bilan murojaat etishi mumkin. Bunday holda fakultet dekanining taqdimnomasiga ko'ra rektor buyrug'i bilan 3 (uch) a'zodan kam bo'lmagan tarkibda apellyasiya komissiyasi tashkil etiladi.

. Apellyasiya komissiyasi talabalarning arizalarini ko'rib chiqib, shu kunning o'zida xulosasini bildiradi.

■ Baholashning o'rnatilgan talablar asosida belgilangan muddatlarda o'tkazilishi hamda rasmiylashtirilishi fakultet dekani, kafedra muduri, o'quv hamda ichki nazorat va monitoring bo'limi tomonidan nazorat qilinadi.

4.2. Materiallar qarshiligi fanining hajmi va mazmuni

5340200 – Bino va inshootlar qurilishi

№	Mashg'ulot turi	Ajratilgan soat	Semestr
1	Nazariy (leksiya)	72	3 va 4
2	Amaliy mashg'ulot	54	3 va 4
3	Laboratoriya mashg'ulot	18	3 va 4
4	Seminar	-	-
5	Kurs ishi	-	-
6	Mustaqil ish	103	3 va 4
	Jami	247	

4.3. Mustaqil ishlar reyting ballari taqsimoti

Mustaqil ishni aniqlash koeffitsienti mustaqil ishlar soatining fan bo'yicha umumiy soatlariga nisbati kabi aniqlanadi va u quyidagiga teng bo'ladi:

$$K_w = \frac{M}{\mathcal{K}} = \frac{81}{225} = 0,36.$$

Talabanning materiallar qarshiligi fani bo'yicha o'zlashtirish ko'rsatgichlarini aniqlaymiz:

- oraliq nazoratida mustaqil ish ko'rsatgichi:

$$ON_{must.ish} = 30 \cdot 0,36 = 10,8 \approx 10 \text{ ball.}$$

- oraliq nazorat ko'rsatgichi:

$$ON = 30 - 10 = 20 \text{ ball.}$$

- jami oraliq nazorat ko'rsatgichi:

$$J.ON = ON + ON_{must.ish} = 20 + 10 = 30 \text{ ball.}$$

$YaN = 30 - 10 = 20 \text{ ball.}$ - joriy nazoratda mustaqil ish ko'rsatgichi:

$$J.N_{must.ish} = 40 \cdot 0,36 = 14,4 \approx 14 \text{ ball.}$$

- joriy nazorat ko'rsatgichi:

$$J.N = 40 - 14 = 26 \text{ ball.}$$

- jami joriy nazorat ko'rsatgichi:

$$J.N = 26 + 14 = 40 \text{ ball.}$$

Talabalar ON dan to'playdigan ballarning namunaviy mezonlari

№	Ko'rsatkichlar	ON ballari		
		Mak-simal	1-ON	2-ON
1	Darslarga qatnashganlik darajasi. Ma'ruza darslaridagi faolligi, konspekt daftarlarining yuritilishi va to'liqligi.	2	0-1	0-1
2	Talabalarning mustaqil ta'lim topshiriqlarini o'z vaqtida sifatli bajarishi Talabalarning mustaqil ta'lim topshiriqlarini o'zlashtirishi.	4	0-2	0-2
		6	0-3	0-3
3	Og'zaki savol-javoblar, kollokvium va boshqa nazorat turlari natijalari bo'yicha yoki test savollariga javoblar	18	0-9	0-9
Jami ON ballari		30	0-15	0-15

- yakuniy nazoratda mustaqil ish ko'rsatkichi:

$$YaN_{must\ ish} = 30 \cdot 0,36 = 10,8 \approx 10\ ball.$$

- yakuniy nazorat ko'rsatkichi:

- jami yakuniy ko'rsatkichi:

$$J. YaN = 20 + 10 = 30\ ball.$$

2.1. Oraliq baholash test ko'rinishida o'tkazilib, undagi 36 ta savolga javob beradi. Har bir savol 0,25 ballgacha baholanadi.

Talabalar JN dan to'playdigan ballarning namunaviy mezonlari

№	Ko'rsatkichlar	JN ballari		
		Mak-simal	1-JN	2-JN
1	Darslarga qatnashganlik va o'zlashtirish darajasi	2	0-1	0-1
	Mavzular bo'yicha uy vazifalarini bajarishi va o'zlashtirish darajasi	6	0-3	0-3
	Amaliy mashg'ulotlardagi faolligi	2	0-1	0-1
	Amaliy mashg'ulot daftarlarinng yuritilishi va holati	2	0-1	0-1

2	Mustaqil ta'lim topshiriqlarining o'z vaqtida sifatli bajarilish	4	0-2	0-2
	Mustaqil ta'lim topshiriqlarining o'zlashtirish darajasi	10	0-5	0-5
3	Yozma nazorat ishi yoki test savollariga berilgan javoblar	14	0-7	0-7
Jami JN ballari		40	0-20	0-20

2.2. Oraliq nazorat ishining bir qismi sifatida, turli mavzularda tayyorlangan hisoblash grafik ishlari, referat, va ijodiy ishlar, (ma'ruzalar, plakatlar, maketlar, stendlar, elektron versiyalar va xokazolar.) shaklida berilgan mustaqil ishlarining bajarilishi hajmi va sifatiga qarab 1 dan 9 ballgacha berilishi mumkin.

Yakuniy nazorat "Yozma ish" shaklida belgilangan bo'lsa, u holda yakuniy nazorat 30 ballik "Yozma ish" variantlari asosida o'tkaziladi. Agar yakuniy nazorat markazlashgan test asosida tashkil etilgan bo'lib fan bo'yicha va yakuniy nazorat "Yozma ish" shaklida belgilangan bo'lsa, u holda yakuniy nazorat quyidagi jadval asosida amalga oshiriladi.

Yakuniy nazoratda "Yozma ish"larni baholash mezonlari

№	Ko'rsatkichlar	YaN ballari	
		Maksimal	O'zgarish oralig'i
1	Fan bo'yicha yakuniy yozma ish nazorati	20	0-20
2	Mustaqil ish, amaliy topshiriq (masala)	10	0-10
Jami		30	0-30

Yakuniy nazorat "Yozma ish" shaklida amalga oshirilganda, sinov ko'p variantli usulda o'tkaziladi. Har bir variant 4 ta nazariy savol va 1 ta amaliy topshiriqdan iborat. Nazariy savollar fan bo'yicha tayanch so'z va iboralar asosida tuzilgan bo'lib, fanning barcha mavzularini o'z ichiga qamrab olishi kerak.

Har bir nazariy savolga yozilgan javoblar bo'yicha o'zlashtirish ko'rsatkichi 0-5 ball oralig'ida baholanadi. Amaliy topshiriq esa 0-10 ball oralig'ida baholanadi. Talaba maksimal 30 ball to'plashi mumkin.

Yozma sinov bo'yicha umumiy o'zlashtirish ko'rsatkichini aniqlash uchun variantda berilgan savollarning har biri uchun yozilgan

javoblarga qo'yilgan o'zlashtirish ballari qo'shiladi va yig'indi talabning yakuniy nazorat bo'yicha o'zlashtirish bali hisoblanadi.

1.5-§. Talabalarning mustaqil ishlash ko'nikma va malakalarining shakllanganligining to'rt darajasi

I -daraja. Quyi darajaga ega bo'lgan talabalar, ular mustaqil ta'lim olishning ma'naviy va ijtimoiy ko'rsatkichlarini hisobga olish bilan-gina cheklandilar. Mustaqil ta'lim darajalarini baholashda qiyinchilik-larga duch keldilar. Mustaqil ishiash turlaridan namunalar bo'yicha mustaqil ishiar bajarish ko'nikmalarigagina ega bo'ladilar. Mustaqil faoliyat olib borish malakalari materiallarni o'rganishda umumiydan muhimlarini ajratib olish malakasiga ega bo'ladilar. Mustaqil ishlash-ga yetarlicha vaqt ajratmaydilar, berilgan vazifani o'qituvchi topshi-rig'i va kuzatuv asosidagina bajaradilar.

II - daraja. O'rta darajaga ega bo'lgan talabalar – mustaqil ish bajarish uchun lozim bo'ladigan shart – sharoitlar va imkoniyatlardan foydalanishga harakat qilishadi. Formulalarni keltirib chiqarish, beril-gan namunalarga asoslanib mantiqiy yechimlarga kells, rekonstruktiv -variativ mustaqil ishlarni bajara olishadi. Mustaqil faoliyat olib borishda o'qish, yozish, chizish, sxemalar tuzish jarayonlariga ijodiy yondasha olish mahoratiga ega bo'ladilar. Mustaqil ishni bajarishga muntazam kirishib ketaoladilar.

III - daraja. Yaxshi (ya'ni etarli) darajaga ega bo'lgan talabalar, mukammal bilimga ega bo'lish uchun mustaqil ta'lim bilan shug'ul-lanish lozimligini anglab etadilar. Texnik – uslubiy muammolarni yechishda ijodkorlik darajalari yetarli. Evristik turdagi mustaqil ish-larni bajara oladi. Axborotni ahamiyatiga ko'ra tabaqalashtirishadi. Mustaqil ta'lim olishni o'quv mashg'ulotlarida va mashg'ulotdan tashqari vaqtlarda samarali tashkil qila oladilar hamda ushbu darajada mustaqil ta'lim bilan muntazam shug'ullanadilar.

IV - daraja. Yuqori darajaga ega bo'lgan talabalar, ular mustaqil ta'lim olish metodlari, vositalari haqida to'liq ma'lumotga ega, olin-gan ma'lumotlarni tahlil qila oladilar. Yangiliklar, ixtirolar yaratishga, ijodiy tadqiqot ishiari va tanqidiy sintez amallarini bajara oladilar. Ushbu talabalar mustaqil ta'lim bilan muntazam shug'ullangan holda, mustaqil ta'lim olishining yanada samarali yo'llarini o'zlashtirishga ishtiyoqmand bo'ladilar.

1.6-§. Talabalar mustaqil ta'limning mazmuni va hajmi

T/R	Mustaqil ta'lim mavzulari	Berilgan topshiriqlar	Bajarilish muddat.	Hajmi (soatda)	
				Barcha	B va IQ, QMB
1	Yangi materiallarning mexanik xususiyatlarini tajribada o'rganish. Mexanik xususiyatlarga turli omillarning (harorat, radioaktiv nurlanish, namlik va h.k.) ta'siri	Adabiyotlardan konspekt qilish. Masalalar yechish Individual topshiriqlarni bajarish	3-4-haftalar	4	4
2	Sterjenlarni mustahkamlikka tekshirishda xavfli yuklar, chegara viy holatlar usuli	Adabiyotlardan konspekt qilish. Masalalar yechish Individual topshiriqlarni bajarish	5-6-haftalar	4	4
3	Deformatsiyalanuvchi jism nuqtalaridagi umumlashgan hajmiy kuchlanish holati. Guk qonunlari. Guk qonuni teskari ifodasi	Adabiyotlardan konspekt qilish. Masalalar yechish Individual topshiriqlarni bajarish	7-, 8-haftalar	4	4
4	Bosh kuchlanishlar, ekstremal urinma kuchlanishlar va oktaedrik kuchlanishlar	Adabiyotlardan konspekt qilish. Masalalar yechish Individual topshiriqlarni bajarish	9-,10-haftalar	8	8
5	Bosh deformatsiyalar, nuqtadagi kuchlanganlik va deformatsiyalangan holatlarning o'xshashligi.	Adabiyotlardan konspekt qilish. Masalalar yechish Individual topshiriqlarni bajarish	11-,12-haftalar	4	4

6	Buralish defoformatsiyasi. To'g'ri tartibdagi sterjenlarning buralishi. Yupqa devor sterjenlarning erkin va erkin bo'lmagan buralishi. Buralishda kuchlanganlik va deformatsiya holatlarining ahlili	Adabiyotlardan konspekt qilish. Masalalar yechish Individual topshiriqlarni bajarish	13-,14-haftalar	8	8
7	Egilish deformatsiyasi. Qo'shma balkalarni mustahkamlikka hisoblash. Cho'zilish va siqilishda elastiklik modul-lari turli bo'lgan balkalar hisobi. Teng qarshilik ko'rsatuvchi balkalar yaxlit elastik zaminda yotuvchi balkalarni hisoblash	Adabiyotlardan konspekt qilish. Masalalar yechish Individual topshiriqlarni bajarish	15-,16-haftalar	8	8
8	Egilgan o'qning differensial tenglamasi. Yaxlit elastik zaminda yotuvchi qisqa balkalar hisobi. Boshlang'ich parametrlar quli	Adabiyotlardan konspekt qilish. Masalalar yechish Individual topshiriqlarni bajarish	17-,18-haftalar	8	8
9	Egri bruslar hisobi. Egri brusning cho'zilishi va siqilishi, sof egilishi. Egri bruslarni mustahkamlikka tekshirish	Adabiyotlardan konspekt qilish. Masalalar yechish Individual topshiriqlarni bajarish	1-5-haftalar	4	4

10	<p>Sterjen bo'ylama egilishi. O'zgaruvchan kesimli sterjenlarning ustivorlik masalasi. Tarqalgan kuchlar ta'siridagi sterjenlarni ustivorlikka hisoblash. Sterjenlarning bo'ylama - ko'ndalang egilishi.</p>	<p>Adabiyotlardan konspekt qilish. Masalalar yechish Individual topshiriqlarni bajarish</p>	6-10- haftalar	8	8
11	<p>Vaqt bo'yicha davriy o'zgaruvchan kuchlanishlarda materiallar mustahkamligi. To'liq-yemirilish va uning sabablari. Kuchlanishlar sikllarining turlari</p>	<p>Adabiyotlardan konspekt qilish. Masalalar yechish Individual topshiriqlarni bajarish</p>	1-14-haftalar	8	8
12	<p>Chldamlilik chegarasi haqida tushuncha va chegaraga ta'sir etuvchi omillar. O'zgaruvchan kuchlanishlarda mustahkamlikka oid hisoblar</p>	<p>Adabiyotlardan konspekt qilish. Masalalar yechish Individual topshiriqlarni bajarish</p>	15-,16-haftalar	5	5
13	<p>Yupqa devorli idishlarni hisoblash. Yupqa devorli idishlar hisobida momentsiz nazariya asosida sferik va silindrik idishlarni hisoblash. Silindrik qobiqda chegaraviy effekt</p>	<p>Adabiyotlardan konspekt qilish. Masalalar yechish Individual topshiriqlarni bajarish</p>	17-,18-haftalar	8	8
Jami:				81	81

II BOB

CHO'ZILISH VA SIQILISHDA STERJENLARNI MUSTAHKAMLIKKA HISOBLASH

Konstruksiya elementlarini kesimi, uning ishlash davrining boshidan to oxirigacha yemirilmasligi va materialning iqtisodiy tejimli bo'lish talabini e'tiborga olgan bir vaqtda katta deformatsiya hosil bo'lmasligini to'liq taminlash kerak.

Ko'ndalang kesimning zarur o'lchamlari konstruksiya elementini mustahkamlikka, bikirlikka va ustivorlikka hisoblash natijasida aniqlanadi.

Mustahkamlikka hisoblashda quyidagi talab bajarilishi lozim: konstruksiya elementlarida hosil bo'ladigan eng katta kuchlanish (normal, urinma yoki ularning kombinatsiyalari) material uchun berilgan ruxsat etilgan kuchlanish qiymatidan ortib ketmasligi shart.

Konstruksiya elementlarini mustahkamlikka hisoblashning quyidagi uch xil usuli mavjud:

- I. Ruxsat etilgan kuchlanish usuli;
- II. Chegaraviy holatlar usuli;
- III. Xavfli yuklar usuli.

Bu paragrafda konstruksiya elementlarini mustahkamlikka hisoblash usulini qisqacha ko'rib chiqamiz.

Konstruksiya elementlarini bikirlikka va ustivorlikka hisoblash usullarini keyingi boblarda qaraymiz.

2.1-§. Ruxsat etilgan kuchlanish usuli

Konstruksiya elementlarining xavfli ko'ndalang kesimlarida hosil bo'ladigan normal kuchlanish qiymati, uning materiali uchun berilgan ruxsat etilgan kuchlanishdan ortib ketmasa, bunday konstruksiya elementlarining mustahkamligi ta'minlangan hisoblanadi.

Konstruksiya elementlarining uzoq ishlash davrida yemirilmasligini ta'minlaydigan eng katta kuchlanishga *ruxsat etilgan kuchlanish* deb ataladi. Ruxsat etilgan normal kuchlanish $[\sigma]$ kabi belgilanadi. Sterjen materiali cho'zilish va siqilishga turlicha qarshilik ko'rsatsa, ruxsat etilgan normal kuchlanish cho'zilishda $[\sigma_{ch}]$ va siqilishda $[\sigma_s]$

kabi belgilanadi 2.1-jadvalda turli materiallar uchun ruxsat etilgan kuchlanishlar qiymatlari berilgan [21,63-bet].

Materiallarning mustahkamlik chegarasi

2.1-jadval

Materiallarning nomi	Oquvchanlik chegarasi $\sigma_{oq.ch}$ MPa	Mustahkamlik chegarasi MPa	
		Cho'zilishda $\sigma_{ch.m}$	Siqilishda $\sigma_{s.m}$
Prokat po'lat rusumlari			
BCt3kp	185-235	360-365	
BCt3ps	235-275	370-400	
BCt3sp	235-270	370-400	
09g2 Margensli	235-270	430-500	
10XSND Xromkremli	390	530	
12u2SMF ligertalangan termik puxtalangan	590	685	
Titanli VT4	550-650	700-850	
Chugun seriy SCH	-	120-800	500-1500
Granit	-	3	120-260
G'isht	-	0,7-3,0	7-30
Beton	-	0,4-2,6	2,8-43,8
Sosna el:	-		
Tolalari bo'ylab	-	80	40
Tolalariga ko'ndalang	-	-	5
Tekistolit	-	100	250
Orgsteklo CT-1	-	78	120
Sterloplastik CBAM 1:1	-	480-500	420

Plastik materiallardan tayyorlangan konstruktsiya elementlar xavf xatarsiz ishlashini taminlovchi ruxsat etilgan kuchlanish quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{oq.ch}}{n_{oq.ch}}. \quad (2.1)$$

Bunda, $\sigma_{oq.ch}$ materialning oquvchanlik chegarasi; $n_{oq.ch}$ oquvchanlik chegarasidagi mustahkamlikning ehtiyot koeffitsienti bo'lib, qiymati $1,5 \div 2,5$ ga teng.

Mo'rt matariallardan tayyorlangan konstruksiya elementlari xavf xatarsiz ishlashini taminlovchi ruxsat etilgan kuchlanish quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{m.ch}}{n_{m.ch}}. \quad (2.2)$$

Bunda $\sigma_{m.ch}$ materialning mustahkamlik chegarasi; $n_{m.ch}$ mustahkamlik chegarasidagi mustahkamlikning ehtiyot koeffitsienti bo'lib, qiymati $2,5 \div 5,0$ ga teng

Yog'och materiallari uchun esa mustahkamlikning ehtiyot koeffitsienti 3 dan 8 gacha oraliqda tanlanadi.

Cho'zilishga va siqilishga ishlovchi konstruksiya elementlarining mustahkamlik shartlari, ruxsat etilgan kuchlanishlar bo'yicha quyidagicha ifodalanadi:

$$\sigma_{ch} = \frac{N_{ch}}{A} \leq [\sigma_{ch}] \quad \text{va} \quad \sigma_s = \frac{N_s}{A} \leq [\sigma_s]. \quad (2.3)$$

Sterjenning eng katta kuchlanish hosil bo'lgan kesimiga xavfli kesim deb ataladi.

Umumiy holda cho'zilgan va siqilgan sterjenlarning mustahkamlik sharti quyidagi ko'rinishda ifodalanadi:

$$\sigma_{\max} = \frac{N_{\max}}{A_{\text{netto}}} \leq [\sigma]. \quad (2.4)$$

Bunda A_{netto} ko'ndalang kesim yuzadan teshik kertik yuzalarni chiqarib tashalagandan keyingi yuza.

Ushbu (2.4) ifodadan foydalanib, sterjen uchun aniqlamishi lozim bo'lgan xarakteristikalariga qarab quyidagi uch turdagi masalani yechish mumkin:

1. Sterjenni mustahkalikka tekshirish.

Bunda quyida keltirilgan formula yordamida sterjen mustahkamligi ta'minlanadi:

$$\sigma_{\max} \leq [\sigma]. \quad (2.5)$$

Sterjenni cho‘zuvchi (siquvchi) kuchlar va uning ko‘ndalang kesim o‘lchamlari berilgan bo‘lsa, unda xavfli kesimdagi maksimal normal kuchlanishni aniqlab, uni berilgan ruxsat etilgan kuchlanish bilan taqqoslaymiz. Taqqoslash natijasi orasidagi farq $\pm 5\%$ dan ortmasligi lozim. Agar kuchlanish orasidagi farq $+5\%$ katta bo‘lsa, unda sterjen ortiqcha kuchlanishga qarshilik ko‘rsatib, xavfli holatda bo‘ladi. Agar kuchlanish orasidagi farq -5% kichik bo‘lsa, unda sterjen materialidan to‘liq foydalanilmagan bo‘ladi.

2. Sterjen ko‘ndalang kesim o‘lchamlarini aniqlash.

Agar sterjenga ta‘sir etuvchi kuchlar va uning materiali ma‘lum bo‘lsa, unda sterjenning xavfsiz ko‘ndalang kesim o‘lchamlari quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$A_{netto} \geq \frac{N_{max}}{[\sigma]}. \quad (2.6)$$

3. Sterjen ko‘tara oladigan eng katta kuchni aniqlash.

Agar sterjenning ko‘ndalang kesimi o‘lchamlari va uning materiali berilgan bo‘lsa, sterjen ko‘tara oladigan eng katta kuch quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$N_{max} \leq A_{netto}[\sigma]. \quad (2.7)$$

Ruxsat etilgan kuchlanish xavfli kuchlanishdan bir necha marta kichik bo‘lishi lozim.

2.2-§. Chegaraviy holat usuli

Bu chegaraviy holat usuli konstruksiyalarga ta‘sir etuvchi turli omillarning ta‘sirini to‘la hisobga oladi.

Konstruksiyaning chegaraviy holati deb – uni normal ekspulatsiya qilib bo‘lmaydigan holatiga aytiladi.

Qurilish me‘yorlari va qoidalarida (QMQ) chegaraviy holat uchta guruhga bo‘lingan.

Birinchi guruh chegaraviy holati konstruksiyaning yuk ko‘tarish qobiliyatini – mustahkamlik yoki ustuvorligini yo‘qotishi bilan aniqlanadi.

Ikkinchi guruh chegaraviy holati konstruksiya juda ham katta deformatsiya hosil qilishi yoki tebranishi bilan aniqlanadi.

Uchinchi guruh chegaraviy holati konstruksiyada yoriqlarning paydo bo‘lib rivojlanishi va boshqa darzlar hosil bo‘lish bilan aniqlanadi.

Bu mavzuda konstruksiyaning birinchi tur chegaraviy holati bo'yicha mustahkamlikka hisoblashni ko'rib chiqamiz.

Konstruksiyalarni ruxsat etilgan normal kuchlanish bo'yicha mustahkamlikka hisoblashda bitta umumiy ehtiyotlik koeffitsienti kiritiladi. Birinchi guruh chegaraviy holati bo'yicha konstruksiyani mustahkamlikka hisoblashda moilroq yondoshuv bilan zaruriy ehtiyotlik mustahkamligini ta'minlash bilan farq qiladi. Bunda bitta ehtiyotlik koeffitsienti o'rniga bir nechta koeffitsientlar kiritiladi.

Mustahkamlikni ta'minlashda hisobiy yuk miqdori quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$F_h = F_n \cdot \gamma_f. \quad (2.8)$$

Yuklanishda QMQ da keltirilgan, me'yoriy F_n yuk miqdoriga nisbatan yukning ortishini hisobga oluvchi ishonchlilik γ_f koeffitsient.

Bu ifodadagi ehtiyotlik koeffitsienti doimiy yuklar uchun $\gamma_f = 1,05 \div 1,3$ Vaqtincha yuklar uchun $\gamma_f = 1,05 \div 1,4$. Misol uchun qor va shamol uchun $\gamma_f = 1,4$.

Konstruksiya materialining namunada o'tkazilgan tajriba natijalariga nisbatan, me'yoriy R_n qarshiligining mumkin bo'lgan kamayishini hisobga oluvchi, material bo'yicha ishonchlilik γ_m koeffitsient kiritilgan. Plastik materiallar uchun normativ qarshilik sifatida $R_n = \sigma_{oq}$ oquvchanlik chegarasi, mo'rt materiallar uchun mustahkamlik $R_n = \sigma_m$ chegarasi qabul qilinadi. Po'lat konstruksiyalar uchun material bo'yicha ehtiyotlik koeffitsienti $\gamma_f = 1,025 \div 1,15$ oralig'dagi qiymatlarni qabul qiladi.

Materialning hisobiy qarshiligi deb ataluvchi miqdor quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$R = \frac{R_n}{\gamma_m}. \quad (2.9)$$

Qurilish po'lati uchun materialning hisobiy qarshiligi quyidagicha aniqlanadi:

$$R = \frac{\sigma_{oq}}{\gamma_m}. \quad (2.10)$$

va u oquvchanlik chegarasi bo'yicha materialning hisobiy qarshiligi deb yuritiladi. Bazi bir materiallarning hisobiy qarshiligi 2.3-jadvalda

keltirilgan. Bu haqdagi ma'lumotlarni kengroq QMQ dan olish mumkin.

Konstruksiyalarni mustahkamlikka hisoblashda ularning ish sharoitini e'tiborga oluvchi koeffitsient $\gamma_{i.sh}$ ham kiritiladi. Bu koeffitsient $\gamma_{i.sh} = 0,75 \div 1,0$ qiymatlar oralig'ida o'zgaradi.

Mustahkamlikka hisoblashda birinchi chegaraviy holat quyidagi talabga keltiradi, ya'ni eng katta cho'zuvchi $\sigma_{ch.max}$ kuchlanish va eng katta siquvchi $\sigma_{s.max}$ kuchlanishning absolyut qiymati hisob yuk miqdori, cho'zilishdagi R_{ch} va siqilishdagi R_s hisobiy qarshiliklarning ish sharoitiga ko'paytmasi miqdoridan ortib ketmasligi lozim:

$$\sigma_{ch.max} \leq \gamma_{i.ch} \cdot R_{ch}; \quad \sigma_s \leq \gamma_{i.sh} \cdot R_s. \quad (2.11)$$

Hisobiy qarshiliklar

2.3-jadval

Materiallar nomi	Hisobiy qarshilik MPa		
	Cho'zilish R_{ch}	Siqilish R_s	Siljish R_{sil}
Prokat po'lat markalari:			
VSt3kp	175-230		100-140
VSt3ps, VSt3sp	230-280		140-170
09G2(margansovistaya)	290-360		180-215
10xSMD (xromokremnenikelevaya)	355		210
12G2SMF(legirlangan termik ishlov berilgan)	515		310
Alyuminiy qotishmasi	125-200		75-120
Kulrang cho'yan	95-100	160-250	40-75
Beton	0,26-1,68	2,13-33,6	-
Sosna el:			
tolalari bo'yicha egilishda	10	13	2,4
	13	13	2,4

Agar material cho'zilish va siqilishga bir xil qarshilik ko'rsatsa, unda mustahkamlikka tekshirish absolyut qiymati bo'yicha eng katta normal kuchlanish bo'yicha hisoblaniladi:

$$\sigma_{\max} \leq \gamma_{i.ch} \cdot R \quad (2.12)$$

Urinma kuchlanish bo'yicha mustahkamlik sharti quyidagicha yoziladi:

$$\tau \leq \gamma_{i.ch} \cdot R_{sil}. \quad (2.13)$$

Bunda R_{sil} siljishdagi hisobiy qarshilik bo'lib plastik materiallar uchun $R_{sil} \approx 0,6R$ teng.

Markaziy cho'zilish yoki siqilishda sterjenning xavfli kesimida quyidagi mustahkamlik shartlari (2.11-2.13) shartlar kabi bajarilishi lozim:

$$\sigma_{ch} = \frac{N_{ch}}{A} \leq \gamma_{i.ch} \cdot R_{ch}. \quad (2.14)$$

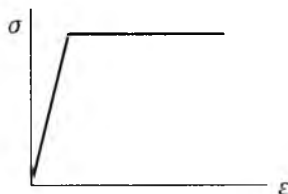
$$\sigma_s = \frac{N_s}{A} \leq \gamma_{i.ch} \cdot R_s. \quad (2.15)$$

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq \gamma_{i.ch} \cdot R. \quad (2.16)$$

Bu formulardagi bo'ylama kuchiar absolyut qiymatlari bilan olinadi.

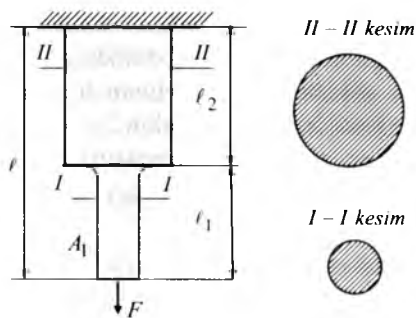
2.3-§. Xavfli yuk usuli

Prandtl diagrammasiga (2.1-chizma) bo'ysinuvchi materialdan yasalgan konstruksiya uchun xavfli yuk sifatida uning elementlarida plastik deformatsiya yetarlicha katta bo'lgan yuk qabul qilinadi. Bunda konstruksiya yukni yana ortishini qabul qilish qobiliyati yo'qoladi [27,139-bet].



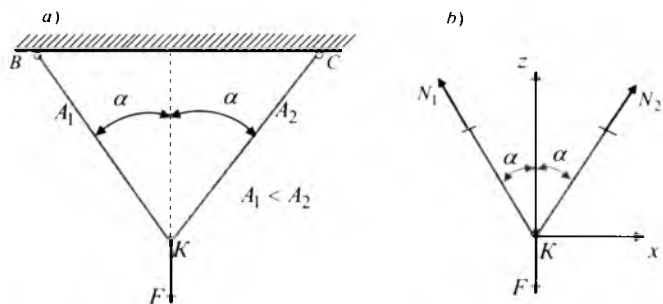
2.1-chizma, Prandtl diagrammasi.

Masalan 2.2-chizmada keltirilgan o'zgarimas kesimli pog'onali sterjen plastik materialdan tayyorlangan bo'lsa xavfli yuk $F_{xavf} = q_{oq} \cdot A_1$ mo'rt materialdan yasalgan bo'lsa xavfli yuk $F_{xavf} = \sigma_m \cdot A_1$ sifatida qabul qilish lozim.



2.2-chizma. Pog'onali sterjen.

Statik aniq sterjenlar sistemasida tashqi kuch ta'siridan hosil bo'lgan zo'riqish C tugun uchun tuzilgan statika muvozanat tenglamalaridan aniqlanadi 2.3-chizma.



2.3-chizma. Sterjenlar sistemasi.

$$\sum Z = 0; \quad N_1 \cos \alpha + N_2 \cos \alpha - F = 0;$$

$$\sum X = 0; \quad -N_1 \sin \alpha + N_2 \sin \alpha = 0. \quad (2.17)$$

Bu tenglamalardan
$$N_1 = N_2 = \frac{F}{2 \cos \alpha}. \quad (2.18)$$

Plastik material uchun xavfli yuk, ko'ndalang kesim yuzasi kichik bo'lgan BK sterjenda hosil bo'lgan kuchlanish σ_{oq} ga teng. Unda xavfli yuk quyidagiga teng bo'ladi:

$$F_{xavf} = 2\sigma_{oq} \cdot A_1 \quad (2.19)$$

Mo'rt materiallar uchun kuchlanish σ_m ga teng bo'lgandagi yuk qabul qilinadi. Unda xavfli yuk quyidagiga teng bo'ladi:

$$F_{xavf} = 2\sigma_m A_1. \quad (2.20)$$

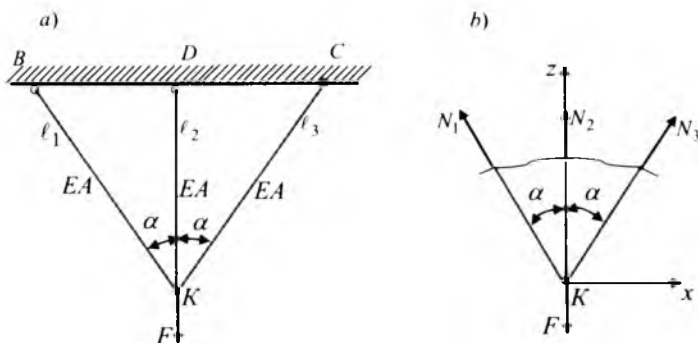
Tajribalarning ko'rsatishicha statik aniqlanmas sterjenlar materiali Prandtl diagramasiga bo'ysinuvchi sistemasiga ta'sir etuvchi sirtqi kuchning sekin-asta ortishi bilan kuchlanish quyidagi uch xil kuchlanlik holatida hosil bo'lishi mumkin 2.4.-chizma:

1. Statik aniqlanmas sterjenlar sistemasida oquvchanlik chegarasiga teng bo'lgan kuchlanish avval o'rtadagi sterjenlarda paydo bo'ladi

$$N_{2oq} = \sigma_{oq} \cdot A;$$

2. Statik aniqlanmas sterjenlar sistemasida oquvchanlik chegarasiga teng bo'lgan kuchlanish avval chetki sterjenlarda paydo bo'ladi;

3. Statik aniqlanmas sterjenlar sistemasida oquvchanlik chegarasiga teng bo'lgan kuchlanish barcha sterjenlarda hosil bo'ladi.



2.4-chizma. Statik aniqlanmas sterjenlar sistemasi.

Birinchi ikki holatda konstruksiya ishdan chiqmaydi, chunki o'rtadagi sterjenda kuchlanish oquvchanlik chegarasiga teng bo'lganda chetki sterjenlarda kuchlanish oquvchanlik chegarasiga etmaydi va teskarisi.

Uchinchi holatda barcha sterjenlarda kuchlanish oquvchanlik chegarasiga teng bo'lganda konstruksiya to'la yemiriladi, barcha sterjenlardagi kuchlar teng bo'ladi $N_{1oq} = N_{2oq} = N_{3oq} = \sigma_{oq} A$ Bunda xavfli yuk statikaning muvozanat shartidan aniqlanadi:

$$\sum Z = 0: N_{2oq} + (N_{1oq} + N_{3oq}) \cos \alpha - F_{xavf} = 0; \quad (2.21)$$

$$F_{xavf} = A \sigma_{oq} (1 + 2 \cos \alpha).$$

Agar qaralayotgan sistema, mo'rt materialdan yasalgan bo'lsa, unda xavfli yuk o'rtadagi sterjenda hosil bo'lgan kuchlanish σ_m mustahkamlik chegarasiga etgan holatiga to'g'ri keladi.

Xavfli yuk miqdorini aniqlab, sterjenlar va sterjenlar sistemalari yuk ko'tarish qobiliyatini quyidagi formul bilan o'rnatish mumkin:

$$[F] = \frac{F_{xavf}}{n}. \quad (2.22)$$

Bunda $[F]$ ruxsat etilgan kuch; n – mustahkamlik ehtiyotlik koef-fitsienti.

2.4-§. Mustaqil ish topshiriqlari

1-topshiriq. Berilgan variant bo'yicha 2.5-chizmalarda keltirilgan statik aniqmas sterjenlar sistemasi sxemasi, 2.3-jadvaldan ma'lumotlar olinib tashqi kuch ta'siridan quyidagilarni aniqlash talab etiladi:

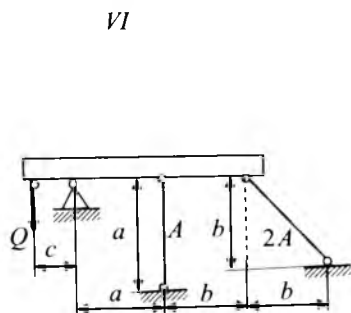
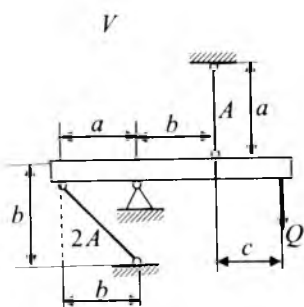
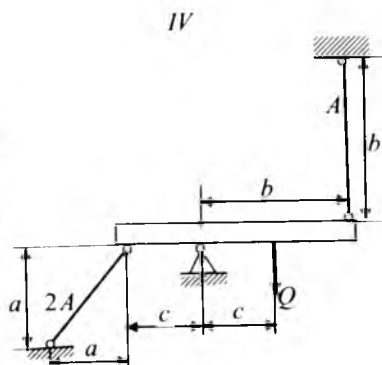
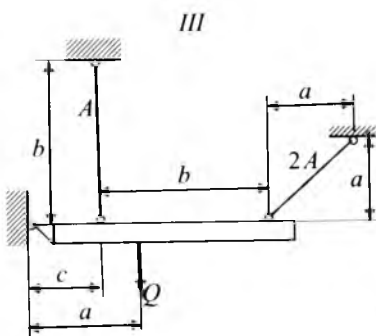
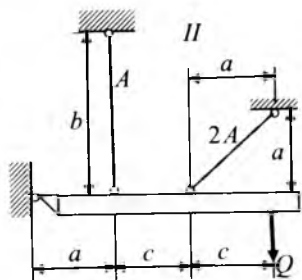
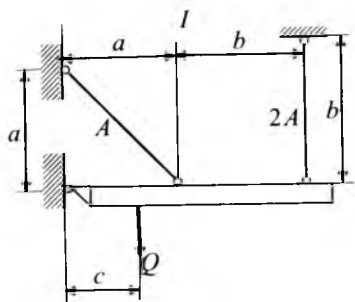
1) sterjenlarda hosil bo'lgan zo'riqish kuchlari va kuchlanishlar Q orqali aniqlansin;

2) ruxsat etilgan Q_{rux} kuch aniqlansin, har ikkala sterjenlarda hosil bo'lgan eng katta kuchlanish $[\sigma] = 16000 \text{ N/sm}^2$;

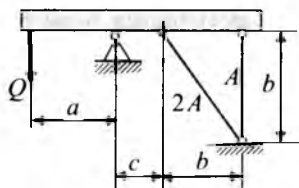
3) sistema ko'tara oladigan chegaraviy yuk aniqlansin, oquvchanlik chegarasi $\sigma_{oq} = 240 \text{ MPa}$ va ehtiyotlik koeffitsienti $k = 1,5$.

2.3 -jadval.

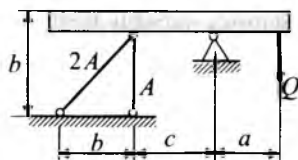
T/r	Chizma №	A, sm ²	a	b	c	N, kN	10 ⁵ β
			m				
1	I	11	2,1	2,1	1,1	110	5
2	II	12	2,2	2,2	1,2	120	4
3	III	13	2,3	2,3	1,3	130	3
4	IV	14	2,4	2,4	1,4	140	2
5	V	15	2,5	2,5	1,5	150	1
6	VI	16	2,6	2,6	1,6	110	5
7	VII	17	2,7	2,7	1,7	120	4
8	VIII	18	2,8	2,8	1,8	130	3
9	IX	19	2,9	2,9	1,9	140	2
0	X	20	3,0	3,0	2,0	200	1
	g	d	e	g	d	e	g



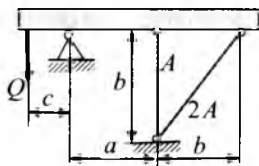
VII



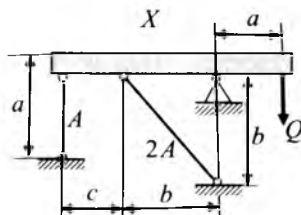
VIII



IX



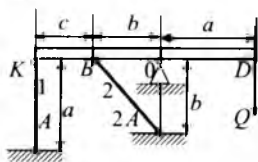
X



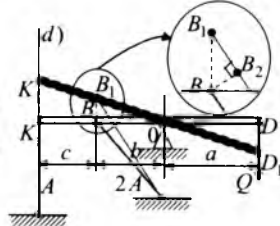
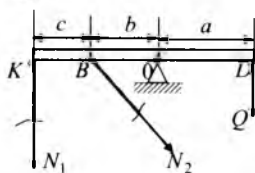
2.5-chizma. Sterjenli konstruksiyalar.

1-Masala. Berilganlar: konstruksiya sxemasi X
 $a = 3\text{m}$; $b = 2,2\text{m}$; $c = 2\text{m}$; $A = 12\text{sm}^2$.

a)



b)



2.6-chizma. Sterjenlar sistemasidan tuzilgan konstruksiya sxemasi.

Yechish.

1. Agar konstruksiyada vertikal sterjenni birinchi, burchak ostidagi sterjenni ikkinchi deb belgilasak chizmadagi o'lchamlarni quyidagicha belgilab olish mumkin: $\ell_1 = a$; $\ell_2 = b\sqrt{2}$; $A_1 = A$; $A_2 = 2A$; $\cos 45^\circ = \frac{\sqrt{2}}{2}$.

a) Masalaning statik tomonini qaraymiz. Kesish usulidan foydalanamiz, ya'ni konstruksiyaning tayamib turgan birinchi va ikkinchi sterjenlarni fikran biror tekisliklar yordamida kesamiz va tayanch tomonini tashlab yuborib, uning qaralayotgan qismiga ta'sirini N_1 , N_2

zo'riqish kuchlari bilan almashtiramiz. Masalaning sharti bo'yicha 0 tayanchda hosil bo'ladigan reaksiya kuchlarini topish zaruriyati bo'lmaganligi sababli birinchi va ikkinchi sterjenlarda hosil bo'ladigan zo'riqish kuchlarining yo'nalishlari 2.6,*b*-chizmada ko'rsatilgan. Bu zo'riqish kuchlarini aniqlash uchun barcha kuchlardan 0 nuqtaga nisbatan olingan momentlarning algebraik yig'indisini nolga tenglaymiz:

$$-(b+c) \cdot N_1 - N_2 b \cos 45^0 + aQ = 0. \quad (a)$$

Bu tenglamada ikkita noma'lum bo'lgani uchun masala bir marta statik aniqmas. Demak bitta qo'shimcha tenglama tuzish lozim bo'ladi.

b) Masalaning geometrik tomonini qaraymiz. Sirtqi kuch Q ta'sirida, har ikkala sterjenlar cho'zilib K nuqta K_1 nuqtaga, B nuqta B_1 nuqtaga ko'chadi. Konstruksiyaning deformatsiyalanish chizmasi 2.6,*d*-chizmada keltirilgan, undan ΔOKK_1 va ΔBB_1 uchburchaklarning o'xshashligi tufayli quyidagi nisbatni yozish mumkin:

$$\frac{KK_1}{OK} = \frac{BB_1}{OB}.$$

Bunda $KK_1 = \Delta \ell_1$; $B_1B_2 = \Delta \ell_2$; $OK = (c+b)$; $OB = b$.

Uchburchak ΔBB_1B_2 dan quyidagini yozish mumkin:

$$\frac{B_1B_2}{BB_1} = \cos 45^0; \quad BB_1 = \frac{\Delta \ell_2}{\cos 45}$$

Unda yuqorida keltirilgan nisbat quyidagicha ifodalanadi:

$$\frac{\Delta \ell_2}{b \cos 45^0} = \frac{\Delta \ell_1}{(c+b)}; \quad \Delta \ell_2 = \frac{b \cos 45^0}{(c+b)} \Delta \ell_1$$

d) Masalaning fizik tomonini qaraymiz, ya'ni absolyut bo'ylama deformatsiyalarni R . Guk qonunidan foydalanib zo'riqish kuchlari orqali ifodalaymiz:.

$$\Delta \ell_1 = \frac{N_1 \ell_1}{EA_1}; \quad \Delta \ell_2 = \frac{N_2 \ell_2}{EA_2}.$$

Qo'shimcha tenglama quyidagi ko'rinishga keladi.

$$\frac{N_2 \ell_2}{E \cdot A_2} = \frac{b \cos 45^0}{(c+b)} \frac{N_1 \ell_1}{E \cdot A_1}; \quad \frac{N_2 b \sqrt{2}}{E \cdot 2A} = \frac{b \sqrt{2}}{(c+b)} \frac{N_1 a}{E \cdot A};$$

Bundan

$$N_1 = \frac{c+b}{a} N_2 = \frac{2+2,2}{3} N_2 = 1,4 N_2.$$

e) Sintez. Hosil qilingan bu tenglama bilan muvozanat tenglamalarini birgalikda yechib noma'lum zo'riqish kuchlarini topamiz.

$$-(c+b) \cdot \left(\frac{c+b}{a} \right) \cdot N_2 - \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot b \cdot N_2 + a \cdot Q = 0.$$

Bundan

$$N_2 = \frac{1}{2,477} Q = 0,404Q; \quad N_1 = 0,565Q.$$

Sterjenlarda hosil bo'lgan kuchlanishlarni Q kuch orqali ifodalaymiz:

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{A_1} = \frac{0,565Q}{12 \cdot 10^{-4}} = 47,08Q \text{ kN/m}^2; \quad \sigma_2 = \frac{N_2}{A_2} = \frac{0,404Q}{2 \cdot 12 \cdot 10^{-4}} = 16,83Q \text{ kN/m}^2.$$

2. Har ikkala sterjenlarda hosil bo'lgan eng katta kuchlanishdan foydalanib, ruxsat etilgan Q_{rux} kuchni aniqlaymiz. Buning uchun sterjenlar ko'ndalang kesimida hosil bo'lgan eng katta normal kuchlanishni berilgan ruxsat etilgan $[\sigma] = 16000 \text{ N/sm}^2$ kuchlanish orasidagi munasabatdan:

$$\sigma_1 \leq [\sigma]; \quad 47,08 \text{ kN/m}^2 Q \leq 16 \cdot 10^4; \quad Q_{rux1} = \frac{16 \cdot 10^4}{47,08} = 440 \text{ kN}.$$

3. Birinchi sterjenda hosil bo'lgan kuchlanish katta bo'lganligi sababli, unda hosil bo'lgan kuchlanish ikkinchi sterjendagi kuchlanishga nisbatan oldinroq oquvchanlik $\sigma_{oq} = 24000 \text{ N/sm}^2$ chegarasiga tenglashadi. Birinchi sterjenda kuchlanish oquvchanlik $\sigma_{oq} = 24000 \text{ N/sm}^2$ chegarasiga tenglashganda yuk ortsa ham biroq vaqt kuchlanish ortmaydi, unda ikkinchi sterjendagi kuchlanish ham oquvchanlik $\sigma_{oq} = 24000 \text{ N/sm}^2$ chegarasiga tenglashadi. Unda

$$N_1 = \sigma_{oq} \cdot A_1 = \sigma_{oq} \cdot A; \quad N_2 = \sigma_{oq} \cdot A_2 = \sigma_{oq} \cdot 2A.$$

Bu zo'riqish kuchlarini yuqoridagi muvozanat tenglamaga qo'y-sak, u quyidagi ko'rinishga keladi:

$$-(c+b) \cdot \left(\frac{c+b}{a} \right) \cdot \sigma_{oq} \cdot A - \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot b \cdot \sigma_{oq} \cdot 2A + a \cdot Q_{oq} = 0.$$

$$Q_{oq} = \frac{(c+b) \cdot \left(\frac{c+b}{a}\right) \cdot \sigma_{oq} \cdot A + \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot b \cdot \sigma_{oq} \cdot 2A}{a} =$$

$$= \frac{17,64 + 9,03}{9} \cdot \sigma_{oq} \cdot A = 862,272 \text{ kN.}$$

Chegaraviy kuchni quyidagi formuladan aniqlaymiz:

$$Q_{cheg} = \frac{Q_{oq}}{K} = \frac{862,272}{1,5} = 574,848 \text{ kN.}$$

4. Har ikkala usulda aniqlangan kuchlarni taqqoslaymiz:

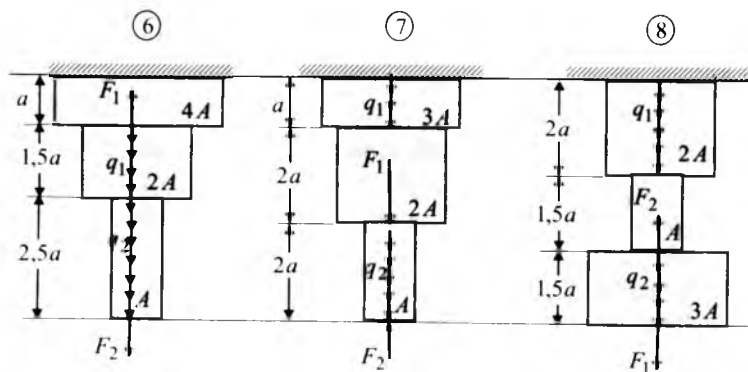
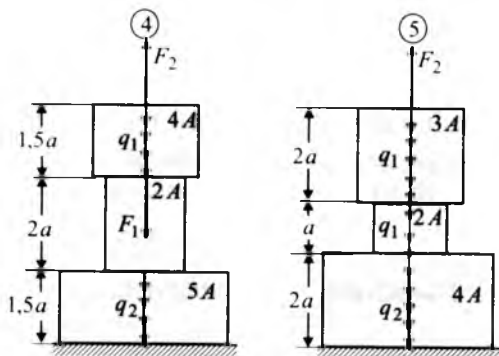
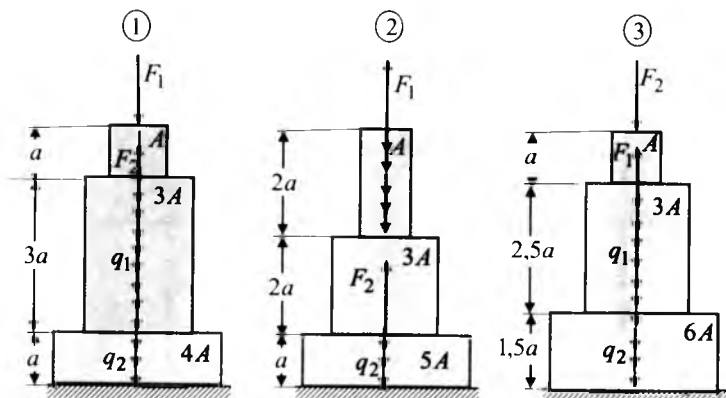
$$= \frac{Q_{cheg} - Q_{oq}}{Q_{oq}} \cdot 100\% = \frac{574,848 - 404}{574,848} \cdot 100\% = 29,72\%.$$

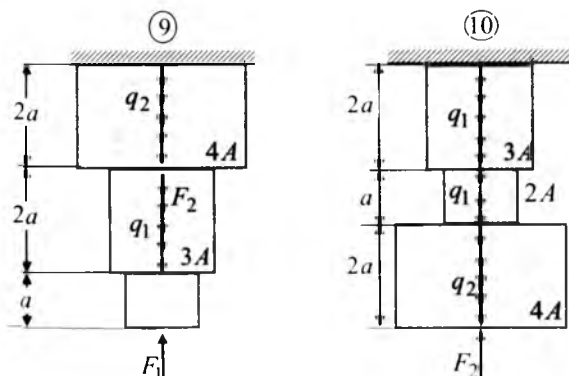
2-topshiriq. Berilgan variant bo'yicha 2.7-chizmada keltirilgan pog'onali sterjen sxemasi, 2.4-jadvaldan bo'ylama yuklar va sterjen ko'ndalang kesim o'lchamlari olinib, quyidagilarni aniqlash talab qilinadi:

1. Bo'ylama kuchlar aniqlansin va ularning epyuralari qurilsin.
2. Normal kuchlanishlar aniqlansin va ularning epyuralari qurilsin.
3. Sterjenning bo'ylama cho'zilishi (siqilishi) aniqlansin.

2.4-jadval.

T/r	Sxema №	a, m	A, sm ²	F ₂ , kN	F ₁ , kN	q ₁ , kN/m	q ₂ , kN/m	E, kN/m ²
1	I	1,4	25	150	60	15	12	2 · 10 ⁸
2	II	2	20	220	80	20	14	2,2 · 10 ⁸
3	III	1,6	18	200	100	18	10	2,1 · 10 ⁸
4	IV	2,6	24	100	120	24	16	1,12 · 10 ⁸
5	V	2,4	15	120	85	22	18	2,2 · 10 ⁸
6	VI	1,2	28	240	90	16	20	2 · 10 ⁸
7	VII	2,6	30	180	70	12	15	1,2 · 10 ⁸
8	VIII	2,8	16	120	95	26	17	1,3 · 10 ⁸
9	IX	1,8	22	160	110	28	13	2,1 · 10 ⁸
10	X	2,2	18	140	105	25	19	2,1 · 10 ⁸
	e	b	u	d	e	d	e	b





2.7-chizma. Cho'zilish va siqilishga ishlovchi pog'onali sterjenlar.

2-masala. Pastki uchi bilan mahkamlangan sterjen o'qi bo'ylab to'plangan F_1 , F_2 va oraliqlari bo'yicha yoyilgan q_1 , q_2 kuchlar bilan 2.8,b-chizmada keltirilgandek yuklangan bo'lsin. Sterjenning har bir oraliq'i uchun quyidagilarni aniqlash talab qilinadi:

1. Bo'ylama kuch va kuchlanishlar aniqlansin va ularning epyuralari qurilsin.

2. Sterjenning bo'ylama cho'zilishi (siqilishi) aniqlansin.

Berilganlar; 2-4-jadvalda shifr bo'yicha $F_1 = 60\text{kN}$; $F_2 = 100\text{kN}$, $q_1 = 15\text{kN/m}$; $q_2 = 10\text{kN/m}$; $A = 20\text{sm}^2$ va $a = 1,2\text{m}$ larni yozib olamiz.

Yechish. Tayanchni reaksiya kuchi bilan ahmashtirib uning yo'nalishini ko'rsatamiz (bu tayanchda gorizontal reaksiya kuchi va reaktiv moment nolga teng bo'ladi). Tayanch reaksiya kuchini aniqlaymiz, ya'ni statik muvozanat tenglamasini tuzamiz (2.8,b-chizma):

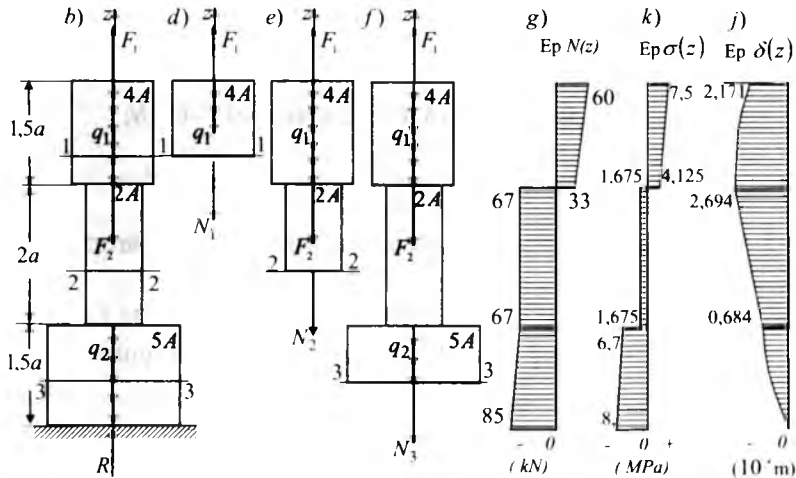
$$\sum z = 0; R + F_1 - F_2 - q_1 \cdot 1,5a - q_2 \cdot 1,5a = 0; \text{ bundan}$$

$$R = -F_1 + F_2 + q_1 \cdot 1,5a + q_2 \cdot 1,5a = -60 + 100 + 15 \cdot 1,5 \cdot 1,2 + 10 \cdot 1,5 \cdot 1,2 = 85\text{kN}.$$

Sterjen ko'ndalang kesimlaridagi ichki kuchlarni aniqlash uchun uning xarakterli (kuch qo'yilgan nuqtalardagi yoki ko'ndalang kesimi o'zgargan oraliq) kesimlari bo'yicha uchta oraliqqa bo'linadi.

1. Sterjenni kesish usulidan foydalanib 1-1, 2-2, 3-3, tekisliklar bilan kesamiz va har bir oraliqda qaralayotgan qism uchun statik muvozanat tenglamalarini tuzamiz. Ishni osonlashtirish uchun kesimni sterjenning erkin uchidan boshlash maqsadga muvofiqdir, chunki, bunda reaksiya kuchini aniqlash shart emas.

2.



2.8-chizma. Tashqi kuchlar ta'siridagi sterjen.

1-1 kesimdan yuqoridagi elementning muvozanat tenglamasini tuzamiz (2.8,d-chizma):

birinchi oraliqning o'zgarish sohasi $0 \leq z_1 \leq 1,5a$

$$-N_z^I - q_1 \cdot z_1 + F_1 = 0 \text{ yoki } N_z^I = F_1 - q \cdot z_1.$$

$$z_1 = 0, \quad N_z^I = F_1 = 60 \text{ kN};$$

$$\sigma_z^I = \frac{N_{z_1}^I}{A_1} = \frac{60}{4 \cdot 20 \cdot 10^{-4}} = 7500 \text{ kN/m}^2.$$

$$z_1 = 1,5a, \quad N_z^I = 60 - 15 \cdot 1,5 \cdot 1,2 = 33 \text{ kN};$$

$$\sigma_z^I = \frac{N_z^I}{A_1} = \frac{33}{4 \cdot 20 \cdot 10^{-4}} = 4125 \text{ kN/m}^2.$$

2-2 kesimdan yuqoridagi elementning muvozanat shartidan (2.8,e-chizma):

ikkinchi oraliqning o'zgarish sohasi $1,5a \leq z_2 \leq (1,5a + 2a)$

$$-N_z^{II} - q_1 \cdot 1,5a + F_1 - F_2 = 0 \text{ yoki } N_z^{II} = -q \cdot 1,5a + F_1 - F_2.$$

$$z_2 = 1,5a; N_z^{II} = -15 \cdot 1,5 \cdot 1,2 + 60 - 100 = -67 \text{ kN};$$

$$\sigma_z^{II} = \frac{N_z^{II}}{A_2} = \frac{-67}{2 \cdot 20 \cdot 10^{-4}} = -1675 \text{ kN/m}^2.$$

$$z_2 = 3,5a, N_z^{II} = -15 \cdot 1,5 \cdot 1,2 + 60 - 100 = -67 \text{ kN};$$

$$\sigma_z^{II} = \frac{N_z^{II}}{A_2} = \frac{-67}{2 \cdot 20 \cdot 10^{-4}} = -1675 \text{ kN/m}^2.$$

3-3 kesimdan yuqoridagi elementning muvozanat shartidan (2.8.f-chizma):

uchinchi oraliqning o'zgarish sohasi $(1,5a + 2a) \leq z_3 \leq (1,5a + 2a + 1,5a)$

$$-N_z^{III} - q \cdot 1,5a + F_1 - q_2 \cdot (z_2 - 3,5a) - F_2 = 0 \text{ yoki}$$

$$N_z^{III} = -q \cdot 1,5a + F_1 - q_2 \cdot (z_2 - 3,5a) - F_2 = 0.$$

$$z_3 = 3,5a, N_z^{III} = -15 \cdot 1,5 \cdot 1,2 + 60 - 10 \cdot 0 - 100 = -67 \text{ kN};$$

$$\sigma_z^{III} = \frac{N_z^{III}}{A_3} = \frac{-67}{5 \cdot 20 \cdot 10^{-4}} = -6700 \text{ kN/m}^2.$$

$$z_3 = 5a, N_z^{III} = -15 \cdot 1,5 \cdot 1,2 + 60 - 10 \cdot 1,5 \cdot 1,2 - 100 = -85 \text{ kN};$$

$$\sigma_z^{III} = \frac{N_z^{III}}{A_3} = \frac{-85}{5 \cdot 20 \cdot 10^{-4}} = -8500 \text{ kN/m}^2.$$

Demak, sterjening ixtiyoriy ko'ndalang kesimidagi ichki bo'ylama kuch, shu kesimdan yuqori yoki pastki tomohidagi olib qolingan qismining biriga ta'sir etuvchi barcha tashqi kuchlarning bo'ylama o'z o'qiga proeksiyalarining algebrik yig'indisiga teng ekan.

Turli oraliqlarda hosil bo'lgan bo'ylama kuch va kuchlanish epyuralarini qurish uchun sterjen o'qiga parallel bo'lgan sanoq chiziqlarini olamiz (2.8,g,k-chizmalar). Sanoq chiziqning chap tomoniga manfiy va o'ng tomoniga musbat ichki kuchlar qiymatlarini perpendikulyar ravishda masshtabda o'lchab qo'yamiz va nuqtalarni to'g'ri chiziq bilan tutashtiramiz. Hosil qilingan epyurani sterjen o'qiga perpendikulyar chiziqlar bilan shtrixlaymiz.

3. Sterjen har bir oralig'ining bo'ylama cho'zilishini (siqilishini)

$$\Delta l = \frac{P l}{EA} + \frac{Q l}{2EA} \text{ Guk qonunidan foydalanib aniqlaymiz:}$$

birinchi oraliqning o'zgarish sohasi $0 \leq z_1 \leq 1,5a$

$$\begin{aligned}\Delta \ell_1 &= \frac{F_1 \cdot 1,5a}{E \cdot 4A} - \frac{q_1 \cdot 1,5a \cdot 1,5a}{2 \cdot E \cdot 4A} = \frac{1,5a}{E \cdot 4A} \left(F_1 - \frac{q_1 \cdot 1,5a}{2} \right) = \\ &= \frac{1,5 \cdot 1,2}{2 \cdot 10^{11} \cdot 4 \cdot 20 \cdot 10^{-4}} \left(60 - \frac{15 \cdot 1,5 \cdot 1,2}{2} \right) \cdot 10^3 = \\ &= 0,523125 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 0,0523125 \text{ mm}\end{aligned}$$

ikkinchi oraliqning o'zgarish sohasi $1,5a \leq z_2 \leq (1,5a + 2a)$

$$\begin{aligned}\Delta \ell_2 &= \frac{F_1 \cdot 2a}{E \cdot 2A} - \frac{q_1 \cdot 1,5a \cdot 2a}{E \cdot 2A} - \frac{F_2 \cdot 2a}{E \cdot 2A} = \frac{2a}{E \cdot 2A} (F_1 - q_1 \cdot 1,5a - F_2) = \\ &= \frac{2 \cdot 1,2}{2 \cdot 10^{11} \cdot 2 \cdot 20 \cdot 10^{-4}} (60 - 15 \cdot 1,5 \cdot 1,2 - 100) \cdot 10^3 = -2,01 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 0,201 \text{ mm}\end{aligned}$$

uchinchi oraliqning o'zgarish sohasi $(1,5a + 2a) \leq z_3 \leq (1,5a + 2a + 1,5a)$

$$\begin{aligned}\Delta \ell_3 &= \frac{F_1 \cdot 1,5a}{E \cdot 5A} - \frac{q_1 \cdot 1,5a \cdot 1,5a}{E \cdot 5A} - \frac{F_2 \cdot 1,5a}{E \cdot 5A} - \frac{q_2 \cdot 1,5a \cdot 1,5a}{2 \cdot E \cdot 5A} = \\ &= \frac{1,5a}{E \cdot 5A} \left(F_1 - q_1 \cdot 1,5a - F_2 - \frac{q_1 \cdot 1,5a}{2} \right) = \\ &= \frac{1,5 \cdot 1,2}{2 \cdot 10^{11} \cdot 5 \cdot 20 \cdot 10^{-4}} \left(60 - 15 \cdot 1,5 \cdot 1,2 - 100 - \frac{10 \cdot 1,5 \cdot 1,2}{2} \right) \cdot 10^3 = \\ &= -0,684 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 0,0684 \text{ mm}\end{aligned}$$

Tayanch iboralar:

Cho'zilish, siqilish, sterjen, mustahkamlik, xavfli yuk usuli, Prandtl, diagramma, material, konstruksiya elementlari, plastik deformatsiya, orttirilgan, ish qobiliyati, mo'rt materiallar, xavfli yuk, o'zgarimas kesimli, pog'onali, plastik material, zo'riqish, tugun, ko'ndalang kesim yuzasi, oquvchanlik, kuchlanish, mustahkamlik, sirtqi kuch, oquvchanlik chegarasi, chetki sterjen, statikaning muvozanat tenglamalari, chegaraviy holat usuli, ta'sir etuvchi turli omillar, normal ekspulatsiya, qurilish normalari, qoidalari, uchta guruh, yuk ko'tarish qobiliyati, katta deformatsiya, tebranishi, yoriqlar, birinchi tur chegaraviy, mustahkamlika hisoblash, yukning ortishini hisobga oluvchi ehtiyotlik koeffitsient, doimiy yuk, vaqtincha yuk, normativ qarshiligining mumkin bo'lgan kamayishini hisobga oluvchi, material bo'yicha ehtiyotlik koeffitsient, hisobiy qarshiligi, ish sharoitini e'ti-

borga oluvchi koeffitsient, urinma kuchlanish, siljishdagi hisobiy qarshilik, kesim o'lehamlarini aniqlash, eng katta kuchni aniqlash.

Test savollari:

1. Prandtl diagrammasi boshqa cho'zilish diagrammalaridan nimasi bilan farq qiladi?

kuchlanish oquvchanlik chegarasiga yetganda deformatsiya o'z-o'zidan ortib ketishi;

kuchlanish oquvchanlik chegarasiga yetganda deformatsiya o'z-o'zidan kamayib ketishi;

kuchlanish mustahkamlik chegarasiga yetganda deformatsiya o'z-o'zidan ortib ketishi;

kuchlanish mustahkamlik chegarasiga yetganda deformatsiya o'z-o'zidan kamayib ketishi;

2. Prandtl diagrammasiga bo'ysimuvchi materialdan yasalgan konstruksiya uchun xavfli yuk sifatida qanday yuk qabul qilinadi?

plastik deformatsiya yetarlicha katta bo'lgan yuk;

elastik deformatsiya yetarlicha katta bo'lgan yuk;

plastik deformatsiya yetarlicha kichik bo'lgan yuk;

elastik deformatsiya yetarlicha kichik bo'lgan yuk;

3. Mo'rt materiallardan yasalgan konstruksiya uchun xavfli yuk sifatida qanday yuk qabul qilinadi?

kuchlanish mustahkamlik chegarasiga σ_m teng bo'lgan kuchlanish;

kuchlanish oquvchanlik chegarasiga σ_{oq} teng bo'lgan kuchlanish;

kuchlanish elastiklik chegarasiga σ_{el} teng bo'lgan kuchlanish;

kuchlanish proporsionallik chegarasiga $\sigma_{p.ch}$ teng bo'lgan kuchlanish;

4. Yuqorigi uchi bilan qistirib mahkamlangan o'zgarmas kesimli pog'onali sterjen plastik materialdan tayyorlangan bo'lsa xavfli yuk qaysi formuladan aniqlanadi?

$$F_{xavf} = \sigma_{oq} A_1;$$

$$F_{xavf} = \sigma_m A_1;$$

$$F_{xavf} = \sigma_{p.ch} A_1;$$

$$F_{xavf} = \sigma_{el} A_1;$$

5. Yuqorigi uchi bilan qistirib mabkamlangan o'zgarmas kesimli pog'onali sterjen mo'rt materialdan tayyorlangan bo'lsa xavfli yuk qaysi formuladan aniqlanadi?

$$F_{xavf} = \sigma_m A_1;$$

$$F_{xavf} = \sigma_{oq} A_1;$$

$$F_{xavf} = \sigma_{p.ch} A_1;$$

$$F_{xavf} = \sigma_{el} A_1;$$

6. Statik aniqmas sterjenlar uchun plastik material uchun xavfli yuk sifatida qanday yuk qabul qilinadi?

ko'ndalang kesim yuzasi kichik bo'lgan sterjenda hosil bo'lgan kuchlanish σ_{oq} teng bo'lgan;

ko'ndalang kesim yuzasi kichik bo'lgan sterjenda hosil bo'lgan kuchlanish σ_m teng bo'lgan;

ko'ndalang kesim yuzasi kichik bo'lgan sterjenda hosil bo'lgan kuchlanish $\sigma_{p.ch}$ teng bo'lgan;

ko'ndalang kesim yuzasi kichik bo'lgan sterjenda hosil bo'lgan kuchlanish σ_{el} teng bo'lgan;

7. Mo'rt materiallardan yasalgan statik aniqmas sterjenlar uchun xavfli yuk sifatida qanday yuk qabul qilinadi?

ko'ndalang kesim yuzasi kichik bo'lgan sterjenda hosil bo'lgan kuchlanish σ_m teng bo'lgan;

ko'ndalang kesim yuzasi kichik bo'lgan sterjenda hosil bo'lgan kuchlanish σ_{oq} teng bo'lgan;

ko'ndalang kesim yuzasi kichik bo'lgan sterjenda hosil bo'lgan kuchlanish $\sigma_{p.ch}$ teng bo'lgan;

ko'ndalang kesim yuzasi kichik bo'lgan sterjenda hosil bo'lgan kuchlanish σ_{el} teng bo'lgan;

8. Statik aniqmas sterjenlar materiali Prandtl diagramasiga bo'ysinuvchi sistemasiga ta'sir etuvchi sirtqi kuchning sekin-asta ortishi bilan kuchlanish qanday kuchlanganlik holatlarida bo'lishi mumkin?

statik aniqmas sterjenlar sistemasida oquvchanlik chegarasiga teng bo'lgan kuchlanish avval o'rtadagi sterjenlarda paydo bo'ladi $N_{2oq} = \sigma_{oq} A$;

statik aniqmas sterjenlar sistemasida oquvchanlik chegarasiga teng bo'lgan kuchlanish avval chetki sterjenlarda paydo bo'ladi;

statik aniqmas sterjenlar sistemasida oquvchanlik chegarasiga teng bo'lgan kuchlanish barcha sterjenlarda hosil bo'ladi;

barcha javoblar to'g'ri;

9. Statik aniqmas sterjenlar sistemasida oquvchanlik chegarasiga to'g'ri kelgan kuchlanish avval o'rtadagi sterjenlarda paydo bo'lganda konstruksiya ishdan chiqadimi?

chiqmaydi;

chiqadi;

aniqmas;

o'rtta holatda qoladi;

10. Statik aniqmas sterjenlar sistemasida oquvchanlik chegarasiga teng bo'lgan kuchlanish avval chetki sterjenlarda paydo bo'lganda konstruksiya ishdan chiqadimi?

chiqmaydi;

chiqadi;

aniqmas;

o'rtta holatda qoladi;

11. Statik aniqmas sistemaning barcha sterjenlarda kuchlanish oquvchanlik chegarasidagi kuchlanishga teng bo'lganda konstruksiya to'la yemiriladimi?

yemiriladi;

yemirilmaydi;

to'la yemirilmaydi;

qisman yemiriladi;

12. Statik aniqmas sistemada hosil bo'lgan xavfli yuk qanday chegara shartlarida aniqlanadi?

statikaning muvozanat shartidan;

statikaning differensial muvozanat shartidan;

statikaning integral muvozanat shartidan;

kuchlarning mustaqillik shartidan;

13. Konstruksiyaning chegaraviy holati deb qanday holatiga aytiladi?

uni normal ekspulatsiya qilib bo'lmaydigan holatiga;

uni minimal ekspulatsiya qilib bo'ladigan holatiga;

uni normal ekspulatsiya qilib bo'lishi mumkin bo'lgan holatiga;

uni maksimal ekspulatsiya qilib bo'lmaydigan holatiga;

14. Qurilish me'yorlari va qoidalari (QMQ)da chegaraviy holat necha guruhga bo'linadi?

3 ta;

2 ta;

4 ta;

6 ta;

15. Birinchi guruh chegaraviy holati konstruksiyaning qanday qobiliyatlari bilan aniqlanadi?

yuk ko'tarish qobiliyatini – mustahkamlik yoki ustuvorligini yo'qotishi bilan;

yuk ko'tarish qobiliyatini – bikirlik yoki ustuvorligini yo'qotishi bilan;

yuk ko'tarish qobiliyatini deformatsiyalanuvchanlik yoki ustuvorligini yo'qotishi bilan;

yuk ko'tarish qobiliyatini, kuchlanganlik yoki deformatsiyalanganligini yo'qotishi bilan;

16. Ikkinchi guruh chegaraviy bolati konstruksiyaning qanday qobiliyatlari bilan aniqlanadi?

konstruksiya juda ham katta deformatsiya hosil qilishi yoki tebranishi;

konstruksiya juda ham kichik deformatsiya hosil qilishi yoki tebranmasligi;

konstruksiya o'rtacha deformatsiya hosil qilishi yoki tebranishi;

konstruksiya juda ham oddiy deformatsiya hosil qilishi yoki tebranmasligi;

17. Uchinchi guruh chegaraviy holati konstruksiyaning qanday qobiliyatlari bilan aniqlanadi?

konstruksiyada yoriqlarning paydo bo'lib rivojlanishi va boshqa darz ketishlari;

konstruksiyada yoriqlarning paydo bo'lishi va boshqa darz ketmasliklari;

konstruksiyada yoriqlarning paydo bo'lmasligi va boshqa darz ketmasligi;

konstruksiyada passiv yemirilshning paydo bo'lishi;

18. QMQda ehtiyotlik koeffitsienti o'rniga qanday koeffitsientlar kiritiladi?

yuklanish bo'yicha ishonchlilik koeffitsient, ish sharoitini e'tiborga oluvchi koeffitsient, material bo'yicha ishonchlilik koeffitsienti;

yuklanish bo'yicha kuchlanganlik ko'effitsient, shamolni e'tiborga oluvchi ko'effitsient, mashina bo'yicha ishonchlilik ko'effitsienti;

yuklanish bo'yicha ishonchlilik ko'effitsient, uzoq ishlashini e'tiborga olmaydigan ko'effitsient, material bo'yicha ishonchlilik ko'effitsienti;

yuklanish bo'yicha ishonmaslik ko'effitsient, ish sharoitini e'tiborga olmaslik ko'effitsient, material bo'yicha ishonchlilik ko'effitsienti;

19. Plastik materiallar uchun normativ qarshilik sifatida qanday chegara qabul qilinadi?

oquvchanlik chegarasi;

mustahkamlik chegarasi;

proporsionallik chegarasi;

elastiklik chegarasi;

20. Mo'rt materiallar uchun normativ qarshilik sifatida qanday chegara qabul qilmadi?

mustahkamlik chegarasi;

oquvchanlik chegarasi;

proporsionallik chegarasi;

elastiklik chegarasi;

21. Materialning hisobiy qarshiligi deb ataluvchi miqdor quyidagi qaysi formuladan aniqlanadi?

$$R = \frac{R_n}{\gamma_m};$$

$$R = \frac{\sigma_{oq}}{\gamma_m};$$

$$F_h = F_n \cdot \gamma_f;$$

$$\sigma_s \leq \gamma_s \cdot R_s;$$

22. Qurilish po'lati uchun materialning hisobiy qarshiligi quyidagi qaysi formuladan aniqlanadi?

$$R = \frac{R_n}{\gamma_m};$$

$$R = \frac{\sigma_{oq}}{\gamma_m};$$

$$F_h = F_n \cdot \gamma_f;$$

$$\sigma_s \leq \gamma_s \cdot R_s;$$

23. Mustahkamlikka absolyut qiymati bo'yicha eng katta normal kuchlanish bo'ylcha tekshirish sharti qaysi formulada to'g'ri keltirilgan?

$$\sigma_{\max} \leq \gamma_s R;$$

$$\tau \leq \gamma_s R_{sil};$$

$$F_h = F_n \cdot \gamma_f;$$

$$\sigma_{siq} \leq \gamma_s \cdot R_{siq};$$

24. Mustahkamlikka urinma kuchlanish bo'yicha tekshirish sharti qaysi formulada to'g'ri keltirilgan?

$$\tau \leq \gamma_s R_{sil};$$

$$\sigma_{\max} \leq \gamma_s R;$$

$$F_h = F_n \cdot \gamma_f;$$

$$\sigma_{siq} \leq \gamma_s \cdot R_{siq};$$

25. Markaziy cho'zilish va siqilishga ishlovchi konstruktsiya elementlari uchun necha xil masalani hal qilish mumkin?

3 xil;

4 xil;

6 xil;

9 xil;

26. Markaziy cho'zilish va siqilishga ishlovchi konstruktsiya elementlari uchun qanday masalalar hal qilinadi?

sterjenni mustahkamlikka tekshirish;

sterjen ko'ndalang kesim o'lchamlarini aniqlash;

sterjen ko'tara oladigan eng katta yukni aniqlash;

Berilgan javoblar barchasi to'g'ri;

27. Markaziy cho'zilish va siqilishga ishlovchi konstruktsiya elementlarining mustahkamligini ta'minlashda qaysi formuladan foydalaniladi?

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

$$A = \frac{N_{\max}}{[\sigma]};$$

$$N_{\max} \leq A[\sigma];$$

$$\tau \leq \gamma_s R_{sil};$$

28. Markaziy cho‘zilish va siqilishga ishlovchi konstruksiya elementlarining ko‘ndalang kesimini aniqlashda qaysi formuladan foydalaniladi?

$$A \geq \frac{N_{\max}}{[\sigma]};$$

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

$$N_{\max} \leq A[\sigma];$$

$$\tau \leq \gamma_s R_{st};$$

29. Markaziy cho‘zilish va siqilishga ishlovchi konstruksiya elementlari ko‘tara oladigan yukni aniqlashda qaysi formuladan foydalaniladi?

$$N_{\max} \leq A[\sigma];$$

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

$$A = \frac{N_{\max}}{[\sigma]};$$

$$\tau \leq \gamma_s R_{st};$$

30. Plastik materiallardan tayyorlangan konstruksiya elementlari xavf xatarsiz ishlashini ta‘minlovchi ruxsat etilgan kuchlanish qaysi formuladan aniqlanadi?

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{o.ch.}}{n_{o.ch.}};$$

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{m.ch.}}{n_{m.ch.}};$$

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{p.ch.}}{n_{p.ch.}};$$

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{el.ch.}}{n_{el.ch.}};$$

UMUMLASHGAN GUK QONUNI

3.1-§. Deformatsiya komponentlarining kuchlanish komponentlari orqali ifodasi

Kuchlanishlar nazariyasi bilan deformatsiya nazariyasini birgalikda qarash uchun kuchlanish komponentalari bilan deformatsiya komponentalari orasida bog‘lanishlarni bilish lozim. Bu bog‘lanishlar R.Guk qonuni bilan ifodalanadi.

Umumlashgan Guk qonuni fizik qonun bo‘lib elastik izotrop jism kuchlanishlar komponentalari bilan deformatsiya komponentalari orasidagi chiziqli bog‘lanishni ifodalaydi. Qurilma materiallari uchun R.Guk qonuni kuchlanish ma‘lum chegaradan oshmasa qo‘llash mumkin. Bu chegaraga proporsionallik chegarasi deb ataladi.

Klassik elastiklik nazariyasi asosan R.Guk qonuniga tayanadi va jism materiali bir jinsli, yani izotrop deb qaraladi, lekin ko‘pgina hollarda turli yo‘nalishlar bo‘yicha turli xil xususiyatlarga ega bo‘ladi. Bunday jismlarga anizotrop jismlar deb ataladi.

Umumiy holda anizotrop jismlar uchun deformatsiya komponentalari bilan kuchlanish komponentalari orasidagi bog‘lanishlarni quyidagicha ifodalanadi:

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_x &= a_{11}\sigma_x + a_{12}\sigma_y + a_{13}\sigma_z + a_{14}\tau_{xy} + a_{15}\tau_{yz} + a_{16}\tau_{zx}; \\ \varepsilon_y &= a_{21}\sigma_x + a_{22}\sigma_y + a_{23}\sigma_z + a_{24}\tau_{xy} + a_{25}\tau_{yz} + a_{26}\tau_{zx}; \\ \varepsilon_z &= a_{31}\sigma_x + a_{32}\sigma_y + a_{33}\sigma_z + a_{34}\tau_{xy} + a_{35}\tau_{yz} + a_{36}\tau_{zx}; \\ \gamma_{xy} &= a_{41}\sigma_x + a_{42}\sigma_y + a_{43}\sigma_z + a_{44}\tau_{xy} + a_{45}\tau_{yz} + a_{46}\tau_{zx}; \\ \gamma_{yz} &= a_{51}\sigma_x + a_{52}\sigma_y + a_{53}\sigma_z + a_{54}\tau_{xy} + a_{55}\tau_{yz} + a_{56}\tau_{zx}; \\ \gamma_{zx} &= a_{61}\sigma_x + a_{62}\sigma_y + a_{63}\sigma_z + a_{64}\tau_{xy} + a_{65}\tau_{yz} + a_{66}\tau_{zx}. \end{aligned} \right\} (3.1)$$

Bu formulada a_{mn} jismning elastiklik xususiyatini xarakterlovchi koeffitsientlardir.

Kuchlanish o‘zgarmas bo‘lgan birdan bir qiymatida ham, bu koeffitsientlarning qiymati qancha katta bo‘lsa deformatsiya komponentalari ham shuncha katta bo‘ladi.

Umumiy holda anizotrop materiallar uchun R.Guk qonuni matritsa ko‘rinishida quyidagicha ifodalanadi:

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \\ \gamma_{xy} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} & a_{16} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} & a_{26} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & a_{35} & a_{36} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} & a_{45} & a_{46} \\ a_{51} & a_{52} & a_{53} & a_{54} & a_{55} & a_{56} \\ a_{61} & a_{62} & a_{63} & a_{64} & a_{65} & a_{66} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \\ \tau_{xy} \end{pmatrix} \quad (3.2)$$

Bu matritsa simmetrik bo'lgani uchun $a_{mn} = a_{nm}$ jismning elastiklik xususiyatini xarakterlovchi 36 koeffitsientlarining 21 tasi noma'lum bo'lib qoladi.

Agar jismning elastik xususiyatlari o'zaro perpendikulyar bo'lgan uchta tekisliklar bo'yicha simmetrik bo'lsa, bunday jismga ortotrop jismlar deyiladi. Ortotrop jismlar uchun umumlashgan Guk qonunidagi 21 ta koeffitsientlardan to'qqiztasi qoladi. Ortotrop jismlarda chliqli nisbiy bo'ylama $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ deformatsiyalar faqat normal $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ kuchlanishlarga bog'liq bo'lib, urinma $\tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$ kuchlanishlarga bog'liq bo'lmaydi. Unda nisbiy burchak deformatsiyalar $\gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}$ faqat urinma $\tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$ kuchlanishlarga bog'liq bo'ladi.

Ortotrop jismlar uchun umumlashgan Guk qonuni bir-biriga bog'liq bo'lmagan ikki guruhga ajraladi:

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_x &= a_{11}\sigma_x + a_{12}\sigma_y + a_{13}\sigma_z; \\ \varepsilon_y &= a_{21}\sigma_x + a_{22}\sigma_y + a_{23}\sigma_z; \\ \varepsilon_z &= a_{31}\sigma_x + a_{32}\sigma_y + a_{33}\sigma_z. \end{aligned} \right\} \quad (3.3)$$

$$\left. \begin{aligned} \gamma_{xy} &= a_{44}\tau_{xy}; \\ \gamma_{yz} &= a_{55}\tau_{yz}; \\ \gamma_{zx} &= a_{66}\tau_{zx}. \end{aligned} \right\} \quad (3.4)$$

Ortotrop jismlar uchun umumlashgan Guk qonuni matritsa ko'rinishida quyidagicha ifodalanadilar:

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \end{pmatrix} \quad (3.5)$$

$$\begin{pmatrix} \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \\ \gamma_{xy} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{44} & 0 & 0 \\ 0 & a_{55} & 0 \\ 0 & 0 & a_{66} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \\ \tau_{xy} \end{pmatrix}. \quad (3.6)$$

Ortotrop jismlar uchun umumlashgan Guk qonunidagi elastiklik koeffitsientlari quyidagilarga teng bo'ladilar:

$$\left. \begin{aligned} a_{11} &= 1/E_1; & a_{12} &= 1/E_2; & a_{13} &= 1/E_3; \\ a_{12} &= a_{21} = -\mu_{21}/E_2 = -\mu_{12}/E_1; \\ a_{13} &= a_{31} = -\mu_{31}/E_3 = -\mu_{13}/E_1; \\ a_{23} &= a_{32} = -\mu_{32}/E_3 = -\mu_{23}/E_2; \\ a_{44} &= 1/G_{23}; & a_{55} &= 1/G_{13}; & a_{66} &= 1/G_{12}. \end{aligned} \right\} \quad (3.7)$$

Bunda E_1, E_2, E_3 mos ravishda x, y, z koordinata o'qlari bo'yicha elastiklik modullari;

$\mu_{12}, \mu_{21}, \mu_{13}, \mu_{31}, \mu_{23}, \mu_{32}$ Puasson koeffitsientlari.

Masalan μ_{12} koeffitsienti σ_x normal kuchlanishdan y o'qi bo'yicha hosil bo'lgan nisbiy ko'ndalang deformatsiya miqdorini, μ_{21} koeffitsienti σ_y normal kuchlanishdan x o'qi bo'yicha hosil bo'lgan nisbiy ko'ndalang deformatsiya miqdorini xarakterlaydi. Matritsa koeffitsientlari simmetrik bo'lgani uchun Puasson koeffitsientlari bilan elastiklik modullari orasida quyidagi bog'lanish mavjud:

$$\mu_{ij} E_j = \mu_{ji} E_i. \quad (3.8)$$

Bu koeffitsientlar e'tiborga olinsa ortotrop jismlar uchun umumlashgan Guk qonunini quyidagicha ifodalalanadi;

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{1}{E_1} \sigma_x - \mu_{21} \frac{1}{E_2} \sigma_y - \mu_{31} \frac{1}{E_3} \sigma_z; \\ \varepsilon_y &= -\mu_{12} \frac{1}{E_1} \sigma_x + \frac{1}{E_2} \sigma_y - \mu_{32} \frac{1}{E_3} \sigma_z; \\ \varepsilon_z &= -\mu_{13} \frac{1}{E_1} \sigma_x - \mu_{23} \frac{1}{E_2} \sigma_y + \frac{1}{E_3} \sigma_z; \\ \gamma_{yz} &= \frac{\tau_{yz}}{G_{23}}; & \gamma_{zx} &= \frac{\tau_{zx}}{G_{31}}; & \gamma_{xy} &= \frac{\tau_{xy}}{G_{12}}. \end{aligned} \right\} \quad (3.9)$$

Agar jism materiali izotrop bo'lsa bu koeffitsientlar soni uchta bo'lishi ma'lum. Ular orasida quyidagicha bog'lanish mavjud:

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)}. \quad (3.10)$$

Izotrop jismlar uchun umumlashgan Guk qonuni quyidagicha ifodalanadi:

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{1}{E}\sigma_x - \mu\frac{1}{E}\sigma_y - \mu\frac{1}{E}\sigma_z; \\ \varepsilon_y &= -\mu\frac{1}{E}\sigma_x + \frac{1}{E}\sigma_y - \mu\frac{1}{E}\sigma_z; \\ \varepsilon_z &= -\mu\frac{1}{E}\sigma_x - \mu\frac{1}{E}\sigma_y + \frac{1}{E}\sigma_z; \\ \gamma_{yz} &= \frac{\tau_{yz}}{G}; \quad \gamma_{zx} = \frac{\tau_{zx}}{G}; \quad \gamma_{xy} = \frac{\tau_{xy}}{G}. \end{aligned} \right\} \quad (3.11)$$

3.2-§. Guk qonunining teskari ifodasi

Deformatsiyalanuvchi qattiq jismlar nazariyasi masalalarini yechishda kuchlanish komponentalari bilan deformatsiya komponentalari orasida bog'lanishlarni bilish lozim. Kuchlanish komponentalarini deformatsiya komponentalari orqali ifodalash uchun quyidagi amallar bajariladi. Izotrop jismlar uchun umumlashgan Guk qonunining birinchi uchtasini har ikkala tomonlarini hadlab qo'shamiz, ya'ni

$$\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z = \frac{(1-2\mu)\sigma_x}{E} + \frac{(1-2\mu)\sigma_y}{E} + \frac{(1-2\mu)\sigma_z}{E}, \quad (3.12)$$

Bu ifodaga quyidagi belgilashlar kiritish mumkin:

$$\theta = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z; \quad (3.13)$$

$$S_1 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z.$$

(3.13) tenglamani quyidagi ko'rimishda ifodalash mumkin bo'ladi [27,98-bet]:

$$\theta = \frac{1-2\mu}{E} S_1. \quad (3.14)$$

$$S_1 = \frac{E}{1-2\mu} \theta, \quad S_1 = 3K\theta. \quad (3.15)$$

Bu ifodadagi hajmiy kengayish moduli K quyidagiga teng bo'ladi [27,98-bet]:

$$K = \frac{E}{3(1-2\mu)}. \quad (3.16)$$

Umumlashgan Guk qonunining birinchi ifodasi o'ng tomonidagi qavs ichiga $\mu\sigma_x$ ham qo'shib ham ayisak quyidagi ifoda hosil bo'ladi:

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} [\sigma_x + \mu\sigma_y - \mu\sigma_z - \mu(\sigma_y + \sigma_z)] \quad (3.17)$$

yoki

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} [(1 + \mu)\sigma_x - \mu S_1]$$

Yuqorida keltirilgan (3.15) ifodani e'tiborga olib nisbiy bo'ylama deformatsiyani quyidagicha ifodalash mumkin [28,651-bet]:

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} \left[(1 + \mu)\sigma_x - \frac{E\mu}{1 - 2\mu} \theta \right] \quad (3.18)$$

Bundan normal kuchlanishni aniqlash mumkin, ya'ni

$$\sigma_x = \frac{E\mu}{(1 + \mu)(1 - 2\mu)} \theta + \frac{E}{(1 + \mu)} \varepsilon_x \quad (3.19)$$

Bu ifodaga quyidagi belgilashlarni kiritamiz:

$$\lambda = \frac{E\mu}{(1 + \mu)(1 - 2\mu)}; \quad \nu = \frac{E}{2(1 + \mu)} \quad (3.20)$$

Unda umumlashgan R.Guk qonunining qolganlari ustida ham yuqoridagi amallarni bajarib Guk qonuni quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= \lambda\theta + 2\nu\varepsilon_x; & \tau_{xy} &= \nu\gamma_{xy}; \\ \sigma_y &= \lambda\theta + 2\nu\varepsilon_y; & \tau_{yz} &= \nu\gamma_{yz}; \\ \sigma_z &= \lambda\theta + 2\nu\varepsilon_z; & \tau_{zx} &= \nu\gamma_{zx}. \end{aligned} \right\} \quad (3.21)$$

Bu tenglamadagi koeffitsientlar λ, ν Lyame koeffitsientlari bo'lib jismning elastiklik xarakteristikalarini ifodalaydi.

1-masala. Umumlashgan Guk qonuni va nisbiy hajmiy deformatsiyadan foydalamb, hajmiy Guk qonuni $\sigma_{\theta,r} = K\theta$ ekanligini toping.

2-masala. Izotrop jism uchun umumlashgan Guk qonunidan foydalamb hajmiy o'zgarish qonunini va po'lat namunaning oddiy cho'zilishdagi hajmi nisbiy deformatsiyasini aniqlang agar namuna uchun $[\sigma] = 160 \text{ MPa}; E = 2 \cdot 10^5 \text{ MPa}; \mu = 0,25$.

Javobi: $\theta = 4 \cdot 10^{-4}$.

3-masala. Tekis kuchlanganlik holati uchun umumlashgan Guk qonunining teskari ifodasini aniqlang?

4-masala. Hajmiy kuchlanganlik holatidagi element uchun $\sigma_1 = 100 \text{ N/sm}^2; \sigma_2 = 120 \text{ N/sm}^2; \sigma_3 = 300 \text{ N/sm}^2;$

$$E = 1 \cdot 10^7 \text{ N/sm}^2; \mu = 0,32$$

bo'lsa bosh deformatsiyalar aniqlansin?

5-masala. Alyuminiydan yasalgan elementar kubik absolyut qattiq ikkita qo'zalmas devor orasiga joylashtirilib ustki va ostki tomonlari yuzasi bo'yicha tekis taralgan $q = 8 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$ kuch ta'sir etadi. Berilganlar $E = 0,7 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2$; $\mu = 0,32$.

Bosh kuchlanishlar va deformatsiyalar aniqlansin?

$$\sigma_1 = -24 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2; \quad \sigma_2 = 0; \quad \sigma_3 = -8 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2;$$

Javobi: $\varepsilon_1 = 0; \quad \varepsilon_2 = 4,4 \cdot 10^{-5} \text{ N/sm}^2; \quad \varepsilon_3 = -118,3 \cdot 10^{-5}.$

Tayanch iboralar:

Kuchlanishlar nazariyasi, deformatsiya nazariyasi, kuchlanish komponentalari, deformatsiya komponentalari, bog'lanish, R.Guk qonuni, fizik qonun, qurilma materiallari, chiziqli bog'lanish, proporsionallik chegarasi, klassik elastik nazariyada jism materiali bir jimsli, yo'nalishlar, xususiyatlar, anizotrop jismlar, jismning elastiklik xususiyati, koeffitsientlar, matritsa, simmetrik matritsa, o'zaro perpendikulyar, uchta tekisliklar, ortotrop jismlar, yigirma bitta, to'qqizta, nisbiy bo'ylama deformatsiyalar, urinma kuchlanishlar, nisbiy burchak deformatsiyalar, ikki guruhga ajraladi, elastiklik modullar, koordinata o'qlari, Puasson koeffitsientlari, normal kuchlanish, nisbiy ko'ndalang deformatsiya, jism materiali izotrop, koeffitsientlar soni uchta, Guk qonunining teskari ifodasi, deformatsiyalanuvchl qattiq jismlar, hajmiy kengayish moduli, Lyame koeffitsientlari, bosh kuchlanishlar va bosh deformatsiyalar.

Test savollari:

1. R.Guk qonuni qanday qonun?

fizik qonun bo'lib elastik izotrop jismning kuchlanish komponentalari bilan deformatsiya komponentalari orasidagi chiziqli bog'lanishni ifodalaydi;

mexanik qonun bo'lib elastik izotrop jismning kuchlanish komponentalari bilan deformatsiya komponentalari orasidagi parabolik bog'lanishni ifodalaydi;

issiqlik qonun bo'lib elastik izotrop jismning kuchlanish komponentalari bilan deformatsiya komponentalari orasidagi chiziqli bo'lmagan bog'lanishni ifodalaydi;

fizik qonun bo'lib elastik izotrop jismning kuchlanish komponentalari bilan deformatsiya komponentalari orasidagi giperbolik bog'lanishni ifodalaydi;

2. Qurilma materiallari uchun R.Guk qonunini kuchlanish qanday chegaradan oshmasa qo'llash mumkin;

proporsionallik chegarasidan;

mustahkamlik chegarasidan;

oquvchanlik chegarasidan;

elastiklik chegarasidan;

3. Anizotrop jismlar deb qanday jismlarga aytiladi?

turli yo'nalishlar bo'yicha turli xil xususiyatlarga ega bo'lgan;

kuchlamish komponentalari orasidagi bog'lanishlar bir xil bo'lgan;

ko'chish komponentalari orasidagi bog'lanishlar bir xil bo'lgan;

turli yo'nalishlar bo'yicha bir xil xususiyatlarga ega bo'lgan;

4. Anizotrop jismlar uchun elastiklik xususiyatini xarakterlovchi koeffitsientlar soni nechta?

36 ta;

24 ta;

21 ta;

9 ta;

5. Anizotrop jismlar uchun Guk qonunidagi koeffitsientlar nimanı xarakterlaydi?

jismning elastiklik xususiyatini;

jismning plastiklik xususiyatini;

jismning mexanik xususiyatini;

jismning fizik xususiyatini;

6. Anizotrop jismlar uchun elastiklik xususiyatini xarakterlovchi noma'lum koeffitsientlar qancha katta bo'lsa deformatsiya komponentalari shuncha:

katta bo'ladi;

kichik bo'ladi;

o'zgarmas bo'ladi;

kamayuvchi bo'ladi;

7. Guk qonunining matritsa ko‘rinishida jismning elastik xususiyatini xarakterlovchi noma’lum koefitsientlar soni nechta bo‘ladi?

21 ta;

24 ta;

36 ta;

9 ta;

8. Anizotrop jismlar uchun elastiklik xususiyatini xarakterlovchi noma’lum koefitsientlar qancha kichik bo‘lsa deformatsiya komponentalari shuncha:

kichik bo‘ladi;

katta bo‘ladi;

o‘zgarmas bo‘ladi;

kamayuvchi bo‘ladi;

9. Ortotrop jismlar deb qanday jismlarga aytiladi?

elastik xususiyatlari o‘zaro perpendikulyar bo‘lgan uchta tekisliklar bo‘yicha simmetrik bo‘lgan;

plastik xususiyatlari o‘zaro perpendikulyar bo‘lgan uchta tekisliklar bo‘yicha simmetrik bo‘lmagan;

ximiyaviy xususiyatlari o‘zaro perpendikulyar bo‘lgan uchta tekisliklar bo‘yicha simmetrik bo‘lgan;

mexanik xususiyatlari o‘zaro perpendikulyar bo‘lgan uchta tekisliklar bo‘yicha simmetrik bo‘lgan;

10. Ortotrop jismlar uchun umumlashgan Guk qonunidagi elastiklik xususiyatini xarakterlovchi noma’lum koefitsientlar soni nechta?

9 ta;

21 ta;

3 ta

6 ta;

11. Ortotrop jismlarda chiziqli nisbiy bo‘ylama deformatsiyalar qanday kuchlanishlarga bog‘liq bo‘ladi?

normal;

urinma;

normal va urinma;

bo‘ylama;

12. Ortotrop jismlarda chiziqli nisbiy burchak deformatsiyalar qanday kuchlanishlarga bog‘liq bo‘ladi?

urinma;
normal;
normal va urinma;
bo'ylama;

13. Ortotrop jismlar uchun umumlashgan Guk qonuni bir-biriga bog'liq bo'lmagan nechta guruhga ajraladi;

ikkita;
uchta;
to'rtta;
oltita;

14. Ortotrop jismlarda elastiklik xususiyatini xarakterlovchi noma'lum koeffitsientlar nimani bildiradi?

elastiklik modullarini;
plastiklik modullarini;
mexanik modullarni;
fizik modullarini;

15. Izotrop jismlarda elastiklik xususiyatini xarakterlovchi koeffitsientlar soni nechtaga teng?

3 taga;
6 taga;
9 taga;
15 taga;

16. Izotrop jismlar uchun bo'ylama elastiklik moduli qanday xususiyatini xarakterlaydi?

elastiklik xususiyatini;
plastiklik modullarini;
mexanik modullarini;
fizik modullarini;

17. Kuchlanish deb nimaga aytiladi?

ichki zo'riqish kuchlari intensivligining yuza birligidagi miqdoriga;
tashqi kuchlar intensivligining yuza birligidagi miqdoriga;
yoyilgan tashqi kuchlar intensivligining yuza birligidagi miqdoriga;
vaqtincha ta'sir etuvchi kuchlar intensivligining yuza birligidagi miqdoriga;

18. To'la kuchlanishni qanday tashkil etuvchi kuchlanishlarga ajratish mumkin?

normal va urinma kuchlanishlarga;
oktaedrik urinma kuchlanishlarga;

maksimal va minimal kuchlanishlarga;
ixtiyoriy kuchlanishlarga;

19. Jismdan ajratib olingan parallelepipedning bir tomoniga neecha kuchlanishlar ta'sir etadi?

3-ta;

4-ta;

2-ta;

6-ta;

20. Normal va urinma kuchlanishlar qanday indekslar bilan belgilanadi?

normal kuchlanish bitta indeks, urinma kuchlanish ikkita indeks bilan;

normal kuchlanish ikkita indeks, urinma kuchlanish bitta indeks bilan;

normal kuchlanish ikkita indeks, urinma kuchlanish ikkita indeks bilan;

normal kuchlanish bitta indeks, urinma kuchlanish bitta indeks bilan;

21. Urinma kuchlanishlarni birinchi va ikkinchi indeksleri nimani bildiradi?

urinma kuchlanishning birinchi indeksi kuchlanish qaysi yuzada yotishini, ikkinchi indeksi esa kuchlanish qaysi o'qqa parallel yo'nalganligini;

urinma kuchlanishning ikki indeksi ham kuchlanish qaysi o'qqa parallel yo'nalganligini;

urinma kuchlanishning ikki indeksi ham kuchlanish qaysi yuzada yotishini,

urinma kuchlanishning birinchi indeksi kuchlanishni musbat yo'nalishini, ikkinchi indeksi esa kuchlanish manfiy yo'nalganligini;

22. Normal kuchlanishni musbat ishorasi qanday qabul qilingan?

normal kuchlanish cho'zuvchi bo'lsa musbat;

normal kuchlanish siquvchi bo'lsa musbat;

normal kuchlanish yuzaga qarab yo'nalgan bo'lsa musbat;

normal kuchlanish yuzaga parallel yo'nalgan bo'lsa musbat;

23. Jism materiali izotrop bo'lsa, elastiklik xususiyatini xarakterlovchi koeffitsientlar orasida qanday bog'lanish mavjud?

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

$$\theta = \frac{1 - 2\mu}{E} S_1;$$

$$S_1 = \frac{E}{1 - 2\mu} \theta;$$

$$K = \frac{E}{3(1 - 2\mu)};$$

24. Jismning nisbiy hajmiy deformatsiya ifodasi qaysi javobda to'g'ri keltirilgan?

$$\theta = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z;$$

$$S_1 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z;$$

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

$$S_1 = \frac{E}{1 - 2\mu} \theta;$$

25. Jismning hajmiy kengayish moduli quyidagi javoblarning qaysi birida to'g'ri?

$$K = \frac{E}{3(1 - 2\mu)};$$

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

$$\theta = \frac{1 - 2\mu}{E} S_1;$$

$$S_1 = \frac{E}{1 - 2\mu} \theta;$$

26. Kuchlanishlarning birinchi invarianti qaysi javobda to'g'ri keltirilgan?

$$S_1 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z;$$

$$\theta = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z;$$

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

$$S_1 = \frac{E}{1 - 2\mu} \theta;$$

27. Guk qonunining teskari ifodasi qaysi javobda to'g'ri?

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= \lambda\theta + 2\nu\varepsilon_x; \tau_{xy} = \nu\gamma_{xy}; \\ \sigma_y &= \lambda\theta + 2\nu\varepsilon_y; \tau_{yz} = \nu\gamma_{yz}; \\ \sigma_z &= \lambda\theta + 2\nu\varepsilon_z; \tau_{zx} = \nu\gamma_{zx}. \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} \lambda &= \frac{E\mu}{(1+\mu)(1-2\mu)}; \\ G &= \frac{E}{2(1+\mu)}. \end{aligned} \right\}$$

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} \left[(1+\mu)\sigma_x - \frac{E\mu}{1-2\mu}\theta \right];$$

$$\left. \begin{aligned} S_1 &= \frac{E}{1-2\mu}\theta; \\ G &= \frac{E}{2(1+\mu)}. \end{aligned} \right\}$$

28. Jism materialining mexamik xarakteristikalari qaysi javobda to'g'ri?

- plastiklik va mustahkamlik;
- fizik va geometrik;
- proporsionallik va mustahkamlik;
- plastiklik va fizik;

29. Lyame koeffitsientlarining ifodasi qaysi javobda to'g'ri?

$$\lambda = \frac{E\mu}{(1+\mu)(1-2\mu)}; \nu = \frac{E}{2(1+\mu)};$$

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} \left[(1+\mu)\sigma_x - \frac{E\mu}{1-2\mu}\theta \right];$$

$$K = \frac{E}{3(1-2\mu)};$$

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} [(1+\mu)\sigma_x - \mu S_1];$$

30. Lyame koeffitsienti materialning qanday xarakteristikasini bildiradi?

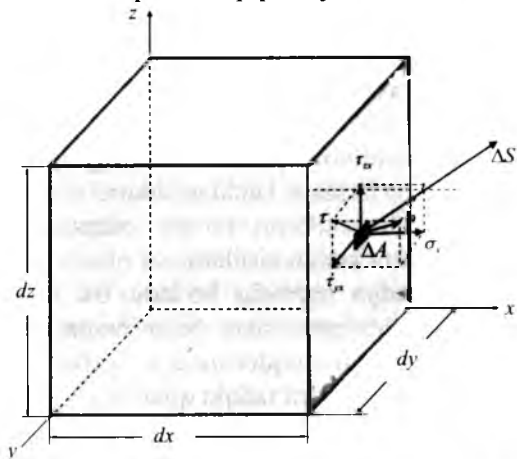
- elastiklik;
- plastiklik;
- mustahkamlik;
- proporsionallik;

IV BOB

BOSH KUHLANISHLAR. EKSTREMAL URINMA KUHLANISHLAR VA OKTAEDRIK KUHLANISHLAR

4.1-§.Kuchlanishlarni belgilash va ularning ishoralari

Elastik jism tashqi kuchlar ta'siridan deformatsiyalanadi va unda ichki zo'riqishlar hosil bo'ladi. Ichki zo'riqish kuchlari intensivligining yuza birligidagi miqdoriga kuchlanish deb ataladi. Tashqi kuch ta'sirida bo'lgan jismning biror $M(x, y, z)$ nuqtasining kuchlanganlik holatini tekshirish uchun, shu nuqta atrofida tomonlari dx, dy, dz bo'lgan juda kichik elementar parallelepiped ajratib olamiz, 4.1-chizma.



4.1-chizma. Tashqi kuch ta'sirida bo'lgan jismdan ajratib olingan kichik elementar parallelepiped.

Agar elementar ΔA yuzaga ta'sir qilayotgan ichki kuchni ΔS bilan belgilasak, to'la kuchlanish quyidagi formuladan topiladi.

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta S}{\Delta A}. \quad (4.1)$$

Bu to'la kuchlanishni σ normal va τ urinma kuchlanishlarga, o'z navbatida esa, urinma kuchlanishni ham o'qlar bo'yicha τ_{xz}, τ_{xy} tashkil etuvchilarga ajratish mumkin.

Xuddi shuningdek, parallelepipedning boshqa tomonlaridagi to'la kuchlanishlarni ham $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ normal va τ_{yz}, τ_{yx} urinma kuchlanishlarga ajratish mumkin. Urinma kuchlanishlar ikki indeks bilan belgilanadi, masalan, τ_{xz} urinma kuchlanishning birinchi indeksi kuchlanish qaysi yuzada yotishini, ikkinchi indeksi esa kuchlanish qaysi o'qqa parallel yo'nalganligini ko'rsatadi.

Normal kuchlanish musbat deb hisoblanadi, agar u cho'zuvchi bo'lsa.

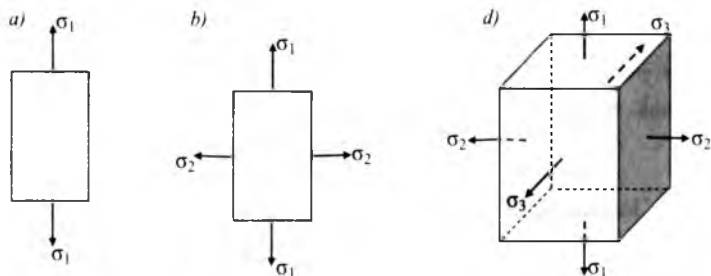
Agar yuza normal, koordinata o'qining musbat yo'nalishi bo'yicha yo'nalgan bo'lsa, musbat urinma kuchlanishlar qolgan ikki koordinata o'qlarining musbat yo'nalishi bo'yicha yo'naladi.

Agar yuza normal koordinata o'qining manfiy yo'nalishi bo'yicha yo'nalgan bo'lsa, musbat urinma kuchlanishlar ikki koordinata o'qlarining manfiy yo'nalishi bo'yicha yo'naladi.

4.2-§. Jism nuqtasi kuchlanganlik holati. Bosh kuchlanishlar

Konstruksiya elementlarining mustahkamligini ta'minlashda faqat ko'ndalang kesim yuzalaridagi kuchlanishlarni o'rganish etarli emas, balki konstruksiya elementlarini birorta nuqtasidan o'tuvchi turli tekisliklardagi eng katta kuchlanishlarni va ular hosil bo'lgan yuzalar holatini bilish maqsadga muvofiq bo'ladi. Bu masalani hal qilish uchun konstruksiya elementlarining biror nuqtasidan o'tuvchi qiya yuzaning qiyalik burchagi miqdorining o'zgarishi bilan kuchlanish miqdorining o'zgarish qonunini tadqiq qilamiz.

Biror nuqtaning kuchlanganlik holati deb – shu nuqtadan o'tuvchi barcha yuzalarda hosil bo'ladigan kuchlanishlar to'plamiga aytiladi.



4.2-chizma. Kuchlanganlik holati turlari.

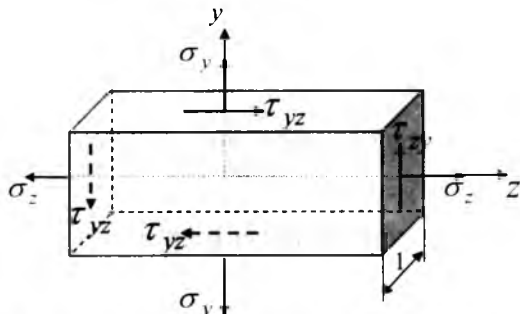
Tashqi kuchlar ta'sirida bo'lgan konstruksiya elementi ixtiyoriy nuqtasi atrofida fikran birotta elementar parallelepiped ajratib olamiz (4.2-chizma). Ajratib olingan elementar parallelepiped juda ham kichik bo'lganligi sababli barcha nuqtalarida hosil bo'lgan kuchlanishlar qaralayotgan "M" nuqtadagi kuchlanishlarga teng deb hisoblasak bo'ladi. Demak, parallelepiped tomonlari va ixtiyoriy kesimidagi kuchlanishlarni teng taralgan deb qarash mumkin.

4.2,*a*-chizmadagi kuchlanganlik holati konstruksiya elementlarining chiziqli cho'zilish (siqilish) holatini tasvirlab, u sterjenlarning oddiy cho'zilishi yoki siqilishiga mos keladi. 4.2,*b*-chizmadagi kuchlanganlik holati konstruksiya elementlarining tekis kuchlanish $\sigma_1 > \sigma_2$ holatini tasvirlaydi. 4.2,*d*-chizmadagi kuchlanganlik holati konstruksiya elementlarining hajmiy kuchlanish $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ holatini tasvirlaydi.

Tekis kuchlanganlik holati amaliyotda juda ham ko'p uchraydi, bunga misol qilib plastimkarni keltirish mumkin.

Tekis kuchlanganlik holatidagi konstruksiya elementidan birorta elementar parallelepiped ajratib olamiz va umumiy holda uning tashqi tomoniga ta'sir qilayotgan kuchlanishlarni ko'rsatamiz (4.3-chizma).

Cho'zuvchi normal kuchlanishni musbat, siquvchi kuchlanishni manfiy ishorali deb qabul qilamiz. Agar qaralayotgan yuzachaning tashqi normali va shu yuzachadagi urinma kuchlanish yo'nalishi o'zlariga mos keluvchi koordinata o'qlari yo'nalishi bilan ustma-ust tushsa, urinma kuchlanishlar ishorasini musbat deb qabul qilamiz.

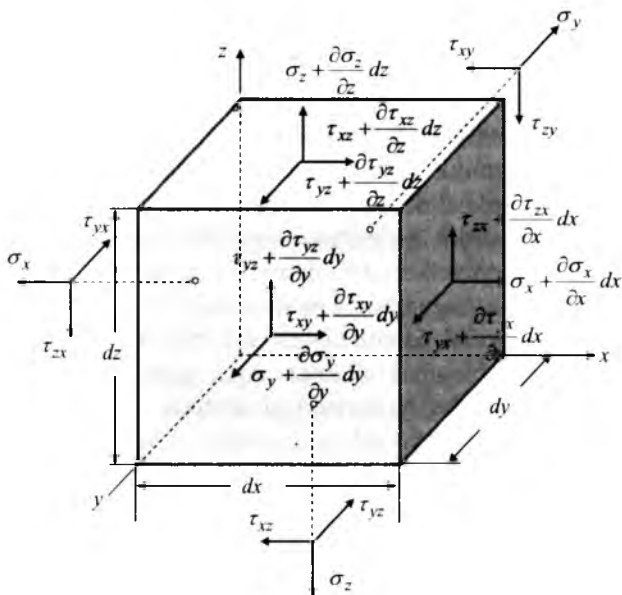


4.3-chizma. Tekis kuchlanganlik holatidagi element.

Hajmiy kuchlanganlik holatida konstruksiya elementlaridan ajratib olingan elementning tomonlariga $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ kuchlanishlar ta'sir etadi.

Bosh yuzalar deb- urinma kuchlanishlari nolga teng bo'lgan yuzalarga aytiladi. *Bosh kuchlanishlar* deb – bosh yuzalarga ta'sir etayotgan kuchlanishlarga aytiladi.

Umuman jismning ixtiyoriy nuqtasidan uchta o'zaro perpendikulyar tik tekislik o'tkazish mumkin. Jismning ixtiyoriy biror nuqtasidagi kuchlanish holati, shu nuqtadan o'tuvchi o'zaro perpendikulyar bo'lgan uchta tekislikda berilgan to'qqizta kuchlanish $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}, \tau_{yx}, \tau_{zy}, \tau_{xz}$ komponentalari orqali ifodalanadi (4.4-chizma).



4.4-chizma. Tomonlari koordinatalar tekisliklariga parallel bo'lgan element.

Bu kuchlanish komponentlaridan kuchlanish tenzori deb ataluvchi quyidagi matritsani tuzish mumkin.

$$T_{\sigma} = \begin{vmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{vmatrix} \quad (4.2)$$

Kuchlamishlar tenzorini shar tenzor va deviatorga ajratish mumkin.

$$T_{\sigma} = T_{\sigma}^{uu} + D_{\sigma}. \quad (4.3)$$

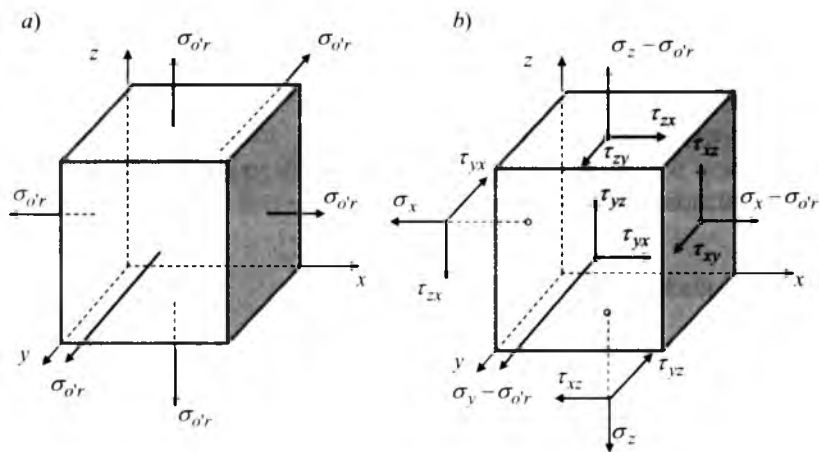
yoki

$$T_{\sigma} = \begin{vmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \sigma_{o'r} & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{o'r} & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{o'r} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \sigma_x - \sigma_{o'r} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y - \sigma_{o'r} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z - \sigma_{o'r} \end{vmatrix}. \quad (4.4)$$

bunda

$$\sigma_{o'r} = \frac{\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z}{3}. \quad (4.5)$$

Kuchlamishlarning shar tenzori ta'siri natijasida jismning hajmi o'zgaradi (4.5,a-chizma). Kuchlanish deviator tenzori ta'siri natijasida esa jismning shakli o'zgaradi (4.5,b-chizma).

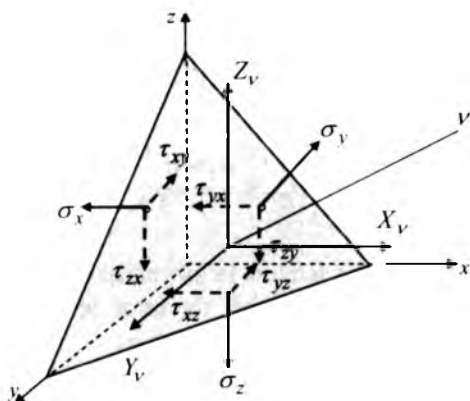


4.5-chizma. Shar va deviator tenzor kuchlanishlar ta'siri.

Tashqi normali ν bo'lgan ixtiyoriy qiya og'ma yuzadagi to'la kuchlanishlarning koordinata (x, y, z) o'qlaridagi proeksiyalari (4.6-chizma) quyidagi formuladan aniqlanadi.

$$\begin{aligned}
 X_v &= \sigma_x l + \tau_{xy} m + \tau_{xz} n; \\
 Y_v &= \tau_{yx} l + \sigma_y m + \tau_{yz} n; \\
 Z_v &= \tau_{zx} l + \tau_{zy} m + \sigma_z n.
 \end{aligned}
 \tag{4.6}$$

bunda $l = \cos(x, v)$, $m = \cos(y, v)$, $n = \cos(z, v)$ og' ma yuza normali v ning yo'naltiruvchi kosinuslaridir [28, 17-bet].



4.6-chizma. Parallelepipedning qiya kesim yuzasi.

Qiya yuzalardagi kuchlanishlar quyidagi formulalar yordamida aniqlanadi:

Qiya yuzadagi to'la kuchlanish

$$P_v = \sqrt{X_v^2 + Y_v^2 + Z_v^2}. \tag{4.7}$$

Normal kuchlanish

$$\sigma_v = X_v l + Y_v m + Z_v n. \tag{4.8}$$

Urinma kuchlanish

$$\tau_v = \sqrt{P_v^2 - \sigma_v^2}. \tag{4.9}$$

O'zaro perpendikulyar bo'lgan uchta bosh yuzaga nisbatan bir xil burchak hosil qilib o'tgan yuza $l = m = n = \frac{1}{\sqrt{3}}$ oktaedrik yuza deb ataladi. Bu yuzadagi kuchlanishlar quyidagi formulalar yordamida aniqlanadi:

To'la kuchlanish

$$P_v^2 = \frac{1}{3}(\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2). \quad (4.10)$$

Oktaedrik normal kuchlanish

$$\sigma_{okt} = \frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3); \quad \sigma_{okt} = \frac{1}{3}(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z). \quad (4.11)$$

Oktaedrik urinma kuchlanish

$$\tau_{okt} = \frac{1}{3}\sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2};$$

$$\tau_{okt} = \frac{1}{3}\sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}. \quad (4.12)$$

Normal kuchlanish intensivligi oktaedrik urinma kuchlanish orqali quyidagicha ifodalanadi.

$$\sigma_i = \frac{3}{\sqrt{2}}\tau_{okt} = \frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}. \quad (4.13)$$

Oktaedrik yuzalardagi urinma kuchlanish bosh urinma kuchlanishlar orqali quyidagicha yoziladi:

$$\tau_{okt} = \frac{2}{3}\sqrt{\tau_{12}^2 + \tau_{23}^2 + \tau_{31}^2}. \quad (4.14)$$

bu yerda

$$\tau_{12} = \pm \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}; \quad \tau_{23} = \pm \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{2}; \quad \tau_{31} = \pm \frac{\sigma_3 - \sigma_1}{2}. \quad (4.15)$$

Jismning berilgan nuqtasidagi maksimal va minimal urinma kuchlanishlar quyidagi formulalardan aniqlanadi:

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2};$$

$$\tau_{\min} = -\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}. \quad (4.16)$$

Bosh normal kuchlanishlar quyidagi kubik tenglamaning haqiqiy yechimlaridir.

$$\sigma^3 - J_{1\sigma}\sigma^2 + J_{2\sigma}\sigma - J_{3\sigma} = 0. \quad (4.17)$$

bu yerda

$$J_{1\sigma} = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z;$$

$$J_{2\sigma} = \sigma_x\sigma_y + \sigma_y\sigma_z + \sigma_z\sigma_x - \tau_{xy}^2 - \tau_{yz}^2 - \tau_{zx}^2;$$

$$J_{3\sigma} = \sigma_x\sigma_y\sigma_z + 2\tau_{xy}\tau_{yz}\tau_{zx} - \sigma_x\tau_{yz}^2 - \sigma_y\tau_{zx}^2 - \sigma_z\tau_{xy}^2. \quad (4.18)$$

Kuchlanish tenzorining birinchi, ikkinchi va uchinchi invariantlari deyiladi. Ularni bosh kuchlanishlar orqali quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\begin{aligned} J_{1\sigma} &= \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3; \\ J_{2\sigma} &= \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1; \\ J_{3\sigma} &= \sigma_1 \cdot \sigma_2 \cdot \sigma_3. \end{aligned} \quad (4.19)$$

Xuddi shuningdek kuchlanishlarning shar tenzori va deviatorining invariantlarini ham quyidagicha yozish mumkin:

$$\begin{aligned} J_{1D\sigma} &= 0; \\ J_{2D\sigma} &= \frac{1}{6} \left[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2) \right]; \end{aligned} \quad (4.20)$$

$$J_{3D\sigma} = \begin{vmatrix} \sigma_x - \sigma_{o'r} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y - \sigma_{o'r} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z - \sigma_{o'r} \end{vmatrix}.$$

Kubik (4.17) tenglamani yechishning ikki usulini ko'rib chiqamiz.

1. Tenglamani (4.17) chap tomonini ko'p hadga ajratish usuli. Agar (4.17) tenglamani chap tomonini quyidagicha ko'paytuvchilarga ajratish mumkin bo'lsa:

$$(\sigma_v - \sigma_1)(\sigma_v - \sigma_2)(\sigma_v - \sigma_3) = 0, \quad (4.21)$$

unda bu tenglamani ildizlari juda oson topiladi, ya'ni

$$\sigma_{v1} = \sigma_1; \quad \sigma_{v2} = \sigma_2; \quad \sigma_{v3} = \sigma_3. \quad (4.22)$$

2. Kubik (4.17) tenglamani trigonometrik usulda yechish.

(4.17) tenglamaga $\sigma = Y + J_{1\sigma}/3$ almashtirish kiritib, uni quyidagicha yozish mumkin:

$$Y^3 + PY + q = 0. \quad (4.23)$$

bu yerda

$$P = J_{2\sigma} - \frac{J_{1\sigma}^2}{3}; \quad (4.24)$$

$$q = -\frac{2}{27} J_{1\sigma}^3 + \frac{1}{3} J_{1\sigma} J_{2\sigma} - J_{3\sigma}.$$

Agar diskriminant manfiy, ya'ni $\Delta = P^3 + q^2 < 0$ bo'lsa (4.23) kub tenglamani uchala haqiqiy ildizi ham mavjuddir. Ular quyidagi formulalardan aniqlanadi:

$$\begin{aligned}
Y_1 &= -2r \cos \frac{\varphi}{3}; \\
Y_2 &= 2r \cos \left(60^\circ - \frac{\varphi}{3} \right); \\
Y_3 &= 2r \cos \left(60^\circ + \frac{\varphi}{3} \right).
\end{aligned} \tag{4.25}$$

bunda

$$\cos \varphi = \frac{q}{2r^3}; \quad r = \pm 0,5774 \sqrt{|P|}. \tag{4.26}$$

τ urinma kuchlanishning ishorasi q ning ishorasi bilan bir xil olinadi.

Kubik (4.23) tenglama yechimlarining to'g'riligi quyidagi formula yordamida tekshiriladi.

$$Y_1 + Y_2 + Y_3 = 0. \tag{4.27}$$

Bosh kuchlanishlar

$$\sigma' = Y_1 + \frac{J_{1\sigma}}{3}; \quad \sigma'' = Y_2 + \frac{J_{1\sigma}}{3}; \quad \sigma''' = Y_3 + \frac{J_{1\sigma}}{3}, \tag{4.28}$$

formuladan topiladi.

Aniqlangan kuchlanishlarni tegishli bosh kuchlanishlar $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ bilan belgilaymiz.

Kubik (4.17) tenglama ildizlarining ya'mi bosh kuchlanishlarning to'g'riligi quyidagi tenglamalar yordamida tekshiriladi.

$$\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3;$$

$$\sigma_x \sigma_y + \sigma_y \sigma_z + \sigma_z \sigma_x - \tau_{xy}^2 - \tau_{yz}^2 - \tau_{zx}^2 = \sigma_1 \sigma_2 + \sigma_2 \sigma_3 + \sigma_3 \sigma_1; \tag{4.29}$$

$$\sigma_x \sigma_y \sigma_z + 2\tau_{xy} \tau_{yz} \tau_{zx} - \sigma_x \tau_{yz}^2 - \sigma_y \tau_{zx}^2 - \sigma_z \tau_{xy}^2 = \sigma_1 \sigma_2 \sigma_3.$$

Bosh yuzalarning holati $l_i, m_i, n_i (i=1,2,3)$ yo'naltiruvchi kosinuslar bilan aniqlanadi, yo'naltiruvchi kosinuslar quyidagi tenglamalar sistemasi

$$\begin{aligned}
(\sigma_x - \sigma_i) l_i + \tau_{xy} m_i + \tau_{xz} n_i &= 0; \\
\tau_{yx} l_i + (\sigma_y - \sigma_i) m_i + \tau_{yz} n_i &= 0; \\
\tau_{zx} l_i + \tau_{zy} m_i + (\sigma_z - \sigma_i) n_i &= 0,
\end{aligned} \tag{4.30}$$

va

$$l^2 + m^2 + n^2 = 1 \tag{4.31}$$

shartdan aniqlanadi.

Yo'naltiruvchi kosinuslar qiymatlarining to'g'riligi, bosh kuchlanishlar vektorlarining ortogonalligidan foydalanib tekshiriladi, ya'ni

$$\begin{aligned} l_1 l_2 + m_1 m_2 + n_1 n_2 &= 0; \\ l_2 l_3 + m_2 m_3 + n_2 n_3 &= 0; \\ l_3 l_1 + m_3 m_1 + n_3 n_1 &= 0. \end{aligned} \quad (4.32)$$

Agar bosh tekisliklardan biri ma'lum bo'lsa, bosh kuchlanishlarni topish uchun quyidagi formuladan foydalaniladi

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}; \quad \sigma_3 = \sigma_z. \quad (4.33)$$

Bosh o'qlarning holati

$$\operatorname{tg} 2\alpha_0 = \frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y}, \quad (4.34)$$

formuladan aniqlanadi. Bu formuladan $\alpha_1 = \alpha_0$ va $\alpha_2 = \alpha_0 + 90^\circ$ ikkita burchak topiladi, ya'ni birinchi va ikkinchi bosh o'qlarning holati aniqlanadi.

Dekart koordinatalar sistemasida elastik jism muvozanatining differensial tenglamasini 4.4-chizmadagi elementar parallelepipedning muvozanat holatidan keltirib chiqariladi, ya'ni unga ta'sir qilayotgan barcha kuchlarning koordinata o'qlaridagi proeksiyalari yig'indisini nolga tenglashtirib quyidagi tenglamalar sistemasini hosil qilamiz

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\tau_{xz}}{z} + X &= 0 \left(\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \right); \\ \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + Y &= 0 \left(\rho \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} \right); \\ \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + Z &= 0 \left(\rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} \right), \end{aligned} \quad (4.35)$$

bunda X, Y, Z hajmiy kuchlarning koordinata o'qlari bo'yicha proeksiyalari.

Parallelepipedga ta'sir qilayotgan barcha kuchlardan x, y, z o'qlarga nisbatan olingan momentlar yig'indisini nolga tenglashtirib, undan quyidagilarni hosil qilamiz:

$$\begin{aligned} \tau_{xy} &= \tau_{yx}; \\ \tau_{yz} &= \tau_{zy}; \\ \tau_{zx} &= \tau_{xz}. \end{aligned} \quad (4.36)$$

Bu tenglik urinma kuchlanishiarning juftlik qonuni deyiladi. O'zaro perpendikulyar bo'lgan bir nuqtadan chiquvchi tekisliklarda urinma kuchlanishlar miqdor jihatidan o'zaro teng, yo'nalish jihatidan esa qarama-qarshidir.

Elastik jismning chegara yoki sirt sharti quyidagicha yoziladi.

$$\begin{aligned} X_v &= \sigma_x l + \tau_{xy} m + \tau_{xz} n; \\ Y_v &= \tau_{yx} l + \sigma_y m + \tau_{yz} n; \\ Z_v &= \tau_{zx} l + \tau_{zy} m + \sigma_z n. \end{aligned} \quad (4.37)$$

1-Masala. Elastik jismning biror nuqtasida quyidagi kuchlanish komponentlari berilgan:

$$\begin{aligned} \sigma_x &= 50 \text{ MPa}; \quad \sigma_y = 0; \quad \sigma_z = -30 \text{ MPa}; \\ \tau_{xy} &= 50 \text{ MPa}; \quad \tau_{yz} = -70 \text{ MPa}; \quad \tau_{zx} = 8 \text{ MPa}. \end{aligned}$$

Qiya yuza normalining holatini aniqlovchi yo'naltiruvchi kosinuslari $l = m = \frac{1}{2}$; $n = \frac{1}{\sqrt{2}}$ bo'lgan yuzada to'la, normal va urinma kuchlanishlar aniqlansin.

Yechish. Qiya yuzadagi to'la kuchlanishning tashkil etuvchilarini o'zaro perpendikulyar tekisliklardagi kuchlanishlar yordamida (4.37) formula orqali aniqlaymiz:

$$\begin{aligned} X_v &= 50 \cdot \frac{1}{2} + 50 \cdot \frac{1}{2} + 80 \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} = 50 + \frac{80}{\sqrt{2}}; \\ Y_v &= 50 \cdot \frac{1}{2} + 0 \cdot \frac{1}{2} - 70 \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} = 25 - \frac{70}{\sqrt{2}}; \\ Z_v &= 80 \cdot \frac{1}{2} - 70 \cdot \frac{1}{2} - 30 \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} = 5 - \frac{30}{\sqrt{2}}. \end{aligned}$$

To'la kuchlanishni (4.7) formuladan topamiz:

$$P_v = \sqrt{\left(50 + \frac{80}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(25 - \frac{70}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(5 - \frac{30}{\sqrt{2}}\right)^2} = 111 \text{ MPa}.$$

Normal kuchlanishni (4.8) formuladan aniqlaymiz:

$$\sigma_v = \left(50 + \frac{80}{\sqrt{2}}\right) \frac{1}{2} + \left(25 - \frac{70}{\sqrt{2}}\right) \frac{1}{2} + \left(5 - \frac{30}{\sqrt{2}}\right) \frac{1}{\sqrt{2}} = 54 \text{ MPa}.$$

Urinma kuchlanishni (4.9) formuladan topamiz:

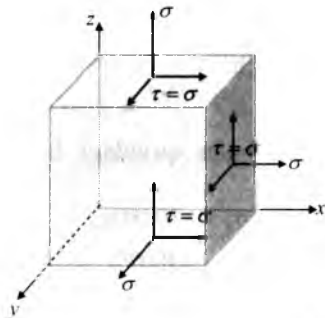
$$\tau_v = \sqrt{(111)^2 - (54)^2} = 97 \text{ MPa}.$$

2-Masala. 4.7-chizmada ko'rsatilgan parallelepipedning tomonlaridagi kuchlanish komponentlari bir-biriga teng, ya'ni

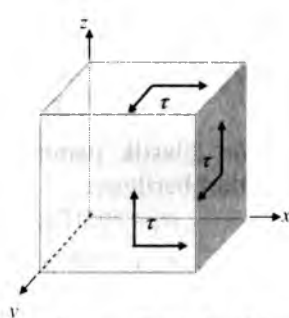
$\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z; \tau_{xy} = \tau_{yz} = \tau_{zx} = \sigma$ bo'lsa, bosh kuchlanishlar aniqlansin.

Javobi: $\sigma_1 = 3\sigma; \sigma_2 = \sigma_3 = 0$.

Ko'rsatma. Kuchlanish tenzorining invariantlari J_1, J_2, J_3 topilib (4.17) kub tenglamaga qo'yilsin va u tenglama yechilsin.



4.7-chizma. Hajmiy kuchlanish holatidagi parallelepiped.



4.8-chizma. Tekis kuchlanish holatidagi parallelepiped.

3-Masala. 4.8-chizmada ko'rsatilgan kuchlanish holati uchun bosh kuchlanishlar aniqlansin?

Javobi: $\sigma_1 = 2\tau; \sigma_2 = \sigma_3 = -\tau; l_1 = m_1 = n_1 = \frac{1}{\sqrt{2}}$.

4-Masala. Jismning ma'lum bir nuqtasida quyidagi kuchlanishlar sistemasi berilgan:

$$\begin{aligned} \sigma_x = 50 \text{ MPa}; \quad \sigma_y = 0; \quad \sigma_z = 110 \text{ MPa}; \\ \tau_{xy} = 30 \text{ MPa}; \quad \tau_{yz} = -30 \text{ MPa}; \quad \tau_{zx} = -80 \text{ MPa}. \end{aligned}$$

Koordinata o'qlariga nisbatan yo'naltiruvchi kosinuslari bir-biriga teng bo'lgan qiya yuzadagi to'la, normal va urinma kuchlanishlar topilsin.

Javobi: Qaralayotgan yuzga kuchlanishlardan holi.

5-Masala. Jismning ma'lum bir nuqtasida quyidagi kuchlanishlar sistemasi berilgan:

$$\sigma_x = \sigma_y = 50 \text{ MPa}; \quad \sigma_z = -100 \text{ MPa}; \quad \tau_{xy} = \tau_{yz} = \tau_{zx} = 0.$$

Shu nuqtadan o'tuvchi oktaedrik yuzalardagi to'la, normal va urinma kuchlanishlar topilsin.

Javobi:

$$\sigma_1 = \sigma_2 = 50 \text{ MPa}; \quad \sigma_3 = -100 \text{ MPa}; \quad \sigma_{okt} = 0; \quad \tau_{okt} = 50\sqrt{2} \text{ MPa}.$$

6-Masala. Agar $\sigma_y = 100\sqrt{3}$ deb qabul qilinsa 4-masalaning javobi qanday o'zgaradi?

Javobi: $P_v = 100 \text{ MPa}$; $\sigma_v = 100/\sqrt{3} \text{ MPa}$; $\tau_v = \sigma_v \cdot \sqrt{2}$.

7-Masala. Jismning biror-bir nuqtasida kuchlanish tenzori ma'lum bo'lsa:

$$T_\sigma = \begin{pmatrix} 10 & 0 & 15 \\ 0 & 20 & -15 \\ 15 & -15 & 0 \end{pmatrix}$$

Uni kuchlanishlarning shar tenzori hamda deviatoriga ajratilsin va kuchlanish deviatori ikkinchi invarianti hisoblansin.

Javobi: $J_{2D\sigma} = -55 \text{ MPa}$.

8-Masala. Jismning ma'lum bir nuqtasida kuchlanish tenzori birinchi invarianti $J_{1\sigma} = 30 \text{ MPa}$ va kuchlanish deviatori berilgan:

$$D_\sigma = \begin{pmatrix} 0 & 0 & -15 \\ 0 & 10 & 15 \\ -15 & 15 & -10 \end{pmatrix}$$

Shu nuqtadagi bosh kuchlanishlarni topish uchun asosiy tenglama tuzilsin.

9-Masala. Jismning biror-bir nuqtasida quyidagi kuchlanishlar komponentlari ma'lum bo'lsa:

$$\sigma_x = 20 \text{ MPa}; \quad \sigma_y = 15 \text{ MPa}; \quad \sigma_z = 60 \text{ MPa};$$

$$\tau_{xy} = 10 \text{ MPa}; \quad \tau_{yz} = 20 \text{ MPa}; \quad \tau_{zx} = -10 \text{ MPa}.$$

Bosh kuchlanishlar $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ qiymati aniqlansin.

Javobi: $\sigma_1 = 68,86 \text{ MPa}$; $\sigma_2 = 26,14 \text{ MPa}$; $\sigma_3 = 0$.

10-Masala. Jismning biror-bir nuqtasida quyidagi kuchlanishlar komponentlari ma'lum bo'lsa:

$$\sigma_x = 6 \text{ MPa}; \quad \sigma_y = 9 \text{ MPa}; \quad \sigma_z = 0;$$

$$\tau_{xy} = -2 \text{ MPa}; \quad \tau_{yz} = \tau_{zx} = 0.$$

Bosh kuchlanishlar $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ qiymati va ularning yo'nalishlari, ya'ni yo'naltiruvchi kosinuslari aniqlansin. Boshqurinma kuchlanishlar qiymati aniqlansin.

Javobi:

$$\sigma_1 = 10 \text{ MPa}; \quad \sigma_2 = 5 \text{ MPa}; \quad \sigma_3 = 0;$$

$$l_1 = 0,447; \quad m_1 = 0,894; \quad n_1 = 0;$$

$$l_2 = 0,894; \quad m_2 = 0,447; \quad n_2 = 0;$$

$$l_3 = 0; \quad m_3 = 0; \quad n_3 = 1;$$

$$\tau_{\max} = 5 \text{ MPa}; \quad \tau_{\min} = \tau_{12} = \tau_{23} = 2,5 \text{ MPa}.$$

11-Masala. Jismning biror-bir nuqtasida quyidagi kuchlanish komponentlari ma'lum bo'lsa:

$$\sigma_x = 180 \text{ MPa}; \quad \sigma_y = 180 \text{ MPa}; \quad \sigma_z = -60 \text{ MPa};$$

$$\tau_{xy} = -60 \text{ MPa}; \quad \tau_{yz} = 120 \text{ MPa}; \quad \tau_{zx} = -60 \text{ MPa}.$$

bosh kuchlanish qiymati va ularning yo'nalishlari aniqlansin.

Yechish.

1. Quyidagi formuladan kuchlanish tenzori $J_{1\sigma}; J_{2\sigma}; J_{3\sigma}$ invariantlarini aniqlaymiz:

$$J_{1\sigma} = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z = 180 + 180 - 60 = 300 \text{ MPa};$$

$$J_{2\sigma} = \sigma_x \sigma_y + \sigma_y \sigma_z + \sigma_z \sigma_x - \tau_{xy}^2 - \tau_{yz}^2 - \tau_{zx}^2 = \\ = 32400 - 10800 - 10800 - 3600 - 14400 - 3600 = -10800 (\text{MPa})^2;$$

$$J_{3\sigma} = \sigma_x \sigma_y \sigma_z + 2\tau_{xy} \tau_{yz} \tau_{zx} - \sigma_x \tau_{yz}^2 - \sigma_y \tau_{zx}^2 - \sigma_z \tau_{xy}^2 = \\ = -1944000 + 864000 - 2592000 - 648000 + 216000 = -4104000 (\text{MPa})^3.$$

2. Kubik (4.23) tenglamaning koeffitsientlarini (4.24) formuladan topamiz:

$$P = J_{2\sigma} - \frac{J_{1\sigma}^2}{3} = -10800 - \frac{(300)^2}{3} = -40800 (\text{MPa})^2;$$

$$q = -\frac{2}{27} J_{1\sigma}^3 + \frac{1}{3} J_{1\sigma} \cdot J_{2\sigma} - J_{3\sigma} = -\frac{2}{27} (300)^3 + \frac{1}{3} 300(-10800) - \\ - (-410400) = 1024000 (\text{MPa})^3;$$

$$\Delta = P^3 + q^2 = (-40800)^3 + (1024000)^2 = -66868736 \cdot 10^6 < 0.$$

bo'lgani uchun (4.23) kub tenglamaning uchala ildizi ham mavjud.

3. Kubik (4.23) tenglamaning ildizlarini aniqlaymiz.

$$r = \pm 0,5774 \sqrt{|-40800|} = \pm 0,5774 \cdot 201,99009.$$

$$\cos \varphi = \frac{q}{2r^3} = \frac{1024000}{3172850} = 0,322738;$$

$$\varphi = 71^{\circ}12'; \quad \frac{\varphi}{3} = 23^{\circ}44';$$

$$\cos \frac{\varphi}{3} = \cos 23^{\circ}44' = 0,9155;$$

$$\cos \left(60^{\circ} - \frac{\varphi}{3} \right) = \cos 36^{\circ}16' = 0,8062;$$

$$\cos \left(60^{\circ} + \frac{\varphi}{3} \right) = \cos 83^{\circ}44' = 0,1083.$$

ekanligini e'tiborga olib, (4.25) formuladan

$$Y_1 = -2r \cos 23^{\circ}44' = -213,54782;$$

$$Y_2 = 2r \cos 36^{\circ}16' = 188,05271;$$

$$Y_3 = 2r \cos 83^{\circ}44' = 25,49541.$$

Kubik tenglama yechimlarining to'g'riligini (4.27) formula yordamida tekshirib ko'ramiz.

$$-213,54782 + 188,05271 + 25,49511 = 0;$$

$$-213,54782 + 213,54782 = 0.$$

Bosh kuchlanishlarni (4.28) formuladan topamiz.

$$\sigma^I = Y_1 + \frac{J_1 \sigma}{3} = -213,54782 + 100 = -113,54782;$$

$$\sigma^{II} = Y_2 + \frac{J_1 \sigma}{3} = 188,05271 + 100 = 288,05271;$$

$$\sigma^{III} = Y_3 + \frac{J_1 \sigma}{3} = 25,49511 + 100 = 125,49511.$$

Bu kuchlanishlarni $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ bilan belgilash asosida quyidagicha yozish mumkin.

$$\sigma_1 = 288,05272 \text{ MPa}; \quad \sigma_2 = 125,49511 \text{ MPa}; \quad \sigma_3 = -113,54782 \text{ MPa}.$$

Kubik (4.17) tenglama ildizlarining to'g'riligini (4.29) formula yordamida tekshiramiz,

$$A. \quad 300 = 288,05272 + 125,49514 - 113,54782;$$

$$300 = 300.$$

$$\begin{aligned} \text{B. } -10800 &= 288,05272 \cdot (125,4954) + 125,49511 \cdot (-113,54782) + \\ &+ (-113,54782)(288,05272); \\ -10800 &= -10809,39. \end{aligned}$$

$$\text{xatolik } \frac{10800 - 10809,39}{10800} \cdot 100\% = 0,087\%.$$

$$\begin{aligned} \text{V. } -4104000 &= 288,05272(-113,54782) + 125,49514; \\ -4104000 &= -4104664. \end{aligned}$$

$$\text{xatolik } \frac{4104000 - 4104664}{4104000} \cdot 100\% = 0,018\%.$$

4. Bosh tekisliklarning yo'naltiruvchi kosinuslarini topamiz.

Buning uchun (4.30) tenglamaning ikkitasiga navbat bilan $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ kuchlanishlarning qiymatini qo'yamiz va uchinchi tenglama sifatida (4.31) ni ishlatamiz.

$$\left. \begin{aligned} (180 - 288,05272)l_1 + (-60)m_1 + (-60)n_1 &= 0; \\ (-60)l_1 + (180 - 288,05272)m_1 + 120n_1 &= 0; \\ l_1^2 + m_1^2 + n_1^2 &= 1. \end{aligned} \right\}$$

Bu tenglamalar sistemasining yechimlari:

$$l_1 = 0,5961 \text{ t} \quad m_1 = -0,7217 \text{ t} \quad n_1 = -0,3518 \text{ t}.$$

Yo'naltiruvchi kosinuslar l_2, m_2, n_2 topamiz.

$$\begin{aligned} (180 - 125,49511)l_2 + (-60)m_2 + (-60)n_2 &= 0; \\ (-60)l_2 + (180 - 125,49511)m_2 + 120n_2 &= 0; \\ l_2^2 + m_2^2 + n_2^2 &= 1. \end{aligned}$$

Bu tenglamalar sistemasining yechimlari:

$$l_2 = 0,7941 \text{ t} \quad m_2 = 0,5942 \text{ t} \quad n_2 = 0,1271 \text{ t}.$$

Tekshirish:

$$\begin{aligned} l_1 l_2 + m_1 m_2 + n_1 n_2 &= 0; \\ 0,47341 - 0,42888 - 0,04473 &= 0; \\ 0,00022 &\approx 0. \end{aligned}$$

Xuddi shuningdek qolgan yo'naltiruvchi kosinuslar ham topiladi.

12-Masala. Oktaedrik urinma kuchlanishlarning kvadrati, kuchlanishlar deviatorining ikkinchi invariantini $(-2/3)$ songa ko'paytmasiga teng ekanligi ko'rsatilsin?

$$\tau_{okt}^2 = -\frac{2}{3} J_{2D\sigma}.$$

13-Masala. Oktaedrik urinma kuchlanishning kvadrati, kuchlanish tenzorining hirinchi va ikkinchi invariantlari orqali quyidagicha yozilishi ko'rsatilsin.

$$\tau_{okt}^2 = \frac{2}{9} [J_{1\sigma}^2 - 3J_{2\sigma}].$$

14-Masala. Bosh o'qlarda yozilgan (ya'ni $S_1 = \sigma_1 - \sigma_{o'r}, \dots$), kuchlanishlar deviatorining komponentlarini, kuchlanish intensivligi orqali quyidagicha yozish mumkinligi isbotlansin.

$$S_1 = \frac{2}{3} \sigma_i \cos\left(\omega_\sigma - \frac{\pi}{3}\right); \quad S_2 = \frac{2}{3} \sigma_i \cos\left(\omega_\sigma + \frac{\pi}{3}\right);$$

$$S_3 = -\frac{2}{3} \sigma_i \cos \omega_\sigma;$$

$$\cos 3\omega_\sigma = \frac{27 J_{3D\sigma}}{2 \sigma_i^3}; \quad \text{yoki} \quad \sqrt{3} \operatorname{tg} \omega_\sigma = -\frac{S_1 - S_2}{S_3}.$$

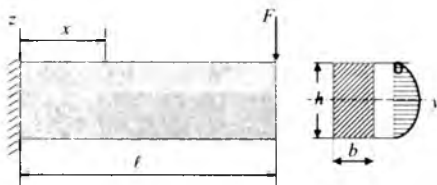
15-Masala. materiallar qarshiligidan ma'lumki, 4.9-chizmada ko'rsatilgan to'sin uchun kuchlanish komponentlari quyidagicha aniqlanadi:

$$\sigma_y = \frac{M_y}{J_y} z;$$

$$\sigma_x = \frac{P(l-x)}{b \cdot h^3} z.$$

12

Muvozanat differensial tenglama (4.35) dan foydalanib, ko'ndalang kesimdagi urinma kuchlanish τ_{xy} ifodasi aniqlansin va sirt chegara sharti tekshirilsin.



4.9-chizma. To'plangan kuch ta'siridagi konsol.

Javobi: $\tau_{xy} = \frac{3Q_z}{2bh^3} (h^2 - 4z^2).$

16-Masala. Kuchlanishlarning quyidagi ifodalari ma'lum:

$$\sigma_x = Ax^3y^2z; \quad \tau_{xy} = Bxy^2z^3.$$

Hajmiy kuchni hisobga olmay urinma kuchlanish τ_{xz} ifodasi topilsin.

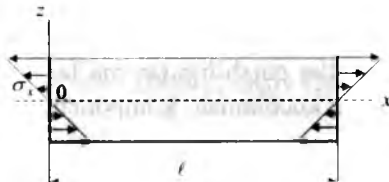
Javobi:
$$\tau_{xz} = -\frac{3}{2}Ax^2y^2z^2 - \frac{1}{2}Bxy^2z^4 + f(x, y).$$

17-Masala. 4.10-chizmada ko'rsatilgan to'sim uchun materiallar qarshiligi kursidan quyidagi munosabatlar ma'lum:

$$\sigma_x = \frac{M_y}{J_y} \cdot z;$$

$$\sigma_y = \sigma_z = \tau_{xy} = \tau_{yz} = \tau_{zx} = 0.$$

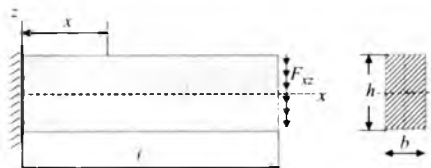
Muvozanat differensial tenglama va sirt chegara sharti qanoatlantirishni tekshirilsin?. To'sinning xususiy og'irligi e'tiborga olinmasin.



4.10-chizma. Sof egilish holatidagi to'sin.

18-Masala. Ko'ndalang kesimi to'g'ri to'rtburchak shaklida bo'lgan brus xOz tekisligida F kuch ta'sirida egiladi (4.11-chizmada). Bu kuch brus erkin uchining ko'ndalang kesimi bo'yicha quyidagi qonun asosida taqsimlangan:

$$F_{yz} = -\frac{F}{2J_y} \left(\frac{h^2}{4} - z^2 \right).$$



4.11-chizma. Erkin uchining ko'ndalang kesimi bo'yicha yuklangan konsol.

Materiallar qarshiligi kursidan ma'lumki kuchlanish komponentlari quyidagicha ifodalanadi:

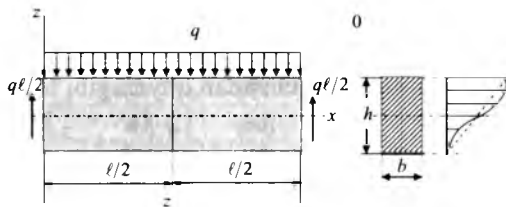
$$\sigma_x = \frac{F(l-x)}{J_y};$$

$$\tau_{xz} = -\frac{F}{2J_y} \left(\frac{h^2}{4} - z^2 \right);$$

$$\sigma_y = \sigma_z = \tau_{xy} = 0; \quad J_y = \frac{bh^3}{12}.$$

Muvozanat differensial tenglamasi va sirt chegarashtartini qanoatlantirilishi tekshirib ko'rsin. To'sinning xususiy og'irligi e'tiborga olinmasin.

19-Masala. 4.12-chizmada ko'rsatilgan to'sin uchun materiallar qarshiligi kursida topilgan kuchlanishlar σ_x , τ_{xy} , τ_{xz} tekis masala muvozanat differensial tenglamasini qanoatlantirishi tekshirib ko'rsin va σ_z normal kuchlanishni ifodalovchi formula aniqlansin.



4.12-chizma. Tekis taralgan yuk bilan yuklangan to'sin.

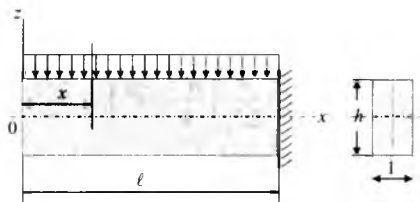
Javobi:
$$\sigma_z = -\frac{q}{2} + 1,5\frac{q}{h}z - 2\frac{q}{h^3}z^3.$$

20-Masala. 4.13-chizmada ko'rsatilgan to'sin ko'ndalang kesimida hosil bo'ladigan kuchlanishlarni topish uchun quyidagi formulalar:

$$\sigma_x = \frac{M}{J} z = \frac{qx^2}{2J} z = 6\frac{qh^2}{h^2};$$

$$\tau_{xz} = \frac{QS}{Jb} = \frac{qx}{bJ} \frac{1}{2} b \left(\frac{h^2}{4} - z^2 \right) = \frac{3qx}{2h} \left(1 - \frac{4z^2}{h^2} \right).$$

materiallar qarshiligi kursidan ma'lum. Bu formulalardan foydalanib muvozanat differensial tenglama yordamida normal kuchlanish σ_z ifodasi topilsin.



4.13-chizma. Tekis taralgan yuk bilan yuklangan konsol.

Yechish. Differensial tenglamalarning birinchisidan quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} = -\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z}; \quad \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} = \frac{qx}{J} \cdot z;$$

$$\sigma_x = \frac{qx^2}{2J} \cdot z + f_1(z); \quad J = \frac{h^3}{12}.$$

Bu yerda $f_1(z)$ - faqat z ga bog'liq bo'lgan noma'lum funksiya. Differensial tenglamaning uchinchisidan quyidagini topamiz:

$$\frac{\partial \sigma_z}{\partial z} = -\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x}; \quad \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} = -\frac{q}{2J} \left(\frac{h^2}{4} - z^2 \right);$$

$$\sigma_z = -\frac{q}{2J} \left(\frac{h^2}{4} z - \frac{z^3}{3} \right) + f_2(x).$$

Bu erda $f_2(x)$ - faqat x ga bog'liq bo'lgan funksiya bo'lib, u noma'lumdir. Bu noma'lum funksiya chegara shartlaridan foydalanib aniqlanadi, ya'ni

$$z = \frac{h}{2}; \quad \sigma_z = -q; \quad z = -\frac{h}{2}; \quad \sigma_z = 0;$$

$$0 = -\frac{q}{2J} \left[\left(\frac{h}{2} \right)^3 - \frac{(h/2)^3}{3} \right] + f_2(x);$$

$$-q = -\frac{q}{2J} \left[\left(-\frac{h}{2} \right)^3 - \frac{(-h/2)^3}{3} \right] + f_2(x).$$

Bu tenglamalar sistemasidan $f_2(x) = -\frac{q}{2}$.

Unda normal kuchlanish σ_z ni quyidagicha yozish mumkin:

$$\sigma_z = -\frac{q}{2} \left[1 + \frac{h^2}{4J} \cdot z - \frac{1}{3J} z^3 \right] = -\frac{q}{2} \left[1 + \frac{3}{h} z - \frac{4}{h^3} z^3 \right].$$

4.3-§. Mustaqil ish topshiriqlari

Berilgan variant bo'yicha, 4.1-jadvalda ko'rsatilgan kuchlanish holatlari uchun, bosh kuchlanishlar qiymati va ularning yo'nalishlari, ya'ni yo'naltiruvchi kosinuslari aniqlansin?

4.1-jadval

Nn/n	σ_x	σ_y	σ_z	τ_{xy}	τ_{yz}	τ_{zx}
1	100	-50	50	-75	25	-50
2	50	0	-30	50	-75	80
3	30	0	60	100	-80	20
4	100	50	-10	40	-20	30
5	10	0	-50	0	0	-50
6	40	0	0	30	15	10
7	0	10	-40	5	0	10
8	10	-20	30	20	30	40
9	100	60	-10	40	-20	30
10	60	20	10	40	0	0
11	30	-50	-60	10	-20	15
12	100	50	-10	40	-20	30
13	-70	-130	-120	120	60	90
14	-100	-100	-100	-50	80	100
15	180	180	-60	-60	120	-60
16	140	60	100	100	50	40
17	-100	-80	-120	80	90	90
18	110	130	60	-50	100	90
19	-120	-60	-120	100	60	60
20	-120	90	100	60	100	90
21	110	90	80	90	90	60
22	150	70	-100	-90	-80	60
23	-140	-60	-100	60	100	90
24	150	90	60	100	-150	50
25	130	100	70	90	100	90

Tayanch iboralari:

Bosh kuchlanishlar, ekstremal urinma kuchlanishlar, oktaedrik kuchlanishlar, kuchlanishlarni belgilash, ishoralari, tashqi kuchlar, deformatsiya, ichki zo'riqishlar, nuqta kuchlanganlik holati, paralelepiped, elementar yuza, to'la kuchlanish, normal va urinma kuchlanishlar, tashkil etuvchilar, ikki indeksli belgilash, musbat, manfiy, koordinata o'qlari, kuchlanganlik holati, o'zaro perpendikulyar, to'q-qizta kuchlanish komponentlari, matritsa, kuchlanishlar tenzori, shar tenzor va deviator, jismning hajmi, jismning shakli o'zgaradi, og'ma yuza normal, yo'naltiruvchi kosinuslar, oktaedrik yuza, kuchlanish intensivligi, oktaedrik urinma kuchlanish, maksimal va minimal urinma kuchlanishlar, kubik tenglama, haqiqiy yechimlari, kuchlanish tenzorining birinchi, ikkinchi va uchinchi invariantlari, kuchlanishlarning shar tenzori va deviatori invariantlari, tenglamani yechishning ikki usuli, tenglamaning o'ng tomonini ko'p hadga ajratish usuli, trigonometrik usul, diskriminant manfiy, Kubik tenglamaning uchala haqiqiy ildizi, yo'naltiruvchi kosinuslar, bosh kuchlanishlar vektorlarining ortogonalitigi, urinma kuchlanishlarning juftlik qonuni.

Test savollari:

1. Kuchlanish deb nimaga aytiladi?

ichki zo'riqish kuchlari intensivligining yuza birligidagi miqdoriga; tashqi kuchlar intensivligining yuza birligidagi miqdoriga; yoyilgan tashqi kuchlar intensivligining yuza birligidagi miqdoriga; vaqtincha ta'sir etuvchi kuchlar intensivligining yuza birligidagi miqdoriga;

2. To'la kuchlanishni qanday tashkil etuvchi kuchlanishlarga ajratish mumkin?

normal va urinma kuchlanishlarga;
oktaedrik urinma kuchlanishlarga;
maksimal va minimal kuchlanishlarga;
ixtiyoriy kuchlanishlarga;

3. Jismdan ajratib olingan paralelepipedning bir tomoniga nechta kuchlanishlar ta'sir etadi?

3 ta;
4 ta;

2 ta;

6 ta;

4. Normal va urinma kuchlanishlar qanday indekslar bilan belgilanadi?

normal kuchlanish bitta indeks, urinma kuchlanish ikkita indeks bilan;

normal kuchlanish ikkita indeks, urinma kuchlanish bitta indeks bilan;

normal kuchlanish ikkita indeks, urinma kuchlanish ikkita indeks bilan;

normal kuchlanish bitta indeks, urinma kuchlanish bitta indeks bilan;

5. Urinma kuchlanishlarning indeksleri nimani bildiradi?

urinma kuchlanishning birinchi indeksi kuchlanish qaysi yuzada yotishini, ikkinchi indeksi esa kuchlanish qaysi o'qqa parallel yo'nalganligini;

urinma kuchlanishning ikki indeksi ham kuchlanish qaysi o'qqa parallel yo'nalganligini;

urinma kuchlanishning ikki indeksi ham kuchlanish qaysi yuzada yotishini,

urinma kuchlanishning birinchi indeksi kuchlanish musbat yo'nalishni, ikkinchi indeksi esa kuchlanish manfiy yo'nalganligini;

6. Normal kuchlanishni musbat ishorasi qanday qabul qilingan?

normal kuchlanish cho'zuvchi bo'lsa musbat;

normal kuchlanish siquvchi bo'lsa musbat;

normal kuchlanish yuzaga qarab yo'nalgan bo'lsa musbat;

normal kuchlanish yuzaga parallel yo'nalgan bo'lsa musbat;

7. Urinma kuchlanishni musbat ishorasi qanday qabul qilingan?

yuza normali koordinata o'qining musbat yo'nalishi bo'yicha yo'nalgan bo'lsa musbat, urinma kuchlanishlar qolgan ikki koordinata o'qlarining musbat yo'nalishi bo'yicha yo'naladi;

yuza normali koordinata o'qining manfiy yo'nalishi bo'yicha yo'nalgan bo'lsa musbat, urinma kuchlanishlar ikki koordinata o'qlarining musbat yo'nalishl bo'yicha yo'naladi;

yuza normali koordinata o'qining musbat yo'nalishl bo'yicha yo'nalgan bo'lsa musbat, urinma kuchlanishlar ikki koordinata o'qlarining manfiy yo'nalishl bo'yicha yo'naladi;

yuza normali koordinata o'qining manfiy yo'nalishi bo'yicha yo'nalgan bo'lsa manfiy urinma kuchlanishlar ikki koordinata o'qlarining musbat yo'nalishi bo'yicha yo'naladi;

8. Jism nuqtasining kuchlanganlik holati deb nimaga aytiladi?

shu nuqtadan o'tuvchi barcha yuzalarda hosil bo'ladigan kuchlanishlar to'plamiga;

shu nuqtadan o'tmaydigan barcha yuzalarda hosil bo'ladigan kuchlanishlar to'plamiga;

shu nuqtadan o'tuvchi parallel yuzalarda hosil bo'ladigan kuchlanishlar to'plamiga;

shu nuqtadan o'tuvchi perpendikulyar yuzalarda hosil bo'ladigan kuchlanishlar to'plamiga;

9. Jism nuqtalarining qanday kuchlanganlik holatlarini bilasiz?

oddiy cho'zilish yoki siqilish, tekis kuchlanganlik, hajmiy kuchlanganlik holati;

chlziqli, tekis kuchlanmaganlik, hajmiy kuchlanganlik holati;

oddiy cho'zilish yoki siqilish, siljish, buralishdagi kuchlanganlik holati;

oddiy cho'zilish yoki siqilish, siljish, buralish va egilishdagi kuchlanganlik holati;

10. Bosh yuzalar deb qanday yuzaga aytiladi?

urinma kuchlanishlari nolga teng bo'lgan yuzalarga;

urinma kuchlanishlari maksimumga teng bo'lgan yuzalarga;

urinma kuchlanishlari minumumga teng bo'lgan yuzalarga;

urinma kuchlanishlari ekstrimal bo'lgan yuzalarga;

11. Bosh kuchlanishlar deb qanday kuchlanishlarga aytiladi?

bosh yuzalarga ta'sir etayotgan kuchlanishlarga;

bosh yuzalarga ta'sir etmayotgan kuchlanishlarga;

bosh yuzalarga perpendikulyar bo'lgan yuzalardagi kuchlanishlarga;

bosh yuzalarga ta'sir qilmayotgan kuchlarga;

12. Jismning ixtiyoriy nuqtasidagi kuchlanish holati nima bilan ifodalanadi?

shu nuqtadan o'tuvchi o'zaro perpendikulyar bo'lgan uchta tekislikda berilgan to'qqizta kuchlanish komponentlari orqali;

shu nuqtadan o'tuvchi o'zaro perpendikulyar bo'lgan uchta tekislikda berilgan to'qqizta normal kuchlanish komponentlari orqali;

shu nuqtadan o'tuvchi o'zaro perpendikulyar bo'lgan uchta tekislikda berilgan to'qqizta urinma kuchlanish komponentlari orqali;

shu nuqtadan o'tuvchi o'zaro perpendikulyar bo'lgan uchta tekislikda berilgan to'qqizta oktaedrik kuchlanish komponentlari orqali;

13. Jismdan ajratib olingan parallelepiped tomonlariga nechta kuchlanish omillari ta'sir etadi?

9 ta;

12 ta;

3 ta;

6 ta;

14. Kuchlanishlar tenzorini qanday tenzorlarga ajratish mumkin?

shar va deviator;

invariant va intensiv;

maksimal va minimal;

kuchlanish va deformatsiya;

15. Kuchlanishlar shar tenzorining ta'siri natijasida jismda qanday deformatsiya hosil bo'ladi?

jismning hajmi o'zgaradi;

jismning shakli o'zgaradi;

jismning xossasi o'zgaradi;

jismning xususiyati o'zgaradi;

16. Kuchlanishlar deviator tenzorining ta'siri natijasida jismda qanday deformatsiya hosil bo'ladi?

jismning shakli o'zgaradi;

jismning hajmi o'zgaradi;

jismning xususiyati o'zgaradi;

jismning xossasi o'zgaradi;

17. Tashqi normal v bo'lgan og'ma yuzadagi to'la kuchlanishlarning koordinata o'qlaridagi proeksiyalari qanday formuladan aniqlanadi?

$$X_v = \sigma_x l + \tau_{xy} m + \tau_{xz} n; Y_v = \tau_{yx} l + \sigma_y m + \tau_{yz} n; Z_v = \tau_{zx} l + \tau_{zy} m + \sigma_z n;$$

$$l = \cos(x, v), m = \cos(y, v), n = \cos(z, v);$$

$$\sigma_{okt} = \frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3); \tau_{okt} = \frac{1}{3}(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z);$$

$$P_v^2 = \frac{1}{3}(\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2);$$

18. Og'ma yuzalarning holati qaysi biridan aniqlanadi?

$$l = \cos(x, v), m = \cos(y, v), n = \cos(z, v);$$

$$X_v = \sigma_x l + \tau_{xy} m + \tau_{xz} n; Y_v = \tau_{yx} l + \sigma_y m + \tau_{yz} n; Z_v = \tau_{zx} l + \tau_{zy} m + \sigma_z n;$$

$$\sigma_{okt} = \frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3);$$

$$P_v^2 = \frac{1}{3}(\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2);$$

19. Qiya yuzalardagi to'la kuchdanish quyidagi formulalar yordamida aniqlanadi?

$$P_v = \sqrt{X_v^2 + Y_v^2 + Z_v^2};$$

$$\sigma_v = X_v l + Y_v m + Z_v n;$$

$$\tau_v = \sqrt{P_v^2 - \sigma_v^2};$$

$$\sigma_{okt} = \frac{1}{3}(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z);$$

20. Qiya yuzalardagi normal kuchlanishni aniqlanish formulasi ko'rsating?

$$\sigma_v = X_v l + Y_v m + Z_v n;$$

$$P_v = \sqrt{X_v^2 + Y_v^2 + Z_v^2};$$

$$\tau_v = \sqrt{P_v^2 - \sigma_v^2};$$

$$\sigma_{okt} = \frac{1}{3}(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z);$$

21. Qiya yuzalardagi urinma kuchlanish quyidagi formulalar yordamida aniqlanadi?

$$\tau_v = \sqrt{P_v^2 - \sigma_v^2};$$

$$P_v = \sqrt{X_v^2 + Y_v^2 + Z_v^2};$$

$$\sigma_v = X_v l + Y_v m + Z_v n;$$

$$\sigma_{okt} = \frac{1}{3}(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z);$$

22. Qanday yuzaga oktaedrik yuzga deb ataladi?

o'zaro perpendikulyar bo'lgan uchta bosh yuzga nisbatan bir xil burchak hosil qilib o'tgan yuzaga;

o'zaro parallel bo'lgan uchta bosh yuzaga nisbatan bir xil burchak hosil qilib o'tgan yuzaga;

o'zaro parallel va perpendikulyar bo'lgan uchta bosh yuzaga nisbatan bir xil burchak hosil qilib o'tgan yuzaga;

o'zaro ixtiyoriy burchak ostida bo'lgan uchta bosh yuzaga nisbatan bir xil burchak hosil qilib o'tgan yuzaga;

23. Jism kuchlanganlik holatining nechta invariantlari bor?

3 ta;

9 ta;

5 ta;

6 ta;

24. Oktaedrik normal kuchlanish quyidagi formulalarning qasi biridan aniqlanadi?

$$\begin{cases} \sigma_{okt} = \frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3); & \sigma_{okt} = \frac{1}{3}(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z); \\ \tau_{12} = \pm \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}, \quad \tau_{23} = \pm \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{2}, \quad \tau_{31} = \pm \frac{\sigma_3 - \sigma_1}{2}; \\ \tau_{okt} = \frac{1}{3}\sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}; \\ \tau_{okt} = \frac{1}{3}\sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}; \\ \sigma_1 = \frac{3}{\sqrt{2}}\tau_{okt} = \frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}; \end{cases}$$

25. Normal kuchlanish orqali quyidagi formulaning qaysi biridan kuchlanish intensivligi aniqlanadi?

$$\begin{cases} \sigma_1 = \frac{3}{\sqrt{2}}\tau_{okt} = \frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}; \\ \begin{cases} \sigma_{okt} = \frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3); & \sigma_{okt} = \frac{1}{3}(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z); \\ \tau_{12} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}, \quad \tau_{23} = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{2}, \quad \tau_{31} = \frac{\sigma_3 - \sigma_1}{2}; \end{cases} \\ \tau_{okt} = \frac{1}{3}\sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}; \\ \tau_{okt} = \frac{1}{3}\sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}; \end{cases}$$

26. Bosh kuchlanishlarni aniqlash uchun kuhik tenglamani qanday yechish usullari bor?

ko'paytuvchilarga ajratish, trigonometrik;

bo'luvchilarga ajratish, geometrik;

bo'linuvchilarga ajratish, trigonometrik;

ko'p hadlarga ajratish, simmetrik;

27. Kubik tenglama ildizlarining, ya'ni bosh kuchlanishlarning to'g'riligi quyidagi qaysi formulalardan tekshiriladi?

$$\begin{cases} \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3; \\ \sigma_1\sigma_1 + \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_3 - \tau_{xx}^2 - \tau_{yy}^2 - \tau_{zz}^2 = \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1; \\ \sigma_1\sigma_1\sigma_2 + 2\tau_{xx}\tau_{yy}\tau_{zz} - \sigma_1\tau_{xx}^2 - \sigma_1\tau_{yy}^2 - \sigma_2\tau_{yy}^2 = \sigma_1\sigma_2\sigma_3; \end{cases}$$

$$\sigma' = Y_1 + \frac{J_{1\sigma}}{3}; \quad \sigma'' = Y_2 + \frac{J_{1\sigma}}{3}; \quad \sigma''' = Y_3 + \frac{J_{1\sigma}}{3};$$

$$\begin{cases} J_{1\sigma} = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3; \\ J_{2\sigma} = \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1; \\ J_{3\sigma} = \sigma_1 \cdot \sigma_2 \cdot \sigma_3; \end{cases}$$

$$\sigma^3 - J_{1\sigma}\sigma^2 + J_{2\sigma}\sigma - J_{3\sigma} = 0;$$

28. Maksimal urinma kuchlanish quyidagi qaysi formuladan aniqlanadi?

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2};$$

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2};$$

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2};$$

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{2};$$

29. Urinma kuchlanishlarning juftlik qonuni qanday ta'riflanadi?

o'zaro perpendikulyar bo'lgan bir nuqtadan chiquvchi tekisliklarda urinma kuchlanishlar miqdor jihatidan o'zaro teng, yo'nalish jihatidan esa qarama-qarshi;

o'zaro parallel bo'lgan bir nuqtadan chiquvchi tekisliklarda urinma kuchlanishlar miqdor jihatidan o'zaro teng emas, yo'nalish jihatidan esa qarama-qarshi;

o'zaro parallel va perpendikulyar bo'lgan bir nuqtadan chiquvchi tekisliklarda urinma kuchlanishlar miqdor jihatidan o'zaro teng, yo'nalish jihatidan esa qarama-qarshi;

o‘zaro perpendikulyar bo‘lgan bir nuqtadan chiquvchi tekisliklarda urinma kulanishlar miqdor jihatidan o‘zaro teng, yo‘nalishi ham bir tomonga yo‘nalgan;

30. Elastik jismning chegara yoki sirt sharti quyidagi javoblarning qaysi birida to‘g‘ri keltirilgan?

$$\begin{cases} X_i = \sigma_i l + \tau_{i3} m + \tau_{i2} n; & Y_i = \tau_{ix} l + \sigma_i m + \tau_{iz} n; \end{cases}$$

$$\begin{cases} Z_i = \tau_{ix} l + \tau_{iy} m + \sigma_i n; \end{cases}$$

$$\tau_{xy} = \tau_{yx}; \tau_{yz} = \tau_{zy}; \tau_{zx} = \tau_{xz};$$

$$\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3;$$

$$\sigma' = Y_1 + \frac{J_1 \sigma}{3}; \quad \sigma'' = Y_2 + \frac{J_1 \sigma}{3}; \quad \sigma''' = Y_3 + \frac{J_1 \sigma}{3};$$

JISM NUQTASINING DEFORMATSIYA HOLATI. BOSH DEFORMATSIYALAR

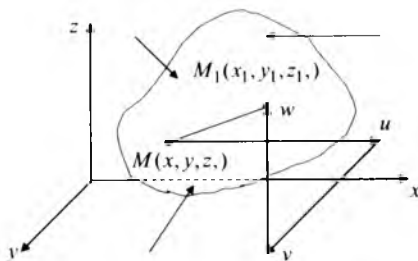
5.1-§. Bosh deformatsiyalar. Nuqtaning kuchlanganlik va deformatsiyalangan holatlarining o'xshashligi

Elastik jismlarning ko'chishim ikki guruhga bo'lish mumkin:

1. Jismning deformatsiyalanmay butunlay ko'chishi, bunda jism shakliga va zarralarining bir-biriga nisbatan joylashgan holati o'zgar-maydi [30,86-bet].

2. Jismning ma'lum bo'lagining ko'chishi, bunda jism deformatsi-yalamb, uning zarralari bir-biriga nisbatan o'z holatini o'zgartiradi.

Birinchi hol ko'chish absolyut qattiq jismlarning ko'chishi bilan bog'liq bo'lib nazariy mexanika kursida o'rganiladi. Deformatsiya-lanuvchi qattiq jism nazariyasida tashqi kuch ta'siri natijasidan jism deformatsiyasi, ya'ni biror $M(x, y, z)$ nuqtaning $M_1(x_1, y_1, z_1)$ holatiga ko'chishini o'rganadi va bu ko'chishni koordinata o'qlaridagi proeksiyalari $u = u(x, y, z)$; $v = v(x, y, z)$, $w = w(x, y, z)$ kabi ifodalanadi (5.1-chizma).



5.1-chizma. Tashqi kuchlar ta'siridagi jism nuqtasining ko'chishlari.

Jism ixtiyoriy nuqtalarining ko'chish qiymatlari har xil bo'lishi, jismning deformatsiyalanishiga olib keladi. Jism deformatsiyalangan-da ikki xil: chiziqli va burchak deformatsiyalar hosil bo'ladi. Chiziqli

va burchak deformatsiya komponentlari mos ravishda $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z, \gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}, \gamma_{yx}, \gamma_{zy}, \gamma_{xz}$ bilan belgilanadi.

Dekart koordinata sistemasida deformatsiya komponentlari bilan ko'ehlish komponentalari orasida quyidagi differensial bog'lanishlar mavjud:

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{\partial u}{\partial x}; & \gamma_{xy} &= \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}; \\ \varepsilon_y &= \frac{\partial v}{\partial y}; & \gamma_{yz} &= \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y}; \\ \varepsilon_z &= \frac{\partial w}{\partial z}; & \gamma_{zx} &= \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z}. \end{aligned} \quad (5.1)$$

bo'lib, bu formulalarga Koshi formulalari deb ataladi.

Silindrik *xor* koordinata sistemasida Koshi formulalari quyidagicha ifodaladi.

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{\partial u}{\partial x}; & \gamma_{x\theta} &= \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial u}{\partial \theta} + \frac{\partial v}{\partial x}; \\ \varepsilon_\theta &= \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{w}{r}; & \gamma_{\theta r} &= \frac{\partial v}{\partial r} - \frac{v}{r} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial w}{\partial \theta}; \\ \varepsilon_r &= \frac{\partial w}{\partial r}; & \gamma_{rx} &= \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial r}. \end{aligned} \quad (5.2)$$

Deformatsiya komponentlari (5.1) Sen-Venanning deformatsiya uzluksizligi shartini qanoatlantiradi:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial x^2} &= \frac{\partial^2 \gamma_{xy}}{\partial x \partial y}; & \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial z} - \frac{\partial \gamma_{zx}}{\partial x} - \frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial y} \right) &= 2 \frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial x \partial z}; \\ \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial y^2} &= \frac{\partial^2 \gamma_{yz}}{\partial y \partial z}; & \frac{\partial}{\partial x} \left(-\frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial z} - \frac{\partial \gamma_{zx}}{\partial y} \right) &= 2 \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial y \partial z}; \\ \frac{\partial^2 \varepsilon_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_z}{\partial z^2} &= \frac{\partial^2 \gamma_{zx}}{\partial z \partial x}; & \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial y} - \frac{\partial \gamma_{zx}}{\partial z} \right) &= 2 \frac{\partial^2 \varepsilon_z}{\partial x \partial y}. \end{aligned} \right\} \quad (5.3)$$

Kuchlanishlar nazariyasi va deformatsiya nazariyasi orasidagi o'x-shashlikdan foydalanib, deformatsiya nazariyasida kerakli bo'ladigan barcha formulalarni, kuchlanishlar nazariyasidagi kabi ifodalash mumkin.

Bosh deformatsiyalar quyidagi tenglamadan aniqlanadi.

$$\varepsilon^3 - J_{1\varepsilon} \varepsilon^2 + J_{2\varepsilon} \varepsilon - J_{3\varepsilon} = 0. \quad (5.4)$$

Bu yerda

$$J_{1\varepsilon} = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z;$$

$$J_{2\varepsilon} = \varepsilon_x \varepsilon_y + \varepsilon_y \varepsilon_z + \varepsilon_z \varepsilon_x - \frac{1}{4}(\gamma_{xy}^2 + \gamma_{yz}^2 + \gamma_{zx}^2); \quad (5.5)$$

$$J_{3\varepsilon} = \varepsilon_x \varepsilon_y \varepsilon_z + \frac{1}{4} \gamma_{xy} \gamma_{yz} \gamma_{zx} - \frac{1}{4}(\varepsilon_x \gamma_{yz}^2 + \varepsilon_y \gamma_{zx}^2 + \varepsilon_z \gamma_{xy}^2).$$

Agar (5.4) kubik tenglamaga $\varepsilon = Y + \frac{J_{1\varepsilon}}{3}$ ni qo'ysak, u quyidagi ko'rinishda yoziladi

$$Y^3 + PY + q = 0. \quad (5.6)$$

Bu yerda

$$P = J_{2\varepsilon} - \frac{J_{1\varepsilon}^2}{3}; \quad q = -\frac{2}{27} J_{1\varepsilon}^3 + \frac{1}{3} J_{1\varepsilon} J_{2\varepsilon} - J_{3\varepsilon}. \quad (5.7)$$

Agar diskriminant $\Delta = P^3 + q^2 < 0$ manfiy bo'lsa, kubik tenglamaning (5.6) uchala haqiqiy ildizlari ham mavjuddir. Ular quyidagi formulalardan aniqlanadi:

$$Y_1 = -r \cos \frac{\varphi}{3}; \quad Y_2 = 2r \cos \left(60^\circ - \frac{\varphi}{3} \right); \quad Y_3 = 2r \cos \left(60^\circ + \frac{\varphi}{3} \right); \quad (5.8)$$

$$\cos \varphi = \frac{q}{2r^3}; \quad r = \pm 0,51774 \sqrt{|P|}.$$

Bunda r ishorasi q ning ishorasi bilan bir xil olinadi.

Kubik (5.6) tenglama ildizlarining to'g'ri topilganligi quyidagi tenglama yordamida tekshiriladi:

$$Y_1 + Y_2 + Y_3 = 0. \quad (5.9)$$

Bosh deformatsiyalarni topamiz

$$\varepsilon' = Y_1 + \frac{J_{1\varepsilon}}{3}; \quad \varepsilon'' = Y_2 + \frac{J_{1\varepsilon}}{3}; \quad \varepsilon''' = Y_3 + \frac{J_{1\varepsilon}}{3}. \quad (5.10)$$

Aniqlangan deformatsiyalar tegishlicha bosh deformatsiyalar $\varepsilon_1 > \varepsilon_2 > \varepsilon_3$ bilan belgilanadi. Kubik (5.4) tenglama ildizlarining to'g'riligi quyidagi formulalardan tekshiriladi:

$$\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3;$$

$$\varepsilon_x \varepsilon_y + \varepsilon_y \varepsilon_z + \varepsilon_z \varepsilon_x - \frac{1}{4}(\gamma_{xy}^2 + \gamma_{yz}^2 + \gamma_{zx}^2) = \varepsilon_1 \varepsilon_2 + \varepsilon_2 \varepsilon_3 + \varepsilon_3 \varepsilon_1; \quad (5.11)$$

$$\varepsilon_x \varepsilon_y \varepsilon_z + \frac{1}{4}(\gamma_{xy} \gamma_{yz} \gamma_{zx}) - \frac{1}{4}(\varepsilon_x \gamma_{yz}^2 + \varepsilon_y \gamma_{zx}^2 + \varepsilon_z \gamma_{xy}^2) = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3.$$

Bosh yuzalarning holati l_i, m_i, n_i ($i=1, 2, 3$) yo'naltiruvchi kosinuslar bilan aniqlanadi. Yo'naltiruvchi kosinuslar quyidagi tenglamalar sistemasi

$$\begin{aligned}(\varepsilon_x - \varepsilon_i)l_i + \frac{1}{2}\gamma_{xy}m_i + \frac{1}{2}\gamma_{xz}n_i &= 0; \\ \frac{1}{2}\gamma_{yx}l_i + (\varepsilon_y - \varepsilon_i)m_i + \frac{1}{2}\gamma_{yz}n_i &= 0; \\ \frac{1}{2}\gamma_{zx}l_i + \frac{1}{2}\gamma_{zy}m_i + (\varepsilon_z - \varepsilon_i)n_i &= 0,\end{aligned}\quad (5.12)$$

va $l_i^2 + m_i^2 + n_i^2 = 1$ shartidan topiladi.

Yo'naltiruvchi kosinuslar l_i, m_i, n_i qiymatlarining to'g'ri topilganligi, ularning ortogonalligidan foydalamb tekshiriladi:

$$\begin{aligned}l_1l_2 + m_1m_2 + n_1n_2 &= 0; \\ l_2l_3 + m_2m_3 + n_2n_3 &= 0; \\ l_3l_1 + m_3m_1 + n_3n_1 &= 0.\end{aligned}\quad (5.13)$$

Ixtiyoriy v yo'nalishidagi nisbiy cho'zilish deformatsiyasi, deformatsiya komponentlari orqali quyidagicha ifodalanadi:

$$\varepsilon_v = \varepsilon_x l^2 + \varepsilon_y m^2 + \varepsilon_z n^2 + \gamma_{xy}lm + \gamma_{yz}mn + \gamma_{zx}nl. \quad (5.14)$$

Hajmiy deformatsiya, deformatsiya komponentlari orqali quyidagicha ifodalanadi:

$$\theta = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z. \quad (5.15)$$

Oktaedrik yuzalardagi deformatsiyalar va siljish deformatsiyalari

$$\begin{aligned}\varepsilon_{okt} &= \frac{1}{3}(\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3); \\ \gamma_{okt} &= \frac{2}{3}\sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2}.\end{aligned}\quad (5.16)$$

Deformatsiya intensivligi

$$\varepsilon_i = \frac{2}{3\sqrt{2}}\sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_1 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + \frac{2}{3}(\gamma_{xy}^2 + \gamma_{yz}^2 + \gamma_{zx}^2)}. \quad (5.17)$$

formuladan topiladi.

Agar bosh tekisliklardan biri ma'lum bo'lsa, bosh deformatsiyalar quyidagi formuladan topiladi.

$$\varepsilon_{1,2} = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{2} \pm \frac{1}{2}\sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + \gamma_{12}^2}; \quad \varepsilon_3 = \varepsilon_2. \quad (5.18)$$

Birinchi ikki bosh o'qning holati quyidagi formuladan topiladi.

$$\operatorname{tg} 2\alpha_0 = \frac{\gamma_{xy}}{\varepsilon_x - \varepsilon_y}. \quad (5.19)$$

Bu formuladan $\alpha_1 = \alpha_0$ va $\alpha_2 = \alpha_0 + 90^\circ$ ikkita burchak aniqlanadi. Bosh misbiy deformatsiyalar $\varepsilon_1 > \varepsilon_2 > \varepsilon_3$ deb qabul qilmadi.

Elastik jismga ta'sir etayotgan kuchlanishlar va jismda hosil bo'ladigan deformatsiyalar orasida quyidagi bog'lanishlar mavjud

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{1}{E} [\sigma_x - \mu(\sigma_y + \sigma_z)]; & \gamma_{xy} &= \frac{1}{G} \tau_{xy}; \\ \varepsilon_y &= \frac{1}{E} [\sigma_y - \mu(\sigma_x + \sigma_z)]; & \gamma_{yz} &= \frac{1}{G} \tau_{yz}; \\ \varepsilon_z &= \frac{1}{E} [\sigma_z - \mu(\sigma_x + \sigma_y)]; & \gamma_{zx} &= \frac{1}{G} \tau_{zx}; \end{aligned} \quad (5.20)$$

bu yerda

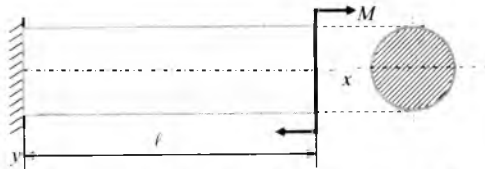
$$G = \frac{E}{2(1+\mu)}. \quad (5.21)$$

bu munosabatlarga umumlashgan Guk qonumi deyiladi. Umumlashgan Guk qonuni fizik qonun bo'lib, u kuchlanish komponentlari bilan deformatsiya komponentlari orasidagi bog'lanishni ifodalaydi.

1. *Masala.* 5.2-chizmada ko'rsatilgan to'sin uchun materiallar qarshiligidan deformatsiya komponentlari ma'lum:

$$\varepsilon_x = \frac{M}{EJ} \cdot y; \quad \varepsilon_y = \varepsilon_z = -\mu \varepsilon_x; \quad \gamma_{xy} = \gamma_{yz} = \gamma_{zx} = 0.$$

Koshi formulalaridan foydalanib ko'chish komponentlari topilsin.



5.2-chizma. Juft kuch ta'siridagi konsol.

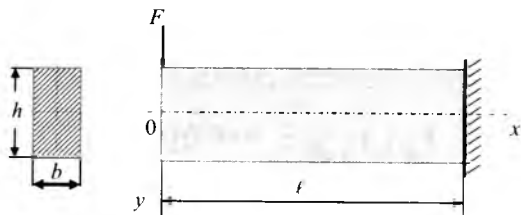
Javobi: $U = \frac{M}{EJ} xy; \quad V = -\frac{Mx^2}{2EJ} - \mu \frac{M(y^2 - z^2)}{2EJ}; \quad W = -\mu \frac{M}{EJ} yz.$

2. *Masala.* 5.3-chizmada ko'rsatilgan to'sin uchun deformatsiya komponentlari ma'lum:

$$\varepsilon_x = \frac{M \cdot y}{EJ}; \quad \varepsilon_y = -\mu \varepsilon_x; \quad \gamma_{xy} = \frac{Q S^{ajr}}{G \cdot b \cdot J};$$

$$J = \frac{bh^3}{12}; \quad S^{ajr} = \frac{b}{2} \left(\frac{h^2}{4} - y^2 \right); \quad G = \frac{E}{2(1+\mu)}.$$

Ko'chishlar $u = u(x, y)$; $v = v(x, y)$; $w = 0$ ekanligim e'tiborga olib, Koshi formulalaridan ko'chish komponentlari topilsin.



5.3-chizma. To'plangan kuch ta'siridagi konsol.

Yechish. To'sinning ixtiyoriy ko'ndalang kesimidagi eguvchi moment va ko'ndalang kuch ifodalarini $M = -Fx$, $Q = -F$ e'tiborga olib, Koshi (5.2) formulasiqa deformatsiya komponentlarini qo'yamiz.

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \varepsilon_x = \frac{M \cdot y}{EJ} = -Fx \cdot \frac{y}{EJ};$$

$$\frac{\partial v}{\partial y} = \varepsilon_y = -\mu \varepsilon_x = \mu \frac{F \cdot x \cdot y}{EJ}; \quad (a)$$

$$\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} = \gamma_{xy} = -\frac{1+\mu}{EJ} F \left(\frac{h^2}{4} - y^2 \right).$$

Ushbu (a) tenglamalar sistemasining birinchi va ikkinchi tenglamalarini integrallab quyidagilarni hosil qilamiz:

$$u = -\frac{Fy x^2}{EJ 2} + f_1(y); \quad v = \mu \frac{Fx y^2}{EJ 2} + f_2(x). \quad (b)$$

Bu ifodalardagi $f_1(y)$, $f_2(x)$ lar integrallash natijasida hosil bo'lgan ixtiyoriy funksiyalardir.

Integrallash natijasida aniqlangan ko'chish komponentlarini (b) ni (a) formulaning uchinchisiga qo'yamiz, unda:

$$\frac{\partial f_1(y)}{\partial y} - \frac{Fx^2}{2EJ} + \frac{\partial f_2(x)}{\partial x} + \mu \frac{Fy^2}{2EJ} = -\frac{1+\mu}{EJ} F \left(\frac{h^2}{4} - y^2 \right), \quad (d)$$

yoki

$$\frac{\partial f_1(y)}{\partial y} - \frac{F}{EJ} y^2 \left(1 + \frac{1}{2} \mu\right) = -\frac{\partial f_2(x)}{\partial x} + \frac{Fx^2}{2} - \frac{1+\mu}{4EJ} Fh^2. \quad (e)$$

Bu (e) tenglamaning chap tomoni faqat y ga, o'ng tomoni esa faqat x ga bog'liq. Shuning uchun bu tenglamaning o'ng tomoni chap tomoniga teng bo'ladi, agar har ikkala tomoni birorta «A» soniga teng bo'lsa, ya'ni

$$\frac{\partial f_1(y)}{\partial y} - \frac{F}{EJ} \left(1 + \frac{1}{2} \mu\right) y^2 = A; \quad -\frac{\partial f_2(x)}{\partial x} + \frac{Fx^2}{2EJ} - \frac{1+\mu}{4EJ} Fh^2 = A;$$

yoki

$$\frac{\partial f_1(y)}{\partial y} = \frac{F}{EJ} \left(1 + \frac{1}{2} \mu\right) y^2 + A; \quad \frac{\partial f_2(x)}{\partial x} = \frac{Fx^2}{2EJ} - \frac{1+\mu}{4EJ} Fh^2 - A. \quad (g)$$

Bu tenglamalarni integrallab noma'lum funksiyalarni topamiz.

$$f_1(y) = \frac{F}{3EJ} \left(1 + \frac{1}{2} \mu\right) y^3 + Ay + B; \quad (j)$$

$$f_2(x) = \frac{Fx^3}{6EJ} - \frac{1+\mu}{4EJ} Fh^2 x - Ax + C;$$

bu yerda A, B, C integrallashda hosil bo'lgan o'zgaras koeffitsientlar. Agar (j) ni (b) ga qo'ysak, unda quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$u = -\frac{F}{2EJ} x^2 y + \frac{F}{3EJ} \left(1 + \frac{1}{2} \mu\right) y^3 + Ay + B; \quad (k)$$

$$v = \mu \frac{F}{2EJ} xy^2 + \frac{F}{6EJ} x^3 - \frac{1+\mu}{4EJ} Fh^2 x - Ax + C.$$

Bu formuladagi o'zgaraslarni chegara shartidan foydalanib aniqlaymiz. To'sinning qistirib mahkamlangan kesimida, ya'ni $x=l, y=0$ bo'lganda quyidagi geometrik shartlar bajarilishi zarur.

$$u = 0; \quad v = 0; \quad \frac{\partial v}{\partial x} = 0. \quad (v)$$

Ko'chishlar (k) ning (v) shartni qanoatlantirilishidan foydalanib o'zgaras koeffitsientlarni quyidagicha ifodalash mumkin:

$$A = \frac{Fl^2}{2EJ} - \frac{1+\mu}{4EJ} Fl^2; \quad C = \frac{Fl^3}{2EJ}; \quad B = 0.$$

Agar A, B, C larning qiymatlarini (k) ga qo'ysak ko'chishlar ifodasini quyidagicha yozish mumkin.

$$u = -\frac{F}{2EJ}x^2y + \frac{F}{3EJ}\left(1 + \frac{1}{2}\mu\right)y^3 + \frac{F}{2EJ}\left[l^2 - (1 + \mu)\frac{h}{2}\right]y;$$

$$v = \mu\frac{F}{2EJ}xy^2 + \frac{F}{6EJ}x^3 - \frac{Fl^2}{2EJ}x + \frac{Fl^3}{3EJ}.$$

Agar bu tenglamalar sistemasida $y=0$ qiymatini bersak, egilgan to'sin o'qining salqilik tenglamasini hosil qilamiz.

$$v(y=0) = \frac{F}{6EJ}x^3 - \frac{Fl^2}{2EJ}x + \frac{Fl^3}{3EJ}.$$

Agar $x=0$ bo'lsa, balkaning erkin uchidagi salqiligi kelib chiqadi.

$$v = \frac{Fl^3}{3EJ}.$$

Demak, materiallar qarshiligida topilgan salqilik formulasi to'g'riligiga yana bir bor ishonch hosil qildik.

3. *Masala.* Xususiy og'irligi ta'sirida cho'zilgan prizmatik sterjenning ko'ndalang kesimida $\sigma_z = \gamma z$ normal kuchlanish hosil bo'lishi materiallar qarshiligi kursidan ma'lum. Kuchlanishlar tenzori boshqa komponentlari nolga teng bo'lganligi uchun Guk qonuniga asosan deformatsiya komponentlari quyidagicha yoziladi.

$$\varepsilon_z = \frac{\gamma \cdot z}{E}; \quad \varepsilon_x = \varepsilon_y = -\mu \frac{\gamma \cdot z}{E}; \quad \gamma_{xy} = \gamma_{yz} = \gamma_{zx} = 0.$$

Berilgan deformatsiya komponentlari uchun deformatsiya uzluksizligi shartini qanoatlantirishi tekshirib ko'rihsin va ko'chishlar topilsin.

Javobi:

$$u = -\mu \frac{\gamma}{E}xz; \quad v = -\mu \frac{\gamma}{E}yz; \quad w = \frac{\gamma}{2E}\left[z^2 + \mu(x^2 + y^2) - l^2\right].$$

4. *Masala.* Quyidagi deformatsiya komponentlari berilgan:

$$\varepsilon_x = axy^2; \quad \varepsilon_y = ax^2y; \quad \varepsilon_z = axy;$$

$$\gamma_{xy} = 0; \quad \gamma_{yz} = az^2 + by; \quad \gamma_{zx} = ax^2 + by^2.$$

Bunda $a; b$ o'zgarmas bo'lib, ular nolga teng emas. Berilgan deformatsiya komponentlari Sen-Venanning deformatsiyalar uzluksizligi shartini qanoatlantiradimi?

5. *Masala.* Berilgan

$$\varepsilon_x = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2}; \quad \varepsilon_y = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2};$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y}; \quad \varepsilon_z = \gamma_{zx} = \gamma_{yz} = 0.$$

Bunda $\varphi(x, y)$ funksiya x va y koordinatalarga bog'liq bo'lgan ixtiyoriy funksiya bo'la oladimi, yoki Sen-Venanning deformatsiyalar uzluksizligi sharti biror chegara qo'yadimi?

6. *Masala.* Biror jismning deformatsiya komponentlari quyidagicha ifodalangan:

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} \left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} - \mu \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} \right); \quad \varepsilon_y = \frac{1}{E} \left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} - \mu \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} \right);$$

$$\gamma_{xy} = -\frac{2(1+\mu)}{E} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y}; \quad \varepsilon_z = \gamma_{zx} = \gamma_{yz} = 0.$$

$\varphi(x, y)$ funksiya x va y koordinatalarga bog'liq bo'lgan ixtiyoriy funksiya bo'la oladimi? Jismning deformatsiya xarakteristikalari ($E; \mu$) $\varphi(x, y)$ funksiyaning o'zgarish qonuniga ta'sir qiladimi?

7. *Masala.* Jismning ma'lum bir nuqtasida deformatsiya komponentlari $\varepsilon_x; \varepsilon_y; \gamma_{xy}$ berilgan, qolgan komponentlari nolga teng ($\varepsilon_z; \gamma_{yz}; \gamma_{zx} = 0$) kuchlanish tenzori invariantlarini yozing va bosh deformatsiyalarni aniqlash formulasini keltirib chiqaring.

$$\text{Javobi: } J_{1\varepsilon} = \varepsilon_x + \varepsilon_y; \quad J_{2\varepsilon} = \varepsilon_x \varepsilon_y - \frac{1}{4} \gamma_{xy}^2; \quad J_{3\varepsilon} = 0.$$

8. *Masala.* Jismning ma'lum bir nuqtasida deformatsiya komponentlari berilgan?.

$$\varepsilon_x = 0,002; \quad \varepsilon_y = -0,0004; \quad \varepsilon_z = 0,002;$$

$$\gamma_{xy} = 0,004; \quad \gamma_{yz} = \gamma_{zx} = 0.$$

Nisbiy hajmiy o'zgarish, bosh deformatsiyalar va bosh o'qlarning holati aniqlansin.

Yechish. Nisbiy hajmiy o'zgarishni (5.15) formuladan aniqlaymiz.

$$\theta = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z = 0,002 - 0,0004 + 0,002 = 0,0036.$$

Bosh yo'nalishlardan biri ma'lum, ya'ni $\gamma_{yz} = \gamma_{zx} = 0$ bo'lgani uchun bosh deformatsiyalarni va bosh o'qlarning holatini (5.9-5.10) formulalardan aniqlaymiz.

$$\varepsilon_{1,2} = \frac{0,002 + (-0,0004)}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(0,002 - 0,0004)^2 + (0,004)^2} = 0,0008 \pm 0,00408;$$

$$\varepsilon_1 = 0,00488; \quad \varepsilon_2 = 0,00328; \quad \varepsilon_3 = \varepsilon_z = 0,002;$$

$$\operatorname{tg} 2\alpha_0 = \frac{\gamma_{xy}}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2} = \frac{0,004}{0,002 + 0,0004} = \frac{0,004}{0,0024};$$

$$\operatorname{tg} 2\alpha_0 = 1,67;$$

$$2\alpha_0 = 59^\circ 5';$$

$$\alpha_0 = 29^\circ 33';$$

$$\alpha_1 = \alpha_0 = 29^\circ 33';$$

$$\alpha_2 = \alpha_0 + 90^\circ = 119^\circ 33'.$$

9. *Masala.* Jismning ma'lum bir nuqtasida quyidagi deformatsiya komponentlari berilgan:

$$\varepsilon_x = 0,001; \quad \varepsilon_y = 0,0005; \quad \varepsilon_z = -0,0001;$$

$$\gamma_{xy} = 0,0002; \quad \gamma_{yz} = -0,0001; \quad \gamma_{zx} = 0,0003.$$

Bosh deformatsiyalar va koordinata o'qlari bilan boshi yuzalar normalini v , yo'naltiruvchi kosinuslari aniqlansin.

Javobi:

$$\varepsilon_1 = 0,00122; \quad \varepsilon_2 = 0,000988; \quad \varepsilon_3 = -0,000137;$$

$$l = 0,88; \quad m = 0,48; \quad n = 0,0025.$$

10. *Masala.* Agar deformatsiya komponentlari berilgan

$$\varepsilon_x = K(x^2 + y^2); \quad \varepsilon_y = Ky^2; \quad \gamma_{xy} = 2Kxy;$$

$$\varepsilon_z = \gamma_{yz} = \gamma_{zx} = 0.$$

bo'lsa, deformatsiya holati mavjudligi ba deformatsiya komponentlari

$$\varepsilon_x = Kz(x^2 + y^2); \quad \varepsilon_y = Ky^2z;$$

$$\varepsilon_z = \gamma_{yz} = \gamma_{zx} = 0. \quad \gamma_{xy} = 2Kzxy;$$

bo'lsa, deformatsiya holati mavjud emasligi ko'rsatilsin. Bu yerda « K » kichik o'zgarmas miqdor.

11. *Masala.* O'zgarmas miqdorlar $A_0, A_1, B_0, B_1, C_0, C_1, C_2$ orasidagi bog'lanishlar topilsin. Agar deformatsiya komponentlari quyidagicha ifodalangan bo'lsa,

$$\begin{aligned}\varepsilon_x &= A_0 + A_1(x^2 + y^2) + (x^4 + y^4); \\ \varepsilon_y &= B_0 + B_1(x^2 + y^2) + (x^4 + y^4); \\ \gamma_{xy} &= C_0 + C_1xy(x^2 + y^2 + C_2); \\ \varepsilon_z = \gamma_{yz} = \gamma_{zx} &= 0.\end{aligned}$$

Yechish. Deformatsiya komponentlari $\varepsilon_z = \gamma_{yz} = \gamma_{zx} = 0$ bo'lgani uchun elastiklik nazariyasining tekis masalasi ekanligi ma'lum. O'zgarmas miqdorlar orasidagi bog'lanishlarni topish uchun berilgan deformatsiya komponentlari, deformatsiyaning uzluksiz sharti qanoatlantirilishini tekshirib ko'ramiz.

$$\frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial x^2} = \frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial x \partial y}. \quad (1)$$

Berilgan funksiyalarning hosilalarini topamiz.

$$\begin{aligned}\frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y^2} &= 2A_1 + 12y^2; & \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial x^2} &= 2B_1 + 12x^2; \\ \frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial x \partial y} &= 3C_1x^2 + 3C_1y^2 + C_1C_2.\end{aligned}$$

va (1) tenglamaga qo'yamiz.

$$2(A_1 - B_1) + 12(x^2 + y^2) = C_1C_2 + 3C_1(x^2 + y^2). \quad (2)$$

Bu tenglik quyidagi ikki holda bajariladi.

a) agar tenglamaning o'ng va chap tomonidagi o'zgarmas qo'shiluvchilari bir-biriga teng bo'lsa;

b) (2) tenglamaning o'ng va chap tomonidagi bir xil funksiyalarning koeffitsientlari teng bo'lsa, ya'ni

$$\left. \begin{aligned}2(A_1 - B_1) &= C_1C_2; \\ 12 &= 3C_1.\end{aligned} \right\}$$

Bu tenglamalar sistemasidan:

$$C_1 = 4; \quad C_2 = \frac{1}{2}(A_1 - B_1).$$

12. *Masala.* Agar deformatsiya komponentlari $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z, \gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}$ ixtiyoriy chiziqli funksiya x, y o'zgaruvchilarga bog'liq ko'rinishda berilsa, ular deformatsiyaning uzluksizlik shartini qanoatlantirilishi tekshirib ko'rilsin.

Tayanch iboralari:

Jism nuqtasining deformatsiya holati, bosh deformatsiyalar, elastik jism, ko'chish, jismlar deformatsiyalanmay butunlay ko'chishi, zarralari, holati o'zgarmaydi, absolyut qattiq jismlar, nazariy mexanika, deformatsiyalanuvchi qattiq jism nazariyasi, tashqi fizik kuch, ko'chishning koordinata o'qlaridagi proeksiyalari, ko'chish qiymatlari, chiziqli va burchak deformatsiyalar, deformatsiya komponentlari, dekart koordinata sistemasi, ko'chish komponentlari, differensial bog'lanishlar, Koshi formulalari, silindrik koordinata sistemasi, Sen-Venanning deformatsiya uzluksizligi, tenglama, kubik tenglama, diskriminant manfiy bo'lsa, kubik tenglamaning uchala haqiqiy ildizlari, tenglama ildizlarining to'g'ri topilganligi, bosh deformatsiyalar, yo'naltiruvchi kosinuslar, ortogonalligidan foydalanib tekshiriladi, nisbiy cho'zilish deformatsiyasi, deformatsiya komponentlari orqali ifodalanadi, hajmiy deformatsiya, oktaedrik yuzalar, siljish deformatsiyalari, deformatsiya intensivligi, bosh tekislik, bosh o'qning holati, ikkita burchak aniqlanadi, umumlashgan Guk qonuni.

Test savollari:

1. Elastik jismlar qanday ko'chishlarga ega?

jism deformatsiyalanmay bir butun shaklida ko'chadi, jism deformatsiyalanib, uning zarralari bir-biriga nisbatan o'z holatini o'zgartiradi;

jism deformatsiyalanmay bir butun shaklida ko'chadi, jism deformatsiyalanmay, uning zarralari bir-biriga nisbatan o'z holatini o'zgartiradi;

jism deformatsiyalanib bir butun shaklida ko'chmay, jism deformatsiyalanib, uning zarralari bir-biriga nisbatan o'z holatini o'zgartirmaydi;

jism deformatsiyalanmay bir butun shaklida ko'chadi, jism deformatsiyalanib ko'chadi;

2. Elastik jism nuqtalarining koordinata o'qlaridagi ko'chishlari qanday belgilanadi?

$$u = u(x, y, z), v = v(x, y, z), w = w(x, y, z);$$

$$\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z, \gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}, \gamma_{yx}, \gamma_{zy}, \gamma_{xz};$$

$$M(x, y, z) \text{ va } M_1(x_1, y_1, z_1);$$

$$\alpha_1 + \alpha_0 \text{ va } \alpha_2 = \alpha_0 + 90^0;$$

3. Jism deformatsiyalanganida qanday ikki xil deformatsiya hosil bo'ladi?

chiziqli va burchak deformatsiya;

maksimal va minimal deformatsiya;

nisbiy va urinma deformatsiya;

ko'ndalang va bo'ylama deformatsiya;

4. Chiziqli va burchak deformatsiya komponentlarini belgilanish qaysi javobda to'g'ri keltirilgan?

$$\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z, \gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}, \gamma_{yx}, \gamma_{zy}, \gamma_{xz};$$

$$u = u(x, y, z), v = v(x, y, z), w = w(x, y, z);$$

$$M(x, y, z) \text{ va } M_1(x_1, y_1, z_1);$$

$$\alpha_1 + \alpha_0 \text{ va } \alpha_2 = \alpha_0 + 90^0;$$

5. Dekart koordinata sistemasida nisbiy bo'ylama deformatsiya komponentlari bilan ko'chish komponentlari orasida qanday differensial bog'lanishlar mavjud?

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}; \quad \varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}; \quad \varepsilon_z = \frac{\partial w}{\partial z};$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}; \quad \gamma_{yz} = \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y}; \quad \gamma_{zx} = \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z};$$

$$\frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \gamma_{xy}}{\partial x \partial y}; \quad \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_z}{\partial y^2} = \frac{\partial^2 \gamma_{yz}}{\partial y \partial z};$$

$$J_{2\varepsilon} = \varepsilon_x \varepsilon_y + \varepsilon_y \varepsilon_z + \varepsilon_z \varepsilon_x - \frac{1}{4} (\gamma_{xy}^2 + \gamma_{yz}^2 + \gamma_{zx}^2);$$

6. Dekart koordinata sistemasida nisbiy burchak deformatsiya komponentlari bilan ko'chish komponentlari orasida qanday differensial bog'lanishlar mavjud?

$$\gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}; \quad \gamma_{yz} = \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y}; \quad \gamma_{zx} = \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z};$$

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}; \quad \varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}; \quad \varepsilon_z = \frac{\partial w}{\partial z};$$

$$\frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \gamma_{xy}}{\partial x \partial y}; \quad \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_z}{\partial y^2} = \frac{\partial^2 \gamma_{yz}}{\partial y \partial z};$$

$$J_{1\varepsilon} = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z;$$

7. Koshi formulasida nechta tenglama mavjud?

6 ta;

3 ta;

8 ta;

10 ta;

8. Koshi formulalari qanday komponentlar orasidagi bog'lanishlarni ifodalaydi?

nisbiy deformatsiyalar va ko'chishlar orasidagi;

nisbiy kuchlanishlar va ko'chishlar orasidagi;

nisbiy deformatsiyalar va kuchlanishlar orasidagi;

nisbiy deformatsiyalar va siljish deformatsiyalari orasidagi;

9. Burchak deformatsiya komponentlari qaysi javobda to'g'ri keltirilgan?

$$\gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}, \gamma_{yx}, \gamma_{zy}, \gamma_{xz};$$

$$\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z;$$

$$J_{1\varepsilon} = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z;$$

$$J_{2\varepsilon} = \varepsilon_x \varepsilon_y + \varepsilon_y \varepsilon_z + \varepsilon_z \varepsilon_x - \frac{1}{4}(\gamma_{xy}^2 + \gamma_{yz}^2 + \gamma_{zx}^2);$$

10 Chiziqli deformatsiya komponentlari qaysi javobda to'g'ri keltirilgan?

$$\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z;$$

$$\gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}, \gamma_{yx}, \gamma_{zy}, \gamma_{xz};$$

$$J_{1\varepsilon} = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z;$$

$$J_{2\varepsilon} = \varepsilon_x \varepsilon_y + \varepsilon_y \varepsilon_z + \varepsilon_z \varepsilon_x - \frac{1}{4}(\gamma_{xy}^2 + \gamma_{yz}^2 + \gamma_{zx}^2);$$

11. Sen-Venanning uzluksizlik tenglamalari nechta?

6 ta;

9 ta;

3 ta;

4 ta;

12. Deformatsiya komponentlari Sen-Venanning deformatsiya uzluksizlik tenglamalarini qanoatlantirishi shartmi yoki yo'q?

qanoatlantirishi shart;

qanoatlantirishi shart emas;

qanoatlantirishi shart deformatsiya elastik bo'lsa;

qanoatlantirishi shart deformatsiya plastik bo'lsa;

13. Sen-Venanning deformatsiya uzluksizlik tenglamalari qanday komponentlar orasidagi bog'lanishlarni ifodalaydi?

nisbiy bo'ylama deformatsiyalar va burchak deformatsiyalar orasidagi differensial;

nisbiy normal kuchlanishlar va bo'ylama ko'chishlar orasidagi differensial;

nisbiy burchak deformatsiyalar va kuchlanishlar orasidagi differensial;

nisbiy urinma kuchlanishlar va siljish deformatsiyalari orasidagi differensial;

14. Bosh deformatsiyalar qanday tenglamadan aniqlanadi?

algebraik kubik tenglamadan;

differensial kubik tenglamadan;

trigonometrik kubik tenglamadan;

geometrik kubik tenglamadan;

15. Bosh deformatsiyalar quyida keltirilgan tenglamalarning qaysi biridan aniqlanadi?

$$\varepsilon^3 - J_{1\varepsilon}\varepsilon^2 + J_{2\varepsilon}\varepsilon - J_{3\varepsilon} = 0;$$

$$\Delta = P^3 + q^2 < 0;$$

$$J_{2\varepsilon} = \varepsilon_x\varepsilon_y + \varepsilon_y\varepsilon_z + \varepsilon_z\varepsilon_x - \frac{1}{4}(\gamma_{xy}^2 + \gamma_{yz}^2 + \gamma_{zx}^2);$$

$$J_{3\varepsilon} = \varepsilon_x\varepsilon_y\varepsilon_z + \frac{1}{4}\gamma_{xy}\gamma_{yz}\gamma_{zx} - \frac{1}{4}(\varepsilon_x\gamma_{yz}^2 + \varepsilon_y\gamma_{zx}^2 + \varepsilon_z\gamma_{xy}^2);$$

16. Kubik tenglamaga belgilash kiritilib hosil qilingan kubik tenglamaning diskriminanti manfiy bo'lsa?

uchala haqiqiy ildizlari ham mavjud;

yechimi mavjud emas;

uchala haqiqiy ildizlari ikkitasi mavjud;

ikita ildiz ham mavhum, bittasi mavjud emas;

17. Kub tenglama ildizlarining to'g'riligi javoblarda keltirilgan qaysi formulalardan tekshiriladi?

$$\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3;$$

$$\varepsilon_x\varepsilon_y + \varepsilon_y\varepsilon_z + \varepsilon_z\varepsilon_x - \frac{1}{4}(\gamma_{xy}^2 + \gamma_{yz}^2 + \gamma_{zx}^2) = \varepsilon_1\varepsilon_2 + \varepsilon_2\varepsilon_3 + \varepsilon_3\varepsilon_1;$$

$$\varepsilon_x\varepsilon_y\varepsilon_z + \frac{1}{4}(\gamma_{xy}\gamma_{yz}\gamma_{zx}) - \frac{1}{4}(\varepsilon_x\gamma_{yz}^2 + \varepsilon_y\gamma_{zx}^2 + \varepsilon_z\gamma_{xy}^2) = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3;$$

$$l_i^2 + m_i^2 + n_i^2 = 1 \quad (i > 1, 2, 3);$$

18. Yo'naltiruvchi kosinuslar orasida qanday shart mavjud?

$$l_i^2 + m_i^2 + n_i^2 = 1;$$

$$l_i^2 + m_i^2 + n_i^2 = 0;$$

$$l_i^2 + m_i^2 + n_i^2 = 2;$$

$$l_i^2 + m_i^2 + n_i^2 = 3;$$

19. Yo'naltiruvchi kosinuslar qiymatlarining to'g'ri topilganligi qanday shartdan foydalanib tekshiriladi;

ortogonalligidan;

simmetrikligidan;

nosimmetrikligidan;

bessel funksiya nazariyasidan;

20. Hajmiy deformatsiya, deformatsiya komponentlari orqali qaysi formula bilan ifodalanadi?

$$\theta = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z;$$

$$\varepsilon_{1,2} = \frac{\varepsilon_x + \varepsilon_y}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(\varepsilon_x - \varepsilon_y)^2 + \gamma_{xy}^2}; \quad \varepsilon_3 = \varepsilon_z;$$

$$\operatorname{tg} 2\alpha_0 = \frac{\gamma_{xy}}{\varepsilon_x - \varepsilon_y};$$

$$\varepsilon_{okt} = \frac{1}{3}(\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3); \quad \gamma_{okt} = \frac{2}{3} \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2};$$

21. Oktaedrik yuzalardagi deformatsiyalar va siljish deformatsiyalari qaysi formulalar bilan ifodalanadi?

$$\varepsilon_{okt} = \frac{1}{3}(\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3); \quad \gamma_{okt} = \frac{2}{3} \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2};$$

$$\theta = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z;$$

$$\varepsilon_{1,2} = \frac{\varepsilon_x + \varepsilon_y}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(\varepsilon_x - \varepsilon_y)^2 + \gamma_{xy}^2}; \quad \varepsilon_3 = \varepsilon_z;$$

$$\operatorname{tg} 2\alpha_0 = \frac{\gamma_{xy}}{\varepsilon_x - \varepsilon_y};$$

22. Bosh o'qning holati quyidagi formulalarning qaysi birlan aniqlanadi?

$$\operatorname{tg} 2\alpha_0 = \frac{\gamma_{xy}}{\varepsilon_x - \varepsilon_y};$$

$$\varepsilon_{1,2} = \frac{\varepsilon_x + \varepsilon_y}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(\varepsilon_x - \varepsilon_y)^2 + \gamma_{xy}^2}; \varepsilon_3 = \varepsilon_z;$$

$$\theta = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z;$$

$$\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3;$$

23. Bosh nisbiy deformatsiyalar qanday nisbatda qabul qilingan?

$$\varepsilon_1 > \varepsilon_2 > \varepsilon_3;$$

$$\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3;$$

$$\theta = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z;$$

$$\varepsilon_{1,2} = \frac{\varepsilon_x + \varepsilon_y}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(\varepsilon_x - \varepsilon_y)^2 + \gamma_{xy}^2}; \varepsilon_3 = \varepsilon_z;$$

24. Umumlashgan Guk qonuni qanday qonun?

fizik;

matematik;

egri chiziqli;

parabolik;

25. Umumlashgan Guk qonuni qanday komponentlar orasidagi bog'lanishni ifodalaydi?

deformatsiya komponentlari bilan kuchlanish komponentlari orasidagi;

deformatsiya komponentlari bilan ko'chish komponentlari orasidagi;

deformatsiya komponentlari bilan zo'riqish komponentlari orasidagi;

deformatsiya komponentlari bilan ko'chish va kuchlanish komponentlari orasidagi;

26. Umumlashgan Guk qonunining matematik ifodasida qanday elastiklik modullari qatnashadi?

bo'ylama elastiklik moduli bilan siljishdagi elastiklik modullari;

bo'ylama elastiklik moduli bilan kesuvchi elastiklik modullari;

bo'ylama elastiklik moduli bilan urinma elastiklik modullari;

bo'ylama elastiklik moduli bilan plastik elastiklik modullari;

27. Siljishdagi elastiklik moduli ifodasi qaysi javobda to'g'ri keltirilgan?

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

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

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

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

28. Bo'ylama elastiklik moduli nimani xarakterlaydi?

materialning cho'zilish va siqilishga qarshilik ko'rsatish qobiliyatini;

materialning buralish va cho'zilishga qarshilik ko'rsatish qobiliyatini;

materialning egilish va siqilishga qarshilik ko'rsatish qobiliyatini;

materialning egilish va buralishga qarshilik ko'rsatish qobiliyatini;

29. Puasson koeffitsienti deb nimaga aytiladi?

nisbiy ko'ndalang deformatsiyaning nisbiy bo'ylama deformatsiyaga nisbatining absolyut miqdoriga;

nisbiy ko'ndalang deformatsiyaning nisbiy bo'ylama deformatsiyaga ko'paytmasining absolyut miqdoriga;

nisbiy ko'ndalang deformatsiyaning nisbiy cho'zilish deformatsiyaga nisbatining absolyut miqdoriga;

nisbiy bo'ylama deformatsiyaning nisbiy qisqarish deformatsiyaga nisbatining absolyut miqdoriga;

30. Bo'ylama elastiklik moduli bilan siljishdagi elastiklik moduli o'lchov birligi qaysi javobda to'g'ri keltirilgan?

$$N/m^2; N/m^2;$$

$$N/sm^3; N/sm^3;$$

$$N/m; N/m;$$

$$M/sm^2; M/sm^2;$$

BURALISH DEFORMATSIYASI

6.1-§. Doira kesimli to'g'ri brusning buralishi

Tashqi kuchdan brusning ko'ndalang kesim yuzalarida zo'riqish kuch omillaridan faqat burovchi momentlarga hosil bo'ladigan deformatsiyalanish holatiga *buralish* deformatsiyasi deyiladi. Buralishga ishlovchi silindrik bruslarga *val* deb ataladi.

Bazi bir hoilarda vallarni hisoblashda tashqi burovchi momentlar talab qilingan quvvat miqdori va valning aylanish tezligi bilan aniqlanadi. Agar val bir daqiqa ichida n marta aylansa, unda 1 sekundda aylanish burchagi $2\pi \frac{n}{60}$ yoki $\pi \frac{n}{30}$ radianga teng bo'ladi. Valdan uzatilayotgan quvvat, burovchi moment miqdori bilan valning 1 sekundda aylanishlar soni (radianda) ko'paytmasiga teng:

$$N = M \frac{\pi n}{30} \text{ bundan } M = \frac{30N}{\pi} \text{ kgm} = \frac{300N}{\pi} \text{ Nm.}$$

Bu yerda quvvatning o'lchov birligi kgm/sek .

Agar quvvat N ot kuchida (o.k) berilgan bo'lsa burovchi moment quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$M = \frac{30 \cdot 75N}{\pi} = 716,2 \frac{N}{n} \text{ Nm} = 7162 \frac{N}{n} \text{ Nm.}$$

Agar bir ot kuchi 0,73562 kVt ekanligini e'tiborga olsak, unda burovchi moment quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$M = \frac{7162}{0,73562} \frac{N}{n} \text{ Nm} = 9736 \frac{N}{n} \text{ Nm.}$$

Buralish deformatsiyasi amalda juda ko'p uchraydi. Masalan: mashina detallari, inshoot elementlari, lokomativlarning o'qlari, tirsakli vallar, fazoviy konstruksiya elementlari, prujinalarning o'ramlari va shunga o'xshashlar buralish deformatsiyasiga qarshilik ko'rsatadi. Ko'ndalang kesim yuzasi turli shaklda bo'lgan buralishga ishiydigan bruslar ichida texnikada ko'p uchraydigan doiraviy va halqasimon ko'ndalang kesim yuzasiga ega bo'lgan bruslar muhim o'rin egallaydi.

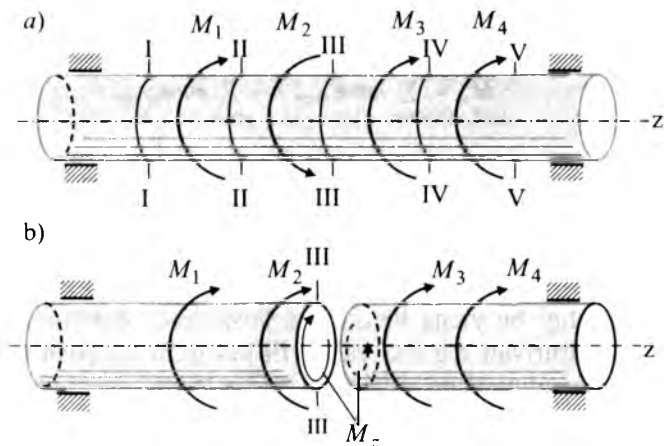
6.2-§. Burovchi moment va uning epyurasini qurish

Bir uchi bilan mahkamlangan silindrik brusning, ikkinchi erkin uchining ko'ndalang kesimiga juft kuch ta'sir etsa, brusning erkin ko'ndalang kesimi mahkamlangan kesimga nisbatan aylanadi va natijada brus buraladi. Brus buralganda uning ixtiyoriy ko'ndalang kesimida hosil bo'lgan ichki kuch omili, ya'mi burovchi moment kesish usulidan foydalanib aniqlanadi.

Brusning qoldirilgan qismidagi tashqi momentlarning kesimga nisbatan algebraik yig'indisiga shu kesimdagi *burovchi moment* deb ataladi va M_b bilan belgilanadi.

Valni mustahkamlikka tekshirishda uning eng xavfli kesimini aniqlab olish zarur. Buning uchun esa brus o'qi bo'ylab burovchi momentning o'zgarish qonunini ko'rsatuvchi grafikni chizish lozim. O'zgarmas ko'ndalang kesimli bruslarning maksimal burovchi moment hosil bo'lgan kesimi xavfli kesim hisoblanadi.

Burovchi momentni brus o'qi bo'ylab o'zgarish qonunini ko'rsatuvchi grafikka *burovchi moment epyurasi* deyiladi. 6.1,a-chizmada keltirilgan valning turli ko'ndalang kesimlariga qo'yilgan sirtqi momentlar ta'sirida muvozanatda bo'lsin.



6.1-chizma. Tashqi yuklar ta'siridagi val.

Valning ixtiyoriy kesimidagi burovchi momentni aniqlash uchun kesish usulidan foydalanamiz, ya'mi valni o'qiga perpendikulyar

bo'lgan biror tekislik bilan ikkiga bo'lamiz. Val bo'laklarining muvozanatini tiklash maqsadida tashlab yuborilgan qismning ta'sirini olib qolingan qismga qo'yamiz va uning muvozanatini tekshiramiz. 6.1.b-chizmada.

Masalan III-III tekislik bilan bo'lingan bo'laklarni tekshiramiz. Chap qism uchun statikaning muvozanat tenglamasini tuzamiz:

$$\sum M_z = 0; \quad M_1 - M_2 + M_z = 0; \quad \text{bundan } M_z = M_2 - M_1.$$

Xuddi shuningdek o'ng qism uchun statikaning muvozanat tenglamasini tuzamiz:

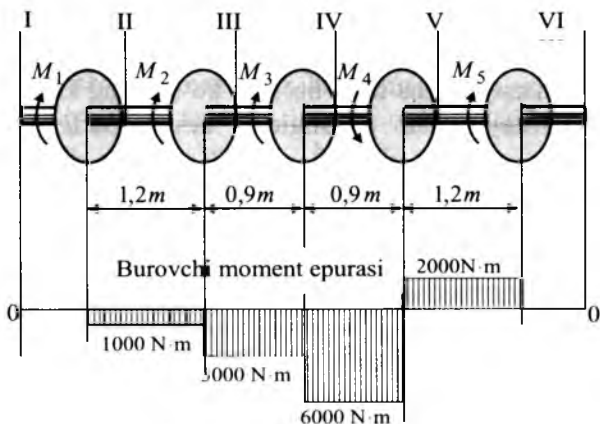
$$\sum M_z = 0; \quad -M_z + M_3 + M_4 = 0; \quad \text{bundan } M_z = M_3 + M_4.$$

Demak, bular asosida quyidagi qoidalarni qabul qillish mumkin:

Brusning ixtiyoriy kesimida hosil bo'ladigan burovchi moment, shu kesimdan chap tomonda ta'sir etayotgan barcha sirtqi kuchlardan brus o'qiga nisbatan olingan momentlarning algebraik yig'indisiga teng bo'ladi. Yoki shu kesimdan o'ng tomonda ta'sir etayotgan barcha sirtqi kuchlaridan brus o'qiga nisbatan teskari ishorasi bilan olingan momentlarning algebraik yig'indisiga teng bo'ladi.

$$M_x = \sum_{chap} mom_{chap} = - \sum_{o'ng} mom_{o'ng}.$$

Ko'ndalang kesimga uning normal tomonidan qaraganda burovchi moment soat millari harakati bo'yicha yo'nalgan bo'lsa ishorasini musbat, aks holda manfiy deb qabul qilamiz. Burovchi moment epyurasini qurish bo'ylama kuch epyurasini qurishdan farq qilmaydi. Valning uzunligi bo'yicha bir nechta kesimlarda burovchi momentlarni topish zaruriyati tug'ilsa va xavfli kesimini aniqlash maqsadida burovchi moment epyurasini qurish lozim. Shu maqsadda 6.2-chizmada keltirilgan brus uchun burovchi moment epyurasi qurilsin. Bunda sirtqi burovchi momentlar qiymatlari $M_1 = 1000Nm$, $M_2 = 2000Nm$, $M_3 = 3000Nm$, $M_4 = 8000Nm$, $M_5 = 2000Nm$ ga teng bo'lsin.



6.2-chizma. Turli kesimlari bo'yicha yuklangan val.

Brusni oltita bo'laklarga bo'lamiz va har safar chap bo'laklarning muvozanatini tekshiramiz, unda kesimlardagi burovchi moment quyidagilarga teng bo'ladi:

$$M_z^I = 0;$$

$$M_z^{II} = -M_1 = -1000 \text{ Nm};$$

$$M_z^{III} = -M_1 - M_2 = -3000 \text{ Nm};$$

$$M_z^{IV} = -M_1 - M_2 - M_3 = -6000 \text{ Nm};$$

$$M_z^V = -M_1 - M_2 - M_3 + M_4 = 2000 \text{ Nm};$$

$$M_z^{VI} = -M_1 - M_2 - M_3 + M_4 - M_5 = 0.$$

Burovchi moment epyuralarini qurish cho'zilgan va siqilgan bruslarning bo'ylama kuch epyurasini qurish kabi bajariladi. Burovchi moment epyuralari 6.2,b-chizmada keltirilgan.

6.3-§. Val kesimidagi kuchlanishlarni hamda kesimning buralish burchagini aniqlash

Masalaning gometrik tomonini qaraymiz:

Silindr shaklidagi brusning yon sirtiga yasovchilariga parallel bo'lgan bo'ylama chiziqlar va ko'ndalang kesim yuzalarining konturini hosil qiluvchi aylanalar bilan to'r hosil qilamiz. Brus buralganda

hosil bo'lgan deformatsiya natijalaridan quyidagi xulosalarga kelish mumkin:

a) deformatsiyagacha tekis bo'lgan ko'ndalang kesim yuzasi, brus buralgandan keyin ham tekisligicha, kesim gardishi aylanaligicha qoladi;

b) ko'ndalang kesim radiusi to'g'ri chiziqlicha qoladi;

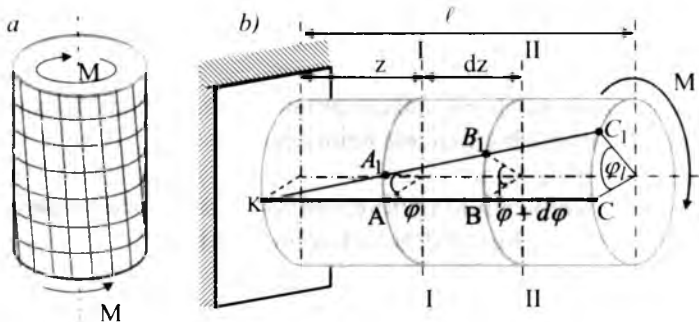
v) ko'ndalang kesimlar oralig'idagi masofa o'zgarmaydi;

g) har bir ko'ndalang kesim qo'shni kesimga nisbatan brus o'qi atrofida ma'lum burchakka aylanadi. Bu burchak buralish burchagi deyiladi. Buralish burchagi burovchi momentga va ko'ndalang kesimlar oralig'iga proporsionaldir.

d) brusning barcha yasovchilari bir xil burchakka og'adi va silindr sirtiga chizilgan kvadratlar bir xilda qiyshayib romb shaklini oladi.

Keltirilgan bu tajribalarning natijalaridan foydalanib doiraviy kesimli brus uchun buralishda hosil bo'ladigan deformatsiya va kuchlanishlarning ko'ndalang kesim yuzasi bo'yicha qanday qonun bilan o'zgarishini aniqlash mumkin.

6.3,*a*-chizmadan ko'rinadiki, deformatsiyadan keyin brusning yonma-yon bo'lgan ko'ndalang kesimlari bir-biriga nisbatan siljiydi; qaralayotgan kesim qistirib mahkamlangan kesimdan qancha uzoq bo'lsa, shu kesimning siljishi shuncha katta bo'ladi. Masalan, tayanchdan z oraliqdagi ko'ndalang kesim mahkamlangan kesimga nisbatan φ ga burilgan bo'lsa, tayanchdan $z + dz$ oraliqdagi kesim esa $\varphi + d\varphi$ burchakka buriladi (6.3,*b*-chizma) [29,187-bet], [30,92-bet].



6.3-chizma. Erkin uchiga juft kuch qo'yilgan val.

$d\varphi$ burchak II kesimining I kesimga nisbatan og'ish burchagi, ya'ni dz oraliqdagi elementning buralish burchagidir.

Demak, buralish deformatsiyasi, brusning yonma-yon turgan kesimlarining bir-biriga nisbatan siljishidan iborat ekan, shu brus kesim yuzalarida urinma kuchlanishlar hosil bo'ladi.

Buralgan brus sirtidagi KC yasovchisi KC_1 holatga og'ishimi 6.3-chizmadan ko'rinib turibdi. Brusning deformatsiyalamish jarayonida hosil bo'lgan og'ish burchagini γ bilan belgilaymiz.

Endi buralgan brusdan I va II kesimlar bilan ajratilgan elementni tekshiramiz (6.4- chizma).

$$BB_1 = r \cdot d\varphi.$$

$\angle BAB_1 = \gamma$ burchak element II kesimining I kesimga nisbatan nisbiy siljishi bo'ladi

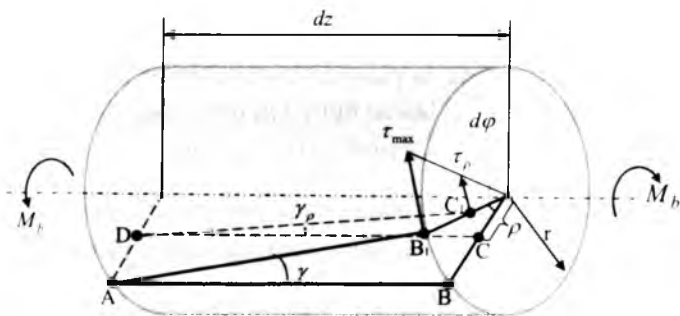
$$BB_1 = \gamma \cdot dz; \quad \gamma \cdot dz = r \cdot d\varphi; \quad \gamma = r \frac{d\varphi}{dz}.$$

Bu ifodaga quyidagi belgilashni kiritamiz:

$$\frac{d\varphi}{dz} = \theta. \tag{6.1}$$

Bu ifoda brusning nisbiy buralish burchagi deb ataladi. Unda siljish burchagi quyidagicha ifodalanadi:

$$\gamma = r\theta. \tag{6.2}$$



6.4-chizma. Buralishdan valda hosil bo'lgan buralish burchak va urinma kuchlanish.

Bu formuladan ko'rinadiki silindrik brusning buralishidan hosil bo'ladigan nisbiy siljishi shu brus kesimi yuzasining radiusiga proporsional.

Yuqoridagi xulosalarning a) siga binoan, bu elementning ichidan ajratilgan ρ radiusli elementning nisbiy siljishi quyidagicha bo'ladi:

$$\gamma_\rho = \theta \cdot \rho.$$

Masalaning fizik tomonini qaraymiz.

Buralgan brusning ko'ndalang kesimlaridagi urinma kuchlanishlarni siljishdagi Guk qonumidan foydalanib aniqlaymiz. Kesim markazidan ρ masofadagi nuqtaning urinma kuchlanishi (6.4-chizma), quyidagicha topiladi [29,190-bet]:

$$\tau_\rho = G \cdot \gamma_\rho = G \cdot \theta \cdot \rho, \quad (\text{a})$$

bunga binoan urinma kuchlanish ρ ga to'g'ri proporsional bo'lar ekan. Demak, valning ko'ndalang kesimi bo'yicha urinma kuchlanish to'g'ri chiziq qonuni bilan o'zgarar ekan (6.5-chizma).

Kesimdan ajratilgan elementar yuzacha (dA) ga to'g'ri keladigan zo'riqish kuchi quyidagicha bo'ladi:

$$\tau_\rho dA = G \cdot \theta \cdot \rho \cdot dA.$$

Bu elementar zo'riqish kuchlarining yo'nalishlari kesim radiusiga tik bo'ladi, chunki siljish ham shu yo'nalishda vujudga keladi.

Masalaning statik tomonini qaraymiz:

Elementar zo'riqish kuchning brus o'qiga nisbatan olingan momenti quyidagicha bo'ladi:

$$dM = G \cdot \theta \cdot \rho^2 dA.$$

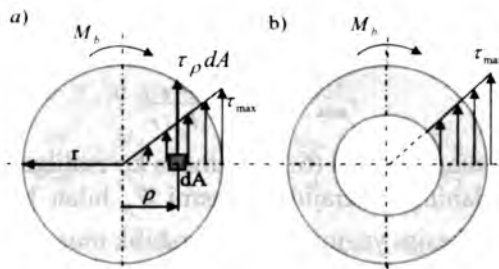
Brus buralganda deformatsiyadan keyingi muvozanat holati uchun ko'ndalang kesim yuzida to'plangan bu elementar zo'riqish kuchlari momentlarining yig'indisi tashqi burovchi momentga teng bo'ladi:

$$M_b = \int_\rho dM = \int_\rho G \cdot \theta \cdot \rho^2 \cdot dA.$$

Bu formuladagi $G\theta$ o'zgarmas miqdorni integral tashqarisiga chiqarib va $\int_\rho \rho^2 \cdot dA$ integral kesim yuzining qutb inersiya momenti

ekanligini e'tiborga olsak u quyidagi ko'rimishm oladi:

$$M_b = G\theta J_\rho.$$



6.5-chizma. Doira va halqa shakldagi kesimlar.

Bundan brusning uzunlik birligiga to'g'ri kelgan buralish burchagi (θ) ni topamiz:

$$\theta = \frac{M_b}{GJ_\rho}; \quad (6.3)$$

bunda GJ_ρ buralgan brusning ko'ndalang kesim bikrligini ifodalaydi. To'la buralish burchagini aniqlash uchun (6.1) ifodani ($0; \ell$) oraliqda integrallab va (6.3) ifodani e'tiborga olib quyidagini topamiz:

$$\varphi = \theta \ell = \frac{M_b \ell}{GJ_\rho}. \quad (6.4)$$

Bundan ko'rinadiki, buralgan brusning to'la buralish burchagi burovchi moment bilan brus uzunligiga to'g'ri proporsional va bikrligiga teskari proporsionaldir.

(6.4) formuladan to'la buralish burchagining qiymati radian hisobida chiqadi, uni gradusga aylantirish uchun $\frac{180^0}{\pi}$ ga ko'paytirish kerak:

$$\varphi^0 = \frac{180^0}{\pi} \frac{M_b \ell}{GJ_\rho}; \quad (6.5)$$

Urinma kuchlanishni topish uchun (a) formulaga θ ning qiymatini (6.3) formuladan qo'yamiz:

$$\tau_\rho = G\rho \frac{M_b}{GJ_\rho};$$

$$\tau_\rho = \frac{M_b}{J_\rho} \rho. \quad (6.6)$$

Bu formuladan ko'ndalang kesimning ixtiyoriy nuqtasidagi urinma kuchlanish topiladi.

Maksimal urinma kuchlanish brus ko'ndalang kesimining chetki nuqtalarida hosil bo'ladi;

$$\tau_{\max} = \frac{M_b}{J_\rho} r = \frac{M_b}{J_\rho / r}. \quad (6.7)$$

Kuchlanish diagrammasi (6.5-chizmada ko'rsatilgan).

(6.7) formulaning maxrajidagi kasrni W_ρ bilan belgilaymiz va u brus ko'ndalang kesim yuzining qutb qarshilik momenti deyiladi

$$W_\rho = \frac{J_\rho}{r} = \frac{\pi d^4}{d/2} \frac{32}{16} = \frac{\pi d^3}{16}. \quad (6.8)$$

(6.8) formuladan ko'rinadiki, tekis chizmalarning qutb qarshilik momentlari uzunlik o'lchovining uchinchi darajasi bilan o'lchanar ekan va kesim yuzining qutb qarshilik momenti deb ataladi. (6.8) formulani hisobga olib (6.7) formulani quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$\tau_{\max} = \frac{M_b}{W_\rho}. \quad (6.9)$$

Silindrik serjenlarning buralish nazariyasida (6.4) va (6.9) formulalar muhim ahamiyatga egadir.

6.4-§. Valni mustahkamlikka va bikirlikka hisoblash

Buralishning mustahkamlik sharti shundan iboratki, maksimal urinma kuchlanish (τ_{\max}) tegishli ruxsat egilgan kuchlanishdan oshmasligi kerak [20,178-bet]:

$$\tau_{\max} = \frac{M_{b\max}}{W_\rho} \leq [\tau]. \quad (6.10)$$

Bunda M_b valning eng xavfli kesimiga tegishli burovchi momentdir. Uni biz burovchi moment epyurasidan topamiz.

Bu shart ham cho'zilish va siqilishdagi yoki siljishdagi mustahkamlik shartlariga juda o'xshashdir, biroq, kuch o'rniga moment, kesim yuzi o'rniga esa kesim yuzining qarshilik momenti olingan. Bu formulani faqat silindrik bruslar uchungina tatbiq qilish mumkin.

Bu (6.10) shart yordamida cho'zilish yoki siqilishdagi mustahkamlik shartidagi kabi uch xil masalani yechish mumkin. Ulardan eng muhimi vallarning diametrini topishdir. Buning uchun (6.10) formuladan kesim yuzasining qarshilik momenti W_ρ qiymatini topamiz:

$$W_p \geq \frac{M_{b_{\max}}}{[\tau]}. \quad (6.11)$$

Bunga (6.8) dan W_p ni qiymatini qo'ysak,

$$\frac{\pi d^3}{16} \geq \frac{M_b}{[\tau]}; \quad d \geq \sqrt[3]{\frac{16M_b}{\pi[\tau]}} = 1,72 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_b}{[\tau]}}; \quad (6.12)$$

kelib chiqadi.

Agar M_b ning o'rniga uning quvvat orqali ifodalangan ifodasini qo'ysak:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{71620 \cdot N \cdot 16}{\pi \cdot [\tau] \cdot n}} = 72 \cdot \sqrt[3]{\frac{N}{[\tau] \cdot n}}. \quad (6.13)$$

Ko'ndalang kesimi halqadan iborat bo'gan vallar uchun qutb qarshlik moment quyidagiga teng bo'ladi:

$$W_p = \frac{\pi D^3}{16} (1 - c^4)$$

bundan:

$$D \geq \sqrt[3]{\frac{16M_b}{\pi(1-c^4)[\tau]}} = 1,72 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_b}{(1-c^4)[\tau]}} \quad (6.14)$$

yoki

$$D \geq 72 \cdot \sqrt[3]{\frac{N}{n(1-c^4)[\tau]}}. \quad (6.15)$$

bo'ladi.

Bunda N - quvvat (ot kuchida olinadi);

n - valning bir minutda aylanishlar soni.

(6.13) va (6.15) formulalardan ko'rinadiki, quvvat o'zgartirilmagan holda valning aylanishlar soni oshirilsa, val diametri kichrayishi mumkin.

Siljish uchun ruxsat etilgan kuchlanish $[\tau] = (0,5 - 0,6)[\sigma]$ formula yordamida olinadi. Bunda valga yuklar statik ravishda qo'yilgan deb qaraladi.

Biz yuqorida buralgan brusning ko'ndalang va bo'ylama kesimlarida faqat urinma kuchlanishlar ta'sir qilishini qayd qilib o'tgan edik (6.4- chizma.).

Endi bunday bruslarning qiya kesimlarida qanday kuchlanishlar paydo bo'lishini tekshiramiz.

Buralgan silindrik bruslarning qiya yuzalarida urinma kuchlanishlardan tashqari normal kuchlanishlar ta'sir qilishini ko'ramiz. Bu normal kuchlanishlar quyidagi

$$\sigma_{1,3} = \frac{1}{2} \left[(\sigma_z + \sigma_y) \pm \sqrt{(\sigma_z + \sigma_y)^2 + 4\tau_{zy}^2} \right]; \quad (6.16)$$

formula bilan aniqlanadi. Bu formula bosh kuchlanish formulasi bo'lib juda katta ahamiyatga ega.

Biz tekshirayotgan hol uchun $\sigma_z = \sigma_y = 0$ bo'ladi, binobarin $\sigma_1 = \sigma_{\max} = \tau$ va $\sigma_3 = -\sigma_{\min} = -\tau$ ga teng bo'ladi. Ulardan birinchisi cho'zuvchi va ikkinchisi esa siquvchi normal kuchlanishlardir. Bosh yuzalarni esa ushbu

$$\operatorname{tg} 2\alpha_0 = -\frac{2\tau_a}{\sigma_z - \sigma_y}; \quad (6.17)$$

formula orqali topiladi.

Tajribalar shuni ko'rsatadiki, mo'rt materiallar, masalan, cho'yan brus o'qiga 45° burchak qiyaligidagi tekislik bo'yicha, ya'ni ancha katta cho'zuvchi kuchlanish ta'sir qilgan yuza bo'yicha yemiriladilar.

Demak, brus buraladigan bo'lganda uning o'qidan boshqa barcha nuqtalarida tekis kuchlanish holati, ya'ni sof siljish hosil bo'ladi. Buralishda bruslarning sirtidagi materiallari o'q oldidagi materiallarga qaraganda katta kuchlanishga ega bo'ladi. Shu tufayli brus bir xilda kuchlanmaydi. Agar yupqa devorli bruslar buralsa, devorning barcha nuqtalarida bir xil kuchlanish hosil bo'ladi deb hisoblanadi. Bunga trubalar ham misol bo'la oladi. Bu holda kuchlanish holati bir jinsli bo'ladi. Bunday trubalar sof siljish deformatsiyasini tekshirishda qo'l keladi, masala siljishdagi oquvchanlik chegarasi (τ_{oq}) ni topishda ishlatiladi.

Buralishga ishlovchi bruslar mustahkam bo'lishi bilan birgalikda bikir bo'lishi ham shart. Bikirlik sharti quyidagicha ifodalanadi:

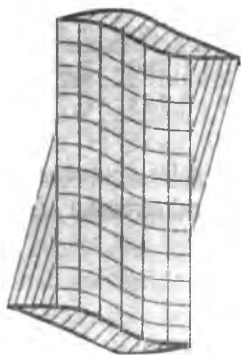
$$\theta = \frac{M_b}{GI_\rho} \leq [\theta]. \quad (6.18)$$

Bunda $[\theta]$ brusning birlik uzunligiga to'g'ri keluvchi ruxsat etilgan buralish burchagi [20,180-bet].

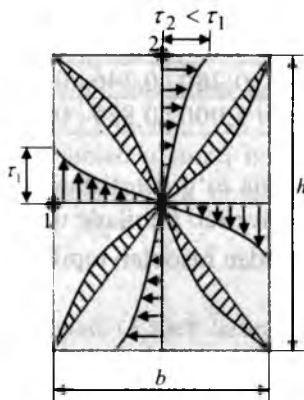
6.5-§. To'g'ri to'rtburchak kesimli sterjen (val) larning buralishi

Ko'ndalang kesimi doiraviy bo'lmagan brus buralganda uning ko'ndalang kesimi deformatsiyadan keyin tekisligicha qolmasdan halki qiyshayadi (6.6- chizma).

Kesimi doiraviy bo'lmagan bruslarda urinma kuchlanishni topish masalasi ancha murakkab bo'lib, uni faqat elastiklik nazariyasining usullari bilangina aniqlash mumkin. Bu yerda xuddi ana shu usulda brus kesimining tomonlari a va b bo'lgan to'g'ri to'rtburchak uchun aniqlangan natijalarni isbotsiz keltiramiz (6.7- chizma).



6.6-chizma. To'g'ri to'rtburchak valning buralishi.



6.7-chizma. Urinma kuchlanishlar epyuralari.

Eng katta urinma kuchlanish ko'ndalang kesimining uzun tomoni o'rtasidagi l nuqtada hosil bo'ladi, bu kuchlanish quyidagi formuladan topiladi:

$$\tau_{1,\max} = \frac{M_b}{W_b} \quad (6.19)$$

Bunda $W_b = \beta b^3$.

τ_2 orqali qisqa tomoni o'rtasiga to'g'ri keladigan kuchlanish belgilangan bo'lib, $\tau_2 = \gamma \tau_1$ ifoda bilan aniqlanadi.

Buralish burchagi quyidagicha aniqlanadi:

$$\varphi = \frac{M_b \cdot l}{GJ_b} \quad (6.20)$$

Bunda $I_b = \alpha b^3$.

α , β va γ koeffitsientlarning qiymatlari a/b nisbatga qarab 6.1-jadvaldan topiladi.

Kesimning perimetri, o'qlari hamda diagonallari bo'yicha urinma kuchlanishning taqsimlanish qonuni 6.7- chizmada ko'rsatilgan. Bu qonundan ko'rinadiki, kesimning burchaklarida urinma kuchlanish nolga teng.

6.1-jadval

h/b	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	6,0	8,0	10,0
α	0,140	0,294	0,475	0,790	1,123	1,789	2,456	3,123
β	0,280	0,346	0,493	0,801	1,150	1,789	2,456	3,123
γ	1,000	0,859	0,795	0,753	0,745	0,743	0,732	0,742

Yupqa to'g'ri to'rtburchakdan iborat kesimlar (burchaklik, qo'shtavr, shveller kabilar) uchun geometrik xarakteristika J_b quyidagi formuladan hisoblab topiladi:

$$J_b = \eta \frac{1}{3} \sum a \cdot b^3 \quad (6.21)$$

Bunda a - to'g'ri to'rtburchakning uzun tomoni;

b - to'g'ri to'rtburchakning qisqa tomoni;

η - kesim shakliga bog'liq koeffitsient. η ning turli shakllar uchun qiymati $\eta_{bur} = 1,0$; $\eta_{shvel} = 1,12$; $\eta_{lavr} = 1,15$; $\eta_{qo'shtavur} = 1,20$ ma'lum.

Bu formula faqat $a/b \geq 10$ bo'lgan bruslar uchun ishlatiladi.

To'g'ri to'rtburchaklardan tuzilgan profilli bruslarning qalinligi eng katta bo'lgan to'g'ri to'rtburchaklar yuzasida maksimal urinma kuchlanish hosil bo'ladi va u quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$\tau_{\max} = \frac{M_b \cdot B_{\max}}{J_b} \quad (6.22)$$

Mashinasozlik sohasida ayniqsa samolyotlar qurilishida yupqa devorli bruslarni buralishga hisoblash ko'p uchraydi. Ularning devor qalinliklari boshqa o'lchamlariga qaraganda juda kichik bo'ladi. Shu sababli ham ularning geometrik xarakteristikallari boshqa xildagi bruslardan farq qiladi. Bunday bruslar asosan ikki guruhga ajratiladi.

1) **Ochiq profilli kesimlar.** Bularga shveller, burchakliklar va zet-simon kesimli bruslar kiradi. Ularni (5.4) formula yordamida hisoblasa bo'ladi. Chunki bunday bruslarning kesim shakllarini qayirib, tug'ri brus holatiga keltirsak, har ikki holda hosil bo'ladigan kuchlanishlarning miqdori u qadar ko'p o'zgarmaydi.

6.6-§. Mustaqil ish topshiriqlari

Berilgan topshiriq bo'yicha 6.8-chizmalarda keltirilgan vallar sxemasi, 2.3-jadvaldan ma'lumotlar olinib tashqi moment ta'siridan quyidagilarni aniqlash talab etiladi:

1) noma'lum X burovchi momentning qanday qiymatida valning o'ng oxirgi kesimida buralish burchagi nolga teng bo'ladi;

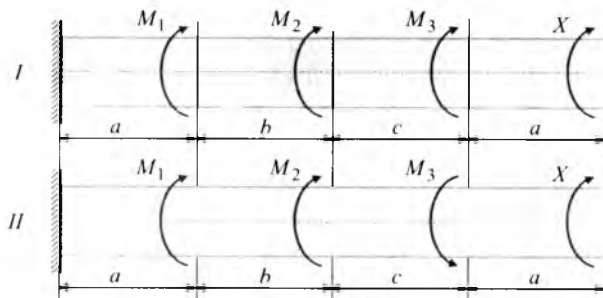
2) aniqlangan X miqdori bo'yicha burovchi momentlar epyurasi qurilsin;

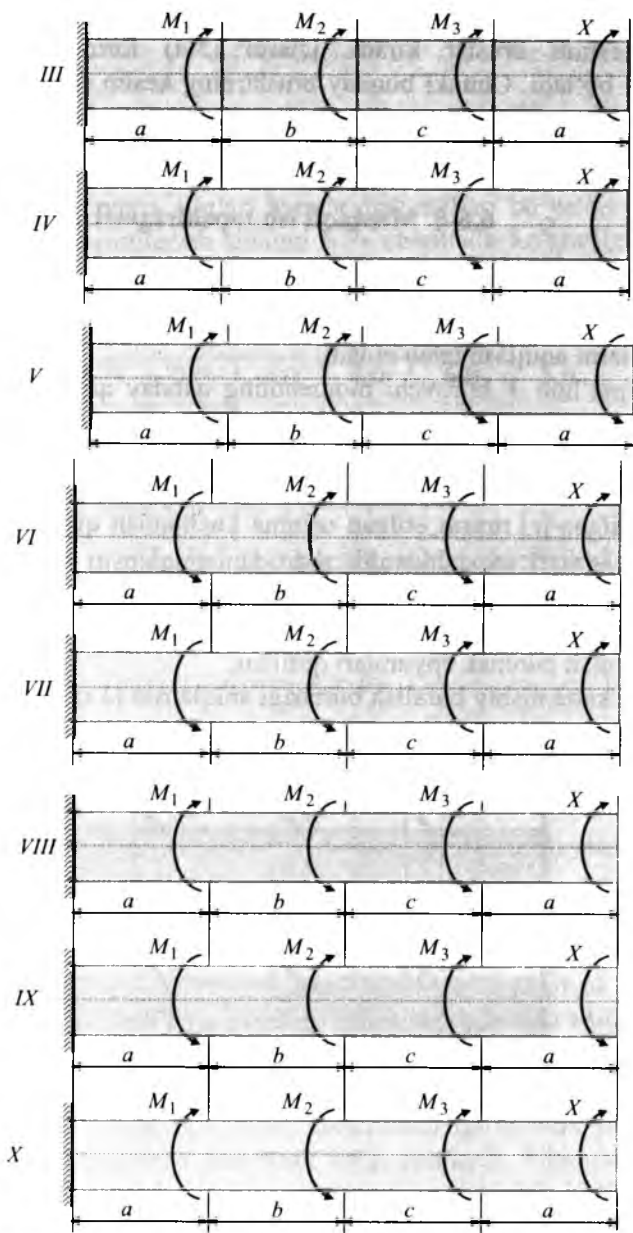
3) berilgan $[\tau]$ ruxsat etilgan urinma kuchlanish qiymati bo'yicha valning diametri mustahkamlik shartidan aniqlansin va unga yaqin bo'lgan butun son bilan yaxlitlab olinsin (30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 100);

4) buralish burchak epyuralari qurilsin;

5) eng katta nisbiy buralish burchagi aniqlansin (1 metr uzunlikka).

Berilganlar quyidagi jadvaldan shifr bo'yicha olinadi.



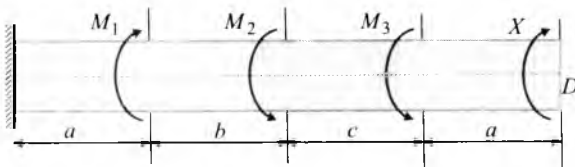


6.8-chizma. To'plangan juft kuchlar bilan yuklangan vallar.

T/r №	6.8-Chizma	Oraliqlar uzunligi, m			Momentlar kNm			[τ] MPa
		a	b	c	M_1	M_2	M_3	
1	I	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	35
2	II	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	40
3	III	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	45
4	IV	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	50
5	V	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	55
6	VI	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	60
7	VII	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	65
8	VIII	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	70
9	IX	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	75
0	X	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	80
	E	G	D	E	G	D	E	B

Mustaqil ishni bajarish tartibini quyidagi misolda keltiramiz.

Berilganlar 6.8-chizma va 6.2-jadvaldan shifr bo'yicha olinadi.
Masalan: 6.8-chizmadan VIII-sxema, $a = 1,4m$; $b = 1,6m$; $c = 1,2m$;



6.9-chizma. Buralishga ishlovchi val.

$$M_1 = 1,4kNm; \quad M_2 = 1,6kNm; \quad M_3 = 1,2kNm; \quad [\tau] = 70MPa = 700N/sm^2.$$

Yechish.

1) Qaralayotgan masala bir marta statik aniqlamas. Valning qistirib mahkamlangan tayanchidagi reaksiya kuchini aniqlashni talab qilma-ganligi uchun uni aniqlamaymiz. Valning erkin uchidagi oxirgi kesimidagi noma'lum X buruvchi momentni aniqlaymiz. Masalaning sharti bo'yicha valning o'ng oxirgi uchidagi kesinning $\varphi_D = 0$ burilish burchagi nolga teng bo'lishi lozim, ya'ni masalaning shartidan:

$$\varphi_D = 0.$$

Kuchlarning mustaqillik prinsipi asosida quyidagilarni hosil qilamiz:

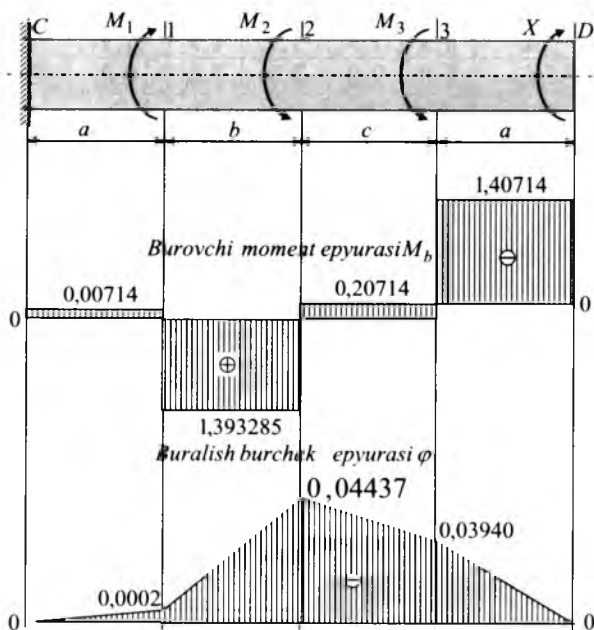
$$\varphi_D = \varphi_D^{M_1} + \varphi_D^{M_2} + \varphi_D^{M_3} + \varphi_D^X = 0.$$

$$\varphi_D = \frac{M_1 \cdot a}{GI_\rho} - \frac{M_2 \cdot (a+b)}{GI_\rho} - \frac{M_3 \cdot (a+b+c)}{GI_\rho} + \frac{X \cdot (2a+b+c)}{GI_\rho} = 0.$$

Bu tenglamadan noma'lum X burovchi moment topiladi:

$$X = \frac{(-M_1) \cdot a + M_2 \cdot (a+b) + M_3 \cdot (a+b+c)}{(2a+b+c)} =$$

$$\frac{(-1,4) \cdot 1,4 + 1,6(1,4 + 1,6) + 1,2(2 \cdot 1,4 + 1,6 + 1,2)}{(2 \cdot 1,4 + 1,6 + 1,2)} = 1,40714 \text{ kNm}.$$



6.10-chizma. Burovchi moment va buralish burchak epyuralari.

Valning har bir oraliq' i uchun burovchi momentlar aniqlanadi:

$$M_b^{3-D} = -X = -1,40714 \text{ kNm};$$

$$M_b^{2-3} = -X + M_3 = -1,40714 + 1,2 = -0,20714 \text{ kNm};$$

$$M_b^{1-2} = -X + M_3 + M_2 = -1,40714 + 1,2 + 1,6 = 1,39286 \text{ kNm};$$

$$M_b^{C-1} = -X + M_3 + M_2 - M_1 = -1,40714 + 1,2 + 1,6 - 1,4 = -0,00714 \text{ kNm}.$$

2) aniqlangan bu qiymatlar bo'yicha 6.10-chizmada burovchi moment epyurasi qurib ko'rsatilgan.

3) valning mustahkamlik shartidan foydalanib, uning diametri aniqlanadi.

$$\tau_{\max} = \frac{M_b}{W_\rho} \leq [\tau]; \quad W_\rho \geq \frac{M_b}{[\tau]}.$$

Doira shaklidagi kesim yuzasi qarshilik momenti taqriban $0,2d^3$ ga teng bo'lgani uchun mustahkamlik shartidan :

$$0,2d^3 \geq \frac{M_b}{[\tau]}; \quad d \geq \sqrt[3]{\frac{M_b}{0,2[\tau]}} = \sqrt[3]{\frac{1,40714 \cdot 10^5}{2 \cdot 700}} = 4,650 \text{ sm} = 46,50 \text{ mm}.$$

Val diametrini $d = 50 \text{ mm}$ ga teng deb qabul qilamiz.

4) Materiali po'latdan bo'lgan val uchun siljishdagi elastiklik moduli $G = 8 \cdot 10^6 \text{ N/sm}^2$ ga teng ekanligi tajribalarda aniqlangan.

Kesimning qutb inersiya momentini aniqlaymiz:
 $I_\rho = 0,1d^4 = 0,1 \cdot 625 \text{ sm}^4$ ga teng bo'ladi.

Har bir oraliqdagi xarakterli 0,1,2,3,D kesimlar uchun valning buralish burchak qiymatlarini quyidagi formulalardan foydalanib aniqlaymiz:

Valning chap uchining buralish burchagi nolga teng ekanligi ma'lum $\varphi_c = 0$.

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= \varphi_c + \varphi_{c-1} = 0 + \frac{M_b^{C-1} \cdot a}{GI_\rho} = \\ &= \frac{(-0,00714 \cdot 10^5 \text{ Nsm}) \cdot (140) \text{ sm}}{(8 \cdot 10^6 \text{ N/sm}^2) \cdot 62,5 \text{ sm}^4} = -0,0002 \text{ rad}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varphi_2 &= \varphi_{c-1} + \varphi_{1-2} = -0,0002 + \frac{M_b^{1-2} \cdot b}{GI_\rho} = \\ &= -0,0002 + \frac{(1,39286 \cdot 10^5 \text{ Nsm}) \cdot (160) \text{ sm}}{(8 \cdot 10^6 \text{ N/sm}^2) \cdot 62,5 \text{ sm}^4} = 0,04437 \text{ rad}; \\ \varphi_3 &= \varphi_{1-2} + \varphi_{2-3} = -0,04437 + \frac{M_b^{2-3} \cdot c}{GI_\rho} = \\ &= -0,04437 + \frac{-0,20714 \cdot 10^5 \text{ Nsm} \cdot (120) \text{ sm}}{(8 \cdot 10^6 \text{ N/sm}^2) \cdot 62,5 \text{ sm}^4} = -0,0394 \text{ rad}; \\ \varphi_D &= \varphi_{2-3} + \varphi_{3-D} = \frac{M_b^{3-D} \cdot a}{GI_\rho} = -0,0394 + \frac{(-1,40714 \cdot 10^5 \text{ Nsm}) \cdot (140) \text{ sm}}{(8 \cdot 10^6 \text{ N/sm}^2) \cdot 62,5 \text{ sm}^4} = 0. \end{aligned}$$

Buralish burchagini aniqlangan qiymatlari bo'yicha epyuralari 6.10-chizmada qurib ko'rsatilgan.

5. Valning eng katta nisbiy buralish burchagini aniqlaymiz:

$$\varphi_{\max} = \frac{M_b^{3-D} \cdot 1m}{GI_\rho} = \frac{1,40286 \cdot 10^5 \text{ Nsm} \cdot 100 \text{ sm}}{8 \cdot 10^6 \text{ N/sm}^2 \cdot 62,5 \text{ sm}^4} = 0,0271 \text{ rad}.$$

Tayanch iboralar:

Burovchi moment, buralish, deformatsiya, kesish usuli, val, mustahkamlik, burrovchi moment epyurasi, doiraviy kesimli, kuchlanish va deformatsiya, deformatsiyagacha tekis, ko'ndalang yuzasi, tekisligicha, kesim gardishi aylanaligicha, radiusi esa to'g'ri chiziqlicha, buralish burchagi, proporsionaldir, nisbiy siljish, urinma kuchlanish, qutb inersiya momenti, bikrlilik, qutb qarshilik momenti, mustahkamlik sharti, bikirlik sharti, buralish burchak epyurasi, buralishda statik aniqlamas masalalar, tayanchlarda reaksiya momentlari, statika muvozanat tenglamasi, kesimi doiraviy bo'lmagan bruslarning buralishi.

Test savollari:

1. Buralish deb nimaga aytiladi?

brusning ko'ndalang kesim yuzalarida faqat burrovchi moment hosil bo'ladigan deformatsiyaga aytiladi;

brusning ko'ndalang kesim yuzalarida faqat eguvchi moment hosil bo'ladigan deformatsiyaga aytiladi;

brusning ko'ndalang kesim yuzalarida faqat kesuvchi moment hosil bo'ladigan deformatsiyaga aytiladi;

2. Burovchi moment ot kuchi orqali qanday ifodalanadi?

$$M_b = 9736 \frac{F}{n} N \cdot m;$$

$$M_b = 7162 \frac{F}{n} N \cdot m;$$

$$M_b = \frac{Fv}{75} N \cdot m;$$

$$M_b = 9736 \frac{F}{n} kN \cdot m;$$

3. Burovchl moment quvvat orqali qanday ifodalanadi?

$$M_b = 7162 \frac{F}{n} N \cdot m;$$

$$M_b = 9736 \frac{F}{n} N \cdot m;$$

$$M_b = \frac{Fv}{75} N \cdot m;$$

$$M_b = 9736 \frac{F}{n} kN \cdot m;$$

4. Brus ko'ndalang kesimida hosil bo'lgan burrovchi moment qanday usuldan foydalanib aniqlanadi?

kesisli usulidan;

dinamik usulidan ;

fizik usulidan ;

boshlag'ich usulidan;

5. Brusning buralishida ko'ndalang kesimida qanday zo'riqish kuchlari hosil bo'ladi?

burovchi moment;

eguvchi moment;

burovchi moment, kesuvchi kuch;

eguvchi moment, ko'ndalang kuch;

6. Statik aniqlamas masalalarda noma'lumlar soni statik tenglamalari sonidan bitta ko'p bo'lsa masala necha marta statik noaniq bo'ladi?

1;

2;

3;

4;

7. Statik aniqmas masalalarda statika tenglamalari sonidan noma'lum zo'riqish kuchlari soni beshta ko'p bo'lsa masala necha marta statik noaniq bo'ladi?

5;

4;

1;

2;

8. Statik aniqmas masalalarda noma'lumlar soni statika tenglamalari sonidan $n+1$ ta ko'p bo'lsa masala necha marta statik noaniq bo'ladi?

$n+1$;

n ;

1;

$n-1$;

9. Statik aniqmas masalalarda qo'shimcha tenglamalar soni qanday shartdan foydalanib tuziladi?

sistemaning deformatsiyasi shartidan;

sistemaning kuchlanishi shartidan;

sistemaning bog'lanish shartidan;

sistemaning tayanch shartidan;

10. Statik aniqmas masalalar qanday tartibda yechiladi?

statik muvozanat tenglamalar tuziladi, noma'lumlar soni aniqlanadi, qo'shimcha tenglama tuziladi;

deformatsiyalarni solishtirish, kuch usuli, energetik usul yordamida qo'shimcha tenglama tuziladi;

kuch usuli, mexanik usul, energetik usul yordamida qo'shimcha tenglama tuziladi;

mexanik xossalari, fizik xossalari, geometrik xossalari yordamida sintez qilinadi;

11. Masalada ortiqcha noma'lumlar soni uchta bo'lsa masala necha marta statik noaniq bo'ladi?

uch marta;

ikki marta;

to'rt marta;

besht marta;

12. Statik aniqmas masalalarni yechishda asosiy sistema deb qanday sistemaga aytiladi?

statik aniqmas sistemadan ortiqcha bog'lanishiarni tashlab yuborib olingan statik aniq sistemaga;

statik aniqmas sistemadagi tayanchlarning birontasini reaksiya kuchi bilan almashtirib olingan statik aniqmas sistemaga;

statik aniqmas sistemadagi tayanchlarning barcha reaksiya kuchl bilan almashtirib olingan statik aniq sistemaga;

statik aniq sistemadan ortiqcha noma'lumlarni tashlab yuborib olingan statik aniq sistemaga;

13. Statik aniqmas masalalarni yechishda ekvivalent sistema deb qanday sistemaga aytiladi?

statik aniqmas sistemadagi tayanchlarning hirontasini noma'lum reaksiya kuchi bilan almashtirib olingan statik aniq sistemaga;

statik aniqmas sistemadan ortiqcha bog'lanishlarni tashlab yuborib olingan statik aniqmas sistemaga ;

statik aniqmas sistemadan ortiqcha noma'lumlarni tashlab yuborib olingan statik aniqmas sistemaga

statik aniq sistemadagi tayanchlarni reaksiya kuchi bilan almash-tirib olingan statik aniq sistemaga;

14. Statik aniqmas masalalarni yechishda asosiy sistemani ekvivalent sistemadan hosil qilish mumkinmi?

mumkin;

mumkin emas;

ba`zan mumkin;

ko`pincha mumkin emas;

15. Statik aniqmas bruslar sistemasini yechish qanday reja asosida olib boriladi?

noma'lum zo'riqishlar yo'nalishlari ko'rsatiladi, kerakli muvozanat tenglamalar tuziladi, qo'shimcha tenglama tuziladi, qo'shilmcha tenglamadagi deformatsiyalar zo'riqish kuchlari bilan almashtirilib va ular birgalikda yechiladi;

noma'lum zo'riqishlar yo'nalishlari ko'rsatilmaydi, kerakli muvozanat tenglamalar tuziladi, qo'shimcha tenglama tuziladi, qo'shilmcha tenglamadagi kuchlanishlar zo'riqish kuchlari bilan almashtiriladi va yechiladi;

noma'lum zo'riqishlar yo'nalishlari ko'rsatiladi, kerakli muvozanat tenglamalar tuzilishi shart emas, qo'shimcha tenglama tuziladi, qo'-

shimcha tenglamadagi deformatsiyalar zo'riqish kuchlari bilan almashtirilib va ular birgalikda yechiladi;

ma'lum zo'riqishlar yo'nalishlari ko'rsatiladi, kerakli muvozanat va qo'shimcha tenglama tuzilmaydi, qo'shimcha tenglamadagi deformatsiyalar zo'riqish kuchlari bilan almashtirilib va ular birgalikda yechiladi;

16. Bruslarning huralishida burovchi moment ishorasi musbat qabul qilinadi?

kesimga tashqi normal tomonidan qaraganda soat millari harakati bo'yicha yo'nalgan bo'lsa, musbat;

kesimga tashqi normal tomonidan qaraganda soat millari harakatiga teskari yo'nalgan bo'lsa;

kesimga tashqi normal tomonidan qaraganda soat millari harakatiga perpendikulyar yo'nalgan bo'lsa;

soat millari bo'g'liq emas;

17. Ko'ndalang kesimi doira shaklida brus sirtida yotuvchi tolaning siljish burchagi qaysi javobda to'g'ri keltirilgan?

$$\gamma = \frac{r \cdot d\varphi}{dz};$$

$$\gamma_{\rho} = \frac{\rho \cdot d\varphi}{dz};$$

$$\gamma = \frac{r \cdot d\gamma}{dz};$$

$$\gamma_{\rho} = \frac{\rho \cdot d\gamma_{\rho}}{dz};$$

18. Ko'ndalang kesimi doira shaklida brusning to'la huralish burchagi formulasi qaysi javobda to'g'ri keltirilgan?

$$\varphi = \frac{M_b \cdot \ell}{Gl_{\rho}};$$

$$\varphi = \frac{M_{eg} \cdot \ell}{El_x};$$

$$\gamma = \frac{r \cdot d\varphi}{dz};$$

$$\theta = \frac{M_b}{Gl_{\rho}};$$

19. Ko'ndalang kesimi doira shaklida brusning nisbiy buralish burchagi formulasi qaysi javobda to'g'ri keltirilgan?

$$\theta = \frac{M_b}{GI_\rho};$$

$$\gamma = \frac{r \cdot d\varphi}{dz};$$

$$\varphi = \frac{M_b \cdot \ell}{GI_\rho};$$

$$\gamma_\rho = \frac{\rho \cdot d\gamma_\rho}{dz};$$

20. Ko'ndalang kesimi doira shaklida brusning bikirligi qaysi javobda to'g'ri keltirilgan?

$$GI_\rho;$$

$$EI_\rho;$$

$$\sigma_\rho;$$

$$\tau_\rho;$$

21. Ko'ndalang kesimi doira shaklida brus buralganda ko'ndalang kesimlar orasidagi masofa o'zgaradimi?

o'zgarmaydi;

o'zgaradi;

bo'ylama tolalari cho'ziladi;

bo'ylama tolalari siqiladi va cho'ziladi;

22. Ko'ndalang kesimi doira shaklida bruslarning buralishini o'rganishda qanday gipotezalardan foydalanamiz?

brus buralguncha tekis bo'lgan kesim yuzasi buralgandan keyin ham tekisligicha qoladi va brusning radiusi egrilanmaydi;

kuch qo'yilgan nuqtada kuchlanish jism o'lchamiga nisbatan juda ham katta bo'lsa, ko'chishlar, deformatsiyaning natijasi bo'lganligidan, u ta'sir qiluvchi kuchlarga proporsional;

jismning qalinligiga nisbatan o'lchamlari katta bo'lgan egri sirt bilan chegaralangan; jismning qalinligiga nisbatan qolgan boshqa o'lchamlari katta bo'lgan tekis sirt bilan chegaralangan bo'lsa;

brus cho'zilguncha tekis bo'lgan kesim yuzasi cho'zilgandan keyin ham tekisligicha qoladi va brusning radiusi egrilanadi;

23. Buralishda brus ko'ndalang kesimning ixtiyoriy nuqtasidagi urinma kuchlanish qaysi formuladan aniqlanadi?

$$\tau = \frac{M_h}{I_\rho} \rho;$$

$$\tau = \frac{M_h}{J_x};$$

$$\tau = \frac{M_h}{W_x};$$

$$\tau = \frac{M_h}{J_\rho};$$

24. Buralishda urinma kuchlanish brusning doiraviy ko'ndalang kesimi bo'yicha qanday qonun asosida o'zgaradi?

to'g'ri chiziqli qonun asosida;

parabola qonuni asosida;

ikkinchi tartibli egri chiziqli qonun asosida;

giperbola qonuni asosida;

25. Buralishda urinma kuchlanish kesim yuzasining qaysi nuqtasida nolga teng va qaysi nuqtalarida maksimal qiymatga ega bo'ladi?

kesim og'irlik markazida nolga eng chekka nuqtalarda maksimal ;

kesim og'irlik markazida maksimal eng chekka nuqtalarda nol ;

kesim og'irlik markazida maksimumga eng chekka nuqtalarda minimum;

kesim og'irlik markazida minimumga eng chekka nuqtalarda minimum;

26. Silindrik brus ko'ndalang kesimining qutb qarshilik momenti qaysi javobda to'g'ri berilgan?

$$W_\rho = \frac{J_\rho}{r};$$

$$W_\rho = \frac{J_\rho}{d};$$

$$W_\rho = \frac{J_x}{d};$$

$$W_\rho = \frac{J_x}{r};$$

27. Valning ko'ndalang kesimida qanday ichki kuch faktorlari hosil bo'ladi?

burovchi moment;
burovchi va eguvchi momentlar;
faqat eguvchi moment;
bimoment;

28. Buralishda silindrik bruslarning mustahkamlik sharti qaysi javobda to'g'ri keltirilgan?

$$\tau_{\max} = \frac{M_{b_{\max}}}{W_{\rho}} \leq [\tau];$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{b_{\max}}}{W_{\rho}} \leq [\sigma];$$

$$\tau_{\max} = \frac{M_{eg_{\max}}}{W_{\rho}} \leq [\tau];$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{eg_{\max}}}{W_{\rho}} \leq [\sigma];$$

29. Buralishda silindrik bruslarning bikiirlik sharti qaysi javobda to'g'ri keltirilgan?

$$\theta_{\max} = \frac{M_b}{Gl_{\rho}} \leq [\theta];$$

$$\gamma_{\max} = \frac{r \cdot d\varphi}{dz} \leq [\gamma_{\max}];$$

$$\varphi_{\max} = \frac{M_b \cdot \ell}{Gl_{\rho}} \leq [\varphi];$$

$$\gamma_{\rho} = \frac{\rho \cdot d\gamma_{\rho}}{dz};$$

30. Qanday masalalarga statik aniqmas masalalar deb aytiladi?

agar noma'lum zo'riqish kuchlari yoki reaksiya kuchlari soni shu masala uchun tuzish mumkin bo'lgan statikaning muvozanat tenglamalari sonidan ko'p bo'lsa;

agar noma'lum zo'riqish kuchlari yoki reaksiya kuchlari soni shu masala uchun tuzish mumkin bo'lgan statikaning muvozanat tenglamalari soniga teng bo'lsa;

agar qaralayotgan masala faqat statikaning muvozanat tenglamalari yordamisiz yechish mumkin bo'lsa;

agar qaralayotgan masala faqat statikaning muvozanat tenglamalari yordamida yechish mumkin bo'lgan ;

EGILISH DEFORMATSIYASI

7.1-§. Qo'shma to'sinlarni mustahkamlikka hisoblash

Amaliyotda sanoat binolarida, mashinasozlikda va yirik ko'priklarda ishlatiladigan to'sinlarning ko'ndalang kesimlari o'lchamlari sortament jadvalida berilgan standart o'lchamlaridan ancha katta bo'ladi. Ko'ndalang kesimi standart qo'shtavrligi to'sinlarning balandligi uning nomeriga son jihatidan mos keladi. GOST bo'yicha 70 nomerli eng katta qo'shtavr to'sinning balandligi 70 sm ga teng. Zavodlardan undan katta nomerli qo'shtavr ishlab chiqarilmaydi. Yirik inshootlarda katta yuklarga qarshilik ko'rsatadigan va ravoqlari katta bo'lgan to'sinlarning ko'ndalang kesim yuzasi o'lchamlar katta bo'lishi lozim. Bunday to'sinlarni parchin mixlar yoki payvandlash usullari bilan tayyorlash mumkin.

Parchin mixlar yordamida birlashtirishdan hosil qilingan qo'shma to'sinlar vertikal list (devor), bir nechta gorizontal listlar va burchakliklardan iborat bo'ladi (7.1,a-chizma). Payvandlab birlashtirilgan qo'shma to'sinlar vertikal list (devor) va gorizontal listlardan iborat bo'ladi (7.1,b-chizma). Qo'shma to'sinlar devor va poyaslardan tashkil topgan bo'ladi.

Qo'shma to'sinlarni mustahkamlikka hisoblashda mustahkamlik shartidan foydalanib quyidagi tartibda bajariladi:

- to'sinning ko'ndalang kesim yuzasi tanlanadi;
- parchin mix va payvand birikmalar mustahkamligi tekshiriladi.

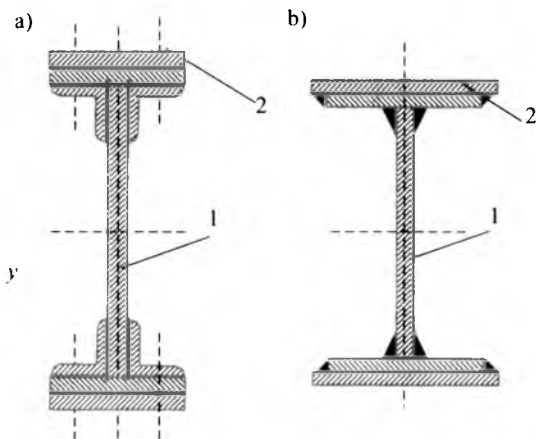
To'sinning ko'ndalang kesim yuzasi o'lchami eng xavfli kesimning mustahkamlik shartidan aniqlanadi, ya'ni

$$\sigma = \frac{M_{x \max}}{W_{x \text{ netto}}} \leq R, \quad (7.1)$$

bunda $M_{x \max}$ – eng katta hisob momenti;

$W_{x \text{ netto}}$ – netto ko'ndalang kesimning qarshilik momenti;

R – po'latning hisob qarshiligi.



7.1-chizma. Qo'shma to'sinlarning kesim yuzasi.

Ko'ndalang kesimning netto qarshilik momenti quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$W_{x\text{ netto}} = \frac{I_{x\text{ netto}}}{y_{\text{max}}}. \quad (7.2)$$

Demak bu ifodadan ko'rinadiki, kesimning inersiya momentini aniqlash lozim:

$$I_{x\text{ netto}} = I_{x\text{ brutto}} - I_T. \quad (7.3)$$

Bu ifodada kesimning $I_{x\text{ brutto}}$ inersiya momenti;

I_T – zaiflashtiruvchi (parchin mixlar uchun o'yib olingan teshiklarning) yuzaning inersiya momenti.

Qo'shma to'sin ko'ndalang kesimi inersiya momenti umi tashkil etuvchi qismlar yuzalarining inersiya momentlari yig'indisiga teng bo'ladi. Qo'shma to'sinni takil etuvchi listlar va burchakliklarning og'irlik markazlari umumiy kesim og'irlik markazi bilan ustma-ust tushmaganligi sababli har bir list va burchaklarning inersiya momentlari quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$I_x = I_0 + Ac^2; \quad (7.4)$$

bu yerda I_0 – har bir qismning o'z markaziy Ox o'qiga nisbatan olingan inersiya momenti;

A – qaralayotgan kesimning yuzasi;

c – o‘qlar orasidagi masofa.

To‘sin ko‘ndalang kesim yuzasining inersiya momenti topilgandan so‘ng, (7.2) formuladan qarshilik momenti aniqlanib mustahkamlikka (7.1) formula bo‘yicha tekshiriladi. Normal kuchlanish va hisob qarshilik momentlar orasidagi farq $\pm 5\%$ dan oshib ketmasligi kerak.

Qo‘shma to‘sin urinma kuchlanish bo‘yicha quyidagi mustahkamlik sharti bo‘yicha tekshiriladi:

Parchin mixlar hisobi. Qo‘shma to‘sinlarning mustahkamligiga parchin mixlarning to‘g‘ri joylashtirilgani muhim ahamiyat kasb etadi.

Burchakliklar to‘sinning vertikal va gorizontallari bilan parchin mixlar yordamida tutashtiriladi (7.2-chizma). Gorizontallarning burchaklikka nisbatan siljimasligi uchun vertikal parchin mixlar bilan parchinlanadi. Burchaklik devor bo‘yicha siljimasligi uchun gorizontallari parchin mixlar bilan parchinlanadi (7.3-chizma).

Burchakliklar va devor orasidagi ishqalamishlarni hisobga olmasak, to‘sin devori bilan burchaklikni tutashtiruvchi gorizontallari parchin mixlarga ko‘proq siljituvchi kuch hosil bo‘ladi. Uzunlik birligiga to‘g‘ri keluvchi siljituvchi kuchni quyidagi formuladan aniqlash mumkin:

kesuvchi siljituvchi

$$T_1 = \frac{Q_v S_x^{qbrutto}}{I_x^{brutto}} \quad (7.5)$$

Qo‘shma to‘sinlarda parchin mixlar uzunligi bo‘yicha ma‘lum qadam bilan qo‘yiladi, bu uzunlikka to‘g‘ri keluvchi kuch quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$T = T_1 a = \frac{Q_v S_x^{qbrutto}}{I_x^{brutto}} a. \quad (7.6)$$

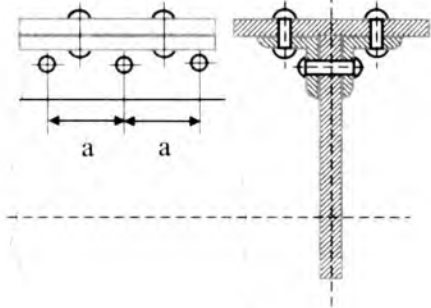
Q_v – ko‘ndalang kuch;

I_x – brutto inersiya momenti;

S_x^q – qirqib olingan bo‘lakning statik momenti.

Parchin mixlar qirqilish bilan ezilishga ham ishlaydi, shuning uchun ham qirqilish shartidan parchin mixda hosil bo‘ladigan kuch quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$N_q = \frac{\pi d^2}{4} nR; \quad N_e = A_e R_e. \quad (7.7)$$



7.2-chizma. Parchin mixli
konstruksiya.



7.3-chizma. Parchin mixli
qo'shtavirli konstruksiya.

Parchin mixni ezuvchi kuch quyidagi formuladan topiladi:

$$N_e = A_e R_e; \quad (7.8)$$

n —parchin mixlar qir qilishi mumkin bo'lgan qir qimlar soni;

d —parchin mix diametri;

R_q, R_e —qir qilish va ezilishdagi hisob qarshiligi;

A_e —eng kichik ezilish yuzasi.

Parchin mixlarning o'lchamlari va diametri ma'lum bo'lsa,

$$N_q = T. \quad (7.9)$$

$$N_e = T. \quad (7.10)$$

Tengliklardan parchin mixlarning a qadamini aniqlash mumkin.

Payvand birikmalar hisobi. Keyingi vaqtlarda payvandlash texnologiyasi shu qadar takomillashdiki, u ko'pdan-ko'p konstruksiyalarda parchin mix o'rnida ishlatiladigan bo'ldi. Payvand chokning parchin mixli birikmadan afzalligi shundaki, payvandlangan elementning ko'ndalang kesim yuzasidan to'la foydalaniladi, elementning og'irligi kamayadi, choklari zichi bo'lib, suyuqlik va gazlarni o'tkazmaydigan bo'lib qoladi va konstruksiya soddalashadi, hamda texnologiya protsessi arzonlashadi.

Payvandlashning asosan ikki usuli bor: uchma-uch va ustma-ust payvandlash. Uchma-uch payvandlash eng oson va ishonchli bo'lganligi uchun bu usul ko'p qo'llaniladi (7.4-chizma).

Choklar asosan, ko'ndalang va bo'ylama bo'lishi mumkin. Uchma-uch payvandlangan ko'ndalang chokning cho'zilish yoki siqilishga qarshilik ko'rsatishdagi mustahkamlik sharti quyidagicha yoziladi:

$$\sigma = \frac{F}{\ell \delta} \leq [\sigma_e]; \quad (7.11)$$

bunda ℓ —chokning hisoblashdagi uzunligi;

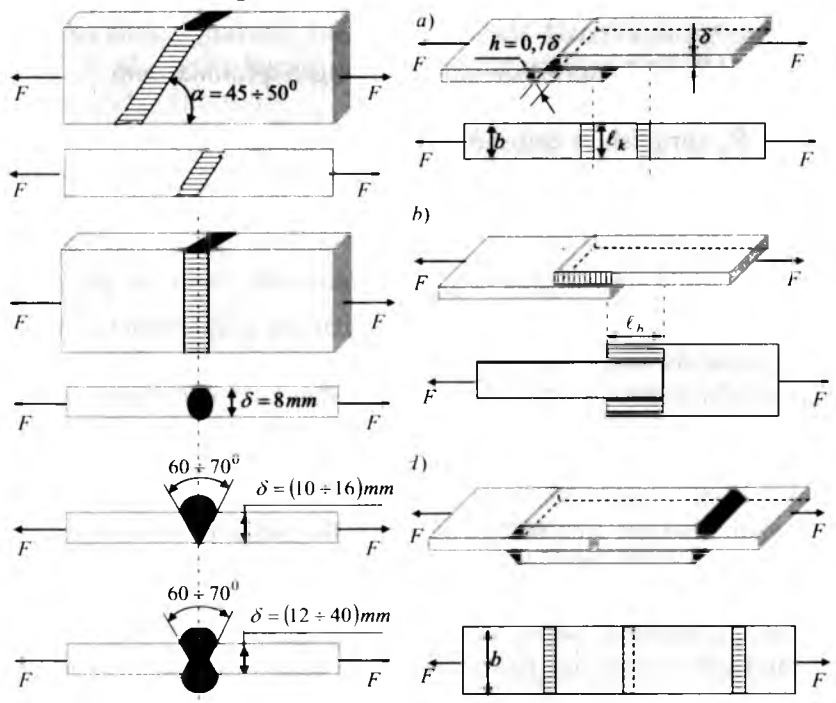
δ —payvandlanadigan elementning qalinligi;

$[\sigma_e]$ —elektr payvandlash uchun ruxsat etilgan kuchlamish.

Listlarni payvandlashning ikkinchi usuli ustma-ust qo'yib payvandlash bo'lib, unda listlar valiksimon chok bilan payvandlanadi (7.4-chizma). Valiksimon chokning mustahkamlik shartini yozishda uning kesim yuzasi $A = \ell \cdot h$ qilib olinadi, uzunligi bilan balandligi esa quyidagicha olinadi:

$$\ell = b - 10 \text{ mm}; \quad h = \delta \cdot \cos 45^\circ \cong 0,7\delta.$$

Bunda b—listning eni.



7.4-chizma. Polosani uchma-uch va ustma-ust payvandlash sxemasi.

Listlarni ustma-ust qo'yib payvandlashdagi chokning mustahkamlik sharti quyidagicha yoziladi:

$$\tau = \frac{F}{0,7d\delta} \leq [\tau_e]. \quad (7.12)$$

Bunda $[\tau_e]$ —elektir payvand chokning kesilishiga ruxsat etilgan kuchianish.

Payvandlash 7.4-chizmada ko'rsatilgandek bajarilsa, zo'riqish kuchiga ikkita chok qarshilik ko'rsatgani uchun mustahkamlik sharti quyidagicha bo'ladi:

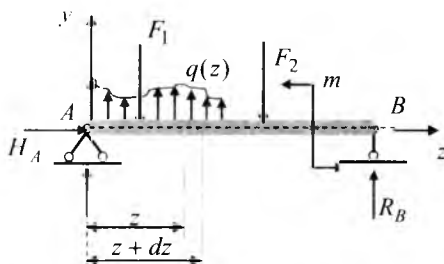
$$\tau = \frac{F}{1,4\ell\delta} \leq [\tau_e]. \quad (7.13)$$

7.2-§. Cho'zilish va siqilishda elastiklik modullari turli bo'lgan to'sinlar hisobi

Amaliyotdan ma'lumki beton, plastmassa va boshqa materiallar cho'zilish va siqilishda turli elastiklik modullariga ega bo'ladi. Bunday materiallarning cho'zilishda elastiklik moduli E_1 , siqilishda esa E_2 orqali ifodalanadi.

Bunday materiallardan yasalgan bruslar elastiklik chegarasida egilganda tekis kesim gipotezasidan foydalanish mumkin.

Elastiklik moduli cho'zilish va siqilishda turlicha bo'lgan, sirtqi kuch ta'siridagi to'sinning egilishini tekshiramiz (7.6-chizma).



7.5-chizma. Tashqi kuchlar ta'siridagi oddiy to'sin.

Ko'ndalang kesim yuzasi to'g'ri to'rtburchakli to'sindan uzunligi dz ga teng bo'lgan element ajratib olamiz (7.7, a-chizma).

Brus cho'zilish va siqilishda turli elastiklik moduli bo'lganda kesimining neytral o'qi og'irlik markazidan o'tmasdan uni balandliklari (h_1 va h_2) teng bo'lmagan ikki sohaga bo'ladi.

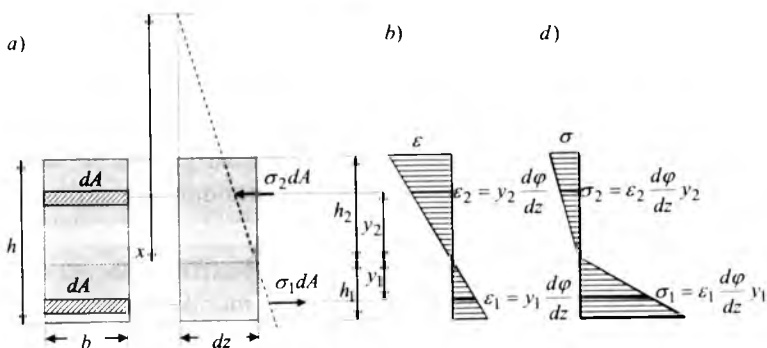
Brusning nisbiy deformatsiya epyurasi 7.7,b-chizmada keltirilgan.

Brusning cho'zilgan sohasida neytral o'qdan y_1 masofadagi to-lalarining nisbiy deformatsiya quyidagicha ifodalanadi:

$$\varepsilon_1 = \frac{d\varphi}{dz} y_1. \quad (7.14)$$

Siqilgan sohasida neytral o'qdan y_2 masofadagi tolalarining nisbiy deformatsiya quyidagicha ifodalanadi:

$$\varepsilon_2 = \frac{d\varphi}{dz} y_2. \quad (7.15)$$



7.6-chizma. Ko'ndalang kesim bo'ylab kuchlanichlarning tarqalish qonuni.

Ko'ndalang kesim bo'yicha kuchlanishlar epyurasi o'zgarish qo-nuni 7.7,d-chizmada keltirilgan. Brusning cho'zilgan sohasida kuch-lanish quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$\sigma_1 = E_1 \frac{d\varphi}{dz} y_1. \quad (7.16)$$

Siqilgan sohasida quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$\sigma_2 = E_2 \frac{d\varphi}{dz} y_2. \quad (7.17)$$

Sof egilishda ko'ndalang kesim yuzasida elementar normal kuch-larning teng ta'sir etuvchisi nolga teng ekanligidan foydalanib quyi-dagi tenglikni hosil qilamiz:

$$N = \int_A \sigma dA = \int_{A_1} \sigma_1 dA + \int_{A_2} \sigma_2 dA = 0. \quad (7.18)$$

Bu tenglikka (7.16) – (7.17) formulalardan kuchlanishlar qiymatini qo‘yib quyidagini hosil qilamiz:

$$\int_{A_1} E_1 \frac{d\varphi}{dz} y_1 dA + \int_{A_2} E_2 \frac{d\varphi}{dz} y_2 dA = 0. \quad (7.19)$$

Bu tenglamaning har ikkala tomonini integrallash o‘zgaruvchisiga bog‘liq bo‘lmagan $\frac{d\varphi}{dz}$ qiymatga qisqartirib, elastiklik modullarini integraldan tashqariga chiqarib yuqoridagi tenglamani quyidagi ko‘rinishga keltiramiz:

$$E_1 \int_{A_1} y_1 dA + E_2 \int_{A_2} y_2 dA = 0. \quad (7.20)$$

Ushbu (7.20) tenglamadagi integrallar $S_1 = \int_{A_1} y_1 dA$ va $S_2 = \int_{A_2} y_2 dA$ sohalarning neytral o‘qqa nisbatan statik momentlarini xarakterlagani uchun, tenglama quyidagi ko‘rinishda ifodalanadi:

$$S_{Kel} = S_1 + \frac{E_2}{E_1} S_2 = 0. \quad (7.21)$$

Budan ko‘rinadiki, elastiklik moduli cho‘zilish va siqilishda turlicha bo‘lgan to‘sinlarning egilishida kesim yuzining keltirilgan statik momenti nolga teng bo‘lar ekan. Bundan xulosa qilib shuni aytish mumkinki, bunda neytral o‘q kesim yuzasining og‘irlik markazidan o‘tmaydi.

Elastiklik moduli cho‘zilish va siqilishda turlicha bo‘lgan to‘sin ko‘ndalang kesim yuzasi neytral o‘qi holatini (7.21) formuladan foydalanib aniqlaymiz.

Elastiklik moduli cho‘zilish va siqilishda turlicha bo‘lgan to‘sin eguvchi momenti quyidagicha ifodalanadi:

$$M_x = \int_A y(\sigma dA) = \int_{A_1} y_1 \left(E_1 \frac{d\varphi}{dz} y_1 \right) dA_1 + \int_{A_2} y_2 \left(E_2 \frac{d\varphi}{dz} y_2 \right) dA_2. \quad (7.22)$$

Bu ifodada $\frac{d\varphi}{dz}$ va E_1, E_2 qiymatlar elementar yuzacha qayerda olinishiga bog‘liq emasligini e‘tiborga olsak eguvchi moment ifodasi quyidagi ko‘rinishga keltirish mumkin:

$$M_x = \frac{d\varphi}{dz} \left[\int_{A_1} E_1 (y_1)^2 dA_1 + \int_{A_2} E_2 (y_2)^2 dA_2 \right] = \frac{d\varphi}{dz} (E_1 I_1 + E_2 I_2). \quad (7.23)$$

Bu ifodadagi kichik qavs ichidagi ifoda keltirilgan bikirlik deb ataladi:

$$EI_{kel} = (E_1 I_1 + E_2 I_2). \quad (7.24)$$

Bu ifodani ikki xil ko'rimishda yozish mumkin.

Birinchi variantda keltirilgan bikirlikni keltirilgan elastiklik moduli orqali ifodalash mumkin:

$$EI_{kel} = I \left(E_1 \frac{I_1}{I} + E_2 \frac{I_2}{I} \right) = E_{kel} I. \quad (7.25)$$

Bunda

I – ko'ndalang kesimning markaziy o'qiga nisbatan olingan inersiya momenti;

E_{kel} – keltirilgan elastiklik moduli quyidagiga teng bo'ladi:

$$E_{kel} = E_1 \frac{I_1}{I} + E_2 \frac{I_2}{I}. \quad (7.26)$$

Ikkinchi variantda keltirilgan bikirlikni keltirilgan inersiya momenti orqali ifodalash mumkin:

$$(EI)_{kel} = E_1 \left(I_1 + I_2 \frac{E_2}{E_1} \right) = E_1 I_{kel}. \quad (7.27)$$

Bunda

$I_{kel} = \left(I_1 + I_2 \frac{E_2}{E_1} \right)$ kesimning keltirilgan inersiya momenti.

Eguvchi moment ifodasi (7.23) ga (7.26) ifodani qo'yib quyidagimi hosil qilishi mumkin:

$$\frac{M_x}{E_{kel} I} = \frac{d\varphi}{dz}. \quad (7.28)$$

Bu (7.28) ifodani kuchlamshlar formulalari (7.16) – (7.17) ga qo'y-sak, ular cho'zilish va siqilish sohalarida tegishli qayidagicha ifodalanadi:

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{E_1}{E_{kel}} \frac{M_x}{I} y_1; \\ \sigma_2 &= \frac{E_2}{E_{kel}} \frac{M_x}{I} y_2. \end{aligned} \quad (7.29)$$

Yuqoridagi formulalardan cho'zilish va siqilishda elastik moduli turlicha bo'lgan ixtiyoriy ko'ndalang kesimli to'sinlarning egilishida foydalanish mumkin.

Qaralayotgan masalada agar $E_1 = E_2 = E$ bo'lsa, (7.29) formula to'g'ri ko'ndalang egilishdagi normal kuchlanish formulasiga o'tadi:

$$\sigma = \frac{M}{I} y. \quad (7.30)$$

To'g'ri to'rtburchakli ko'ndalang kesim uchun neytral o'q holatini va keltirilgan elastik modulini aniqlaymiz.

To'sinning siqilgan va cho'zilgan sohalarida statik momentlari tegishlicha quyidagi tengliklardan aniqlanadi:

$$S_1 = \frac{bh_1^2}{2}; \quad S_2 = \frac{bh_2^2}{2}. \quad (7.31)$$

Keltirilgan statik moment tenglamasi (7.21) ifodaga statik momentlar (7.31) ni qo'yib quyidagini hosil qilamiz:

$$S_{kel} = \frac{bh_1^2}{2} - \frac{E_2}{E_1} \frac{bh_2^2}{2} = 0. \quad (7.32)$$

Bundan quyidagi tenglikni hosil qilamiz:

$$h_1 \sqrt{E_1} = h_2 \sqrt{E_2}. \quad (7.33)$$

Agar $h_2 = h - h_1$ ga tengligini e'tiborga olsak quydagiga ega bo'lamiz:

$$h_1 = \frac{\sqrt{E_2}}{\sqrt{E_1} + \sqrt{E_2}} h. \quad (7.34)$$

Xuddi shuningdek yuqoridagi amallarni bajarib quydagiga ega bo'lamiz:

$$h_2 = \frac{\sqrt{E_1}}{\sqrt{E_1} + \sqrt{E_2}} h. \quad (7.35)$$

Unda keltirilgan elastiklik modulini (7.26) ifodadan aniqlaymiz:

$$E_{kel} = E_1 \frac{I_1}{I} + E_2 \frac{I_2}{I} = E_1 \frac{\left(\frac{bh_1^3}{3}\right)}{\left(\frac{bh^3}{12}\right)} + E_2 \frac{\left(\frac{bh_2^3}{3}\right)}{\left(\frac{bh^3}{12}\right)} = 4 \left[E_1 \left(\frac{h_1}{h}\right)^3 + E_2 \left(\frac{h_2}{h}\right)^3 \right]. \quad (7.36)$$

Keltirilgan elastiklik moduli (7.36) ifodasiga h_1 va h_2 qiymatlarini (7.34)-(7.35) formulalardan qo'yib quyidagini hosil qilamiz:

$$E_{kel} = \frac{4E_1E_2}{(\sqrt{E_1} + \sqrt{E_2})^2}. \quad (7.37)$$

Xulosa qilib shuni aytish mumkinki, (7.37) formuladan cho'zilish va siqilishda elastik moduli turlicha bo'lgan ko'ndalang kesimi to'g'ri to'rtburchakli to'simning egilishida foydalanish mumkin.

7.3-§. Teng qarshilik ko'rsatuvchi to'sinlar

To'sin xavfli kesimini aniqlash uchun eng katta eguvchi moment miqdori topiladi va u bo'yicha ko'ndalang kesim yuzasi tanlanadi. Bunda tanlangan kesim yuzasidagi kuchlamish berilgan ruxsat etilgan normal kuchlanishga teng bo'lib, qolgan barcha kesim yuzalarida kuchlanishlar ruxsat etilgan normal kuchlanishdan kichik bo'ladi. Bu sterjenmi tayyorlash uchun ko'p material sarflanganligini ko'rsatadi.

To'sin uzunligi bo'ylab barcha ko'ndalang kesim yuzalarida eng katta normal kuchlanishlar berilgan ruxsat etilgan normal kuchlanishga teng bo'lgan to'sinlar teng qarshilikli to'sinlar deb ataladi. Bunday sterjenlarga erishish uchun uning ko'ndalang kesimi o'zgaruvchi bo'lishi lozim. Ko'ndalang kesimi to'g'ri to'rtburchakli, balandligi o'zgarmas $h(z) = h = const$, eni chiziqli qonun $b(z) = \frac{b_0}{l} z$ asosida o'zgaruvchi chap uchl bilan qistrib mahkamlangan to'sin 7.8-chizmada keltirilgan [28, 449-bet].

To'sinning kuch qo'yilgan erkin uchidan z masofadagi ko'ndalang kesimning qarshilik momenti quyidagiga teng bo'ladi:

$$W_x(z) = \frac{b(z)h^2}{6} = \frac{b_0h^2}{6l} z = W_{ox} \frac{z}{l}. \quad (7.38)$$

Bunda $W_{ox} = \frac{b_0h^2}{6}$ qistrib mahkamlangan kesimning qarshilik momenti.

To'sinning kuch qo'yilgan nuqtadan z masofadagi ko'ndalang kesimida eguvchi moment quyidagiga teng bo'ladi:

$$M_x(z) = Fz. \quad (7.39)$$

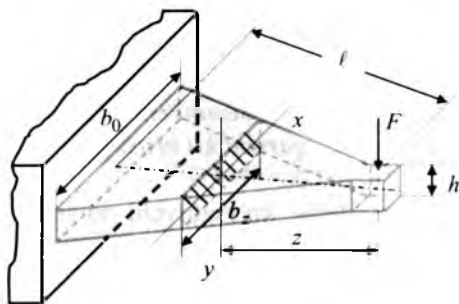
To'g'ri to'rtburchakli kesimning eng uzoqdagi nuqtasida hosil bo'ladigan normal kuchlanish quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_x(z)}{W_x(z)} = \frac{Fz}{\frac{b_0 h^2}{6} z} = \frac{F\ell}{\frac{b_0 h^2}{6}} = \frac{M_{0x}}{W_{0x}} = \sigma_{0\max} = \text{const.} \quad (7.40)$$

Bunda M_{0x} – qistrib mahkamlangan kesimdagi eng katta moment;

$\sigma_{0\max}$ – qistrib mahkamlangan kesimning eng chekka nuqtasidagi kuchlanish.

Bulardan xulosa qilib shuni aytish mumkinki, to'sinning barcha kesim yuzalarida eng katta normal kuchlanishlar bir xil, demak elastiklik chegarasida teng qarshilik ko'rsatuvchi to'sin hosil bo'ldi.



7.7-chizma. Ko'ndalang kesimi balandligi o'zgaras bo'lgan teng qarshilikli brus.

Agar to'sinning balandligi o'zgaruvchi bo'lib uni o'zgaras bo'lsa (7.9-chizma), uning ko'ndalang kesimida maksimal normal kuchlanishning o'zgaraslik shartidan to'sin balandligining o'zgarish qonuni quyidagi formuladan aniqlanadi [28, 452-bet]:

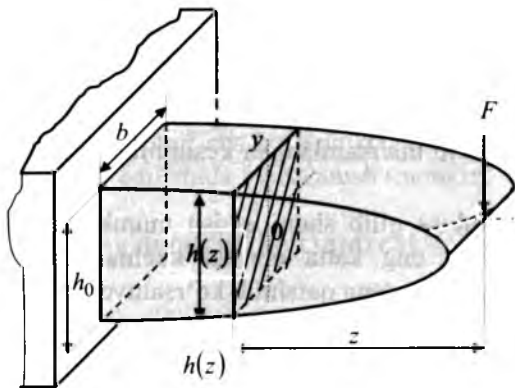
$$\sigma_{\max} = \frac{M_x(z)}{W_x(z)} = \frac{Fz}{\frac{bh^2(z)}{6}} \leq [\sigma]. \quad (7.41)$$

To'sin z kesimidagi normal kuchlanishni, qistrib mahkamlangan kesimdagi kuchlanishga tenglab quyidagi shartni yozish mumkin:

$$\frac{Fz}{\frac{bh^2(z)}{6} z} = \frac{Fz}{\frac{bh_0^2}{6} \ell}. \quad (7.42)$$

Bu tenglamadan o'zgaruvchi balandlik $h(z)$ ni quyidagicha ifodalash mumkin:

$$h(z) = h_0 \sqrt{\ell/z}. \quad (7.43)$$



7.8-chizma. Ko'ndalang kesimi eni o'zgarmas bo'lgan teng qarshilikli brus.

Egillishga teng qarshilik ko'rsatuvchi to'sinlar amaliyotda kam qo'llaniladi. Bunga asosiy ikkita sabab bor, teng qarshilikli to'sinlarni tayyorlashda ko'p mehnat sarflanadi va materialning bir qismi chiqindiga chiqib ketadi. Shuning uchun ham mashinasozlikda, amalda teng qarshilikka ega bo'lgan to'sinlar o'rniga ayrim-ayrim po'lat listlarni ustma ust qo'yib yig'ish natijasida hosil qilingan resorlar ishlatiladi.

Tayanch iboralar:

Qo'shma to'sinlar, mustahkamlik, sanoat, mashinasozlikda, yirik ko'priklar, to'sinlar, ko'ndalang kesim, o'lchamlar, sortament jadvali, standart o'lchamlar, balandligi, nomeri, GOST, zavodlar, yuklarga qarshilik ko'rsatadi, parchin mixlar yoki payvandlash usullari, vertikal list, gorizontallistlar va burchakliklar, devor va poyaslar, mustahkamlik sharti, to'sinning ko'ndalang kesim yuzasini tanlash; parchin mix va payvand birikmalar mustahkamligini tekshirish, kesim yuzasining o'lchami, eng katta hisob momenti; netto ko'ndalang kesimning qarshilik momenti, po'latning hisob qarshiligi, inersiya momenti, zaiflashtiruvchi yuzaning inersiya momenti, og'irlik markazi, o'qlar orasidagi masofa, normal kuchlanish, urinma kuchlanish, burchakliklar, siljish, gorizontallistlar, qirqilish bilan ezilish, payvandlash

texnologiyasi, uchma-uch payvandlash, chok hisobi; valiksimon chokning mustahkamlik sharti, cho‘zilish va siqilishda elastiklik modullari turli bo‘lgan to‘sinlar hisobi, plastmassa va boshqa materiallar cho‘zilish va siqilishida turli elastiklik modullari, neytral o‘qi og‘irlik markazi, nisbiy deformatsiya, epyura, siqilgan sohasida, sof egilish, integrallash o‘zgaruvchisi, keltirilgan bikirlik, keltirilgan elastiklik moduli, ikkinchi variantda keltirilgan bikirlik keltirilgan inersiya momenti orqali ifodalanadi, teng qarshilik ko‘rsatuvchi to‘sinlar, xavfli kesimini aniqlash, barcha kesim yuzalarida kuchlanishlar ruxsat etilgan normal kuchlanishdan kichik bo‘ladi, ko‘p material sarflangan, to‘sinning balandligi o‘zgaruvchi bo‘lib eni o‘zgarmas bo‘lsa, uning ko‘ndalang kesimida maksimal normal kuchlanishning o‘zgarmaslik shartidan to‘sin balandligining o‘zgarish qonuni, resorlar.

Test savollari:

1. Ko‘ndalang kesimi standart qo‘shstavrlari to‘sinlarning balandligi uning nomeriga son jihatidan mos keladimi?

mos keladi;

mos kelmaydi;

qo‘shma konstruksiyalar uchun mos keladi;

qo‘shma konstruksiyalar uchun mos kelmaydi;

2. GOST bo‘yicha 70 nomerli eng katta qo‘shstavrlari to‘sinning balandligi necha sm ga teng bo‘ladi?

70 sm;

35 sm;

65 sm;

80 sm;

3) Eng kichik va eng katta nomerli qo‘shstavrlarning nomeri nechaga teng?

10 va 70;

20 va 65;

20 va 70;

10 va 80;

4. Siljishga ishlovchi konstruksiyalar qanday usullar bilan tayyorlanadi?

parchin mixlar yoki payvandlash usullari bilan;

kovsharlash yoki payvandlash usullari bilan;

gazli payvanlash yoki elektr payvandlash usullari bilan;
shlitsalash yoki shponkalash usullari bilan;

5. Parchin mixlar yordamida biriktirishdan hosil qilingan qo'shma to'sinlar nimalardan tashkil topadi?

vertikal list (devor), bir nechta gorizontal listlar va burchakliklardan;

vertikal list (devor) va gorizontal listlardan;

qo'shtavlardan;

burchaklik va qo'shtavlardan;

6. Payvandlab biriktirilgan qo'shma to'sinlar nimalardan tashkil topadi?

vertikal list (devor) va gorizontal listlardan;

vertikal list (devor), bir nechta gorizontal listlar va burchakliklardan;

qo'shtavlardan;

burchaklik va qo'shtavlardan;

7. Qo'shma to'simlarni mustahkamlikka blsohlashda mustahkamlik shartidan foydalanib qanday tartibda bajariladi?

to'sinning ko'ndalang kesim yuzasi tanlanib, parchin mix va payvand birikmalar mustahkamligi tekshiriladi;

to'sinning bo'ylama kesim yuzasi tanlanib, parchin mix va payvand birikmalar mustahkamligi tekshiriladi;

to'sinning bo'ylama va ko'ndalang kesim yuzasi tanlanib, parchin mix va payvand birikmalar mustahkamligi tekshiriladi;

to'sinning ko'ndalang kesim yuzasi berilgan bo'lib, parchin mix va payvand birikmalar defomatsilanishga tekshirilmaydi;

8. To'sinning ko'ndalang kesim yuzasi o'lchami eng xavfli kesimning mustahkamlik sharti qaysi formuladan aniqlanadi?

$$\sigma = \frac{M_{x \max}}{W_{x \text{ netto}}} \leq R;$$

$$W_{x \text{ netto}} = \frac{M_{x \max}}{R};$$

$$\sigma = \frac{F}{\ell \delta} \leq [\sigma_e];$$

$$\tau = \frac{F}{0,7 d \delta} \leq [\tau_e];$$

9. Ko'ndalang kesimning netto qarshilik momenti nimaga teng?

netto inersiya momentining kesim og'irlik markazidan eng uzoqdagi nuqtaning ordinasiga nisbatiga;

netto inersiya momentining kesim og'irlik markazidan eng yaqin nuqtaning ordinasiga nisbatiga;

netto inersiya momentining kesim og'irlik markazidan o'rtacha uzoqdagi nuqtaning ordinasiga nisbatiga;

netto inersiya momentining kesim og'irlik markazidan minimal uzoqdagi nuqtaning ordinasiga nisbatiga;

10. Netto kesimning inersiya momenti qaysi javobda to'g'ri keltirilgan?

$$I_{x\text{ netto}} = I_{x\text{ brutto}} - I_T;$$

$$W_{x\text{ netto}} = \frac{M_{x\text{ max}}}{R};$$

$$I_x = I_0 + Ac^2;$$

$$T = T_1 a = \frac{Q_y S_{x\text{ brutto}}^q}{I_{x\text{ brutto}}} a;$$

11. Qo'shma to'sim ko'ndalang kesimi inersiya momenti nimaga teng bo'ladi?

uni tashkil etuvchi qismlar yuzalarining inersiya momentlari yig'indisiga;

uni tashkil etuvchi qismlar yuzalarining inersiya momentlari ayirmasiga;

uni tashkil etuvchi qismlar yuzalarining inersiya momentlari ko'paytmasiga;

uni tashkil etuvchi qismlar yuzalarining inersiya momentlarining eng kattasiga;

12. Qo'shma to'sinni takil etuvchi listlar va burchakliklarning og'irlik markazlari umumiy kesim og'irlik markazi bilan ustma-ust tushmaganligi sababli har bir list va burchaklarning inersiya momentlari qanday formuladan aniqlanadi?

parallel o'qlarga nisbatan inersiya momentlari orasidagi bog'lanish formulasidan;

o'qlar burilganda inersiya momentlari orasidagi bog'lanish formulasidan;

oddiy kesimning markaziy o'qlarga nisbatan inersiya momentlari orasidagi bog'lanish formulasidan;

o'qlarga nisbatan inersiya momentlari orasidagi bog'lanish formulasidan;

13. Normal kuchlanish va hisob qarshilik momentlar orasidagi farq qancha bo'lishi kerak?

$\pm 5\%$ dan oshib ketmasligi;

0% dan oshib ketmasligi;

teng bo'lishi;

berilgan qiymatdan oshib ketmasligi;

14. Qo'shma to'sinlar gorizontallarning burchaklikka nisbatan siljimasligi uchun qanday parchin mixlar bilan parchinlanadi?

vertikal parchin mixlar bilan;

gorizontall parchin mixlar bilan;

ixtiyoriy parchin mixlar bilan;

burchak ostidagi parchin mixlar bilan;

15. Qo'shma to'sinlarda burchaklik devor bo'yicha siljimasligi uchun qanday parchin mixlar bilan parchinlanadi?

gorizontall parchin mixlar bilan;

vertikal parchin mixlar bilan;

burchak ostidagi parchin mixlar bilan;

ixtiyoriy parchin mixlar bilan;

16. Qo'shma to'sim burchakliklar va devor orasidagi ishqalanishlarni hisobga olmasak, to'sim devori bilan burchaklikni tutashtiruvchi parchin mixlarning qaysi birida siljituvchi kuch ko'proq hosil bo'ladi?

gorizontall parchin mixlarda;

vertikal parchin mixlarda;

burchak ostidagi parchin mixda;

ixtiyoriy parchin mixlarda;

17. Parchin mixlar nimalarga ishlaydi?

qirg'ilish bilan ezilishga;

siljish bilan buralishga;

cho'zilish bilan egilishga;

egilish bilan buralishga;

18. Uchma-uch payvandlangan ko'ndalang chokning cho'zilish yoki siqilishga qarshilik ko'rsatishdagi mustahkamlik sharti quyidagi javoblarning qaysi birida to'g'ri?

$$\sigma = \frac{F}{\ell \delta} \leq [\sigma_e];$$

$$\tau = \frac{F}{0,7 d \delta} \leq [\tau_e];$$

$$\tau = \frac{F}{1,4 \ell \delta} \leq [\tau_e];$$

$$\sigma_1 = E_1 \frac{d\varphi}{dz} y_1;$$

19. Cho'zishda elastiklik moduli E_1 , siqilishda E_2 bo'lgan materiallardan yasalgan bruslar elastiklik chegarasida egilganda tekis kesim gipotezasidau foydalanish mumkinmi?

mumkin;

mumkin emas;

mumkin elastiklik chegarasidan keyin ishlasa;

barcha hollar uchun mumkin emas;

20. Cho'zilish va siqilishda brus turli elastiklik moduli bo'lganda kesimining neytral o'qi og'irlik markazidan o'tadimi?

o'tmaydi;

o'tadi;

og'irlik markazi ustidan o'tadi;

og'irlik markazi ostidan o'tadi;

21. Brusning cho'zilgan sohasida kuchlanish quyidagi formulalarning qaysidan aniqlanadi?

$$\sigma_1 = E_1 \frac{d\varphi}{dz} y_1;$$

$$\sigma_2 = E_2 \frac{d\varphi}{dz} y_2;$$

$$S_2 = \int_{A_2} y_2 dA;$$

$$S_1 = \int_{A_1} y_1 dA;$$

22. Brusning siqilgan sohasida kuchlanish quyidagi formulalarning qaysidan aniqlanadi?

$$\sigma_2 = E_2 \frac{d\varphi}{dz} y_2;$$

$$\sigma_1 = E_1 \frac{d\varphi}{dz} y_1;$$

$$S_1 = \int_{A_1} y_1 dA;$$

$$S_2 = \int_{A_2} y_2 dA;$$

23. Sof egilishda ko'ndalang kesim yuzasida elementar normal kuchlarning teng ta'sir etuvchisi nimaga teng?

nolga;

o'ziga;

mavhum;

maksimumga;

24. Elastiklik moduli cho'zilish va siqilishda turlicha bo'lgan to'sim ko'ndalang kesim yuzasi neytral o'qi holatini qaysi formuladan foydalanib aniqlanadi?

$$S_{kel} = S_1 + \frac{E_2}{E_1} S_2 = 0;$$

$$EI_{kel} = (E_1 I_1 + E_2 I_2);$$

$$EI_{kel} = I \left(E_1 \frac{I_1}{I} + E_2 \frac{I_2}{I} \right) = E_{kel} I;$$

$$I_{kel} = \left(I_1 + I_2 \frac{E_2}{E_1} \right);$$

25. Keltirilgan bikirlikni necha xil ko'rinishda yozish mumkin?

ikki;

uch;

to'rt;

faqat bir;

26. Keltirilgan bikirlikni keltirilgan elastiklik moduli orqali qanday ifodalash mumkin?

$$EI_{kel} = I \left(E_1 \frac{I_1}{I} + E_2 \frac{I_2}{I} \right) = E_{kel} I;$$

$$E_{kel} = E_1 \frac{I_1}{I} + E_2 \frac{I_2}{I};$$

$$(EI)_{kel} = E_1 \left(I_1 + I_2 \frac{E_2}{E_1} \right) = E_1 I_{kel};$$

$$I_{kel} = \left(I_1 + I_2 \frac{E_2}{E_1} \right);$$

27. Yuklangan teng qarshilikli to'sinning ko'ndalang kesimidagi normal kuchlanish qanday bo'ladi?

$$\sigma_{\max} = [\sigma];$$

$$\sigma_{\max} = 0;$$

$$\sigma_{\max} > [\sigma];$$

$$\sigma_{\max} < 0;$$

28. Ko'ndalang kesimi to'g'ri to'rtburchakli to'sim uchun qaysi formuladan keltirilgan elastiklik moduli aniqlanadi?

$$E_{kel} = \frac{4E_1E_2}{(\sqrt{E_1} + \sqrt{E_2})^2};$$

$$E_{kel} = E_1 \frac{I_1}{I} + E_2 \frac{I_2}{I};$$

$$S_{Kel} = S_1 + \frac{E_2}{E_1} S_2 = 0;$$

$$EI_{kel} = (E_1I_1 + E_2I_2);$$

29. To'sinning o'zgaruvchi halandligi quyidagi formulalarning qaysi biri bilan ifodalanadi?

$$h(z) = h_0 \sqrt{\ell/z};$$

$$h_1 \sqrt{E_1} = h_2 \sqrt{E_2};$$

$$h_1 = \frac{\sqrt{E_2}}{\sqrt{E_1} + \sqrt{E_2}} h;$$

$$h_2 = \frac{\sqrt{E_1}}{\sqrt{E_1} + \sqrt{E_2}} h;$$

30. Nima sababdan egilishga teng qarshilik ko'rsatuvchi to'sinlar amaliyotda kam qo'llaniladi?

teng qarshilikli to'sinlarni tayyorlashda ko'p mehnat sarflanadi va materialning bir qismi chiqindiga chiqib ketadi;

ayrim-ayrim po'lat listlarni ustma ust qo'yib yig'ish natijasida hosil qilgan resorlar bo'lgani uchun;

teng qarshilikli to'sinlarni tayyorlashda ko'p mehnat sarflanadi va materialning kam sarf bo'lgani uchun;

teng qarshilikli to'sinlarni tayyorlashga, yig'ishga vaqt ko'p ketadi.

ELASTIK ZAMINDA YOTUVCHI TO'SINLAR

8.1-§. Elastik Fussa-Vinkler zaminda yotuvchi to'sim egilgan o'qning differensial tenglamasi

Juda ko'p hollarda tutash elastik zaminda yotuvchi to'sinlarni hisoblash Fussa-Vinkler cheklanishiga asoslanadi, ya'ni to'sinning tutash elastik zamindan har bir nuqtasida hosil bo'ladigan reaksiyasi to'sin tekisligidagi nuqtalarni vertikal ko'chishiga (8.1-chizma) yoki to'sin o'rta tekisligining salqiligidiga to'g'ri proporsionaldir [20, 202-bet]:

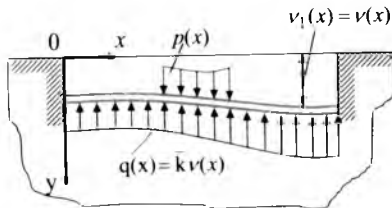
$$\bar{p}(x) = p(x) - q(x) = p(x) - \bar{k} \cdot v(x), \quad (8.1)$$

Bunda $\bar{k} = kb$.

b – to'sin eni;

k – proporsionallik koeffitsienti, asosning deformatsiyalanishini xarakterlovchi va texnikada zamin to'shama koeffitsienti deb ataladi;

$p(x)$ – to'sim uzunlik birligiga to'g'ri keladigan zamin reaksiyasi.



8.1-chizma. Tutash elastik zaminda yotuvchi to'sin.

Tutash elastik zaminda yotuvchi intensivligi $q(x)$ bo'lgan sirtqi kuch bilan yuklangan to'sin egilgan o'q differensial tenglamasi quyidagicha ifodalanadi:

$$EI \frac{\partial^4 v}{\partial x^4} + \bar{k}v = p(x). \quad (8.2)$$

Hosil qilingan bu differensial tenglama Fussa-Vinkler elastik asosida yotuvchi to'sinning egilishini ifodalaydi.

Bu model bilan olingan yechim temir yo'lining poezd yuradigan yo'llarini hisoblashda haqiqiy tajribada olingan natijalarga to'g'ri keladi, lekin Fussa-Vinkler modeli har doim ham to'g'ri yechimga

olib kelmaydi, chunki bunda to'sinni absolyut qattiq deb qaralib, faqat to'sin cho'kishini e'tiborga oladi.

Bu tenglamani integrallash qulay bo'lishi uchun yangi o'zgaruvchi parameter $\xi = \alpha x$ ni kiritamiz. Bunda:

$$\alpha = \sqrt[4]{\frac{k}{4EI}} = \sqrt[4]{\frac{kb}{4EI}}. \quad (8.3)$$

To'sinning elastik va asosning xususiyatlarini α parametr xarakterlaydi va o'lchov birligi $1/sm, 1/m$.

O'zgaruvchi x, ξ lar orasidagi hosilasi quyidagi rekurent formulalar bilan amalga oshiriladi:

$$\frac{d^4}{dx^4} = \alpha^n \frac{d^4}{d\xi^4}, \quad n = (1, 2, 3, \dots). \quad (8.4)$$

Unda differensial (8.2) tenglamani quyidagi ko'rinishga keltirish mumkin:

$$\left(\frac{\partial^4 v}{\partial \xi^4} \right) + k v(\xi) = \frac{P(\xi)}{\alpha^4 EI}. \quad (8.5)$$

Differensial (8.5) tenglamaga tegishli bo'lgan bir jinsli tenglamaning yechimini olish uchun xarakteristik tenglama ildizlarini aniqlaymiz:

$$r^4 + 4r = 0, \quad r_{1,2} = 1 \pm i, \quad r_{3,4} = -1 \pm i. \quad (8.6)$$

Unda (8.5) tenglamaning xususiy va umumiy yechimlarini quyidagicha ifodalash mumkin [20, 204-bet]:

$$v(\xi) = C_1 e^{\xi} \sin \xi + C_2 e^{\xi} \cos \xi + C_3 e^{-\xi} \sin \xi + C_4 e^{-\xi} \cos \xi \quad (8.7)$$

$$v(\xi) = C_1 e^{\xi} \sin \xi + C_2 e^{\xi} \cos \xi + C_3 e^{-\xi} \sin \xi + C_4 e^{-\xi} \cos \xi + v^*(\xi) \quad (8.8)$$

Bu formuladagi birinchi to'rta had biri jinsli tenglamaning yechimi, beshinchisi $v^*(\xi)$ sirtqi kuch ko'rinishiga bog'liq bo'lgan xususiy yechim.

C_1, C_2, C_3, C_4 chegara shartlardan aniqlanuvchi koeffitsientlar.

To'sin ko'ndalang kesimlarining burilish burchagimi, eguvchi moment va ko'ndalang kuchlarini aniqlashda quyidagi differensial bog'lanishlardan foydalanish mumkin:

$$\theta(\xi) = \alpha \frac{dv}{d\xi};$$

$$M(\xi) = -EI\alpha^2 \frac{d^2v}{d\xi^2}; \quad (8.9)$$

$$Q(\xi) = -EI\alpha^3 \frac{d^3v}{d\xi^3}.$$

Bu ifodada α parametrlarning hosil bo'lishiga sabab (8.4) formula orqali almashtirishdir.

8.2-§. Yaxlit elastik zaminda yotuvchi cheksiz uzun to'simlar hisobi

To'sinni cheksiz uzun deb hisoblash mumkin, agar unga qo'yilgan yuk katta bo'lmagan oraliqqa ta'sir etib, har ikkala uchlaridan yetarlicha uzoqlikda bo'lsa. Agar juda uzun to'sin uzunligining o'rta qismi to'plangan kuch yoki to'plangan juft kuch (moment) bilan yuklanganda eng xarakterli hol hisoblanadi. Bu holda to'sinning egilishl quyidagi differensial tenglama bilan ifodalanadi:

$$\frac{\partial^4 v(\xi)}{dx^4} + 4v(\xi) = 0. \quad (8.10)$$

Differensial tenglamaning yechimi quyidagi ko'rinishda ifodalanadi:

$$v(\xi) = C_1 e^{\xi} \sin \xi + C_2 e^{\xi} \cos \xi + C_3 e^{-\xi} \sin \xi + C_4 e^{-\xi} \cos \xi. \quad (8.11)$$

Cheksiz uzun to'sinning yuk qo'yilgan sohasidan, uning yetarlicha uzoqdagi oxirgi uchlaridagi kuchlanganlik va deformatsiya holati omillari nolga intiladi (ya'ni so'nadi). Bu shartni qanoatlantirish uchun tegishli integral doimiylarini nolga teng deb (8.2) yechimdagi o'suvchi hadlarni tashlab yuborish lozim, musbat yo'nalishi $x(\xi)$ bo'yicha to'sinning bir qismini qaraymiz:

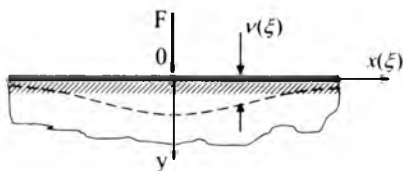
$$C_1 = C_2 = 0, \quad v(\xi) = C_3 e^{-\xi} \sin \xi + C_4 e^{-\xi} \cos \xi. \quad (8.12)$$

Qolgan ikkita integrallash doimiylari C_3, C_4 chegara shartlaridan aniqlanadi.

To'plangan kuch ta'siridagi to'sinni qarab chiqamiz (8.2-chizma).

Chegara shartlari:

$$\begin{aligned}
 x=0(\xi=0); \quad v(\xi) &= \frac{F}{8EI\alpha^3} e^{-\xi} (\cos \xi + \sin \xi); \\
 1) \theta &= 0; \quad \theta(\xi) = \frac{F}{4EI\alpha^2} e^{-\xi} (\sin \xi); \\
 2) Q_{o'ng} &= -\frac{F}{2}; \quad M(\xi) = \frac{F}{4\alpha} e^{-\xi} (\cos \xi - \sin \xi); \\
 & \quad Q(\xi) = \frac{F}{\alpha} e^{-\xi} (\cos \xi).
 \end{aligned} \tag{8.13}$$



8.2-chizma. To'plangan kuch ta'siridagi to'sin.

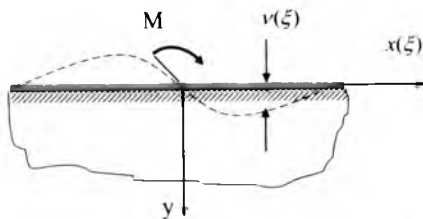
To'sinning chap tomoni uchun, $x(\xi)$ o'qining manfiy tomonida:

$$v(-\xi) = v(\xi); \quad \theta(-\xi) = -\theta(\xi); \quad M(-\xi) = M(\xi); \quad Q(-\xi) = -Q(\xi). \tag{8.14}$$

To'plangan juft kuch ta'siridagi to'sinni qarab chiqamiz (8.3-chizma).

Chegara shartlari:

$$\left. \begin{aligned}
 x=0 (\xi=0); \quad v(\xi) &= \frac{m}{4EI\alpha^2} e^{-\xi} (\sin \xi); \\
 1) v &= 0; \quad \theta(\xi) = \frac{m}{4EI\alpha} e^{-\xi} (\cos \xi - \sin \xi); \\
 2) M_{o'ng} &= \frac{m}{2}; \quad M(\xi) = \frac{m}{2} e^{-\xi} \cos \xi; \\
 & \quad Q(\xi) = -\frac{am}{2} e^{-\xi} (\cos \xi + \sin \xi).
 \end{aligned} \right\} \tag{8.15}$$



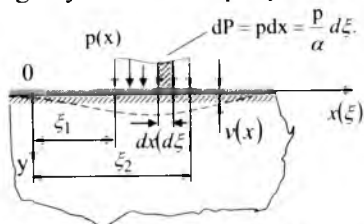
8.3-chizma. To'plangan juft kuch ta'siridagi to'sin.

To'sinning chap tomoni uchun, $x(\xi)$ o'qining manfiy tomonida:

$$v(-\xi) = v(\xi); \quad \theta(-\xi) = \theta(\xi); \quad M(-\xi) = -M(\xi); \quad Q(-\xi) = Q(\xi). \quad (8.16)$$

Yuqorida $F=1$ va $M=1$ bo'lganda olingan yechimni ta'sir funksiyasi sifatida, tegishli epyuralarni ta'sir chiziq sifatida qarash mumkin. Ular yordamida cheksiz uzun to'simlarga bir vaqtning o'zida to'plangan kuch va to'plangan juft kuch, shuningdek chekkalaridan yetarlicha uzoqdagi kichik uzunlik oralig'iga ta'sir etuvchi taralgan kuchdan ham qarash mumkin.

Misol sifatida taralgan yuk ta'sirini qaraymiz (8.4-chizma).



8.4-chizma. Taralgan yuk ta'siridagi to'sin.

To'sinning birorta S kesimidagi salqilik va eguvchi momentni topish talab etilsin. Bu kesimga koordinata boshini joylashtiramiz. Yukning tekis taralgan oralig'idan yukni juda ko'p $dP = p dx$ to'plangan elementar kuchlarga ajratamiz va uni yuklangan oraliqda integrollab quyidagi yechimni olamiz:

$$v_c(\xi) = \frac{1}{8EI\alpha^4} \int_{\xi_1}^{\xi_2} p(\xi) e^{-\xi} (\cos \xi + \sin \xi) d\xi; \quad (8.17)$$

$$M_c(\xi) = \frac{1}{4\alpha^2} \int_{\xi_1}^{\xi_2} p(\xi) e^{-\xi} (\cos \xi - \sin \xi) d\xi.$$

8.3-§. Yaxlit elastik zaminda yotuvchi yarim cheksiz uzun to'sinlar hisobi

Yarim cheksiz to'sinlarga bir uchiga qo'yilgan yuk ta'siridagi juda uzun to'sinlar kiradi. Koordinata boshini to'sinning kuch qo'yilgan chetki uchiga joylashtiriladi va uning kuchlanganlik va deformatsiya-lanish holati omillari so'nish shartini qanoatlantiradi. Koordinata $\xi \rightarrow \infty$ masalaning umumiy yechimi quyidagicha ifodalanadi:

$$C_1 = C_2 = 0, \quad v(\xi) = C_3 e^{-\xi} \sin \xi + C_4 e^{-\xi} \cos \xi. \quad (8.18)$$

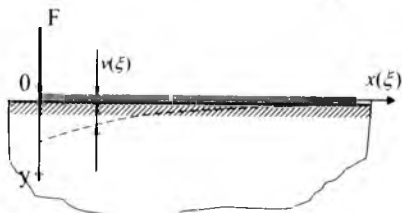
Integrallash doimiylari C_3, C_4 to'sinning chekka kesimi, kuch qo'yilgan kesimning chegara shartlaridan aniqlanadi.

Elastik tayanchda erkin yotgan chap uchiga qo'yilgan to'plangan kuch ta'siridagi uzun to'sin masalasi yechimini keltiramiz.

To'plangan kuch ta'siridagi to'sin masalasini qaraymiz (8.5-chizma).

Chegara shartlari:

$$\left. \begin{aligned} x = 0 (\xi = 0); & \quad v(\xi) = \frac{F}{2EI\alpha^3} e^{-\xi} \cos \xi; \\ 1) M = 0; & \quad \theta(\xi) = -\frac{F}{2EI\alpha^2} e^{-\xi} (\cos \xi + \sin \xi); \\ 2) Q = -F; & \quad M(\xi) = -\frac{F}{\alpha} e^{-\xi} \sin \xi; \\ & \quad Q(\xi) = -F e^{-\xi} (\cos \xi - \sin \xi). \end{aligned} \right\} \quad (8.19)$$

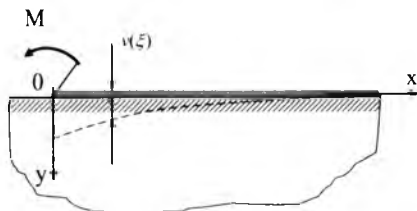


8.5-chizma. Chap uchiga qo'yilgan to'plangan kuch ta'siridagi to'sin.

To'plangan juft kuch ta'siridagi to'sin masalasini qaraymiz (8.6-chizma).

Chegara shartlari:

$$\left. \begin{aligned}
 x = 0 (\xi = 0); \\
 1) M = -m; \\
 2) Q = 0;
 \end{aligned} \right\} \begin{aligned}
 v(\xi) = \frac{m}{2EI\alpha^2} e^{-\xi} (\cos \xi - \sin \xi); \\
 \theta(\xi) = -\frac{m}{EI\alpha} e^{-\xi} \cos \xi; \\
 M(\xi) = -me^{-\xi} (\cos \xi + \sin \xi); \\
 Q(\xi) = 2\alpha me^{-\xi} \sin \xi.
 \end{aligned} \quad (8.20)$$



8.6-chizma. Chap uchiga qo'yilgan to'plangan juft kuch ta'siridagi to'sin.

Masalaning qo'yilishi xuddi shunga o'xshashi bo'lgan elastik asosda yotuvchi yarim to'sinlarning ba'zi masalalarini yechish mumkin.

Yuqorida olingan yechimlar cheksiz uzun va yarim cheksiz to'sinlarning barcha kuchlanganlik va deformatsiya holati omillari kuch qo'yilgan kesimdan uzoqlashgan sari tezlik bilan kamayib boradi, ya'ni so'nadi. Kuch qo'yilgan kesimdan uzoqlikdagi $\xi = 1.5\pi$ kesimida to'sinning kuchlanganlik va deformatsiya holati hosil bo'lmaydi deb qarash mumkin. Bundan ko'rinadiki, to'sinni cheksiz uzun va yarim cheksiz kategoriyasiga kiritish mumkin, agar kuch qo'yilgan kesimdan to'sin oxirgi uchlarigacha bo'lgan masofa miqdori l_0 dan ortiq bo'lsa, u quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$\xi_0 = \alpha l_0 = 1.5\pi; \quad l_0 = \frac{1.5\pi}{\alpha} = 1.5\pi \sqrt{\frac{4EI}{kb}} \quad (8.21)$$

8.4-§. Yaxlit elastik zaminda yotuvchi chekli uzunlikli va bikirlikli to'sinlar hisobi

Chekli to'sinlarga uzunligi yetarlicha qisqa to'sinlar kiradi, qisqa to'sinlarni hisoblashda albatta kuchlanganlik va deformatsiya holatiga to'sin ikki uchining ta'sirini e'tiborga olish lozim.

Shuning uchun ham elastik zaminda yotuvchi to'sin egilgan o'qi-ning differensial tenglamasi (8.8) yechimidagi o'suvchi va kamayuvchi hadlarini qarash lozim. Bunda ko'rsatgichli funksiyadan giperbolik funksiyaga quyidagi formula yordamida o'tish qulaylik tug'diradi:

$$sh\xi = \frac{e^\xi - e^{-\xi}}{2}; \quad ch\xi = \frac{e^\xi + e^{-\xi}}{2}. \quad (8.22)$$

Unda (8.8) yechimi quyidagi ko'rinishda ifodalash mumkin:

$$v(\xi) = C_1 sh\xi \cos\xi + C_2 sh\xi \sin\xi + C_3 ch\xi \sin\xi + C_4 ch\xi \cos\xi + v^*(\xi). \quad (8.23)$$

Bunda birinchi to'rtta had bir jinsli $d^4v(\xi) dz^4 + 4v(\xi) = 0$ tenglamaning umumiy yechimi.

Akademik A.N.Krilov tenglamaning yechimini tanlangan maxsus funksiya ko'rinishida ifodalashni fanga kiritdi:

$$v(\xi) = C_1 Y_1(\xi) + C_2 Y_2(\xi) + C_3 Y_3(\xi) + C_4 Y_4(\xi), \quad (8.24)$$

Bu ifodadagi maxsus funksiyalar quyidagi ko'rinishga ega:

$$\left. \begin{aligned} Y_1(\xi) &= ch\xi \cos\xi; \\ Y_2(\xi) &= \frac{1}{2}(ch\xi \sin\xi + sh\xi \cos\xi); \\ Y_3(\xi) &= \frac{1}{2}sh\xi \sin\xi; \\ Y_4(\xi) &= \frac{1}{4}(ch\xi \sin\xi - sh\xi \cos\xi). \end{aligned} \right\} \quad (8.25)$$

Bu funksiyalarni kiritilishining qulayligi shundaki, funksiyalarni differensiallashda doimiy koeffitsienti va ishorasigacha aniq to'g'ri keladi:

$$\frac{dY_1}{d\xi} = -4Y_4; \quad \frac{dY_2}{d\xi} = Y_1; \quad \frac{dY_3}{d\xi} = Y_2; \quad \frac{dY_4}{d\xi} = Y_3. \quad (8.26)$$

Bulardan tashqari A.N.Krilov funksiylari quyidagi shartlarni qanoatlantiradi:

$$Y_1(\xi=0) = 1; \quad Y_2(\xi=0) = Y_3(\xi=0) = Y_4(\xi=0) = 0. \quad (8.27)$$

A.N.Krilov funksiyalarini aniqlash uchun grafik va jadvallar tuzilgan.

8.5-§. Boshlang'ich parametrlar usuli

Bir jinsli differensial $d^4v dz^4 + 4v(\xi) = 0$ tenglamaning yechimini A.N.Krilov funksiyalari orqali boshlang'ich parametrlar usulidan foy-

dalanib ifodalash mumkin. Buning uchun integrallash doimiylari C_1, C_2, C_3, C_4 , koeffitsientlarini to'sin boshlang'ich kesimidagi salqilik, burilish burchak, eguvchi moment va ko'ndalang kuch omillari, ya'ni boshlang'ich parametrlar v_0, θ_0, M_0 va Q_0 orqali ifodalash lozim. Ba'zi bir almashtirishlar bajarilgandan keyin (8.24) yechim quyidagi ko'rimishga keladi:

$$v(\xi) = v_0 Y_1(\xi) + \frac{\theta_0}{\alpha} Y_2(\xi) + \frac{M_0}{EI\alpha^2} Y_3(\xi) - \frac{Q_0}{EI\alpha^3} Y_4(\xi), \quad (8.28)$$

Hosil qilingan (8.28) salqilik ifodasini (8.8) formula bo'yicha differensiallab kuchlanganlik va deformatsiyalanganlik holatlari uchun qolgan omillar ifodalarini ham hosil qilamiz:

$$\theta(\xi) = -4\alpha v_0 Y_4 + \theta_0 Y_1 - \frac{M_0}{EI\alpha} Y_2 - \frac{Q_0}{EI\alpha^2} Y_3;$$

$$M(\xi) = 4EI\alpha^2 v_0 Y_3 + 4EI\alpha\theta_0 Y_4 + M_0 Y_1(\xi) - \frac{Q_0}{\alpha} Y_2; \quad (8.29)$$

$$Q(\xi) = 4EI\alpha^3 v_0 Y_2 + 4EI\alpha^2\theta_0 Y_3 - 4\alpha M_0 Y_4 + Q_0 Y_1.$$

Ushbu (8.28) – (8.29) ifodalardagi funksiyalar boshlang'ich parametrlar bilan ta'sir funksiyasi bo'ladi. Ular yordamida to'sinning ixtiyoriy kesimidagi salqilik, burilish burchak, eguvchi moment va ko'ndalang kuchlarni aniqlovchi ifodalarda boshlang'ich parameterlarning almashib kelishi ta'minlanadi. Bunday almashishiarni jadval ko'rinishida berish maqsadga muvofiq (8.1-jadval).

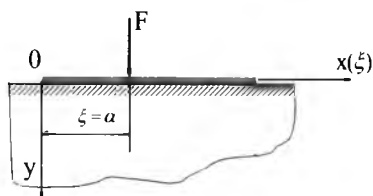
8.1-jadval.

	v_0	θ_0	M_0	Q_0
$v(\xi)$	Y_1	$\frac{1}{\alpha} Y_2$	$-\frac{1}{EI\alpha^2} Y_3$	$-\frac{1}{EI\alpha^3} Y_4$
$\theta(\xi)$	$-4\alpha Y_4$	Y_1	$-\frac{1}{EI\alpha} Y_2$	$-\frac{1}{EI\alpha^2} Y_3$
$M(\xi)$	$4EI\alpha^2 Y_3$	$4EI\alpha Y_4$	Y_1	$\frac{1}{\alpha} Y_2$
$Q(\xi)$	$4EI\alpha^3 Y_2$	$4EI\alpha^2 Y_3$	$-4\alpha Y_4$	Y_1

Shuni aytish lozimki, $\xi_0 = 0$ bo'lsa ta'sir funksiyasi matritsasi bir bo'ladi. Shuningdek, bu matritsa ko'tarilish diogonaliga nisbatan simmetrik bo'lganligi sababli, Bettining ishlarni bog'lanish teoremasi bajarilishini ta'minlaydi.

Salqilik, burilish burchak, eguvchi moment va ko'ndalang kuch ifodalari haqqoniy bo'ladi, agarda bir jinsli differensial $d^4v dz^4 + 4v(\xi) = 0$ tenglama haqqoniy bo'lguncha, ya'ni $v(\xi)$; $\theta(\xi)$; $M(\xi)$ va $Q(\xi)$ funksiyalar uzluksiz bo'lganda. Faraz qilaylik, ixtiyoriy to'plangan kuch ta'siridagi to'sinning biror $\xi = t$ kesmada yuqoridagi funksiyalarning biri uzlukli bo'sin, ya'ni oraliq sharniri yoki parallelogram mexanizimi bo'lsin. Uzluklilikning mavjud bo'lishi to'sinning $\xi > t$ oralig'idagi kuchianganlik va deformatsiya holatiga ta'sir etadi. Bu uzluklilikni e'tiborga olish uchun (8.28)-(8.29) yechimga xususiy integralni qo'shish lozim, uzlukli miqdorning hosilasi sifatida aniqlanuvchi ta'sir funksiyasi $(\xi - t)$ koordinatasi uchun hisoblanuvchi. Xususiy integralni, xarakterli holatlar uchun (8.28) yechimga qo'shishni keltiramiz.

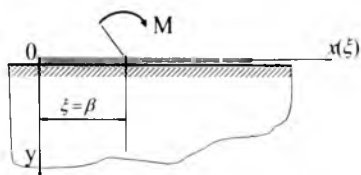
To'plangan kuch ta'sirida bo'lgan elastik zaminda yotgan to'sin.
Agar $\xi > \alpha$ bo'lsa



8.7-chizma. *To'plangan kuch ta'siridagi elastik zaminda yotgan to'sin.*

$$v^*(\xi) = \frac{F}{EI\alpha^3} Y_4(\xi - \alpha). \quad (8.30)$$

To'plangan juft kuch ta'sirida bo'lgan elastik zaminda yotgan to'sin.
Agar $\xi > \beta$ bo'lsa

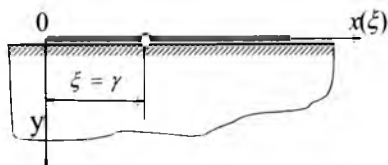


8.8-chizma. *To'plangan juft kuch ta'siridagi elastik zaminda yotgan to'sin.*

$$v^*(\xi) = -\frac{m}{EI\alpha^2} Y_3(\xi - \beta). \quad (8.31)$$

Oraliq sharnirli elastik zaminda yotgan to'sin.

Agar $\xi > \gamma$ bo'lsa

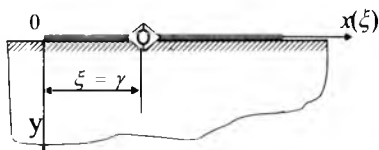


8.9-chizma. Oraliq sharnirli elastik zaminda yotgan to'sin.

$$v^*(\xi) = \frac{\Delta\theta}{\alpha} Y_2(\xi - \gamma). \quad (8.32)$$

Parallelogramm mexanizimli elastik zaminda yotgan to'sin.

Agar $\xi > \rho$ bo'lsa



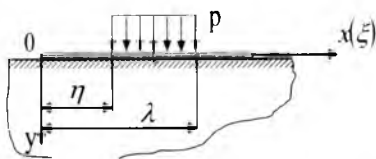
8.10-chizma. Parallelogramm mexanizimli elastik zaminda yotgan to'sin.

$$v^*(\xi) = \Delta v Y_1(\xi - \rho). \quad (8.33)$$

Bunda $\Delta\theta$, Δv burilish burchak va salqiliklarning mumkin bo'lgan sakrashlari, ular oraliq sharnir va parallelogramm mexanizimlariga ta'luqlidir. Bu kattaliklar noma'lum va ularni aniqlash lozim.

Tenglamaning (8.28) yechimiga kiruvchi taqsimlangan yuk ta'sirini e'tiborga oluvchi xususiy intergal, integrallash jarayoni bajarib topiladi. Misol sifatida tekis taqsimlangan yuk uchun quyidagini hosil qilamiz (8.11-chizma):

Agar $\eta \leq \xi \leq \lambda$ bo'lsa



8.11-chizma. Tekis taqsimlangan yuk tasiridagi to'sin

$$v^*(\xi) = \frac{P}{4EI\alpha^4} [l - Y_1(\xi - \eta)]. \quad (8.34)$$

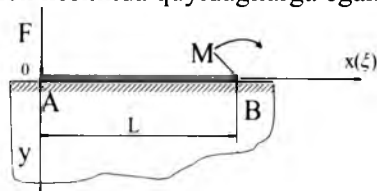
Agar $\xi > \lambda$ bo'lsa

$$v^*(\xi) = \frac{P}{4EI\alpha^4} [Y_1(\xi - \lambda) - Y_1(\xi - \eta)]. \quad (8.35)$$

To'sinlarni hisoblash oldidan boshlang'ich to'rta v_0 ; θ_0 ; M_0 va Q_0 parametrlardan ikkitasi ma'lum bo'ladi. Qolgan parametrlar va $\Delta\theta$, Δv sakrashlarni tegishli chegara shartlaridan aniqlashga to'g'ri keladi. Bu chegara shartlarini yoyib izlanayotgan noma'lumlarga nisbatan algebraik tenglamalar sistemasini hosil qilamiz. Agar to'sin chetki uchlari erkin (mahkamlanmagan) bo'lsa, unda chegara shartlari statik bo'ladi. To'sin chetki uchlari tayanchlari bo'lsa, unda chetki uchlarga aralash yoki kinematik chegara shartlari qo'yiladi. Quyidagi misollarda chegara shartlarining qo'yilishini ko'rib chiqamiz.

Elastik tayanchda erkin yotuvchi to'sin (8.12-chizma).

To'sin boshlang'ich kesimida quyidagilarga egamiz:



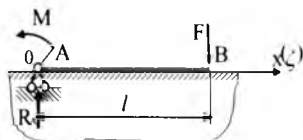
8.12-chizma. Chetki uchlari toplangan kuch va juft kuchlar bilan yuklangan to'sin.

$$v_0 = ?; \theta_0 = ?; M_0 = 0; Q_0 = -F.$$

Noma'lum boshlang'ich v_0 va θ_0 parametrlar $x = l$ bo'lganda chegara shartlaridan $M = -m$; $Q_0 = 0$ aniqlanadi.

Bir uchida sharnirli tayanchi bo'lgan to'sin (8.13-chizma)

To'sin boshlang'ich kesimida quyidagilarga ega bo'lamiz:



8.13-hizma. Toplangan kuch va juft kuchlar bilan yuklangan bir uchi bilan sharnirli tayangan to'sin.

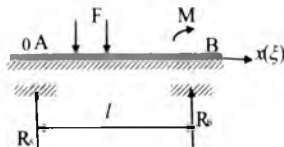
$$v_0 = 0 ; \theta_0 = ? ; M_0 = -m ; Q_0 = R_A ?$$

Noma'lum boshlang'ich v_0 va θ_0 parametrlar $x = \ell$ bo'lganda chegara shartlaridan $M = 0$; $Q = F$ aniqlanadi.

Ikkala uchi bilan sharnirli tayangan to'sin (8.14-chizma)

To'sinning boshlang'ich kesimida quyidagilarga egamiz:

$$v_0 = 0 ; \theta_0 = ? ; M_0 = 0 ; Q_0 = R_A ?$$

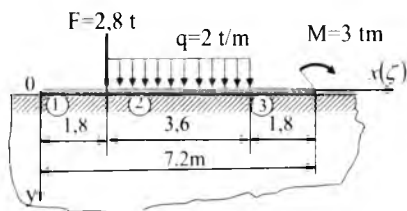


8.14-hizma. Toplangan kuch va juft kuchlar bilan yuklangan ikkala uchi bilan sharnirli tayangan to'sin.

Noma'lum boshlang'ich v_0 va θ_0 parametrlar $x = \ell$ bo'lganda chegara shartlaridan $v = 0$; $M = -M$ aniqlanadi.

Boshlang'ich parametrlar shuningdek, sakrashlar $\Delta\theta$ va Δv aniqlangandan keyin, ta'sir etuvchi yukning ko'rinishlga bog'liq bo'lgan (8.28) – (8.29) xususiy integrallarni qo'shib (8.30) – (8.35) formulalar bilan to'sin hisoblanadi.

l-masala. Tutash elastik zaminda yotuvchi normativ yuklar bilan 8.15-chizmada ko'rsatilgandek yuklangan ko'ndalang kesimi qo'shtavr bo'lgan po'lat to'sin berilgan. Elastik asosning deformatsiyalanishini xarakterlovchi va texnikada zamin to'shama ko'effitsienti deb atalib $k = 4kg / sm^3$ teng bo'lsin.



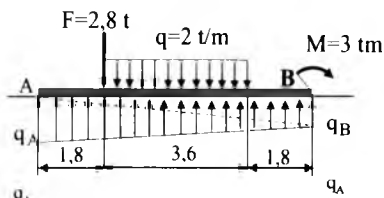
8.15-chizma. To'plangan va yoyilgan kuchlar ta'siridagi to'sin.

Yechish.

To'sinni taqribiy hisoblash. Kesim yuzasimi tanlash.

To'sinni mustahkamlikka hisoblashda taqriban absolyut qattiq deb hisoblaymiz va asosning reaktiv bosimi yagona trapetsiya shaklida taqsimlangan deb qabul qilamiz.

Reaktiv bosim epyurasi q_A va q_B ordinalari statika muvozanat tenglamalaridan aniqlanadi. Hisob ishlari oson bo'lishi uchun reaktiv bosim epyurasini ordmatalari q_A va q_B bo'lgan ikkita uchburchakka ajratamiz (8.16-chizma):



8.16-chizma. Reaktiv bosim tarqalish qonuni.

$$\sum \text{mom}_A = 0; \quad -\frac{1}{2}q_B 7,2 \frac{2}{3} 7,2 - \frac{1}{2}q_A 7,2 \frac{2}{3} 7,2 + 2,8 \cdot 1,8 + 2 \cdot 3,6 \cdot 3,6 + 3 = 0.$$

$$\sum \text{mom}_B = 0; \quad \frac{1}{2}q_A 7,2 \frac{2}{3} 7,2 + \frac{1}{2}q_B 7,2 \frac{2}{3} 7,2 - 2,8 \cdot 5,4 - 2 \cdot 3,6 \cdot 3,6 - 3 = 0.$$

Hosil qilingan bu algebraik tenglamalar sistemasidagi noma'lum q_A va q_B ordinalarni aniqlaymiz:

$$\left. \begin{aligned} 8,64q_B + 17,28q_A &= 38604; \\ 8,64q_A + 17,28q_B &= 33,96. \end{aligned} \right\}$$

Bundan

$$q_A = 1,625 \text{ T/m};$$

$$q_B = 1,153 \text{ T/m}.$$

Tekshirish:

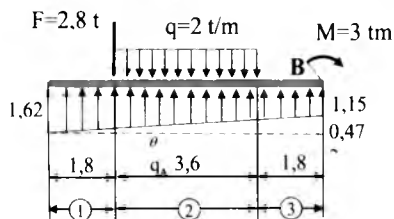
$$\sum Y = 0; \quad 2,8 + 2 \cdot 3,6 - \frac{1,625 + 1,153}{2} \cdot 7,2 = 10 - 10 = 0.$$

To'sinni uchta oraliqqa ajratamiz, har bir oraliq uchun ko'ndalang kuch va eguvchi moment ifodalarini tuzamiz. Asosning reaktiv bosim to'g'ri to'rtburchakka keltiramiz va undan ordinatasi $q = 1,625 - 1,153 = 0,472 \text{ T/m}$ bo'lgan uchburchakni ayiramiz (8.17-chizma). Unda

$$\text{tg } \alpha = \frac{0,472}{7,2} = 0,065.$$

$$Q_y(x) = 1,625x - \frac{1}{2} \cdot 0,065x^2 \Big|_1 - 2,8 - 2(x-1,8) \Big|_2 + 2(x-5,4) \Big|_3;$$

$$M_x(x) = 1,625 \frac{x^2}{2} - \frac{1}{2} \cdot 0,065 \frac{x^3}{6} \Big|_1 - 2,8(x-1,8) - 2 \frac{(x-1,8)^2}{2} \Big|_2 + 2 \frac{(x-5,4)^2}{2} \Big|_3.$$



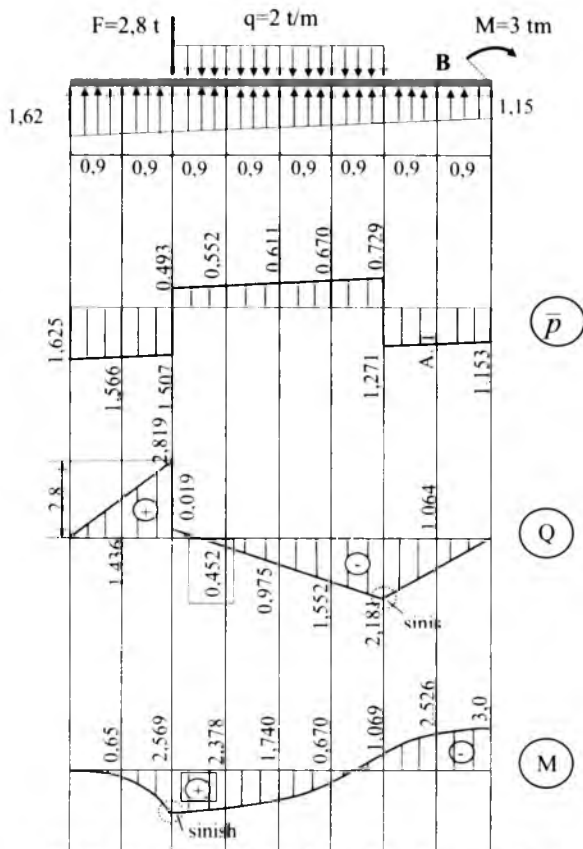
8.17-chizma. Asosning reaktiv bosim epyurasi to'rburchakgacha to'dirilgan.

To'sinni uzunligi $x = 0,9m$ bo'lgan bir-biriga teng bo'lgan 8 ta oraliqqa bo'lamiz va bu oraliqlarning boshidagi oxiridagi kesimlari uchun eguvchi moment va ko'ndalang kuch qiymatlarini aniqlaymiz. Hisob natijalarini quyidagi 8.2-jadvalga kiritamiz.

8.2-jadval.

$z(m)$	$\bar{p}(T/m)$	$Q_y(T)$	$M_x(Tm)$
0,0	-1,625	0,0	0,0
0,9	-1,566	1,436	0,650
1,8	-1,0-507/0,493	2,819/0,019	2,569
2,7	0,552	-0,452	2,373
3,6	0,611	-0,975	1,740
4,5	0,670	-1,552	0,607
5,4	0,729/-1,271	-2,181	-1,069
6,3	-1,212	-1,064	-2,526
7,2	-1,153	00	-3,000

To'singa ta'sir etuvchi $\bar{p}(T/m)$ to'la yuk, ya'ni jadvalda keltirilgan yuk berilgan yuk bilan reaktiv bosim $\bar{p} = p - q$ ayirmasini bildiradi. Hisob natijalari asosida \bar{p} reaktiv bosim, Q_y ko'ndalang kuch va M_x eguvchi moment epyuralarini quramiz (8.18-chizma).



8.18-chizma. Zo'riqish kuchlari epyuralari.

Ko'ndalang kuch epyurasidan ko'rinadiki, ko'ndalang kuch ikkinchi oraliqda noldan o'tib o'z ishorasini musbatdan manfiyga o'zgartiradi. Ko'ndalang kuch nolga teng bo'lgan kesimning absissasini aniqlaymiz va eguvchi momentning maksimal qiymatini aniqlaymiz:

$$Q_V(x_2 = x_0) = 1,625x_0 - 0,0328x_0^2 - 2,8 - 2(x_0 - 1,8) = 0.$$

$$x_0^2 + 11,43x_0 - 24,39 = 0. \quad x_{0(1)} = 1,838m; \quad x_{0(2)} = 13,27m.$$

$$M_{\max}(x_2 = 1,838) = 1,625 \frac{(1,838)^2}{2} - 0,0656 \frac{(1,838)^3}{6} - 2,8 \cdot 0,038 - 2 \frac{(0,038)^2}{2} = 2,569 \text{ Tm.}$$

Masalaning $x_{0(2)} = 13,27 \text{ m}$ yechimini qaramaymiz, chunki, u masalaning fizik tomonga ziddir.

To'sinni mustahkamlikka hisoblashda xavfli kesim sifatida o'ng uchidagi kesimni qarash lozim, chunki eguvchi moment bu kesimda eng katta bo'lib u 3 tm teng. Hisob momentini aniqlaymiz:

$$M_{\text{hisob}} = \frac{2}{3} \cdot 3 \cdot 1,1 + \frac{1}{3} \cdot 3 \cdot 1,4 = 3,6 \text{ Tm.}$$

To'sin ko'ndalang kesimi qarshilik momentini hisoblaymiz:

$$W_{\text{talab}} = \frac{M_{\text{hisob}}}{R} = \frac{3,6 \cdot 10^5}{2100} = 171,4 \text{ sm}^3.$$

Hisob asosida sortament jadvalidan №20 nomerli qo'shtavni tanlaymiz. Uning geometrik xarakteristikalari quyidagilar ekan:

$$W_z = 184 \text{ sm}^3; \quad I_z = 1840 \text{ sm}^4; \quad b = 10 \text{ sm.}$$

Qabul qilingan qo'shtavr uchun kesim blkirligini hisoblaymiz:

$$EI = 2,1 \cdot 10^6 \cdot 1,84 \cdot 10^3 = 3,864 \cdot 10^9 \text{ kg} \cdot \text{sm}^2.$$

To'sinlarni bikirlikka hisoblash

Ko'ndalang kesimi №20 nomerli to'sin elastik asosning deformatsiyalanishini xarakterlovchi va texnikada zamin to'shama koeffitsienti $k = 4 \text{ kg} / \text{sm}^3$ bo'lganda, α parametrni aniqlaymiz:

$$\alpha = \sqrt[4]{\frac{kb}{4EI}} = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot 10}{4 \cdot 36864 \cdot 10^9}} = 7,15 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{sm}}.$$

Unda quyidagilarni hosil qilish mumkin:

$$\alpha^2 = 5,08 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{sm}^2}.$$

$$EI\alpha = 2,755 \cdot 10^7 \text{ kgsm};$$

$$4EI\alpha = 11,02 \cdot 10^7 \text{ kgsm};$$

$$EI\alpha^2 = 1,964 \cdot 10^5 \text{ kg};$$

$$4EI\alpha^2 = 7,856 \cdot 10^5 \text{ kg};$$

$$EI\alpha^3 = 1,4 \cdot 10^3 \text{ kg} / \text{sm};$$

$$4EI\alpha^3 = 5,6 \cdot 10^3 \text{ kg} / \text{sm};$$

$$EI\alpha^4 = 99,86 \text{ kg} / \text{sm}^2;$$

$$4EI\alpha^4 = 399,4 \text{ kg} / \text{sm}^2;$$

To'sin hisobini boshlang'ich parameter usulidan foydalanib olib boramiz. To'sinning boshlang'ich $x = 0$ kesmida boshlang'ich parameterlar quyidagicha bo'ladi:

a) statik boshlang'ich parametrlar $M_0 = 0$; $Q_0 = 0$.

b) geometrik boshlang'ich parametrlar noma'lum bo'ladi $\theta_0 = ?$; $v_0 = ?$.

Tashqi kuchning to'singa ta'sir xarakterini e'tiborga olib A.N.Krilov funksiyasidan foydalanib har bir oraliq uchun salqilik, burilish burchak, eguvchi moment va ko'ndalang kuch ifodalarini tuzamiz:

$$v(\xi) = v_0 Y_1(\xi) + \frac{\theta_0}{\alpha} Y_2(\xi) \Big|_1 + \frac{F}{EI\alpha^3} Y_4(\xi - 1,28) + \frac{F}{4EI\alpha^4} [1 - Y_1(\xi - 1,28)] \Big|_2 - \frac{F}{4EI\alpha^4} [1 - Y_1(\xi - 3,85)] \Big|_3 ;$$

$$\theta(\xi) = -4\alpha v_0 Y_4(\xi) + \theta_0 Y_1(\xi) \Big|_1 + \frac{F}{EI\alpha^2} Y_3(\xi - 1,28) + \frac{F}{EI\alpha^3} [Y_4(\xi - 1,28)] \Big|_2 - \frac{F}{EI\alpha^3} [Y_4(\xi - 3,85)] \Big|_3 ;$$

$$M(\xi) = 4\alpha^2 v_0 Y_3(\xi) + 4EI\alpha \theta_0 Y_4(\xi) \Big|_1 - \frac{F}{\alpha} Y_2(\xi - 1,28) - \frac{F}{\alpha^2} [Y_3(\xi - 1,28)] \Big|_2 + \frac{P}{\alpha^2} [Y_3(\xi - 3,85)] \Big|_3 ;$$

$$Q(\xi) = 4\alpha^3 v_0 Y_2(\xi) + 4EI\alpha^2 \theta_0 Y_3(\xi) \Big|_1 - FY_1(\xi - 1,28) - \frac{F}{\alpha} [Y_2(\xi - 1,28)] \Big|_2 + \frac{F}{\alpha} [Y_2(\xi - 3,85)] \Big|_3 .$$

Bunda $\xi = \alpha x$ birliksiz o'zgaruvchi bo'lib $0 \leq \xi \leq 5,13$ oraliqda o'zgaradi

Noma'lum boshlang'ich parametrlarni to'sinning o'ng uchidagi $x = 7,2m$ ($\xi = 5,13$) kesimida $M(\xi = 5,13) = -37m$; $Q(\xi = 5,13) = 0$ bo'lishi shartlaridan aniqlaymiz.

Chegara shartini yoyib yozamiz:

$$M(\xi = 5,13) = 7,856 \cdot 10^5 (-38,62) \nu_0 + 11,02 \cdot 10^7 (-27,88) \theta_0 - \frac{2,8 \cdot 10^3}{7,13 \cdot 10^{-3}} (-16,56) - \frac{20}{5,08 \cdot 10^{-5}} (-7,640) + \frac{20}{5,08 \cdot 10^{-5}} (0,7948) = -3 \cdot 10^5 \text{ kgam};$$

$$Q(\xi = 5,13) = 5,6 \cdot 10^3 (-21,49) \nu_0 + 7,856 \cdot 10^5 (-38,62) \theta_0 - 2,8 \cdot 10^3 (-17,85) - \frac{20}{7,13 \cdot 10^{-3}} (-16,56) + \frac{20}{7,13 \cdot 10^{-3}} (1,166) = 0.$$

Natijada noma'lum θ_0 va ν_0 boshlang'ich parametrlarga nisbatan ikkita algebraik tenglamadan tashkil topgan algebraik tenglamalar sistemasini hosil qilamiz. Bu tenglamalar sistemasini yechib noma'lum boshlang'ich parametrlarning qiymatini topamiz:

$$30,34\nu_0 + 3072\theta_0 = 10,12; \quad \nu_0 = 1,384 \cdot 10^{-3} \text{ sm};$$

$$12,03\nu_0 + 30343\theta_0 = 9,97; \quad \theta_0 = 3,28 \cdot 10^{-3} \text{ rad}.$$

Aniqlangan boshlang'ich parametrlar, yuklar va bikirlik elastik asos xarakteristikalari qiymatlarini e'tiborga olib salqilik, burilish burchak, eguvchl moment va ko'ndalang kuch ifodalarni uzul-kesil quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\nu(\xi) = 1,384 \cdot 10^{-3} Y_1(\xi) + 0,46 Y_2(\xi) \Big|_1 + 2 Y_4(\xi - 1,28) + 0,3008 [1 - Y_1(\xi - 1,28)]_2 - 0,5008 [1 - Y_1(\xi - 3,85)]_3;$$

$$\theta(\xi) = -3,947 \cdot 10^{-5} Y_4(\xi) + 3,28 \cdot 10^{-3} Y_1(\xi) \Big|_1 + 1,426 \cdot 10^{-2} Y_3(\xi - 1,28) + 1,429 \cdot 10^{-2} [Y_4(\xi - 1,28)]_2 - 1,429 \cdot 10^{-2} [Y_4(\xi - 3,85)]_3;$$

$$M(\xi) = 1,087 \cdot 10^3 Y_3(\xi) + 32,615 \cdot 10^5 Y_4(\xi) \Big|_1 - 3,927 \cdot 10^5 Y_2(\xi - 1,28) - 3,934 \cdot 10^5 [Y_3(\xi - 1,28)]_2 + 3,934 \cdot 10^5 [Y_3(\xi - 3,85)]_3;$$

$$Q(\xi) = 7,75 Y_2(\xi) + 2,577 \cdot 10^3 Y_3(\xi) \Big|_1 - 2,8 \cdot 10^3 Y_1(\xi - 1,28) - 2,8 \cdot 10^3 [Y_2(\xi - 1,28)]_2 + 2,805 \cdot 10^3 [Y_2(\xi - 3,85)]_3;$$

To'sinni oldingidek uzunligi $a = 0,9m$ ($\xi = 0,64$) teng bo'lgan sak-kizta oraliqqa bo'lamiz va oraliqlarning chegarasiga to'g'ri keluvchi ξ ning qiymatlari uchun A. N. Krilov funksiyasini jadvaldan yozib olaib quyidagi 8.3-jadvalga kiritamiz.

8.3-jadval.

$x(m)$	ξ	$Y_1(\xi)$	$Y_2(\xi)$	$Y_3(\xi)$	$Y_4(\xi)$	$[1 - Y_1(\xi)]$
0	0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,9	0,64	0,9721	0,6364	0,2044	0,0437	0,0279
1,8	1,28	0,5555	1,1660	0,7948	0,3451	0,4445
2,7	1,93	-1,236	1,0540	1,579	1,120	2,236
3,5	2,57	-5,527	-0,9538	1,757	2,254	6,527
4,6	3,21	-12,38	-6,594	-0,4227	2,873	13,38
5,4	3,85	-17,85	-16,56	-7,640	0,6352	18,85
6,3	4,49	-9,830	-26,65	-21,73	-8,410	10,83
7,2	5,13	34,280	-21,49	-38,62	-27,880	-33,28

Bu 3-jadvaldan va yuqorida olingan formulalardan foydalanib to'sinning oraliqlarga bo'lingan kesimlaridagi salqilik, burilish burchak, eguvchi moment ko'ndalang kuch va reaktiv bosim qiymatlarini aniqlaymiz. Hisob natijalarini quyidagi 8.4-jadvalga kiritamiz.

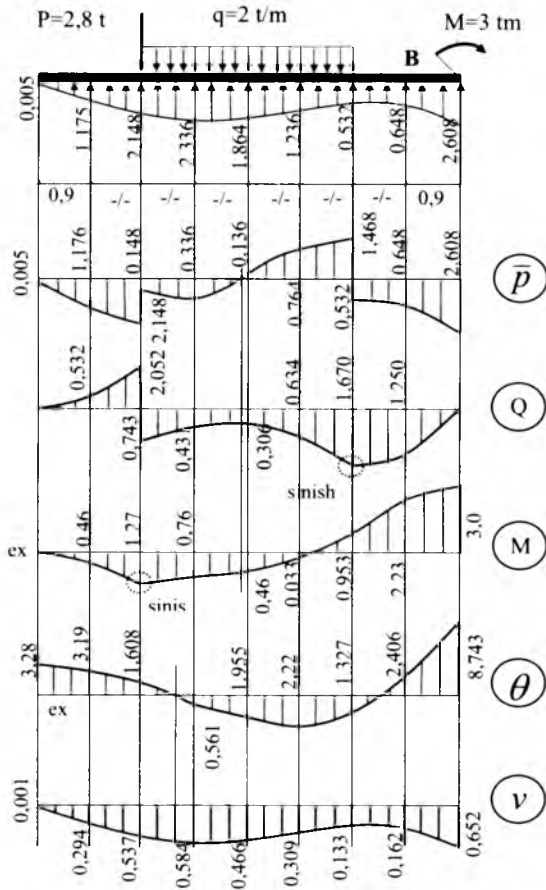
8.4-jadval.

$z(m)$	ξ	$v(sm)$	$\theta \cdot 10^3(rad)$	$M(Tm)$	$Q(T)$	$q(T/m)$	$\bar{p}(T/m)$
0,0	0,0	0,001 4	3,28	0,0	0,0	0,0056	- 0,0056
0,9	0,64	0,294	3,19	0,16	0,532	1,1760	-1,176
1,8	1,28	0,537	1,808	1,27	2,057/ -0,743	2,148	- 2,148/ 0,148
2,7	1,93	0,584	-0,561	0,76	-0,431	2,336	-0,336
3,5	2,57	0,466	-1,955	0,46	-0,306	1,864	0,136
4,6	3,21	0,309	-2,22	0,033	-0,634	1,236	0,764
5,4	3,85	0,133	-1,327	-0,95	-1,67	0,532	1,468/ 0,532
6,3	4,49	0,162	2,486	-2,28	-1,25	0,648	-0,648
7,2	5,13	0,652	8,743	-3,00	0,0	2,608	-2,608

To'sinning to'liq \bar{p} taqsimlangan va reaktiv bosimi miqdori quyidagi formuladan aniqlangan:

$$q = \bar{k} \cdot v = k \cdot b \cdot v = 4 \cdot 10 \cdot v = 40 \cdot v(kg/sm);$$

\bar{p} , Q , M , θ , v epyularini yuqoridagi jadvaldan foydalanib quramiz (8.19-chizma).



8.19-chizma. To'sinning zo'riqish kuchlari va deformatsiyalari epyuralari.

Elastik asos reaktiv bosimining teng ta'sir etuvchisi to'singa qo'yilgan ko'ndalang kuchiar yig'indisiga teng bo'lishi lozim, ya'ni u quyidagi shartni qanoatlantirishi shart:

$$R = \int_0^{\ell} q(x) dx = 2,8 + 2 \cdot 3,6 = 10T.$$

Bu shartning taqriban bajarilishini tekshirib ko'ramiz, elastik asos reaktiv bosimi har bir oraliqda chiziqli qonun asosida o'zgaradi deb hisobiaymiz. Unda reaktiv bosim epyurasining yuzi taxminan quyidagiga teng bo'ladi:

$$R = \frac{0,7}{2} [0,0056 + 2(1,176 + 2,146 + 2,336 + 1,864 + 1,236 + 0,532 + 0,648) + 2,608] = 10,12T.$$

Reaktiv bosimlar orasidagi farqni aniqlaymiz:

$$\Delta\% = \frac{10,12 - 10}{10} 100\% = 1,2\%.$$

8.6-§. Mustaqil ish topshiriqlari

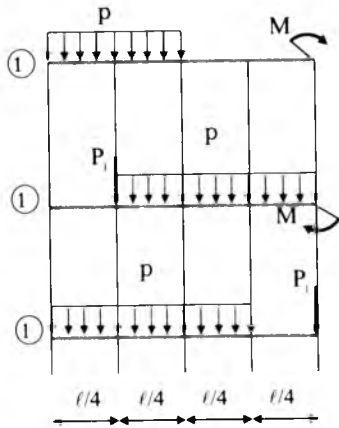
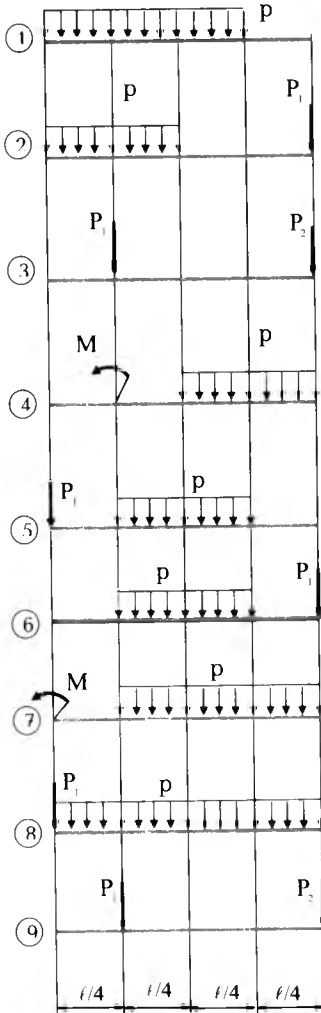
Berilgan topshiriq bo'yicha tutash elastik zaminda yotuvchi normativ yuklar bilan 8.20 va 8.21-chizmalarda ko'rsatilgandek yuklangan ko'ndalang kesimi qo'shtavr bo'lgan po'lat to'sin. Elastik asosning deformatsiyalanishini xarakterlovchi va texnikada zamin to'shama koeffitsienti deb atalib $k = 4kg/sm^3$ teng bo'lsin. 8.5-jadvaldan ma'lumotlar olinib tashqi kuchiar ta'siridan quyidagilarni aniqlash talab etiladi:

\bar{p} reaktiv bosim, v salqilik, θ burilish burchak, M eguvchi moment va Q ko'ndalang kuchlar ifodalari tuzilsin va qiymatlari aniqlansin hamda ularning epyuralari qurilsin.

8.5-jadval.

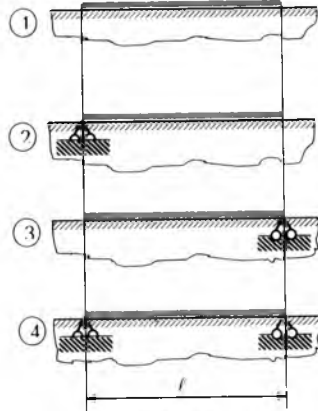
№	$t(m)$	$M(Tm)$	$P_1(T)$	$P_2(T)$	$p(T/m)$	$k(kg/sm)^3$
1	4,8	3,0	2,0	3,3	2,0	3,6
2	5,0	2,8	3,8	2,4	1,9	3,8
3	5,4	2,4	3,2	2,7	1,8	4,2
4	5,6	2,2	2,6	4,2	1,7	4,4
5	6,0	2,0	3,6	4,5	2,1	4,5
6	6,4	1,8	2,4	3,5	2,2	4,6
7	6,6	1,6	3,0	3,8	1,5	3,5
8	7,2	3,2	4,0	4,6	1,6	4,7
9	7,6	3,6	2,2	4,0	1,4	3,4
10	8,0	4,0	4,2	2,6	1,2	3,7
<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>a</i>

Yuklanishlar ko'rinishi



8.20-chizma.

Balkalarni ko'rinishi



8.21-chizma.

Tayanch iboralar:

Tutash elastik zamin, to'sinlar, Fussa-Vinkler cheklanishi, elastik zamin reaksiyasi, vertikal ko'chishi, to'sin o'rta tekisligi, salqllik, to'g'ri proporsional, to'sin eni, proporsionallik koeffitsienti, zamin to'shama koeffitsienti, uzunlik birligiga to'g'ri keladigan zamin reaksiyasi, sirtqi kuch, egilgan o'q, differensial tenglama, Fussa-Vinkler elastik asosi, model, yechim, temir yo'l, tajriba, natijalar, absolyut qattiq, integrallash qulay, rekuret formulalar, bir jinsli tenglama, xarakteristik tenglama, ildizlar, umumiy yechim, biri jinsli tenglamaning yechimi, xususiy yechim, integral koeffitsientlari, burilish burchak, eguvchi moment va ko'ndalang kuch, cheksiz uzun to'plangan kuch, to'plangan juft kuch, inoment bilan yuklangan bo'lsa eng xarakterli hol hisoblanadi, kuchlaganlik va deformatsiya holati omillari, nolga intiladi, chegara shartlari, yarim cheksiz to'sinlar, so'nish sharti, chekli to'sinlar, qisqa to'sinlarni hisoblash, ikki uchining ta'siri, A.N.Krilov, maxsus funksiyalar, boshiang'ich parametrlar usuli, boshlang'ich parametrlar, simmetrik.

Test savollar:

1. Elastik zaminda yotuvchi to'sinlarni hisoblashda Fussa-Vinkler cheklanishi qaysi javobda to'g'ri keltirilgan?

to'sinning tutash elastik zamindan har bir nuqtasida hosil bo'ladigan reaksiyasi to'sin tekisligidagi nuqtalarni vertikal ko'chishiga to'g'ri proporsionaldir;

proporsionallik koeffitsienti asosning deformatsiyalanishini xarakterlaydi;

elastik zaminda yotuvchi tutash to'sinlar cho'kmaydi;

elastik zaminda yotuvchi tutash to'sinlar statik aniq bo'lganligi uchun unda faqat chetki kesimlarida cho'kish hosil bo'lib reaksiya kuchiga teskari proporsionaldir;

2. Proporsionallik koeffitsienti nimani xarakterlaydi?

proporsionallik koeffitsienti, asosning deformatsiyalanishini xarakterlaydi;

to'sinning tutash elastik zamindan har bir nuqtasida hosil bo'ladigan reaksiyasi to'sin tekisligidagi nuqtalarni vertikal ko'chishiga to'g'ri proporsionaldir;

elastik zaminda yotuvchi tutash to'sinlar cho'kmaydi;

elastik zaminda yotuvchi tutash to'sinlar statik aniq bo'liganligi uchun unda faqat chetki kesimlarida cho'kish hosil bo'lib reaksiya kuchiga teskari proporsionaldir;

3. To'singa ta'sir etuvchi to'la yuk qaysi ifodada to'g'ri keltirilgan ?

$$\bar{p}(x) = p(x) - q(x) = p(x) - \bar{k} \cdot v(x);$$

$$\bar{k} = kb;$$

$$EI \left(\frac{\partial^4 v}{\partial x^4} \right) + \bar{k}v = p(x);$$

$$\alpha = \sqrt[4]{\frac{\bar{k}}{4EI}} = \sqrt[4]{\frac{kb}{4EI}};$$

4. To'sin egilgan o'q differensial tenglamasi Fussa-Vinkler elastik asosida yotuvchi to'sinning nimasini ifodaladi?

egilishini;

buralishini;

siljishini;

cho'zilishini;

5. Fussa-Vinkler modeli bilan olingan yechim tajribaga to'g'ri keladimi?

temir yo'lining poezdlari yuradigan yo'llarini hisoblashda haqiqiy tajribada olingan natijalarga to'g'ri keladi;

avtomobillar yuradigan yo'llarini hisoblashda haqiqiy tajribada olingan natijalarga to'g'ri keladi;

tosh yo'llarda avtomobillar yuradigan yo'llarini hisoblashda haqiqiy tajribada olingan natijalarga to'g'ri keladi;

yurish qismi tishli bo'lgan transport vositalari yuradigan yo'llarini hisoblashda haqiqiy tajribada olingan natijalarga to'g'ri keladi;

6. Nima uchun Fussa-Vinkler modeli har doim ham to'g'ri yechimga olib kelmaydi?

bunda to'sin absolyut qattiq deb qaralib, faqat to'sin cho'kishini e'tiborga oladi;

bunda to'sin deformatsiyalanuvchi deb qaralib, faqat to'sin cho'kishini e'tiborga oladi;

bunda to'sin yumshoq deb qaralib, faqat to'sin cho'kishini e'tiborga oladi;

bunda to'sin membrana deb qaralib, faqat to'sin cho'kishini e'tiborga oladi;

7. Differensial tenglamaga yangi o'zgaruvchi kiritilgandan keyingi ifodasini ko'rsating?

$$\left(\frac{\partial^4 v}{\partial \xi^4}\right) + \bar{k}v(\xi) = \frac{p(\xi)}{\alpha^4 EI};$$

$$EI \left(\frac{\partial^4 v}{\partial x^4}\right) + \bar{k}v = p(x);$$

$$r^4 + 4r = 0;$$

$$\frac{d^n}{dx^n} = \alpha^n \frac{d^n}{d\xi^n};$$

8. Differensial tenglamaga tegishli bo'lgan bir jinsli tenglamaning yechimini olish uchun tuzilgan xarakteristik tenglamasi ifodasini ko'rsating?

$$r^4 + 4r = 0;$$

$$\left(\frac{\partial^4 v}{\partial \xi^4}\right) + \bar{k}v(\xi) = \frac{p(\xi)}{\alpha^4 EI};$$

$$\alpha = \sqrt[4]{\frac{k}{4EI}} = \sqrt[4]{\frac{kb}{4EI}}.$$

$$\frac{d^n}{dx^n} = \alpha^n \frac{d^n}{d\xi^n};$$

$$EI \left(\frac{\partial^4 v}{\partial x^4}\right) + \bar{k}v = p(x);$$

9. Elastik zamnda yotuvchi to'sin differensial tenglamasi ifodasini ko'rsating?

$$\left(\frac{\partial^4 v}{\partial \xi^4}\right) + \bar{k}v(\xi) = \frac{p(\xi)}{\alpha^4 EI};$$

$$EI \left(\frac{\partial^4 v}{\partial x^4}\right) + \bar{k}v = p(x);$$

$$r^4 + 4r = 0;$$

$$\frac{d^n}{dx^n} = \alpha^n \frac{d^n}{d\xi^n};$$

10. Differensial tenglamaning umumiy yechimini quyidagi ifodalarning qaysi birida to'g'ri keltirilgan?

$$v(\xi) = C_1 e^{\xi} \sin \xi + C_2 e^{\xi} \cos \xi + C_3 e^{-\xi} \sin \xi + C_4 e^{-\xi} \cos \xi + v^*(\xi);$$

$$v(\xi) = C_1 e^{\xi} \sin \xi + C_2 e^{\xi} \cos \xi + C_3 e^{-\xi} \sin \xi + C_4 e^{-\xi} \cos \xi;$$

$$r^4 + 4r = 0, \quad r_{1,2} = 1 \pm i, \quad r_{3,4} = -1 \pm i;$$

$$\alpha = \sqrt[4]{\frac{k}{4EI}} = \sqrt[4]{\frac{kb}{4EI}};$$

11. Differensial tenglamaning umumiy yechimidagi o'zgarmas C_1, C_2, C_3, C_4 , koefitsientlar qanday aniqlanadi?

to'sin chegara shartlaridan;

to'sin mustahkamlik shartlaridan;

to'sin bikirlik shartlaridan;

to'sin ustuvorlik shartlaridan;

12. Bu C_1, C_2, C_3, C_4 , qanday koefitsientlar?

integral;

differensiallash;

trigonometrik;

O'zgaruvchi;

13. Differensial tenglamaning umumiy yechimidagi C_1, C_2, C_3, C_4 koefitsientlar qatnashgan hadlar nimani bildiradi?

xususiy yechim;

oddiy yechim;

algebraik yechim;

trigonometrik yechim;

14. To'sinlarning burilish burchaklarini aniqlashda quyidagi qaysi differensial bog'lanishlardan foydalanish mumkin?

$$\theta(\xi) = \alpha v'(\xi);$$

$$\theta(\xi) = -EI\alpha^2 v''(\xi);$$

$$\frac{d^n \theta}{dx^n} = \alpha^n \frac{d^n \theta}{d\xi^n};$$

$$\theta(\xi) = -EI\alpha^3 v'''$$

15. To'sinlarning eguvchi momentlarini aniqlashda quyidagi qaysi differensial bog'lanishlardan foydalanish mumkin?

$$M(\xi) = -EI\alpha^2 v''(\xi)$$

$$\frac{d^n M}{dx^n} = \alpha^n \frac{d^n M}{d\xi^n};$$

$$M(\xi) = \alpha v^n(\xi)$$

$$M(\xi) = -EI\alpha^3 v'''(\xi)$$

16. To'sinlarning ko'ndalang kuchlarini aniqlashda quyidagi qaysi differensial bog'lanishlardan foydalanish mumkin?

$$Q(\xi) = -EI\alpha^3 v'''(\xi)$$

$$\frac{d^n Q}{dx^n} = \alpha^n \frac{d^n Q}{d\xi^n};$$

$$Q(\xi) = \alpha v'(\xi)$$

$$Q(\xi) = -EI\alpha^3 v'''(\xi)$$

17. Agar juda uzun to'sin uzunligining o'rata qismi to'plangan kuch yoki to'plangan juft kuch (moment) bilan yuklangan bo'lsa to'sinning egilishi quyidagi differensial tenglamalarning qaysi biri bilan ifodalanadi?

$$\left(\frac{\partial^4 v}{\partial x^4}(\xi) \right) + 4v(\xi) = 0;$$

$$\left(\frac{\partial^4 v}{\partial \xi^4} \right) + \bar{k}v(\xi) = \frac{p(\xi)}{\alpha^4 EI};$$

$$EI \left(\frac{\partial^4 v}{\partial x^4} \right) + \bar{k}v = p(x);$$

$$\frac{d^n}{dx^n} = \alpha^n \frac{d^n}{d\xi^n};$$

18. Juda uzun to'sin uzunligining o'rata qismi to'plangan kuch yoki to'plangan juft kuch (moment) bilan yuklangan bo'lsa, to'sinning differensial tenglamasining yechimi qaysi ko'rinishda ifodalanadi?

$$v(\xi) = C_1 e^{\xi} \sin \xi + C_2 e^{\xi} \cos \xi + C_3 e^{-\xi} \sin \xi + C_4 e^{-\xi} \cos \xi;$$

$$v(\xi) = C_1 e^{\xi} \sin \xi + C_2 e^{\xi} \cos \xi + C_3 e^{-\xi} \sin \xi + C_4 e^{-\xi} \cos \xi;$$

$$v(\xi) = C_1 e^{-\xi} \sin \xi + C_2 e^{-\xi} \cos \xi + C_3 e^{-\xi} \sin \xi + C_4 e^{-\xi} \cos \xi;$$

$$v(\xi) = C_4 e^{\xi} \sin \xi + C_2 e^{\xi} \cos \xi + C_6 e^{-\xi} \sin \xi + C_0 e^{-\xi} \cos \xi;$$

19. Cheksiz uzun to'sinning yuk qo'yilgan sohasidan uning yetarlicha uzoqdagi oxirgi uchlaridagi kuchiaganlik va deformatsiya holati nimaga intiladi?

- nolga;
- cheksizga
- maksimumga;
- ekstremumga;

20. Cheksiz uzun to'sinning egilishidagi bir jinsli differensial tenglamalarning yechimidagi o'suvchi hadlarni tashlab yuborilisa quyidagi qaysi yechim to'g'ri?

$$v(\xi) = C_3 e^{-\xi} \sin \xi + C_4 e^{-\xi} \cos \xi;$$

$$v(\xi) = C_1 e^{\xi} \sin \xi + C_2 e^{\xi} \cos \xi;$$

$$v(\xi) = C_1 e^{\xi} \sin \xi + C_3 e^{-\xi} \sin \xi;$$

$$v(\xi) = C_2 e^{\xi} \cos \xi + C_4 e^{-\xi} \cos \xi;$$

21. Bir uchiga qo'yilgan yuk ta'siridagi yarim cheksiz to'sinlarning salqilik deformatsiyasi qaysi ifodadan aniqlanadi?

$$v(\xi) = C_3 e^{-\xi} \sin \xi + C_4 e^{-\xi} \cos \xi;$$

$$v(\xi) = C_1 e^{\xi} \sin \xi + C_2 e^{\xi} \cos \xi;$$

$$v(\xi) = C_1 e^{\xi} \sin \xi + C_3 e^{-\xi} \sin \xi;$$

$$v(\xi) = C_2 e^{\xi} \cos \xi + C_4 e^{-\xi} \cos \xi;$$

22. Cheksiz uzun va yarim cheksiz to'sinlar uchun olingan yechimlar barcha kuchlanganlik va deformatsiya holati omillari kuch qo'yilgan kesimdan uzoqlashgan sari;

- tezlik bilan kamayib boradi;
- tezlik bilan ortib boradi;
- aniqlab bo'lmaydi;
- o'zgarmaydi;

23. Elastik zaminda yotuvchi to'sin egilgan o'qi differensial tenglamasi yechimidagi o'suvchi va kamayuvchi hadlardagi ko'r-satgichli funksiyalar qanday funksiya almashtirish qulaylik tug'-diradi?

- giperbolik;
- maxsus;
- darajali;
- logarifmik;

24. A.N.Krillov funktsiyalari qanday shartlarni qanoatlantiradi?

$$Y_1(\xi = 0) = 1; \quad Y_2(\xi = 0) = Y_3(\xi = 0) = Y_4(\xi = 0) = 0;$$

$$Sh\xi = \frac{e^\xi - e^{-\xi}}{2} = 0; \quad ch\xi = \frac{e^\xi + e^{-\xi}}{2} = 0;$$

$$\frac{dY_1}{d\xi} = -4Y_4; \quad \frac{dY_2}{d\xi} = Y_1; \quad \frac{dY_3}{d\xi} = Y_2; \quad \frac{dY_4}{d\xi} = Y_3;$$

$$v(\xi) = C_1Y_1(\xi) + C_2Y_2(\xi) + C_3Y_3(\xi) + C_4Y_4(\xi);$$

25. Geometrik boshlang'ich parametrlar qachon nolga teng?

koordinata boshidagi kesim qistirib mahkamlanganida;

koordinata boshidagi kesim erkin bo'lganida;

koordinata boshidagi kesim sharnirli mahkamlanganda;

nolga teng bo'lmaydi;

26. Qanday boshlang'ich parametrini bilasiz?

statik va geometrik boshlang'ich parametrlar;

statik va dinamik boshlang'ich parametrlar;

elastik va plastik boshlang'ich parametrlar;

aniq va aniqmas boshlang'ich parametrlar;

27. Geometrik boshlang'ich parametrlar quyidagilarning qaysilari?

koordinata boshidagi burilish burchagi va salqiligi;

koordinata boshidagi ko'ndalang kuch va eguvchi moment;

koordinata boshidagi egrilik radiusi va reaksiyasi;

koordinata boshidagi egrilik radiusi va normal kuchlanish;

28. Statik boshlang'ich parametrlar quyidagilarning qaysilari?

koordinata boshidagi ko'ndalang kuch va eguvchi moment;

koordinata boshidagi burilish burchagi va salqiligi;

koordinata boshidagi egrilik radiusi va reaksiyasi;

koordinata boshidagi egrilik radiusi va normal kuchlanish;

29. Boshlang'ich parametr usulidan foydalanish integrallash usuliga qaraganda qanday qulaylikka ega?

to'sin nechta uchastkadan iborat bo'lishidan qat'iy nazar ikkita o'zgarmas hosil bo'ladi;

to'sin nechta uchastkadan iborat bo'lishidan qat'iy nazar oltita o'zgarmas hosil bo'ladi;

to'sin nechta uchastkadan iborat bo'lishidan qat'iy nazar ko'p o'zgarmas hosil bo'ladi;

to'sin nechta uchastkadan iborat bo'lishidan qat'iy nazar ikkita o'zgarmas hosil bo'lmaydi;

30. Statik boshlang'ich parametrlarning nolga tengligi qaysi javobda to'g'ri keltirilgan?

to'sinning koordinata boshi qo'yilgan erkin uchiga yuk qo'yilmagan bo'lsa;

to'sinning koordinata boshi qo'yilgan erkin uchiga yoyilgan yuk qo'yilmagan bo'lsa;

to'sinning koordinata boshi qo'yilgan erkin uchiga ko'ndalang yuk qo'yilmagan bo'lsa;

to'sinning koordinata boshi qo'yilgan erkin uchiga to'plangan kuchlar qo'yilgan bo'lsa;

STERJENLARNING BO'YLAMA EGILISHI

9.1-§. Asosiy tushunchalar

Amaliyotda konstruksiya elementlariga qo'yiladigan mustahkamlik va bikirlik kabi talablardan tashqari yana eng muhim bo'lgan talablardan biri, ularning ustuvorligini ta'minlash muammosidir.

Nazariy mexanika fanidan ma'lumki, absolyut qattiq jismlarning muvozanat holati uch xil bo'ladi, ya'ni ustuvor, befarq va noustuvor. Misol sifatida vaznli sharning muvozanat holatlarini keltirish mumkin:

Birinchi hol. Botiq sirtida turgan sharni bir oz o'z muvozanat holatidan qo'zg'atilsa, u og'irligi ta'sirida o'zining dastlabki muvozanat holatiga qaytib keladi.

Demak, botiq sirtida turgan shar muvozanat holati ustuvor bo'lar ekan (9.1,a-chizma).

Ikkinchi hol. Gorizont tekislikda turgan sharni bir oz o'z o'rnidan qo'zg'atilsa, u o'zining dastlabki muvozanat holatiga qaytib kelmasdan boshqa joyda turib qoladi. Demak, gorizont tekislikda turgan sharning muvozanat holati befarq bo'ladi (9.1,b-chizma).

Uchinchi hol. Shar qavariq sirtida turgan bo'lsa, bir oz o'z o'rnidan qo'zg'atilsa, sirtidan tushib ketadi. Demak, qavariq sirtida turgan shar muvozanat holati noustuvor bo'ladi (9.1,d-chizma).



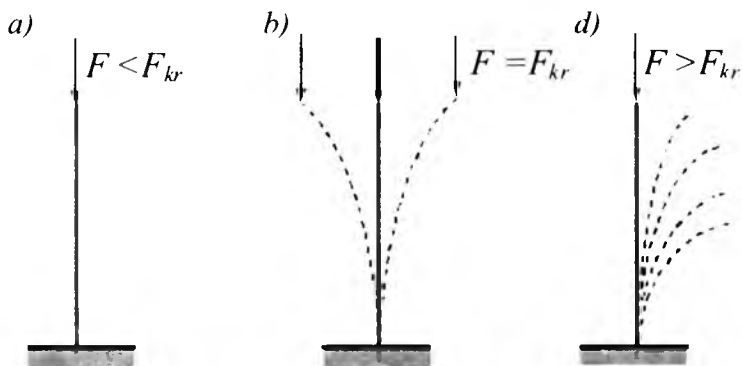
9.1-chizma. Shar muvozanat holati turlari.

Yuqorida keltirilgan misollardan shuni xulosa qilib aytish mumkin, absolyut qattiq jismlar mexanikasida, absolyut qattiq jismlar ustuvorligi unga ta'sir etuvchi kuchga bog'liq emas ekan.

Deformatsiyalanuvchi qattiq jismlar mexanikasida konstruksiya elementlariga ta'sir etuvchi kuchlarning qiymati ustuvorlikning muvozanat holati turini belgilovchi asosiy omillardan biri bo'lib hisobla-

nadi. Konstruksiya elementlari muvozanat holatining ustuvor bo'lishini ta'minlash uchun ingichka sterjenlar muvozanat holatining buzilish sabablarini o'rganish maqsadida quyidagi misolni ko'rib chiqamiz.

Misol sifatida bir uchi qistirib mahkamlangan, erkin uchi ko'ndalang kesimi og'irlik markaziga asta-sekin o'suvchi bo'ylama siquvchi kuch qo'yilgan to'g'ri o'qli ingichka sterjenning muvozanat holatini qarab chiqamiz (9.2,a-chizma). Bo'ylama siquvchi kuchning kichik qiymatida, sterjen o'zining to'g'ri chiziqli muvozanat holatida bo'ladi. Unga birorta tasodifiy gorizontol turtki bilan ta'sir etganimizda ham, u bir ozgina egilib qisqa vaqt tebranib, yana o'zining dastlabki to'g'ri chiziqli muvozanat holatiga qaytadi. Siquvchi kuchni orttirib, nihoyat uni shunday qiymatga yetkazish mumkinki, natijada siqilgan ingichka to'g'ri o'qli sterjen, o'zining to'g'ri chiziqli muvozanat holatini saqlab tura olmaydi, chunki u tasodifiy sabablarga ko'ra biror tomonga egiladi.



9.2-chizma. To'g'ri o'qli siqilgan ingichka sterjenning muvozanat holati.

Qaralayotgan siqilgan sterjenga kichik ko'ndalang turtki bersak, u bir oz egilib o'zining dastlabki to'g'ri chiziqli muvozanat holatiga darhol qaytib keladi. Unda sterjenning to'g'ri chiziqli muvozanat holati *ustuvor holat* deb ataladi. Siquvchi kuchning qiymatini sekin-asta oshira borish yo'li bilan shunday bir qiymatini topish mumkin, siquvchi kuchning bu qiymatida ko'ndalang turtki berilsa ham, sterjen

egilib o'zining dastlabki to'g'ri chiziqli muvozanat holatiga qaytmasdan egri chiziqli muvozanat holatida ustuvor bo'lib qoladi.

Agar sterjen o'zining dastlabki to'g'ri chiziqli muvozanat holatiga qaytarib keitirilsa, u bu holatida ham ustuvor bo'ladi. Bunda sterjenning muvozanat holati *befarq holat* deb ataladi (9.2,b-chizma).

Bu misollardan xulosa qilib aytish mumkinki, sterjenning ham to'g'ri chiziqli, ham egri chiziqli muvozanat holati ustuvor bo'lgan vaqtga to'g'ri keluvchi siquvchi kuchga *kritik kuch* deb ataladi va u F_{kr} bilan belgilanadi [20,501-bet].

Siquvchi kuch qiymatini befarq holatga to'g'ri keluvchi kritik kuch qiymatidan bir oz orttirilsa sterjen katta deformatsiya hosil qilib, o'z ustuvorligini yo'qotadi. Siqilgan sterjenning bunday holati *noustuvor holat* deb ataladi (9.2,d-chizma).

Sterjenlarning siquvchi bo'ylama kuch ta'sirida to'g'ri chiziqli muvozanat holatidagi ustuvorligini yo'qotish sababli egilishiga *bo'ylama egilish* deb ataladi. Sterjenning egilishi natijasida eguvchi moment hosil bo'ladi. Siquvchi kuchdan hosil bo'lgan kuchlanishga egilishdan hosil bo'lgan kuchlanish qo'shiladi va natijada, sterjenning to'satdan yemirilishiga sabab bo'ladi.

Kritik kuch ta'sirida elastik muvozanat holat ustuvorligini yo'qotish faqat siqilgan sterjenlar uchun xos bo'lib qolmasdan, balki konstruksiyalarning boshqa turdagi halqa, rama, plastinka, qobiq kabi elementlarida ham uchraydi.

Konstruksiya elementlarini ustuvorlikka to'g'ri hisoblashning qanchalik dolzarb vazifa ekanligini quyidagi tarixiy ma'lumotlardan ham ko'rish mumkin. Adabiyotlardan ma'lumki, inshootlarni ustuvorlikka noto'g'ri hisoblash natijasida ular yemirilib ko'pgina baxtsiz voqealar yuz bergan. Masalan: Shveysariyaning Menxenshteyn qishlog'idagi ko'prikda 1891 yil may oyida bo'lgan fojia siqilgan sterjenlarni ustuvorlikka to'g'ri hisoblash naqadar zarur va muhimligini ko'rsatuvchi tarixiy dalildir. Baxtsiz voqea yuz berganda ko'prikdan parovoz o'tib ulgurgan edi, lekin daryoga qulagan vagonlar uni ham tortib ketgan. Natijada 74 kishi vafot etgan va 200 dan ortiq kishi turli jarohatlar olgan [8,354-bet].

1907 yilda AQShda Shimoliy Lavrentiya daryosiga qurilgan, bosh prolyoti 549m bo'lgan konsol sistemali katta ko'prik ag'darilib tush-

gan. Halokat natijasida 74 kishi halok bo'lgan va 9 ming tonna metall konstruksiya butunlay ishdan chiqib suv ostiga cho'kib ketgan.

Kvebek ko'prigini qurishda siqilgan yig'ma sterjenlarning ustuvorlikka noto'g'ri hisoblanishi natijasida ulkan fojiali halokat ro'y bergan. Shunisi e'tiborga loyiqki, bu voqeadan 9 yildan keyin, 1916 yilda o'sha joyda o'sha sxema bo'yicha yangi Kvebek ko'prigini qurish nihoyasiga yetkazildi, baxtga qarshi ikkinchi marta ham ko'prik halokatga uchradi, chunki u vaqtlarda siqilgan sterjenlarni ustuvorlikka hisoblash nazariyasi mukammal emas edi.

Demak, bo'ylama egilish xavfli bo'lib, unga yo'l qo'yib bo'lmaydi. Bulardan shunday xulosa kelib chiqadiki, sterjenning o'lchamlari shu sterjen materialining xarakteristikalari va unga ta'sir etuvchi siquvchi kuch va boshqa omillar orasida shunday munosobatlarni topish lozimki, toki siqilgan sterjenning bo'ylama egilish xavfsizligi ta'minlansin. Shunday qilib, sterjenga qo'yilgan siquvchi kuch kritik kuchdan bir necha marta kichik bo'lishi shart ekan.

Siqilgan sterjenlarning xavfsiz ishlashini ta'minlash uchun ruxsat etilgan kuch kritik kuchdan yetarlicha kichik bo'lishi shart:

$$[F] = \frac{F_{kr}}{n_u} \quad (9.1)$$

Bunda $[F]$ – ruxsat etilgan kuch; F_{kr} – kritik kuch; $[n_u]$ – sterjen birkirlikligiga bog'liq bo'lib, har xil materiallar har xil qiymatlarni qabul qiluvchi normal ustuvorlikning ehtiyotlik koeffitsienti.

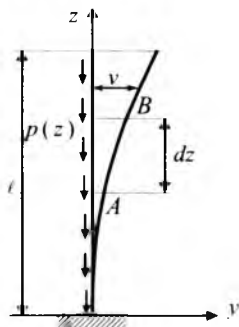
Amaliyotda ustuvorlik uchun $[n_u]$ ehtiyotlik koeffitsienti, mustahkamlik uchun ehtiyotlik $[n]$ koeffitsientiga nisbatan kattaroq qabul qilinadi.

9.2-§. Siqilgan sterjenning to'rtinchi tartibli ustuvorlik differensial tenglamasi

Ko'pgina hollarda siqilgan sterjenlarning ustuvorlik masalasini yechishda to'rtinchi tartibli differensial tenglamadan foydalanish maqsadga muvofiqdir. Bu tenglamani keltirib chiqaramiz. Umumiy hol uchun, bo'ylama siquvchi kuch F sterjen uzunligi bo'yicha o'zgaruvchi deb hisoblaymiz. Bu holda, uzunligi bo'yicha tekis taralgan $p(z)$ intensivlikli bo'ylama siquvchi kuch bilan siqilgan sterjen masalasi ro'y beradi (9.3-chizma). Bunda sterjenning ixtiyoriy $z = const$

kesimidagi bo'ylama F siquvchi kuch quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$F = \int_z^l p(z) dz. \quad (9.2)$$



9.3-chizma. Uzunligi bo'yicha tekis taralgan bo'ylama kuchdan siqilgan sterjen muvozanat holati.

Taralgan yuk $p(z)$ intensivligi o'zgarmas $p = const$ bo'lganda bo'ylama kuchni quyidagicha ifodalash mumkin:

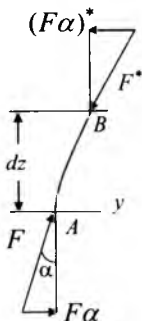
$$F = p(l - z). \quad (9.3)$$

Yukning bunday o'zgarishi, misol uchun xususiy og'irligi ta'sirida bo'lgan vertikal sterjenda ro'y beradi.

Ma'lumki, ko'ndalang kesimi o'zgaruvchi siqilgan sterjen egilgan o'qi differensial tenglamasi umumiy holda quyidagi ko'rimishda ifodalanadi [3]:

$$\frac{d^2}{dz^2} \left(EI \frac{d^2 v}{dz^2} \right) = q(z). \quad (9.4)$$

(9.4) ifodada $q(z)$ sterjenga ta'sir etuvchi ko'ndalang kuch. Bir vaqtda ko'ndalang $q(z)$ va bo'ylama $p(z)$ yuklarning birgalikda ta'sirida bo'lgan sterjen bo'ylama-ko'ndalang differensial tenglamasini, (9.4) tenglamaga ko'ndalang q yukni va bo'ylama siquvchi F kuchdan sterjenning egilishi natijasida hosil bo'lgan keltirilgan ko'ndalang q^* yukni kiritish yo'li bilan hosil qilamiz.



9.4-chizma. Cheksiz kichik elementning muvozanat holati.

Keltirilgan ko'ndalang q^* yukni aniqlash maqsadida siqilgan sterjendan uzunligi dz ga teng bo'lgan cheksiz kichik element ajratib olamiz (9.4-chizma). Element egilgan o'qi urinmalari bo'yicha yo'nalgan, uning oxirgi A va B uchlariga tegishlicha F va F^* bo'ylama siquvchi kuchlar ta'sir etadi. Element o'qining egilishi natijasida yuqorida keltirilgan kuchlar gorizontaal y o'qiga proyeksiya beradi. Elementning A nuqtasiga ta'sir etuvchi F kuchning y o'qidagi tashkil etuvchisi 9.4-chizma asosida quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$F \sin \alpha = p \frac{dv}{dz}. \quad (9.5)$$

Bunda α burchak juda kichik bo'lganligi sababli, uni taqriban quyidagiga teng deb qabul qilamiz:

$$\sin \alpha = \alpha = \frac{dv}{dz}. \quad (9.6)$$

Qaralayotgan elementning A uchidan B uchiga o'tishda z koordinata dz ga o'zgaradi. Unda elementning B uchiga ta'sir etuvchi F kuchining y o'qidagi tashkil etuvchisi juda kichik orttirma oladi va uning B nuqtadagi qiymati quyidagicha ifodalanadi:

$$(F\alpha)^* = - \left[F \frac{dv}{dz} + \frac{dv}{dz} \left(F \frac{dv}{dz} \right) dz \right]. \quad (9.7)$$

Bo'ylama kuchning B nuqtasidagi tashkil etuvchisi y o'qining manfiy tomonga qarab yo'nalgani sababli (9.7) formulaning o'ng tomoniga minus ishorasi qo'yilgan.

Shunday qilib, bo'ylama kuchning z o'qidagi qo'shimcha tashkil etuvchisi quyidagi ko'rinishda ifodalanadi:

$$q \cdot dz = [(F\alpha) + F\alpha] dz. \quad (9.8)$$

Bundan

$$q^* = -\frac{d}{dz} \left(F \frac{dv}{dz} \right). \quad (9.9)$$

(9.4) va (9.9) bog'lanishlarni e'tiborga olib, sterjenning bo'ylama ko'ndalang egilgan o'qi differensial tenglamasini quyidagi ko'rinishda ifodalash mumkin:

$$\frac{d^2}{dz^2} \left(EJ \frac{d^2 v}{dz^2} \right) = q - \frac{d}{dz} \left(F \frac{dv}{dz} \right). \quad (9.10)$$

Agar bu (9.10) tenglamadagi ko'ndalang q yuk nolga teng bo'lsa, unda ko'ndalang kesimi uzunligi bo'yicha o'zgaruvchi, tekis taqsimlangan bo'ylama yuk bilan yuklangan sterjenning ustuvorlik tenglamasini hosil qilamiz:

$$\frac{d^2}{dz^2} \left(EJ \frac{d^2 v}{dz^2} \right) + \frac{d}{dz} \left(F \frac{dv}{dz} \right) = 0. \quad (9.11)$$

Bu (9.11) tenglama, o'zgaruvchi koeffitsientli to'rtinchi tartibli oddiy differensial tenglama. Erkin uchi bo'ylanma siquvchi F kuch bilan yuklangan bikirligi $EI = const$ o'zgarmas bo'lgan sterjen uchun (9.11) tenglama quyidagi o'zgarmas koeffitsientli differensial tenglamaga o'tadi [27, 695-bet]:

$$\frac{d^4 v}{dz^4} + k^2 \frac{d^2 v}{dz^2} = 0. \quad (9.12)$$

Differensial (9.12) tenglamaning yechimini $v = e^{sz}$ ko'rinishda qidirib, quyidagi xarakteristik tenglamani hosil qilamiz, ya'ni:

$$S^2(S^2 + k^2) = 0. \quad (9.13)$$

Bundan izlanayotgan xarakteristik sonlarni topamiz:

$$S_{1,2} = 0, S_{3,4} = \pm ik. \quad (9.14)$$

Unda (9.12) differensial tenglamaning umumiy yechimi quyidagicha ifodalanadi:

$$v = C_1 + C_2 z + C_3 \sin kz + C_4 \cos kz, \quad (9.15)$$

bunda $C_i (i=1, 2, 3, 4)$ integrallash natijasida hosil bo'lgan ixtiyoriy o'zgarmas koeffitsientlar.

9.3-§. O'zgaruvchi kesimli sterjenlarning ustuvorlik masalasi

Misol sifatida uchlari sharnirli mahkamlangan bo'ylama kuch bilan siqilgan sterjenning ikki uchastkasi bo'yicha bikirligi turlicha bo'lganda kritik kuchni aniqlash masalasini ko'rib chiqamiz. Birinchi uchastkaning bikirligi ikkinchisidan to'rt marta katta bo'lsin (9.5-chizma).

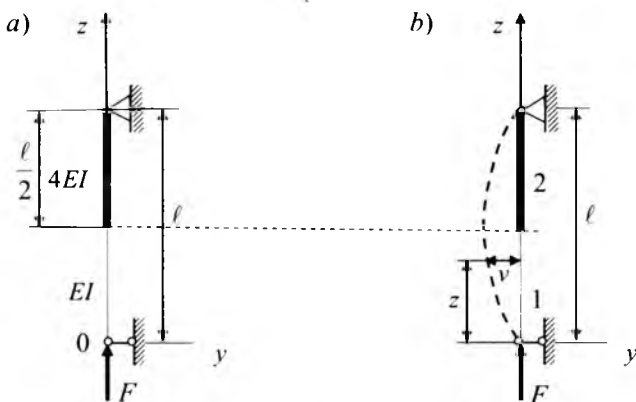
Birinchi va ikkinchi uchastkalarga tegishli bo'lgan differensial tenglamalarni hosil qilamiz:

$$EJ_1 v_1'' + Fv_1 = 0. \quad (9.16)$$

$$4EJ_2 v_2'' + Fv_2 = 0. \quad (9.17)$$

Bu differensial tenglamalarni qulay shaklda ifodalash uchun quyidagi belgilashni kiritish mumkin:

$$k^2 = \frac{F}{4EJ_1} \quad (9.18)$$



9.5-chizma. Uchastkalari bo'yicha bikirligi turlicha bo'lgan sterjen.

Unda

$$v_1'' + 4k^2 v_1 = 0. \quad (9.19)$$

$$v_2'' + k^2 v_2 = 0. \quad (9.20)$$

Bir jinsli bu differensial tenglamalarning yechimi mos ravishda quyidagicha bo'ladi:

$$v_1 = C_1 \sin 2kz + C_2 \cos 2kz. \quad (9.21)$$

$$v_2 = C_3 \sin kz + C_4 \cos kz. \quad (9.22)$$

Salqilik ifodalaridagi C_1, C_2, C_3, C_4 o'zgarmas koeffitsientlari chegara shartlaridan aniqlanadi. Agar koordinata $z=0$ bo'lsa $v_1=0$ teng bo'ladi va $C_2=0$ o'zgarmas koeffitsient aniq bo'ladi. Qolgan uch shartlari $z=\ell/2$ bo'lsa $v_1=v_2$ va $v_1'=v_2'$ hamda $z=\ell$ salqilik $v_2=0$ bo'ladi. Bu uchta chegara shartlariga tegishli bo'lgan uchta trigonometrik tenglamalarni quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\left. \begin{aligned} C_1 \sin k\ell &= C_3 \sin \frac{k\ell}{2} + C_4 \cos \frac{k\ell}{2}; \\ 2C_1 \cos k\ell &= C_3 \cos \frac{k\ell}{2} - C_4 \sin \frac{k\ell}{2}; \\ C_3 \sin k\ell + C_4 \cos k\ell &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (9.23)$$

Tenglamalar sistemaning aniqlanuvchilari nolga tenglanadi:

$$\begin{vmatrix} \sin k\ell & -\sin \frac{k\ell}{2} & -\cos \frac{k\ell}{2} \\ 2\cos k\ell & -\cos \frac{k\ell}{2} & \sin \frac{k\ell}{2} \\ 0 & \sin k\ell & \cos k\ell \end{vmatrix} = 0. \quad (9.24)$$

Bundan quyidagi ikkita tenglama hosil bo'ladi.

$$\sin \frac{k\ell}{2} = 0. \quad (9.25)$$

$$\operatorname{tg}^2 \frac{k\ell}{2} = 2. \quad (9.26)$$

Bu tenglamalardan noldan farqli eng kichik ildizini quyidagi shartdan $\operatorname{tg} \frac{k\ell}{2} = \sqrt{2}$ aniqlanadi, ya'ni $\frac{k\ell}{2} = 0,955$. Unda kritik kuch quyidagicha ifodalanadi:

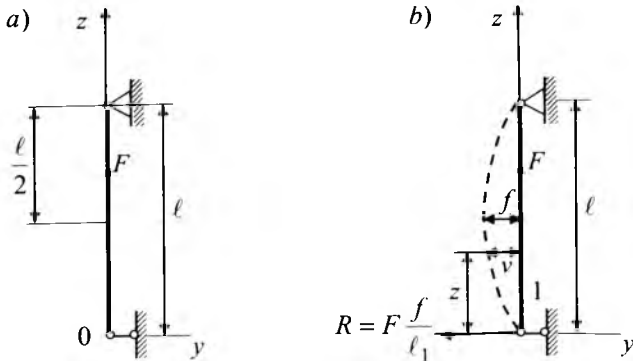
$$F_{kr} = \frac{14,6EI}{\ell^2}. \quad (9.27)$$

Ikkinchi misol uchlari sharnirli mahkamlangan, proleti o'rtasiga qo'yilgan bo'ylama kuch ta'sirida bo'lgan sterjen uchun kritik kuchni aniqlashni ko'rib chiqamiz. (9.6-chizma).

Birinchi va ikkinchi uchastkalariga tegishli bo'lgan differensial tenglamalar quyidagicha ifodalanadi:

$$EIv_1'' + F \frac{f}{\ell} z = 0. \quad (9.28)$$

$$EIv_2'' + F \frac{f}{\ell} z - F(f - v_2) = 0. \quad (9.29)$$



9.6-chizma. Tayanchlar o'rtasiga qo'yilgan kuchdan siqilgan sterjen.

Bu differensial tenglamalarni qulay shaklda ifodalash mumkin:

$$v_1'' = -\frac{k^2 f}{\ell} z. \quad (9.30)$$

$$v_2'' + k^2 v_2 = k^2 f \left(1 - \frac{z}{\ell}\right). \quad (9.31)$$

Bu differensial tenglamalarning yechimi tegishli shartlarga quyidagicha bo'ladi:

$$v_1 = -\frac{k^2 f}{\ell} \frac{z^3}{6} + C_1 z + C_2. \quad (9.32)$$

$$v_2 = C_3 \sin kz + C_4 \cos kz + f \left(1 - \frac{z}{\ell}\right). \quad (9.33)$$

Salqilik ifodalardagi C_1, C_2, C_3, C_4 o'zgarmas koeffitsientlari chegara shartlaridan aniqlanadi. Agar koordinata $z=0$ bo'lsa $v_1 = 0$ teng bo'ladi va bundan $C_2 = 0$ o'zgarmas koeffitsient aniq bo'ladi. Qolgan noma'lumlar quyidagi shartlardan aniqlanadi:

$z = \ell/2$ bo'lsa $v_1 = f$, $v_2 = f$ va $v_1' = v_2'$ hamda $z = \ell$ bo'lganda salqilik $v_2 = 0$ bo'ladi. Bu uchta chegara shartlariga tegishli bo'lgan to'rtta tenglamalarni quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\left. \begin{aligned} -\frac{k^2 f \ell^3}{\ell \cdot 48} + C_1 \frac{\ell}{2} &= f; \\ C_3 \sin \frac{k\ell}{2} + C_4 \cos \frac{k\ell}{2} + \frac{1}{2} f &= f; \\ -\frac{k^2 f \ell}{8} + C_1 &= C_3 k \cos \frac{k\ell}{2} - C_4 k \sin \frac{k\ell}{2} - \frac{f}{\ell}; \\ C_3 \sin k\ell + C_4 \cos k\ell &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (9.34)$$

C_1, C_3, C_4, f o'zgaraslarni noma'lumlarga qarab tenglamalar sistemaning aniqlanuvchilarini nolga tenglanadi:

$$\begin{vmatrix} \frac{\ell}{2} & 0 & 0 & -1 - \frac{k^2 \ell^2}{48} \\ 0 & \sin \frac{k\ell}{2} & \cos \frac{k\ell}{2} & \frac{1}{2} \\ 1 & -k \cos \frac{k\ell}{2} & k \sin \frac{k\ell}{2} & \frac{1}{\ell} - \frac{k^2 \ell}{8} \\ 0 & \sin k\ell & \cos k\ell & 0 \end{vmatrix} = 0. \quad (9.35)$$

Bundan quyidagi tenglama hosil bo'ladi.

$$\operatorname{tg} \frac{k\ell}{2} = \frac{3k\ell \cdot 2}{(k\ell/2)^2 - 9}. \quad (9.36)$$

Bu tenglamaning eng kichik ildizi quyidagiga teng bo'ladi:

$$\frac{k\ell}{2} = 2,16. \quad (9.37)$$

Unda kritik kuch quyidagicha ifodalanadi:

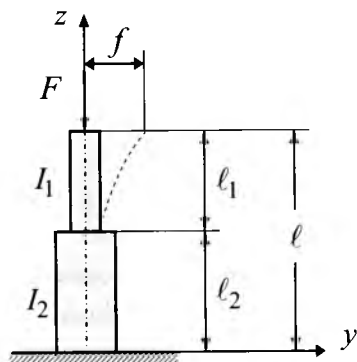
$$F = \frac{18,7EJ}{\ell^2}. \quad (9.38)$$

Uchinchi misol sifatida pastki uchi bilan qistirib mahkamlangan, yuqorigi erkin uchiga F siquvchi kuch qo'yilgan inersiya momentlari I_1, I_2 prizma shaklidagi uchastkalaridan tashkil topgan ustun uchun kritik kuch ifodasini topishni ko'rib chiqamiz (9.7-chizma).

Ustun uchastkalar bo'yicha egilgan o'qining differensial tenglamalari tegishli uchun quyidagi ko'rinishda ifodalanadi:

$$EI_1 \frac{d^2 v_1}{dz^2} = F(f - v_1). \quad (9.39)$$

$$EI_2 \frac{d^2 v_2}{dz^2} = F(f - v_2). \quad (9.40)$$



9.7-chizma. Uzunligi bo'yicha bikirligi turlicha bo'lgan ustun.

Bu ifodaga quyidagi belgilashlarni kiritish mumkin:

$$k_1^2 = \frac{F}{EJ_1}; \quad k_2^2 = \frac{F}{EJ_2}. \quad (9.41)$$

Unda differensial tenglamalarning yechimlarini quyidagi ko'rimishda ifodalash mumkin:

$$v_1 = C_1 \sin k_1 z + C_2 \cos k_1 z + f. \quad (9.42)$$

$$v_2 = f(1 - \cos k_2 z). \quad (9.43)$$

Differensial tenglamani integrallash natijasida hosil bo'lgan o'z-garmas koeffitsientlarni quyidagi chegara shartlaridan aniqlanadi:

1. Ustun uchida $z = \ell$, bo'lganda salqilik $v_1 = f$ bo'ladi.

2. Uchastkalar tutashgan kesimda $z = \ell_2$ bo'lganda salqilik $w_1 = w_2$ bo'ladi.

Bu chegara shartlaridan quyidagi tenglamalarni hosil qilamiz:

$$f + C_1 \sin k_1 \ell + C_2 \cos k_1 \ell = f. \quad (9.44)$$

$$f + C_1 \sin k_1 \ell_2 + C_2 \cos k_1 \ell_2 = f(1 - \cos k_2 \ell_2). \quad (9.45)$$

Bulardan

$$C_2 = -C_1 \operatorname{tg} k_1 \ell; \quad C_1 = \frac{f \cos k_2 \ell_2 \cos k_1 \ell}{\sin k_1 \ell_1}. \quad (9.46)$$

Ustun egilgan o'qining ikki uchastkasiga tegishli $z = \ell_2$ bo'lgan kesimda bitta urinmaga ega bo'lgani uchun quyidagi tenglamaga kelamiz:

$$f \cdot k_2 \sin k_2 \ell_2 = C_1 k_1 \cos k_1 \ell_2 + C_2 k_1 \sin k_1 \ell_2. \quad (9.47)$$

Yuqorida aniqlangan o'zgarmas C_1, C_2 koefitsientlarni o'rniqa qo'yib, kritik kuchni aniqlash uchun quyidagi tenglikni hosil qilamiz:

$$\operatorname{tg} k_1 \ell_1 \cdot \operatorname{tg} k_2 \ell_2 = \frac{k_1}{k_2}. \quad (9.48)$$

Xususiyl holda ustunning ikkala uchastkasida bikirlik $I_1 = I_2 = I$ bo'lsa (9.41) belgilashdan $k_1 = k_2$, $\ell_1 = \ell_2$; $\ell = 2\ell_1$ ekanligidan quyidagi tenglik hosil bo'ladi:

$$k_1 \ell_1 = k_2 \ell_2 = \frac{\ell}{2} \sqrt{\frac{F}{EI}}. \quad (9.49)$$

Unda yuqoridagi tenglama quyidagicha ifodalanadi:

$$\operatorname{tg}^2 \left(\frac{\ell}{2} \sqrt{\frac{F}{EI}} \right) = 1. \quad (9.50)$$

Bundan

$$\frac{\ell}{2} \sqrt{\frac{F}{EI}} = \frac{\pi}{4}. \quad (9.51)$$

Kritik kuch ifodasi quyidagiga teng bo'ladi:

$$F_{kr} = \frac{\pi^2 EI}{4\ell^2}. \quad (9.52)$$

Bu kuch ifodasi ustun ko'ndalang kesimi doimiy, ya'ni o'zgarmas bo'lgan ustun uchun kritik kuch ifodasidir.

9.4-§. Sterjenlarning bo'lama-ko'ndalang egilishi

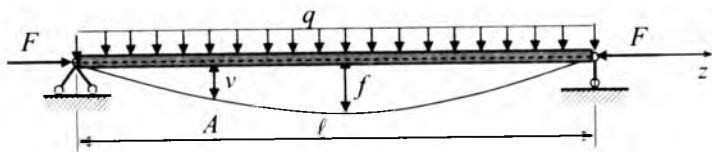
Bo'ylama siquvchi kuch F bilan ko'ndalang yuk birgalikda ta'sir etganda, sterjenning ustuvorlik masalasini qaraymiz (9.8-chizma).

Sterjenning ixtiyoriy kesimidagi eguvchi moment ifodasini aniqlash uchun sterjen chap uchidan uzunligi z ga teng bo'lgan kichik element ajratib olib, uning muvozanatini qaraymiz (9.9-chizma), ya'ni

$$M = Fv + \frac{qz}{2}(\ell - z). \quad (9.53)$$

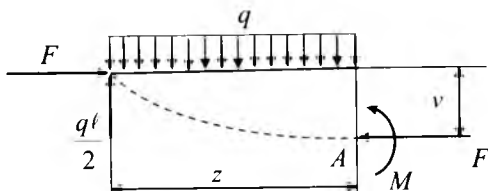
Sterjen egilgan o'qining ustuvorlik differensial tenglamasi quyidagicha ifodalanadi:

$$\frac{d^2 v}{dz^2} + k^2 v = \frac{qk^2}{2F} z(z - \ell). \quad (9.54)$$



9.8-chizma. Siquvchi bo'ylama kuchi bilan ko'ndalang kuchning sterjenga ta'siri.

$$\text{Bunda } k^2 = \frac{F}{EI}.$$



9.9-chizma. Bo'ylama va ko'ndalang kuch ta'siridagi element muvozanati.

Bir jinsli bo'lmagan (9.54) differensial tenglamaning umumiy yechimini quyidagi ko'rinishda qidiramiz:

$$v = C_1 \sin kz + C_2 \cos kz + \frac{q}{2F} z(z - l) - \frac{q}{Fk^2}. \quad (9.55)$$

Sterjenning chegara shartlari quyidagicha ifodalanadi:

$$\begin{aligned} z = 0; & \quad \text{bo'lsa, } v(0) = 0; \\ z = l; & \quad v(l) = 0. \end{aligned} \quad (9.56)$$

Bundan C_1 va C_2 o'zgarmas koeffitsientlarni topamiz:

$$\left. \begin{aligned} C_2 &= \frac{q}{Fk^2}; \\ C_1 &= \frac{q}{Fk^2 \sin kl} (1 - \cos kl) = \frac{q}{Fk^2} \operatorname{tg} \frac{kl}{2}. \end{aligned} \right\} \quad (9.57)$$

Sterjen salqilik funksiyasi ifodasini aniqlash uchun (9.57) o'zgarmas koeffitsientlarni (9.55) umumiy yechimiga qo'yamiz:

$$v(z) = \frac{q}{Fk^2} \left[\operatorname{tg} \frac{kl}{2} \sin kz + \cos kz - \frac{1}{2} k^2 z(l - 1) - 1 \right]. \quad (9.58)$$

Sterjen tayanchiari oralig'i $\ell/2$ o'rtasidagi ko'tarilish qavariq salqiligi quyidagiga teng bo'ladi:

$$f = \frac{q}{Fk^2} \left(\frac{1}{\cos \frac{k\ell}{2}} - 1 \right) - \frac{1}{F} \frac{q\ell^2}{8}. \quad (9.59)$$

(9.58) formulaga asosan F bo'ylama kuchning ortishi bilan salqilik uzluksiz o'sadi va siquvchi F kuch uchun $k\ell = \pi$ shart bajarilganda cheksizlikka aylanadi. Unda kritik kuchning qiymati sterjenga yoyilgan q kuch qo'yilmagan markaziy siqilish holatiga to'g'ri keladi, ya'ni:

$$F_{kr} = \frac{\pi^2 EI_{\min}}{\ell^2}. \quad (9.60)$$

Sterjen uzunligi bo'yicha tekis yoyilgan q ko'ndalang kuch o'miga prolyoti o'rtasiga to'plangan F_{vertikal} vertikal kuch qo'yilgan bo'lsin, unda sterjen egilgan elastik o'qi tenglamasi yuqoridagi kabi aniqlanadi va u quyidagicha ifodalanadi:

$$v = \frac{F_{\text{vertikal}}}{2F} \left(\frac{1}{k \cos \frac{k\ell}{2}} \sin kz - z \right). \quad (9.61)$$

Sterjen prolyoti $\ell/2$ o'rtasidaga qavariq ko'tarilish salqiligi quyidagiga teng bo'ladi:

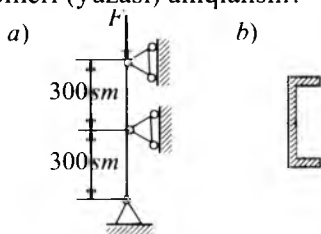
$$f = \frac{\ell F_{\text{vertikal}}}{4F} \left(\frac{\text{tg} \frac{k\ell}{2}}{\frac{k\ell}{2}} - 1 \right). \quad (9.62)$$

Bu yerda ham sterjenning ikkinchi tur ustuvorlikni yo'qotishi bo'yicha ish ko'riladi. Ko'ndalang kuchning, siqilgan sterjen ustuvorligini yo'qotishiga ta'siri xuddi, yuqorida qaralgan sterjen ustuvorligini yo'qotishi boshlang'ich salqilik va bo'ylama kuchni markaziy bo'lmagan siqilishidagi ta'siri kabi bo'ladi.

Shuni xulosa qilib aytish mumkinki, bo'ylama siqilgan prizmatik sterjenlarda kritik kuchning miqdoriga boshlang'ich salqilik, markaziy bo'lmagan siquvchi kuch va bo'ylama hamda ko'ndalang kuchlarning birgalikdagi ta'siri o'zgartirish kiritmaydi. Kritik kuch miqdori ideal

prizmatik sterjenlarning markaziy siqilishidagi ustuvorlik masalasi kabi bo'ladi.

1-masala. 9.10-chizmada po'lat ustun bo'ylama siquvchi $F = 100 \text{ kN}$ kuch bilan siqilgan. Siqilish uchun ruxsat etilgan kuchlanish $[\sigma] = 16000 \text{ N/sm}^2$ teng bo'lsin. Ko'ndalang kesimi 9.10,b-chizmada ko'rsatilgan shveller nomeri (yuzasi) aniqlansin?



9.10-chizma. Uchlari sharnirli mahkamlangan ustun.

Ko'ndalang kesim yuzasini ketma-ket yaqinlashish usulidan foydalanib aniqlanadi.

Yechish:

Siqilgan sterjenning ustivorlik sharti quyidagicha ifodalanadi:

$$\sigma = \frac{F}{A_{brutto}} = \varphi[\sigma]$$

Ushbu formuladan ko'rinadiki, shartda ikkita noma'lum asosiy ruxsat etilgan kuchlanishni kamaytirish koeffitsienti φ va kesim A_{brutto} bo'lganligi uchun ko'ndalang kesim yuzasini ketma-ket yaqinlashish usulidan foydalanib aniqlanadi.

Birinchi taqribiy yaqinlashuv. Asosiy ruxsat etilgan kuchlanishni kamaytirish koeffitsienti miqdori $\varphi_1 = 0,5$ qabul qilinadi, unda shvellerning ko'ndalang kesim yuzi quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$A = \frac{F}{\varphi[\sigma]} = \frac{100000}{0,5 \cdot 16000} = 12,5 \text{ sm}^2.$$

Shvellerning yuzasi $A = 12,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ teng bo'lgani uchun profili №12 shveller uchun GOST 8240-72 ga muvofiq sortament jadvalidan quyidagilar tanlab olinadi: $A = 13,3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$, $J_x = 304 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$, $J_y = 31,2 \cdot 10^{-8} \text{ m}^4$, $i_{min} = 1,53 \text{ sm}$, $x_0 = 1,54 \text{ sm}$.

Bo'ylama siqilgan sterjen keltirilgan uzunligi aniqlanadi:

$$\ell_{kel} = \mu \ell = 0,5 \cdot 6 = 3 \text{ m}.$$

Bunda μ uzunlikni keltirish koeffitsienti bo'lib, u quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$\mu = \frac{1}{n}.$$

Bu yerda n ustunning egilishda hosil bo'lgan yarim to'liqlar soni, qaralayotgan masala uchun 2 ga teng.

Bo'ylama siqilgan sterjenning egiluvchanligi aniqlanadi:

$$\lambda = \frac{\ell_{kel}}{i_{min}} = \frac{300}{1,53} = 196.$$

9.1-jadvaldan ko'rinadiki, egiluvchanlik $\lambda = 190$ bo'lganda asosiy ruxsat etilgan kuchlanishni kamaytirish koeffitsient miqdori $\varphi = 0,21$ bo'ladi, egiluvchanlik $\lambda = 200$ bo'lganda asosiy ruxsat etilgan kuchlanishni kamaytirish koeffitsient miqdori $\varphi = 0,19$ bo'ladi.

Asosiy ruxsat etilgan kuchlanishni kamaytirish koeffitsienti miqdorini interpolyasiyalash yordamida aniqlaymiz:

$$\varphi_1 = 0,21 - \left| \frac{0,21 - 0,19}{10} \right|_6 = 0,192.$$

Haqiqiy kuchlanish aniqlanadi:

$$\sigma_{haq} = \frac{F}{\varphi_1 A} = \frac{100000}{0,192 \cdot 13,3 \cdot 10^{-4}} = 3916,04 \cdot 10^5 \frac{N}{m^2} > 1600 \cdot 10^5 \frac{N}{m^2}.$$

Haqiqiy kuchlanish bilan ruxsat etilgan kuchlanish orasidagi farq hisoblanadi:

$$\frac{1600 \cdot 10^5 - 3916,0 \cdot 10^5}{1600 \cdot 10^5} \cdot 100\% = 144,75\%.$$

bu farq + 5% dan juda katta.

Ikkinchi taqribiy yaqinlashuv. Asosiy ruxsat etilgan kuchlanishni kamaytirish koeffitsientlarining o'rta arifmetik qiymati quyidagicha qabul qilinadi:

$$\varphi_2 = \frac{\varphi_1 + \varphi_1}{2} = \frac{0,5 + 0,192}{2} = 0,346.$$

Sterjenning ko'ndalang kesim yuzasi hisoblab topiladi:

$$A = \frac{F}{\varphi_2 [\sigma]} = \frac{100000}{0,346 \cdot 16000} = 18,06 \cdot 10^{-4} m^2.$$

Shevellerning yuzasi $A = 17,66 \cdot 10^{-4} m^2$ teng bo'lgani uchun profili №16 shveller uchun 8240-72 ga muvofiq sortament jadvalidan

quyidagilar tanlab olinadi: $A = 18,1 \cdot 10^{-4} m^2$, $J_x = 747 \cdot 10^{-8} m^4$,
 $J_y = 63,3 \cdot 10^{-8} m^4$, $i_{\min} = 1,87 sm$, $x_0 = 1,80 sm$.

Bo'ylama siqilgan sterjenning egiluvchanligi aniqlanadi:

$$\lambda = \frac{\ell_{kel}}{i_{\min}} = \frac{300}{1,87} = 160.$$

9.2-jadvaldan ko'rinadiki, egiluvchanlik $\lambda = 160$ bo'lganda asosiy ruxsat etilgan kuchlanishni kamaytirish koeffitsient miqdori $\varphi_3 = 0,29$ bo'ladi.

Haqiqiy kuchlanish aniqlanadi:

$$\sigma_{haqiq} = \frac{F}{\varphi_3 A} = \frac{100000}{0,29 \cdot 18,1 \cdot 10^{-4}} = 1905,12 \cdot 10^5 \frac{N}{m^2} > 1600 \cdot 10^5 \frac{N}{m^2}.$$

Haqiqiy kuchlanish bilan ruxsat etilgan kuchlanish orasidagi farq hisoblanadi:

$$\frac{1600 \cdot 10^5 - 1905,1 \cdot 10^5}{1600 \cdot 10^5} \cdot 100\% = 19,06\%.$$

Uchinchi taqribiy yaqinlashuv. Asosiy ruxsat etilgan kuchlanishni kamaytirish koeffitsientlarining o'rta arifmetik qiymati quyidagicha qabul qilinadi:

$$\varphi_4 = \frac{\varphi_2 + \varphi_3}{2} = \frac{0,346 + 0,29}{2} = 0,318.$$

Sterjenning ko'ndalang kesim yuzasi hisoblab topiladi:

$$A = \frac{F}{\varphi_2[\sigma]} = \frac{100000}{0,318 \cdot 16000} = 19,65 \cdot 10^{-4} m^2.$$

Shevellerning yuzasi $A = 19,65 \cdot 10^{-4} m^2$ teng bo'lgani uchun profili №16 shveller uchun 8240-72 ga muvofiq sortament jadvalidan quyidagilar tanlab olinadi: $A = 19,5 \cdot 10^{-4} m^2$, $J_x = 823 \cdot 10^{-8} m^4$,
 $J_y = 78,8 \cdot 10^{-8} m^4$, $i_{\min} = 2,01 sm$, $x_0 = 1,94 sm$.

Bo'ylama siqilgan sterjenning egiluvchanligi aniqlanadi:

$$\lambda = \frac{\ell_{kel}}{i_{\min}} = \frac{300}{2,01} = 149.$$

9.2-jadvaldan ko'rinadiki, egiluvchanlik $\lambda = 140$ bo'lganda asosiy ruxsat etilgan kuchlanishni kamaytirish koeffitsient miqdori $\varphi = 0,35$ bo'ladi, egiluvchanlik $\lambda = 150$ bo'lganda asosiy ruxsat etilgan kuchlanishni kamaytirish koeffitsient miqdori $\varphi = 0,32$ bo'ladi.

Asosiy ruxsat etilgan kuchlanishni kamaytirish koeffitsient miqdorini interpolatsiyalash yordamida aniqlaymiz:

$$\varphi_1 = 0,35 - \left| \frac{0,35 - 0,32}{10} \right| 9 = 0,323.$$

Haqiqiy kuchlanish aniqlanadi:

$$\sigma_{haq} = \frac{F}{\varphi_1 A} = \frac{100000}{0,323 \cdot 19,65 \cdot 10^{-4}} = 1575,56 \cdot 10^5 \frac{N}{m^2} < 1600 \cdot 10^5 \frac{N}{m^2}.$$

Haqiqiy kuchlanish bilan ruxsat etilgan kuchlanish orasidagi farq hisoblanadi:

$$\frac{1600 \cdot 10^5 - 1575,56 \cdot 10^5}{1600 \cdot 10^5} \cdot 100\% = 1,55\%.$$

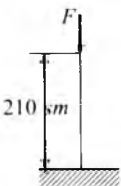
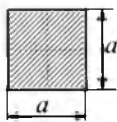
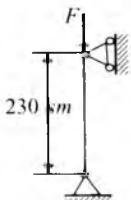

Demak, shart bajarildi.

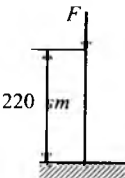
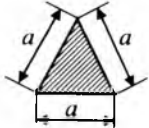
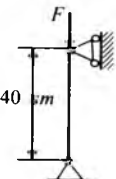
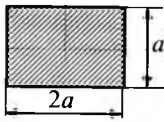
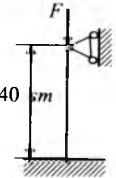
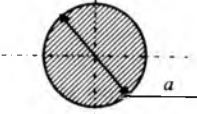
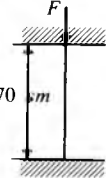
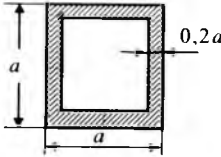
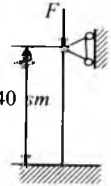

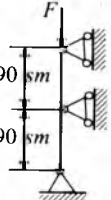
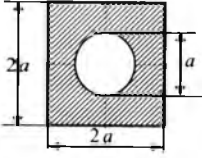
9.5-§. Mustaqil ish topshiriqlari

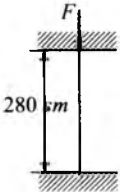

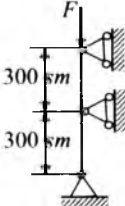
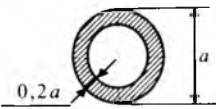
9.1-jadvaldan shifr bo'yicha keltirilgan, o'qi bo'ylab F kuch bilan siqilgan ustun ko'ndalang kesim yuzasi aniqlansin?

Kerakli ma'lumotlar 9.1-jadvaldan berilgan shifr bo'yicha olinadi.

9.1-jadval.

№	$F \cdot kN$	Ustunlar uchlaring mahkamlanish usullari	Ko'ndalang kesim yuzalari turlari
0	100		
1	300		

2	200		
3	400		
4	500		
5	700		
6	600		
7	900		

8	800		
9	400		
	A	B	G

Asosiy ruxsat etilgan kuchlanishni kamaytirish koeffitsienti miqdori

9.2-jadval

Egiluv- chanlik	Po'lat	Alyumin	Cho'yan	Yog'och	Egiluv- chanlik	Po'lat	Alyumin	Cchoyan	Yog'och
0	1,00	1,00	1,00	1,00	110	0,52	0,142	-	0,25
10	0,99	0,999	0,97	0,99	120	0,45	0,119	-	0,22
20	0,96	0,998	0,91	0,97	130	0,40	0,101	-	0,18
30	0,94	0,835	0,81	0,93	140	0,35	0,087	-	0,16
40	0,92	0,700	0,69	0,87	150	0,32	0,076	-	0,14
50	0,89	0,568	0,57	0,80	160	0,29	-	-	0,12
60	0,86	0,455	0,44	0,71	170	0,26	-	-	0,11
70	0,81	0,353	0,34	0,60	180	0,23	-	-	0,10
80	0,75	0,269	0,26	0,48	190	0,21	-	-	0,09
90	0,69	0,212	0,20	0,38	200	0,19	-	-	0,08
100	0,60	0,172	0,16	0,31	-	-	-	-	-

Tayanch iboralar:

Mustahkamlik va bikirlik, ustuvorligini ta'minlash muammosi, birinchi hol, ikkinchi hol, uchinchi hol, qavariq, botiq, tekis, muvozanat holati ustuvor, qistirib mahkamlangan, erkin uchi ko'ndalang kesimini og'irlik markazi, siqilgan sterjen, dastlabki to'g'ri chizikli muvozanat holati, ustuvor holat, befarq holat, kritik kuch, noustuvor holat, bo'ylama egilish, Shveytsariyaning Menxenshteyn qishlog'idagi ko'prik, AQShda Shimoliy Lavrentiya daryosiga qurilgan, Kvebek ko'prigini qurish, ruxsat etilgan kuch, kritik kuch, to'rtinchi tartibli differensial tenglama ko'ndalang kesimi o'zgaruvchi siqilgan sterjen, egilgan o'qi differensial tenglamasi, o'zgarmas koeffitsientli differensial tenglama, xarakteristik tenglama, ixtiyoriy o'zgarmas koeffitsientlar, o'zgaruvchi kesimli sterjenlarning ustuvorlik masalasi, sterjenning ikki uchastkasi bo'yicha bikirligi turlicha, kritik kuchni aniqlash masalasi, birinchi va ikkinchi uchastkalarga tegishli bo'lgan differensial tenglamalar, kritik kuch, uzunligi bo'yicha bikirligi turlicha bo'lgan ustun, sterjenlarning bo'lama-ko'ndalang egilishi, bo'ylama siquvchi kuch, ixtiyoriy kesimidagi eguvchi moment ifodasi, egilgan o'qning ustuvorlik differensial tenglamasi, bo'ylama va ko'ndalang kuch ta'siridagi element muvozanati, o'zgarmas koeffitsientlar, ikkinchi tur ustuvorlik.

Test savollari:

1. Absolyut qattiq jismlarning muvozanat holat turlari necha xil bo'ladi?

- uch xil;
- to'rt xil;
- ikki xil;
- ikki va to'rt xil;

2. Absolyut qattiq jismlarning muvozanat holat turlari qaysi javobda to'g'ri keltirilgan?

- ustuvor, befarq va noustuvor;
- mustahkam, bikir va elastik;
- elastik, ustuvor va mustahkam;
- elastik, plastik va mustahkam;

3. Qanday kuch kritik kuch deb ataladi?

siqilgan sterjenlarning ham to'g'ri chiziqli, ham egri chiziqli holatida yemirilish vaqtiga to'g'ri kelgan kuchga aytiladi;

siqilgan sterjenlarning ham to'g'ri chiziqli, ham egri chiziqli holatida yemirilish vaqtiga to'g'ri kelmagan kuchga aytiladi;

siqilgan sterjenlarga qo'yilgan sirtqi kuchlarning eng katta qiymati kritik kuch deyiladi;

barcha siquvchi kuchlar kritik kuch deyiladi;

4. Amaliyotda, hisoblashlarda ustivorlik uchun $[n_u]$ ehtiyotlik koeffitsienti bilan mustahkamlik uchun ehtiyotlik $[n]$ koeffitsienti orasidagi qanday munosabat mavjud?

$$n_u > n;$$

$$n_u < n;$$

$$n_u = n;$$

$$n_u \leq n;$$

5. Sterjen ustuvorligining ikkinchi tartibli bir jinsli differensial tenglamasi qaysi javobda to'g'ri ko'rsatilgan?

$$\frac{d^2 v}{dz^2} + k^2 v = 0;$$

$$\frac{d^2 v}{dz^2} + k^2 v = k^2 f;$$

$$s^2 + k^2 = 0;$$

$$v = C_1 \sin kz + C_2 \cos kz + f;$$

6. Siqilgan sterjen ustuvorligini yo'qotishda qaysi tekislik bo'yicha egilada?

kichik inersiya tekisligida;

katta inersiya tekisligida;

markazdan qochirma inersiya tekisligida;

ixtiyoriy inersiya tekisligida;

7. Uchlari sharnirli mahkamlangan siqilgan sterjen ustivorlikni yo'qotishda kritik kuch qaysi ifodadan aniqlanadi?

$$F_{kr} = \frac{\pi^2 EI_{\min}}{\ell^2};$$

$$F_{kr} = \frac{n^2 \pi^2 EI_{\min}}{\ell^2};$$

$$F_{kr} = \frac{4\pi^2 EI_{\min}}{\ell^2} ;$$

$$F_{kr} = \frac{9\pi^2 EI_{\min}}{\ell^2} ;$$

8. Siqilgan sterjenlarning kritik kuch formulasidagi n butun son nimani bildiradi?

sinusoidaning yarim to'liqlari sonini;

sinusoidaning butun to'liqlari sonini;

sinusoidaning ikki va undan ko'p to'liqlari sonini;

sinusoidaning to'liqlari sonini;

9. Eyer kuchi sterjen materialining xossalriga qanday bog'liq bo'ladi?

sterjen bikirligiga to'g'ri proporsional, sterjen uzunligi kvadratiga teskari proporsional;

sterjen bikirligiga teskari proporsional, sterjen uzunligi kvadratiga to'g'ri proporsional;

sterjen bikirligiga to'g'ri proporsional, sterjen uzunligi kvadratiga to'g'ri proporsional;

sterjen bikirligiga teskari proporsional, sterjen uzunligi kvadratiga teskari proporsional;

10. Eyer kritik kuchi qaysi formula bilan hisoblanadi?

$$F_{kr} = \frac{\pi^2 EI_{\min}}{\ell^2} ;$$

$$F_{kr} = \frac{n^2 \pi^2 EI_{\min}}{\ell^2} ;$$

$$F_{kr} = \frac{4\pi^2 EI_{\min}}{\ell^2} ;$$

$$F_{kr} = \frac{9\pi^2 EI_{\min}}{\ell^2} ;$$

11. Qaysi shart bajarilsa, kritik kuchlanishni aniqlash uchun Eyer formulasidan foydalanish mumkin?

$$\sigma_{kr} \leq \sigma_{p.ch} ;$$

$$\sigma_{kr} \leq \sigma_n ;$$

$$\sigma_{kr} + \sigma_n ;$$

$$\sigma_{kr} \leq \sigma_T ;$$

12. Siqilgan sterjenning uzunligini keltirish koeffitsienti ikki uchi sharnirli mahkamlangan holatda qanday qiymatga teng?

$$\mu = 1;$$

$$\mu = 2;$$

$$\mu = 0,7;$$

$$\mu = 0;$$

13. Siqilgan sterjenning uzunligini keltirish koeffitsienti ikki uchi qistirib mahkamlangan holatda qanday qiymatga teng?

$$\mu = 0,5;$$

$$\mu = 2;$$

$$\mu = 1;$$

$$\mu = 0;$$

14. Siqilgan sterjenning uzunligini keltirish koeffitsienti bir uchi qistirib ikkmchisi sharnirli mahkamlangan holatda qanchaga teng?

$$\mu = 0,7;$$

$$\mu = 2;$$

$$\mu = 1;$$

$$\mu = 0;$$

15. Siqilgan sterjenning egiluvchanligi bir uchi qistirib ikki uchi erkin bo'lgan holatda qanchaga teng?

$$\mu = 2;$$

$$\mu = 0,7;$$

$$\mu = 1;$$

$$\mu = 0;$$

16. Siqilgan sterjenlarda kritik kuchlanish material proporsionallik chegarasidan oshganda ustivorlik masalasi nazariy yechimini birinchi bo'lib kim aniqladi?

Engesser;

Shenli;

Yasinskiy;

Karman;

17. F.Engesser tomonidan qanday taklif kiritilgan edi?

elastiklik modulini urinma modul bilan almashtirish;

elastiklik modulini urinma modulga qo'shish;

elastiklik modulini urinma modulga bo'lish.

elastiklik modulidan urinma modulni ayirish;

18. F.Engesser urinma modul nazariyasida, nimani e'tiborga olmagan?

siqilgan sterjen o'qining bo'ylama egilishida nafaqat siquvchi kuchlanish balki, qo'shimcha cho'zuvchi kuchlanish ham hosil bo'lishimi;

siqilgan sterjen o'qining bo'ylama egilishida faqat siquvchi kuchlanish ham hosil bo'lishimi;

siqilgan sterjen o'qining bo'ylama egilishida faqat cho'zuvchi kuchlanish hosil bo'lishini;

siqilgan sterjen o'qining bo'ylama egilishida nafaqat siquvchi kuchlanish balki, qo'shimcha cho'zuvchi kuchlanish hosil bo'lmasligini;

19. Yasinskiy-Karman nazariyasi mazmuni nimadan iborat?

urinma modulini keltirilgan modul bilan almashtirish;

elastiklik modulini keltirilgan modulga qo'shish;

keltirilgan modulini keltirilgan modulga bo'lish.

elastiklik modulidan keltirilgan modulni ayirish;

20. Umumiy hol uchun keltirilgan elastiklik modul qaysi formula bilan ifodalanadi?

$$E_{kel} = \frac{E_1 I_1 + E_2 I_2}{I};$$

$$E_{kel} = \frac{E_1 E_2}{(\sqrt{E_1} + \sqrt{E_2})^2};$$

$$S_{kel} = \frac{bh_1^2}{2} - \frac{E_2}{E_1} \frac{bh_2^2}{2};$$

$$M_{kel} = -(E_2 I_2 + E_1 I_1) \frac{d^2 w}{dz^2};$$

21. To'g'ri to'rtburchakli kesim uchun keltirilgan elastiklik modul qaysi formula bilan ifodalanadi?

$$E_{kel} = \frac{E_1 E_2}{(\sqrt{E_1} + \sqrt{E_2})^2};$$

$$E_{kel} = \frac{E_1 I_1 + E_2 I_2}{I};$$

$$S_{kel} = \frac{bh_1^2}{2} - \frac{E_2}{E_1} \frac{bh_2^2}{2};$$

$$M_{kel} = -(E_2 I_2 + E_1 I_1) \frac{d^2 w}{dz^2};$$

22. Siqilgan sterjen bo‘ylama egilganda Shenli tomonidan qanday taklif kiritilgan?

- faqat yuklanish bo‘lishi;
- faqat yuksizlanish bo‘lishi;
- yuklanish va yuksizlanish bo‘lishi;
- barcha javoblar to‘g‘ri;

23. O‘rtacha egiluvchanlikka ega bo‘lgan po‘lat sterjenlarning egiluvchanligi qaysi javobda to‘g‘ri keltirilgan?

- $40 \div 100$;
- 40;
- $0 \div 100$;
- $0 \div 40$;

24. K. Ismayilov tomonidan ustuvorlik nazariyasiga qanday yangilik kiritildi?

siqilish diagrammasi egri chizig‘ining yuklanish va yuksizlanish qismlarida bitta urinma modul bilan ifodalanishi;

siqilish diagrammasi egri chizig‘ining yuklanish va yuksizlanish qismlarida bitta kesuvchi modul bilan ifodalanishi;

siqilish diagrammasi egri chizig‘ining yuklanish va yuksizlanish qismlarida bitta elastik modul bilan ifodalanishi;

siqilish diagrammasi egri chizig‘ining yuklanish va yuksizlanish qismlarida bitta plastik modul bilan ifodalanishi;

25. Elastiklik chegarasidan keyin sterjenlarning bo‘ylama egilishida qaysi olimning nazariyasi tajribaga yaqin?

- Shenli-Engesser-Ismayilov;
- Yasinskiy-Karman-Shenli;
- Karman-Eyler-Yasinskiy;
- Djonson;

26. Siqilgan sterjenlarning bo‘ylama egilishida quyidagilarning qaysi biri Tetmayer-Yasinskiy empirik formulasini ifodalaydi?

$$\sigma_{kr} = a - b\lambda;$$

$$\sigma_{kr} = a - b\lambda + c\lambda^2;$$

$$\sigma_{kr} = \sigma_0 - \alpha\lambda^2;$$

$$\sigma_{kr,sh,e} = \frac{\pi^2 E_r I_{min}}{At^2};$$

27. Siqilgan sterjenlarni ustuvorlikka hisoblashda quyidagi hollarning qaysi blrida Yasinskiy formulasiidan foydalanish mumkin?

- o'rtacha egiluvchanlikda;
- kichik egiluvchanlikda;
- katta egiluvchanlikda;
- barcha javoblar to'g'ri;

28. Siqilgan sterjen mustahkamlik sharti quyidagi formulalardan qaysi biri bilan ifodalanadi?

$$\sigma = \frac{F}{A_{netto}} \leq [\sigma];$$

$$\sigma = \frac{F}{A_{brutto}} \leq [\sigma_u] = \varphi[\sigma];$$

$$[\sigma] = \frac{\sigma_m}{[n]};$$

$$[\sigma_u] = \frac{\sigma_{kr}}{[n_u]};$$

29. Sterjen ko'ndalang kesim zaiflashishini hisobga olgandagi haqiqiy kesim yuzasi quyidagilarning qaysi biri?

- A_{netto} ;
- A ;
- A_{brutto} ;
- $A_{netto} - A_{brutto}$;

30. Siqilgan sterjenlarni ustuvorlikka loyihalash hisobida ustuvorlik shartida ikkita noma'lum bo'lgani uchun uni qaysi usul bilan yechamiz?

- ketma-ket yaqinlashish;
- boshlang'ich parametr;
- integrallash;
- dinamik;

QOBIQLAR HISOBI

10.1-§. Qobiqlarni hisoblash

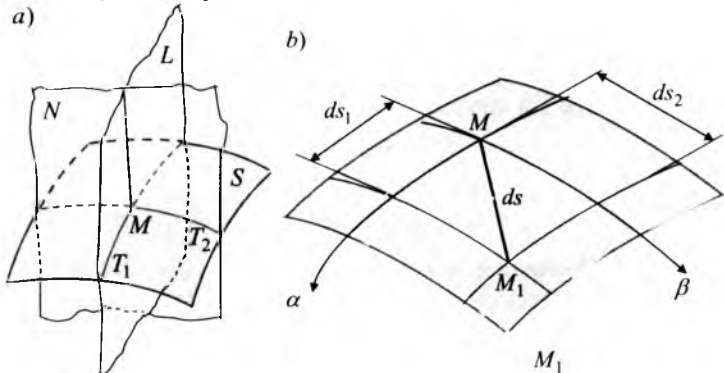
1.1. Asosiy tushunchalar. Qobiqlar geometriyasidan ba'zi malumotlar

Qobiq deb, qalinligi h qolgan ikki o'lchamlariga nisbatan kichik bo'lgan egri sirt bilan chegaralangan jismga aytiladi. Qobiqning h qalinligini teng ikkiga bo'luvchi tekislik, uning o'rta sirti deb ataladi [20, 593-bet].

Agar qobiq h qalinligini eng kichik R_{\min} radiusga nisbati $1/1500 \leq (h/R_{\min}) \leq 1/20$ bo'lsa yupqa, agar bu nisbat $(h/R_{\min}) > 1/2$ bo'lsa qalin qobiqlar deb ataladi [15, 5-bet].

Yupqa qobiqlar nazariyasi Kirxgof-Lyav gipotezasiga asoslanadi:

- deformatsiyagacha qobiq o'rta sirtiga perpendikulyar bo'lgan element deformatsiyadan keyin ham o'rta sirtga perpendikulyarligicha qoladi, qobiq qalinligi o'zgarmaydi;
- qobiqning o'rta sirtiga paralell bo'lgan qatlamlar orasida bosim hosil bo'lmaydi deb qaraladi.



10.1-chizma. Qobiq elementlari.

Berilgan S egri sirtga normal qilib, uning ixtiyoriy biror M nuqtasidan L hamda N tekisliklarini o'tkazish mumkin (10.1.a-chizma).

Bu tekisliklarning, S sirt bilan kesishgan egri chiziqlari T_1 va T_2 ekstremal qiymatlarga ega bo'ladi va ular bosh yo'nalishlar deb ataladi. Bu egri chiziqlarning radiuslari mos ravishda R_1 va R_2 bo'lsin.

Qobiqlarning radiusiga teskari bo'lgan kattalik uning egriligi deb ataladi. O'tkazilgan L va N tekisliklar ortogonal tekisliklar bo'lgani uchun M nuqtadagi bosh yo'nalishlar ham ortogonaldir (10.b-chizma). Berilgan sirtga bir qancha egri chiziqlar o'tkazish mumkin, bu egri chiziqlarning har bir nuqtasiga o'tkazilgan urinma bosh yo'nalishlar bo'yicha yo'naladi.

Dekart koordinata x, y, z sistemasida S egri sirtini quyidagi tenglama orqali ifodalash mumkin:

$$\begin{aligned} X &= X(\alpha, \beta); \\ Y &= Y(\alpha, \beta); \\ Z &= Z(\alpha, \beta). \end{aligned} \quad (10.1)$$

Bu funksiyalar ma'lum bo'lsa A va B Lyame parametrlari deb ataluvchi parametrlarni quyidagi formuladan topish mumkin:

$$\begin{aligned} A^2 &= \left(\frac{\partial X}{\partial \alpha}\right)^2 + \left(\frac{\partial Y}{\partial \alpha}\right)^2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial \alpha}\right)^2; \\ B^2 &= \left(\frac{\partial X}{\partial \beta}\right)^2 + \left(\frac{\partial Y}{\partial \beta}\right)^2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial \beta}\right)^2. \end{aligned} \quad (10.2)$$

Berilgan M nuqtadan, M_1 nuqta egri sirt bo'yicha cheksiz kichik masofada tursin. Bu cheksiz kichik kesma, sirt nazariyasida chiziqli element deb yuritiladi. Juda kichik chiziqli element kvadrati ortogonal koordinata sistemasida quyidagicha aniqlaymiz:

$$\begin{aligned} dS^2 &= dS_1^2 + dS_2^2; \\ d\vec{S}^2 &= A^2 d\alpha^2 + B^2 d\beta^2; \\ dS_1 &= Ad\alpha; \quad dS_2 = Bd\beta. \end{aligned} \quad (10.3)$$

Bu tenglama birinchi kvadratli sirt shaklimi tenglamasi deyiladi. A va B Lamé parametrlar umumiy holda egri chiziqli (α, β) koordinatalarning funksiyasi hisoblanadi, ya'ni

$$\begin{aligned} A &= A(\alpha, \beta); \\ B &= B(\alpha, \beta). \end{aligned} \quad (10.4)$$

Agar faqat bitta koordinata o'zgarsa, α o'zgaruvchi $\beta = const$ bo'lsa, unda α ning orttirmasi $d\alpha$ bo'lib yoyning orttirmasi esa

$dS_1 = A d\alpha$ bo'ladi. Xuddi shu kabi $dS_2 = B d\beta$ orttirmani ham hosil qilish mumkin. Shunday qilib, koordinata chiziqlari $\alpha = const$, $\beta = const$ bo'lganda orttirmani tegishli $d\alpha = 1$, $d\beta = 1$ bo'ladi A va B parametrlarni sirt bo'yicha yoy uzunligi deb qarash mumkin. Bosh R_1 va R_2 radiuslarga teskari bo'lgan kattaliklar mos ravishda bosh $K_1 = 1/R_1$, $K_2 = 1/R_2$ egriliklar deb ataladi. Sirt nazariyasida, bosh radiuslarga teskari bo'lgan K_1 va K_2 egriliklardan tashqari Gauss egriligi katta ahamiyatga ega.

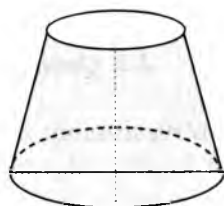
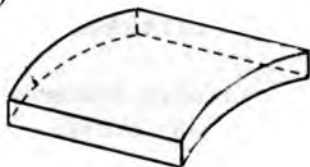
Qobiq o'rta sirtining biror M nuqtasi bosh egriliklarning ko'paytmasiga qobiqning Gauss egriligi deyiladi.

$$G = K_1 K_2. \quad (10.5)$$

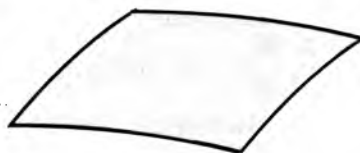
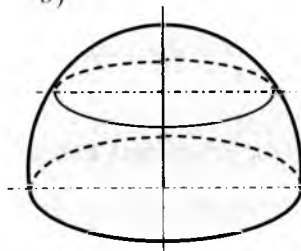
Qobiqlar Gauss egriligiga qarab quyidagi turlarga bo'linadi:

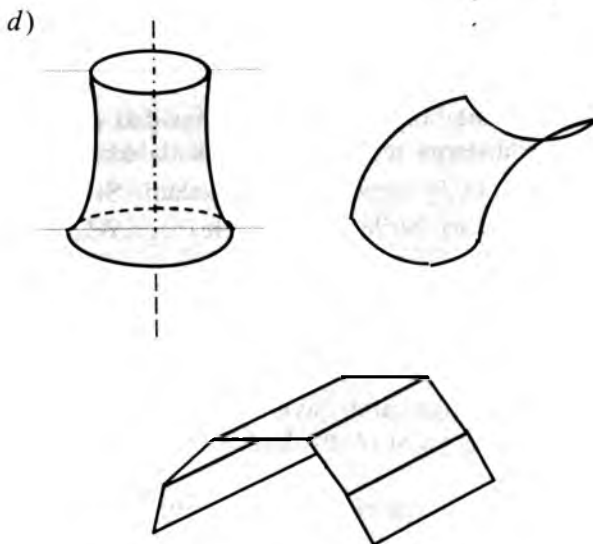
1. Gauss egriligi nol, ya'ni $G = 0$ silindrik va konussimon qobiqlar (10.2.a-chizma).
2. Gauss egriligi musbat, ya'ni $G > 0$ sferik, elliptik va parabolik qobiqlar (10.2.b-chizma);
3. Gauss egriligi manfiy, ya'ni $G < 0$ giperbolik qobiqlar (10.2.g-chizma);

a)



b)





10.2-chizma. Qurilishda ishlatiladigan qobiqlar.

1.2. Qobiqdagi deformatsiya va ko'chishlar

Qobiq o'rtasidagi sirtning α koordinata yo'nalishidagi deformatsiyasini aniqlashni ko'rib chiqamiz (10.3-chizma). Nisbiy chiziqli ε_1 deformatsiyasi uch qismdan iborat bo'ladi, ya'ni

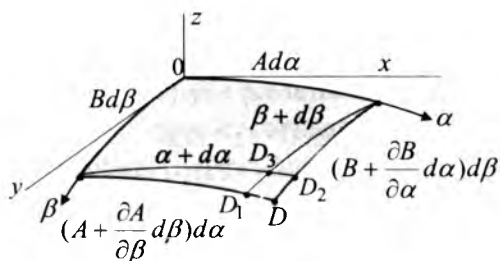
$$\varepsilon_1^* = \varepsilon_1^I + \varepsilon_1^{II} + \varepsilon_1^{III}, \quad (10.6)$$

bu yerda

$\varepsilon_1^I = \frac{1}{A} \frac{\partial u}{\partial \alpha}$ - ko'chishning $\beta = const$ koordinata chizig'i bo'yicha o'zgarishidan aniqlanadi.

$\varepsilon_1^{II} = \frac{1}{AB} \frac{\partial A}{\partial \beta} v$ - ko'chishning $\alpha = const$ koordinata chizig'i bo'yicha o'zgarishi va birinchi kvadrat shakli koeffitsiyenti o'zgarishidan aniqlanadi.

$\varepsilon_1^{III} = \frac{w}{R_1}$ normal w ko'chishga bog'liq bo'lgan deformatsiya.



10.3-chizma. O'rtta tekislik deformatsiyasi.

Yuqoridagilarni e'tiborga olib nisbiy chiziqli deformatsiyani quyidagicha yozish mumkin:

$$\varepsilon_1 = \frac{\partial u}{A \partial \alpha} + \frac{1}{AB} \frac{\partial A}{\partial \beta} v + \frac{w}{R_1}. \quad (10.7)$$

Xuddi shuningdek β koordinata bo'yicha nisbiy chiziqli deformatsiyani quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\varepsilon_2 = \frac{\partial v}{B \partial \beta} + \frac{1}{AB} \frac{\partial B}{\partial \alpha} u + \frac{w}{R_2}. \quad (10.8)$$

Qobiq o'rtta sirtining siljish deformatsiyasi egriligining o'zgarishi va buralish deformatsiyalari quyidagicha ifodalanadi [15, 9-bet]:

$$\gamma = \frac{B}{A} \frac{\partial}{\partial \alpha} \left(\frac{v}{B} \right) + \frac{A}{B} \frac{\partial}{\partial \beta} \left(\frac{u}{A} \right). \quad (10.9)$$

$$\chi_1 = -\frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial \alpha} \left(\frac{1}{A} \frac{\partial w}{\partial \alpha} - \frac{u}{R_1} \right) - \frac{1}{AB} \frac{\partial A}{\partial \beta} \left(\frac{1}{B} \frac{\partial w}{\partial \beta} - \frac{v}{R_2} \right); \quad (10.10)$$

$$\chi_2 = -\frac{1}{B} \frac{\partial}{\partial \beta} \left(\frac{1}{B} \frac{\partial w}{\partial \beta} - \frac{v}{R_2} \right) - \frac{1}{AB} \frac{\partial B}{\partial \alpha} \left(\frac{1}{A} \frac{\partial w}{\partial \alpha} - \frac{u}{R_1} \right);$$

$$\chi_{12} = -\frac{1}{AB} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial \alpha \partial \beta} - \frac{1}{A} \frac{\partial A}{\partial \beta} \frac{\partial w}{\partial \alpha} - \frac{1}{B} \frac{\partial B}{\partial \alpha} \frac{\partial w}{\partial \beta} \right) + \frac{1}{R_1} \left(\frac{1}{B} \frac{\partial u}{\partial \beta} - \frac{1}{AB} \frac{\partial A}{\partial \beta} u \right) + \frac{1}{R_2} \left(\frac{1}{A} \frac{\partial v}{\partial \alpha} - \frac{1}{AB} \frac{\partial B}{\partial \alpha} v \right). \quad (10.11)$$

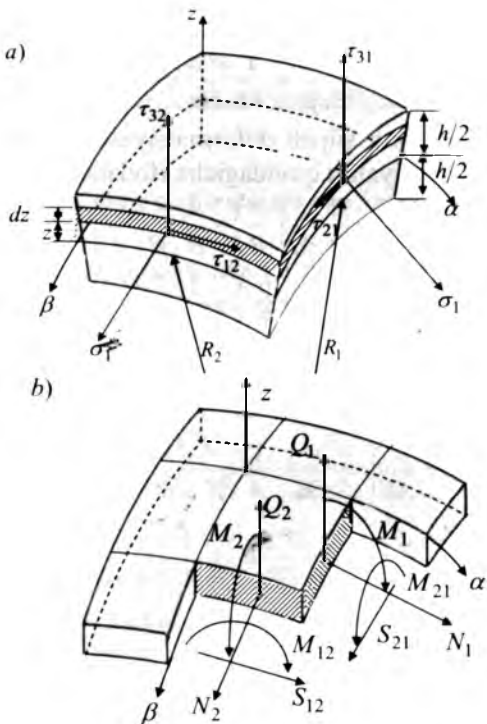
Bu (10.7–10.10) formulalardan ko'rinadiki, deformatsiya egrilik va buralish deformatsiyalarining o'zgarishi umumiy holda birinchi kvadrat shakl A va B koeffitsiyentlariga bog'liq ekan. Qobiqning qalinligi bo'ylab ε_1 , ε_2 va γ siljish deformatsiyalari chiziqli qonun asosida o'zgaradi.

Yupqa qobiqning o'rtta sirtidan z masofadagi $\varepsilon_1(z), \varepsilon_2(z), \gamma(z)$ deformatsiyalarni quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$\begin{aligned} \varepsilon_1(z) &= \varepsilon_1 + z\chi_1; \\ \varepsilon_2(z) &= \varepsilon_2 + z\chi_2; \\ \gamma(z) &= \gamma + 2z\chi_{12}. \end{aligned} \quad (10.12)$$

1.3. Qobiq kesimidagi ichki kuchlar va momentlar

Berilgan qobiqdan, uning o'rtta sirtiga normal bo'lgan $\alpha, \alpha + d\alpha$; va $\beta, \beta + d\beta$ tekisliklar yordamida kichik element ajratib olamiz (10.4-chizma). Normal kuchlanishlarni σ_1, σ_2 , o'rtta tekislikka parallel ravishda ta'sir etuvchi urinma kuchlanishlarni τ_{12}, τ_{21} , o'rtta tekislikka normal yo'nalishida ta'sir etuvchi urinma kuchlanishlarni τ_{13}, τ_{31} bilan belgilaymiz.



10.4-chizma. Qobiqqa ta'sir etuvchi kuchlanishlar va kuchlar.

Uzunlik o'lchov birligiga to'g'ri keluvchi zo'riqish kuchlarini hamda momentlarini aniqlaymiz. Uzunlik o'lchov birligiga to'g'ri keluvchi zo'riqish kuchlarini N_1, N_2 , urinma kuchlarni S_{12}, S_{21} , ko'ndalang kuchlarni Q_1, Q_2 , eguvchi momentlarni M_1, M_2 , hamda τ_{12} , τ_{21} urinma kuchlanishlarning qobiq kesimi qalinligi bo'yicha notekis taqsimlanishi natijasida hosil bo'lgan buruvchi momentlarni M_{12}, M_{21} bilan belgilaymiz.

Zo'riqish N_1 kuchini aniqlash uchun ajratilgan elementar $dF = Bd\beta \left(1 + \frac{z}{R_2}\right) dz$ yuzadagi dN_1 miqdorini quyidagicha ifodalaymiz:

$$dN_1 = Bd\beta \left(1 + \frac{z}{R_2}\right) \sigma_1 dz. \quad (10.13)$$

Yupqa qobiqlar uchun $z/R_1, z/R_2$ kattaliklarni birga nisbatan e'tiborga olmasa ham bo'ladi. Haqiqatdan ham qobiq qalinligi uning egrik radiusiga nisbatan juda kichik bo'ladi. Unda:

$$dN_1 = Bd\beta \sigma_1 dz. \quad (10.14)$$

(10.12) formulani e'tiborga olib, kuchlanish bilan deformatsiya orasidagi bog'lanishni ifodalovchi Guk qonuni quyidagicha yoziladi:

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{E}{1-\mu^2} (\varepsilon_1 + \mu\varepsilon_2); \\ \sigma_2 &= \frac{E}{1-\mu^2} (\varepsilon_2 + \mu\varepsilon_1); \\ \tau_{12} = \tau_{21} &= \frac{E}{2(1+\mu)} \gamma. \end{aligned} \quad (10.15)$$

10.4.b-chizmada ichki kuchlarning musbat yo'nalishi ko'rsatilgan. Uzunlik o'lchov birligiga to'g'ri keluvchi bu ichki kuch komponentlari quyidagi formulalardan aniqlanadi.

Normal kuch:

$$\begin{aligned} N_1 &= \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_1 dz = \frac{Eh}{1-\mu^2} (\varepsilon_1 + \mu\varepsilon_2); \\ N_2 &= \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_2 dz = \frac{Eh}{1-\mu^2} (\varepsilon_2 + \mu\varepsilon_1). \end{aligned} \quad (10.16)$$

Urinma kuch:

$$S_{12} = S_{21} = S = \int_{-h/2}^{h/2} \tau_{12} dz = \frac{Eh}{2(1+\mu)} \gamma. \quad (10.17)$$

Ko'ndalang kuch:

$$Q_1 = \int_{-h/2}^{h/2} \tau_{31} dz; \quad (10.18)$$
$$Q_2 = \int_{-h/2}^{h/2} \tau_{32} dz.$$

Eguvchi moment [36, 5-bet]:

$$M_1 = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_1 z dz = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)} (\chi_1 + \mu\chi_2); \quad (10.19)$$
$$M_2 = \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_2 z dz = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)} (\chi_2 + \mu\chi_1).$$

Burovchi moment:

$$M_{21} = M_{12} = H = \int_{-h/2}^{h/2} \tau_{21} z dz = \frac{Eh^3}{12(1+\mu)} \chi_{12}. \quad (10.20)$$

Kuchlanishlar quyidagi ifodalardan aniqlanadi:

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{h} + \frac{M_1}{I} z;$$
$$\sigma_2 = \frac{N_2}{h} + \frac{M_2}{I} z; \quad (10.21)$$
$$\tau_{12} = \frac{S_{12}}{h} + \frac{M_{12}}{I} z.$$

Bu yerda $I = h^3/12$ eni bir birlikka to'g'ri keluvchi qobiq kesimning o'rta tekislikka urinma bo'lgan o'qqa nisbatan inersiya momenti.

Inersiya momentini e'tiborga olib, (10.21) formulaga $z = h/2$ ni qo'yib kuchlanishlarning eng katta qiymatlarini topamiz:

$$(\sigma_1)_{\max} = \frac{N_1}{h} + \frac{6M_1}{h^2};$$
$$(\sigma_2)_{\max} = \frac{N_2}{h} + \frac{6M_2}{h^2}; \quad (10.22)$$
$$(\sigma_3)_{\max} = (\tau_{12})_{\max} = \frac{S_{12}}{h} + \frac{6M_{12}}{h^2}.$$

Qobiqning momentli va momentsiz holatlari bir-biridan farq qiladi. Agar $M_1 = M_2 = M_{12} = M_{21} = 0$ bo'lsa, qobiqning bunday kuchlanlik holati momentsiz holat deb ataladi. Bundan tashqari fizik kuchlar asosan normal va siljitivchi kuchlar bilan muvozanatda bo'ladi. Bunday cheklanishlarga asoslanib qobiqlarni hisoblash nazariyasi, qobiqlarni momentsiz hisoblash nazariyasi deyiladi. Unda yuqoridagi kuchlanishlar quyidagicha ifodalaniadi:

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{h}; \quad \sigma_2 = \frac{N_2}{h}; \quad \tau_{12} = \frac{S_{12}}{h}. \quad (10.23)$$

Qobiqlarning momentsiz kuchlanganlik holati mavjud bo'lishi uchun ma'lum shartlar bajarilishi lozim. Bu shartlar quyidagilardir:

1. Qobiq sirti silliq va uzluksiz o'zgarib borishi lozim.
2. Qobiq sirtiga qo'yilgan tashqi kuch uzluksiz va silliq o'zgarishi lozim.
3. Qobiq chetlari, uning o'rta tekislik normalini yo'nalishi bo'yicha erkin ko'chish imkoniyatiga ega bo'lishi lozim.

4. Qobiqning chetiga qo'yilgan tashqi kuchlar, uning o'rta sirtiga normal bo'lgan tekislikda tashkil etuvchilarga ega bo'lmashligi lozim.

Bu shartlar bajarilmasa, egilishdan hosil bo'lgan kuchlanishlar katta bo'ladi va qobiqlarni hisoblashda uni e'tiborga olish kerak. Bunday hollarda qobiqlar, momentli qobiqlar nazariyasi bilan hisoblanadi [15, 13-bet].

1.4. Qobiq muvozanat differensial tenglamasi

Qobiqdan $\alpha = const, \alpha + d\alpha = const$, va $\beta = const, \beta + d\beta = const$ normal kesimlar yordamida ajratib olingan biror kichik elementning muvozanatini tekshirib ko'ramiz (10.5-chizma). Qobiq sirti bo'yicha tashqi kuchlar silliq va tekis taqsimlangan bo'lsin.

Elementga ta'sir etuvchi barcha kuchlarning koordinata α, β, z o'qlaridagi proyeksiyalarini q_1, q_2, q_3 lar bilan belgilaymiz.

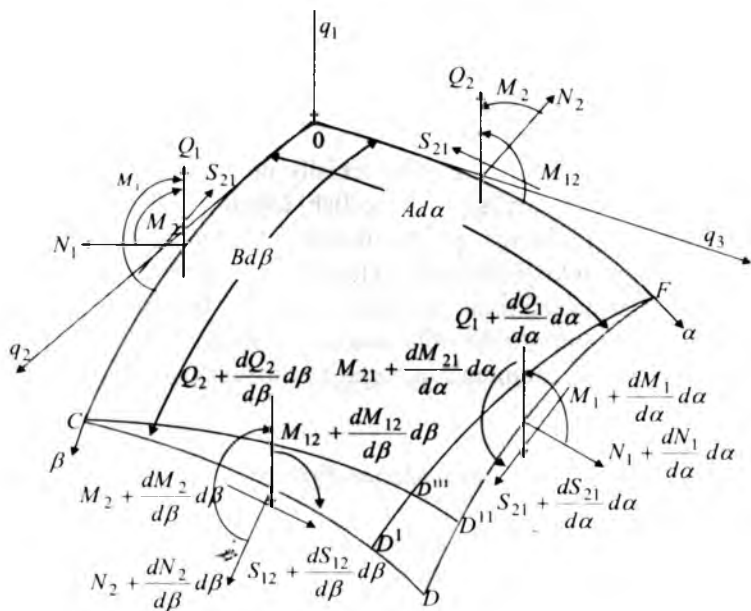
Elementning $\alpha + d\alpha = const, \beta + d\beta = const$ tomonlari quyidagicha orttirmaga ega bo'ladi:

$$\begin{aligned} DD^I &= \frac{\partial B}{\partial \alpha} d\alpha d\beta; \\ DD^{II} &= \frac{\partial A}{\partial \beta} d\alpha d\beta. \end{aligned} \quad (10.24)$$

Xuddi shuningdek, zo'riqish kuchlari ham α, β koordinatalarining uzluksiz funksiyalari bo'lganligi uchun orttirmaga ega bo'ladi.

Chetki $0C$ tomomida normal kuch $N_1 B d\beta$, chetki FD tomonida normal kuch quyidagicha ifodalanadi:

$$\left(N_1 + \frac{\partial N_1}{\partial \alpha} d\alpha \right) (B d\beta + \frac{\partial B}{\partial \alpha} d\alpha d\beta) = N_1 B \hat{c}\beta + \frac{\partial N_1}{\partial \alpha} B d\alpha \hat{c}\beta + N_1 \frac{\partial B}{\partial \alpha} d\alpha d\beta + \frac{\partial N_1}{\partial \alpha} \frac{\partial B}{\partial \alpha} d\alpha d\alpha d\beta. \quad (10.25)$$



10.5-chizma. Qobiq elementining muvozanati.

Bu ifodadagi oxirgi had juda ham kichik bo'lganligi uchun uni e'tiborga olmaymiz va tenglikning o'ng tomonidagi ikkinchi va uchinchi ifodalar yigindisi

$$\frac{\partial N_1}{\partial \alpha} B d\alpha \hat{c}\beta + N_1 \frac{\partial B}{\partial \alpha} d\alpha d\beta = \frac{\partial}{\partial \alpha} (N_1 B) d\alpha d\beta, \quad (10.26)$$

ekanligini e'tiborga olib, chetki FD tomoniga ta'sir etuvchi normal kuchni quyidagicha ifodalaymiz:

$$N_1 B d\beta + \frac{\partial}{\partial \alpha} (N_1 B) d\alpha d\beta. \quad (10.27)$$

Xuddi shuningdek, chetki FD va CD tomonlaridagi zo'riqish kuchlarni aniqlaymiz:

1. Barcha kuchlarni $0x$ o'qiga proyeksiyalab muvozanat tenglamasini tuzamiz.

Normal kuchlarning $0x$ o'qidagi proyeksiyasi:

$$N_1 B d\beta + \frac{\partial}{\partial \alpha} (N_1 B) d\alpha d\beta - N_1 B d\beta = \frac{\partial}{\partial \alpha} (N_1 B) d\alpha d\beta. \quad (10.28)$$

Siljitivchi S_{12} kuchning $0x$ o'qidagi proyeksiyasi:

$$S_{12} A d\alpha + \frac{\partial}{\partial \beta} (S_{12} A) d\alpha d\beta - S_{12} A d\alpha = \frac{\partial}{\partial \beta} (S_{12} A) d\alpha d\beta. \quad (10.29)$$

Chetki CD tomonga ta'sir etuvchi normal kuch:

$$N_2 A d\alpha + \frac{\partial}{\partial \beta} (N_2 A) d\alpha d\beta, \quad (10.30)$$

chetki $0F$ tomonga nisbatan juda kichik ψ burchakka burilgan bu normal kuch $0x$ o'qiga proyeksiya beradi.

Quyidagi nisbitni e'tiborga olib bu juda kichik ψ burchakni 10.5-chizmadan aniqlaymiz:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \psi &= \frac{D^{III} D^{II}}{FD^{III}} \approx \frac{DD^I}{FD^{III}}; \\ \psi &\approx \operatorname{tg} \psi = \frac{\frac{\partial B}{\partial \alpha} d\alpha d\beta}{A d\alpha}, \end{aligned} \quad (10.31)$$

ekanligini e'tiborga olib (10.30) ifodani quyidagi ko'rinishga keltiramiz:

$$\begin{aligned} & - \left[N_2 A d\alpha + \frac{\partial}{\partial \beta} (N_2 A) d\alpha d\beta \right] \psi = \\ & - N_2 \frac{\partial B}{\partial \alpha} d\alpha d\beta - \frac{\partial}{\partial \beta} (N_2 A) \frac{\partial B}{\partial \alpha} \frac{1}{A \partial \alpha} d\alpha^2 d\beta^2. \end{aligned} \quad (10.32)$$

Bu ifodaning o'ng tomomidagi oxirgi had juda ham kichik bo'lganligi uchun e'tiborga olmaymiz. Unda:

$$- N_2 \frac{\partial B}{\partial \alpha} d\alpha d\beta. \quad (10.33)$$

Xuddi shuningdek, chetki FD tomonga ta'sir etuvchi siljitivchi kuchning $0x$ o'qidagi proyeksiyasi:

$$\left[S_{21} B d\beta + \frac{\partial}{\partial \alpha} (S_{21} B) d\alpha d\beta \right] \psi^*, \quad (10.34)$$

bu yerda

$$\psi^* = \frac{\frac{\partial A}{\partial \beta} d\alpha d\beta}{B d\beta} = \frac{1}{B} \frac{\partial A}{\partial \beta} d\alpha. \quad (10.35)$$

Unda bu kuchning proyeksiyasi:

$$S_{21} \frac{\partial A}{\partial \beta} d\alpha d\beta. \quad (10.36)$$

Ko'ndalang Q_1 kuchning $0x$ o'qidagi proyeksiyasi, yuqori tartibli cheksiz kichik hadlarni e'tiborga olmasak quyidagicha ifodalanadi:

$$\frac{1}{R_1} Q_1 A B d\alpha d\beta. \quad (10.37)$$

Sirtqi kuchning $0x$ o'qidagi proyeksiyasi:

$$q_1 A B d\alpha d\beta. \quad (10.38)$$

Yuqorida aniqlangan barcha kuchlarni qo'shib va hosil qilingan natijani $d\alpha d\beta$ bo'lib, $0x$ o'qi bo'yicha yo'nalgan kuchlar muvozanat tenglamasini hosil qilamiz:

$$\frac{\partial}{\partial \alpha} (N_1 B) + \frac{\partial}{\partial \beta} (S_{12} A) - N_2 \frac{\partial B}{\partial \alpha} + S_{21} \frac{\partial A}{\partial \beta} + Q_1 \frac{AB}{R_1} + ABq_1 = 0. \quad (10.39)$$

2. Xuddi shu usul bilan $0y$ koordinata o'qi bo'yicha muvozanat tenglamasini ham tuzamiz:

$$\frac{\partial}{\partial \beta} (N_2 A) + \frac{\partial}{\partial \alpha} (S_{21} B) - N_1 \frac{\partial A}{\partial \beta} + S_{12} \frac{\partial B}{\partial \alpha} + Q_2 \frac{AB}{R_2} + ABq_2 = 0. \quad (10.40)$$

3. Koordinata $0z$ o'qiga nisbatan muvozanat tenglamani tuzamiz.

Ko'ndalang Q_1 kuchning proyeksiyasi:

$$-Q_1 B d\beta + \left[Q_1 B d\beta + \frac{\partial}{\partial \alpha} (Q_1 B) d\alpha d\beta \right] \cos \varphi_1; \quad (10.41)$$

φ_1 burchak juda ham kichik bo'lgani uchun $\cos \varphi_1 = 1$ bo'ladi. Unda (10.41) ifoda quyidagicha bo'ladi:

$$\frac{\partial}{\partial \alpha} (Q_1 B) d\alpha d\beta.$$

Chetki FD tomondagi normal kuchning $0z$ o'qidagi proyeksiyasi:

$$-\left[N_1 B d\beta + \frac{\partial}{\partial \alpha} (N_1 B) d\alpha d\beta \right] \frac{A d\alpha}{R_1}. \quad (10.42)$$

Bu ifodani soddalashtirib, quyidagi ko'rinishga keltiramiz:

$$-N_1 \left(\frac{AB}{R_1} \right) d\alpha d\beta.$$

Chetki $0F$ va CD tomonlariga ta'sir etuvchi kuchlar ham xuddi quyidagicha tashkil etuvchilarni beradi:

$$\frac{\partial}{\partial \beta} (Q_2 A) d\alpha d\beta; \text{ va } -N_2 \frac{AB}{R_2} d\alpha d\beta. \quad (10.43)$$

Sirtqi kuchning $0z$ o'qidagi proyeksiyasi:

$$q_3 AB d\alpha d\beta. \quad (10.44)$$

Yuqorida aniqlangan barcha kuchlarni qo'shib va natijani $d\alpha d\beta$ bo'lib, $0z$ o'qi bo'yicha yo'nalgan kuchlar muvozanat tenglamasini hosil qilamiz:

$$\frac{\partial}{\partial \alpha} (Q_1 B) + \frac{\partial}{\partial \beta} (Q_2 A) - N_1 \frac{AB}{R_1} - N_2 \frac{AB}{R_2} + q_3 AB = 0. \quad (10.45)$$

4. Koordinata $0x$ o'qiga nisbatan barcha kuchlardan olingan momentlarning algebraik yig'indisini nolga tenglaymiz:

$$\frac{\partial (M_{21} B)}{\partial \alpha} + \frac{\partial (M_{2A})}{\partial \beta} - M_1 \frac{\partial A}{\partial \beta} + M_{12} \frac{\partial B}{\partial \alpha} - Q_2 AB = 0. \quad (10.46)$$

5. Xuddi shuningdek, $0y$ o'qiga nisbatan barcha kuchlardan olingan momentlarning algebraik yig'indisini nolga tenglaymiz:

$$\left(\frac{\partial M_{12} A}{\partial \beta} \right) + \frac{\partial (M_1 B)}{\partial \alpha} - M_2 \frac{\partial B}{\partial \alpha} + M_{21} \frac{\partial A}{\partial \beta} - Q_1 AB = 0. \quad (10.47)$$

6. Urinma kuchlanishlarning juftlik qonuni asosida $0z$ o'qiga nisbatan barcha zo'riqishlardan olingan momentlar, statikaning muvozanat tenglamasini aynan qanoatlantiradi.

Shunday qilib qobiq uchun 5-ta muvozanat tenglamalar sistemasini hosil qildik:

$$\frac{\partial}{\partial \alpha} (BN_1) + \frac{\partial}{\partial \beta} (AS_{12}) - N_2 \frac{\partial B}{\partial \alpha} + S_{21} \frac{\partial A}{\partial \beta} + Q_1 k_1 AB + q_1 AB = 0. \quad (10.48)$$

$$\frac{\partial}{\partial \beta} (AN_2) + \frac{\partial}{\partial \alpha} (BS_{21}) - N_1 \frac{\partial A}{\partial \beta} + S_{12} \frac{\partial B}{\partial \alpha} + Q_2 k_2 AB + q_2 AB = 0. \quad (10.49)$$

$$\frac{1}{AB} \left[\frac{\partial}{\partial \alpha} (BQ_1) + \frac{\partial}{\partial \beta} (AQ_2) \right] - N_1 k_1 - N_2 k_2 + q_3 = 0 \quad (10.50)$$

$$\left(\frac{\partial BM_{21}}{\partial \alpha} \right) + \frac{\partial (AM_2)}{\partial \beta} - M_1 \frac{\partial A}{\partial \beta} + M_{12} \frac{\partial B}{\partial \alpha} - Q_2 AB = 0. \quad (10.51)$$

$$\frac{\partial(AM_{12})}{\partial\beta} + \frac{\partial(BM_1)}{\partial\alpha} - M_2 \frac{\partial B}{\partial\alpha} + M_{21} \frac{\partial A}{\partial\beta} - Q_1 AB = 0. \quad (10.52)$$

Bu tenglamalarda $k_1 = 1/R_1$, $k_2 = 1/R_2$ bo'lib, unda 10 ta $N_1, N_2, S_{12}, S_{21}, M_1, M_2, M_{12}, M_{21}, Q_1, Q_2$ noma'lumlar kiradi.

Agar momentlar $M_1 = M_2 = M_{21} = 0$ va ko'ndalang kuch $Q_1 = Q_2 = 0$ nolga teng bo'lsa (4.25-4.29) tenglamalardan momentsiz qobiqlar nazariyasi tenglamalari kelib chiqadi [15, 18-bet]:

$$\frac{\partial}{\partial\alpha}(BN_1) + \frac{\partial}{\partial\beta}(S_{12}A) - N_2 \frac{\partial B}{\partial\alpha} + S_{21} \frac{\partial A}{\partial\beta} + q_1 AB = 0. \quad (10.53)$$

$$\frac{\partial}{\partial\beta}(AN_2) + \frac{\partial}{\partial\alpha}(S_{21}B) - N_1 \frac{\partial A}{\partial\beta} + S_{12} \frac{\partial B}{\partial\alpha} + q_2 AB = 0. \quad (10.54)$$

$$\frac{N_1}{R_1} + \frac{N_2}{R_2} + q_3 = 0. \quad (10.55)$$

10.2-§. Momentsiz nazariya asosida sferik va silindrik idishlarni hisoblash

2.1. Momentsiz nazariya asosida aylanish sirtli qobiqlar hisobi

Sferik koordinatalar sistemasida ixtiyoriy aylanish sirtli qobiq 10.6-chizmada keltirilgan. Chizmadan quyidagilarni aniqlash mumkin:

$$\begin{aligned} r &= R_2 \sin\varphi; & ab &= ds_2 = R_2 \sin\varphi d\varphi; \\ ad &= ds_1 = R_1 d\varphi; & A &= R_1, B = r. \end{aligned} \quad (10.56)$$

Bu yerda

R_1 – meridian egrilik radiusi;

R_2 – kenglik egrilik radiusi;

r – parallel aylana radiusi, ixtiyoriy aylanish sirtli qobiq uchun

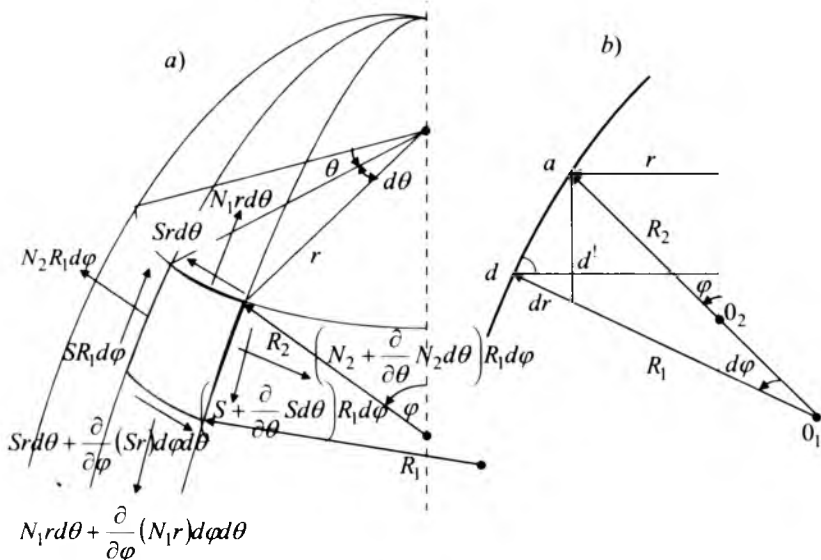
$r = f(\varphi)$.

Simmetrik qobiq uchun A va B Lyame koeffitsiyentlari faqat φ o'zgaruvchining funksiyasi bo'lib, θ koordinataga bog'liq emas. Bu holda differensial muvozanat (10.53-10.55) tenglamalar quyidagi ko'rinishda ifodalanadi:

$$\frac{\partial}{\partial \varphi} (rN_1) + R_1 \frac{\partial S}{\partial \theta} - N_2 R_1 \cos \varphi + q_1 r R_1 = 0. \quad (10.57)$$

$$R_1 \frac{\partial N_2}{\partial \theta} + \frac{\partial}{\partial \varphi} (rS) + S R_1 \cos \varphi + q_2 r R_1 = 0. \quad (10.58)$$

$$\frac{N_1}{R_1} + \frac{N_2}{R_2} - q_3 = 0. \quad (10.59)$$



10.6-chizma. Aylanish sirtli qobiq elementi.

Xususiyl holda sferik qobiq uchun $R_1 = R_2 = R$ va $Ad\alpha = Rd\varphi$; $Bd\beta = (R \sin \varphi)d\theta$ ekanligini aniqlash qiyin emas. Unda $\alpha = \varphi$; $\beta = \theta$; $A = R$; $B = R \sin \varphi$ bo'ladir. Qobiqning momentsiz nazariyasi tenglamalarini quyidagicha yozamiz:

$$\frac{\partial(N_1 \sin \varphi)}{\partial \varphi} + \frac{\partial S_{12}}{\partial \theta} - N_2 \cos \varphi + q_1 R \sin \varphi = 0. \quad (10.60)$$

$$\frac{\partial(S_{21} \sin \varphi)}{\partial \varphi} + \frac{\partial N_2}{\partial \theta} + S_{12} \cos \varphi + q_2 R \sin \varphi = 0. \quad (10.61)$$

$$N_1 + N_2 - q_3 R = 0. \quad (10.62)$$

Agar qobiq o'qqa nisbatan simmetrik yuklar bilan yuklangan bo'lsa, normal va urinma kuchlar koordinataga bog'liq bo'lmaydi va

$S_{12} = S_{21} = 0$ teng bo'ladi. Unda (10.57-10.59) tenglamalardan quyidagi ikkitasi qoladi:

$$\frac{\partial(N_1 \sin \varphi)}{\partial \varphi} - N_2 \cos \varphi + q_1 R \sin \varphi = 0. \quad (10.63)$$

$$N_1 + N_2 - q_3 R = 0. \quad (10.64)$$

Umumiy holda N_1 , N_2 va S zo'riqish kuchlari har ikkala φ va θ o'zgaruvchilarning funksiyasi bo'ladi. Geometrik tenglamalar quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\begin{aligned} \frac{1}{R_1} \frac{\partial u}{\partial \varphi} + \frac{w}{R_1} &= \frac{1}{Eh} (N_1 - \mu N_2) = \varepsilon_1; \\ \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{u}{r} \cos \varphi + \frac{w}{R_2} &= \frac{1}{Eh} (N_2 - \mu N_1) = \varepsilon_2; \\ \frac{r}{R_1} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\frac{v}{r} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial \theta} &= \frac{1}{Eh} S = \gamma. \end{aligned} \quad (10.65)$$

2.2. Momentli nazariya asosida silindrik qobiqlar hisobi

Uzunligi ℓ va radiusi R bo'lgan silindr shakldagi qobiqni x, θ koordinata sistemasida qaraymiz (10.7-chizma).

Unda

$$R_1 = \infty, \quad R_2 = R, \quad dS_1 = Ad\alpha_1 = dx, \quad dS_2 = Bd\alpha_2 = R d\theta, \quad (10.66)$$

bo'ladi, demak $\alpha_1 = x$, $\alpha_2 = \theta$, $A = 1$, $B = R$.

Unda muvozanat differensial tenglama (10.48-10.52) quyidagicha ifodalanadi

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial N_1}{\partial x} + \frac{\partial S_{12}}{R \partial \theta} + q_1 &= 0; \\ \frac{\partial S_{21}}{\partial x} + \frac{\partial N_2}{R \partial \theta} + \frac{Q_2}{R} + q_2 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (10.67)$$

$$\frac{\partial Q_1}{\partial x} + \frac{\partial Q_2}{R \partial \theta} - \frac{N_2}{R} + q_3 = 0. \quad (10.68)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial M_{21}}{\partial x} + \frac{\partial M_2}{R \partial \theta} - Q_2 &= 0; \\ \frac{\partial M_1}{\partial x} + \frac{\partial M_{12}}{R \partial \theta} - Q_1 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (10.69)$$

Bu 5 ta tenglamalar sistemasidan Ko'ndalang kuchni yo'qotamiz, unda:

$$\frac{\partial N_1}{\partial \alpha} + \frac{\partial S_{12}}{R \partial \theta} + q_1 = 0. \quad (10.70)$$

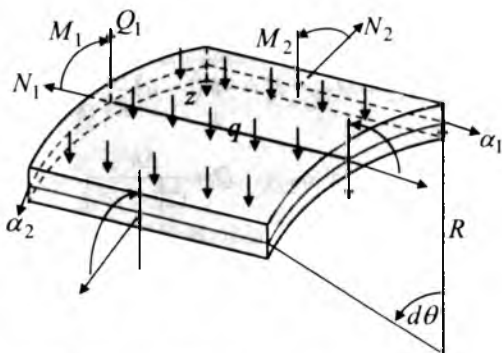
$$\frac{\partial S_{12}}{\partial \alpha} + \frac{1}{R} \frac{\partial N_2}{\partial \theta} + \frac{1}{R^2} \frac{\partial M_2}{\partial \theta} + \frac{1}{R} \frac{\partial M_{12}}{\partial \alpha} + q_2 = 0. \quad (10.71)$$

$$\frac{\partial^2 M_1}{\partial \alpha^2} + \frac{1}{R^2} \frac{\partial^2 M_2}{\partial \theta^2} + \frac{2}{R} \frac{\partial^2 M_{12}}{\partial \alpha \partial \theta} - \frac{N_2}{R} + q_3 = 0. \quad (10.72)$$

Bu uchta tenglamada 6 ta N_1 , N_2 , M_1 , M_2 , M_{12} , M_{21} noma'lum bo'lib masala uch marta statik aniqlasdir.

Geometrik tenglamalarini yuqoridagi (10.7-10.11) tenglamalarga asosan quyidagi ifodalarni hosil qilamiz:

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= \frac{\partial u}{\partial \alpha}; \\ \varepsilon_2 &= \frac{1}{R} \frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{w}{R}; \\ \gamma &= \frac{\partial v}{\partial \alpha} + \frac{1}{R} \frac{\partial u}{\partial \theta}. \end{aligned} \quad (10.73)$$



10.7-chizma. Silindrik qobiq elementi.

$$\begin{aligned} \chi_1 &= -\frac{\partial^2 w}{\alpha^2}; \\ \chi_2 &= -\frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(-\frac{v}{R} + \frac{1}{R} \frac{\partial w}{\partial \theta} \right); \\ \chi_{12} &= -\frac{1}{R} \left(\frac{\partial^2 w}{\alpha \partial \theta} - \frac{1}{2} \frac{\partial v}{\alpha} \right); \end{aligned} \quad (10.74)$$

Bu geometrik tenglamalarni e'tiborga olib, qobiqning ko'ndalang kesimdagi zo'riqish kuchlari (10.16-10.20) quyidagicha ifodalanadi:

$$N_1 = \frac{Eh}{1-\mu^2} \left[\frac{\partial u}{\alpha} + \mu \left(\frac{1}{R} \frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{w}{R} \right) \right]. \quad (10.75)$$

$$N_2 = \frac{Eh}{1-\mu^2} \left[\frac{1}{R} \frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{w}{R} + \mu \frac{\partial u}{\alpha} \right]. \quad (10.76)$$

$$S = S_{21} = S_{12} = \frac{Eh}{2(1+\mu)} \left[\frac{1}{R} \frac{\partial u}{\partial \theta} + \frac{\partial v}{\alpha} \right]. \quad (10.77)$$

$$M_1 = -D \left[\frac{\partial^2 w}{\alpha^2} + \frac{\mu}{R^2} \left(-\frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 w}{\partial \theta^2} \right) \right]. \quad (10.78)$$

$$M_2 = -D \left[\frac{1}{R^2} \left(-\frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 w}{\partial \theta^2} \right) + \mu \frac{\partial^2 w}{\alpha^2} \right]. \quad (10.79)$$

$$M_{12} = M_{21} = H = -D(1-\mu) \frac{1}{R} \left(\frac{\partial^2 w}{\alpha \partial \theta} - \frac{1}{2} \frac{\partial v}{\alpha} \right); \quad (10.80)$$

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)}.$$

Agar $M_1 = M_2 = M_{12} = M_{21} = 0$ bo'lsa (10.67-10.69) tenglamalar soddalashadi va momentsiz qobiq nazariyasi tenglamalarini hosil qilamiz:

$$\frac{\partial N_1}{\alpha} + \frac{1}{R} \frac{\partial S_{12}}{\partial \theta} + q_1 = 0. \quad (10.81)$$

$$\frac{\partial S_{21}}{\alpha} + \frac{1}{R} \frac{\partial N_2}{\partial \theta} + q_2 = 0. \quad (10.82)$$

$$N_2 + q_3 R = 0. \quad (10.83)$$

10.3-§. Silindrik qobiqda chegaraviy effekt

3.1. Simmetrik yuklangan silindrik qobiqlar hisobi

Agar qobiq o'qqa nisbatan simmetrik yuklar bilan yuklangan bo'lsa, unda $q_2 = 0$ va ichki zo'riqish kuchlari $M_{12} = H = 0$; $S_{12} = 0$ bo'lib boshqa ichki zo'riqish kuchlari faqat x koordinataga bog'liq bo'ladi. Unda differensial muvozanat (10.70-10.72) tenglama quyidagicha ifodalanadi:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dN_1}{dx} + q_1 &= 0; \\ \frac{d^2M_1}{dx^2} + \frac{N_2}{R} + q_3 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (10.84)$$

Bu ikki tenglamada uchta N_1 , N_2 , M_1 noma'lum bo'lib, masala bir marta statik aniqmasdir.

Birinchi muvozanat tenglamadan quyidagini aniqlaymiz:

$$N_1 = -q_1 x + C. \quad (10.85)$$

Bu masalani ko'chishga nisbatan yechamiz: qaralayotgan masala o'qqa simmetrik bo'lgani uchun doiraviy ko'chish $v = 0$ bo'lib, u , w ko'chishlar x koordinataning funksiyasidir. Unda geometrik tenglama (10.73-10.74) quyidagicha ifodalanadi:

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= \frac{du}{dx}; \quad \varepsilon_2 = -\frac{w}{R}; \quad \gamma = 0; \\ \chi_1 &= \frac{d^2w}{dx^2}; \quad \chi_2 = 0; \quad \chi_{12} = 0. \end{aligned} \quad (10.86)$$

Unda zo'riqish (10.80-10.85) kuchlari quyidagicha ifodalanadi:

$$\begin{aligned} N_1 &= \frac{Eh}{1-\mu^2} \left(\frac{du}{dx} - \mu \frac{w}{R} \right); \\ N_2 &= \frac{Eh}{1-\mu^2} \left(-\frac{w}{R} + \mu \frac{du}{dx} \right). \end{aligned} \quad (10.87)$$

Eguvchi momentlar:

$$\begin{aligned} M_1 &= -D \frac{d^2w}{dx^2}; \\ M_2 &= -\mu D \frac{d^2w}{dx^2}. \end{aligned} \quad (10.88)$$

Bu (10.88) ifodani e'tiborga olib (10.69) formuladan quyidagini aniqlaymiz:

$$Q_1 = -D \frac{d^3 w}{dx^3}; \quad (10.89)$$

$$Q_2 = 0.$$

Bundan keyin $N_1 = 0$ deb qaraymiz va (10.87) formuladan quyidagilarni aniqlaymiz:

$$\frac{du}{dx} = \mu \frac{w}{R}; \quad (10.90)$$

$$N_2 = -\frac{Ehw}{R}.$$

Unda (10.90) tenglamani e'tiborga olib (10.84) tenglamaning ikkinchi tenglamasi quyidagicha ifodalanadi:

$$D \frac{d^4 w}{dx^4} + \frac{Ehw}{R^2} = q_3. \quad (10.91)$$

Bu ifodaga:

$$q_3 = q; \quad \beta^4 = \frac{Eh}{4DR^2} = \frac{3(1-\mu^2)}{R^2 h^2}. \quad (10.92)$$

belgilashlar kiritib va uni quyidagicha ifodalaymiz:

$$\frac{d^4 w}{dx^4} + 4\beta^4 w = \frac{q}{D}. \quad (10.93)$$

Bu tenglamaning yechimi quyidagicha ifodalanadi:

$$w = e^{-\beta x} (C_1 \cos \beta x + C_2 \sin \beta x) + e^{\beta x} (C_3 \cos \beta x + C_4 \sin \beta x) + w^*. \quad (10.94)$$

bu yerda w^* bir jinsli bo'lmagan tenglamani xususiy yechimi.

Agar qobiq juda ham uzun $x \rightarrow \infty$ bo'lsa, $C_3 = C_4 = 0$ bo'ladi, unda:

$$w = e^{-\beta x} (C_1 \cos \beta x + C_2 \sin \beta x) + w^* \quad (10.95)$$

Umumiy holda o'zgarmas C_1, C_2, C_3, C_4 koeffitsiyentlar qobiqning chegara shartlaridan aniqlanadi.

3.2. Chetki qirg'og'i bo'ylab yuklangan yarim cheksiz silindrik qobiqlar hisobi

Uzun silindr shakhdagi qobiq chetki qirg'og'i bo'ylab tekis yoyilgan eguvchi moment M_0 va ko'ndalang kuch Q_0 bilan yuklangan

(10.8-chizma). Bu masalada $N_1 = 0$; $q_1 = q_2 = q_3 = 0$ bo'lgani uchun differensial (10.93) tenglamaning yechimi quyidagicha aniqlanadi [15, 25-bet]:

$$w = e^{-\beta x} (C_1 \cos \beta x + C_2 \sin \beta x). \quad (10.96)$$

Bu funksiyani differensiallab aylanish burchak deformatsiyasi, eguvchi moment va ko'ndalang kuch ifodalarini quyidagicha ifodalaymiz:

$$\frac{\partial w}{\partial x} = \beta e^{-\beta x} [-C_1 (\cos \beta x + \sin \beta x) + C_2 (\cos \beta x - \sin \beta x)]. \quad (10.97)$$

$$M_1 = -D \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = -2D\beta^2 e^{-\beta x} [C_1 \sin \beta x - C_2 \cos \beta x]. \quad (10.98)$$

$$Q_1 = \frac{dM_1}{dx} = -2D\beta^3 e^{-\beta x} [C_1 (\cos \beta x - \sin \beta x) + C_2 (\cos \beta x + \sin \beta x)]. \quad (10.99)$$

$$N_2 = \frac{Ehw}{R} = -\frac{Eh}{R} 2De^{-\beta x} [C_1 \cos \beta x + C_2 \sin \beta x]. \quad (10.100)$$

Bu ifodalardagi o'zgarmas C_1 va C_2 koeffitsiyentlarini $x=0$ kesimning yuklanish shartidan aniqlaymiz:

$$M_1 = M_0; \quad (10.101)$$

$$Q_1 = Q_0.$$

Bu shartlarga asosan:

$$2\beta^2 C_2 = \frac{M_0}{D}; \quad 2\beta^3 (C_1 + C_2) = -\frac{Q_0}{D}, \quad (10.102)$$

bundan

$$C_1 = -\frac{Q_0 + \beta M_0}{2\beta^3 D}; \quad C_2 = \frac{M_0}{2\beta^2 D}. \quad (10.103)$$

Unda salqilik funksiyasining ifodasi:

$$w = \frac{e^{-\beta x}}{2D\beta^3} [\beta M_0 \sin \beta x - (Q_0 + \beta M_0) \cos \beta x]. \quad (10.104)$$

Eguvchi moment ifodasi:

$$M_1 = \frac{e^{-\beta x}}{\beta} [\beta M_0 \cos \beta x + (Q_0 + \beta M_0) \cos \beta x]; \quad (10.105)$$

$$M_2 = \mu \frac{e^{-\beta x}}{\beta} [\beta M_0 \cos \beta x + (Q_0 + \beta M_0) \cos \beta x].$$

Kuchianishlarni (1.9) formulaga asosan quyidagicha aniqlanadi:

$$\sigma_1 = \frac{M_1}{I} z; \quad \sigma_2 = \frac{M_2}{I} z; \quad \tau_{12} = 0. \quad (10.106)$$

Qobiqning $x=0$ bo'lgan qirg'og'ida salqilik va momentlar o'zining eng katta qiymatiga erishadi, ya'ni:

$$w_{\max} = w(0) = -\frac{Q_0 + \beta M_0}{2D\beta^3} < 0; \quad (10.107)$$

$$(M_1)_{\max} = M_0; \quad M_2 = \mu M_1.$$

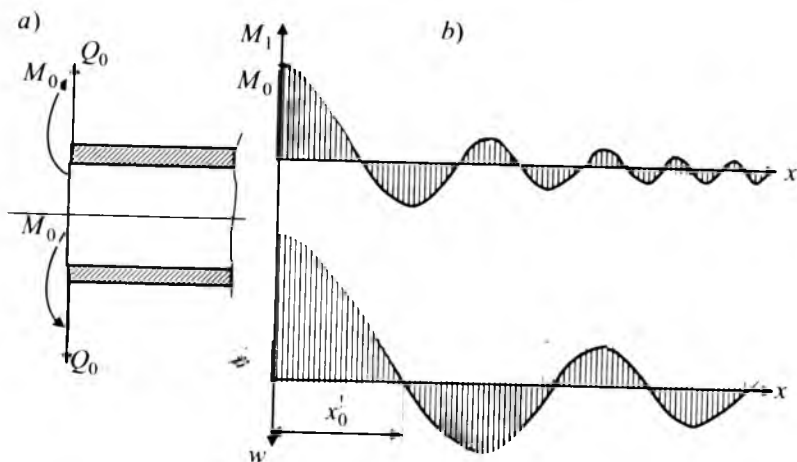
Koordinata x ning ortishi bilan M_1, M_2 eguvchi momentlar, w salqilik hamda σ_1, σ_2 kuchlanishlar tez so'nib boradi (10.8.b-chizma).

M_1 momentni nolga tenglab, moment ishorasining o'zgarish nuqtasini belgilovchi x_0 uzunlikni aniqlovchi shartni hosil qilamiz:

$$\operatorname{tg} \beta x_0 = -\frac{\beta M_0}{Q_0 + \beta M_0}. \quad (10.108)$$

Xuddi shuning kabi $w = 0$ shartdan:

$$\operatorname{tg} \beta x_0^* = -\frac{Q_0 + \beta M_0}{2D\beta^3} = \frac{1}{\operatorname{tg} \beta x_0}. \quad (10.109)$$



10.8-Chizma. Chap qirg'og'i bo'ylab yuklangan yarim cheksiz silindrik qobiq.

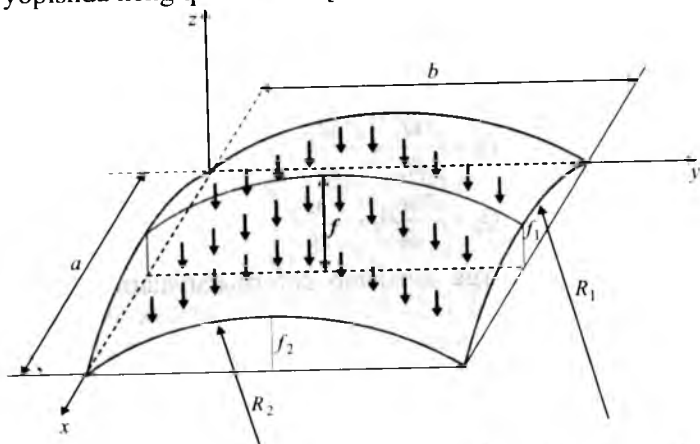
Agar qobiq uchun uning momentsiz holati shartlarining birinchi ikkitasi bajarilib qolgan ikkitasi bajarilmasa, unda qobiq kuchlanganlik holati va qirg'oq effekti yig'indisidan iborat, deb qarash mumkin. Bu holatda qobiq hisobi oldin tashqi kuchdan momentsiz nazariya

asosida hisoblashga keltiriladi. So'ngra esa qirg'oq effekti masalasi yechiladi va shundan keyin zo'riqish va momentlarni qo'shib umumiy yechim aniqlanadi.

10.4-§. Yassisimon qobiqlar nazariyasi asoslari

Yassi qobiq deb, ko'tarish balandligi f qolgan chiziqli o'lchamlariga nisbatan kichik bo'lgan qobiqqa aytiladi (10.9-chizma) $f/a \leq 1,5$.

Yassi qobiqlar, asosan bozorlar, ishlab chiqarish binolari va stadionlarni yopishda keng qo'llaniladi [15, 27-bet].



10.9-chizma. Tashqi yuk ta'siridagi yassisimon qobiq.

V. Z. Vlasovning yassi qobiqlar nazariyasi quyidagi gipotezalarga asoslanadi:

1. Qobiq shunchalik yassi deb olinadiki, uning geometrik sirti taxminan uning proyeksiya tekisligidagi geometriyasiga to'g'ri keladi.

Demak:

$$(ds)^2 = A^2(d\alpha)^2 + B^2(d\beta)^2, \quad (10.110)$$

o'rniga

$$(ds)^2 = (dx)^2 + (dy)^2, \quad (10.111)$$

deb hisoblash mumkin, unda $A = B = 1$; $\alpha = x$; $\beta = y$.

2. Muvozanat differensial tenglamada $1/R_1$ va $1/R_2$ koeffitsientlarga ko'paytirilgan ko'ndalang kuchlari bor hadlarni tashlab yuborish lozim.

3. Egilish deformatsiyasi ifodalarida qobiq o'rta sirti normal bo'yicha hosil bo'lgan deformatsiyani qoldirish kifoya.

Bu gipotezalarni e'tiborga olib yassi qobiqlar muvozanat differensial tenglamalari quyidagicha ifodalanadi:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial N_1}{\partial x} + \frac{\partial S_{12}}{\partial y} + q_1 &= 0; \\ \frac{\partial S_{21}}{\partial x} + \frac{\partial N_2}{\partial y} + q_2 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (10.112)$$

$$\frac{\partial Q_1}{\partial x} + \frac{\partial Q_2}{\partial y} + \frac{N_1}{R_1} + \frac{N_2}{R_2} + q_3 = 0. \quad (10.113)$$

$$\left. \begin{aligned} Q_1 &= \frac{\partial M_1}{\partial x} + \frac{\partial M_{12}}{\partial y}; \\ Q_2 &= \frac{\partial M_{21}}{\partial x} + \frac{\partial M_2}{\partial y}. \end{aligned} \right\} \quad (10.114)$$

Yuqoridagi gipotezalarga asoslanib deformatsiyalarni quyidagicha aniqlaymiz:

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_1 &= \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{w}{R_1}; \\ \varepsilon_2 &= \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{w}{R_2}; \\ 2\gamma &= \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial u}{\partial x}. \end{aligned} \right\} \quad (10.115)$$

$$\left. \begin{aligned} \chi_1 &= \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}; \\ \chi_2 &= \frac{\partial^2 w}{\partial y^2}; \\ \chi_{12} &= \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}. \end{aligned} \right\} \quad (10.116)$$

Deformatsiyaning uzluksizlik tenglamasi:

$$\frac{\partial^2 \varepsilon_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_2}{\partial y^2} - 2 \frac{\partial^2 \gamma}{\partial x \partial y} = \frac{1}{R_1} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{1}{R_2} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}. \quad (10.117)$$

Fizik tenglamalarni quyidagicha ifodalash mumkin:

$$N_1 = \frac{Eh}{1-\mu^2} (\varepsilon_1 + \mu\varepsilon_2); \quad (10.118)$$

$$N_2 = \frac{Eh}{1-\mu^2} (\varepsilon_2 + \mu\varepsilon_1). \quad (10.119)$$

$$S = \frac{Eh}{2(1+\mu)} \gamma. \quad (10.120)$$

$$M_1 = -D(\chi_1 + \mu\chi_2) = -D \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right). \quad (10.121)$$

$$M_2 = -D(\chi_2 + \mu\chi_1) = -D \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \mu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right). \quad (10.122)$$

$$M_{12} = M_{21} = H = -D(1-\mu)\chi_{12} = -D(1-\mu) \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}. \quad (10.122)$$

$$\left. \begin{aligned} Q_1 &= -D \frac{\partial}{\partial x} (\nabla^2 w); \\ Q_2 &= -D \frac{\partial}{\partial y} (\nabla^2 w). \end{aligned} \right\} \quad (10.123)$$

Tenglamalar sistemasi (10.122-10.123) ni ikki noma'lumli ikkita tenglamaga keltirish mumkin. Buning uchun $q_1 = q_2 = 0$, $q_3 = q$ deb qaraymiz unda (10.112) tenglamani quyidagicha ifodalaymiz:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial N_1}{\partial x} + \frac{\partial S_{12}}{\partial y} &= 0; \\ \frac{\partial S_{21}}{\partial x} + \frac{\partial N_2}{\partial y} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (10.124)$$

(10.123) tenglamaga (10.124) ifodalarni qo'yib quyidagini hosil qilamiz:

$$\frac{\partial^2 M_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 M_{12}}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 M_2}{\partial y^2} + \frac{N_1}{R_1} + \frac{N_2}{R_2} + q = 0. \quad (10.125)$$

Tekis masaladagi kabi kuchlanish φ funksiyasini kiritamiz:

$$\begin{aligned}
 N_1 &= \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2}; \\
 N_2 &= \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2}; \\
 S_{12} &= -\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y}.
 \end{aligned}
 \tag{10.126}$$

Unda (10.124) tenglamalar qanoatlanadi. Eguvchi moment bilan burovchi moment ifodalarini (10.120-10.122) formuladan (10.125) ifodaga qo‘yib siqilishda egilgan o‘rta sirt tekislik tenglamasini hosil qilamiz:

$$D\nabla^4 w = q + N_1 K_1 + N_2 K_2, \tag{10.127}$$

bu yerda

$$K_1 = 1/R_1, K_2 = 1/R_2. \tag{10.128}$$

Yuqoridagi (10.125) tenglamadan deformatsiya komponentlarini aniqlaymiz:

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_1 &= \frac{1}{Eh} (N_1 - \mu N_2); \\
 \varepsilon_2 &= \frac{1}{Eh} (N_2 - \mu N_1); \\
 \gamma &= \frac{1 + \mu}{Eh} S_{12}.
 \end{aligned}
 \tag{10.129}$$

Bu (10.129) ifodaga zo‘riqish kuchi o‘rniga (10.126) tenglamadan kuchlanishlar funksiyasini qo‘yib quyidagini hosil qilamiz:

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_1 &= \frac{1}{Eh} \left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} - \mu \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} \right); \\
 \varepsilon_2 &= \frac{1}{Eh} \left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} - \mu \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} \right); \\
 \gamma &= -\frac{1 + \mu}{Eh} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y}.
 \end{aligned}
 \tag{10.130}$$

Deformatsiyaning uzluksizlik (10.127) tenglamasidagi deformatsiyani (10.130) kuchlanish funksiyasi orqali ifodasini qo‘yib quyidagi tenglamani hosil qilamiz:

$$\nabla^4 \varphi = -Eh \left(K_1 \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + K_2 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right). \quad (10.131)$$

Shunday qilib yassi qobiqning asosiy tenglamalar sistemasini hosil qilamiz:

$$D\nabla^4 w = q + K_1 \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + K_2 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}. \quad (10.132)$$

$$\nabla^4 \varphi = -Eh \left(K_1 \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + K_2 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right). \quad (10.133)$$

Bu tenglamalardan ikkita φ va w funksiyalarni aniqlash mumkin. Bu differensial tenglamalar sistemasi ikki masalasini: elastiklik nazariyasi tekis masalasini va plastinkaning egilish haqidagi masalalarni o'z ichiga oladi. Haqiqatdan ham tekis plastinka uchun $K_1 = K_2 = 0$ bo'lsa bizga ma'lum bo'lgan tenglamalarga ega bo'lamiz:

$$D\nabla^4 w = q; \quad \nabla^4 \varphi = 0. \quad (10.134)$$

Bu tenglamaning birinchisi plastinka uchun Sofi-Jermen tenglamasi bo'lib, ikkinchisi esa elastiklik nazariyasi tekis masalasi bigor-monik tenglamasidir.

(10.122-10.133) tenglamalar sistemasini sonli usullar yoki taqribiy usullardan birini qo'llab yechish mumkin.

Yassi qobiq uchun masalani yechishni Bubnov-Galerkin usuli bilan qarab chiqamiz. Kuchlanish φ funksiyasi bilan salqilik w funksiyasini cheksiz qator ko'rinishida qabul qilamiz:

$$\begin{aligned} \varphi &= \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} A_{mn} \varphi_{mn}; \\ w &= \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} B_{mn} w_{mn}. \end{aligned} \quad (10.135)$$

Bu yerda φ_{mn} va w_{mn} funksiyalar barcha chegara shartlarini qanoatlantirish lozim. O'zgarmas A_{mn} va B_{mn} koeffitsiyentlar Bubnov – Galerkinning taqribiy usuli tenglamalaridan:

$$\begin{aligned} \iint_{00}^{ab} (D\nabla^4 w - q\nabla_k^2 \varphi) w_{mn} dx dy &= 0; \\ \iint_{00}^{ab} (\nabla^4 \varphi + Eh\nabla_k^2 w) \varphi_{mn} dx dy &= 0. \end{aligned} \quad (10.136)$$

aniqlanadi.

Bu yerda $\nabla_k^2 = K_1 \frac{\partial^2}{\partial x^2} + K_2 \frac{\partial^2}{\partial y^2}$ Vlasov operatori.

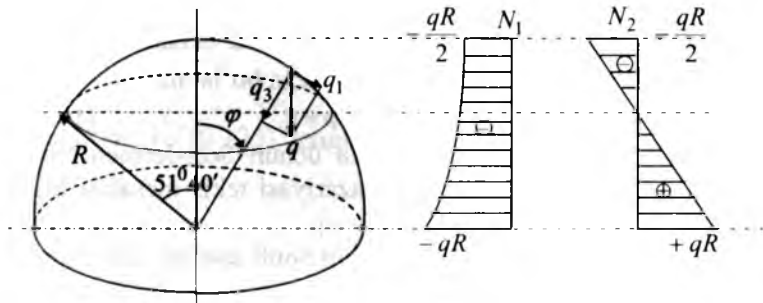
Bu tenglamalardan A_{mn} va B_{mn} parametrlar aniqlanadi.

Shunday qilib, yassi qobiqlar hisobi ikkita noma'lum w va φ funksiyalarni aniqlashga keltiriladi.

1-Masala. Xususiy og'irligi q ta'sirida bo'lgan aylanish sirtli qobiq (kupola) hisobini qaraymiz. 10.10-chizma.

Bir birlik yuzaga to'g'ri kelgan og'irlik q kuchining tashkil etuvchilarini quyidagicha yozish mumkin:

$$q_1 = q \sin \varphi; \quad q_2 = q \cos \varphi.$$



10.10-chizma. Aylanish sirtli qobiq.

Bu kuch ifodalarini yuqoridagi (10.63-10.64) tenglamaga qo'yib

$$\frac{d}{d\varphi} (N_1 \sin \varphi) - N_2 \cos \varphi + qR \sin^2 \varphi = 0.$$

$$N_1 + N_2 + qR \cos \varphi = 0.$$

tenglamani hosil qilamiz.

Bu tenglamaning yechimi quyidagi ko'rinishga ega:

$$N_1 = -\frac{qR}{1 + \cos \varphi};$$

$$N_2 = -qR \left(\cos \varphi - \frac{1}{1 + \cos \varphi} \right).$$

Bu formuladan ko'rinadiki, meridional zo'riqish kuch N_1 barcha kesimida manfiy bo'ladi.

N_2 zo'riqish kuchi manfiy va musbat bo'lishi mumkin. Aylana sirtli qobiq (kupol)ning cho'qqisida $\varphi = 0$ bo'lsa $N_1 = N_2 = -qR/2$ bo'-

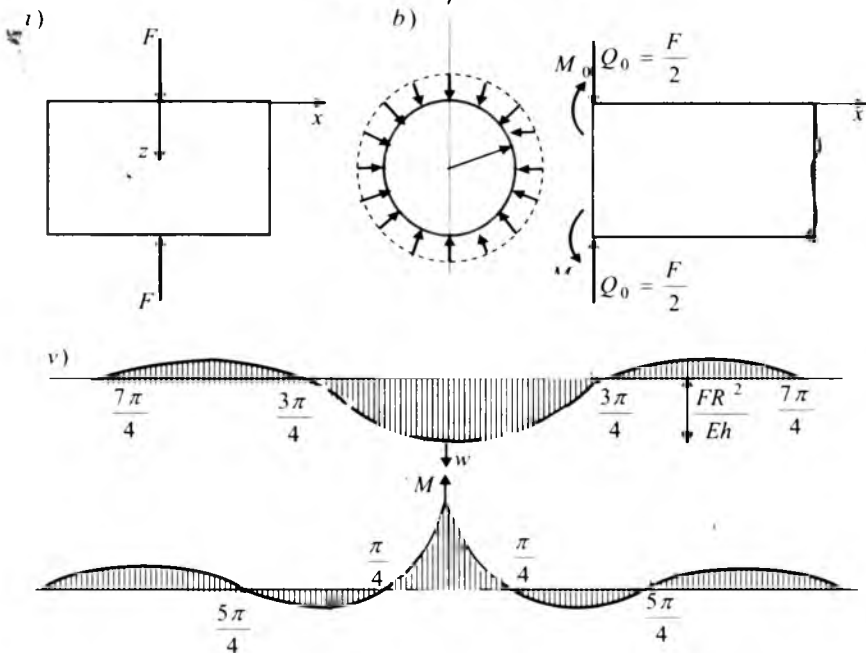
ladi, agar $\varphi = \pi/2$ bo'lsa $N_1 = -qR$, $N_2 = qR$. Aylanish burchak $\varphi \approx 51^{\circ}40'$ teng bo'lsa aylana N_2 zo'riqish kuchi o'z ishorasini o'zgartiradi.

Aylana N_2 zo'riqish kuchining ishorasi o'zgarish joyiga to'g'ri kelgan, doiraviy kesim, o'tish choki deb ataladi. Bu kuchlarning o'zgarish epyurasi 10.10-chizmada ko'rsatilgan.

2-Masala. Doiraviy kesimi bo'yicha tekis taqsimlangan, to'plangan kuch ta'sirida bo'lgan silindrik qobiqning egilishida salqilik va eguvchi moment ifodalari aniqlansin, hamda epyuralari qurilsin (10.11-chizma).

Bu masalani hal qilish uchun qobiqning yarimini qarash kifoya hamda chetki qirg'oq bo'ylab yuklangan qobiqlar hisobi mavzusida qilingan yechimdan foydalanamiz:.

$$w_{\max} = \frac{F}{8D\beta^2} = \frac{FR^2}{2Eh}\beta.$$



10.11-chizma. Salqilik va eguvchi moment epyuralari.

Qobiqning chetki qirg'ovdagi ko'ndalang kuch (10.11.a-chizma) $Q_0 = -0,5F$ qirg'ovdagi M_0 momentni chegara shartidan aniqlaymiz.

Ya'ni $x=0$ bo'lganda $\frac{dw}{dx} = 0$ bo'ladi:

$$\begin{aligned} \frac{dw}{dx} &= -\beta \frac{e^{-\beta x}}{2D\beta^3} [\beta M_0 \sin \beta x - (Q_0 + \beta M_0) \cos \beta x] + \\ &+ \frac{e^{-\beta x}}{2D\beta^3} [\beta^2 M_0 \cos \beta x + \beta(Q_0 + \beta M_0) \sin \beta x] \\ \left(\frac{dw}{dx}\right)_{x=0} &= \frac{M_0}{2D\beta} \left(2 + \frac{Q_0}{\beta M_0}\right) = 0; M_0 = -\frac{Q_0}{2\beta} = \frac{F}{4\beta}. \end{aligned}$$

Unda salqilik tenglamasi ifodasini quyidagicha ifodalaymiz:

$$w = \frac{F}{8D\beta^2} e^{-\beta x} (\sin \beta x + \cos \beta x).$$

Eng katta salqilik:

$$w_{\max} = \frac{F}{8D\beta^2} = \frac{FR^2}{2Eh} \beta.$$

Salqilik funksiyasining x bo'yicha ikkinchi tartibli hosilasi quyidagicha yoziladi:

$$\frac{d^2 w}{dx^2} = \frac{F}{4D\beta} e^{-\beta x} (\sin \beta x - \cos \beta x).$$

Eguvchi moment ifodasi:

$$M_1 = -D \frac{d^2 w}{dx^2} = \frac{F}{4\beta} e^{-\beta x} (\cos \beta x - \sin \beta x).$$

Eguvchi moment va salqilik epyuralari 10.11-chizmada ko'rsatilgan.

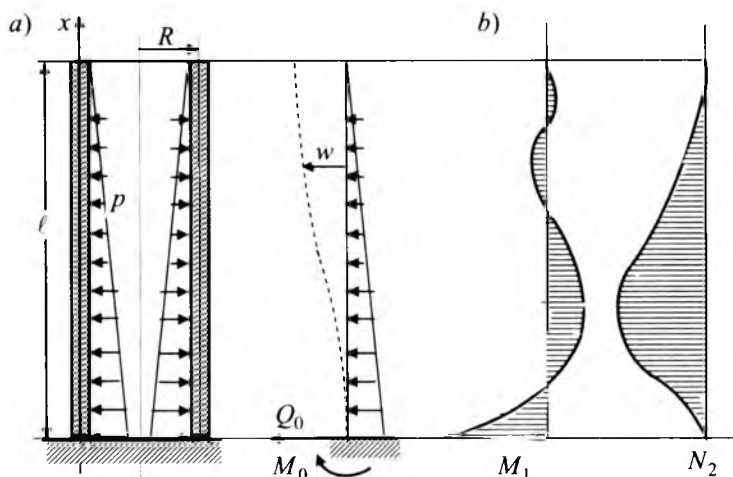
3-Masala. Suyuqlik bilan to'ldirilgan vertikal vaziyatda turgan silindrik qobiq $q_3 = -P = -\gamma(h-x)$ bosim ostida bo'ladi (10.12-chizma).

Bu masalani momentsiz nazariya bilan yechamiz. Zo'riqish kuchlari formulaga asosan $N_1 = 0$; $N_2 = -q_3 R = \gamma R(t-x)$ teng bo'ladi. Yuqoridagi formulaga asosan:

$$w = -\frac{RN_2}{Eh} = -\frac{\gamma R^2}{Eh} (t-x).$$

Masalani momentli nazariya asosida yechamiz. Silindrik qobiqni cheksiz uzun deb qabul qilamiz, unda (10.95) yechimdan foydalanish mumkin:

$$w = e^{-\beta x}(C_1 \cos \beta x + C_2 \sin \beta x) + w^*.$$



10.12-*chizma. Suyuqlik bilan to'ldirilgan silindrik qobiqda zo'riqish kuch va salqilik epyuralari.*

Differensial (10.96) tenglamaning xususiy yechimi:

$$w^* = -\frac{\gamma}{4D\beta^4}(\ell - x) = -\frac{\gamma R^2}{2Eh}(\ell - x).$$

bo'lganligi uchun salqillik quyidagicha ifodalanadi.

$$w = e^{-\beta x}(C_1 \cos \beta x + C_2 \sin \beta x) - \frac{\gamma R^2}{2Eh}(\ell - x).$$

C_1 va C_2 o'zgarmas koeffitsiyentlarni $x=0$ bo'lganda $w=0$; $dw/dx=0$ bo'lish chegaralaridan aniqlaymiz, ya'ni

$$C_1 = \frac{\gamma R \ell}{Eh};$$

$$C_2 = \frac{\gamma R^2}{Eh\beta}(\ell\beta - 1).$$

Unda salqilik ifodasi:

$$w = \frac{\gamma R^2}{Eh\beta} \left\{ e^{-\beta x} [(\ell\beta - 1)\sin \beta x + \beta \cos \beta x] - \beta(\ell - x) \right\}.$$

Ichki zo'riqish kuchlarini (10.88-10.89) formulalarga asosan aniqlaymiz:

$$N_1 = 0;$$

$$N_2 = \frac{\gamma R}{\beta} \left\{ e^{-\beta x} [(\ell\beta - 1)\sin \beta x + \ell\beta \cos \beta x] - \beta(\ell - x) \right\}.$$

$$M_1 = \frac{\gamma REh}{\sqrt{12(1-\nu^2)}} \left\{ e^{-\beta x} \left[\sin \beta x - \frac{1}{\ell\beta} (\ell\beta - 1) \cos \beta x \right] \right\};$$

$$M_2 = \mu M_1.$$

Eguvchi moment M_1 qobiqning mahkamlangan $x=0$ qismida eng katta qiymatiga erishadi, ya'ni

$$(M_1)_{\max} = \frac{\gamma REh}{\sqrt{12(1-\nu^2)}} \left(1 - \frac{1}{\ell\beta} \right).$$

Zo'riqish kuchi N_2 eng katta qiymati $dN_2/dx = 0$ bo'lgan kesimida bo'ladi. Bu βx_0 miqdorni aniqlovchi shartni beradi. Shundan keyin yuqoridagi formuladan $(N_2)_{\max}$ aniqlanadi.

10.5-§. Mustaqil ish topshiriqlari

1-topshiriq. Konturi bilan mahkamlangan va sirti bo'yicha tekis taqsimlangan intensivligi q bo'lgan ko'ndalang yuk ta'siridan yassi qobiq uchun quyidagi amallar bajarilsin (10.9-chizma):

1. Qobiqning bosh egriliklari κ_1 va κ_2 aniqlansin;

2. Solqilik $u(x, y) = A_{mn} \sin \frac{\pi m x}{a} \sin \frac{\pi n y}{b}$ va kuchlanish

$\varphi(x, y) = B_{mn} \sin \frac{\pi m x}{a} \sin \frac{\pi n y}{b}$ funksiyalarini qabul qilib chegara shartlari

belgilansin;

3. Bubnov-Galerlin usulidan foydalanib noma'lum koeffitsientlar;

4. Solqilik aniqlanib qobiqning ikkita xarakterli $x = \frac{a}{2}$ va $y = \frac{b}{2}$

kesimlari uchun epyuralari qurilsin.

Kerakli ma'lumotlar 10.1-jadvaldan olinsin.

T/r	a, m	b, m	f/b	f_1/f	f_2/f	$q, N/m^2$	f/h
1	50	40	1/5	0,4	0,6	2000	10
2	80	60	1/6	0,5	0,5	3000	12
3	80	80	1/8	0,5	0,5	4000	14
4	100	40	1/8	1	0	2500	16
5	60	20	1/5	1	0	2000	18
6	40	40	1/5	0,5	0,5	3000	16
7	50	40	1/5	0,6	0,4	2000	14
8	80	60	1/8	0,5	0,5	3000	12
9	80	80	1/6	0,5	0,5	4000	10
10	40	40	1/5	0,4	0,6	250	12

2-topshiriq. Paralleli bo'yicha tekis taralgan sirtqi kuchdan egilishga ishlovchi uzun silindrik qobiq uchun quyidagi amallar bajarilsin:

Zo'riqish kuchlari $N_x = 0$; $Q_r(x=0) = -\frac{F}{2}$ (10.11-chizma.).

1. Qobiq egilgan sirti differensial tenglamasi tuzilsin va uning umumiy yechlmi aniqlansin;

2. Sirt chegara shartlari tuzilsin va integrallash doimiylari aniqlansin;

3. Solqilik ifodasi aniqlansin va epyurasi tuzilsin;

4. Zo'riqish N_θ ; Q_r kuchlari va M_r ; M_θ momentlar aniqlansin hamda epyuralari qurilsin;

4. Kuchlanishlar σ_r ; σ_θ aniqlansin;

5. Qobiqning xavfli nuqtasi uchun mustahkamlik sharti tuzilsin va $n = 1,5$; $E = 2 \cdot 10^7 N/sm^2$; $\mu = 0,3$ qabul qilib qobiqning kerakli qalinligi aniqlansin.

Kerakli ma'lumotlar 10.2-jadvaldan olinsin.

Variant	$F, N/sm$	R/h	$\sigma_T, N/sm^2$
1	100	100	2400
2	200	50	2400
3	300	80	2400
4	200	60	2400

3-topshiriq. Vertikal vaziyatda turgan silindrik qobiq solishtirma og'irligi $\gamma N/sm^3$ bo'lgan suyuqlik bilan to'ldirilgan bo'lsa quyidagi anisallar bajarilsin (10.12-chizma).

1. Qobiq egilgan sirti differensial tenglamasi tuzilsin va uning umumiy yechimi aniqlansin;

2. Sirt chegaralar shartlari tuzilsin va integrallash doimiylari aniqlansin;

3. Solqilik ifodasi aniqlansin va epyurasi tuzilsin;

4. Zo'riqish N_θ ; Q_x kuchlari va M_x ; M_θ momentlar aniqlansin hamda epyuralari qurilsin;

4. Kuchlanishlar σ_x ; σ_θ aniqlansin;

5. Qobiqning xavfli nuqtasi uchun mustahkamlik sharti tuzilsin va $n=1,5$; $E=2 \cdot 10^7 N/sm^2$; $\mu=0,3$ qabul qilib qobiqning kerakli qalinligi aniqlansin.

Kerakli ma'lumotlar 10.3-jadvaldan olinsin.

10.3-jadval.

Variant	$\gamma, N/sm^3$	ℓ/h	R/h	$\sigma_T, N/sm^2$
1	0,001	300	300	24000
2	0,001	400	200	24000
3	0,001	100	75	24000
4	0,001	200	150	24000

Tayanch iboralar:

Yupqa devorli idishlar, qobiqlar, qalinligi, o'lchamlari, egri sirt, qalinligini teng ikkiga bo'luvchi tekislik, o'rta sirt, yupqa, qalin qobiqlar, Kirxgof-Lyav gipotezasi, deformatsiyagacha qobiq o'rta sirti, element deformatsiyadan keyin, qatlamlar orasida bosim hosil bo'lmaydi, qobiqlarning radiusi, dekart koordinata sistemasi, Lyame parametrlari, Gauss egriligi, sferik, elliptik va parabolik qobiqlar, giperbolik qobiqlar, silindrik va konussimon qobiqlar, nisbiy chiziqli deformatsiya, siljish deformatsiyasi egriligining o'zgarishi va buralish deformatsiyalari, Guk qonuni, normal kuchlanganlik, urinma kuchlanganlik, ko'ndalang kuch, eguvchi moment, buruvchi moment, qobiq muvozanat differensial tenglamasi, momentsiz nazariya asosida aylanish sirtli qobiqlar hisobi, momentli nazariya asosida silindrik qobiqlar hisobi,

o'qqa nisbatan simmetrik yuklangan silindrik qobiqlar hisobi, chetki qirg'og'i bo'ylab yuklangan, yarim cheksiz silindrik qobiqlar hisobi, yassisimon qobiqlar nazariyasi asoslari.

Test savollari:

1. Qobiq deb qanday jismga aytiladi?

qalinligi h qolgan ikki o'lchamlariga nisbatan kichik bo'lgan egri sirt bilan chegaralangan jismga;

qalinligi h qolgan ikki o'lchamlariga nisbatan katta bo'lgan egri sirt bilan chegaralangan jismga;

qalinligi h qolgan ikki o'lchamlariga nisbatan kichik bo'lgan tekis sirt bilan chegaralangan jismga;

qalinligi h qolgan ikki o'lchamlariga nisbatan katta bo'lgan tekis sirt bilan chegaralangan jismga;

2. Qobiqning o'rta sirtiga paralell bo'lgan qatlamlar bir biriga bosim ko'rsatadimi?

bosim ko'rsatmaydi;

bosim ko'rsatadi;

maksimal bosim ko'rsatmaydi;

o'rtacha bosim ko'rsatadi;

3. Qobiq o'rta sirtining Gauss egriligi deb nimaga aytiladi?

bosh egriliklarning ko'paytmasiga;

bosh egriliklarning nisbatiga;

bosh egriliklarning bo'linmasiga;

bosh egriliklarning ayirmasiga;

4. Gauss egriligi musbat, ya'ni $G > 0$ bo'lgan qobiqlar qanday qobiqlar bo'ladi?

sferik, elliptik va parabolik;

giperbolik;

silindrik va konussimon;

yassi va tekis;

5. Gauss egriligi manfiy, ya'ni $G < 0$ bo'lgan qobiqlar qanday qobiqlar bo'ladi?

giperbolik;

sferik, elliptik va parabolik;

silindrik va konussimon;

yassi va tekis;

6. Gauss egriligi nol, ya'ni $G = 0$, bo'lgan qobiqlar qanday qobiqlar bo'ladi?

- silindrik va konussimon;
- sferik, elliptik va parabolik;
- giperbolik;
- yassi va tekis;

7. Qobiqlarning momentsiz kuchlanganlik holati mavjud bo'lishi uchun qanday shartlar bajarilishi lozim?

qobiq sirti, sirtiga qo'yilgan tashqi kuch silliq va uzluksiz o'zgarib borishi lozim;

qobiq chetlari, uning o'rta tekislik normalini yo'nalishi bo'yicha erkin ko'chish imkoniyatiga ega bo'lishi;

qobiqning chetiga qo'yilgan tashqi kuchlar, uning o'rta sirtiga normal bo'lgan tekislikda tashkil etuvchilarga ega bo'lmasligi;

barcha javoblar to'g'ri;

8. Qobiqlar uchun nechta muvozanat tenglama hosil qilinadi?

5 ta;

6 ta;

12 ta;

3 ta;

9. Momentsiz qobiqlar uchun nechta muvozanat tenglama mavjud?

3 ta;

6 ta;

12 ta;

9 ta;

10. Agar sferik qobiq o'qqa nisbatan simmetrik yuklar bilan yuklangan bo'lsa uchta muvozanat tenglamalardan nechtasi qoladi?

ikkitasi;

uchtasi;

oltitasi;

to'rttasi;

11. Momentli nazariya asosida silindrik qobiqlar uchun $R_1 = \infty$, $R_2 = R$, Lamé koeffitsientlari nimaga teng?

$A = 1$, $B = R$.

$A = R$, $B = R$

$$A = 1, B = 1$$

$$A = 0, B = 1$$

12. Qobiqlarda 5 ta muvozanat differensial tenglamalar sistemasidan kesuvchi kuchni yo'qotsak nechta tenglama qoladi?

3 ta;

4 ta;

5 ta;

1 ta;

13. Simmetrik yuklangan silindrik qobiqlar differensial muvozanat tenglamasi qaysi javobda to'g'ri?

$$\frac{d^4 w}{dx^4} + 4\beta^4 w = \frac{q}{D};$$

$$w = e^{-\beta x} (C_1 \cos \beta x + C_2 \sin \beta x) + w^*;$$

$$M_1 = -D \frac{d^2 w}{dx^2};$$

$$M_2 = -\mu D \frac{d^2 w}{dx^2};$$

14. Chetki qirg'og'i bo'ylab yuklangan yarim cheksiz silindrik qobiqlar differensial tenglamasi yechimi quyidagi qaysi javobda to'g'ri?

$$w = e^{-\beta x} (C_1 \cos \beta x + C_2 \sin \beta x);$$

$$\frac{\partial w}{\partial x} = \beta e^{-\beta x} [-C_1 (\cos \beta x + \sin \beta x) + C_2 (\cos \beta x - \sin \beta x)];$$

$$M_1 = -D \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = -2D\beta^2 e^{-\beta x} [C_1 \sin \beta x - C_2 \cos \beta x];$$

$$Q_1 = \frac{dM_1}{dx} = -2D\beta^3 e^{-\beta x} [C_1 (\cos \beta x - \sin \beta x) + C_2 (\cos \beta x + \sin \beta x)];$$

15. Agar qobiq uchun uning momentsiz holati shartlarining birinchi ikkitasi bajarilib qolgan ikkitasi bajarilmasa, unda umumiy yechim qanday aniqlanadi?

momentsiz nazariya asosida qobiq kuchlanganlik holati va qirg'oq effekti yig'indisidan iborat deb qarash mumkin;

momentsiz nazariya asosida qobiq kuchlanganlik holati va qirg'oq effekti ayirmasidan iborat deb qarash mumkin;

momentsiz nazariya asosida qobiq kuchlanganlik holati va qirg'oq effekti ko'paytmasidan iborat deb qarash mumkin;

momentli nazariya asosida qobiq kuchlanganlik holati va qirg'och effekti yig'indisidan iborat deb qarash mumkin;

16. Yassi qobiq deb qanday qobiqqa aytiladi?

ko'tarilish balandligi f qolgan chiziqli o'lchamlariga nisbatan kichik bo'lgan qobiqqa;

ko'tarilish balandligi f qolgan chiziqli o'lchamlariga nisbatan katta bo'lgan qobiqqa;

ko'tarilish balandligi f qolgan chiziqli o'lchamlariga nisbatan ekstremal bo'lgan qobiqqa;

ko'tarilish balandligi f qolgan chiziqli o'lchamlariga nisbatan maksimum bo'lgan qobiqqa;

17. Yassi qobiqlar asosan qanday inshootlarni barpo qilishda keng qo'llaniladi?

bozorlar, ishlab chiqarish binolari va stadionlarni yopishda;

Gidro inshootlar, kanallar va boshqalarni qurishda;

Silindrik rezervuarlar va truboprovodlarda;

Samolyotlar va kemalarni loyihalashda;

18. Yassi qobiqning asosiy tenglamalar sistemasini aniqlang?:

$$D\nabla^4 w = q + K_1 \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + K_2 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}, \quad \nabla^4 \varphi = -Eh \left(K_1 \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + K_2 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right).$$

$$D\nabla^4 w = q; \quad \nabla^4 \varphi = 0.$$

$$\varphi = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} A_{mn} \varphi_{mn}; \quad w = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} B_{mn} w_{mn}.$$

$$\iint_{00}^{ah} (D\nabla^4 w - q \nabla_k^2 \varphi) w_{mn} dx dy = 0; \quad \iint_{00}^{ah} (\nabla^4 \varphi + Eh \nabla_k^2 w) \varphi_{mn} dx dy = 0.$$

19. Qobiq h qalinligining eng kichik radius R_{\min} ga bo'lgan nisbati qancha bo'lsa yupqa qobiq deb ataladi?

$$1/1500 \leq (h/R_{\min}) \leq 1/20$$

$$(h/R_{\min}) > 1/2$$

$$(h/R_{\min}) < 1/2$$

$$1/1500 \geq (h/R_{\min}) \geq 1/20$$

20. Qobiq h qalinligining eng kichik radius R_{\min} ga bo'lgan nisbati qancha bo'lsa qalin qobiq deb ataladi?

$$1/1500 \leq (h/R_{\min}) \leq 1/20$$

$$(h/R_{\min}) > 1/2$$

$$(h/R_{\min}) < 1/2$$

$$1/1500 \geq (h/R_{\min}) \geq 1/20$$

21. Yupqa qobiqlar nazariyasi qanday gipotezaga asoslanadi?

Kirxgof-Lyav gipotezaga;

kuchlar ta'sirining mustaqillik gipotezasiga;

qobiqning o'rta sirtiga paralell bo'lgan qatlamlar orasida bosim hosil bo'lmaydi;

Sen-Venan gipotezasiga;

22. Qobiqlarning egriligi deb nimaga ataladi?

qobiqlarning radiusiga teskari bo'lgan kattalikka;

qobiqlarning radiusiga proporsional bo'lgan kattalikka;

qobiqlarning radiusiga ko'paytuvchi bo'lgan kattalikka;

qobiqlarning radiusining kvadratiga proporsional bo'lgan kattalikka;

23. Qobiq o'rta sirtining Gauss egriligi deb nimaga aytiladi?

$$G = K_1 K_2.$$

$$G = \frac{K_{21}}{K_1};$$

$$G = \frac{K_1}{K_2};$$

$$G = K_1 - \frac{1}{K_2};$$

24. Qobiqning qalinligi bo'ylab ε_1 , ε_2 va γ siljish deformatsiyalari qanday qonun asosida o'zgaradi?

chiziqli qonun asosida;

giperbola qonun asosida;

parabola qonun asosida;

egri chiziqli qonun asosida;

25. Qobiqning ko'ndalang kesimida qanday ichki kuchlar hosil bo'ladi?

normal, urinma, ko'ndalang kuchlar, eguvchi va burovchi momentlar;

normal, urinma, ko'ndalang kuchlar;

eguvchi va burovchi momentlar;

normal, urinma, ko'ndalang kuchlar, eguvchi, ezuvchi va burovchi momentlar;

26. Qobiq momentli nazariyasida uning ko'ndalang kesimida qanday kuchlanishlar hosil bo'ladi?

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{h} + \frac{M_1}{I} z; \quad \sigma_2 = \frac{N_2}{h} + \frac{M_2}{I} z; \quad \tau_{12} = \frac{N_{12}}{h} + \frac{M_{12}}{I} z; .$$

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{h} + \frac{M_1}{I} z; \quad \sigma_2 = \frac{N_2}{h} + \frac{M_2}{I} z;$$

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{h}, \quad \sigma_2 = \frac{N_2}{h}, \quad \tau_{12} = \frac{S_{12}}{h}.$$

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{h}, \quad \sigma_2 = \frac{N_2}{h},$$

27. Qobiq momentsiz nazariyasida uning ko'ndalang kesimida qanday kuchlanishlar hosil bo'ladi?

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{h}, \quad \sigma_2 = \frac{N_2}{h}, \quad \tau_{12} = \frac{S_{12}}{h}.$$

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{h} + \frac{M_1}{I} z; \quad \sigma_2 = \frac{N_2}{h} + \frac{M_2}{I} z;$$

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{h} + \frac{M_1}{I} z; \quad \sigma_2 = \frac{N_2}{h} + \frac{M_2}{I} z; \quad \tau_{12} = \frac{N_{12}}{h} + \frac{M_{12}}{I} z; .$$

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{h}, \quad \sigma_2 = \frac{N_2}{h},$$

28. Qobiqning momentsiz kuchlanganlik holatida qanday ichki kuch omillari nolga teng bo'ladi?

$$M_1 = M_2 = M_{12} = M_{21} = 0$$

$$Q_1 = Q_2 = Q_{12} = Q_{21} = 0$$

$$S_1 = S_2 = 0; \quad M_{12} = M_{21} = 0$$

$$S_1 = S_2 = S_{12} = S_{21} = 0$$

29. Qobiq 5 ta muvozanat differensial tenglamasida nechta noma'lular mavjud?

$$10 \text{ ta}; \quad 12 \text{ ta};$$

$$8 \text{ ta}; \quad 6 \text{ ta};$$

30. Qobiq muvozanat differensial tenglamasidagi kesuvchi kuchni yo'qotsak 3 ta tenglama qoladi unda noma'lular nechta bo'ladi?

$$3 \text{ ta}; \quad 5 \text{ ta};$$

$$9 \text{ ta}; \quad 15 \text{ ta};$$

ADABIYOTLAR

Tavisiya etilgan asosiy adabiyotlar, xorijiy adabiyotlar va internet-saytlari ro'yxati

1. Ўзбекистон Республикасининг “Таълим тўғрисида”ги қонуни. 1997 йил 29 август. – Т.: “Адолат”, 1997.
2. Ўзбекистон Республикасининг “Кадрлар тайёрлаш миллий дастури”, 1997 йил 29 август. – Т.: “Адолат”, 1997.
3. Ўзбекистон Республикаси Олий ва ўрта махсус таълим вазирлигининг 2009 йил 14 августдаги 286-сонли “Талабалар мустақил ишларини ташкил этиш тўғрисида”ги буйруғи.
4. Ўзбекистон Республикаси Олий ва ўрта махсус таълим вазирлигининг 2009 йил 14 августдаги 286-сонли буйруғига 1-илова. “Талабалар мустақил ишларини ташкил этиш ва назорат қилиш” бўйича йўриқнома.
5. Ўразбоев М.Т. Материаллар қаршилиги. – Т.: “Ўқитувчи”, 1979. – 510 б.
6. Качурина В.К. Материаллар қаршилигидан масалалар тўплами. – Т.: 1993. – 336 б.
7. Мансуров К.М. Материаллар қаршилиги курси. – Т.: “Ўқитувчи” 1983. – 504 б.
8. Материаллар қаршилиги. Смирнов А.Ф. умумий таҳрири остида – Т.: «Ўқитувчи», 1988. – 464 б.
9. Nabiyev A. Materiallar qarshiligi. – Т.: “Yngi asr avlodi”, 2008. – 379 б
10. Қорабоев Б. Материаллар қаршилиги. Олий техника ўқув юртлари учун дарслик. – Т.: “Фан ва технология”, 2007. – 192 б.
11. Шодмонова З., Рахманов Б.Қ. Материаллар қаршилиги фанидан мисол ва масалалар. Ўқув қўлланма.Т.: 2011.-160.б.
12. Якубов Ш.М., Рахманов Б.Қ., Хамраев С.П. Материаллар қаршилиги. Ҳисоблаш-лойихалаш ишлари. Ўқув қўлланма, – Т.: “Ўқитувчи”, 2007. – 100 б
13. Хасанов С.М. Материаллар қаршилиги фанидан масалалар ечиш. – Т.: “Ўзбекистон”. 2006. – 288.б.
14. Shirinqulov T., Ismayilov K., Qo'ldashev A. Elastik-plastik plastinkalar hisobi: O'quv qo'llanma. –Т.: “TAFAKKUR-BO'STONI”, 2012, 240 – б.
15. Ismayilov K. Elastik plastik qobiqlar. Qayta ishlangan va qo'shimchalar kiritilgan ikkinchi nashr, Samarqand: “Zarafshon” nashriyoti DK, 2014. – 184-б.
16. Муслимов Н.А., Қўйсинов О.А. Касб таълими ўқитувчиларини тайёрлашда мустақил таълимни ташкил этиш. (Методик қўлланма). Т.: ТДПУ, 2006. – 52 б.
17. Муслимов Н.А., Қўйсинов О.А. Касб таълими ўқитувчиларини тайёрлашда мустақил таълимни ташкил этиш назарияси ва методикаси. Монография. – Т.: “Фан”, 2009. – 120 б.
18. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. – М.: Издательство МГТУ им.Н.Э.Баумана, 2003. – 592 с.
19. Трегулов И.Г. Сопротивление материалов и основы теории упругости. – М.: «Высшая школа», 1984. – 472 с.

20. Дарков А.И., Шпиро Г.С. Соппротивление материалов. – М.: «Высшая школа», 1989. – 624 с.
21. Варданян Г.С. и др. Соппротивление материалов теория упругости и пластичности. Основы теории с примерами расчетов. – М.: 2000. – 584с.
22. Александров А.И. и др. Соппротивление материалов. – М.: «Наука», 2001г. – 608 с.
23. Hobilov B.A., N.J.To'ychiyev. Materiallar qarshiligi. – Т.: «O'zbekiston faylasuflari milliy jamiyati», 2008. – 400 b.
24. Mirsaidov M.M. va boshqalar. Materiallar qarshiligi. – Т.: «Fan va texnologiya», 2010. – 412 b.
25. Колкунов Н.В. «Основы расчета упругих оболочек». – М.: «Высшая школа», 1972. – 396 с.
26. Ismayilov K. Siqilgan sterjenlar, plastinkalar va qobiqlarning elastiklik chegarasidan keyingi ustivorligi. – Т.: «O'zbekiston faylasuflari milliy jamiyati», 2006. – 176 b.

Xorijiy adabiyotlar

27. Beer F.P., Johnston E.R., DeWolf J.T, Mazurek.D.F. Mechanics of Materials. 7 th Edition.-New York. McGraw-Hill Education Ltd, 2015 (897p)
28. Gere J.M., Goodno B.J. Mechanics of Materials. 8th_Edition.- Canada by Nelson Education Ltd, 2013 (1098p)
29. James M. Gere-Mechanics of Materials, 6th Edition Copyright 2004 Thomson Learning, Inc. 940 p.
30. Janco Roland Hucko branislav introduction to mechanics of materials, part 1, 2013. 234 p.
31. Janco Roland Hucko branislav introduction to mechanics of materials, part 2, 2013. 160 p.
32. Goulet J. Resistance des materiaux Bordas Paris, 1976.-192
33. Surya N.Patnaik, Dale A. Hopkins-Strength of materials. 2004, Elsevier (USA). 773 p.
34. Shanley F.R. wight-strength fnflysis of aircraft structurec, NY, 1982
35. Tomasz Wierzbicki. Plates and Selle. - 2005. 102p.
36. Timoshenko S.P. S.Womowsky-kriger Thory of olastes fnd shells. McGraw-hill book company, inc New York Toronto London 1963.-635.
37. Eduard Ventse Theodor Krauthammer. Thin Plates and Shells/ Marcel.Dekker. Ins. All Rihts Reserved. New York-Basel -2001.-671p.

Foydalanish uchun tavsiya e'tilgan internet-saytlar

1. <http://www.uzsci.net>
2. <http://www.ziyo.net>
3. <http://www.my.sopramat.ru>

GLOSSARIY

1. *Mustahkamlik* – material (namuna, detal, konstruksiya elementlari) ning yemirilmasdan tashqi kuchga qarshilik ko'rsatish qobiliyatidir.

2. *Bikirlik* – konstruksiya elementlarining tashqi kuch ta'siridan katta deformatsiya hosil qilmaslik qobiliyatidir.

3. *Ustivorlik* – tashqi kuch ta'sirida konstruksiya elementlarining dastlabki muvozanat holatini saqlash qobiliyatidir.

4. *Deformatsiya* – jismlarning tashqi kuch ta'siridan o'z geometrik shaklini o'zgartirishi.

5. *Elastik deformatsiya* Δl_e – konstruksiyaga ta'sir etayotgan kuchlardan hosil bo'lgan deformatsiya konstruksiya kuchdan to'liq ozod qilinganda to'liq yo'qolib ketishi.

6. *Plastik yoki qoldiq deformatsiya* Δl_p – konstruksiya kuchdan to'liq ozod qilinganda deformatsiya yo'qolmasdan qolishi (angl. plastic).

7. *Brus* – ko'ndalang kesim o'lchamlari uzunlik o'lchamiga qaraganda juda kichik bo'lgan jismlar.

8. *Sterjen* – cho'zilishga yoki siqilishga ishlovchi bruslar.

9. *Val* – burilishga ishlovchi brus.

10. *Qobiq (obolochka)* – qalinligi qolgan boshqa o'lchamlariga nisbatan juda kichik bo'lgan egri sirt bilan chegaralangan konstruksiya qismi.

11. *Guk qonuni* – σ normal kuchlanish nisbiy chiziqli ε deformatsiyaga to'g'ri proporsional.

12. *Ko'paytma $E \cdot A$* – cho'zilishda kesim bikirligi.

13. *E* – bo'ylama elastiklik moduli (modul uprugost), materialning cho'zishga (siqilish) qarshilik ko'rsata olish xususiyatini bildiradi.

14. *Elastiklik modulining geometrik ma'nosi* – og'ma to'g'ri chiziq bilan ε o'qi orasidagi burchakning tangensi elastiklik moduliga to'g'ri proporsional $\text{tg } \alpha = \sigma / \varepsilon \approx E$.

15. *Elastiklik modulining fizik ma'nosi* – sterjenni ikki marta uzayishini ta'minlovchi kuchlanishni bildiradi. $E = \sigma$, bunda $\varepsilon = 1$ bo'ladi, $\Delta l = l$ bo'lganda. Bundan, kuchlanishning elastik deformatsiyalanish sohada qabul qiladigan haqiqiy qiymati ming marta kichik bo'ladi.

16. *Buralish* – brus ko'ndalang kesimida faqat bitta ichki kuch faktori burovchi moment hosil bo'ladi.

17. *Markaziy o'q* – o'qqa nisbatan yuzadan olingan statik moment nolga teng.

18. *Kesim og'irlik markazi* – markaziy o'qlarning kesishgan nuqtasi.

19. *Balka (to'sin)* – konstruksiya elementining to'g'ri chiziqli geometrik o'qi bo'lib, odatda brus kabi asosan egilishga ishlaydi.

20. *Konsol* – bir uchi bilan qistirib mahkamlangan balka.

21. *Egishda balka deformatsiyasi* – uning geometrik o'qining egriligi.
22. *To'plangan kuch* – inshoot yuziga nisbatan o'lchamlari kichik bo'lgan yuzachasiga qo'yilgan kuch.
23. *Hajmiy kuch* – elementning barcha zarrachalariga uzliksiz ta'sir etuvchi kuchlar.
24. *Statik yuklar* – doimiy (xususiy og'irlik yuki) yoki vaqt bo'yicha sekin o'zgaruvchi, ya'ni inersiya kuchidan hosil bo'ladigan tezlanish e'tiborga olmasa ham bo'ladigan (qor yukidan bosimning o'zgarishi).
25. *Doimiy kuchlar* – inshootlarga butun xizmat davomida uzluksiz doimiy ta'sir qiladigan kuchlar.
26. *Muvaqqat kuchlar* – inshootni ekspulatsiya davrida cheklangan vaqt oralig'ida ta'sir qiladigan kuchlar, masalan gaz balloni bosimi.
27. *Ichki yoki zo'riqish kuchlari* – konstruksiya elementini hosil qiluvchi atom zarrachalari orasidagi o'zaro ta'sir kuchlari.
28. *Bo'ylama kuch* – brusning qaralayotgan kesimdan bir tomonda ta'sir etayotgan barcha kuchlar (shu jumladan reaksiya) proeksiyalarining algebraik yig'indisiga teng.
29. *Epyura* – brus uzunligi bo'ylab ichki kuchning yoki kuchlanishning ko'ndalang kesim bo'yicha o'zgarishi qonuni ko'rsatuvchi grafik.
30. *Kuchlanish* – yuza birligiga to'g'ri kelgan ichki kuch intensivligini xarakterlaydi.
31. *Normal kuchlanish* σ – kesim yuzasiga perpendikulyar ta'sir etib konstruksiya elementini cho'zuvchi yoki siquvchi kuch intensivligi bilan xarakterlanadi.
32. *Urinma kuchlanish* τ – kesim tekisligida ta'sir etib, tekis kesimning qismini siljituvchi kuch intensivligi bilan xarakterlanadi.
33. *Ruxsat etilgan kuchlanishlar* – konstruksiya elementlarining uzoq ishlash davrida yemirilmasdah va xavf-xatarsizligini ta'minlaydigan eng katta kuchlanish.
34. *Bosh yuzalar* – urinma kuchlanishlar nolga teng bo'lgan yuzalar.
35. *Bosh kuchlanishlar* – bosh yuzalarga ta'sir qiluvchi normal kuchlanishlar.
36. *Neytral qatlam* – qatlam tolalarida normal kuchlanish hosil bo'lmaydi (tolalar cho'zilmaydigan ham, siqilmaydi ham).
37. *Neytral o'q* – neytral qatlam tekisligi bilan ko'ndalang kesim tekisligi kesishgan chiziq.
38. *Qobiq o'rta tekisligi* – qobiq qalinligini teng ikkiga bo'luvchi sirt.
39. *Qobiq egriligi* – radiusiga teskari bo'lgan kattalik.
40. *Puasson koeffitsienti* – oddiy cho'zilish yoki siqilishda ko'ndalang deformatsiyaning absolyut qiymatining bo'ylama deformatsiyaga absolyut qiymatiga nisbati.
41. *Cho'zilish diagrammasi* – cho'zuvchi kuch F bilan namunaning cho'zilihi Δl orasidagi grafik bog'lanish.

42. *Proporsionallik chegarasi* σ_{ps} – Guk qonuni bajariladigan eng katta kuchlanish.

43. *Oquvchanlik chegarasi* σ_{oq} – yuk ortmagan holda deformatsiya orta boradigan kuchlamish.

44. *Mustahkamlik chegarasi* σ_m (vaqtincha qarshilik) – namuna chidash bera oladigan eng katta yuk uning dastlabki kesim yuzasiga nisbati.

45. *Statik noaniq masalalar* – faqat statikaning muvozanat tenglamalar yordamida yechib bo'lmaydigan masalalar.

46. *Kesim yadrosi* – kesim og'irlik markazi atrofida chizilgan shunday sohaki, agar bo'ylama kuch qo'yilgan nuqta shu soha ichida yotsa, u ko'ndalang kesim yuzasining barcha nuqtalarida bir xil ishorali kuchlamishlar hosil bo'ladi.

47. *Dinamik yuklar* – juda qisqa vaqt ichida o'z qiymati yoki holatini o'zgartiradigan yuklar.

48. *Zarba* – harakatlanayotgan jismlarning juda qisqa vaqt ichida tezliklarini keskin o'zgartirish bilan bog'liq bo'lgan to'qnashuv.

ГЛОССАРИЙ

1. *Прочность* – способность материала (образца, детали, элемента конструкции) не разрушаясь сопротивляться действию внешних сил.
2. *Жесткость* – способность конструктивных элементов деформироваться без существенного изменения геометрических размеров.
3. *Устойчивость* – способность конструктивного элемента сохранять под нагрузкой первоначальную форму равновесия.
4. *Деформация* – изменение формы и размеров тела под действием приложенных сил.
5. *Деформация упругая* Δl_e – исчезающая после снятия нагрузки (от англ. elastic).
6. *Деформация пластическая* Δl_p – остающаяся после снятия нагрузки (от англ. plastic).
7. *Брус* – тело, одно из измерений которого, значительно больше двух других.
8. *Стержень* – брус, работающий на растяжение или сжатие.
9. *Вал* – брус, работающий на кручение.
10. *Оболочка* – тело, ограниченное двумя криволинейными поверхностями, расстояние между которыми (толщина оболочки) мало по сравнению с другими ее размерами.
11. *Закон Гука* – нормальное напряжение σ прямо пропорционально относительной линейной деформации ϵ .
12. *Произведение $E \cdot A$* – жесткость сечения при растяжении.
13. *E* – модуль упругости, модуль упругости первого рода, характеризует сопротивляемость материала упругой деформации при растяжении(сжатии).
14. *Геометрический смысл модуля упругости* – тангенс угла наклона начального участка диаграммы растяжения $\operatorname{tg} \alpha = \sigma / \epsilon \approx E$.
15. *Физический смысл модуля упругости* – напряжение, требующееся для удлинения стержня вдвое: $\sigma = E \epsilon$ при $\epsilon = 1$, то есть при $\Delta l = l$. Реально достижимые напряжения в упругой области деформирования примерно в тысячу раз меньше.
16. *Кручение* – вид сопротивления, при котором в поперечных сечениях бруса возникает только один внутренний силовой фактор – крутящий момент.
17. *Ось центральная* – ось, относительно которой статический момент площади равен нулю.
18. *Центр тяжести сечения* – точка пересечения центральных осей.
19. *Балка* – конструктивный элемент, с прямолинейной геометрической осью, обычно в виде бруса, работающий главным образом на изгиб.
20. *Консоль* – балка с одним зашпеленным концом.

21. *Деформация балки при изгибе* – кривизна ее геометрической оси.
22. *Сосредоточенная сила* – сила приложенные к площадкам, размеры которых малы по сравнению с размерами объекта.
23. *Объемная сила* – непрерывно распределены по объему, занимаемому элементом.
24. *Статические нагрузки* – постоянный (нагрузка от собственного веса), или медленно изменяющиеся так, что силами инерции вследствие ускорения можно пренебречь (изменение давления от снеговой нагрузки).
25. *Постоянная сила* – постоянные действуют в течение всего времени существования конструкции, например, нагрузка на фундамент здания.
26. *Временная сила* – действуют на протяжении отдельных периодов эксплуатации объекта, например, давление газа в баллоне.
27. *Внутренние усилия* – силы взаимодействия между частицами тела (кристаллами, молекулами, атомами), возникающие внутри элемента конструкции, как противодействие внешним нагрузкам.
28. *Продольная сила* – численно равны алгебраической сумме проекций всех внешних сил (в том числе и реакций), приложенных к брусу по одну сторону от рассматриваемого сечения.
29. *Эпюра* – график, изображающий закон изменения внутренних усилий или напряжений по длине бруса, а также напряжений по поперечному сечению бруса.
30. *Напряжение* – величина, характеризующая интенсивность внутренних усилий в точке.
31. *Напряжение нормальное σ* – перпендикулярное к сечению, характеризует интенсивность сил отрыва или сжатия частиц элементов конструкции.
32. *Напряжение касательное τ* – действующее в плоскости сечения, характеризует интенсивность сил, сдвигающих эти части в плоскости сечения.
33. *Допускаемое напряжение* – наибольшее напряжение, которое можно допустить в элементе конструкции при условии его безопасной, долговечной и надежной работы.
34. *Главные площадки* – площадки, на которых касательные напряжения отсутствуют.
35. *Главные напряжения* – нормальные напряжения, действующие по главным площадкам.
36. *Нейтральный слой* – слой волокон, в котором нормальные напряжения отсутствуют.
37. *Нейтральная ось* – след пересечения нейтрального слоя с плоскостью поперечного сечения.
38. *Срединной поверхностью оболочки* – поверхность, делящая толщину оболочки пополам.
39. *Кривизна оболочки* – величины обратные радиусам.

40. Коэффициент Пуассона – отношение поперечной деформации к продольной, взятое по абсолютной величине при простом растяжении или сжатии.

41. Диаграмма растяжения – график зависимости растягивающей силой F и удлинением образца Δl .

42. Предел пропорциональности σ_{III} – наибольшее напряжение, при котором справедлив закон Гука.

43. Предел текучести σ_T – напряжение, при котором деформации растут без увеличения нагрузки.

44. Предел прочности (временной сопротивление) σ_v – отношение наибольшей нагрузки, выдерживаемой образцом, к первоначальной площади его сечения.

45. Статически неопределимые задачи – которые нельзя решить с помощью только уравнение статики.

46. Ядро сечения – область очерченная вокруг центра тяжести и характерная тем, что всякая продольная сила, приложенная внутри этой области, вызывает во всех точках поперечного сечения напряжения одного знака.

47. Динамические нагрузки – которая сравнительно быстро меняет свою величину или положение.

48. Удар – взаимодействие движущихся тел в результате их соприкосновения, связанное с резкими изменением скоростей точек этих тел за весьма малый промежуток времени.

GLOSSARY

1. *Strength* – the ability of a material (a specimen, a part) without destroying resistance to the action of external forces.

2. *Rigidity* – the ability of structural elements to deform without significant changes in geometric dimensions.

3. *Stability* – the ability of a structural element to keep under load the original form of equilibrium.

4. *Deformation* – changing the shape and size of the body under the action of the applied forces.

5. *Elastic deformation* – disappearing old position after removal of the load (from the English elastic).

6. *Plastic deformation* – remaining after the removal of the load (from the English plastic).

7. A beam is a body, one of the dimensions of which is considerably larger than the other two.

8. *Rod* – bar working on tension or compression.

9. *Torsion-proof shaft*.

10. The shell is a body bounded by two curved surfaces the distance between them (the thickness of the shell) is small in comparison with its other dimensions.

11. *Hooke's law* – the normal stress σ is directly proportional to the relative linear deformation ϵ .

12. *Product EA* – the stiffness of the section when stretched.

13. *E* – modulus of elasticity, modulus of elasticity of the first kind, characterizes the resistance of the material to elastic deformation under tension (compression).

14. The geometric meaning of the modulus of elasticity is the slope of the initial segment of the tension diagram

15. The physical meaning of the modulus of elasticity is the stress required to extend the rod in half: $E = \sigma$ for $\epsilon = 1$, that is, for $\Delta l = l$. Really achievable stresses in the elastic deformation region are about a thousand times smaller.

16. Control is the kind of resistance at which only one internal force factor-torque occurs in the cross-sections of the bar.

17. The central axis is the axis with respect to which the static moment of the area is zero.

18. The center of gravity of the section is the point of intersection of the central axes.

19. *Beam* – a structural element, with a rectilinear geometric axis, usually in the form of a bar, working mainly on bending.

20. *Console* – a beam with one jammed end.

21. The deformation of a beam under bending is the curvature of its geometric axis.

22. *The concentrated force* - is applied to the sites, the dimensions of which are small in comparison with the size of the object.

23. *Volumetric force* - continuously distributed over the volume occupied by the element.

24. *Static loads* - constant (load from own weight), or slowly changing so that by inertia forces due to acceleration can be neglected (change of pressure from snow load).

25. *Fat persistence* - permanent acts throughout the lifetime of the structure, for example, the load on the foundation of the building.

26. *Temporal force* - operate during individual periods of operation of the facility, for example, the gas pressure in the cylinder.

27. *Internal forces* - the forces of interaction between body particles (crystals, molecules, atoms) arising within the structural element, as counteraction to external loads.

28. The longitudinal force is numerically equal to the algebraic sum of the projections of all external forces (including reactions) applied to the beam on one side of the cross-section in question.

29. *Diagram* - a graph depicting the law of changes in internal forces or stresses along the length of the beam, as well as stresses along the cross-section of the beam.

30. Voltage is a quantity characterizing the intensity of internal forces at a point.

31. *The stress is normal* - perpendicular to the cross section, characterizes the intensity of the forces of detachment or compression of the particles of the structural elements.

32. *The tangential stress* - acting in the plane of the section, characterizes the intensity of the forces shifting these parts in the plane of the section.

33. The allowable voltage is the highest voltage that can be tolerated in the structural member provided it is safe, durable and reliable.

34. Main areas are platforms where tangential stresses are absent.

35. Main voltages are normal voltages acting on main sites.

36. The neutral layer is a layer of fibers in which normal stresses are absent.

37. The neutral axis is the intersection of the neutral layer with the plane of the cross section.

38. The middle surface of the shell is a surface dividing the thickness of the shell in half.

39. *Cavity of the shell* - the inverse of the radii.

40. Poisson's ratio is the ratio of the transverse deformation to the longitudinal deformation, taken in absolute value for simple stretching or compression.

41. *Diagram of stretching* - graph of the dependence of tensile force and elongation of the sample.

42. The proportionality limit is the greatest stress at which Hooke's law is valid.

43. The yield strength is the stress at which the deformations grow without increasing the load.

44. *Strength (time resistance)* – the ratio of the largest load held by the sample, to the original area of its cross section.

45. *Statically indeterminate tasks* – which cannot be solved using only the static equation.

46. The core of the section is the region delineated around the center of gravity and is characterized by the fact that any prolonged force applied inside this region causes a voltage of one sign at all points of the cross section.

47. *Dynamic loads* – which comparatively quickly changes its value or position.

48. *Impact* – the interaction of moving bodies as a result of their contact, associated with a sharp change in the velocities of the points of these bodies in a very short period of time.

MUNDARIJA

Annotatsiya	3
Kirish	6
I BOB. Mustaqil ishni tashkil etishning shakli va mazmuni	7
1.1-§. Talaba mustaqil ishining maqsad va vazifalari	7
1.2-§. Talaba mustaqil ishining axborot ta'minoti	7
1.3-§. Talaba mustaqil ishini tashkil etish shakllari	8
1.4-§. Talabalar bilimini reyting tizimi asosida baholash mezonlari	12
1.5-§. Talabalarning mustaqil ishlash ko'nikma va malakalarining shakllanganligining to'rt darajasi	18
1.6-§. Talabalar mustaqil ta'limning mazmuni va hajmi	19
II BOB. Cho'zilish va siqilishda sterjenlarni mustahkamlikka hisoblash	22
2.1-§. Ruxsat etilgan kuchlanish usuli	22
2.2-§. Chegaraviy holat usuli	25
2.3-§. Xavfli yuk usuli	28
2.4-§. Mustaqil ish topshiriqlari	31
Tayanch iboralar	41
Test savollar	42
III BOB. Umimlashgan Guk qonuni	49
3.1-§. Daformatsiya komponentlarining kuchlanish komponentlari orqali ifodasi	49
3.2-§. Guk qonunining teskari ifodasi	52
Tayanch iboralar	54
Test savollar	54
IV BOB. Bosh kuchlanishlar, ekstremal urinma kuchlanishlar va oktaedrik kuchlanishlar	61
4.1-§. Kuchlanishlarni belgilash va ularning ishoralari	61
4.2-§. Jism nuqtasi kuchlanganlik holati. Bosh kuchlanishlar	62
4.3-§. Mustaqil ish topshiriqlari	81
Tayanch iboralar	82
Test savollar	82
V BOB. Jism nuqtasining deformatsiya holati. Bosh deformatsiyalar	90
5.1-§. Bosh deformatsiyalar. Nuqtaning kuchlanganlik va deformatsiyalangan holatlarining o'xshashligi	90
Tayanch iboralar	101
Test savollar	101
VI BOB. Buralish deformatsiyasi	108
6.1-§. Doira kesimli to'g'ri brusning buralishi	108
6.2-§. Burovchi moment va uning epyurasini qurish	109
6.3-§. Val kesimidagi kuchlanishlarni hamda kesimning buralish burchagini aniqlash	111
6.4-§. Valmi mustahkamlikka va bikirlikka hisoblash	116
6.5-§. To'g'ri to'rtburchak kesimli sterjen (val) larning buralishi	119
6.6-§. Mustaqil ish topshiriqlari	121

Tayanch iboralar	126
Test savollar	126
VII BOB. Egilish deformatsiyasi	134
7.1-§. Qo'shma to'sinlarni mustahkamlikka hisoblash	134
7.2-§. Cho'zilib va siqilishda elastiklik modullari turli bo'lgan to'sinlar hisobi	139
7.3-§. Teng qarshilik ko'rsatuvchi to'sinlar	144
Tayanch iboralar	146
Test savollar	147
VIII BOB. Elastik zaminda yotuvchi to'sinlar	154
8.1-§. Elastik Fussa-Vinkler zaminda yotuvchi to'sin egilgan o'qining differensial tenglamasi	154
8.2-§. Yaxlit elastik zaminda yotuvchi cheksiz uzun to'sinlar hisobi	156
8.3-§. Yaxlit elastik zaminda yotuvchi yarim cheksiz uzun to'sinlar hisobi	159
8.4-§. Yaxlit elastik zaminda yotuvchi chekli uzunlikli va bikirlikli to'sinlar hisobi	160
8.5-§. Boshlang'ich parametrlar usuli	161
8.6-§. Mustaqil ish topshiriqlari	175
Tayanch iboralar	177
Test savollar	177
IX BOB. STERJENLARNING BO'YLAMA EGILISHI	185
9.1-§. Asosiy tushunchalar	185
9.2-§. Siqilgan sterjenning to'rtinchi tartibli ustuvorlik differensial tenglamasi	188
9.3-§. O'zgaruvchi kesimli sterjenlarning ustuvorlik masalasi	192
9.4-§. Sterjenning bo'lama-ko'ndalang egilishi	197
9.5-§. Mustaqil ish topshiriqlari	203
Tayanch iboralar	206
Test savollar	206
X-BOB. . Yupqa devorli idishlar (qobiqlar) hisobi	213
10.1-§. Qobiqlarni hisoblash	213
1.1. Asosiy tushunchalar. Qobiqlar geometriyasidan ba'zi ma'lumotlar	213
1.2. Qobiqdagi deformasiya va ko'chishlar	216
1.3. Qobiq kesimidagi ichki kuchlar va momentlar	218
1.4. Qobiq muvozanat differensial tenglamasi	221
10.2-§. Momentsiz nazariya asosida sferik va silindrik idishlarni hisoblash	226
2.1. Momentsiz nazariya asosida silindrik qobiqlar hisobi	226
2.2. Momentli nazariya asosida silindrik qobiqlar hisobi	228
10.3-§. Silindrik qobiqda chegaraviy effekti	231
3.1. Simmetrik yuklangan silindrik qobiqlar hisobi	231
3.2. Chetki qirg'og'i bo'ylab yuklangan yarim cheksiz silindrik qobiqlar hisobi	232

10.4-§. Yassisimon qobiqlar nazariyasi asdslari	235
10.5-§ Mustaqil ish topshiriqlari	244
Tayanch iboralar	246
Test savollar	247
Adabiyotlar	253
Glossariy	255

ОГЛАВЛЕНИЕ

Аннотация	3
Введение	6
I ГЛАВА. Формы организации и содержание самостоятельной работы	7
1.1-§. Цель и задачи самостоятельной работы студентов	7
1.2-§. Информационная обеспечение самостоятельной работы студентов	7
1.3-§. Формы организации самостоятельной работы студентов	8
1.4-§. Оценка критерий и знание студентов на основе рейтинговой системе	12
1.5-§. Четырёх ступенчатое формирование квалификации и навыки студентов в самостоятельной работе	18
1.6-§. Объем и содержание самостоятельного образования	19
II ГЛАВА. Расчет на прочность растянутых и сжатых стержней	22
2.1-§. Метод допускаемых напряжений	22
2.2-§. Метод предельных состояний	25
2.3-§. Метод разрушающих нагрузок	28
2.4-§. Задания для самостоятельной работы	31
Ключевые слова	41
Вопросы теста	42
III ГЛАВА. Обобщенный закон Гука	49
3.1-§. Выражение компонентов деформации через компонентов напряжений	49
3.2-§. Выражение обратной закона Гука	52
Ключевые слова	54
Вопросы теста	54
IV ГЛАВА. Главные напряжения. Экстремальные касательные напряжения и октаэдрические напряжения	61
4.1-§. Обозначение напряжения и их знаки	61
4.2-§. Напряженное состояние в точке тела	62
4.3-§. Задания для самостоятельной работы	81
Ключевые слова	82
Вопросы теста	82
V ГЛАВА. Деформационное состояние в точке тела. Главные деформации	90
5.1-§. Главные деформации. Подобие напряженного и деформированного состояния в точке	90
Ключевые слова	101
Вопросы теста	101
VI ГЛАВА. Деформация кручение	108
6.1-§. Кручение прямого бруса с круглым сечением	108
6.2-§. Крутящий момент и построение их эпюр	109

6.3-§. Определение напряжений и угол закручения в сечениях вала	111
6.4-§. Расчет валов на прочность и жесткость	116
6.5-§. Кручение стержня с прямоугольным сечением	119
6.6-§. Задания для самостоятельной работы	121
Ключевые слова	126
Вопросы теста	126
VII ГЛАВА. Деформация при изгибе	134
7.1-§. Расчет составных балок	134
7.2-§. Расчет балок при растяжение и сжатие с различными модулями упругости	139
7.3-§. Балки равного сопротивления	144
Ключевые слова	146
Вопросы теста	147
VIII ГЛАВА. Балки на упругом основании	154
8.1-§. Дифференциальное уравнение изгиба балки на упругом основании Фусса-Винклера	154
8.2-§. Расчет бесконечно длинных балок на сплошном упругом основании	156
8.3-§. Расчет полубесконечных балок на сплошном упругом основании	159
8.4-§. Расчет балок конечной длины и жесткости на сплошном упругом основании	160
8.5-§. Метод начальных параметров	161
8.6-§. Задания для самостоятельной работы	175
Ключевые слова	177
Вопросы теста	177
IX ГЛАВА. Продольно изгиб стержней	185
9.1-§. Основные понятия	185
9.2-§. Дифференциальное уравнение устойчивости сжатого стержня четвертого порядка	188
9.3-§. Задачи устойчивости стержней равного сопротивления	192
9.4-§. Продольно-поперечный изгиб стержней	197
9.5-§. Задания для самостоятельной работы	203
Ключевые слова	206
Вопросы теста	206
X ГЛАВА. Расчет оболочек	213
10.1-§. Расчет тонкостенных резервуаров (оболочек)	213
1.1. Основные понятия.	
Некоторые сведения о геометрии оболочек	213
1.2. Перемещения и деформация оболочек	216
1.3. Усилия и моменты в сечениях оболочки	218
1.4. Дифференциальные уравнения равновесия оболочек	221
10.2-§. Расчет на основе безмоментной теории тонкостенных резервуаров	226
2.1. Расчет сферической оболочки по безмоментной теории	226

2.2. Расчет цилиндрической оболочки по моментной теории	228
10.3-§. Краевой эффект в цилиндрической оболочке	231
3.1. Расчет цилиндрических оболочек на симметричные нагрузки	231
3.2. Расчет длинных цилиндрических оболочек нагруженную на торц определенными силами тонкостенных	232
10.4-§. Основы теории пологих оболочек	235
10.5-§. Задания для самостоятельной работы	244
Ключевые слова	246
ВОПРОСЫ ТЕСТА	247
Литературы	253
Глоссарий	255

TABLE OF CONTENTS

Annotation	3
Introduction	6
I CHAPTER. Forms of organization and content of independent work	7
1.1-§. The purpose and objectives of the students' hard work.....	7
1.2-§. Information support for independent work of students.....	7
1.3-§. Forms of organization of students' steady work.....	8
1.4-§. Evaluation of the criterion and knowledge of students based on the rating system.....	12
1.5-§. Four-step formation of skills and skills of students in self-employed work...	18
1.6-§. Scope and content of independent education.....	19
II CHAPTER. Calculation of the strength of stretched and compressed rods	22
2.1-§. Stress Tolerance Method.....	22
2.2-§. Method of limit states.....	25
2.3-§. Method of destructive loads.....	28
2.4-§. Tasks for independent work.....	31
Keywords.....	41
Test questions.....	42
III CHAPTER. The generalized Hooke's law	49
3.1-§. Expression of strain components through stress components.....	49
3.2-§. Expression of Hooke's inverse law.....	52
Keywords.....	54
Test questions.....	54
IV CHAPTER. The main stresses. Extreme tangential stresses and octahedral stresses	61
4.1-§. The stress designation and their signs.....	61
4.2-§. Stress at the point of the body. Main stresses.....	62
4.3-§. Tasks for independent work.....	81
Keywords.....	82
Test questions.....	82
V CHAPTER. Deformational state at the point of the body	90
Major deformations	90
5.1-§. Major deformations. Similarity of a stressed and deformed state at a point	90
Keywords.....	101
Test questions.....	101
VI CHAPTER. Deformation torsion	108
6.1-§. Torsion of a straight bar with a circular cross-section.....	108
6.2-§. Torque and construction of their diagrams.....	109
6.3-§. Determination of stresses and angle of twist in the shaft sections	111
6.4-§. Calculating the shafts for strength and rigidity.....	116
6.5-§. Torsion of a rod with a rectangular section.....	119
6.6-§. Tasks for independent work.....	121
Keywords.....	126
Test questions.....	126
VII CHAPTER. Straight Bend	134
7.1-§. Calculation of composite beams.....	134

7.2-§. Calculation of beams during stretching and compression with various elastic moduli.....	139
7.3-§. Beams of equal resistance.....	144
Keywords.....	146
Test questions.....	147
VIII CHAPTER. Beams on the elastic foundation.....	154
8.1-§. The differential equation for the bending of a beam on an elastic Fuss-Winkler base	154
8.2-§. Calculation of infinitely long beams on a solid elastic base.....	156
8.3-§. Calculation of semi-infinite beams on a solid elastic base.....	159
8.4-§. Calculation of beams of finite length and rigidity on a solid elastic base	160
8.5-§. Method of initial parameters.....	161
8.6-§. Tasks for independent work.....	175
Keywords.....	177
Test questions.....	177
IX CHAPTER. Longitudinal bending of rods.....	185
9.1-§. Basic concepts.....	185
9.2-§. The differential equation of stability of a compressed rod of the fourth order.....	188
9.3-§. The problem of stability of rods of equal resistance.....	192
9.4-§. Longitudinal-transverse bending of rods.....	197
9.5-§. Tasks for independent work.....	203
Keywords.....	206
Test questions.....	206
X CHAPTER. Shell calculation.....	213
10.1-§. Calculation of thin-walled tanks (shells).....	213
1.1. Basic concepts. Some information about geometry Shells	213
1.2. Movements and deformation of shells.....	216
1.3. The forces and moments in the shell sections.....	218
1.4. Differential Equilibrium Equations of Shells.....	221
10.2-§. Calculation of thin-walled tanks. Calculations based on the membrane theory of thin-walled reservoirs.....	226
2.1. Calculation of the spherical shell by membrane theory.....	226
2.2. Calculation of the cylindrical shell by the moment theory	228
10.3-§. Edge effect in a cylindrical shell.....	231
3.1. Calculation of cylindrical shells on symmetric loads.....	231
3.2. Calculation of long cylindrical shells loaded on the end by the finite forces of thin-walled.....	232
10.4-§. The basic theory of shallow shells.....	235
10.5-§. Tasks for independent work.....	244
Keywords.....	246
Test questions.....	247
References.....	253
Glossary	255

Ilmiy nashr

KUBAYMURAT ISMAYILOV
SOBIRJON KAXXOROVICH TOSHEV
OLIMJON ISMOILOVICH ESHNIYAZOV
SIROJIDDIN SAYDILLAYEVICH AMANOV

MATERIALLAR QARSHILIGI

O'quv qo'llanma

Muharrir: *D. Ismoilova*
Badiiy muharrir: *A. Mamasoliyev*
Texnik muharrir: *A. Qayumov*
Sahifalovchi: *D. Akramov*

“MASHHUR-PRESS NASHRIYOTI”
Nashriyot litsenziyasi № № AI. 282. 11.01.2016.

100129, Toshkent, Islom Karimov ko'chasi, 16a-uy.
tel: (+99890) 900-75-77 (+99894) 659-94-62
E-mail: mashkhur-press@mail.ru

Bosishga 2017 yil 11 dekabrda ruxsat berildi.
Bichimi 60x84 ¹/₁₆.
Ofset usulida bosildi. «Times New Roman» garniturasida.
Nashr bosma tabog'i 20,5. Adadi 1000 ta.
Bahosi kelishilgan narxda

«Avto–nashr» XK bosmaxonasida chop etildi.
Manzil: Toshkent shahri, 8–ko'chasi, 57–uy.