

K. Ismayilov, S. K. Toshev,
S. S. Amanov, D. S. Xoliqov,

MATERIALLAR QARSHILIGI

5340200 – Bino va inshootlar qurilishi,
5140300 – Mexanika



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

K.Ismayilov,
S.K.Toshev, S.S.Amanov, D.Sh.Xoliqov

MATERIALLAR QARSHILIGI

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

TOSHKENT
«MASHHUR-PRESS»
2019

539.3/. 6.(07)

22.311

I-81

I-81 Ismayilov Kubaymurat

Materiallar qarshiligi. [Matn] o'quv qo'llanma.

K.Ismayilov, S.K.Toshev, S.S.Amanov, D.Sh.Xoliqov

Toshkent. "MASHHUR-PRESS", 2019- 320 bet.

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.

O'quv qo'llanmada mustaqil ishlarini tashkil etish, nazorat qilish va baholash, qisqacha nazariy ma'lumotlar, masalalarni yechish uchun namunalari 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 ba 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: 539.3/. 6.(07)

KBK 22.311

O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi oliy o'quv yurtlari ilmiy-uslubiy va o'quv-uslubiy birlashmalari faoliyatini muvofiqlashtiruvchi kengashi darslik sifatida tavsiya etgan.

ISBN978 9943 5672 52

© K. Ismayilov S.K.Toshev, S.S.Amanov, D.Sh.Xoliqov

© "MASHHUR-PRESS" nashriyoti DK, 2019.

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 hozirgacha birortaham o'uv adabiyot bo'lmaganligi uchun ushbu o'quv qo'llanma, mualliflar tomonidan yozilgan.

O'quv qo'llanmada mustaqil ishni tashkil etishning shakli, mazmuni, hajmi, axborot texnologiyasi, nazorat qilish va baholash me'zoni va mavzular: cho'zilish va siqilishda sterjenlarni mustahkamlikka hisoblash usullari, hamda mustaqil ish topshiriqlari, umumlashgan Guk qonuni 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 modulli balkalar hisobi, egilgan to'sinlarning ko'chishlarini aniqlash, dinamik yuklar, 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 обеспечение 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 bilimni 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«06» iyundagi «3» sonli buyrug‘i bilan tasdiqlangan o‘quv dasturi va mualliflarning 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. Xususan, bakalavriat bosqichi 5111000–“Kasb talimi (Bino va inshootlar qurilishi)”, 5340500- “Qurilish materiallari, buyumlar va konstruksiyalarni ishlab chiqarish”, 5340200-“Bino va inshootlar qurilishi” ta’lim yo‘nalishlari «Materiallar qarshiligi» fani bo‘yicha mustaqil ishlarning umumiy hajmi o‘quv rejada 81 soat miqdorida belgilangan.

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 ishining 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 ishlash;
- internet tarmog'idan maqsadli foydalanish,
- berilgan topshiriqning ratsional yechimini belgilash;
- ma'lumotlar bazasini tahlil 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 mustaqil 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 namunalar yaratish;
- ilmiy maqola, anjumanga ma'ruza tezislarini 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 ishlashni 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 talabalarining 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 guruhlarga 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. Seminarlar davomida amaliyot uchun muhim bo'lgan muammoli savollar qo'yiladi va ularga ko'pchilik hamkorligida javob izlanadi. Munozarali seminarlar tashkil qilish talabalarining 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-chi 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-chi 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-chi hisoblash-grafik ishi

1. Brusni buralishga hisoblash.
2. Brusni qiyshiq egilishga hisoblash.

4-chi 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 yo'l-yo'riqlar, ko'rsatmalar 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 tezislarini 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 mezonlari

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 talabalarining 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 shakllarda 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 o'quv faniga ajratilgan umumiy soatlar hajmidan kelib chiqqan holda bir semestrda bir yoki ikki marta o'tkaziladi va shakli (yozma, og'zaki, test va hokazo) 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.

Talabaning bilim saviyasi, ko'nikma va malakalarini nazorat qilishning reyting tizimi asosida talabaning 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. Talabaning saralash balidan past bo'lgan o'zlashtirishi reyting daftarchasida qayd etilmaydi.

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

• Talabaning 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 faninning 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:

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

Talabaning materiallar qarshiligi fani bo'yicha o'zlashtirish ko'rsatkichlarini aniqlaymiz:

- oraliq nazoratida mustaqil ish ko'rsatkichi:

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

-oraliq nazorat ko'rsatkichi:

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

- jami oraliq nazorat ko'rsatkichi:

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

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

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

- joriy nazorat ko'rsatkichi:

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

- jami joriy nazorat ko'rsatkichi:

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

Talabalar ON dan to'playdigan ballarning namunaviy mezonlari

№	Ko'rsatkichlar	ON ballari		
		Maksi mal	1-ON	2-ON
1	Darslarga qatnashganlik darajasi. Ma'ruza darslaridagi faolligi, konspekt daftarlarining yuritilishi va to'liqligi.	2	0-1	0-1
2	Talabalarining mustaqil ta'lim topshiriqlarini o'z vaqtida sifatli bajarishi	4	0-2	0-2
	Talabalarining mustaqil ta'lim topshiriqlarini o'zlashtirishi.	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:

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

- yakuniy nazorat ko'rsatkichi:

- jami yakuniy ko'rsatkichi:

$$J.YaN = 20 + 10 = 30 \text{ ball.}$$

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		
		Maks imal	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 daftarlarning 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

№	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 nazoratda "Yozma ish"larni baholash mezonlari

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 talabaning yakuniy nazorat bo'yicha o'zlashtirish bali hisoblanadi.

1.5-§. Talabalarining 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 bilangina cheklandilar. Mustaqil ta'lim darajalarini baholashda qiyinchiliklarga duch keldilar. Mustaqil ishlash turlaridan namunalar bo'yicha mustaqil ishlar bajarish ko'nikmalarigagina ega bo'ladilar. Mustaqil faoliyat olib borish malakalari materiallarni o'rganishda umumiydan muhimlarini ajratib olish malakasiga ega bo'ladilar. Mustaqil ishlashga yetarlicha vaqt ajratmaydilar, berilgan vazifani o'qituvchi topshirig'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, berilgan namunalarga asoslanib mantiqiy yechimlarga kelish, 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‘ullanish lozimligini anglab etadilar. Texnik - uslubiy muammolarni yechishda ijodkorlik darajalari yetarli. Evristik turdagi mustaqil ishlarni 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, olingan ma’lumotlarni tahlil qila oladilar. Yangiliklar, ixtirolar yaratishga, ijodiy tadqiqot ishlari 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’liminng mazmuni va hajmi

T/R	Mustaqil ta’lim mavzulari	Berilgan topshiriqlar	Bajarilish muddat.	Hajmi (soatda)	
				Barcha	BvaIQ, QMB
1	Yangi materiallarning mexanik xususiyatlarini tajribada o‘rganish. Mexanik xususiyatlarga omillarning radioaktiv nurlanish, namlik va h.k.) ta’siri	Adabiyotlardan konspekt qilish. Masalalar yechish Individual topshiriqlarni bajarish	3,4 – hafta lar	4	4
2	Sterjenlarni mustahkamlikka tekshirishda xavfli yuklar,	Adabiyotlardan konspekt qilish.	5,6- hafta	4	4

	chegaraviy holatlar usuli	Masalalar yechish Individual topshiriq larni bajarish	lar		
3	Deformatsiyalanuvchi jism nuqtalaridagi um-umlashgan hajmiy kuchlanish holati. Guk qonunlari. Guk qonuni teskari ifodasi	Adabiyotlardan konspekt qilish. Masalalar yechish Individual topshiriq larni bajarish	7, 8- Haftalar	4	4
4	Bosh kuchlanishlar, ekstremal urinma kuchlanishlar va oktaedrik kuchlanishlar	Adabiyotlardan konspekt qilish. Masalalar yechish Individual topshiriq larni bajarish	9,10- haftalar	8	8
5	Bosh deformatsiyalar, nuqtadagi kuchlanganlik va deformatsiyalangan holatlarning o'xshashligi.	Adabiyotlardan konspekt qilish. Masalalar yechish Individual topshiriq larni bajarish	11,12- haftalar	4	4
6	Buralish deformatsiyasi. To'g'ri to'rtburchak sterjenlar-ning buralishi. Yupqa devorli sterjenlarning erkin va erkin bo'lmagan buralishi. Buralishda kuchlanganlik va deformatsiya holatlarining tahlili	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 modullari 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'qining differensial tenglamasi. Yaxlit elastik zaminda yotuvchi qisqa balkalar hisobi. Boshlang'ich parametrlar usuli	Adabiyotlardan konspekt qilish. Masalalar yechish Individual topshiriqlarni bajarish	17,18- Haftalar	8	8
9	Egri bruslar hisobi. Egri brusning cho'zil ishi va siqilishi, sof egilishi. Egri	Adabiyotlardan konspekt qilish. Masalalar yechish	1-5- Haftalar	4	4

	bruslarni mustahkamlikka tekshirish	Individual topshiriqlarni bajarish			
10	Sterjen bo'ylama egilishi. O'zgaruvchan kesimli sterjenlarning ustivorlik masalasi. Tarqalgan kuchlarning ta'siridagi sterjenlarning ustivorlikka hisoblash. Sterjenlarning bo'ylama - ko'ndalang egilishi.	Adabiyotlardan konspekt qilish. Masalalar yechish Individual topshiriqlarni bajarish	6-10-haftalar	8	8
11	Vaqt bo'yicha davriy o'zgaruvchan kuchlanishlarda materiallarning mustahkamligi. To'liq yemirilish va uning sabablari. Kuchlanishlar sikllarining turlari	Adabiyotlardan konspekt qilish. Masalalar yechish Individual topshiriqlarni bajarish	11-14-Haftalar	8	8
12	Chidamlilik chegarasi haqida tushuncha vak chegaraga ta'sir etuvchi omillar. O'zgaruvchanda kuchlanishlarda mustahkamlikka oid hisoblar	Adabiyotlardan konspekt qilish. Masalalar yechish Individual topshiriqlarni bajarish	15- 16-haftalar	5	5
13	Yupqa devorli idishlarni hisoblash. Yupqa devorli idishlar hisobida momentsiz nazariya asosida sferik va silindrik idishlarni hisoblash. Silindrik qobiqda chegaraviy effekt	Adabiyotlardan konspekt qilish. Masalalar yechish Individual topshiriqlarni bajarish	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 usulilarini keyingi boblarda qaraymiz.

2.I-§. 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

<i>Materiallarning nomi</i>	<i>Oquvchanlik chegarasi</i> $\sigma_{oq.ch}$ MPa	<i>Mustahkamlik chegarasi MPa</i>	
		<i>Cho'zilishda</i> $\sigma_{ch.m}$	<i>Siqilishda</i> $\sigma_{s.m}$
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 Xromkremlı	390	530	
12u2SMF ligerlangan 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 matariallardan tayyorlangan konstruksiya 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 tashlagandan keyingi yuza.

Ushbu (2.4) ifodadan foydalanib, sterjen uchun aniqlanishi 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

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 gruruh chegaraviy holati konstruksiyaning yuk ko'tarish qobiliyatini – mustahkamlik yoki ustuvorligini yo'qotishi bilan aniqlanadi.

Ikkinchi gruruh 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 mustahkamlik 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	10	13	2,4
egilishda	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 yozilidi:

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

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:

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

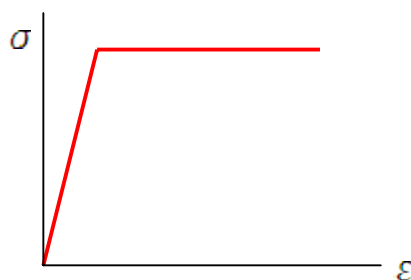
$$\sigma_s = \frac{N_s}{A} \leq \gamma_{i.ch} \cdot R_s \cdot \quad (2.15)$$

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

Bu formulalardagi bo‘ylama kuchlar absolyut qiymatlari bilan olinadi.

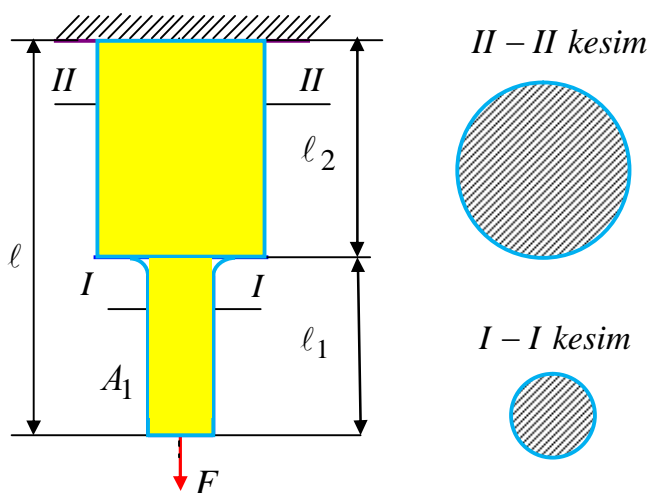
2.3-§. Xavfli yuk usuli

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'zgaras 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.

$$\begin{aligned} \sum Z = 0; \quad N_1 \cos \alpha + N_2 \cos \alpha - F &= 0; \\ \sum X = 0; \quad -N_1 \sin \alpha + N_2 \sin \alpha &= 0. \end{aligned} \quad (2.17)$$

Bu tenglamalardan

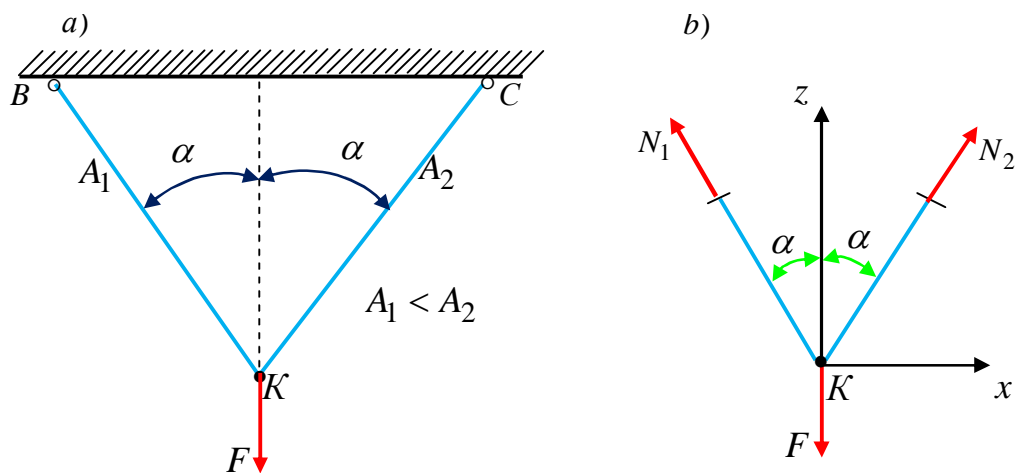
$$N_1 = N_2 = \frac{F}{2 \cos \alpha}. \quad (2.18)$$

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:

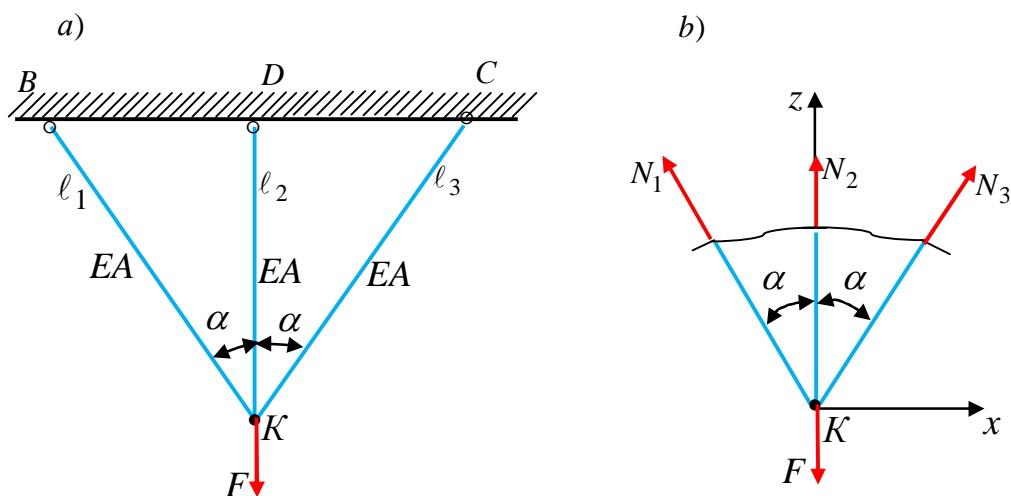
$$F_{xavf} = 2\sigma_m A_1. \quad (2.20)$$



2.3-chizma. Sterjenlar sistemasi.

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

1. Statik aniqmas sterjenlar sistemasida oquvchanlik chegarasiga teng bo'lgan kuchlanish avval o'rtadagi sterjenlarda paydo bo'ladi $N_{2oq} = \sigma_{oq} \cdot A$;
2. Statik aniqmas sterjenlar sistemasida oquvchanlik chegarasiga teng bo'lgan kuchlanish avval chetki sterjenlarda paydo bo'ladi;
3. Statik aniqmas sterjenlar sistemasida oquvchanlik chegarasiga teng bo'lgan kuchlanish barcha sterjenlarda hosil bo'ladi.



2.4-chizma. Statik aniqmas 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:

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

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

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 - mustahkamlikning ehtiyotlik koeffitsienti.

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:

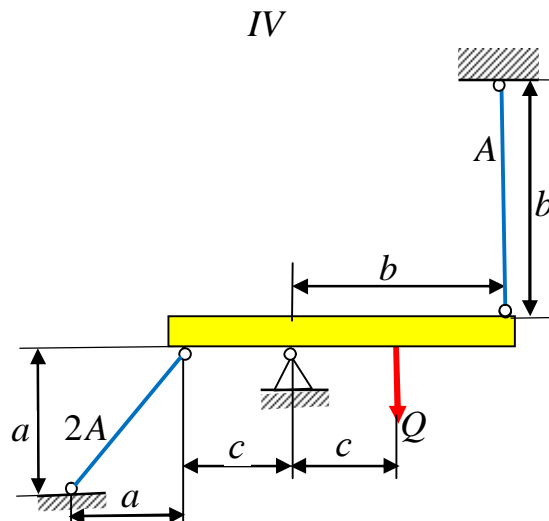
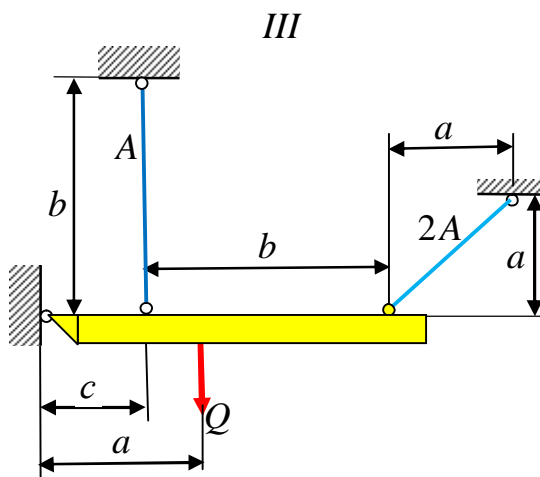
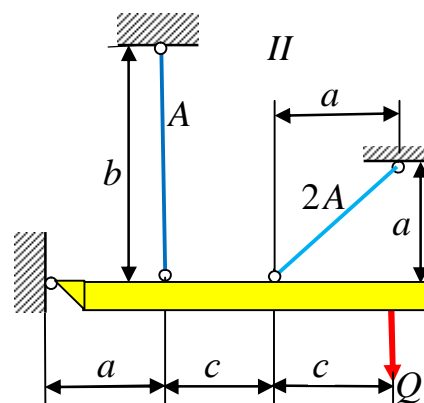
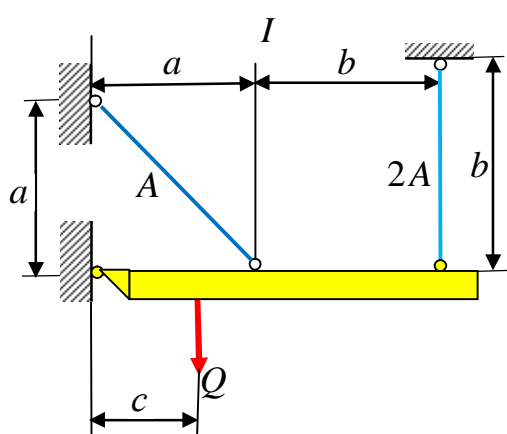
1) sterjenlarda hosil bo'lgan zo'riqish kuchlari va kuchlanishlar Q orqali aniqlansin;

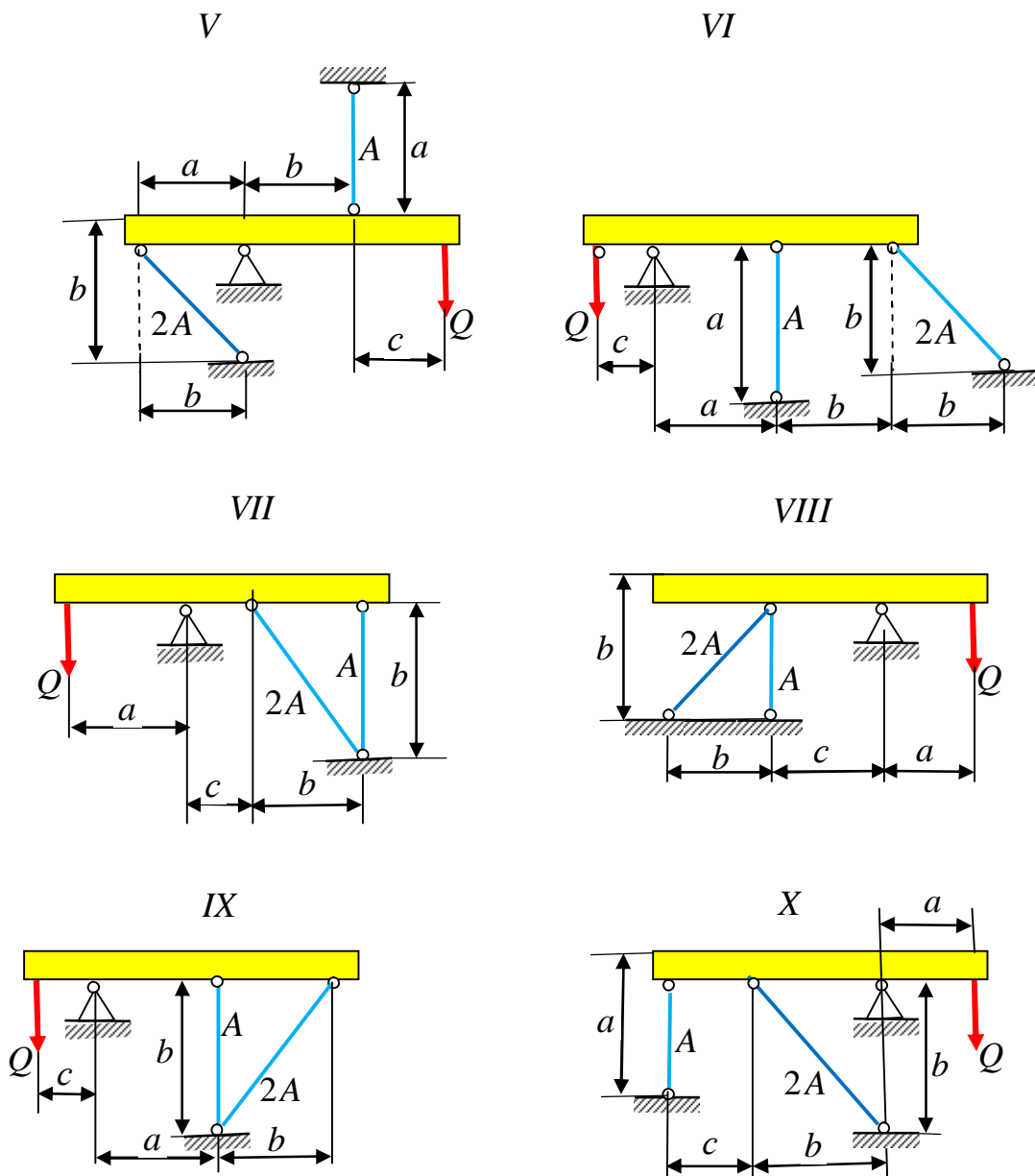
2) ruxsat etilgan Q_{rux} kuch aniqlansin, har ikkala sterjenlarda hosil bo'lgan eng katta kuchlanish $[\sigma] = 160 MPa$;;

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

2.3 -jadval.

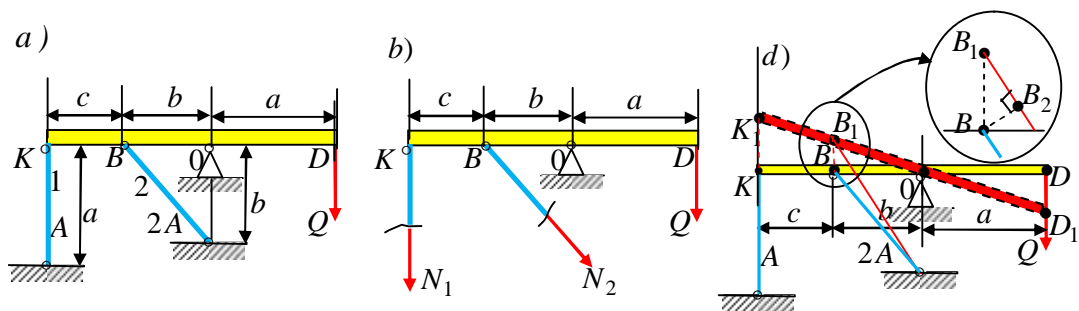
№Tartib raqami	Chizma №	A, sm^2	a	b	c	N, kN	$10^5 \beta$
			m				
1	I	11	2,1	2,1	1,1	110	5
2	II	12	2,2	2,2	1,2	120	4
3	III	13	2,3	2,3	1,3	130	3
4	IV	14	2,4	2,4	1,4	140	2
5	V	15	2,5	2,5	1,5	150	1
6	VI	16	2,6	2,6	1,6	110	5
7	VII	17	2,7	2,7	1,7	120	4
8	VIII	18	2,8	2,8	1,8	130	3
9	IX	19	2,9	2,9	1,9	140	2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





2.5-chizma. Sterjenli konstruksiyalar.

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



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 tayanib 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 O 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 O nuqtaga nisbatan olingan momentlarning algebraik yig'indisini nolga tenglaymiz:

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

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_1B_2 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:

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

Unda yuqorida keltirilgan nisbat quyidagicha ifodalanadi:

$$\frac{\Delta l_2}{b \cos 45^0} = \frac{\Delta l_1}{(c+b)}; \quad \Delta l_2 = \frac{b \cos 45^0}{(c+b)} \Delta l_1$$

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

$$\Delta l_1 = \frac{N_1 \ell_1}{EA_1}; \quad \Delta l_2 = \frac{N_2 \ell_2}{EA_2}.$$

Qo'shimcha tenglama quyidagi ko'rinishga keladi.

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

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 $[\sigma] = 160 \text{ MPa}$ 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 $\sigma_{oq} = 240MPa$ chegarasiga tenglashadi. Birinchi sterjenda kuchlanish oquvchanlik $\sigma_{oq} = 240MPa$ chegarasiga tenglashganda yuk ortsa ham biroz vaqt kuchlanish ortmaydi, unda ikkinchi sterjendagi kuchlanish ham oquvchanlik $\sigma_{oq} = 240MPa$ 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'ysak, u quyidagi ko'rinishga keladi:

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

$$Q_{oq} = \frac{(c+b) \cdot \left(\frac{c+b}{a}\right) \cdot \sigma_{oq} \cdot A + \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot b \cdot \sigma_{oq} \cdot 2A}{a} = \frac{17,64 + 9,03}{9} \cdot \sigma_{oq} \cdot A = 862,272kN.$$

Chegaraviy kuchni quyidagi formuladan aniqlaymiz:

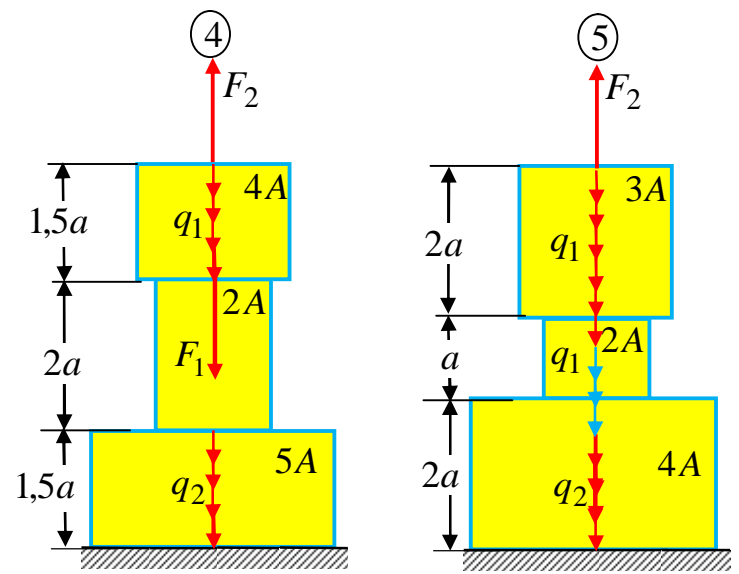
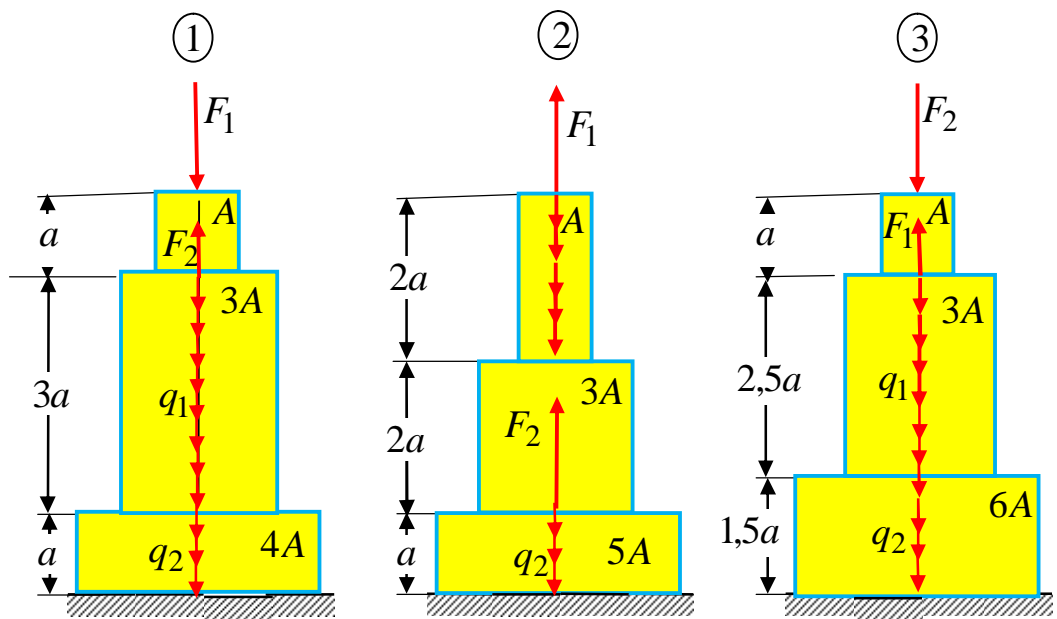
$$Q_{cheg} = \frac{Q_{oq}}{K} = \frac{862,272}{1,5} = 574,848kN.$$

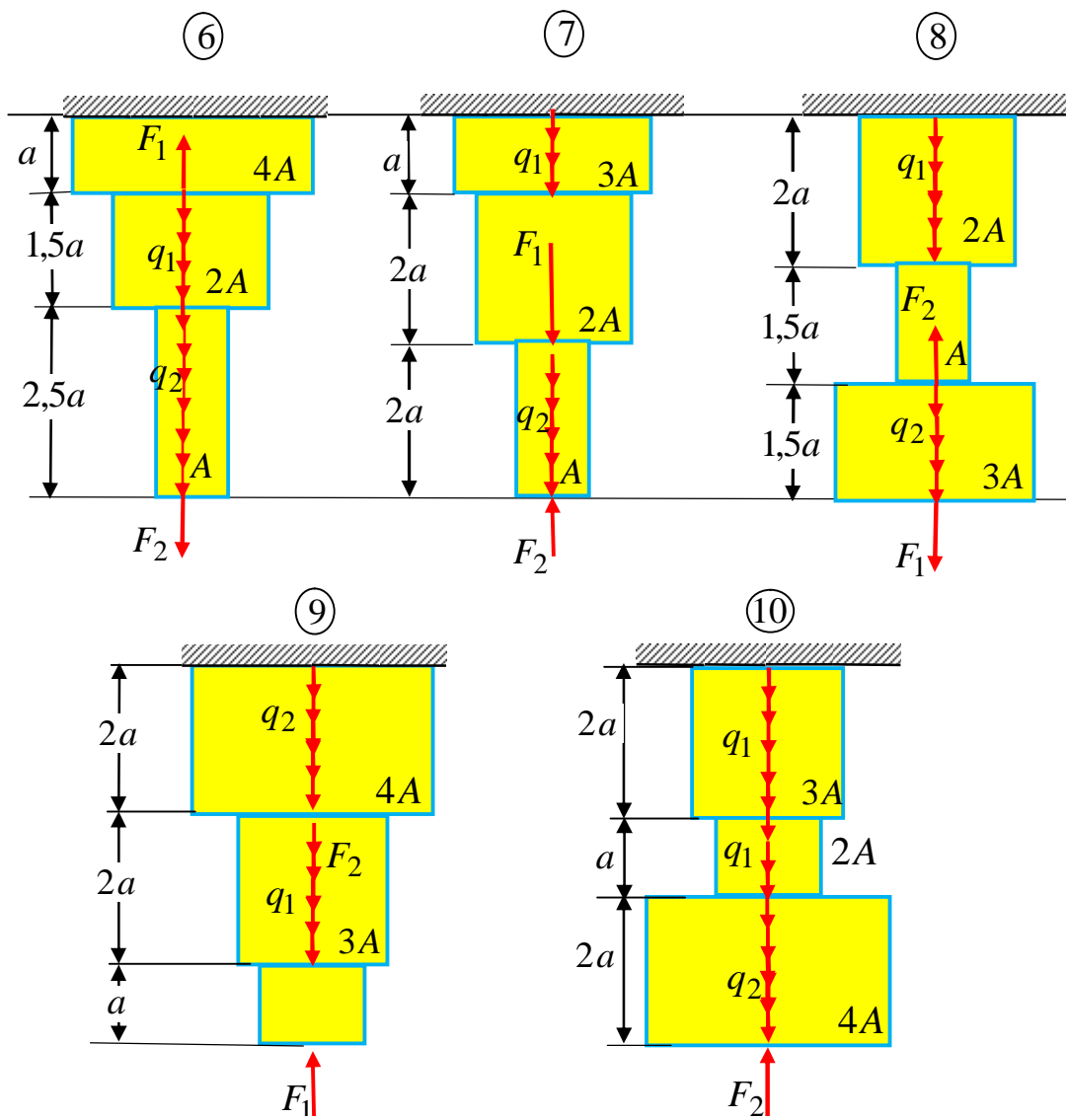
4. Har ikkala usulda aniqlangan kuchlarni taqqoslaymiz:

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

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.





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

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	$2 \cdot 10^8$
2	II	2	20	220	80	20	14	$2,2 \cdot 10^8$
3	III	1,6	18	200	100	18	10	$2,1 \cdot 10^8$
4	IV	2,6	24	100	120	24	16	$1,12 \cdot 10^8$
5	V	2,4	15	120	85	22	18	$2,2 \cdot 10^8$
6	VI	1,2	28	240	90	16	20	$2 \cdot 10^8$

7	VII	2,6	30	180	70	12	15	$1,2 \cdot 10^8$
8	VIII	2,8	16	120	95	26	17	$1,3 \cdot 10^8$
9	IX	1,8	22	160	110	28	13	$2,1 \cdot 10^8$
10	X	2,2	18	140	105	25	19	$2,1 \cdot 10^8$
	e	b	u	d	e	d	e	b

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 oralig‘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 $F_1 = 60 kN$; $F_2 = 100 kN$, $q_1 = 15 kN/m$; $q_2 = 10 kN/m$; $A = 20 sm^2$ va $a = 1,2 m$ qiymatlarni yozib olamiz.

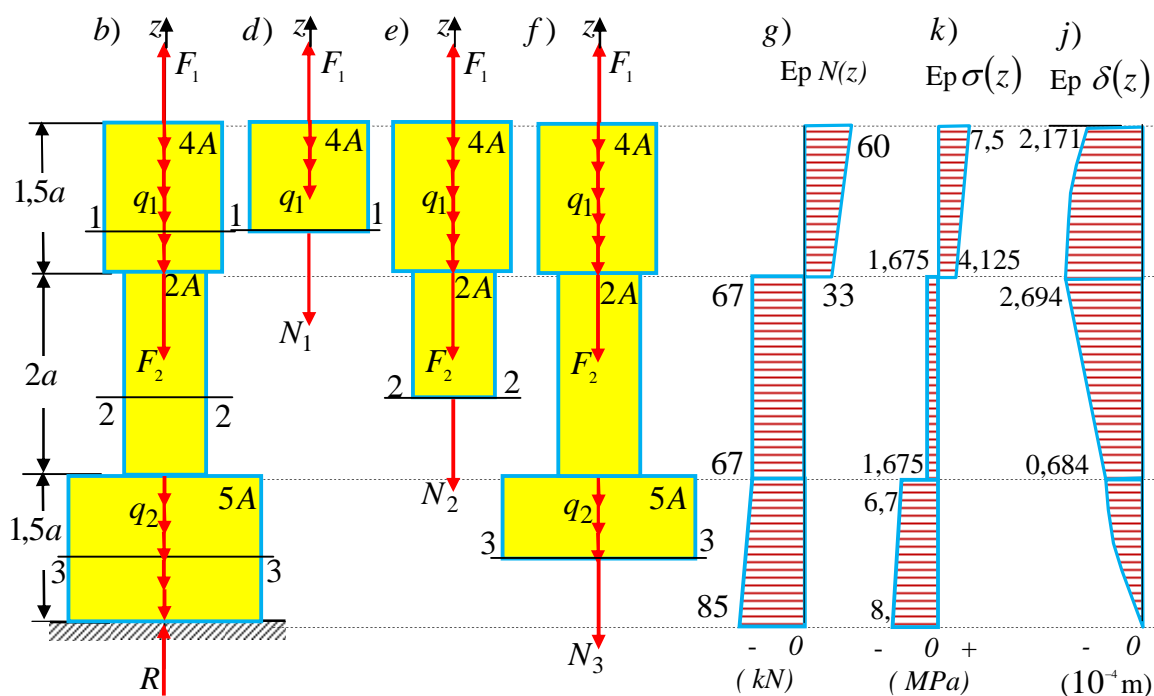
Yechish. Tayanchni reaksiya kuchi bilan almashtirib uning yo‘nalishini ko‘rsatamiz (bu tayanchda gorizontal reaksiya kuchi va reaktiv moment nolga teng bo‘ladi). Tayanch reaksiya kuchini aniqlaymiz, ya’ni statik muvozanat tenglamasini tuzamiz (8,b–chizma):

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

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

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.



2.8-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 tomonidagi olib qolingani qismining biriga ta'sir etuvchi barcha tashqi kuchlarning bo'ylama OZ 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.

2. Sterjen har bir oralig'ining bo'ylama cho'zilishini (siqilishini) $\Delta\ell = \frac{P\ell}{EA} + \frac{Q\ell}{2EA}$

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'zgarmas 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'tiborga oluvchi koeffitsient, urinma kuchlanish, siljishdagi hisobiy qarshilik, kesim o'lchamlarini 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'ysinuvchi 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?

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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'rta 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'rta 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 deformatsiyalangani yo'qotishi bilan;

16. Ikkinchi guruh chegaraviy holati 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 koeffitsient, shamolni e‘tiborga oluvchi koeffitsient, mashina bo‘yicha ishonchlilik koeffitsienti;

yuklanish bo‘yicha ishonchlilik koeffitsient, uzoq ishlashini e‘tiborga olmaydigan koeffitsient, material bo‘yicha ishonchlilik koeffitsienti;

yuklanish bo‘yicha ishonmaslik koeffitsient, ish sharoitini e‘tiborga olmaslik koeffitsient, material bo‘yicha ishonchlilik, koeffitsienti;

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 qilinadi?

mustahkamlik chegarasi;

oquvchanlik chegarasi;

proporsionallik chegarasi;

elastiklik chegarasi;

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

$$R = R_n / \gamma_m ;$$

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

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

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

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

$$R = R_n / \gamma_m ;$$

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

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

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

23. Mustahkamlikka absolyut qiymati bo'yicha eng katta normal kuchlanish bo'yicha 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 konstruksiya elementlari uchun necha xil masalani hal qilish mumkin?

3 xil;

4 xil;

6 xil;

9 xil;

26. Markaziy cho'zilish va siqilishga ishlovchi konstruksiya 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 konstruksiya 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?

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

III BOB

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 jimslarga 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‘zgaras bo‘lgan birdan bir qiymatida ham, bu koeffitsienlarning qiymati qancha katta bo‘lsa deformatsiya komponentlari ham shuncha katta bo‘ladi.

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

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

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 chiziqli 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:

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

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

Ortotrop jismlar uchun umumlashgan Guk qonunidagi elastiklik koeffitsientlari quyidagilarga teng bo‘ladi:

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

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 ifodalanadi;

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

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:

$$\begin{aligned}\theta &= \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z; \\ S_1 &= \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z.\end{aligned}\quad (3.13)$$

(3.13) tenglamani quyidagi ko‘rinishda 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 qonuning birinchi ifodasi o‘ng tomonidagi qavs ichiga $\mu\sigma_x$ ham qo‘shib ham ayisak quyidagi ifoda hosil bo‘ladi:

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

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 foydalanib, hajmiy Guk qonuni $\sigma_{o'r} = K\theta$ ekanligini toping.

2-masala. Izotrop jism uchun umumlashgan Guk qonunidan foydalanib 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: $\varepsilon_1 = 0; \quad \varepsilon_2 = 4,4 \cdot 10^{-5}; \quad \varepsilon_3 = -118,3 \cdot 10^{-5}$.

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 jinsli, 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, deformatsiyalanuvchi 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;

kuchlanish 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 nimani 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 koeffitsientlar soni nechta bo'ladi?

21 ta;

24 ta;

36 ta;

9 ta;

8. Anizotrop jismlar uchun elastiklik xususiyatini xarakterlovchi noma'lum koeffitsientlar 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 koeffitsientlar 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 nechta kuchlarishlar 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 bittita 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?

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)}; \quad \theta = \frac{1 - 2\mu}{E} S_1;$$

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

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

$$\theta = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z; \quad S_1 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z;$$

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}; \quad S_1 = \frac{E}{1 - 2\mu} \theta;$$

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

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

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

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

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 mexanik 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;

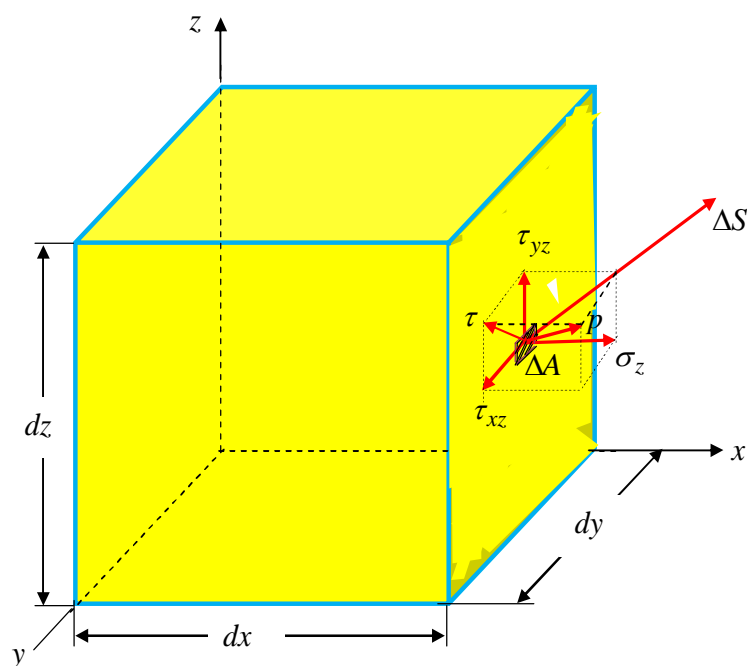
proporsionallik;

IV BOB

BOSH KUCHLANISHLAR. EKSTREMAL URINMA KUCHLANISHLAR VA OKTAEDRIK KUCHLANISHLAR

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.

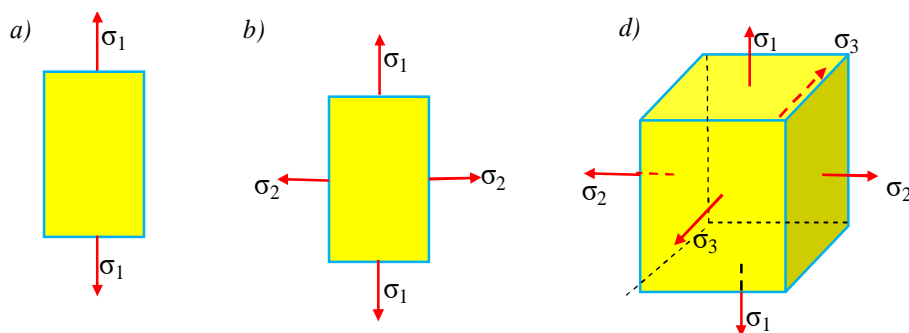
Agar yuza normal koordinata o'qining manfiy yo'nalishi bo'yicha yo'nalgan bo'lsa, musbat urinma kuchlanishlar ikki koordinata o'qlarining manfiy yo'nalishi bo'yicha yo'naladi.

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.

Tashqi kuchlar ta'sirida bo'lgan konstruktsiya elementi ixtiyoriy nuqtasi atrofida fikran birota 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.



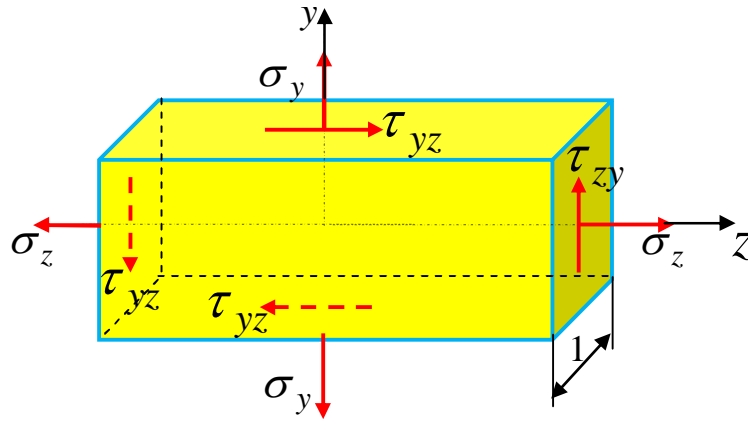
4.2-chizma. Kuchlanganlik holati turlari.

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

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

Tekis kuchlanganlik holatidagi konstruktsiya 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 normal 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).

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

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

Kuchlanishlar tenzorini shar tenzor va deviatorga ajratish mumkin.

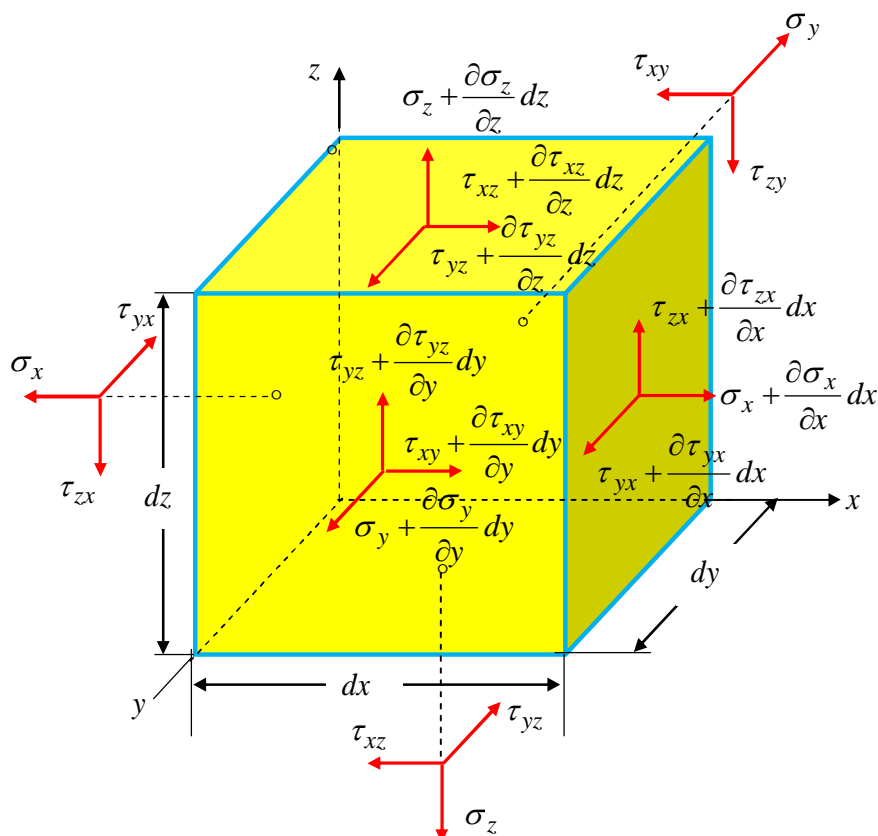
$$T_{\sigma} = T_{\sigma}^u + D_{\sigma}. \quad (4.3)$$

yoki

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

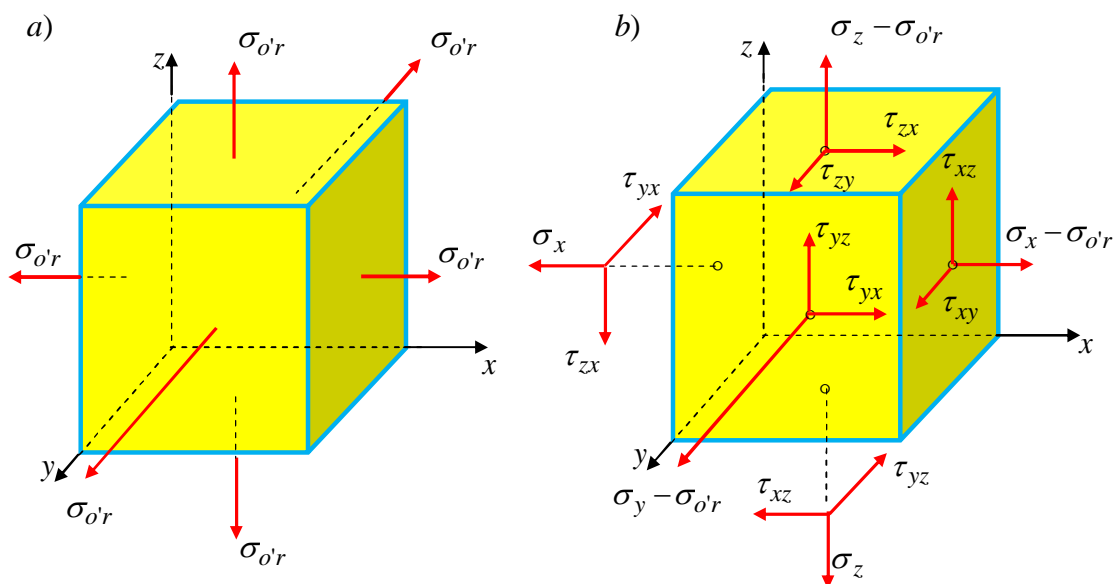
bunda

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



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

Kuchlanishlarning 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).

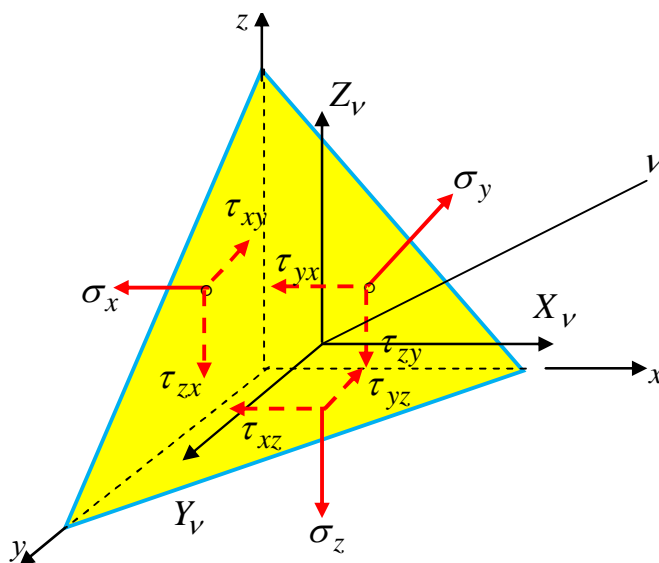


4.5-chizma. Shar va deviator tenzor kuchlanishlar ta'siri.

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

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

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

$$P_v = \sqrt{X_v^2 + Y_v^2 + Z_v^2}. \quad (4.7)$$

Normal kuchlanish

$$\sigma_v = X_v l + Y_v m + Z_v n. \quad (4.8)$$

Urinma kuchlanish

$$\tau_v = \sqrt{P_v^2 - \sigma_v^2}. \quad (4.9)$$

O'zaro perpendikulyar bo'lgan uchta bosh yuzaga nisbatan bir xil burchak hosil qilib o'tgan, yo'naltiruvchi kosinuslari $l = m = n = \frac{1}{\sqrt{3}}$ kabi bo'lgan yuz *oktaedrik yuz* 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

$$\tau_{okt} = \frac{1}{3}\sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}; \quad (4.12)$$

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

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:

$$\begin{aligned} \tau_{\max} &= \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}; \\ \tau_{\min} &= -\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}. \end{aligned} \quad (4.16)$$

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

$$\begin{aligned} J_{1\sigma} &= \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z; \\ J_{2\sigma} &= \sigma_x\sigma_y + \sigma_y\sigma_z + \sigma_z\sigma_x - \tau_{xy}^2 - \tau_{yz}^2 - \tau_{zx}^2; \\ J_{3\sigma} &= \sigma_x\sigma_y\sigma_z + 2\tau_{xy}\tau_{yz}\tau_{zx} - \sigma_x\tau_{yz}^2 - \sigma_y\tau_{zx}^2 - \sigma_z\tau_{xy}^2. \end{aligned} \quad (4.18)$$

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. Tenglamaning (4.17) chap tomonini ko'p hadga ajratish usuli. Agar (4.17) tenglamaning 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 tenglamaning 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

$$P = J_{2\sigma} - \frac{J_{1\sigma}^2}{3}; \quad q = -\frac{2}{27}J_{1\sigma}^3 + \frac{1}{3}J_{1\sigma}J_{2\sigma} - J_{3\sigma}. \quad (4.24)$$

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

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

bunda

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

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

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

$$Y_1 + Y_2 + Y_3 = 0. \quad (4.27)$$

Bosh kuchlanishlar

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

formuladan topiladi.

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

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

$$\begin{aligned}\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z &= \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3; \\ \sigma_x\sigma_y + \sigma_y\sigma_z + \sigma_z\sigma_x - \tau_{xy}^2 - \tau_{yz}^2 - \tau_{zx}^2 &= \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1; \quad (4.29) \\ \sigma_x\sigma_y\sigma_z + 2\tau_{xy}\tau_{yz}\tau_{zx} - \sigma_x\tau_{yz}^2 - \sigma_y\tau_{zx}^2 - \sigma_z\tau_{xy}^2 &= \sigma_1\sigma_2\sigma_3.\end{aligned}$$

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

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

va

$$l^2 + m^2 + n^2 = 1 \quad (4.31)$$

shartdan aniqlanadi.

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

$$\begin{aligned}l_1l_2 + m_1m_2 + n_1n_2 &= 0; \\ l_2l_3 + m_2m_3 + n_2n_3 &= 0; \quad (4.32) \\ l_3l_1 + m_3m_1 + n_3n_1 &= 0.\end{aligned}$$

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 muvozanati 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 kuchlanishlarning 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:

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

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:

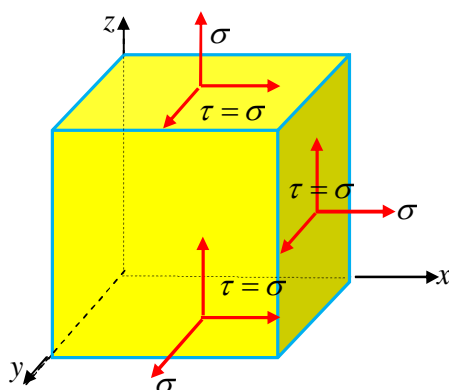
$$\tau_v = \sqrt{(111)^2 - (54)^2} = 97 \text{ MPa}.$$

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

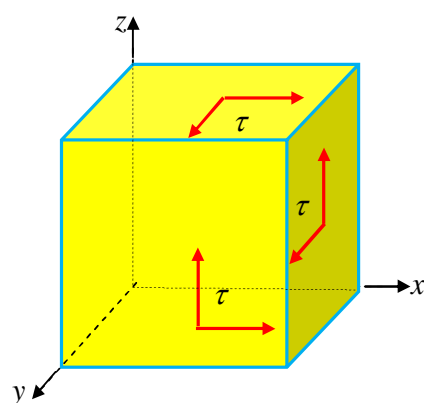
$$\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z; \tau_{xy} = \tau_{yz} = \tau_{zx} = \sigma \text{ bo'lsa, bosh kuchlanishlar aniqlansin?}$$

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

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:

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

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

Javobi: Qaralayotgan yuza 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:

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

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:

$$\begin{aligned} \sigma_x &= 20 \text{ MPa}; & \sigma_y &= 15 \text{ MPa}; & \sigma_z &= 60 \text{ MPa}; \\ \tau_{xy} &= 10 \text{ MPa}; & \tau_{yz} &= 20 \text{ MPa}; & \tau_{zx} &= -10 \text{ MPa}. \end{aligned}$$

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:

$$\begin{aligned} \sigma_x &= 6 \text{ MPa}; & \sigma_y &= 9 \text{ MPa}; & \sigma_z &= 0; \\ \tau_{xy} &= -2 \text{ MPa}; & \tau_{yz} &= \tau_{zx} &= 0. \end{aligned}$$

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

Javobi:

$$\begin{aligned}
\sigma_1 &= 10 \text{ MPa}; \quad \sigma_2 = 5 \text{ MPa}; \quad \sigma_3 = 0; \\
l_1 &= 0,447; \quad m_1 = 0,894; \quad n_1 = 0; \\
l_2 &= 0,894; \quad m_2 = 0,447; \quad n_2 = 0; \\
l_3 &= 0; \quad m_3 = 0; \quad n_3 = 1; \\
\tau_{\max} &= 5 \text{ MPa}; \quad \tau_{\min} = \tau_{12} = \tau_{23} = 2,5 \text{ MPa}.
\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
\sigma_x &= 180 \text{ MPa}; \quad \sigma_y = 180 \text{ MPa}; \quad \sigma_z = -60 \text{ MPa}; \\
\tau_{xy} &= -60 \text{ MPa}; \quad \tau_{yz} = 120 \text{ MPa}; \quad \tau_{zx} = -60 \text{ MPa}.
\end{aligned}$$

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:

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

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

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

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

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

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

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

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,

$$\begin{aligned} \text{A. } 300 &= 288,05272 + 125,49514 - 113,54782; \\ 300 &= 300. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{B. } -10800 &= 288,05272 \cdot (125,49514) + 125,49511 \cdot (-113,54782) + \\ &+ (-113,54782)(288,05272); \\ -10800 &= -10809,39. \end{aligned}$$

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

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

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

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:

$$l_1 = 0,59611 \quad m_1 = -0,72171 \quad n_1 = -0,35181$$

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:

$$l_2 = 0,79415 \quad m_2 = 0,59426 \quad n_2 = 0,12715$$

Tekshirish:

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

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 birinchi 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?

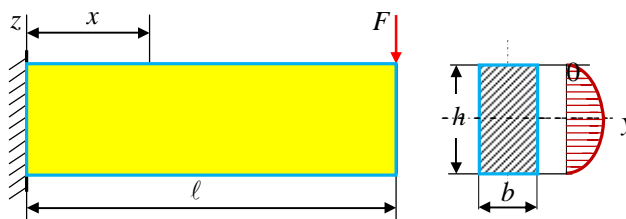
$$S_1 = \frac{2}{3} \sigma_i \cos\left(\omega_\sigma - \frac{\pi}{3}\right); \quad S_2 = \frac{2}{3} \sigma_i \cos\left(\omega_\sigma + \frac{\pi}{3}\right); \quad S_3 = -\frac{2}{3} \sigma_i \cos \omega_\sigma;$$

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

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

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

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.

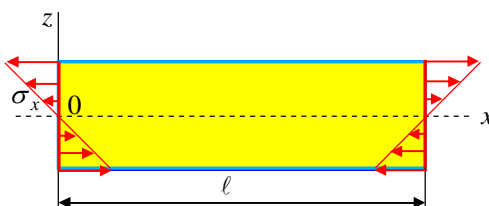
Javobi: $\tau_{xz} = -\frac{3}{2}Ax^2y^2z^2 - \frac{1}{2}Bxy^2z^4 + f(x, y).$

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

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

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

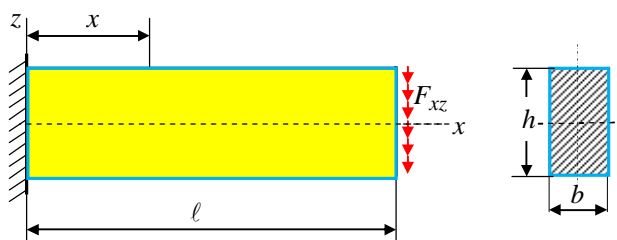
Muvozanat differensial tenglama va sirt chegara sharti qanoatlanishi tekshirilsin?. To'sinning xususiy og'irligi e'tiborga olinmasin.



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:

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



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

Materiallar qarshiligi kursidan ma'lumki kuchlanish komponentlari quyidagicha ifodalanadi:

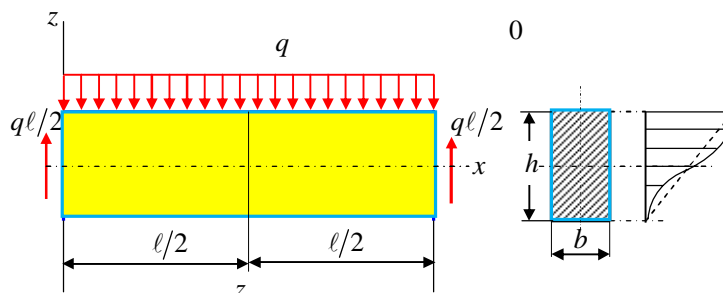
$$\sigma_x = \frac{F(l-x)}{J_y};$$

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

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

Muvozanat differensial tenglamasi va sirt chegara shartini qanoatlantirilishi tekshirib ko'rilsin?. 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_{yz} tekis masala muvozanat differensial tenglamasini qanoatlantirishi tekshirib ko'rilsin va σ_z normal kuchlanishni ifodalovchi formula aniqlansin?



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

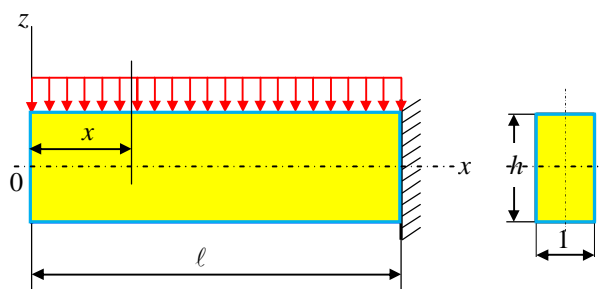
Javobi:
$$\sigma_z = -\frac{q}{2} + 1,5\frac{q}{h}z - 2\frac{q}{h^3}z^3.$$

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:

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

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, parallelepiped, 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'qqizta 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 ortogonaligi, 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 parallelepipedning 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'nalishini, 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'nalishi bo'yicha yo'naladi;

yuza normali koordinata o'qining musbat yo'nalishi bo'yicha yo'nalgan bo'lsa musbat, urinma kuchlanishlar ikki koordinata o'qlarining manfiy yo'nalishi 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'zilishi yoki siqilish, tekis kuchlanganlik, hajmiy kuchlanganlik holati;

chiziqli, 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 yuzalarga aytiladi?

urinma kuchlanishlari nolga teng bo'lgan yuzalarga;

urinma kuchlanishlari maksimumga teng bo'lgan yuzalarga;

urinma kuchlanishlari minimumga 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 normalni v bo'lgan og'ma yuzadagi to'la kuchlanishlarning koordinata o'qlaridagi proeksiyalari qanday formuladan aniqlanadi?

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

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

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

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

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 kuchlanish quyidagi formulalar yordamida aniqlanadi?

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

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

$$\sigma_v = \frac{F}{A};$$

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

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

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

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

$$\sigma_v = \frac{F}{A};$$

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

21. Qiya yuzalardagi urinma kuchlanish quyidagi formulalar yordamida aniqlanadi?

$$\tau_v = \sqrt{P_v^2 - \sigma_v^2}; \quad \tau_y = \frac{Q_y S_x^{ajr}}{I_x b_y};$$

$$\tau_x = \frac{Q_x S_y^{ajr}}{I_y b_x}; \quad \tau_{\max okt} = \frac{3Q_{\max}}{2A};$$

22. Qanday yuzaga oktaedrik yuza deb ataladi?

o‘zaro perpendikulyar bo‘lgan uchta bosh yuzaga 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?

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

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

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

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

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

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

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

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

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

26. Bosh kuchlanishlarni aniqlash uchun kubik 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?

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

$$\sigma' = Y_1 + \frac{J_{1\sigma}}{3}; \quad \sigma'' = Y_2 + \frac{J_{2\sigma}}{3}; \quad \sigma''' = Y_3 + \frac{J_{3\sigma}}{3};$$

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

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

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 kuchlanishlar 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?

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

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

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

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

V BOB
JISM NUQTASINING DEFORMATSIYA HOLATI. BOSH
DEFORMATSIYALAR

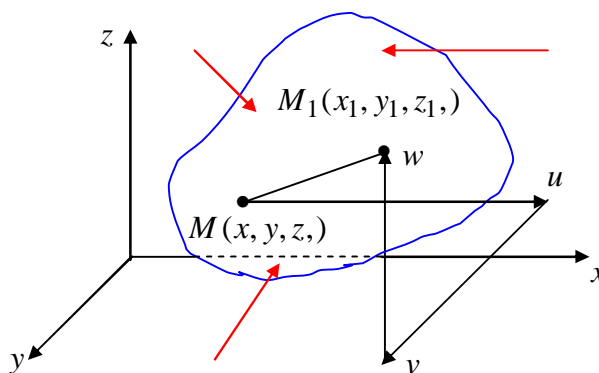
5.1-§. Bosh deformatsiyalar. Nuqtaning kuchlanganlik va deformatsiyalangan holatlarining o'xshashligi

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

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

2. Jismning ma'lum bo'lagining ko'chishi, bunda jism deformatsiyalanib, 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. Deformatsiyalanuvchi 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 deformatsiyalanganda 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‘chish komponentlari 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:

$$\left. \begin{aligned}\frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial x^2} &= \frac{\partial^2 \gamma_{xy}}{\partial x \partial y}; & \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial z} - \frac{\partial \gamma_{zx}}{\partial x} - \frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial y} \right) &= 2 \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial x \partial z}; \\ \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_z}{\partial y^2} &= \frac{\partial^2 \gamma_{yz}}{\partial y \partial z}; & \frac{\partial}{\partial x} \left(-\frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial z} - \frac{\partial \gamma_{zx}}{\partial y} \right) &= 2 \frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y \partial z}; \\ \frac{\partial^2 \varepsilon_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial z^2} &= \frac{\partial^2 \gamma_{zx}}{\partial z \partial x}; & \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_{zx}}{\partial y} - \frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial z} \right) &= 2 \frac{\partial^2 \varepsilon_z}{\partial x \partial y}.\end{aligned}\right\} \quad (5.3)$$

Kuchlanishlar nazariyasi va deformatsiya nazariyasi orasidagi o‘xshashlikdan 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

$$\begin{aligned} J_{1\varepsilon} &= \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z; \\ J_{2\varepsilon} &= \varepsilon_x\varepsilon_y + \varepsilon_y\varepsilon_z + \varepsilon_z\varepsilon_x - \frac{1}{4}(\gamma_{xy}^2 + \gamma_{yz}^2 + \gamma_{zx}^2); \\ J_{3\varepsilon} &= \varepsilon_x\varepsilon_y\varepsilon_z + \frac{1}{4}\gamma_{xy}\gamma_{yz}\gamma_{zx} - \frac{1}{4}(\varepsilon_x\gamma_{yz}^2 + \varepsilon_y\gamma_{zx}^2 + \varepsilon_z\gamma_{xy}^2). \end{aligned} \quad (5.5)$$

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:

$$\begin{aligned} Y_1 &= -r \cos \frac{\varphi}{3}; \quad Y_2 = 2r \cos \left(60^\circ - \frac{\varphi}{3} \right); \quad Y_3 = 2r \cos \left(60^\circ + \frac{\varphi}{3} \right); \\ \cos \varphi &= \frac{q}{2r^3}; \quad r = \pm 0,51774 \sqrt{|P|}. \end{aligned} \quad (5.8)$$

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 ortogonaligidan foydalanib tekshiriladi:

$$\begin{aligned} l_1 l_2 + m_1 m_2 + n_1 n_2 &= 0; \\ l_2 l_3 + m_2 m_3 + n_2 n_3 &= 0; \\ l_3 l_1 + m_3 m_1 + n_3 n_1 &= 0. \end{aligned} \quad (5.13)$$

Ixtiyoriy v yo'nalishidagi nisbiy cho'zilish deformatsiyasi, deformatsiya komponentlari orqali quyidagicha ifodalanadi:

$$\varepsilon_v = \varepsilon_x l^2 + \varepsilon_y m^2 + \varepsilon_z n^2 + \gamma_{xy} l m + \gamma_{yz} m n + \gamma_{zx} n l. \quad (5.14)$$

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

$$\varepsilon_i = \frac{2}{3\sqrt{2}} \sqrt{(\varepsilon_x - \varepsilon_y)^2 + (\varepsilon_y - \varepsilon_z)^2 + (\varepsilon_z - \varepsilon_x)^2 + \frac{2}{3}(\gamma_{xy}^2 + \gamma_{yz}^2 + \gamma_{zx}^2)}. \quad (5.17)$$

formuladan topiladi.

Agar bosh tekisliklardan biri ma'lum bo'lsa, bosh deformatsiyalar quyidagi formuladan topiladi.

$$\varepsilon_{1,2} = \frac{\varepsilon_x + \varepsilon_y}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(\varepsilon_x - \varepsilon_y)^2 + \gamma_{xy}^2}; \quad \varepsilon_3 = \varepsilon_z. \quad (5.18)$$

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 nisbiy deformatsiyalar $\varepsilon_1 > \varepsilon_2 > \varepsilon_3$ deb qabul qilinadi.

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

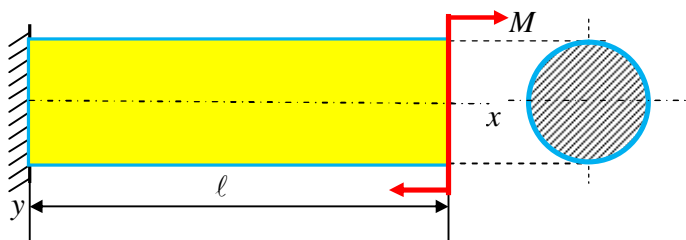
$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)}. \quad (5.21)$$

bu munosabatlarga umumlashgan Guk qonuni 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.

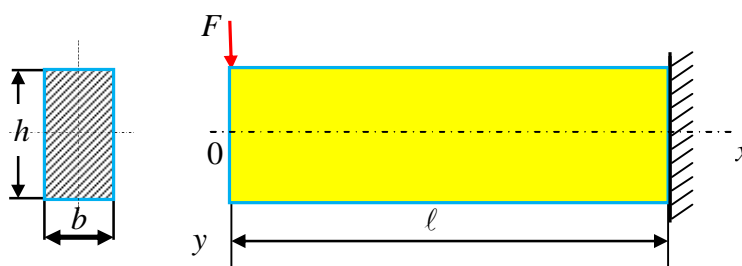
Javobi:
$$U = \frac{M}{EJ} xy; \quad V = -\frac{Mx^2}{2EJ} - \mu \frac{M(y^2 - z^2)}{2EJ}; \quad W = -\mu \frac{M}{EJ} yz.$$

2. Masala. 5.3-chizmada ko‘rsatilgan to‘sin uchun deformatsiya komponentlari ma’lum:

$$\varepsilon_x = \frac{M \cdot y}{EJ}; \quad \varepsilon_y = -\mu \varepsilon_x; \quad \gamma_{xy} = \frac{QS^{ajr}}{G \cdot b \cdot J};$$

$$J = \frac{bh^3}{12}; \quad S^{ajr} = \frac{b}{2} \left(\frac{h^2}{4} - y^2 \right); \quad G = \frac{E}{2(1 + \mu)}.$$

Ko‘chishlar $u = u(x, y); v = v(x, y); w = 0$ ekanligin 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) formulasiga deformatsiya komponentlarini qo‘yamiz.

$$\begin{aligned}\frac{\partial u}{\partial x} = \varepsilon_x = \frac{M \cdot y}{EJ} = -Fx \cdot \frac{y}{EJ}; \quad \frac{\partial v}{\partial y} = \varepsilon_y = -\mu \varepsilon_x = \mu \frac{F \cdot x \cdot y}{EJ}; \\ \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} = \gamma_{xy} = -\frac{1+\mu}{EJ} F \left(\frac{h^2}{4} - y^2 \right).\end{aligned}\quad (a)$$

Ushbu (a) tenglamalar sistemasining birinchi va ikkinchi tenglamalarini integrallab quyidagilarni hosil qilamiz:

$$u = -\frac{Fy}{EJ} \frac{x^2}{2} + f_1(y); \quad v = \mu \frac{Fx}{EJ} \frac{y^2}{2} + f_2(x). \quad (b)$$

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.

$$f_1(y) = \frac{F}{3EJ} \left(1 + \frac{1}{2} \mu \right) y^3 + Ay + B; \quad f_2(x) = \frac{Fx^3}{6EJ} - \frac{1+\mu}{4EJ} Fh^2 x - Ax + C; \quad (j)$$

bu yerda A, B, C integrallashda hosil bo'lgan o'zgarmas koeffitsientlar. Agar (j) ni (b) ga qo'ysak, unda quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$\begin{aligned} u &= -\frac{F}{2EJ}x^2y + \frac{F}{3EJ}\left(1 + \frac{1}{2}\mu\right)y^3 + Ay + B; \\ v &= \mu\frac{F}{2EJ}xy^2 + \frac{F}{6EJ}x^3 - \frac{1+\mu}{4EJ}Fh^2x - Ax + C. \end{aligned} \quad (k)$$

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'zgarmas 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.

$$\begin{aligned} u &= -\frac{F}{2EJ}x^2y + \frac{F}{3EJ}\left(1 + \frac{1}{2}\mu\right)y^3 + \frac{F}{2EJ}\left[l^2 - (1+\mu)\frac{h}{2}\right]y; \\ v &= \mu\frac{F}{2EJ}xy^2 + \frac{F}{6EJ}x^3 - \frac{Fl^2}{2EJ}x + \frac{Fl^3}{3EJ}. \end{aligned}$$

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 formulasining 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 qanoatlantirilishi tekshirib ko'rilsin va ko'chishlar topilsin.

Javobi:

$$u = -\mu \frac{\gamma}{E} xz; \quad v = -\mu \frac{\gamma}{E} yz; \quad w = \frac{\gamma}{2E} [z^2 + \mu(x^2 + y^2) - l^2].$$

4. *Masala.* Quyidagi deformatsiya komponentlari berilgan:

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= axy^2; & \varepsilon_y &= ax^2y; & \varepsilon_z &= axy; \\ \gamma_{xy} &= 0; & \gamma_{yz} &= az^2 + by; & \gamma_{zx} &= ax^2 + by^2. \end{aligned}$$

Bunda a ; b o'zgarmas bo'lib, ular nolga teng emas. Berilgan deformatsiya komponentlari Sen-Venanning deformatsiyalar uzluksizligi shartini qanoatlantiradimi?

5. *Masala.* Berilgan

$$\varepsilon_x = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2}; \quad \varepsilon_y = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2}; \quad \gamma_{xy} = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y}; \quad \varepsilon_z = \gamma_{zx} = \gamma_{yz} = 0.$$

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?

$$\varepsilon_x = 0,002; \quad \varepsilon_y = -0,0004; \quad \varepsilon_z = 0,002; \quad \gamma_{xy} = 0,004; \quad \gamma_{yz} = \gamma_{zx} = 0.$$

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.

$$\varepsilon_{1,2} = \frac{0,002 + (-0,0004)}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(0,002 - 0,0004)^2 + (0,004)^2} = 0,0008 \pm 0,00408;$$

$$\varepsilon_1 = 0,00488; \quad \varepsilon_2 = 0,00328; \quad \varepsilon_3 = \varepsilon_z = 0,002;$$

$$\operatorname{tg} 2\alpha_0 = \frac{\gamma_{xy}}{\varepsilon_x - \varepsilon_y} = \frac{0,004}{0,002 + 0,0004} = \frac{0,004}{0,0024};$$

$$\operatorname{tg} 2\alpha_0 = 1,67; \quad 2\alpha_0 = 59^{\circ}5'; \quad \alpha_0 = 29^{\circ}33';$$

$$\alpha_1 = \alpha_0 = 29^{\circ}33'; \quad \alpha_2 = \alpha_0 + 90^{\circ} = 119^{\circ}33'.$$

9. *Masala.* Jismning ma'lum bir nuqtasida quyidagi deformatsiya komponentlari berilgan:

$$\begin{aligned}\varepsilon_x &= 0,001; & \varepsilon_y &= 0,0005; & \varepsilon_z &= -0,0001; \\ \gamma_{xy} &= 0,0002; & \gamma_{yz} &= -0,0001; & \gamma_{zx} &= 0,0003.\end{aligned}$$

Bosh deformatsiyalar va koordinata o'qlari bilan bosh yuzalar normalini ν , yo'naltiruvchi kosinuslari aniqlansin.

Javobi:

$$\begin{aligned}\varepsilon_1 &= 0,00122; & \varepsilon_2 &= 0,000988; & \varepsilon_3 &= -0,000137; \\ l &= 0,88; & m &= 0,48; & n &= 0,0025.\end{aligned}$$

10. Masala. Agar deformatsiya komponentlari berilgan

$$\varepsilon_x = K(x^2 + y^2); \quad \varepsilon_y = Ky^2; \quad \gamma_{xy} = 2Kxy; \quad \varepsilon_z = \gamma_{yz} = \gamma_{zx} = 0.$$

bo'lsa, deformatsiya holati mavjudligi va deformatsiya komponentlari

$$\varepsilon_x = Kz(x^2 + y^2); \quad \varepsilon_y = Ky^2z; \quad \varepsilon_z = \gamma_{yz} = \gamma_{zx} = 0. \quad \gamma_{xy} = 2Kzyx;$$

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.

$$\frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y^2} = 2A_1 + 12y^2; \quad \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial x^2} = 2B_1 + 12x^2; \quad \frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial x \partial y} = 3C_1x^2 + 3C_1y^2 + C_1C_2.$$

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

$$\left. \begin{aligned} 2(A_1 - B_1) &= C_1 C_2; \\ 12 &= 3C_1. \end{aligned} \right\}$$

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 deformatsiyalanganda qanday ikki xil deformatsiya hosil bo'ladi?

chiziqli va burchak deformatsiya;

chiziqli va buralish deformatsiya;

nisbiy va chiziqli deformatsiya;

ko'ndalang va bo'ylama deformatsiya;

4. Chiziqli va burchak deformatsiya komponentlarini belgilanishi 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?

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}; \quad \varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}; \quad \varepsilon_z = \frac{\partial w}{\partial z};$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}; \gamma_{yz} = \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y}; \gamma_{zx} = \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z};$$

$$\frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \gamma_{xy}}{\partial x \partial y}; \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_z}{\partial y^2} = \frac{\partial^2 \gamma_{yz}}{\partial y \partial z};$$

$$J_{2\varepsilon} = \varepsilon_x \varepsilon_y + \varepsilon_y \varepsilon_z + \varepsilon_z \varepsilon_x - \frac{1}{4} (\gamma_{xy}^2 + \gamma_{yz}^2 + \gamma_{zx}^2);$$

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?

$$\gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}, \gamma_{yx}, \gamma_{zy}, \gamma_{xz}; \quad \varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z;$$

$$J_{1\varepsilon} = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z; \quad J_{2\varepsilon} = \varepsilon_x \varepsilon_y + \varepsilon_y \varepsilon_z + \varepsilon_z \varepsilon_x - \frac{1}{4} (\gamma_{xy}^2 + \gamma_{yz}^2 + \gamma_{zx}^2);$$

10 Chizikli deformatsiya komponentlari qaysi javobda to'g'ri keltirilgan?

$$\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z; \quad \gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}, \gamma_{yx}, \gamma_{zy}, \gamma_{xz};$$

$$J_{1\varepsilon} = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z; \quad J_{2\varepsilon} = \varepsilon_x \varepsilon_y + \varepsilon_y \varepsilon_z + \varepsilon_z \varepsilon_x - \frac{1}{4}(\gamma_{xy}^2 + \gamma_{yz}^2 + \gamma_{zx}^2);$$

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 qanday ifodalanadi?

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

$$\varepsilon_{1,2} = \frac{\varepsilon_x + \varepsilon_y}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(\varepsilon_x - \varepsilon_y)^2 + \gamma_{xy}^2}; \varepsilon_3 = \varepsilon_z;$$

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}, \quad \varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}, \quad \varepsilon_z = \frac{\partial w}{\partial z};$$

$$\varepsilon_{okt} = \frac{1}{3}(\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3); \gamma_{okt} = \frac{2}{3} \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2};$$

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 biridan aniqlanadi?

$$\operatorname{tg} 2\alpha_0 = \frac{\gamma_{xy}}{\varepsilon_x - \varepsilon_y}; \quad \varepsilon_{1,2} = \frac{\varepsilon_x + \varepsilon_y}{2} \pm \frac{1}{2}\sqrt{(\varepsilon_x - \varepsilon_y)^2 + \gamma_{xy}^2}; \quad \varepsilon_3 = \varepsilon_z;$$

$$\theta = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z; \quad \sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3;$$

23. Bosh nisbiy deformatsiyalar qanday munosabatda beriladi?

$$\varepsilon_1 > \varepsilon_2 > \varepsilon_3; \quad \sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3;$$

$$\theta = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z; \quad \varepsilon_{1,2} = \frac{\varepsilon_x + \varepsilon_y}{2} \pm \frac{1}{2}\sqrt{(\varepsilon_x - \varepsilon_y)^2 + \gamma_{xy}^2}; \quad \varepsilon_3 = \varepsilon_z;$$

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?

$$N/m^2; N/m^2;$$

$$N/sm^3; N/sm^3;$$

$$N/m; N/m;$$

$$M/sm^2; M/sm^2;$$

VI BOB

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 hollarda vallarni hisoblashda tashqi burovchi momentlar talab qilingan quvvat miqdori va valning aylanishlar 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:

$$N = M \frac{\pi n}{30} \text{ bundan } M = \frac{30N}{\pi n} \text{ kgm} = \frac{300N}{\pi n} \text{ Nm.}$$

Bu yerda quvvatning o'lchov birligi kgm/sek .

Agar quvvat N ot kuchida (o.k) berilgan bo'lsa burovchi moment quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$M = \frac{30 \cdot 75N}{\pi n} = 716,2 \frac{N}{n} \text{ Nm} = 7162 \frac{N}{n} \text{ Nm.}$$

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, lokomotivlarning 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 ishlaydigan bruslar ichida texnikada ko'p uchraydigan doiraviy

va halqasimon ko'ndalang kesim yuzasiga ega bo'lgan bruslar muhim o'rin egallaydi.

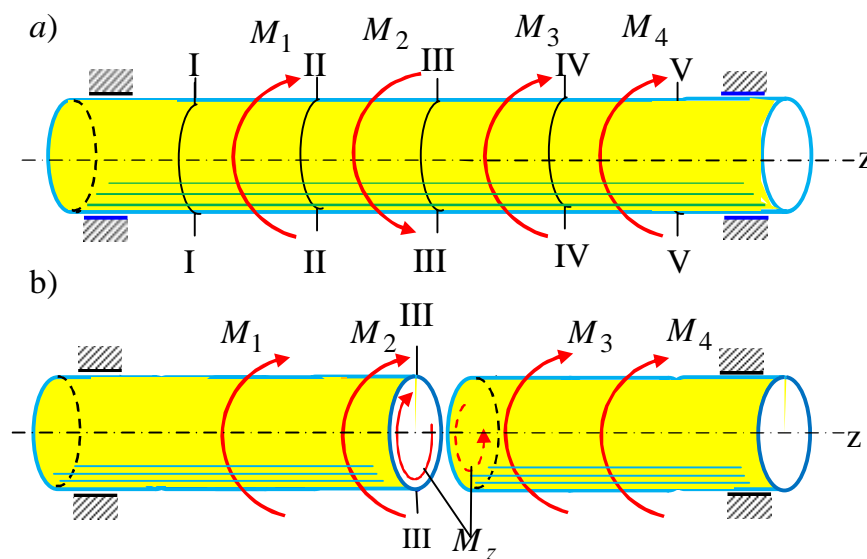
6.2-§.Burovchi moment va uning epyurasini qurish

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'ni 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'ni 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:

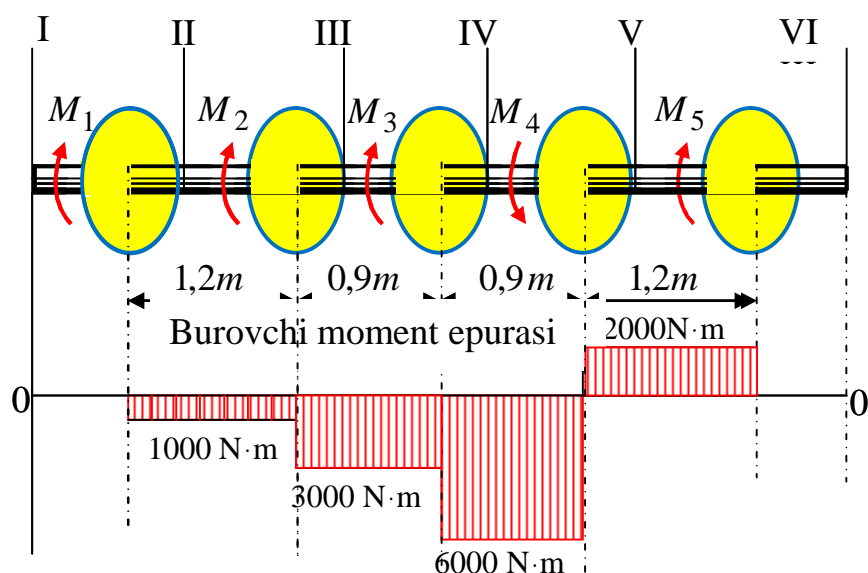
$$\sum M_z = 0; \quad -M_z + M_3 + M_4 = 0; \quad \text{bundan } M_z = M_3 + M_4.$$

Demak, bular asosida quyidagi qoidalarni qabul qilish 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. Buruvchi 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 qo'yidagilarga 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-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'rt 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;

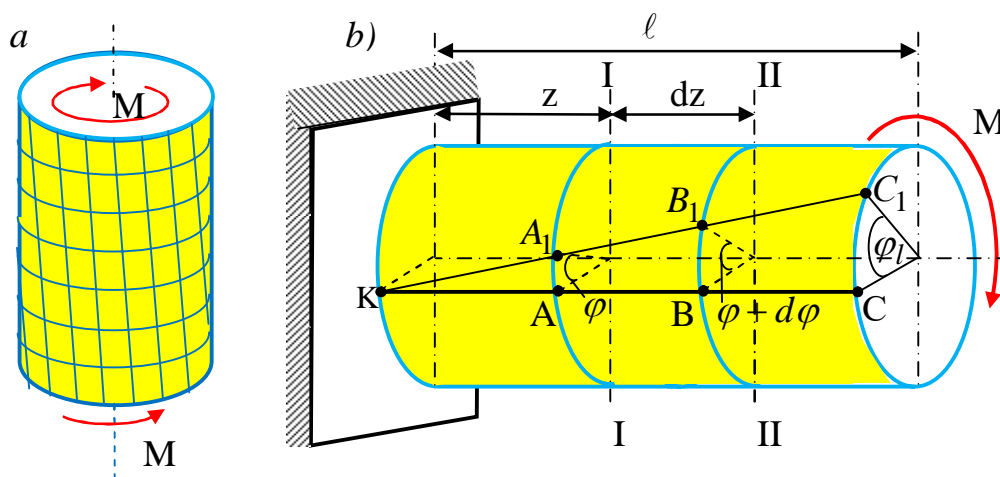
v) ko'ndalang kesimlar oralig'idagi masofa o'zgarmaydi;

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'ishini 6.3-chizmadan ko'rinib turibdi. Brusning deformatsiyalanish 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 kesimning I kesimga nisbatan nisbiy siljishi bo'ladi

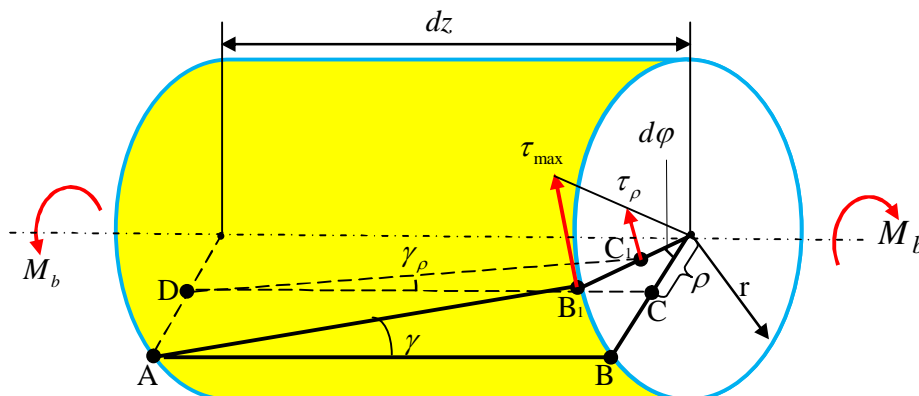
$$BB_1 = \gamma \cdot dz; \quad \gamma \cdot dz = r \cdot d\varphi; \quad \gamma = r \frac{d\varphi}{dz}.$$

Bu ifodaga quyidagi belgilashni kiritamiz:

$$\frac{d\varphi}{dz} = \theta. \quad (6.1)$$

Bu ifoda brusning nisbiy buralish burchagi deb ataladi. Unda siljish burchagi quyidagicha ifodalanadi:

$$\gamma = r\theta. \quad (6.2)$$



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:

$$\gamma_{\rho} = \theta \cdot \rho.$$

Masalanining fizik tomonini qaraymiz.

Buralgan brusning ko‘ndalang kesimlaridagi urinma kuchlanishlarni siljishdagi Guk qonunidan foydalanib aniqlaymiz. Kesim markazidan ρ masofadagi nuqtaning urinma kuchlanishi (6.4-chizma), quyidagicha topiladi [29,190-bet]:

$$\tau_{\rho} = G \cdot \gamma_{\rho} = G \cdot \theta \cdot \rho, \quad (a)$$

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:

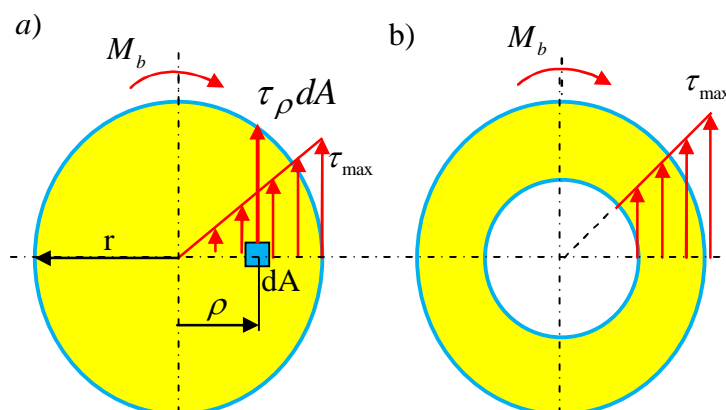
$$dM = G \cdot \theta \cdot \rho^2 dA.$$

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‘rinishni oladi:

$$M_{\theta} = G\theta J_{\rho}.$$



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

$$W_{\rho} = \frac{J_{\rho}}{r} = \frac{\pi d^4/32}{d/2} = \frac{\pi d^3}{16}. \quad (6.8)$$

(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_p 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 qarshilik moment quyidagiga teng bo‘ladi:

$$W_p = \frac{\pi D}{16} (1 - c^4),$$

bundan:

$$D \geq \sqrt{\frac{16M_b}{\pi(1-c^4)[\tau]}} = 1,72 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_b}{(1-c^4)[\tau]}} \quad (6.14)$$

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

$$\operatorname{tg} 2\alpha_0 = -\frac{2\tau_\alpha}{\sigma_z - \sigma_y}; \quad (6.17)$$

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.

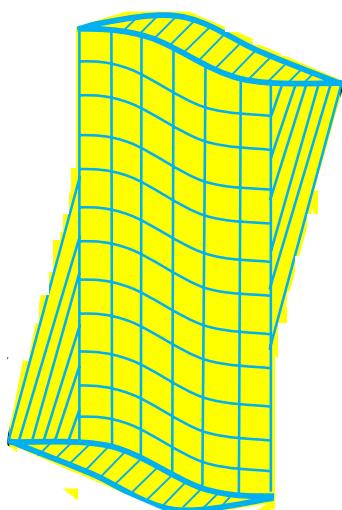
Buralishga ishlovchi bruslar mustahkam bo‘lishi bilan birgalikda bikir bo‘lishi ham shart. Bikirlik sharti quyidagicha ifodalanadi:

$$\theta = \frac{M_b}{GI_\rho} \leq [\theta]. \quad (6.18)$$

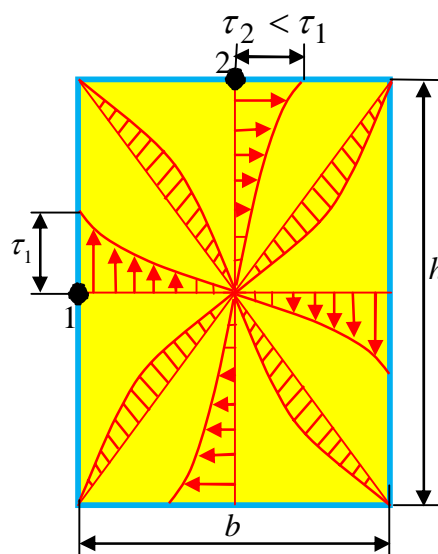
Bunda $[\theta]$ brusning birlik uzunligiga to‘g‘ri keluvchi ruxsat etilgan buralish burchagi [20,180-bet].

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 balki qiyshayadi (6.6-chizma).



6.6-chizma. To‘g‘ri to‘rtburchak valning buralishi.



6.7-chizma. Urinma kuchlanishlar epyuralari.

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).

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‘shstav, 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 $\eta_{bur} = 1,0$; $\eta_{shvel} = 1,12$; $\eta_{avr} = 1,15$; $\eta_{qo'shtavur} = 1,20$ 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 xarakteristikalarini boshqa xildagi bruslardan farq qiladi. Bunday bruslar asosan ikki guruhga ajratiladi.

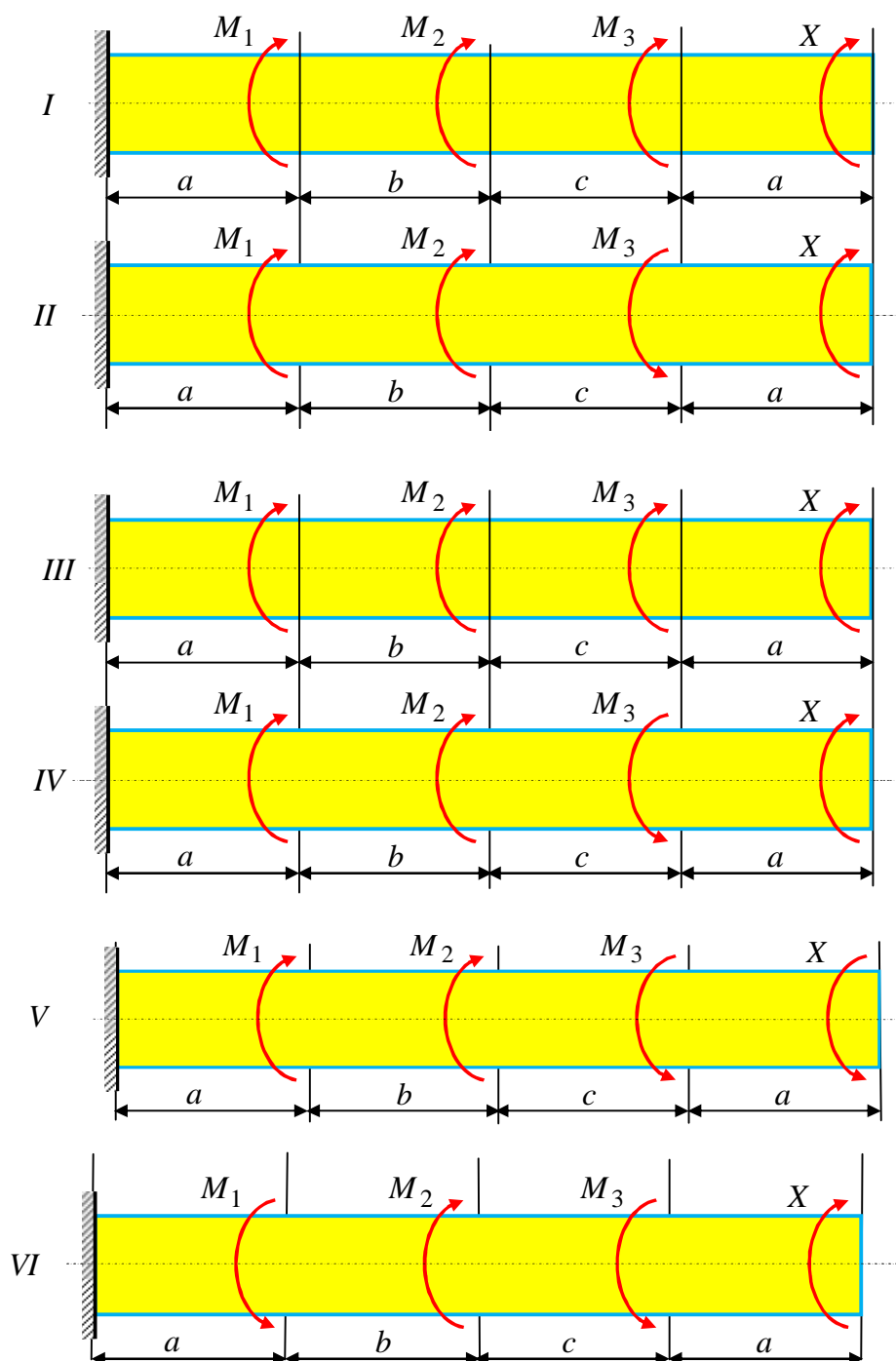
1) ***Ochiq profilli kesimlar.*** Bularga shveller, burchakliklar va zetsimon kesimli bruslar kiradi. Ularni (5.4) formula yordamida hisoblasa bo'ladi. Chunki bunday bruslarning kesim shakllarini qayirib, tug'ri brus holatiga keltirsak, har ikki holda hosil bo'ladigan kuchlanishlarning miqdori u qadar ko'p o'zgarmaydi.

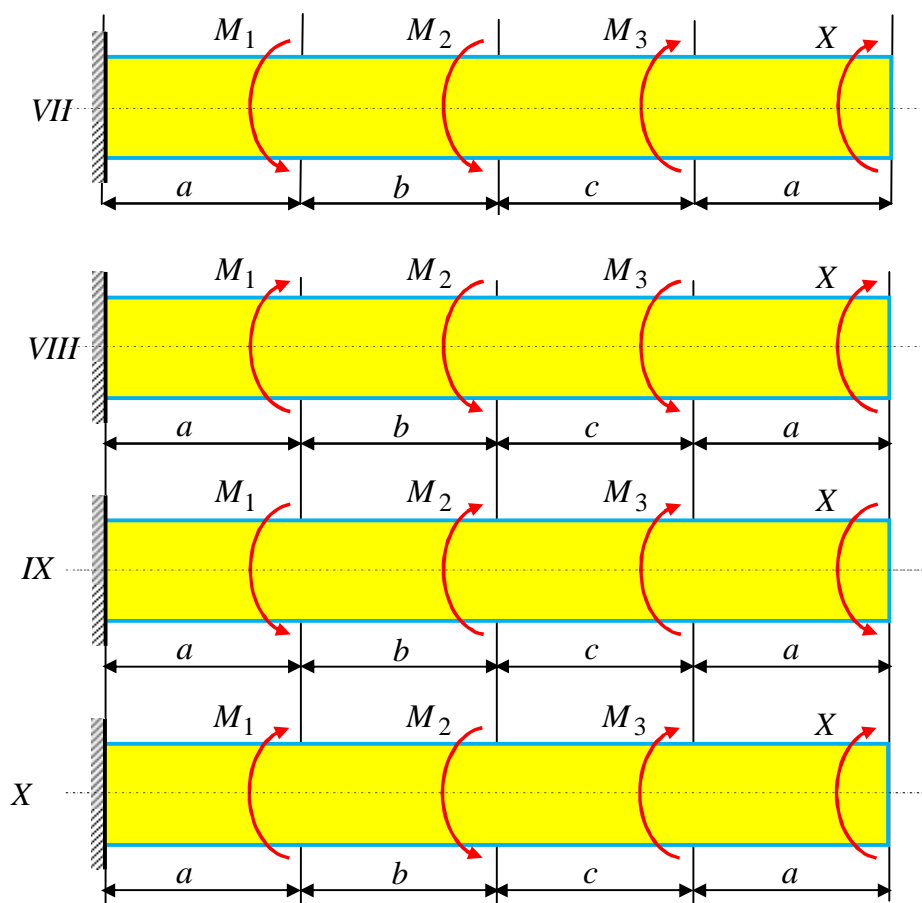
6.6-§. Mustaqil ish topshiriqlari

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.





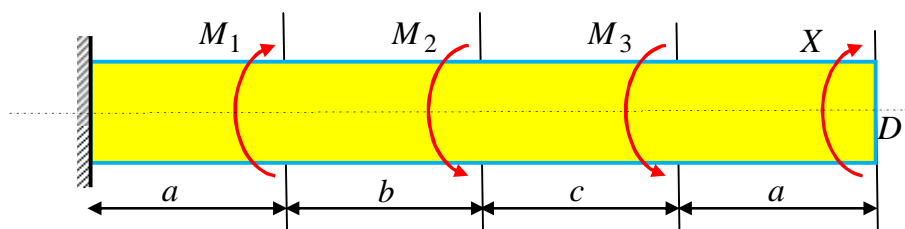
6.8-chizma. To'plangan juft kuchlar bilan yuklangan vallar.

6.2-jadval.

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.

$$M_1 = 1,4kNm, M_2 = 1,6kNm, M_3 = 1,2kNm, [\tau] = 7 MPa = 700 N / sm^2.$$

Yechish.

1) Qaralayotgan masala bir marta statik aniqmas. Valning qistirib mahkamlangan tayanchidagi reaksiya kuchini aniqlashni talab qilmaganligi uchun uni aniqlamaymiz. Valning erkin uchidagi oxirgi kesimidagi noma'lum X burovchi momentni aniqlaymiz. Masalaning sharti bo'yicha valning o'ng oxirgi uchidagi kesimning $\varphi_D = 0$ burilish burchagi nolga teng bo'lishi lozim, ya'ni masalaning shartidan:

$$\varphi_D = 0.$$

Kuchlarning mustaqillik prinsipi asosida quyidagilarni hosil qilamiz:

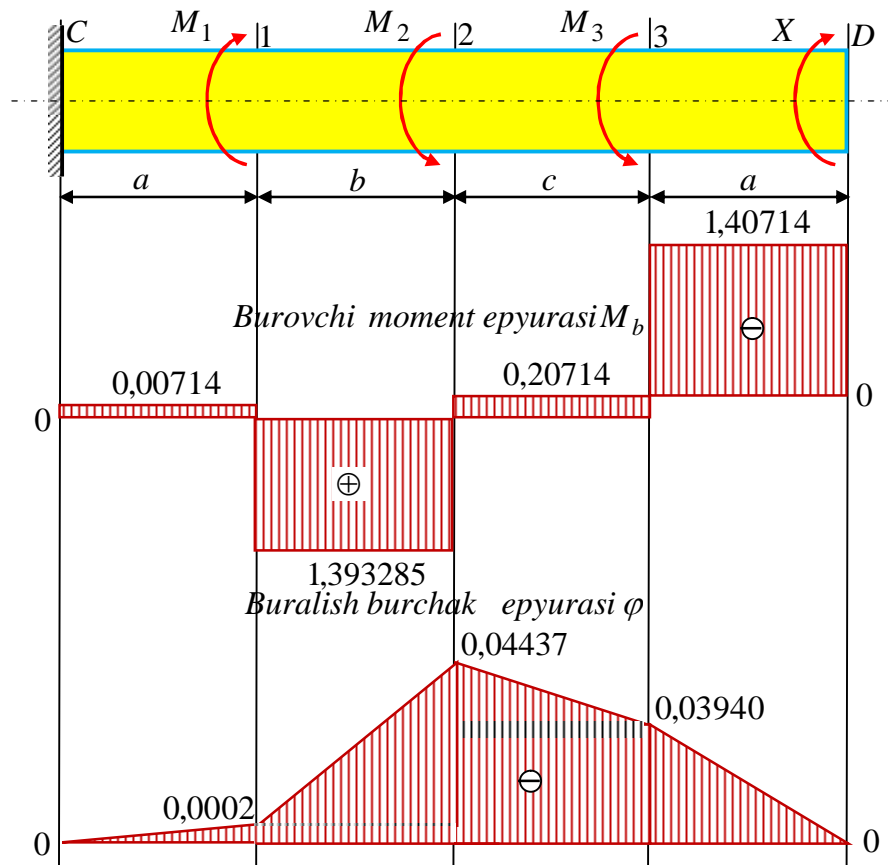
$$\varphi_D = \varphi_D^{M_1} + \varphi_D^{M_2} + \varphi_D^{M_3} + \varphi_D^X = 0.$$

$$\varphi_D = \frac{M_1 \cdot a}{GI_\rho} - \frac{M_2 \cdot (a+b)}{GI_\rho} - \frac{M_3 \cdot (a+b+c)}{GI_\rho} + \frac{X \cdot (2a+b+c)}{GI_\rho} = 0.$$

Bu tenlamadan noma'lum X burovchi moment topiladi:

$$X = \frac{(-M_1) \cdot a + M_2 \cdot (a+b) + M_3 \cdot (a+b+c)}{(2a+b+c)} =$$

$$\frac{(-1,4) \cdot 1,4 + 1,6(1,4 + 1,6) + 1,2(2 \cdot 1,4 + 1,6 + 1,2)}{(2 \cdot 1,4 + 1,6 + 1,2)} = 1,40714kNm.$$



6.10-chizma. Burovchi moment va buralish burchak epyuralari.

Valning har bir oralig‘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 $\varphi_c = 0$.

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= \varphi_c + \varphi_{c-1} = 0 + \frac{M_b^{C-1} \cdot a}{GI_\rho} = \\ &= \frac{(-0,00714 \cdot 10^5 \text{ Nsm}) \cdot (140) \text{ sm}}{(8 \cdot 10^6 \text{ N/sm}^2) \cdot 62,5 \text{ sm}^4} = -0,0002 \text{ rad}. \\ \varphi_2 &= \varphi_{c-1} + \varphi_{1-2} = -0,0002 + \frac{M_b^{1-2} \cdot b}{GI_\rho} = \\ &= -0,0002 + \frac{(1,39286 \cdot 10^5 \text{ Nsm}) \cdot (160) \text{ sm}}{(8 \cdot 10^6 \text{ N/sm}^2) \cdot 62,5 \text{ sm}^4} = 0,04437 \text{ rad}; \\ \varphi_3 &= \varphi_{1-2} + \varphi_{2-3} = -0,04437 + \frac{M_b^{2-3} \cdot c}{GI_\rho} = \\ &= -0,04437 + \frac{-0,20714 \cdot 10^5 \text{ Nsm} \cdot (120) \text{ sm}}{(8 \cdot 10^6 \text{ N/sm}^2) \cdot 62,5 \text{ sm}^4} = -0,0394 \text{ rad}; \\ \varphi_D &= \varphi_{2-3} + \varphi_{3-D} = \frac{M_b^{3-D} \cdot a}{GI_\rho} = -0,0394 + \frac{(-1,40714 \cdot 10^5 \text{ Nsm}) \cdot (140) \text{ sm}}{(8 \cdot 10^6 \text{ N/sm}^2) \cdot 62,5 \text{ sm}^4} = 0. \end{aligned}$$

Buralish burchagini aniqlangan qiymatlari bo‘yicha epyuralari 6.10-chizmada qurib ko‘rsatilgan.

5. Valning eng katta nisbiy buralish burchagini aniqlaymiz:

$$\varphi_{\max} = \frac{M_b^{3-D} \cdot 1m}{GI_\rho} = \frac{1,40286 \cdot 10^5 \text{ Nsm} \cdot 100sm}{8 \cdot 10^6 \text{ N/sm}^2 \cdot 62,5sm^4} = 0,0271 \text{ rad.}$$

Tayanch iboralar:

Burovchi moment, buralish, deformatsiya, kesish usuli, val, mustahkamlik, burovchi moment epyurasi, doiraviy kesimli, kuchlanish va deformatsiya, deformatsiyagacha tekis, ko'ndalang yuzasi, tekisligicha, kesim gardishi aylanaligicha, radiusi esa to'g'ri chiziqsigicha, buralish burchagi, proporsionaldir, nisbiy siljish, urinma kuchlanish, qutb inersiya momenti, bikrlilik, qutb qarshilik momenti, mustahkamlik sharti, bikirlik sharti, buralish burchak epyurasi, buralishda statik aniqmas 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 burovchi 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. Burovchi 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 burovchi moment qanday usuldan foydalanib aniqlanadi?

kesish usulidan;

dinamik usulidan fizik usulidan ;

fizik usulidan ;

boshlag'ich usulidan;

5. Brusning buralishida ko'ndalang kesimida qanday zo'riqish kuchlari hosil bo'ladi?

burovchi moment;

burovchi moment, kesuvchi kuch;

eguvchi moment;

eguvchi moment, ko'ndalang kuch;

6. Statik aniqmas masalalarda noma'lumlar soni statik tenglamalari sonidan bitta ko'p bo'lsa masala necha marta statik noaniq bo'ladi?

1;

5;

4;

3;

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; besh marta;

12. Statik aniqmas masalalarni yechishda asosiy sistema deb qanday sistemaga aytiladi?

statik aniqmas sistemadan ortiqcha bog'lanishlarni 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 kuchi 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 birontasini 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 almashtirib 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'shimcha 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'shimcha 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 buralishida 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?

$$\gamma = \frac{r \cdot d\varphi}{dz}; \quad \gamma_{\rho} = \frac{\rho \cdot d\varphi}{dz};$$

$$\gamma = \frac{r \cdot d\gamma}{dz}; \quad \gamma_{\rho} = \frac{\rho \cdot d\gamma_{\rho}}{dz};$$

18. Ko‘ndalang kesimi doira shaklida brusning to‘la buralish burchagi formulasi qaysi javobda to‘g‘ri keltirilgan?

$$\varphi = \frac{M_b \cdot \ell}{GI_{\rho}}; \quad \varphi = \frac{M_{eg} \cdot \ell}{EI_x};$$

$$\gamma = \frac{r \cdot d\varphi}{dz}; \quad \theta = \frac{M_b}{GI_{\rho}};$$

19. Ko‘ndalang kesimi doira shaklida brusning nisbiy buralish burchagi formulasi qaysi javobda to‘g‘ri keltirilgan?

$$\theta = \frac{M_b}{GI_{\rho}}; \quad \gamma = \frac{r \cdot d\varphi}{dz};$$

$$\varphi = \frac{M_b \cdot \ell}{GI_{\rho}}; \quad \gamma_{\rho} = \frac{\rho \cdot d\gamma_{\rho}}{dz};$$

20. Ko‘ndalang kesimi doira shaklida brusning bikirligi qaysi javobda to‘g‘ri keltirilgan?

$$GI_{\rho}; \quad EI_{\rho};$$

$$\sigma_{\rho}; \quad \tau_{\rho};$$

21. Ko‘ndalang kesimi doira shaklida brus buralganda ko‘ndalang kesimlar orasidagi masofa o‘zgaradimi?

o‘zgarmaydi;

bo‘ylama tolalari cho‘ziladi;

o'zgaradi;

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?

$$\tau = \frac{M_b}{I_\rho} \rho;$$

$$\tau = \frac{M_b}{J_x};$$

$$\tau = \frac{M_b}{W_x};$$

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

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 bikirlik sharti qaysi javobda to‘g‘ri keltirilgan?

$$\theta_{\max} = \frac{M_b}{GI_{\rho}} \leq [\theta];$$

$$\gamma_{\max} = \frac{r \cdot d\varphi}{dz} \leq [\gamma_{\max}];$$

$$\varphi_{\max} = \frac{M_b \cdot \ell}{GI_{\rho}} \leq [\varphi];$$

$$\gamma_{\rho} = \frac{\rho \cdot d\gamma_{\rho}}{dz};$$

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 ;

VII BOB

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'shtavrli 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 biriktirishdan hosil qilingan qo'shma to'sinlar vertikal list (devor), bir nechta gorizontalliklar va burchakliklardan iborat bo'ladi (7.1,a-chizma). Payvandlab biriktirilgan qo'shma to'sinlar vertikal list (devor) va gorizontalliklardan 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.

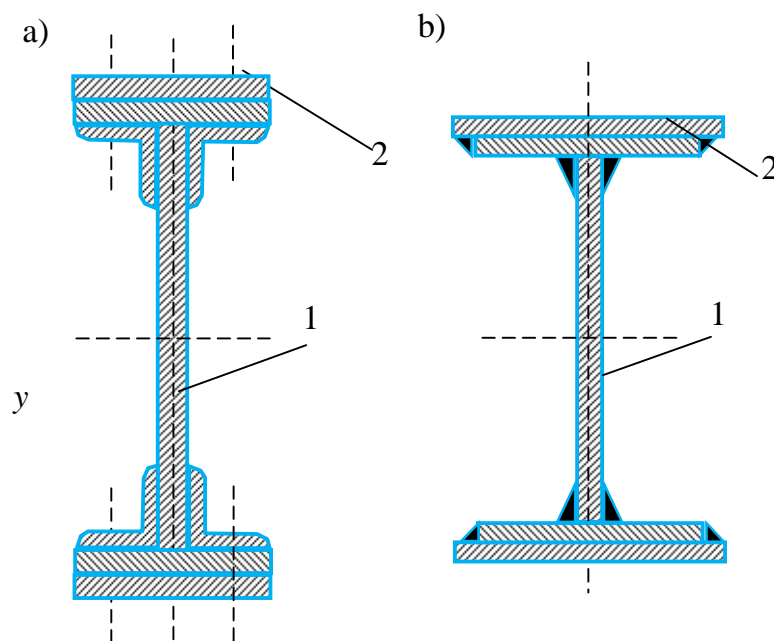
To'sinning ko'ndalang kesim yuzasi o'lchami eng xavfli kesimning mustahkamlik shartidan aniqlanadi, ya'ni

$$\sigma = \frac{M_{x \max}}{W_{x \text{ netto}}} \leq R, \quad (7.1)$$

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:

$$W_{xnetto} = \frac{I_{xnetto}}{y_{max}}. \quad (7.2)$$

Demak bu ifodadan ko‘rinadiki, kesimning inersiya momentini aniqlash lozim:

$$I_{xnetto} = I_{xbrutto} - I_T. \quad (7.3)$$

Bu ifodada kesimning $I_{xbrutto}$ inersiya momenti;

I_T -zaiflashtiruvchi (parchin mixlar uchun o‘yib olingan teshiklarning) yuzaning inersiya momenti.

Qo‘shma to‘sin ko‘ndalang kesimi inersiya momenti uni 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 gorizontal listlari bilan parchin mixlar yordamida tutashtiriladi (7.2-chizma). Gorizontal listlarning burchaklikka nisbatan siljimasligi uchun vertikal parchin mixlar bilan parchinlanadi. Burchaklik devor bo‘yicha siljimasligi uchun gorizontal parchin mixlar bilan parchinlanadi (7.3-chizma).

Burchakliklar va devor orasidagi ishqalanishlarni hisobga olmasak, to‘sin devori bilan burchaklikni tutashtiruvchi gorizontal parchin mixlarga ko‘proq siljituvchi kuch hosil bo‘ladi. Uzunlik birligiga to‘g‘ri keluvchi siljituvchi kuchni quyidagi formuladan aniqlash mumkin:

kesuvchi siljituvchi

$$T_1 = \frac{Q_y S_{xbrutto}^q}{I_{xbrutto}}. \quad (7.5)$$

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:

$$T = T_1 a = \frac{Q_y S_{xbrutto}^q}{I_{xbrutto}} a. \quad (7.6)$$

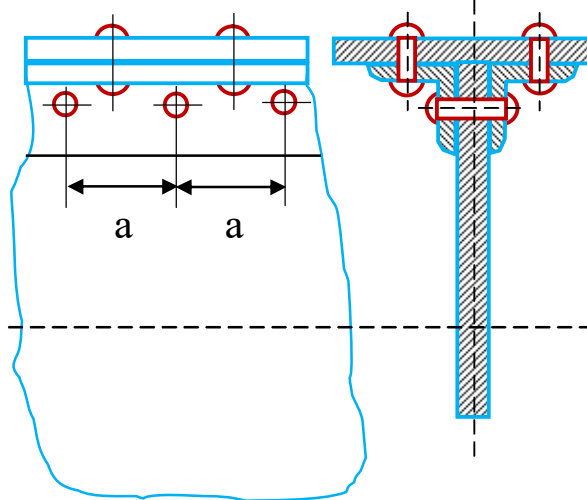
Q_y –ko‘ndalang kuch;

I_x –brutto inersiya momenti;

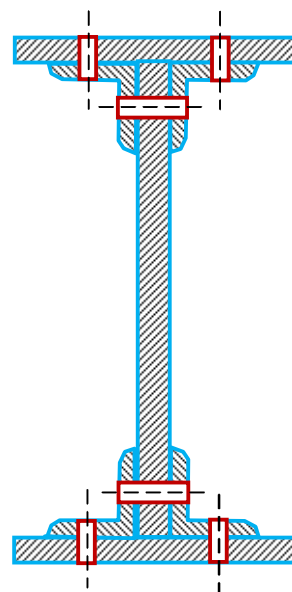
S_x^q –qirqib olingan bo‘lakning statik momenti.

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‘shstavirli konstruksiya.

Parchin mixni ezuvchi kuch quyidagi formuladan topiladi:

$$N_e = A_e R_e; \quad (7.8)$$

n –parchin mixlar qirqilishi mumkin bo‘lgan qirqimlar soni;

d –parchin mix diametri;

R_q, R_e –qirqilish 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 zich 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 kuchlanish.

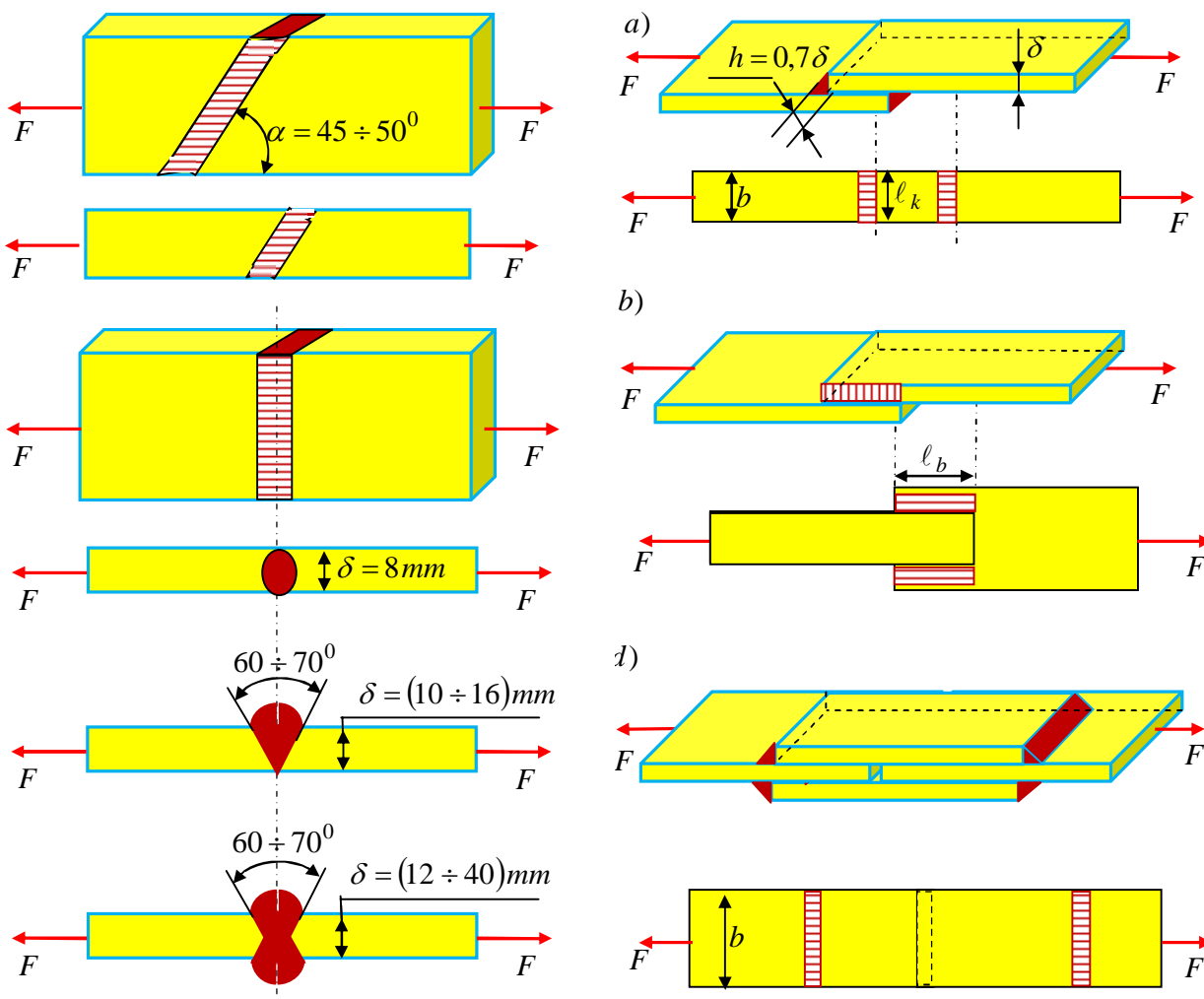
Listlarni payvandlashning ikkinchi usuli ustma-ust qo'yib payvandlash bo'lib, unda listlar valiksimon chok bilan payvandlanadi (7.4-chizma). Valiksimon chokning mustahkamlik shartini yozishda uning kesim yuzasi $A = \ell \cdot h$ qilib olinadi, uzunligi bilan balandligi esa quyidagicha olinadi:

$$\ell = b - 10 \text{ mm}; h = \delta \cdot \cos 45^\circ \cong 0,7\delta.$$

Bunda b —listning eni.

Listlarni ustma-ust qo'yib payvandlashdagi chokning mustahkamlik sharti quyidagicha yoziladi:

$$\tau = \frac{F}{0,7 d \delta} \leq [\tau_e]. \quad (7.12)$$



7.4-chizma. Polosani uchma-uch va ustma-ust payvandlash sxemasi.

Bunda $[\tau_e]$ —elektir payvand chokning kesilishiga ruxsat etilgan kuchlanish.

Payvandlash 7.4-chizmada ko‘rsatilgandek bajarilsa, zo‘riqish kuchiga ikkita chok qarshilik ko‘rsatgani uchun mustahkamlik sharti quyidagicha bo‘ladi:

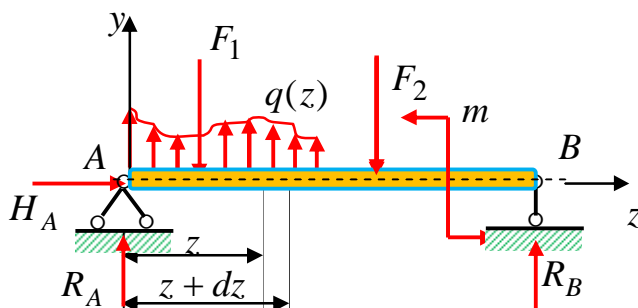
$$\tau = \frac{F}{1,4 \ell \delta} \leq [\tau_e]. \quad (7.13)$$

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 modulilariga 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).



7.6-chizma. Tashqi kuchlar ta’sirilagi 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 tolalarining 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:

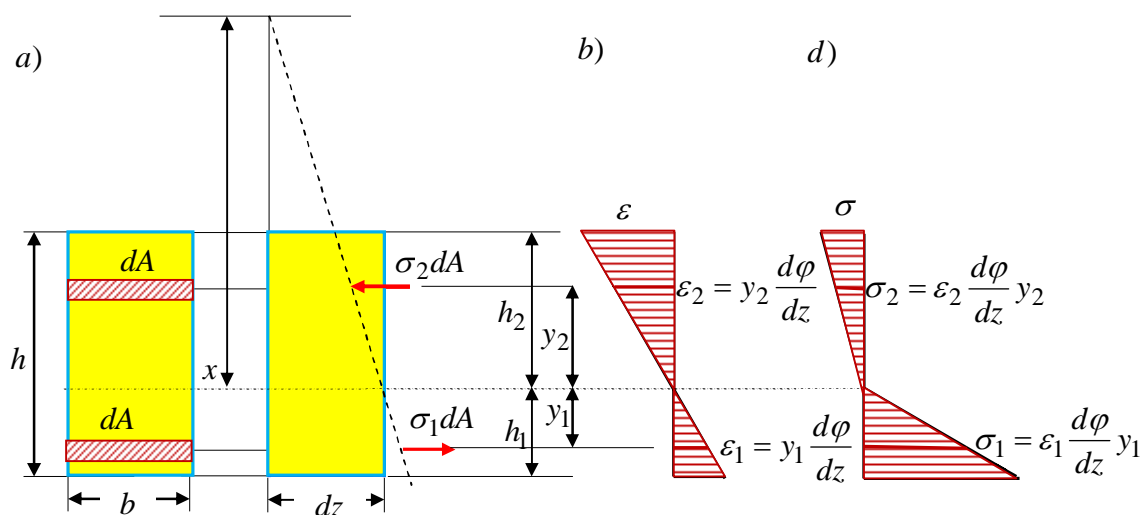
$$\varepsilon_2 = \frac{d\varphi}{dz} y_2. \quad (7.15)$$

Ko‘ndalang kesim bo‘yicha kuchlanishlar epyurasi o‘zgarish qonuni 7.7,d-chizmada keltirilgan. Brusning cho‘zilgan sohasida kuchlanish quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$\sigma_1 = E_1 \frac{d\varphi}{dz} y_1. \quad (7.16)$$

Siqilgan sohasida quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$\sigma_2 = E_2 \frac{d\varphi}{dz} y_2. \quad (7.17)$$



7.7-chizma. Ko'ndalang kesim bo'ylab kuchlanichlarning tarqalish qonuni.

Sof egilishda ko'ndalang kesim yuzasida elementar normal kuchlarning teng ta'sir etuvchisi nolga teng ekanligidan foydalanib quyidagi 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 ifodasini 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‘rinishda 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

$$I_{kel} = \left(I_1 + I_2 \frac{E_2}{E_1} \right) \text{ kesimning keltirilgan inersiya momenti.}$$

Eguvchi moment ifodasi (7.23) ga (7.26) ifodani qo'yib quyidagini hosil qilish mumkin:

$$\frac{M_x}{E_{kel} I} = \frac{d\varphi}{dz}. \quad (7.28)$$

Bu (7.28) ifodani kuchlanishlar formulalari (7.16)-(7.17) ga qo'ysak, ular cho'zilish va siqilish sohalarida tegishlicha quyidagicha 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:

$$\sigma = \frac{M_x}{I} y. \quad (7.30)$$

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:

$$E_{kel} = \frac{4E_1E_2}{\left(\sqrt{E_1} + \sqrt{E_2}\right)^2}. \quad (7.37)$$

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'sinning 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 kuchlanish berilgan ruxsat etilgan normal kuchlanishga teng bo'lib, qolgan barcha kesim yuzalarida kuchlanishlar ruxsat etilgan normal kuchlanishdan

kichik bo‘ladi. Bu sterjenni 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 $b(z) = \frac{b_0}{\ell} z$ asosida o‘zgaruvchi chap uchi bilan qistrib mahkamlangan to‘sin 7.8-chizmada keltirilgan [28, 449-bet].

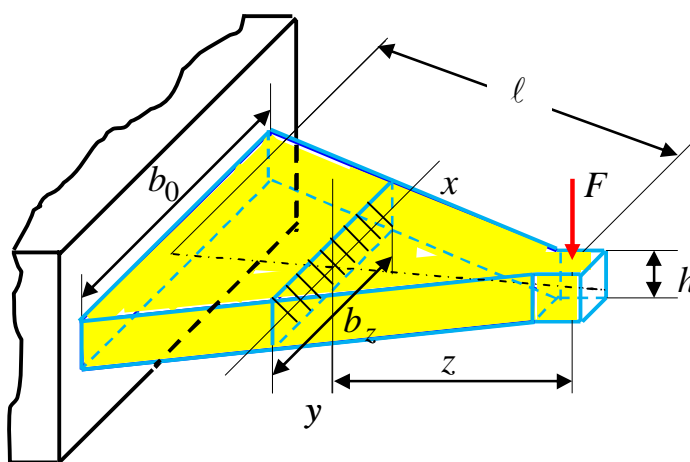
To‘sinning kuch qo‘yilgan erkin uchidan z masofadagi ko‘ndalang kesimning qarshilik momenti quyidagiga teng bo‘ladi:

$$W_x(z) = \frac{b(z)h^2}{6} = \frac{b_0h^2}{6\ell} z = W_{ox} \frac{z}{\ell}. \quad (7.38)$$

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:

$$M_x(z) = Fz. \quad (7.39)$$



7.8-chizma. Ko‘ndalang kesimi balandligi o‘zgarmas bo‘lgan teng qarshilikli brus.

To'g'ri to'rtburchakli kesimning eng uzoqdagi nuqtasida hosil bo'ladigan normal kuchlanish quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_x(z)}{W_x(z)} = \frac{Fz}{\frac{b_0 h^2}{6} \frac{z}{\ell}} = \frac{F\ell}{\frac{b_0 h^2}{6}} = \frac{M_{0x}}{W_{0x}} = \sigma_{0\max} = \text{const.} \quad (7.40)$$

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.

Agar to'sinning balandligi o'zgaruvchi bo'lib uni o'zgarmas bo'lsa (7.9-chizma), uning ko'ndalang kesimida maksimal normal kuchlanishning o'zgarmaslik shartidan to'sin balandligining o'zgarish qonuni quyidagi formuladan aniqlanadi [28, 452-bet]:

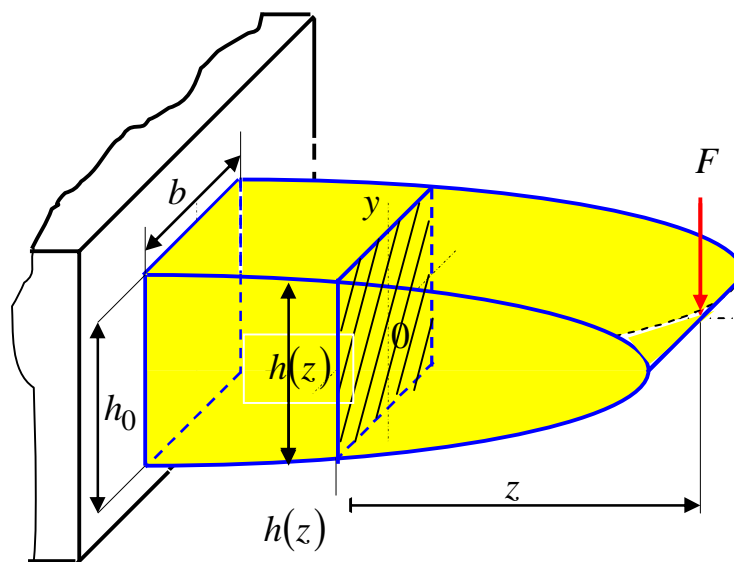
$$\sigma_{\max} = \frac{M_x(z)}{W_x(z)} = \frac{Fz}{\frac{bh^2(z)}{6}} \leq [\sigma]. \quad (7.41)$$

To'sin z kesimidagi normal kuchlanishni, qistrib mahkamlangan kesimdagi kuchlanishga tenglab quyidagi shartni yozish mumkin:

$$\frac{Fz}{\frac{bh^2(z)}{6} \frac{z}{\ell}} = \frac{Fz}{\frac{bh_0^2}{6}}. \quad (7.42)$$

Bu tenglamadan o'zgaruvchi balandlik $h(z)$ ni quyidagicha ifodalash mumkin:

$$h(z) = h_0 \sqrt{\ell/z}. \quad (7.43)$$



7.9-chizma. Ko'ndalang kesimi eni o'zgarmas bo'lgan teng qarshilikli brus.

Egilishga 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 reszorlar ishlatiladi.

Tayanch iboralar:

Qo'shma to'sinlar, mustahkamlik, sanaot, 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 siqilishda 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 uni o‘zgarimas bo‘lsa, uning ko‘ndalang kesimida maksimal normal kuchlanishning o‘zgarimaslik 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‘shstavr 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'sinlarni mustahkamlakka hisoblashda 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 ordinatasiga nisbatiga;

netto inersiya momentining kesim og'irlik markazidan eng yaqin nuqtaning ordinatasiga nisbatiga;

netto inersiya momentining kesim og'irlik markazidan o'rtacha uzoqdagi nuqtaning ordinatasiga nisbatiga;

netto inersiya momentining kesim og'irlik markazidan minimal uzoqdagi nuqtaning ordinatasiga nisbatiga;

10. Netto kesimning inersiya momenti qaysi javobda to'g'ri keltirilgan?

$$I_{xnetto} = I_{xbrutto} - I_T; \quad W_{xnetto} = \frac{M_{xmax}}{R};$$

$$I_x = I_0 + Ac^2; \quad T = T_1 a = \frac{Q_y S_{xbrutto}^q}{I_{xbrutto}} a;$$

11. Qo'shma to'sin 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?

±5% dan oshib ketmasligi;

0% dan oshib ketmasligi;

teng bo'lishi;

berilgan qiymatdan oshib ketmasligi;

14. Qo'shma to'sinlar gorizontal listlarning burchaklikka nisbatan siljimasligi uchun qanday parchin mixlar bilan parchinlanadi?

vertikal parchin mixlar bilan;

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'sin ko'ndalang kesim yuzasi neytral o'qi holatini qaysi formuladan foydalanib aniqlanadi?

$$S_{kel} = (I_1 + I_2 E_2/E_1);$$

$$EI_{kel} = (E_1 I_1 + E_2 I_2);$$

$$EI_{kel} = I(E_1 I_1/I + E_2 I_2/I) = E_{kel} I;$$

$$I_{kel} = (I_1 + I_2 E_2/E_1);$$

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?

$$EI_{kel} = I(E_1 I_1/I + E_2 I_2/I) = E_{kel} I;$$

$$(E)_{kel} = E_1 I_1/I + E_2 I_2/I; E_{kel} = E_1 \frac{I_1}{I} + E_2 \frac{I_2}{I};$$

$$(EI)_{kel} = E_1 (I_1 + I_2 E_2/E_1) = EI_{kel};$$

$$I_{kel} = (I_1 + I_2 E_2/E_1);$$

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'sin 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 balandligi 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.

VIII BOB

EGILGAN TO'SINLARNING KO'CHISHLARINI ANIQLASH

8.1-§. Umumiy tushunchalar

Egilgan to'sinlarning kuchlanishlarni aniqlash bobida sirtqi kuchlar ta'siridan to'sinlar ko'ndalang kesimlarida hosil bo'lgan kuchlanishlarni aniqlash hamda to'sinlarni normal va urinma kuchlanishlar bo'yicha mustahkamlikka tekshirish masalalarini o'rgangan edik. Bular esa egilgan to'sinlar to'g'risida to'la tasavvurga ega bo'lish uchun yetarli emas. Mustahkamligi to'liq ta'minlangan to'sinlarning bikirli ta'minlanmaganligi tufayli solqilanib ishga yaroqsiz holatga kelishi mumkin.

Shuning uchun ham birorta bosh inersiya tekisligida yotuvchi sirtqi kuchlar ta'sirida egilgan to'sinlarda, shu kuch tekisligida hosil bo'lgan deformatsiyasini o'rganish, ya'ni to'sinlarni bikirlikka tekshirish maqsadga muvofiqdir.

To'sinlar deformatsiyalanishini o'rganishdan asosiy maqsad:

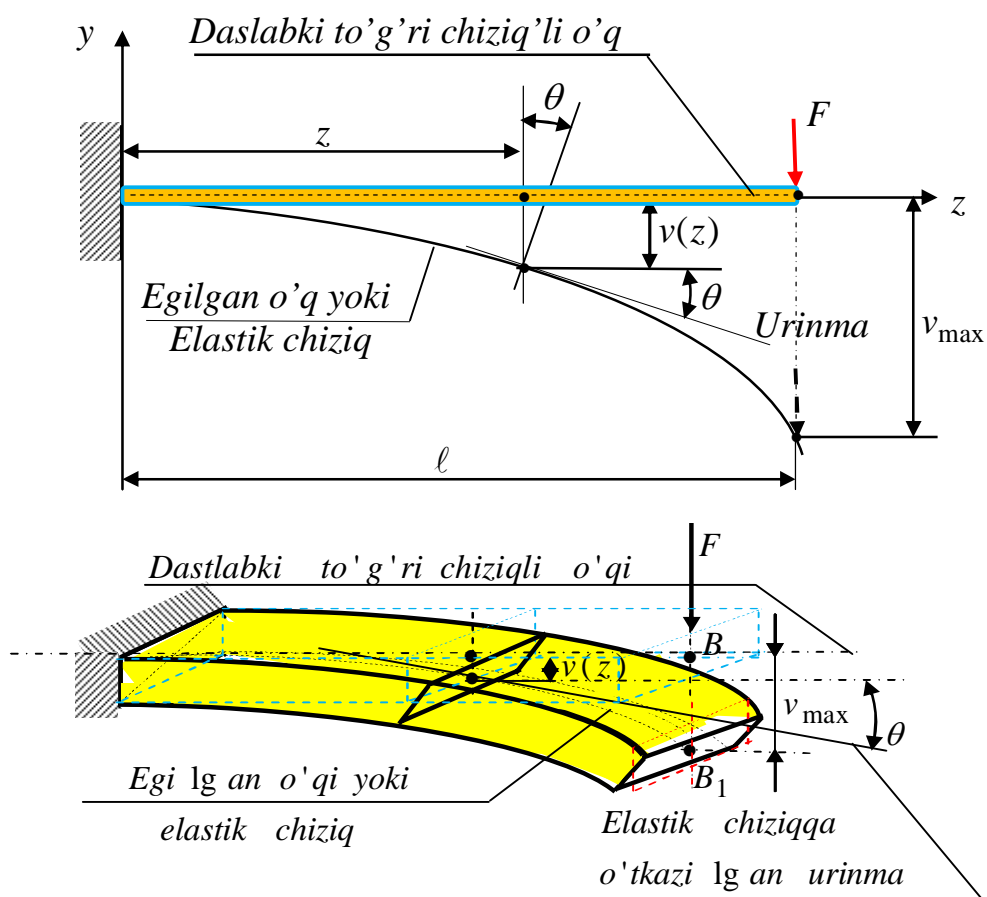
1. solqilikning norma bo'yicha belgilangan qiymatlaridan oshib ketmasligini ta'minlash;
2. statik aniqmas to'sinlar masalasini yechish.

Birorta bosh inersiya tekisligida yotuvchi sirtqi kuchlar ta'sirida egilgan to'sin o'qi kuch tekisligida egilib, ko'ndalang kesim yuzalari tekisligicha qolib, neytral o'q atrofida aylanib boshlang'ich holatiga nisbatan biror burchakka buriladi hamda kesim og'irlik markazlari vertikal ko'chadi (8.1-chizma). Vertikal ko'chishi *solqilik* deb ataladi va uni " $v(z)$ ", *burilish burchagini* " $\theta(z)$ " bilan belgilaymiz.

Deformatsiyalangan to'sinning kuch ta'sir tekisligidagi barcha ko'ndalang kesimlari og'irlik markazlarini tutashturuvchi egri chiziqqa *egilgan o'q* yoki *elastik chiziq* deb ataladi. Elastik chiziq silliq egri chiziq bo'lib, u kuch ta'sir qilayotgan tekisligida yotadi.

Foydalanish qulay bo'lishi maqsadida koordinata boshini har doim to'sinning chap boshlanish uchiga qo'yamiz. Vertikal y koordinata o'qini yuqoriga yo'naltiramiz. Unda to'sin egilgan o'qining solqilik ifodasi quyidagicha yoziladi:

$$v = v(z) \quad (8.1)$$



8.1-chizma. Bir uchi bilan qistirib mahkamlangan erkin uchiga quyilgan to'plangan kuchdan to'sin egilgan o'qi.

To'sin egri chizig'iga o'tkazilgan urinma bilan absissalar o'qi hosil qilgan burchagini, ya'ni burilish burchagini quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{dv}{dz}. \quad (8.2)$$

Amalda to'sinning solqiligi uning uzunligiga nisbatan juda kichik miqdor bo'lganligi uchun, burilish burchagi, odatda, 1^0 dan katta bo'lmaydi. Shu sababli burchak tangensining qiymati uning radian qiymatiga teng deb olish mumkin, ya'ni

$$\theta = \operatorname{tg} \theta = \frac{dv}{dz}. \quad (8.3)$$

Demak, kesimning burilish burchagi shu kesim solqilikdan z o'q bo'yicha olingan birinchi hosilga teng bo'lar ekan.

To'sinlarni bikirlikka tekshirishda eng katta solqilikni topish muhim ahamiyatga ega. Po'lat to'sinlarning ishlash sharoitini e'tiborga olib eng katta solqiligi to'sin ravog'i uzunligining $\frac{1}{250} \div \frac{1}{1000}$ qismidan ortib ketmasligi lozim.

To'sinlarning bikirligini tahlil qilishda egilgan o'q differensial tenglamalarini tuzish va ularni yechish muhim ahamiyat kasb etadi.

8.2-§. To'sin egilgan o'qining differensial tenglamasi

Sof egilish. Normal kuchlanishlarni aniqlash mavzusida eguvchi moment bilan egrilik o'rtasida quyidagi munosabat mavjudligini aniqlagan edik:

$$\frac{1}{\rho(z)} = \frac{M_x(z)}{EI_x}. \quad (8.4)$$

Egrilikni aniqlash formulasi oliy matematika kursidan ma'lum va u quyidagi ko'rinishda ifodalanadi:

$$\frac{1}{\rho} = \pm \frac{\frac{d^2v}{dz^2}}{\left[1 + \left(\frac{dv}{dz}\right)^2\right]^{3/2}}. \quad (8.5)$$

Egrilik qiymatini (8.4) tenglikka qo'yib, to'sin elastik chizig'ining aniq differensial tenglasmasini hosil qilamiz:

$$\pm \frac{\frac{d^2v}{dz^2}}{\left[1 + \left(\frac{dv}{dz}\right)^2\right]^{3/2}} = \frac{M_x}{EI_x}. \quad (8.6)$$

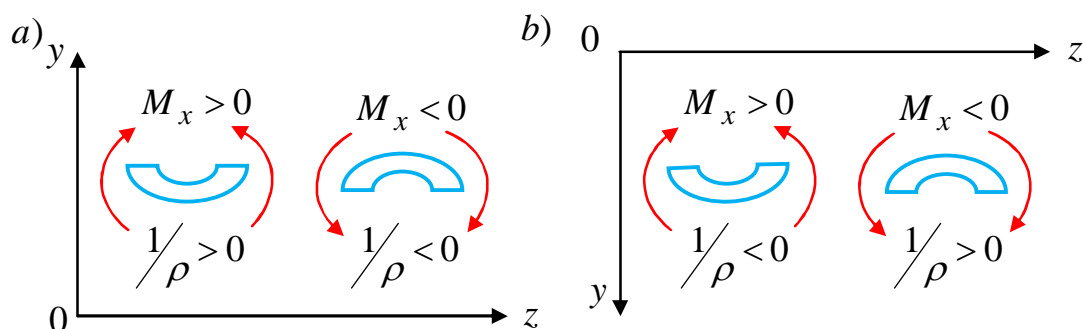
Bu nochiziq differensial tenglamani integrallash anchagina murakkabdir. Tenglamaning maxrajidagi $\frac{dv}{dz}$ ifoda to'sin o'qiga o'tkazilgan urinma og'ish

burchagining tangensi kichik miqdor ekanligini e'tiborga olib, $\left(\frac{dv}{dz}\right)^2$ birinchi

hosilning kvadrati birga nisbatan juda ham kichik bo‘lganligi sababli uni e‘tiborga olmaymiz. Natijada quyidagi taqribiy differensial tenglamani hosil qilamiz:

$$\frac{d^2v}{dz^2} = \pm \frac{M_x}{EI_x}. \quad (8.7)$$

Egrilik ishorasi bilan eguvchi moment ishorasi har doim ham mos kelmaganligi sababli tenglama ikki xil ishora bilan olingan. Eguvchi moment ishorasi to‘sinning cho‘zilgan tolalari joylashishiga qarab olinishi ma‘lum. Egrilik radiusi ishorasi koordinata o‘qlari yo‘nalishi bilan bog‘liqdir (8.2-chizma).



8.2-chizma. Egrilik ishorasi bilan eguvchi moment ishorasi orasidagi bog‘lanish.

Agar Oy koordinata o‘qi yuqoriga qarab yo‘nalgan bo‘lsa, differensial tenglamaning ishorasi musbat olinadi. Chunki, musbat eguvchi momentga musbat egrilik, manfiy eguvchi momentga manfiy egrilik mos keladi (8.2,a-chizma). Unda differensial tenglama ifodasi:

$$\frac{d^2v}{dz^2} = \frac{M_x}{EI_x}. \quad (8.8)$$

Agar Oy koordinata o‘qi pastga qarab yo‘nalgan bo‘lsa, eguvchi moment bilan egrilik ishoralari turlicha bo‘ladi (8.2,b-chizma), unda differensial tenglama manfiy ishora bilan olinadi:

$$\frac{d^2v}{dz^2} = -\frac{M_x}{EI_x}. \quad (8.9)$$

Juravskiy teoremlarini e‘tiborga olib o‘zgarmas ko‘ndalang kesimli to‘sin uchun quyidagi bog‘lanishlarni hosil qilish mumkin:

$$\begin{aligned} \theta &= \frac{dv}{dz}; & \pm M_x &= EI_x \frac{d^2v}{dz^2}; \\ Q_y &= EI_x \frac{d^3v}{dz^3}; & q &= EI_x \frac{d^4v}{dz^4}. \end{aligned} \quad (8.10)$$

Bu ifodalardan xulosa qilib shuni aytish mumkinki, agar to'singa juft kuch ta'sir qilsa, elastik chizig'i ikkinchi tartibli egri chiziq, to'plangan ($q=0$, $Q=const$) kuch ta'sir etsa, uchinchi tartibli egri chiziq, tekis taqsimlangan kuch ta'sir etsa, to'rtinchi tartibli egri chiziqdan iborat bo'lar ekan.

Egilgan to'sin deformatsiyalari $v=v(z)$; $\theta=\theta(z)$ ni aniqlashning bir qancha usullari mavjud. Bu usullardan ba'zilarini quyidagi mavzularda ko'rib chiqamiz.

8.3-§. Differensial tenglamani integrallash va doimiylarni aniqlash

$\theta(z)$ burilish va $v(z)$ solqilik funuksiyalarini aniqlash uchun (8.7) taqribiy differensial tenglamani ketma-ket integrallaymiz.

Differensial tenglamani bir marta integrallab $\theta(z)$ burilish burchak ifodasini topamiz:

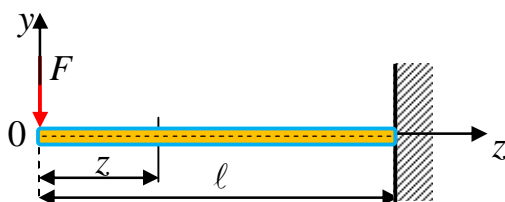
$$\frac{dv}{dz} = \pm \int \frac{M_x}{EI_x} dz + C. \quad (8.11)$$

Ikkinchi marta integrallab, $v(z)$ solqilik ifodasini hosil qilamiz:

$$v = \pm \iint \frac{M_x}{EI_x} dz dz + Cz + D. \quad (8.12)$$

Bu tenglamalar tarkibiga kirgan integral doimiylari C va D to'sinning tayanchlarga mahkamlanish usuliga bog'liq bo'lgan chegaradagi shartlaridan foydalanib aniqlanadi. Integral doimiylarini aniqlashni quyidagi misollarda ko'rib chiqamiz:

8.1-masala. Erkin uchiga to'plangan kuch qo'yilgan konsol to'sin uchun burilish burchak va solqilik tenglamasi ifodalari tuzilsin va erkin uchidagi burilish burchak va solqilik qiymatlari aniqlansin (8.3-chizma).



8.3-chizma. To'plangan yuk bilan yuklangan konsol balka.

Yechish. a) Koordinata boshidan z masofadagi kesim uchun eguvchi moment tenglamasini tuzamiz:

$$M_x = -Fz. \quad (1)$$

b) Koordinata o'qi y yuqoriga yo'nalganligi uchun to'sin egilgan o'qi differensial tenglamasi o'ng tomoni ishorasi musbat bo'lib (8.8) ko'rinishida ifodalanadi:

$$\frac{d^2v}{dz^2} = \frac{M_x}{EI_x}. \quad (2)$$

Bu differensial tenglamaga $M = -Fz$ ifodani qo'yib konsol to'sin uchun quyidagi differensial tenglamani hosil qilamiz:

$$\frac{d^2v}{dz^2} = -\frac{Fz}{EI_x}. \quad (3)$$

Bu tenglamani bir marta integrallab burilish burchak ifodasini hosil qilamiz:

$$\frac{dv}{dz} = -\frac{F}{2EI_x} z^2 + C. \quad (4)$$

Ikinchi marta integrallab solqilik ifodasini hosil qilamiz:

$$v = -\frac{F}{EI_x} \frac{z^3}{6} + Cz + D. \quad (5)$$

Ma'lumki, konsolning qistirib mahkamlangan tayanchida burilish burchak va solqilik nolga teng bo'ladi. Bu chegara shartlaridan integral doimiylarini aniqlaymiz:

- $z = \ell$, bo'lganda qistirib mahkamlangan tayanchda konsol to'sin burilish burchagi nolga teng bo'ladi, ya'ni $\frac{dv(\ell)}{dz} = 0$.

Bu chegara shartdan quyidagi algebraik tenglamani hosil qilamiz:

$$-\frac{F}{2EI_x} \cdot \ell^2 + C = 0.$$

Bundan

$$C = \frac{F\ell^2}{2EI_x}. \quad (6)$$

2. $z = \ell$, bo'lganda qistirib mahkamlangan tayanchda to'sin solqiligi nolga teng bo'ladi, ya'ni $v(\ell) = 0$;

Bu chegara shartdan quyidagi algebraik tenglamani hosil qilamiz:

$$-\frac{F}{EI_x} \frac{\ell^3}{6} + C \cdot \ell + D = 0.$$

Bu tenglamaga C qiymatni qo'ysak unda:

$$-\frac{F}{EI_x} \frac{\ell^3}{6} + \frac{F\ell^2}{2EI_x} \cdot \ell + D = 0.$$

Bundan

$$D = -\frac{F\ell^3}{3EI_x}. \quad (7)$$

Unda to'sin ko'ndalang kesimi burilish burchak va solqilik funksiyalari ifosalari quyidagicha ifodalanadi:

$$\theta = \frac{dv}{dz} = -\frac{F}{2EI_x} z^2 + \frac{F\ell^2}{2EI_x}. \quad (8)$$

$$v = -\frac{F}{6EI_x} z^3 + \frac{F\ell^2}{2EI_x} z - \frac{F\ell^3}{3EI_x}. \quad (9)$$

Bu ifodalardagi z absissaga ma'lum qiymatlar berib, to'sinning uzunligi bo'ylab ma'lum kesimlaridagi burilish burchak va solqiliklarining son qiymatlarini aniqlash mumkin.

$z = 0$ koordinata boshida burilish burchak $\theta(0) = \frac{dv(0)}{dz} = \frac{F\ell^2}{2EI_x}$ ga, solqilik

$v(0) = -F\ell^3/3EI_x$ ga teng bo'ladi.

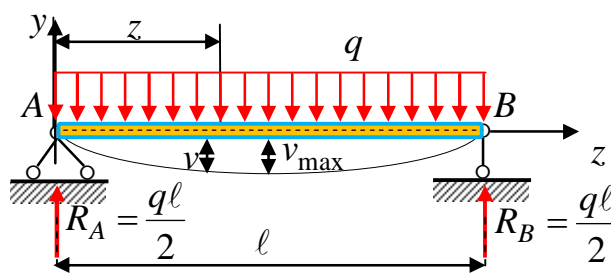
Demak birinchi chegara sharti va burilish burchak ifodasidan, shuni xulosa qilib aytish mumkinki, integrallash doimiysi C koordinata boshidagi burilish burchagini bildiradi va qaralayotgan masalada $C = \theta(0) = \frac{F\ell^2}{2EI_x}$ ga teng.

Ikkinchi chegara sharti va solqilik deformatsiyasi ifodasidan, shuni xulosa qilib aytish mumkinki, integrallash doimiysi D koordinata boshidagi solqilikni bildiradi va qaralayotgan masalada $D = v(0) = -\frac{F\ell^3}{3EI_x}$ ga teng.

Eng katta solqilik va burilish burchak yuk qo'yilgan kesim ostida bo'lishi 8.3-chizmadan ko'rinib turibdi va u quyidagiga teng bo'ladi:

$$\begin{aligned} v(0) &= -\frac{F\ell^3}{3EI_x}; \\ \theta(0) &= \frac{F\ell^2}{2EI_x}. \end{aligned} \tag{10}$$

8.2-masala. Tekis taqsimlangan yuk ta'siridagi ikki tayanchda yotgan oddiy to'sin uchun burilish burchak va solqilik tenglamasi ifodalari tuzilsin. To'sin tayanchlardagi burilish burchaklari va eng katta solqilik deformatsiyasi aniqlansin (8.4-chizma).



8.4-chizma. Tekis taqsimlangan yuk bilan yuklangan oddiy to'sin.

Yechish. a) To'sin simmetrik yuklanganligi uchun har ikkala tayanchga teng taqsimlanib, sirtqi kuchlar teng ta'sir etuvchisining yarimiga teng bo'ladi, yani

$$R_A = R_B = \frac{q\ell}{2}.$$

b) Koordinata boshidan z masofadagi kesim uchun eguvchi moment ifodasini tuzamiz:

$$M_x = \frac{q\ell}{2}z - qz\frac{z}{2}. \quad (1)$$

d) Koordinata o'qi y yuqoriga yo'nalganligi uchun to'sin egilgan o'qi differensial tenglamasi ishorasi musbat olinadi:

$$\frac{d^2v}{dz^2} = \frac{M_x}{EI_x}. \quad (2)$$

Unda to'sin egilgan o'qining differensial tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\frac{d^2v}{dz^2} = -\frac{q}{2EI_x}z^2 + \frac{q\ell}{2EI_x}z. \quad (3)$$

Bu tenglamani bir marta integrallab burilish burchak ifodasini hosil qilamiz:

$$\theta = \frac{dv}{dz} = -\frac{q}{6EI_x}z^3 + \frac{q\ell}{4EI_x}z^2 + C. \quad (4)$$

Ikkinchi marta integrallab solqilik ifodasini hosil qilamiz:

$$v = -\frac{q}{24EI_x}z^4 + \frac{q\ell}{12EI_x}z^3 + Cz + D. \quad (5)$$

Bu tenglamalardagi C va D integral doimiylarni to'sinning quyidagi chegara shartlaridan aniqlaymiz:

1. Koordinata boshida, ya'ni $z = 0$ bo'lgan nuqtada solqilik $v(0) = 0$ bo'ladi.

Bu chegara shartdan quyidagi algebraik tenglamani hosil qilamiz:

$$v(0) = -\frac{q}{24EI_x}0^4 + \frac{q\ell}{12EI_x}0^3 + C \cdot 0 + D = 0.$$

Bundan $D = 0$ ga teng.

2. To'sinning $z = \ell$ bo'lgan nuqtasida solqilik $v(\ell) = 0$ bo'ladi.

Bu chegara shartdan quyidagi algebraik tenglamani hosil qilamiz:

$$v(\ell) = -\frac{q}{24EI_x}\ell^4 + \frac{q\ell}{12EI_x}\ell^3 + C\ell + D = 0.$$

Bu tenglamaga D integrallash doimiysi qiymatini qo'yib quyidagini topamiz:

$$C = -\frac{q\ell^3}{24EI_x}.$$

Chegara shartlaridan aniqlangan integral doimiylarini e'tiborga olib burilish burchak va solqilik tenglamalarini quyidagicha ifodalaymiz:

$$\theta = \frac{dv}{dz} = -\frac{qz^3}{6EI_x} + \frac{q\ell}{4EI_x}z^2 - \frac{q\ell^3}{24EI_x}. \quad (6)$$

$$v = -\frac{qz^4}{24EI_x} + \frac{q\ell}{12EI_x}z^3 - \frac{q\ell^3}{24EI_x}z. \quad (7)$$

Bu ifodalardagi z absissaga ma'lum qiymatlar berib, to'sinning uzunligi bo'ylab ma'lum kesimlaridagi burilish burchak va solqiliklarining son qiymatlarini aniqlash mumkin.

Tayanchlardagi burilish burchaklarining qiymatlarini yuqoridagi (6) ifodadan aniqlaymiz ular quyidagilarga teng bo'lar ekan:

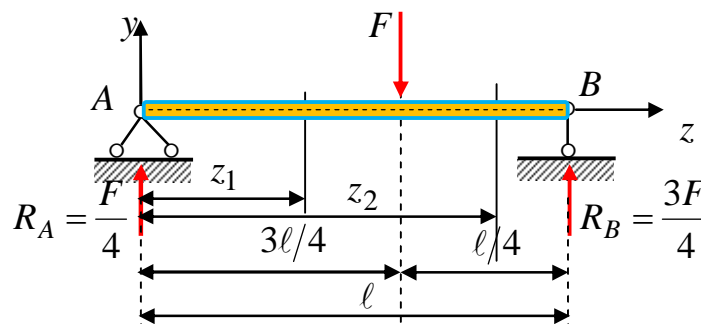
$$z = 0 \text{ bo'lganda } \theta_a = \theta_0 = -\frac{q\ell^3}{24EI_x}.$$

$$z = \ell \text{ bo'lganda } \theta_b = \frac{q\ell^3}{24EI_x}.$$

To'sinning tayanchlari o'rtasida $z = \ell/2$ bo'lgan kesimida burilish burchak nolga teng bo'lib, solqilik maksimumga teng bo'ladi:

$$v_{\max} = -\frac{5}{384} \frac{q\ell^4}{EI_x}. \quad (8)$$

8.3-masala. 8.5-chizmada ko'rsatilgan ikki tayanchda yotgan to'sin uchun burilish burchak va solqilik ifodalari tuzilsin. To'sin tayanch kesimlaridagi burilish burchaklari va kuch qo'yilgan kesimning solqilik qiymatlari aniqlansin.



8.5-chizma. To'plangan yuk bilan yuklangan oddiy to'sin.

Yechish. a) Har ikkala tayanchlardagi reaksiya kuchlarini yuqoriga yo‘naltiramiz va ularni statika muvozanat tenglamalaridan aniqlaymiz:

$$\begin{aligned}\sum mom_B &= R_A \ell - F \frac{\ell}{4} = 0; & R_A &= \frac{F}{4}. \\ \sum mom_A &= -R_B \ell + F \frac{3\ell}{4} = 0; & R_B &= \frac{3F}{4}.\end{aligned}$$

b) Reaksiya kuchlarining to‘g‘ri aniqlanganligini tekshirish:

$$\sum Y = R_A - F + R_B = 0; \quad \frac{3F}{4} - F + \frac{F}{4} = 0; \quad 0 \equiv 0.$$

d) Har ikkala oraliqlar uchun eguvchi moment ifodalarini tuzamiz:

$$M_1 = \frac{F}{4} z_1; \quad M_2 = \frac{F}{4} z_2 - F \left(z_2 - \frac{3\ell}{4} \right). \quad (1)$$

e) Koordinat o‘qi y yuqoriga yo‘nalganligi uchun to‘sin egilgan o‘qi differensial tenglamasi musbat ishora bilan olinadi, ya’ni

$$\begin{aligned}\frac{d^2 v_1}{dz^2} &= \frac{F}{4EI_x} z_1; \\ \frac{d^2 v_2}{dz^2} &= \frac{F}{4EI_x} z_2 - \frac{F}{EI_x} z_2 + \frac{F}{EI_x} \frac{3\ell}{4}.\end{aligned} \quad (2)$$

Bu tenglamalarni bir martadan integrallab burilish burchak tenglamalari ifodalarini hosil qilamiz:

$$\begin{aligned}\frac{dv_1}{dz} &= \frac{F}{8EI_x} z_1^2 + C_1; \\ \frac{dv_2}{dz} &= \frac{F}{8EI_x} z_2^2 - \frac{F}{2EI_x} z_2^2 + \frac{3F\ell}{4EI_x} z_2 + C_2.\end{aligned} \quad (3)$$

Ikkinchi marta integrallab solqilik ifodalarini hosil qilamiz:

$$\begin{aligned}v_1 &= \frac{Fz_1^3}{24EI_x} + C_1 z_1 + D_1; \\ v_2 &= \frac{Fz_2^3}{24EI_x} - \frac{Fz_2^3}{6EI_x} + \frac{3F\ell z_2^2}{8EI_x} + C_2 z + D_2.\end{aligned} \quad (4)$$

Integrallash natijasida hosil bo‘lgan C_1, C_2, D_1, D_2 doimiylarni aniqlash uchun quyidagi chegara shartlaridan foydalanamiz:

$$1. z = 0; \text{ bo'lganda } v_1(0) = 0. \frac{F}{24EI_x} 0^3 + C_1 \cdot 0 + D_1 = 0; \quad D_1 = 0. \quad (5)$$

$$2. z_1 = z_2 = (3\ell/4); \text{ bo'lganda } \frac{dv_1}{dz}(3\ell/4) = \frac{dv_2}{dz}(3\ell/4).$$

$$\frac{F}{8EI_x} \left(\frac{9\ell^2}{16} \right) + C_1 = \frac{F}{8EI_x} \left(\frac{9\ell^2}{16} \right) - \frac{F}{2EI_x} \left(\frac{9\ell^2}{16} \right) + \frac{3F\ell}{4EI_x} \left(\frac{3\ell}{4} \right) + C_2; \quad (6)$$

$$C_1 = \frac{9F\ell^2}{32EI_x} + C_2.$$

$$3. z_1 = z_2 = (3\ell/4) \text{ bo'lganda } v_1(3\ell/4) = v_2(3\ell/4).$$

$$\frac{F}{24EI_x} \left(\frac{27\ell^3}{64} \right) + C_1 \left(\frac{3\ell}{4} \right) = \frac{F}{24EI_x} \left(\frac{27\ell^3}{64} \right) - \frac{F}{6EI_x} \left(\frac{27\ell^3}{64} \right) + \frac{3F\ell}{8EI_x} \left(\frac{9\ell^2}{16} \right) + C_2 \left(\frac{3\ell}{4} \right) + D_2;$$

$$\frac{9F\ell^2}{32EI_x} \left(\frac{3\ell}{4} \right) + C_2 \left(\frac{3\ell}{4} \right) = -\frac{F}{6EI_x} \left(\frac{27\ell^3}{64} \right) + \frac{3F\ell}{8EI_x} \left(\frac{9\ell^2}{16} \right) + C_2 \left(\frac{3\ell}{4} \right) + D_2;$$

$$D_2 = \frac{9F\ell^3}{128EI_x}.$$

$$4. z = \ell; \text{ bo'lganda } v_2(\ell) = 0.$$

$$v_2(\ell) = \frac{F}{24EI_x} \ell^3 - \frac{F}{6EI_x} \ell^3 + \frac{3F\ell}{8EI_x} \ell^2 + C_2 \ell + D_2 = 0.$$

$$\frac{F}{24EI_x} \ell^3 - \frac{F}{6EI_x} \ell^3 + \frac{3F}{8EI_x} \ell^3 + C_2 \ell + \frac{9F}{128EI_x} \ell^3 = 0 \quad (8)$$

$$C_2 = -41F\ell^2/128EI_x.$$

Unda (6) tenglamadan C_1 quyidagiga teng bo'ladi:

$$C_1 = \frac{9F\ell^2}{32EI_x} + C_2 = \frac{9F\ell^2}{32EI_x} - \frac{41F\ell^2}{128EI_x}; \text{ bundan } C_1 = -\frac{5F\ell^2}{128EI_x}. \quad (9)$$

Aniqlangan integral doimiylarini e'tiborga olib har bir oraliq uchun burilish burchak va solqilik ifodalarini quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\frac{dv_1}{dz} = \frac{F}{8EI_x} z_1^2 - \frac{5F\ell^2}{128EI_x}; \quad (10)$$

$$\frac{dv_2}{dz} = \frac{F}{8EI_x} z_2^2 - \frac{F}{2EI_x} z_2^2 + \frac{3F\ell}{4EI_x} z_2 - \frac{41F\ell^2}{128EI_x}.$$

$$v_1 = \frac{F}{24EI_x} z_1^3 - \frac{5F\ell^2}{128EI_x} z_1; \quad (11)$$

$$v_2 = \frac{F}{24EI_x} z_2^3 - \frac{F}{6EI_x} z_2^3 + \frac{3F\ell}{8EI_x} z_2^2 - \frac{41F\ell^2}{128EI_x} z_2 + \frac{9F\ell^3}{128EI_x}.$$

To'sinning chap A tayanchidagi kesimning burilish burchagini (10) formulaning birinchisidan aniqlaymiz:

$$z_1 = 0; \text{ bo'gand } \theta_A(0) = \frac{dv_1}{dz}(0) = -\frac{5F\ell^2}{128EI_x}.$$

To'sinning o'ng B tayanchidagi kesimning burilish burchagini (10) formulaning ikkinchisidan aniqlaymiz:

$$\begin{aligned} z_2 = \ell; \theta_B(\ell) &= \frac{dv_2}{dz}(\ell) = \frac{F}{8EI_x} \ell^2 - \frac{F}{2EI_x} \ell^2 + \\ &+ \frac{3F\ell}{4EI_x} \ell - \frac{41F\ell^2}{128EI_x} = \frac{7F\ell^2}{128EI_x}. \end{aligned}$$

To'sinning kuch qo'yilgan kesimidagi solqilik (11) formulaning birinchisidan aniqlaymiz:

$$v_1\left(\frac{3\ell}{4}\right) = \frac{F}{24EI_x} \left(\frac{3\ell}{4}\right)^3 - \frac{5F\ell^2}{128EI_x} \left(\frac{3\ell}{4}\right) = -\frac{3F\ell^3}{256EI_x}. \quad (12)$$

Agar to'plangan kuch to'sin uzunligining o'rtasiga qo'yilgan bo'lsa solqilik (11) formulaning birinchisiga asosan quyidagiga teng bo'ladi:

$$v_1\left(\frac{\ell}{2}\right) = -F\ell^3/48EI_x. \quad (13)$$

Bu masaladan ko'rinadiki, to'sinning oraliqlar soni ikkita bo'lsa har bir oraliq uchun eguvchi moment ifodalari alohida-alohida aniqlanadi va bu oraliqlar uchun ikkita differensial tenglama tuzildi. Bu differensial tenglamalarni integrallash natijasida to'rtta integral doimiylari hosil bo'ldi. Bu doimiylarni aniqlash uchun to'sin chegara

shartlaridan foydalanib to'rtta algebraik tenglama tuziladi va ulardan integral doimiylari aniqlanadi.

Demak, to'sin oraliqlari soni n ta bo'lsa, n ta differensial tenglama tuziladi va integrallash natijasida hosil bo'lgan $2n$ ta integral doimiylarini aniqlash uchun $2n$ ta algebraik tenglama tuziladi. Bu algebraik tenglamalardan $2n$ ta noma'lum doimiylar aniqlanadi. Hatto, to'sin uchastkalari soni $n=3$ ga teng bo'lganda ham integral doimiylarini aniqlash juda ham ko'p mehnat talab qiladi. Bunday masalalarni hal qilish matematik jihat katta qiyinchilik tug'dirmasada, lekin ko'p mehnat talab qiladi.

Shu sababli ikki va undan ortiq oraliqli to'sinlar burilish burchagi va solqiligini aniqlash masalalarini yechishda yuqoridagi kamchiliklardan holi bo'lgan boshlang'ich parametr usulidan foydalanish maqsadga muvofiq bo'ladi.

Ko'rib chiqilgan masalalardan, to'sinlar ko'chishlarini egilgan o'q differensial tenglamasini integrallab aniqlash natijasidan, shunday xulosaga kelish mumkinki, elastik chiziq differensial tenglamasini to'g'ridan to'g'ri integrallash usuli bilan to'sin ko'chishlarini aniqlashni quyidagi tartibda bajarish lozim ekan:

- tayanch reaksiyalari aniqlanadi;
- to'sinning har bir oralig'i uchun eguvchi moment ifodasi tuziladi;
- to'sinning elastik chizig'i asosiy differensial (8.7) tenglamasiga har bir oraliq uchun eguvchi moment ifodasi qo'yiladi;
- asosiy differensial tenglamani ikki marta integrallab har bir oraliq uchun burilish burchak va solqilikning umumiy ifodalari aniqlanadi;
- to'sin tayanchlaridagi va oraliqlari chegaralaridagi shartdan integral doimiylari aniqlanadi;
- aniqlangan doimiylar to'sin kesimlarining aylanish burchak va solqiliklarining umumiy formulasi qo'yiladi;
- masalaning shartiga ko'ra to'sinning u yoki bu kesimlaridagi burilish burchak va solqilik qiymatlari aniqlanadi.

8.4-§. Boshlang'ich parametrlar usuli

To'sin egilgan o'qining universal tenglamasidan foydalanilsa, solqilikni aniqlash masalasi soddalashadi. Universal tenglamani keltirib chiqarish uchun boshlang'ich

parametr usulidan foydalanamiz. Tenglamani chiqarishda barcha sirtqi yuklarning yo‘nalishini shunday tanlaymizki, ular musbat eguvchi moment hosil qilsin. To‘sinning turli kesimlariga ta‘sir etayotgan bir nechta juft yuk, to‘plangan yuk va tekis taqsimlangan yuklar tizimi qo‘yilgan bo‘lishi mumkin. Lekin, ishni soddalashtirish maqsadida faqat bitta to‘plangan yuk, juft yuk va tekis taqsimlangan yuk bilan yuklangan 8.6-chizmada keltirilgan to‘sinning egilish masalasini qarab chiqamiz.

Boshlang‘ich parametr usulidan foydalanishda quyidagi amallarni e‘tiborga olish lozim:

- koordinata boshini to‘sin chap uchiga joylashtiramiz va uni hamma oraliq uchun umumiy deb hisoblaymiz;

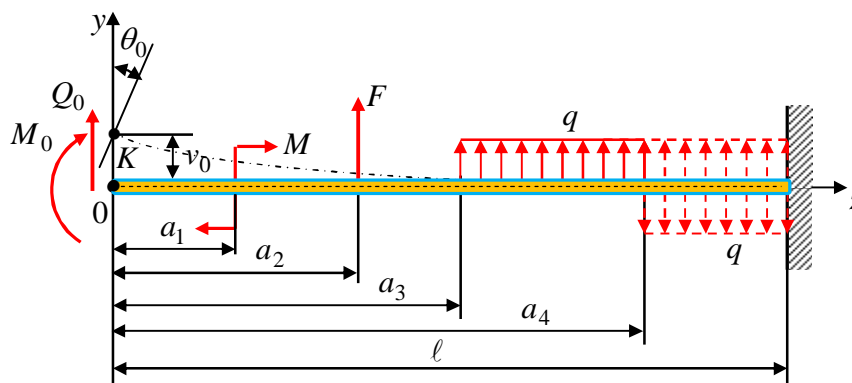
- eguvchi moment ifodasi qaralayotgan kesimdan chap tomonda joylashgan barcha sirtqi kuchlardan tuziladi;

- eguvchi moment ifodasiga kirgan sirtqi juft M kuch hadni $(z - a)^0$ binomga ko‘paytirish lozim; bunda $(z - a)^0 = 1$ bo‘lib, a juft M kuch qo‘yilgan kesim absissasi;

- barcha oraliqlar uchun tenglamalarni integrallashda qavslar ochilmasdan integrallanadi;

- agar tekis taqsimlangan yuk to‘sinning oxirgi o‘ng uchigacha yetmagan bo‘lsa, uni to‘sin oxirgi uchigacha davom ettiramiz va yuk davom ettirilgan kesimdan uni muvozanatlashtiruvchi qarama - qarshi yo‘nalgan tekis taqsimlangan yuk bilan to‘sinni yuklaymiz (8.6-chizmada uzlukli chiziq bilan ko‘rsatilgan).

Elastik chiziqning universal tenglamasini keltirib chiqarish uchun 8.6-chizmada keltirilgan besh oraliqli to‘sinni qaraymiz. Koordinata boshi 0 bilan beshta oraliqning har birining birorta ixtiyoriy kesimi uchun eguvchi moment ifodasini tuzish mumkin.



8.6-chizma. Elastik chiziq tenglamasini keltirib chiqarish uchun yuklangan to‘sin.

Misol sifatida beshinchi oraliqning birorta ixtiyoriy kesimi uchun eguvchi moment ifodasini tuzamiz:

$$M_x(z) = M_0 z^0 + Q_0 z \Big|_1 + M(z - a_1)^0 \Big|_2 + F(z - a_2) \Big|_3 + q \frac{(z - a_3)^2}{2} \Big|_4 - q \frac{(z - a_4)^2}{2} \Big|_5. \quad (8.13)$$

(8.13) ifodada har bir oraliqning eguvchi momenti ifodasi vertikal chiziq indeksi bilan ajratib ko'rsatilgan.

Bu beshinchi oraliqdagi eguvchi moment ifodasiga barcha oraliqlardagi eguvchi moment ifodalari kiradi, chunki u eng oxirgi oraliqdir.

Qaralayotgan to'sinda eguvchi moment ifodasi to'rtinchi oraliq uchun yuqorida beshinchi oraliq uchun, keltirilgan tenglamadan osongina aniqlanadi. Bunda beshinchi oraliq uchun tegishli bo'lgan hadni tashlab yuborish yo'li bilan hosil qilish mumkin:

$$M(z) = M_0 z^0 + Q_0 z \Big|_1 + M(z - a_1)^0 \Big|_2 + F(z - a_2) \Big|_3 + q \frac{(z - a_3)^2}{2} \Big|_4. \quad (8.14)$$

Shuni aytib o'tish lozimki, $(z - a_1)$, $(z - a_2)$, $(z - a_3)$, $(z - a_4)$ ifodalar faqat musbat qiymatlarni qabul qiladi.

Bu tenglamalardagi eguvchi moment M_0 va ko'ndalang kuchlar Q_0 koordinata boshi bilan ustma-ust tushgan nuqtalarda ta'sir etganligi uchun *statik boshlang'ich parametrlar* deb ataladi.

Beshinchi oraliqning elastik chiziq differensial tenglamasini tuzamiz:

$$EI_x \frac{d^2 v(z)}{dz^2} = \left[M_0 z^0 + Q_0 z + M(z - a_1)^0 + F(z - a_2) + q \frac{(z - a_3)^2}{2} - q \frac{(z - a_4)^2}{2} \right]. \quad (8.15)$$

Bu differensial tenglamaning ikki tomonini qavslarni ochmasdan integrallab burilish burchak ifodasini hosil qilamiz:

$$EI_x \theta(z) = EI_x \frac{dv(z)}{dz} = \left[M_0 z + Q_0 \frac{z^2}{2} + M(z - a_1) + F \frac{(z - a_2)^2}{2} + \right. \\ \left. + q \frac{(z - a_3)^3}{6} - q \frac{(z - a_4)^3}{6} + C_5 \right] \quad (8.16)$$

Ikkinchi marta integrallab solqilik ifodasini hosil qilamiz:

$$EI_x v(z) = \left[M_0 \frac{z^2}{2} + Q_0 \frac{z^3}{6} + M \frac{(z - a_1)^2}{2} + F \frac{(z - a_2)^3}{6} + \right. \\ \left. + q \frac{(z - a_3)^4}{24} - q \frac{(z - a_4)^4}{24} + C_5 z + D_5 \right]. \quad (8.17)$$

To‘rtinchi oraliq uchun differensial tenglama quyidagicha ifodalanadi:

$$EI_x \frac{d^2 v(z)}{dz^2} = \left[M_0 z^0 + Q_0 z + M(z - a_1)^0 + F(z - a_2) + q \frac{(z - a_3)^2}{2} \right]. \quad (8.18)$$

Bu differensial tenglamani integrallab burilish burchak va solqilik ifodalarini hosil qilamiz:

$$EI_x \theta(z) = EI_x \frac{dv(z)}{dz} = \left[M_0 z + Q_0 \frac{z^2}{2} + M(z - a_1) + F \frac{(z - a_2)^2}{2} + \right. \\ \left. + q \frac{(z - a_3)^3}{6} + C_4 \right]. \quad (8.19)$$

$$EI_x v(z) = \left[M_0 \frac{z^2}{2} + Q_0 \frac{z^3}{6} + M \frac{(z - a_1)^2}{2} + F \frac{(z - a_2)^3}{6} + \right. \\ \left. + q \frac{(z - a_3)^4}{24} + C_4 z + D_4 \right]. \quad (8.20)$$

Qaralayotgan to‘sinning beshta oraliqlari uchun yuqorigidek differensial tenglamalar tuzilib integrallansa burilish burchak va solqilik ifodalarida o‘nta integral doimiylari hosil bo‘ladi.

To‘sinning to‘rtinchi va beshinchi oraliqlari elastik chizig‘ining uzluksiz silliq tutashish sharti $z = a_4$; $\theta_4(a_4) = \theta_5(a_4)$ dan foydalanib qo‘yidagini hosil qilamiz:

$$\begin{aligned} & \left[M_0 a_4 + Q_0 \frac{a_4^2}{2} + M(a_4 - a_1) + F \frac{(a_4 - a_2)^2}{2} + q \frac{(a_4 - a_3)^3}{6} + C_4 \right] = \\ & = \left[M_0 a_4 + Q_0 \frac{a_4^2}{2} + M(a_4 - a_1) + F \frac{(a_4 - a_2)^2}{2} + \right. \\ & \quad \left. + q \frac{(a_4 - a_3)^3}{6} - q \frac{(a_4 - a_4)^3}{6} + C_5 \right]. \end{aligned} \quad (8.21)$$

Bu tenglikdan kelib chiqadiki:

$$C_4 = C_5.$$

Elastik chizig'ining to'rtinchi va beshinchi oraliqlar uzluksiz silliq tutashish sharti $z = a_4$; $v_4(a_4) = v_5(a_4)$ dan foydalanib qo'yidagini hosil qilamiz:

$$\begin{aligned} & \left[M_0 \frac{a_4^2}{2} + Q_0 \frac{a_4^3}{6} + M \frac{(a_4 - a_1)^2}{2} + F \frac{(a_4 - a_2)^3}{6} + q \frac{(a_4 - a_3)^4}{24} + C_4 a_4 + D_4 \right] = \left[M_0 \frac{a_4^2}{2} + \right. \\ & \left. + Q_0 \frac{a_4^3}{6} + M \frac{(a_4 - a_1)^2}{2} + F \frac{(a_4 - a_2)^3}{6} + q \frac{(a_4 - a_3)^4}{24} - q \frac{(a_4 - a_4)^4}{24} + C_4 a_4 + D_5 \right]. \end{aligned}$$

Bu tenglikdan quyidagini hosil qilamiz:

$$D_4 = D_5.$$

Xuddi shuningdek, barcha oraliqlar uchun yuqoridagi amallarni bajarib integral doimiylari quyidagicha bog'lanishda bo'lishini aniqlaymiz:

$$C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = C_5 = C. \quad (8.22)$$

$$D_1 = D_2 = D_3 = D_4 = D_5 = D. \quad (8.23)$$

Bajargan bu amallardan ko'rinadiki, o'nta integrallash doimiysi ikkitaga keltirilishi mumkin ekan.

Demak, to'sin oraliqlari soni nechta bo'lishidan qa'tiy nazar integrallash doimiylarini ikkitaga keltirish mumkin. To'sinning koordinata boshidagi burilish burchak θ_0 , solqilik v_0 bilan belgilandi va *geometrik boshlang'ich parametrlar* deb ataladi. Unda birinchi oraliqdagi burilish burchak va solqilik

$$EI_x \theta_1(z) = EI_x \frac{dv_1}{dz}(z) = \left[M_0 z + Q_0 \frac{z^2}{2} + C \right]; \quad (8.24)$$

$$EI_x v_1(z) = \left[M_0 \frac{z^2}{2} + Q_0 \frac{z^3}{6} + Cz + D \right].$$

ifodalaridan koordinata ($z=0$) boshida $EI\theta_0 = C$; $EIv_0 = D$ ekanligini aniqlash qiyin emas. Demak, integral doimiylari C , D tegishligicha koordinata boshidagi burilish burchak va solqilik (boshlang'ich parametrlarini) ifodalashiga ikkinchi bor ishonch hosil qildik. Integral doimiylari C , D qiymatlarni beshinchi oraliqning burilish burchak va solqilik ifodalariga qo'yib, ularni boshlang'ich parametrlar θ_0 ; v_0 orqali quyidagi ko'rinishda ifodalaymiz:

$$\theta(z) = \frac{dv_5(z)}{dz} = \theta_0 + \frac{1}{EI_x} \left[M_0 z + Q_0 \frac{z^2}{2} + M(z-a_1) + F \frac{(z-a_2)^2}{2} + \right. \quad (8.25)$$

$$\left. + q \frac{(z-a_3)^3}{6} - q \frac{(z-a_4)^3}{6} \right].$$

$$v(z) = v_0 + \theta_0 z + \frac{1}{EI_x} \left[M_0 \frac{z^2}{2} + Q_0 \frac{z^3}{6} + M \frac{(z-a_1)^2}{2} + F \frac{(z-a_2)^3}{6} + \right. \quad (8.26)$$

$$\left. + q \frac{(z-a_3)^4}{24} - q \frac{(z-a_4)^4}{24} \right].$$

Elastik chiziqning solqilik ifodasini bir nechta juft yuklar, to'plangan yuklar va tekis taqsimlangan yuklar ta'siridan umumiy holda quyidagi ko'rinishda ifodalash mumkin:

$$v(z) = v_0 + \theta_0 z + \frac{1}{EI_x} \left[M_0 \frac{z^2}{2!} + Q_0 \frac{z^3}{3!} + \sum M_i \frac{(z-a_i)^2}{2!} + \sum F_i \frac{(z-a_i)^3}{3!} + \right. \quad (8.27)$$

$$\left. + \sum q_i \frac{(z-a_i)^4}{4!} - \sum q_i \frac{(z-a_i)^4}{4!} \right].$$

Odatda, bu tenglama *elastik chiziqning universal tenglamasi* deb ataladi.

Universal formulani bir marta differensiallab kesimning burilish burchak ifodasini hosil qilamiz:

$$\theta(z) = \theta_0 + \frac{1}{EI_x} \left[M_0 \frac{z}{1!} + Q_0 \frac{z^2}{2!} + \sum M_i \frac{(z-a_i)}{1!} + \sum F_i \frac{(z-a_i)^2}{2!} + \sum q_i \frac{(z-a_i)^3}{3!} - \sum q_i^* \frac{(z-a_i)^3}{3!} \right]. \quad (8.28)$$

Bu tenglamalardagi M_0 va Q_0 statik boshlang'ich parametrlar to'sinning muvozanatidan, geometrik boshlang'ich parametrlar θ_0 ; v_0 esa to'sinning mahkamlanish chegara shartlaridan aniqlanadi.

8.4-masala. 8.7-chizmada keltirilgan to'sin uchun elastik chiziq tenglamasi ifodasi universal tenglama yordamida tuzilsin. Xarakterli A, B, D, G kesimlaridagi burilish burchak va solqilik ifodalari aniqlansin.

Yechish. a) Har ikkala tayanchlardagi reaksiya kuchlarini yuqoriga yo'naltiramiz va ularni statika muvozanat tenglamalaridan aniqlaymiz:

$$\sum mom_D = M + R_A \ell - q \frac{\ell}{2} \left(\frac{\ell}{4} \right) - F \frac{\ell}{4} = 0. \quad R_A = -\frac{5}{8} q \ell.$$

$$\sum mom_A = -F \left(\frac{5\ell}{4} \right) - R_D \ell + q \frac{\ell}{2} \left(\frac{3\ell}{4} \right) + M = 0. \quad R_B = \frac{1}{8} q \ell.$$

b. Reaksiya kuchlarining to'g'ri aniqlanganligini tekshirish:

$$\sum Y = R_A - q \frac{\ell}{2} + R_D + F = 0; \quad -\frac{5}{8} q \ell - q \frac{\ell}{2} + \frac{1}{8} q \ell + q \ell = 0; \quad 0 \equiv 0.$$

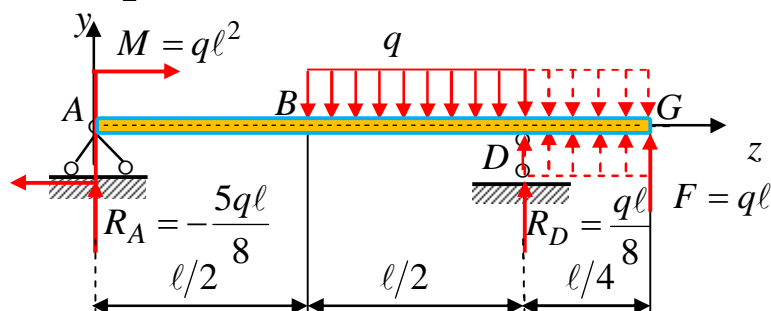
d. Statik boshlang'ich parametrlar $M_0 = q \ell^2$, $Q_0 = -\frac{5}{8} q \ell$ ma'lumligini

e'tiborga olib qaralayotgan to'sin elastik chizig'ining universal tenglamasini, (8.27) umumiy universal tenglama asosida quyidagicha ifodalaymiz:

$$v = v_0 + \theta_0 z + \frac{1}{EI_x} \left[q \ell^2 \frac{z^2}{2!} - \frac{5}{8} q \ell \frac{z^3}{3!} - q \frac{(z-\ell/2)^4}{4!} + \frac{1}{8} q \ell \frac{(z-\ell)^3}{3!} + q \frac{(z-\ell)^4}{4!} \right].$$

Universal tenglamani bir marta differensiallab burilish burchak tenglamasini hosil qilamiz:

$$\frac{dv}{dz} = \theta = \theta_0 + \frac{1}{EI_x} \left[ql^2 \frac{z}{1!} - \frac{5}{8} ql \frac{z^2}{2!} - q \frac{(z - \ell/2)^3}{3!} + \frac{1}{8} ql \frac{(z - \ell)^2}{2!} + q \frac{(z - \ell)^3}{3!} \right].$$



8.7-chizma. Konsolli to'sin.

Bu tenglamalardagi geometrik boshlang'ich parametrlarni aniqlashda to'sin uchun quyidagi chegara shartlaridan foydalanamiz:

1. To'sinning chap tayanchidagi $z=0$ bo'lgan kesim solqiligi $v_A = v(0) = v_0 = 0$ bo'ladi.

2. To'sinning D tayanchidagi $z = \ell$ bo'lgan kesim solqiligi $v_D(\ell) = 0$ bo'ladi.

Birinchi tayanch shartidan $v_0 = 0$ ekanligi ma'lum. Unda ikkinchi tayanch chegara shartidan quyidagi tenglamani hosil qilamiz:

$$v(\ell) = \theta_0 \ell + \frac{1}{EI_x} \left[ql^2 \frac{\ell^2}{2} - \frac{5}{8} ql \frac{\ell^3}{6} - q \frac{(\ell - \ell/2)^4}{24} + \frac{1}{8} ql \frac{(\ell - \ell)}{6} + q \frac{(\ell - \ell)^4}{24} \right] = 0.$$

Bu tenglamada noma'lum bo'lgan boshlang'ich parametрни aniqlaymiz:

$$\theta_0 = -\frac{1}{EI_x} \left[\frac{ql^3}{2} - \frac{5}{8} \frac{ql^3}{6} - q \frac{(\ell)^3}{384} \right],$$

bundan
$$\theta_0 = -\frac{151}{384} \frac{ql^3}{EI_x}.$$

Unda to'sin elastik chizig'i va burilish burchak tenglamalarini quyidagicha ifodalash mumkin bo'ladi:

$$v = \frac{1}{EI_x} \left[-\frac{151ql^3}{384} z + ql^2 \frac{z^2}{2!} - \frac{5}{8} ql \frac{z^3}{3!} - q \frac{(z - \ell/2)^4}{4!} + \frac{1}{8} ql \frac{(z - \ell)^3}{3!} + q \frac{(z - \ell)^4}{4!} \right].$$

$$\theta = \frac{1}{EI_x} \left[-\frac{151ql^3}{384} + ql^2 \frac{z}{1!} - \frac{5}{8} ql \frac{z^2}{2!} - q \frac{(z - \ell/2)^3}{3!} + \frac{1}{8} ql \frac{(z - \ell)^2}{2!} + q \frac{(z - \ell)^3}{3!} \right].$$

To'sinning eng oxirgi nuqtasining $v_G(5\ell/4)$ solqilik va $\theta_G(5\ell/4)$ burilish burchakchagini topish uchun bu ifodalarga $z = 5\ell/4$ ni qo'yib aniqlaymiz:

$$v_G\left(\frac{5}{4}\ell\right) = \left[-\frac{151}{384}\left(\frac{5}{4}\right) + \frac{1}{2}\left(\frac{5}{4}\right)^2 - \frac{5}{48}\left(\frac{5}{4}\right)^3 - \frac{1}{24}\left(\frac{3}{4}\right)^4 + \frac{1}{48}\left(\frac{1}{4}\right)^3 + \frac{1}{24}\left(\frac{1}{4}\right)^4 \right] \frac{q\ell^4}{EI_x}.$$

Bundan

$$v_G\left(\frac{5}{4}\ell\right) = 0,07356 \frac{q\ell^4}{EI_x}.$$

$$\theta_G\left(\frac{5}{4}\ell\right) = \left[-\frac{151}{384} + \left(\frac{5}{4}\right) - \frac{5}{16}\left(\frac{5}{4}\right)^2 - \frac{1}{6}\left(\frac{3}{4}\right)^3 + \frac{1}{16}\left(\frac{1}{4}\right)^2 + \frac{1}{6}\left(\frac{1}{4}\right)^3 \right] \frac{q\ell^3}{EI_x}.$$

Bundan

$$\theta_G\left(\frac{5}{4}\ell\right) = 0,30469 \frac{q\ell^3}{EI_x}.$$

To'sin ravog'i o'rtasidagi B nuqtaning v_B solqilik va burilish burchakchagini topish maqsadida bu ifodalarga $z = \ell/2$ ni qo'yamiz. Bu nuqta birinchi va ikkinchi oraliqlarning tutashgan nuqtasi bo'lgani uchun birinchi oraliqning universal tenglamasidan foydalanamiz, ya'ni universal formuladagi birinchi oraliqqa tegishli bo'lmagan ikkinchi va uchinchi oraliqlarga tegishli bo'lgan hadlarni tashlab yuboramiz, unda quyidagilarni hosil qilamiz :

$$v = \frac{1}{EI_x} \left[-\frac{151q\ell^3}{384}z + q\ell^2 \frac{z^2}{2!} - \frac{5}{8}q\ell \frac{z^3}{3!} \right].$$

$$\theta = \frac{1}{EI_x} \left[-\frac{151q\ell^3}{384} + q\ell^2 \frac{z}{1!} - \frac{5}{8}q\ell \frac{z^2}{2!} \right].$$

Bularga $z = \ell/2$ qo'yib burilish burchak va solqilik qiymatlarini aniqlaymiz:

$$v_B\left(\frac{1}{2}\ell\right) = \left[-\frac{151}{384}\left(\frac{1}{2}\right) + \frac{1}{2}\left(\frac{1}{2}\right)^2 - \frac{5}{48}\left(\frac{1}{2}\right)^3 \right] \frac{q\ell^4}{EI_x}.$$

Bundan

$$v_B\left(\frac{1}{4}\ell\right) = -0,08464 \frac{q\ell^4}{EI_x};$$

$$\theta_B\left(\frac{1}{2}\ell\right) = \left[-\frac{151}{384} + \left(\frac{1}{2}\right) - \frac{5}{16}\left(\frac{1}{2}\right)^2 \right] \frac{q\ell^3}{EI_x}.$$

Bundan

$$\theta_B\left(\frac{1}{2}\ell\right) = -0,04948 \frac{q\ell^3}{EI_x}.$$

Ko‘rib chiqilgan masalalardan boshlang‘ich parametr usuli bilan to‘sin kesimlaridagi burilish burchak va solqilik ifodalarini quyidagi tartibda aniqlanishini ko‘rsatish mumkin:

- tayanch reaksiyalari aniqlanadi;
- burilish burchak ifodasi (8.28) formula va solqilik ifodasi (8.27) universal formula yordamida tuziladi;
- tuzilgan universal tenglamadagi noma‘lum boshlang‘ich parametrlar chegara shartlaridan foydalanib aniqlanadi;
- noma‘lum boshlang‘ich parametrlarni universal tenglamaga qo‘yib to‘sinning kerakli kesimdagi burilish burchak va solqilik tenglamalari ifodalari tuziladi;
- to‘sinning kerakli kesimidagi burilish burchak (8.28) solqilik (8.27) formulalardan aniqlanadi.

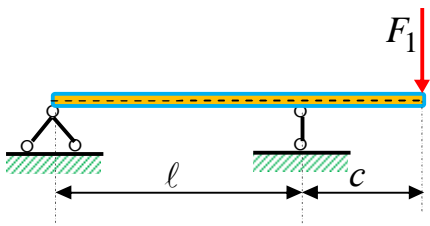
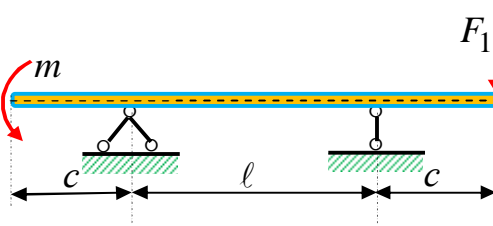
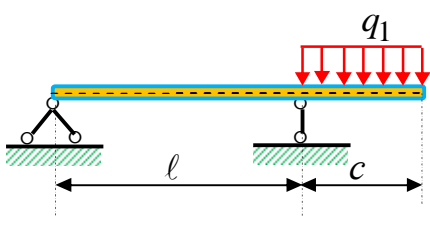
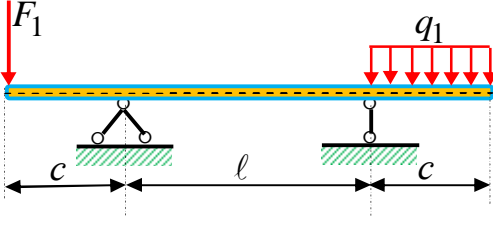
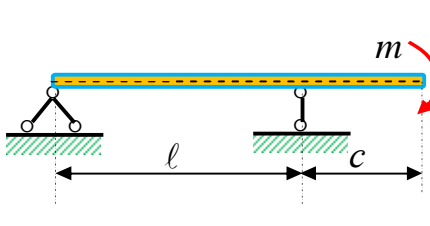
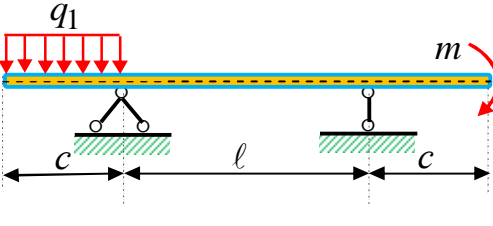
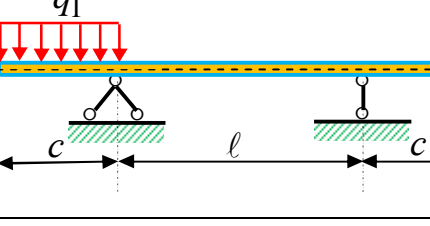
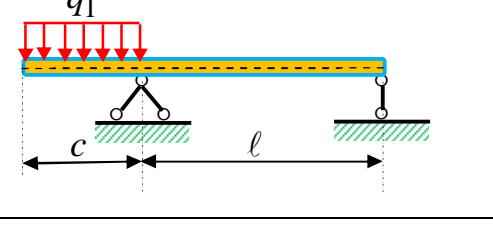
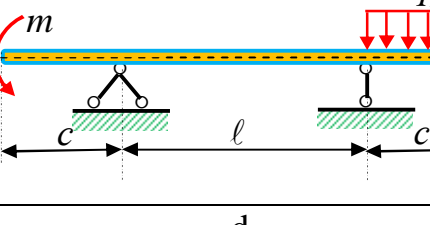
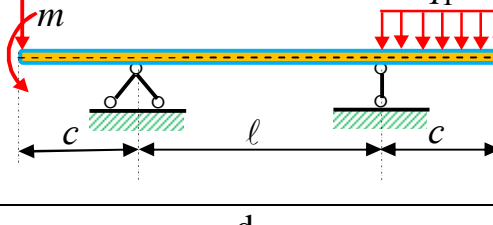
8.5-§. Mustaqi ish topshiriqlari

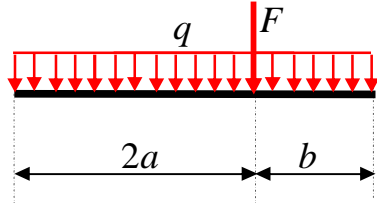
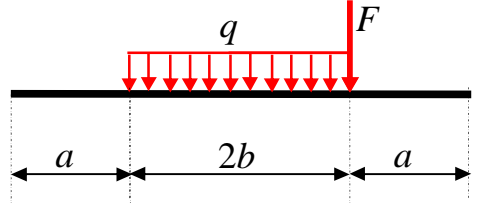
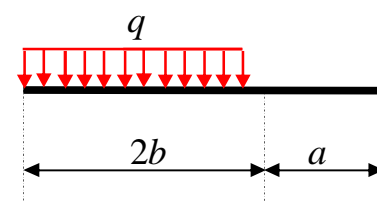
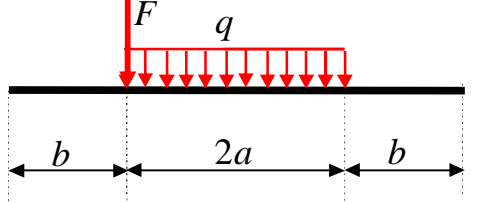
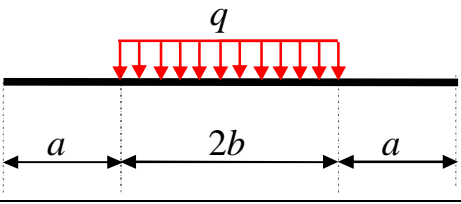
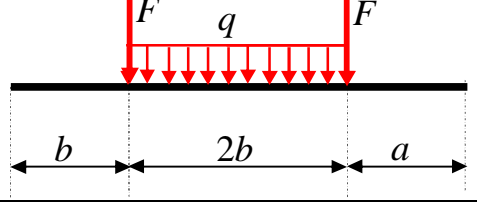
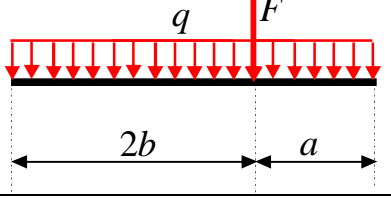
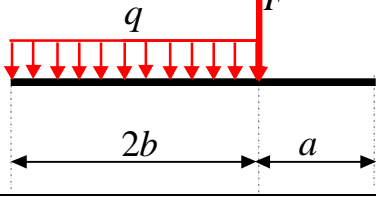
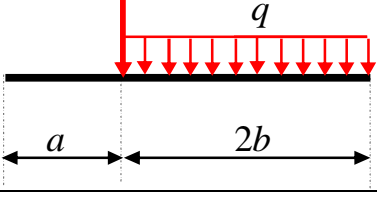
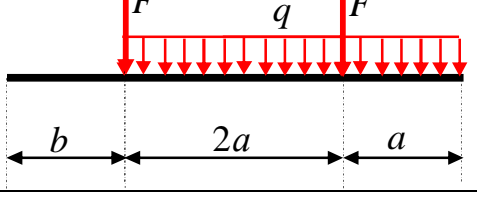
Shifr bo‘yicha 8.1 jadvaldan to‘sin sxemasi, 8.2 jadvaldan to‘sin prolyoti ℓ da joylashish lozim bo‘lgan yuklar sxemasi, 8.3 jadvaldan yuklar va o‘lchamlari qiymatlari olinsin. Quyidagi amallar bajarilsin:

1. Shifr bo‘yicha birinchi jadvaldan olingan to‘sin ikkinchi jadvaldan olingan yuklar bilan yuklansin va tayanch reaksiya kuchlari aniqlansin;
2. Eguvchi moment va ko‘ndalang kuchlar ifodalari tuzilsin va ularning epyuralari qurilsin;

3. To'sin qo'shtavr ko'ndalang kesim yuzasi tanlansin;
4. Boshlang'ich parametr usulidan foydalanib to'sin erkin uchlaridagi va tayanch kesimlari burilish burchaklari miqdorlari aniqlansin;

8.1-Jadval

No	Turil yuklar bolan yuklangan t'sinlar sxemasi	No	Turil yuklar bolan yuklangan t'sinlar sxemasi
1		6	
2		7	
3		8	
4		9	
5		0	
	d		d

№	To'sin prolyoti ℓ da joylashish lozim bo'lgan yuklar sxemasi	№	To'sin prolyoti ℓ da joylashish lozim bo'lgan yuklar sxemasi
1		6	
2		7	
3		8	
4		9	
5		0	
	e		e

8.3-jadval

No	a m	b m	c sm	F_1 kN	F_2 kN	q kN / sm	q_1 kN / sm	m kNm
1	1,5	2,0	1,2	40	20	25	15	30
2	1,6	1,8	1,1	50	25	20	12	50
3	1,4	2,2	1,0	30	15	28	14	60
4	1,3	2,1	1,0	60	18	23	10	40
5	1,4	1,9	1,1	45	21	24	11	35
6	1,5	1,7	1,2	65	22	23	8	45
7	1,25	2,3	1,0	70	24	27	11	32
8	1,2	2,2	1,2	80	18	30	13	36
9	1,6	2,0	1,3	70	12	32	10	50
10	2,2	1,4	1,2	90	11	28	12	38

Topshiriq. Shifr $d \Rightarrow 5$; $e \Rightarrow 3$ bo'yicha 8.1-jadvandan to'sin, 8.2-jadvandan to'sin ravog'iga qo'yiladigan yuklar va 8.2-jadvandan yuklarning qiymatlari hamda 8.3-jadvandan to'sin o'lchamlari olinadi:

$$a = 1,4 m; \quad b = 2,2 m; \quad c = 1 m; \quad F_1 = 45 kN; \quad m = 35 kNm; \quad F = 15 kN; \\ q = 24 kN/m; \quad q_1 = 14 kN/m.$$

Bu ma'lumotlar asosida 8.8-chizmada tuzib keltirilgan to'sin uchun topshiriq talablari bajarilsin.

Yechish. 1) Tayanchlardagi reaksiya kuchlarini yuqoriga qarab yo'naltiramiz va ularni statika muvozanat tenglamalaridan foydalanib aniqlaymiz:

$$\sum mom_B = -F_1 \cdot 9 - m + R_A \cdot 8 - F \cdot 5,8 - F \cdot 1,4 - q \cdot 4,4 \cdot 3,6 + q_1 \cdot 1 \cdot 0,5 = 0;$$

$$R_A = \frac{9F_1 + 5,8F + 1,4F + m + 15,84q - 0,5q_1}{8} = \\ = \frac{405 + 87 + 21 + 35 + 380,16 - 7}{8} = \frac{921,16}{8} = 115,145 kN.$$

$$\sum mom_A = -F_1 \cdot 1 - m + F \cdot 2,2 + q \cdot 4,4 \cdot 4,4 + F \cdot 6,6 - R_B \cdot 8 + q_1 \cdot 1 \cdot 8,5 = 0;$$

$$R_B = \frac{-F_1 - m + 2,2F + 19,36q + 6,6F + 8,5q_1}{8} = \\ = \frac{-45 - 35 + 33 + 464,64 + 99 + 119}{8} = \frac{-635,64}{8} = 79,455 kN.$$

Hisob natijalari bo'yicha R_B reaksiya kuchi manfiy ishora bilan chiqdi.

Demak, reaksiya R_B kuchi yo‘nalishini noto‘g‘ri qo‘ygan ekanmiz, uning yo‘nalishi teskari tomonga (shtirix chiziq bilan ko‘rsatilgan) o‘zgartiramiz. To‘sinni hisoblashda R_B reaksiya kuchi qiymatini musbat deb qaraymiz.

b) Reaksiya kuchlarining to‘g‘ri aniqlanganligini tekshirish:

$$\begin{aligned}\sum Y &= -F_1 + R_A - F - F - 4,4 \cdot q - 1 \cdot q_1 + R_B = 0. \\ -45 + 115,145 - 15 - 15 - 105,6 - 14 + 79,455 &= 0 \quad 0 \equiv 0.\end{aligned}$$

Demak reaksiya kuchlari to‘g‘ri aniqlangan.

2) To‘sin chap (yoki o‘ng) uchidan boshlab beshta oraliqqa bo‘lamiz. Har bir oraliqlardagi ixtiyoriy kesimlar (z_1, z_2, z_3, z_4, z_5) uchun ko‘ndalang kuch va eguvchi momentlar analitik ifodalari tuziladi:

birinchi oraliq $0 \leq z_1 \leq 1m$ o‘zgaradi.

$$\begin{aligned}Q_y(z_1) &= -F_1. & Q_y(0) &= -45kN; & Q_y(2m) &= -45kN. \\ M_x(z_1) &= -F_1 z_1 - m. & M_x(0) &= -35kNm; & M_x(2m) &= -80kNm.\end{aligned}$$

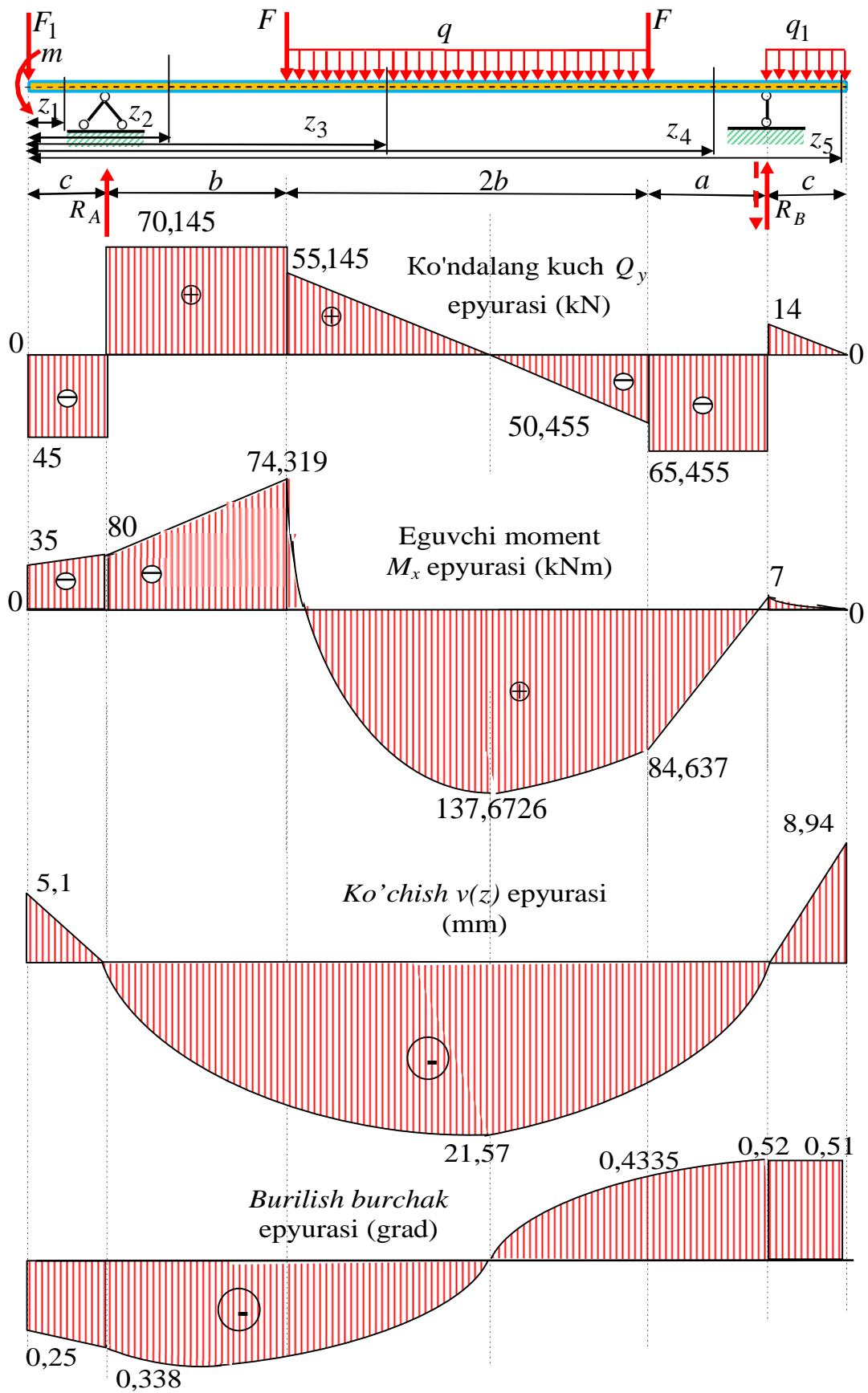
ikkinchi oraliq $1 \leq z_2 \leq 3,2m$ o‘zgaradi.

$$\begin{aligned}Q_y(z_2) &= -F_1 + R_A. & Q_y(1m) &= 115,145 - 45 = 70,145; \\ & & Q_y(3,2m) &= 115,145 - 45 = 70,145. \\ M_x(z_2) &= -F_1 z_2 - m + R_A(z_2 - 1). & M_x(1) &= -45 \cdot 1 - 35 + 0 = -80kNm; \\ M_x(3,2m) &= -45 \cdot 3,2 - 35 + 115,145 \cdot 2,2 = -74,319kNm.\end{aligned}$$

uchinchi oraliq $3,2 \leq z_3 \leq 7,6m$ o‘zgaradi.

$$\begin{aligned}Q_y(z_3) &= -F_1 + R_A - F - q(z_3 - 3,2). \\ Q_y(3,2m) &= 55,145kN; & Q_y(7,6m) &= -50,455,345kN. \\ M_x(z_3) &= -F_1 z_3 - m + R_A(z_3 - 1) - F(z_3 - 3,2) - q \frac{(z_3 - 3,2)^2}{2}. \\ M_x(3,2m) &= -45 \cdot 3,2 - 35 + 115,145 \cdot 2,2 = 74,319kNm; \\ M_x(7,6m) &= -45 \cdot 7,6 - 35 + 115,145 \cdot 6,6 - 15 \cdot 4,4 - 24 \cdot 9,68 = 84,637kNm.\end{aligned}$$

to‘rtinchi oraliq $7,6 \leq z_4 \leq 9m$ o‘zgaradi.



8.8-chizma. Ko'ndalang kuch, eguvchi moment, ko'chish va burilish burchagini epyuralari.

$$Q_y(z_4) = -F_1 + R_A - F - q \cdot 4,4 - F.$$

$$Q_y(4m) = -65,455 \text{ kN}; \quad Q_y(6m) = -65,455 \text{ kN}.$$

$$M_x(z_4) = -F_1 z_4 - m + R_A(z_4 - 1) + F(z_4 - 3,2) - q \cdot 4,4(z_4 - 5,4) - F(z_4 - 7,6).$$

$$M_x(7,6m) = -45 \cdot 7,6 - 35 + 115,145 \cdot 6,6 - 15 \cdot 4,4 - 24 \cdot 4,4 \cdot 2,2 = 84,637 \text{ kNm};$$

$$M_x(9m) = -45 \cdot 9 - 35 + 115,145 \cdot 8 - 15 \cdot 5,8 - 15 \cdot 1,4 - 24 \cdot 4,4 \cdot 3,6 = -7 \text{ kNm}.$$

beshinchi oraliq $9 \leq z_5 \leq 10m$ o'zgaradi.

$$Q_y(z_4) = -F_1 + R_A - F - q \cdot 4,4 - F + R_B.$$

$$Q_y(4m) = -79,455 \text{ kN}; \quad Q_y(6m) = -79,455 \text{ kN}.$$

$$M_x(z_4) = -F_1 z_5 - m + R_A(z_5 - 1) + F(z_5 - 3,2) - q \cdot 4,4(z_5 - 5,4) - \\ - F(z_5 - 7,6) - q_1 \frac{(z_5 - 9)^2}{2}.$$

$$M_x(7,6m) = -45 \cdot 9 - 35 + 115,145 \cdot 8 - 15 \cdot 5,8 - 15 \cdot 1,4 - 24 \cdot 4,4 \cdot 3,6 = -7 \text{ kNm};$$

$$M_x(9m) = -45 \cdot 10 - 35 + 115,145 \cdot 9 - 15 \cdot 6,8 - 15 \cdot 1,4 - 24 \cdot 4,4 \cdot 4,4 - \\ - 14 \cdot 0,5 = 0 \text{ kNm}.$$

Beshinchi oraliqda ko'ndalang kuch nol chizig'ini kesib o'tib o'z ishorasini manfiydan musbatga o'zgartirganligi uchun bu nuqtada eguvchi moment minimumga erishadi. Eguvchi moment minimum qiymatini aniqlash maqsadida ko'ndalang kuch nolga teng bo'lgan nuqta absissasi, ko'ndalang kuch ifodasini nolga tenglab aniqlanadi:

$$Q_y(z_3) = -F_1 + R_A - F - q(z_0 - 3,2) = 0.$$

$$-45 + 115,145 - 15 + 24 \cdot 3,2 - 24z_0 = 0;$$

$$z_0 = \frac{131,945}{24} = 5,4977m.$$

Bu kesimdagi eguvchi momentning maksimal qiymatini, shu kesimdagi eguvchi moment ifodasidan aniqlaymiz:

$$M_x(z_0) = -F_1 z_0 - m + R_A(z_0 - 1) - F(z_0 - 3,2) - q \frac{(z_0 - 3,2)^2}{2}.$$

$$M_x(5,4977m) = -45 \cdot 5,4977 - 35 + 115,145 \cdot 4,4977 - 15 \cdot 2,2977 - \\ - 24 \cdot 2,6397 = 137,673 \text{ kNm}.$$

Bu ifodalar yordamida eguvchi moment va ko'ndalang kuch epyuralari qurib (8.8-chizma) ko'rsatilgan.

3. To'sin qo'shtavr ko'ndalang kesim yuzasi tanlaymiz.

To'sinning normal kuchlanishlarga nisbatan mustahkamlik sharti quyidagicha ifodalanadi:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_x} \leq [\sigma]$$

mustahkamlik shartidan W_x qarshilik momentini aniqlaymiz

$$W_x \leq \frac{M_{\max}}{[\sigma]} = \frac{137,673 \cdot 10^3}{160 \cdot 10^6} = 0,860 \cdot 10^{-3} m^3 = 860 sm^3$$

GOST-8239-72 bo'yicha $W_x = 953 sm^3$, $J_x = 19062 sm^4$ bo'lgan №40 qo'shtavrni tanlaymiz

4. Boshlang'ich parametr usulidan foydalanib to'sin erkin uchlaridagi va tayanch kesimlari burilish burchaklari miqdorlari aniqlaymiz.

Balka egilgan o'qining boshlang'ich parametrlar orqali ifodalangan tenglamasining umumiy ko'rinishi quyidagicha:

$$v(z) = v_0 + \theta_0 \cdot z + \frac{1}{EJ_x} \left[\frac{M_0 \cdot z^2}{2!} + \frac{P_0 \cdot z^3}{3!} + \frac{q_0 \cdot z^4}{4!} + \frac{M_i (z-a_i)^2}{2!} + \frac{P_i (z-a_i)^3}{3!} + \frac{q_i (z-a_i)^4}{4!} \right] \quad (1)$$

Koordinata boshidagi v_0 , θ_0 , M_0 , P_0 , q_0 boshlang'ich parametrlarni aniqlaymiz

$$v_0 \neq 0, \quad \theta_0 \neq 0, \quad M_0 = M, \quad P_0 = F, \quad q_0 = 0$$

Bu parametrlarni (1) formulaga qo'yib qolgan oraliqlar uchun ham universal tenglamani tuzamiz

$$v(z) = v_0 + \theta_0 z + \frac{1}{EJ_x} \left[-M \cdot \frac{z^2}{2} - \frac{F_1 \cdot z^3}{6} + R_A \frac{(z-c)^3}{6} - \frac{F \cdot (z-c-b)^3}{6} - q \frac{(F-c-b)^4}{24} + \frac{q(z-c-3b)^4}{24} - \frac{F(z-c-3b)^3}{6} + \frac{R_B(z-c-3b-a)^3}{6} - \frac{q(z-c-3b-a)^4}{24} \right]$$

v_0 koordinata boshidagi ko'chish, θ_0 ko'ndalang kesimni burilish burchagini

$z = c = 1 m$, $v(1) = 0$, $z = c + 3b + a = 9 m$, $v(9) = 0$ chegeraviy shartlardan quyidagi

ikki nomalumli chiziqli tenglamalar sistemasidan aniqlaymiz

$$\begin{cases} v_0 + \theta_0 = \frac{25 \cdot 10^3}{EJ_x} \\ v_0 + 9\theta_0 = -\frac{1315,515 \cdot 10^3}{EJ_x} \end{cases} \quad \begin{cases} \theta_0 = -\frac{167,564 \cdot 10^3}{EJ_x} \\ v_0 = \frac{192,564 \cdot 10^3}{EJ_x} \end{cases}$$

ν_0, θ_0 qiymatlarini (1) tenglamaga qoyib bir marta differensiallab balka ixtiyoriy nuqtasidagi ko'chishi, ko'ndalang kesimni burilash burchagini ko'rsatuvchi funksiyalarni hosil qilamiz

$$\nu(z) = \frac{192,564 \cdot 10^3}{EJ_x} - \frac{167,564 \cdot 10^3}{EJ_x} z + \frac{1}{EJ_x} \left[-M \frac{z^2}{2} - \frac{F_1 z^3}{6} + \frac{R_A (z-c)^3}{6} - \frac{F(z-c-b)^3}{6} - q \frac{(z-c-b)^4}{24} + \frac{q(z-c-3b)^4}{24} - \frac{F(z-c-3b)^3}{6} + \frac{R_B (z-c-3b-a)^3}{6} - \frac{q_1 (z-c-3b-a)^4}{24} \right] \quad (2)$$

$$\nu'(z) = \theta(z) = -\frac{167,564 \cdot 10^3}{EJ_x} + \frac{1}{EJ_x} \left[-Mz - \frac{F_1 z^2}{2} + \frac{R_A (z-c)^2}{2} - \frac{F(z-c-b)^2}{2} - q \frac{(z-c-b)^3}{6} + \frac{q(z-c-3b)^3}{6} - \frac{F(z-c-3b)^2}{2} + \frac{R_B (z-c-3b-a)^2}{2} - \frac{q_1 (z-c-3b-a)^3}{6} \right] \quad (3)$$

(2) dan $z=0$ bo'lganda balka erkin uchidagi ko'chishini aniqlaymiz

$$\nu(0) = \frac{192,564 \cdot 10^3}{EJ_x} = \frac{192,564 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^{11} \cdot 19062 \cdot 10^{-8}} = 0,0051m = 5,1mm.$$

(3) dan $z=c=1m$ bo'lganda chap tayanchda burilish burchagini aniqlaymiz

$$\begin{aligned} \nu'(1) &= -\frac{10^3}{EJ_x} [167,564 + 35 + 22,5] = -\frac{225,064 \cdot 10^3}{EJ_x} \\ &= -\frac{225,064 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^{11} \cdot 19062 \cdot 10^{-8}} = 0,0059rad = -0,338 \text{ gradus} \end{aligned}$$

(3) dan $z=9m$ bo'lganda o'ng tayanchda kesimni burilish burchagini aniqlaymiz

$$\nu'(9) = \frac{343,104 \cdot 10^3}{EJ_x} = \frac{343,104 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^{11} \cdot 19062 \cdot 10^{-8}} = 0,008999rad = 0,52 \text{ gradus}$$

Balka ixtiyoriy nuqtasidagi ko'chishni (2) formuladan, ixtiyoriy ko'ndalang kesimni burilash burchagini (3) formuladan aniqlab ularni epyurasini quramiz

Tayanch iboralar:

Deformatsiyasini o'rganish, bikirlikka tekshirish, deformatsiyasini o'rganishdan asosiy maqsad, kesim o'lchamlarini aniqlash; statik aniqmas

to'sinlar, vertikal ko'chish, solqilik, burilish burchak, egilgan o'q, elastik chiziq, solqilik tenglamasi ifodasi, burchak tangensi qiymati, radian qiymatiga teng, egilgan o'qining differensial tenglamasi, egrilik radiusi, aniq differensial tenglama, taqribiy differensial tenglama, egrilik ishorasi bilan eguvchi moment ishorasi, differensial tenglama ishorasi, Juravskiy teoremlari, differensial tenglamani integralash usuli, burilish burchak tenglamasi, solqilik tenglamasi, integral doimiylari, chegara shartlar, boshlang'ich parametrlar usuli, universal tenglama, koordinata boshi, qavslar ochilmas, tekis taqsimlangan yuk, statik boshlang'ich parametrlar, geometrik boshlang'ich parametrlar, elastik chiziqning universal tenglamasi, epyura, to'g'ri chizikli qonun, bikirlikka hisoblash, bikirlik sharti, maksimal solqiligining absolyut qiymati, ruxsat etilgan solqilik, tajriba yoki ishlash jarayoni.

Test savollari:

1. To'sin deformatsiyasi qanday asosiy maqsadlar uchun o'rganiladi?

ko'ndalang kesimning norma bo'yicha belgilangan qiymatlaridan oshib ketmaydigan o'lchamlarining aniqlash va statik aniqmas to'sinlar masalasini yechish;

ko'ndalang kesimning norma bo'yicha belgilangan qiymatlaridan oshib ketmaydigan o'lchamlarini aniqlash;

statik aniqmas to'sinlar masalasini yechish;

mustahkamligini va ustuvorligini taminlash;

2. To'sin egilgan o'qining taqribiy differensial tenglamasini integrallash natijasida hosil bo'lgan o'zgarmas doimiylar qanday shartlardan aniqlanadi?

to'sinning mahkamlanish chegara shartlaridan;

to'sinning geometrik o'lchamlaridan;

to'sinning ko'ndalang kesimi o'zgarmasligidan;

to'sinning statika muvozanat tenglamalaridan;

3. To'sin egilgan o'qining qanday differensial tenglamalari mavjud?

taqribiy va aniq;

doimiy va o'zgaruvchan;

statik va dinamik;

dastlabki va boshlang'ich;

4. Agar Oy koordinata o'qi yuqoriga qarab yo'nalgan bo'lsa, musbat eguvchi momentga musbat egrilik mos kelsa, differensial tenglamaning ishorasi qanday bo'ladi?

musbat;

manfiy;

manfiy va musbat;

koordinata o'lariga bog'liq emas;

5. Agar Oy koordinata o'qi yuqoriga qarab yo'nalgan bo'lsa, manfiy eguvchi momentga manfiy egrilik mos kelsa, differensial tenglama qanday ishora bilan olinadi?

musbat;

manfiy;

manfiy va musbat;

koordinata o'lariga bog'liq emas;

6. Agar Oy koordinata pastga qarab yo'nalgan bo'lsa, eguvchi moment bilan egrilik ishoralari turlicha bo'ladi, differensial tenglama qanday ishora bilan olinadi?

manfiy;

musbat;

manfiy va musbat;

koordinata o'lariga bog'liq emas;

7. Differensial tenglamani bir marta integrallab qanday ifodani hosil qilamiz?

burilish burchak ifodasini;

solqilik ifodasini;

eguvchi moment ifodasini;

ko'ndalang kuch ifodasini;

8. Differensial tenglamani ikki marta integrallab qanday ifodani hosil qilamiz?

solqilik ifodasini;

burilish burchak ifodasini;

eguvchi moment ifodasini;

ko'ndalang kuch ifodasini;

9. Differensial tenglamani integrallash natijasida hosil bo'lgan doimiylar nimani bildiradi?

koordinata boshidagi burilish burchak va solqilikni;

koordinata boshidagi statik boshlang'ich parametrlarni;

koordinata boshidagi statik va geometrik boshlang'ich parametrlarni;

koordinata boshidagi aniq boshlang'ich parametrlarni;

10. Qanday boshlang'ich parametrni 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;

11. To'sin bir necha oraliqlardan iborat bo'lsa, differensial tenglamalarni integrallash va boshlang'ich parametrlar usullarining qaysi biridan foydalanish maqsadga muvofiqdir?

boshlang'ich parametrlar usulidan;

integrallash usulidan;

to'sin oraliqlar soni to'rttadan ortiq bo'lganda integrallash usulidan;

to'sin oraliqlar soni bitta bo'lganda boshlang'ich parametrlar usulidan;

12. Geometrik boshlang'ich parametrlar quyidagilarning qaysilari?

koordinata boshidagi burilish burchagi va solqiligi;

koordinata boshidagi ko'ndalang kuch va eguvchi moment;

koordinata boshidagi egrilik radiusi va reaksiyasi;

koordinata boshidagi egrilik radiusi va normal kuchlanish;

13. Statik boshlang'ich parametrlar quyidagilarning qaysilari?

koordinata boshidagi ko'ndalang kuch va eguvchi moment;

koordinata boshidagi burilish burchagi va solqiligi;

koordinata boshidagi egrilik radiusi va reaksiyasi;

koordinata boshidagi egrilik radiusi va normal kuchlanish;

14. Vereshagin usuli bo'yicha ko'chishlar qanday aniqlanadi?

tashqi kuch egri chiziqli epyura yuzasi bilan birlik kuchi epyuradan, egri chiziqli epyura yuzasi og'irlik markaziga to'g'ri keluvchi ordinataga ko'paytirib;

tashqi kuch egri chiziqli epyura yuzasi bilan birlik kuchi epyuradan, egri chiziqli yuza og'irlik markaziga to'g'ri keluvchi ordinata bo'linib;

tashqi kuch egri chiziqli epyura yuzasi bilan birlik kuchi epyuradan, egri chiziqli yuza og'irlik markaziga to'g'ri keluvchi ordinata ayriladi;

tashqi kuch egri chiziqli epyura yuzasi bilan birlik kuchi epyuradan, egri chiziqli yuza og'irlik markaziga to'g'ri keluvchi ordinata qo'shiladi;

15. 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;

16. Juravskiy teoremlariga asosan qaysi javobda burilish burchak bilan solqilik orasidagi bog'lanish ifodalangan?

$$\theta = \frac{dv}{dz}; \quad \pm M_x = EI_x \frac{d^2v}{dz^2};$$

$$Q_y = EI_x \frac{d^3v}{dz^3}; \quad q = EI_x \frac{d^4v}{dz^4};$$

17. Juravskiy teoremlariga asosan qaysi javobda tekis taqsimlangan yuk bilan solqilik orasidagi bog'lanish ifodalangan?

$$q = EI_x \frac{d^4v}{dz^4}; \quad \theta = \frac{dv}{dz};$$

$$\pm M_x = EI_x \frac{d^2v}{dz^2}; \quad Q_y = EI_x \frac{d^3v}{dz^3};$$

18. Juravskiy teoremlariga asosan qaysi javobda ko'ndalang kuch va solqilik orasidagi bog'lanish ifodalangan?

$$Q_y = EI_x \frac{d^3v}{dz^3}; \quad \theta = \frac{dv}{dz};$$

$$\pm M_x = EI_x \frac{d^2v}{dz^2}; \quad q = EI_x \frac{d^4v}{dz^4};$$

19. Juravskiy teoremlariga asosan qaysi javobda eguvchi moment bilan solqilik orasidagi bog'lanish ifodalangan?

$$\pm M_x = EI_x \frac{d^2v}{dz^2}; \quad \theta = \frac{dv}{dz};$$

$$Q_y = EI_x \frac{d^3 v}{dz^3};$$

$$q = EI_x \frac{d^4 v}{dz^4};$$

20. To'sin solqiligi aniqlashda integrallash usulidan foydalanish qanday holarda maqsadga muvofiq?

to'sinda oraliqlar soni bitta va ikkita bo'lganda;

to'sinda oraliqlar soni to'rttadan ortiq bo'lganda;

to'sinda oraliqlar soni oltitadan kam bo'lganda;

to'sinda oraliqlar soni ikkitadan ortiq bo'lganda;

21. Boshlang'ich parametr usulidan foydalanish integrallash usuliga qaraganda qanday qulaylikka ega?

to'sin nechta oraliq iborat bo'lishidan qa'tiy nazar ikkita o'zgarmas hosil bo'ladi;

to'sin nechta oraliq iborat bo'lishidan qa'tiy nazar oltita o'zgarmas hosil bo'ladi;

to'sin nechta oraliq iborat bo'lishidan qa'tiy nazar ko'p o'zgarmas hosil bo'ladi;

to'sin nechta oraliq iborat bo'lishidan qa'tiy nazar ikkita o'zgarmas hosil bo'lmaydi;

22. Chap uchi qistirib mahkamlangan konsolning boshlang'ich parametrlari nimaga teng?

$$v_0 = 0, \theta_0 = 0;$$

$$\theta_0 \neq 0, v_0 = 0;$$

$$v_0 \neq 0, \theta_0 \neq 0;$$

$$v_0 \neq 0, \theta_0 = 0;$$

23. Oddiy to'sinning A va B tayanchlarida chegara shartlari nimaga teng bo'ladi?

$$v_A = 0, \theta_A \neq 0; \quad v_B = 0, \theta_B \neq 0; \quad \theta_A \neq 0, v_A \neq 0; \quad v_B = 0, \theta_B \neq 0;$$

$$\theta_A \neq 0, v_A \neq 0; \quad v_B \neq 0, \theta_B \neq 0; \quad \theta_A = 0, v_A \neq 0; \quad v_B \neq 0, \theta_B = 0;;$$

24. O'ng uchi qistirib mahkamlangan erkin uchiga to'plangan kuch qo'yilgan konsolning maksimal solqiligi quyidagi javoblarning qaysi birida to'g'ri keltirilgan?

$$v = -\frac{F\ell^3}{3EI_x};$$

$$v = -\frac{F\ell^2}{2EI_x};$$

$$v = -\frac{q\ell^4}{8EI_x};$$

$$v = -\frac{q\ell^3}{6EI_x};$$

25. O'ng uchi qistirib mahkamlangan uzunligi bo'yicha tekis taqsimlangan kuch qo'yilgan konsolning erkin uchidagi burilish burchagi quyidagi javoblarning qaysi birida to'g'ri keltirilgan?

$$\theta = -\frac{q\ell^3}{6EI_x};$$

$$\theta = -\frac{F\ell^3}{3EI_x};$$

$$\theta = -\frac{F\ell^2}{2EI_x}; \quad \theta = -\frac{q\ell^4}{8EI_x};$$

26. O'ng uchi qistirib mahkamlangan erkin uchiga to'plangan kuch qo'yilgan konsolning erkin uchidagi burilish burchak quyidagi javoblarning qaysi birida to'g'ri keltirilgan?

$$\theta = -\frac{F\ell^2}{2EI_x}; \quad \theta = -\frac{F\ell^3}{3EI_x};$$

$$\theta = -\frac{q\ell^4}{8EI_x}; \quad \theta = -\frac{q\ell^3}{6EI_x};$$

27. O'ng uchi qistirib mahkamlangan uzunligi bo'yicha tekis taqsimlangan kuch qo'yilgan konsolning maksimal solqiligi quyidagi javoblarning qaysi birida to'g'ri keltirilgan?

$$v = -\frac{q\ell^4}{8EI_x}; \quad v = -\frac{q\ell^3}{6EI_x};$$

$$v = -\frac{F\ell^2}{2EI_x}; \quad v = -\frac{F\ell^3}{3EI_x};$$

28. Ravog'i o'rtasiga qo'yilgan to'plangan kuchdan egilganda oddiy to'sin solqiligi kuch qo'yilgan kesimda nimaga teng bo'ladi?

$$v = \frac{F\ell^3}{48EI_x}; \quad v = \frac{F\ell^2}{16EI_x};$$

$$v = \frac{q\ell^4}{48EI_x}; \quad v = \frac{q\ell^3}{6EI_x};$$

29. Ravog'i o'rtasiga qo'yilgan to'plangan kuchdan egilganda oddiy to'sin burilish burchagi kuch qo'yilgan kesimda nimaga teng bo'ladi?

$$\theta = 0; \quad \theta = \frac{F\ell^2}{16EI_x};$$

$$\theta = \frac{q\ell^4}{48EI_x}; \quad \theta = \frac{q\ell^3}{6EI_x};$$

30. Tekis taqsimlangan yukdan egilgan oddiy to'sin ravog'i o'rtasidagi kesimda solqilik nimaga teng bo'ladi?

$$v = -\left(5q\ell^4/384EI_x\right);$$

$$v = -\left(q\ell^3/24EI_x\right);$$

$$v = -\left(q\ell^4/48EI_x\right);$$

$$v = -\left(q\ell^3/18EI_x\right);$$

IX BOB

STERJENLARNING BO'YLAMA EGILISHI

9.1-§. Asosiy tushunchalar

Amaliyotda konstruktsiya elementlariga qo'yiladigan mustahkamlik va bikirlik kabi talablardan tashqari yana eng muhim bo'lgan talablardan biri, ularning ustuvorligini ta'minlash muammosidir.

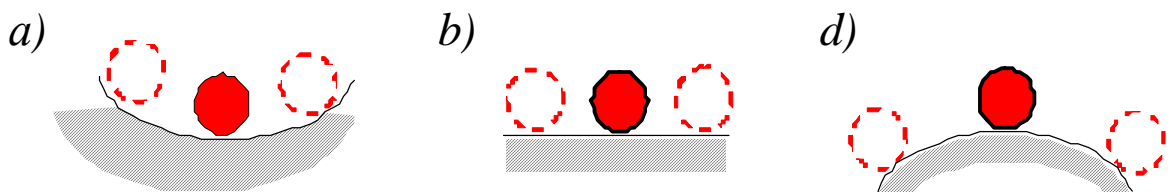
Nazariy mexanika fanidan ma'lumki, absolyut qattiq jismlarning muvozanat holati uch xil bo'ladi, ya'ni ustuvor, befarq va noustuvor. Misol sifatida vaznli sharikning muvozanat holatlarini keltirish mumkin:

Birinchi hol. Botiq sirtida turgan sharikni 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 sharik muvozanat holati ustuvor bo'lar ekan (9.1,a-chizma).

Ikkinchi hol. Gorizont tekislikda turgan sharikni 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 sharik muvozanat holati befarq bo'ladi (9.1,b-chizma).

Uchinchi hol. Sharik qavariq sirtida turgan bo'lsa, bir oz o'z o'rnidan qo'zg'atilsa, sirtan tushib ketadi. Demak, qavariq sirtida turgan sharik muvozanat holati noustuvor bo'ladi (9.1,d-chizma).

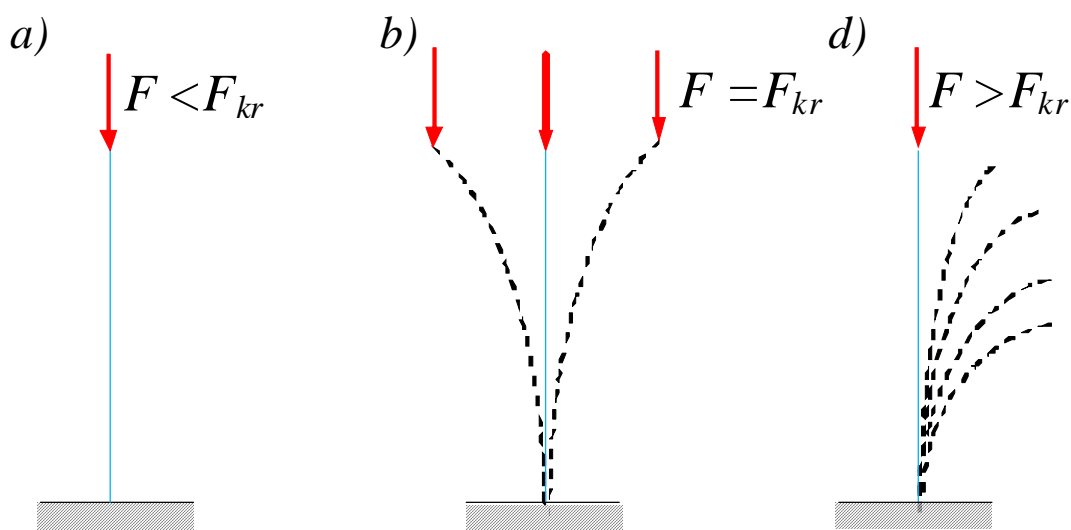


9.1-chizma. Sharik muvozanat holati turlari.

Yuqorida keltirilgan misollardan shuni xulosa qilib aytish mumkinki, 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 hisoblanadi. 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 gorizontaal 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 keltirilsa, 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'priksida 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'priklar ag'darilib tushgan. 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 fojeali 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'priklar 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 xarakteristikalarini 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:

$$[F] = \frac{F_{kr}}{n_u}. \quad (9.1)$$

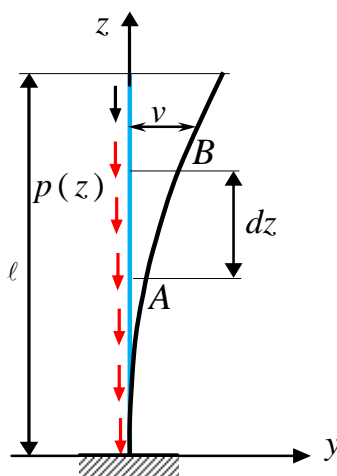
Bunda $[F]$ –ruxsat etilgan kuch; F_{kr} –kritik kuch; $[n_u]$ –sterjen bikirligiga bog'liq bo'lib, har xil materiallar har xil qiymatlarni qabul qiluvchi normal ustuvorlikning ehtiyotlik koeffitsienti.

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:

$$F = \int_z^{\ell} p(z) dz. \quad (9.2)$$



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:

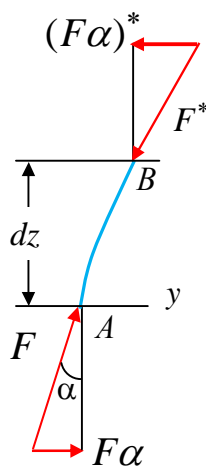
$$F = p(\ell - z). \quad (9.3)$$

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'rinishda 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'sirda 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 tegishli F va F^* bo'ylama siquvchi kuchlar ta'sir etadi. Element o'qining egilishi natijasida yuqorida keltirilgan kuchlar gorizontal 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 ortirma 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 tomoniga 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:

$$q^* dz = [(F\alpha)^* + F\alpha] dz. \quad (9.8)$$

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:

$$\frac{d^2 v}{dz^2} \left(EI \frac{d^2 v}{dz^2} \right) = q - \frac{dv}{dz} \left(F \frac{dv}{dz} \right). \quad (9.10)$$

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:

$$\frac{d^2 v}{dz^2} \left(EI \frac{d^2 v}{dz^2} \right) + \frac{dv}{dz} \left(F \frac{dv}{dz} \right) = 0. \quad (9.11)$$

Bu (9.11) tenglama, o'zgaruvchi koeffitsientli to'rtinchi tartibli oddiy differensial tenglama. Erkin uchi bo'ylama 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).

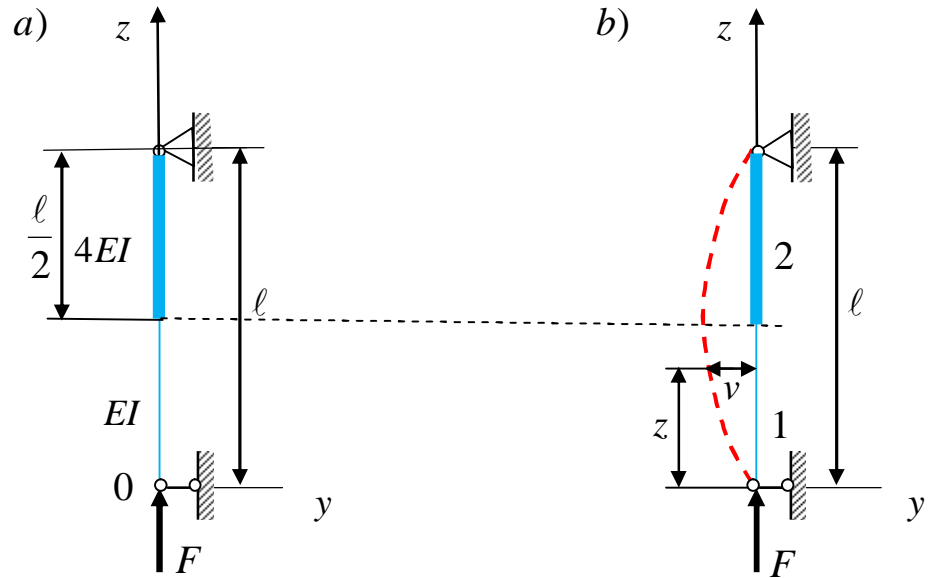
Birinchi va ikkinchi uchastkalarga tegishli bo'lgan differensial tenglamalarni hosil qilamiz:

$$EJ_x v_1'' + Fv_1 = 0. \quad (9.16)$$

$$4EJ_x v_2'' + Fv_2 = 0. \quad (9.17)$$

Bu differensial tenglamalarni qulay shaklda ifodalash uchun quyidagi belgilashni kiritish mumkin:

$$k^2 = \frac{F}{4EI_x}. \quad (9.18)$$



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 $z=l/2$ bo'lsa $v_1=v_2$ va $v_1'=v_2'$ hamda $z=l$ salqilik $v_2=0$ bo'ladi. Bu uchta chegara shartlariga tegishli bo'lgan uchta trigonometrik tenglamalarni quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\left. \begin{aligned} C_1 \sin kl &= C_3 \sin \frac{kl}{2} + C_4 \cos \frac{kl}{2}; \\ 2C_1 \cos kl &= C_3 \cos \frac{kl}{2} - C_4 \sin \frac{kl}{2}; \\ C_3 \sin kl + C_4 \cos kl &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (9.23)$$

Tenglamalar sistemaning aniqlanuvchisi nolga tenglanadi:

$$\begin{vmatrix} \sin kl & -\sin \frac{kl}{2} & -\cos \frac{kl}{2} \\ 2\cos kl & -\cos \frac{kl}{2} & \sin \frac{kl}{2} \\ 0 & \sin kl & \cos kl \end{vmatrix} = 0. \quad (9.24)$$

Bundan quyidagi ikkita tenglama hosil bo'ladi.

$$\sin \frac{kl}{2} = 0. \quad (9.25)$$

$$\operatorname{tg}^2 \frac{kl}{2} = 2. \quad (9.26)$$

Bu tenglamalardan noldan farqli eng kichik ildizini quyidagi shartdan $\operatorname{tg} \frac{kl}{2} = \sqrt{2}$ aniqlanadi, ya'ni $\frac{kl}{2} = 0,955$. Unda kritik kuch quyidagicha ifodalanadi:

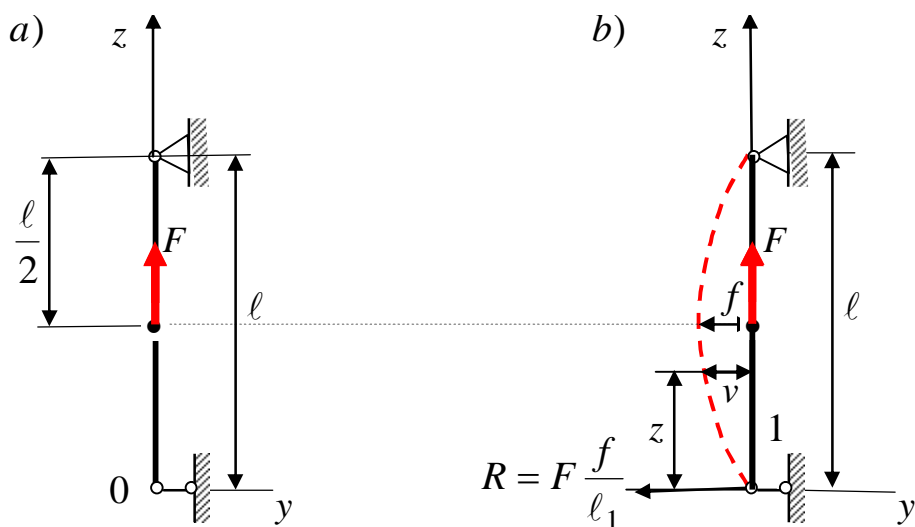
$$F_{kr} = \frac{14,6EI}{\ell^2}. \quad (9.27)$$

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 uchastkalarga 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 tegishlicha 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 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 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'zgarmlarini noma'lumlarga qarab tenglamalar sistemaning aniqlanuvchisini 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.

$$\operatorname{tg} \frac{k\ell}{2} = \frac{3k\ell/2}{(k\ell/2)^2 - 9}. \quad (9.36)$$

Bu tenglamaning eng kichik ildizi quyidagiga teng bo'ladi:

$$\frac{k\ell}{2} = 2,16. \quad (9.37)$$

Unda kritik kuch quyidagicha ifodalanadi:

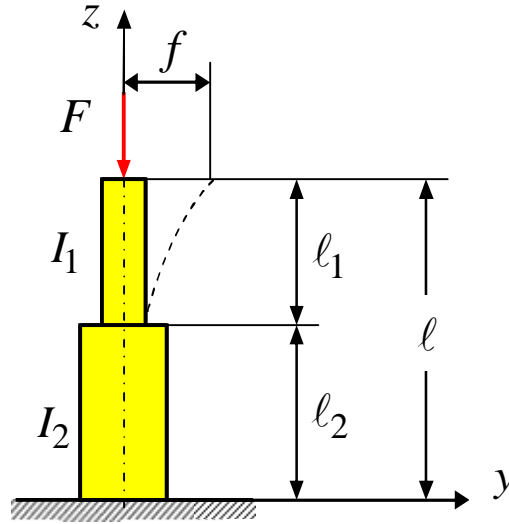
$$F = \frac{18,7EI}{\ell^2}. \quad (9.38)$$

Uchinchi misol sifatida pastki uchi bilan qistirib mahkamlangan, yuqorigi erkin uchiga F siquvchi kuch qo'yilgan inersiya momentlari I_1, I_2 prizma shaklidagi uchastkalardan tashkil topgan ustun uchun kritik kuch ifodasini topishni ko'rib chiqamiz (9.7-chizma).

Ustun uchastkalar bo'yicha egilgan o'qining differensial tenglamalari tegishlicha 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:

$$k_1^2 = \frac{F}{EI_1}; \quad k_2^2 = \frac{F}{EI_2}. \quad (9.41)$$

Unda differensial tenglamalarning yechimlarini quyidagi ko'rinishda 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'zgarmas koeffitsientlarni quyidagi chegara shartlaridan aniqlanadi:

1. Ustun uchida $z = l$, bo'lganda salqilik $v_1 = f$ bo'ladi.

2. Uchastkalar tutashgan kesimda $z = l_2$ bo'lganda salqilik $w_1 = w_2$ bo'ladi.

Bu chegara shartlaridan quyidagi tenglamalarni hosil qilamiz:

$$f + C_1 \sin k_1 l + C_2 \cos k_1 l = f. \quad (9.44)$$

$$f + C_1 \sin k_1 l_2 + C_2 \cos k_1 l_2 = f(1 - \cos k_2 l_2). \quad (9.45)$$

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 koeffitsientlarni o'rniga 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'ylama-ko'ndalang egilishi

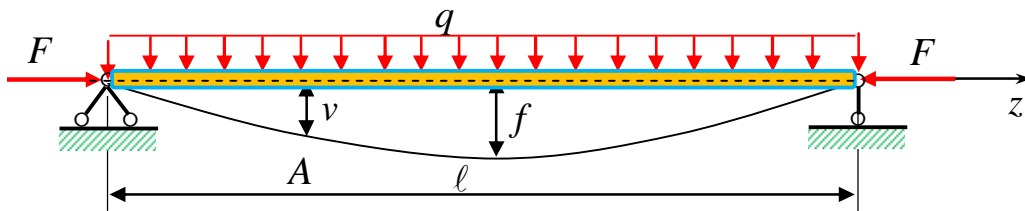
Bo'ylama F siquvchi kuch bilan ko'ndalang yuk birgalikda ta'sir etganda, sterjenning ustuvorlik masalasini qaraymiz (9.8-chizma).

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

$$M = Fv + \frac{qz}{2}(\ell - z). \quad (9.53)$$

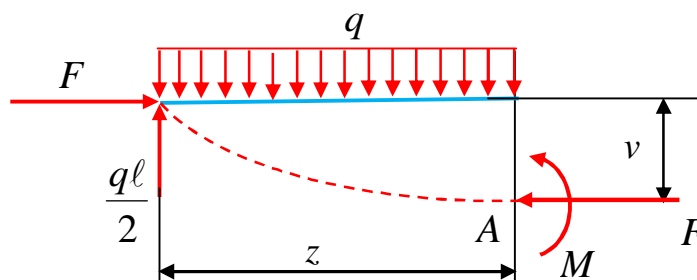
Sterjen egilgan o'qining ustuvorlik differensial tenglamasi quyidagicha ifodalanadi:

$$\frac{d^2v}{dz^2} + k^2v = \frac{qk^2}{2F}z(z - \ell). \quad (9.54)$$



9.8-chizma. Siquvchi bo'ylama kuchi bilan ko'ndalang kuchning sterjenga ta'siri.

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:

$$v = C_1 \sin kz + C_2 \cos kz + \frac{q}{2F} z(z - \ell) - \frac{q}{Fk^2}. \quad (9.55)$$

Sterjenning chegara shartlari quyidagicha ifodalanadi:

$$\begin{aligned} z = 0; & \quad v(0) = 0; \\ z = \ell; & \quad v(\ell) = 0. \end{aligned} \quad \text{bo'lsa,} \quad (9.56)$$

Bundan C_1 va C_2 o‘zgaras koeffitsientlarni topamiz:

$$\left. \begin{aligned} C_2 &= \frac{q}{Fk^2}; \\ C_1 &= \frac{q}{Fk^2 \sin k\ell} (1 - \cos k\ell) = \frac{q}{Fk^2} \operatorname{tg} \frac{k\ell}{2}. \end{aligned} \right\} \quad (9.57)$$

Sterjen salqilik funksiyasi ifodasini aniqlash uchun (9.57) o‘zgaras koeffitsientlarni (9.55) umumiy yechimiga qo‘yamiz:

$$v(z) = \frac{q}{Fk^2} \left[\operatorname{tg} \frac{k\ell}{2} \sin kz + \cos kz - \frac{1}{2} k^2 z(\ell - 1) - 1 \right]. \quad (9.58)$$

Sterjen tayanchlari oralig‘i $\ell/2$ o‘rtasidagi ko‘tarilish qavariq salqiligi quyidagicha 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‘rniga 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.

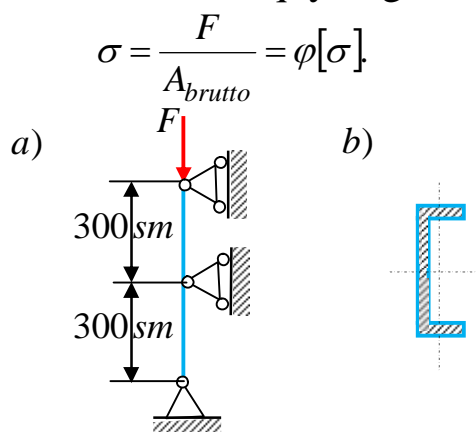
Shuni xulosa qilib aytish mumkinki, bo'ylama siqilgan prizmatik sterjenlarda kritik kuchning miqdoriga boshlang'ich salqilik, markaziy bo'lmagan siquvchi kuch va bo'ylama hamda ko'ndalang kuchlarning birgalikdagi ta'siri o'zgartirish kiritmaydi. Kritik kuch miqdori ideal prizmatik sterjenlarning markaziy 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?

Yechish:

Ko'ndalang kesim yuzasini ketma-ket yaqinlashish usulidan foydalanib aniqlanadi.

Siqilgan sterjenning ustivorlik sharti quyidagicha ifodalanadi:



9.10-chizma. Uchlari sharnirli mahkamlangan ustun.

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 egilishida hosil bo'lgan yarim to'lqinlar 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:

$$\sigma_{haq} = \frac{F}{\varphi_1' A} = \frac{100000}{0,192 \cdot 13,3 \cdot 10^{-4}} = 3916,04 \cdot 10^5 \frac{N}{\text{m}^2} > 1600 \cdot 10^5 \frac{N}{\text{m}^2}.$$

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'rtta 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:

$$\lambda = \frac{l_{kel}}{i_{\min}} = \frac{300}{1,87} = 160.$$

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:

$$\sigma_{haq} = \frac{F}{\varphi_3 A} = \frac{100000}{0,29 \cdot 18,1 \cdot 10^{-4}} = 1905,12 \cdot 10^5 \frac{N}{m^2} > 1600 \cdot 10^5 \frac{N}{m^2}.$$

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'rtta 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:

$$A = \frac{F}{\varphi_4[\sigma]} = \frac{100000}{0,318 \cdot 16000} = 19,65 \cdot 10^{-4} m^2.$$

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 interpolyasiyalash 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:

$$\frac{1600 \cdot 10^5 - 1575,56 \cdot 10^5}{1600 \cdot 10^5} \cdot 100\% = 1,55\%.$$

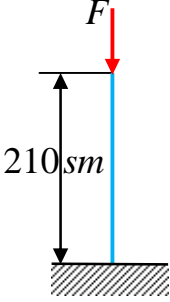
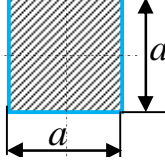
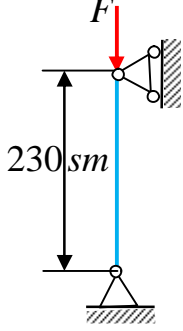
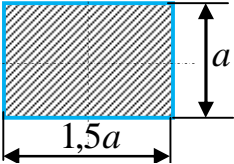
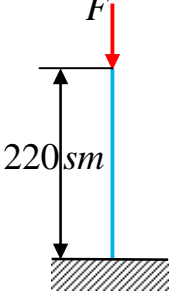
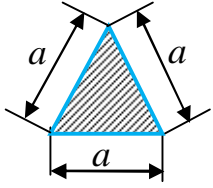
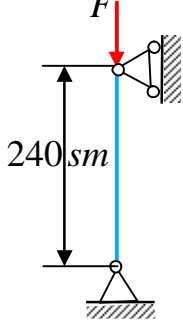
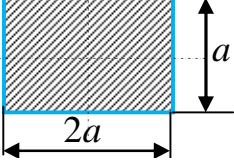
Demak, shart bajarildi.

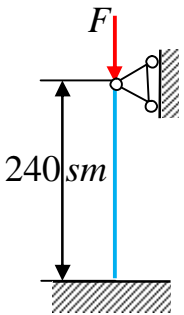
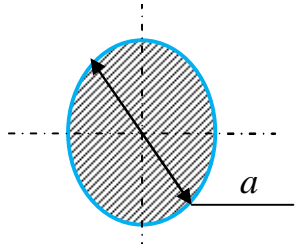
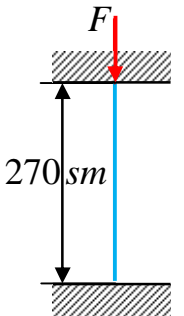
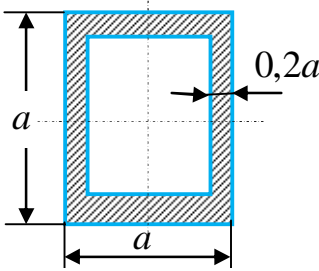
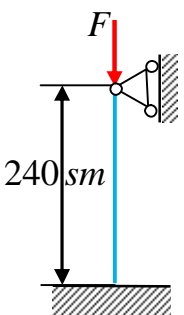
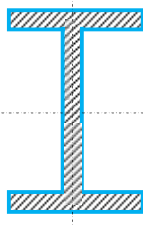
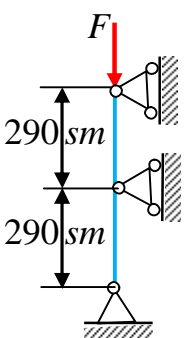
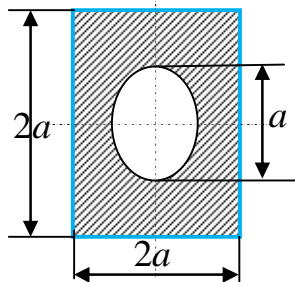
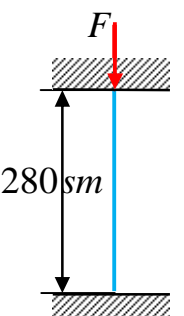
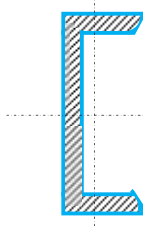
9.5-§. Mustaqi ish topshiriqlari

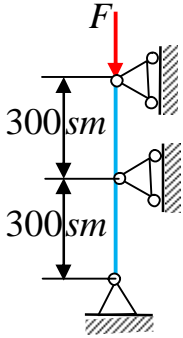
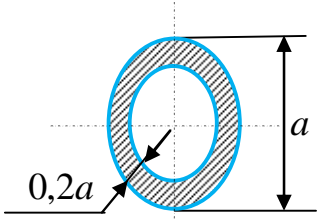
9.1-jadvaldan shifr bo'yicha keltirilgan, o'qi bo'ylab F kuch bilan siqilgan ustun ko'ndalang kesim yuzasi aniqlansin?

Kerakli ma'lumotlar 9.1-jadvaldan berilgan shifr bo'yicha olinadi.

9.1-jadval.

№	F kN	Ustunlar uchlarning 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 chan lik	egiluvchanlik				egiluv uvchnlik	egiluvchanlik			
	Po'lat	Alyumin	Cho'yan	Yog'och		Po'lat	Alyumin	Ccho'yan	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 chiziqli muvozanat holati, ustuvor holat, befarq holat, kritik kuch, noustuvor holat, bo'ylama egilish, Shveysariyaning 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 ko'effitsientli differensial tenglama, xarakteristik tenglama, ixtiyoriy o'zgarmas ko'effitsientlar, 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'qining ustuvorlik differensial tenglamasi, bo'ylama va ko'ndalang kuch ta'siridagi element muvozanati, o'zgarmas ko'effitsientlar, 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 ko'effitsienti bilan mustahkamlik uchun ehtiyotlik $[n]$ ko'effitsienti 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?

$$F_{kr} = \frac{\pi^2 EI_{\min}}{\ell^2}; \quad F_{kr} = \frac{n^2 \pi^2 EI_{\min}}{\ell^2};$$

$$F_{kr} = \frac{4\pi^2 EI_{\min}}{\ell^2}; \quad F_{kr} = \frac{9\pi^2 EI_{\min}}{\ell^2};$$

8. Siqilgan sterjenlarning kritik kuch formulasidagi n butun son nimani bildiradi?

sinusoidaning yarim to‘lqinlari sonini;
 sinusoidaning butun to‘lqinlari sonini;
 sinusoidaning ikki va undan ko‘p to‘lqinlari sonini;
 sinusoidaning to‘lqinlari sonini;

9. Eyler kuchi sterjen materialining xossalariga 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. Eyler kritik kuchi qaysi formula bilan hisoblanadi?

$$F_{kr} = \frac{\pi^2 EI_{\min}}{\ell^2}; \quad F_{kr} = \frac{n^2 \pi^2 EI_{\min}}{\ell^2};$$

$$F_{kr} = \frac{4\pi^2 EI_{\min}}{\ell^2}; \quad F_{kr} = \frac{9\pi^2 EI_{\min}}{\ell^2};$$

11. Qaysi shart bajarilsa, kritik kuchlanishni aniqlash uchun Eyler formulasidan foydalanish mumkin?

$$\sigma_{kr} \leq \sigma_{p.ch}; \quad \sigma_{kr} \leq \sigma_n;$$

$$\sigma_{kr} + \sigma_n; \quad \sigma_{kr} \leq \sigma_T;$$

12. Siqilgan sterjenning uzunligini keltirish koeffitsienti ikki uchi sharnirli mahkamlangan holatda qanday qiymatga teng?

$$\mu = 1; \quad \mu = 2;$$

$$\mu = 0,7; \quad \mu = 0;$$

13. Siqilgan sterjenning uzunligini keltirish koeffitsienti ikki uchi qistirib mahkamlangan holatda qanday qiymatga teng?

$$\mu = 0,5; \quad \mu = 2;$$

$$\mu = 1;$$

$$\mu = 0;$$

14. Siqilgan sterjenning uzunligini keltirish koeffitsienti bir uchi qistirib ikkinchisi 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'lishini;

siqilgan sterjen o'qining bo'ylama egilishida faqat siquvchi kuchlanish ham hosil bo'lishini;

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 almashtirishi;

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?

$$E_{kel} = \frac{E_1 E_2}{(\sqrt{E_1} + \sqrt{E_2})^2};$$

$$E_{kel} = \frac{E_1 I_1 + E_2 I_2}{I};$$

$$S_{kel} = \frac{b h_1^2}{2} - \frac{E_2}{E_1} \frac{b h_2^2}{2};$$

$$M_{kel} = -(E_2 I_2 + E_1 I_1) \frac{d^2 w}{dz^2}$$

;

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 ÷ 100;
- 40;
- 0 ÷ 100;
- 0 ÷ 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?

$$\sigma_{kr} = a - b\lambda;$$

$$\sigma_{kr} = a - b\lambda + c\lambda^2;$$

$$\sigma_{kr} = \sigma_0 - a\lambda^2;$$

$$\sigma_{kr.sh.e} = \frac{\pi^2 E_\tau I_{min}}{A l^2};$$

27. Siqilgan sterjenlarni ustuvorlikka hisoblashda quyidagi hollarning qaysi birida Yasinskiy formulasidan 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?

$$\sigma = \frac{F}{A_{netto}} \leq [\sigma];$$

$$[\sigma] = \sigma_m / [n];$$

$$\sigma = \frac{F}{A_{brutto}} \leq [\sigma_u] = \varphi[\sigma];$$

$$[\sigma_u] = \sigma_{kr} / [n_u];$$

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;

X BOB

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].

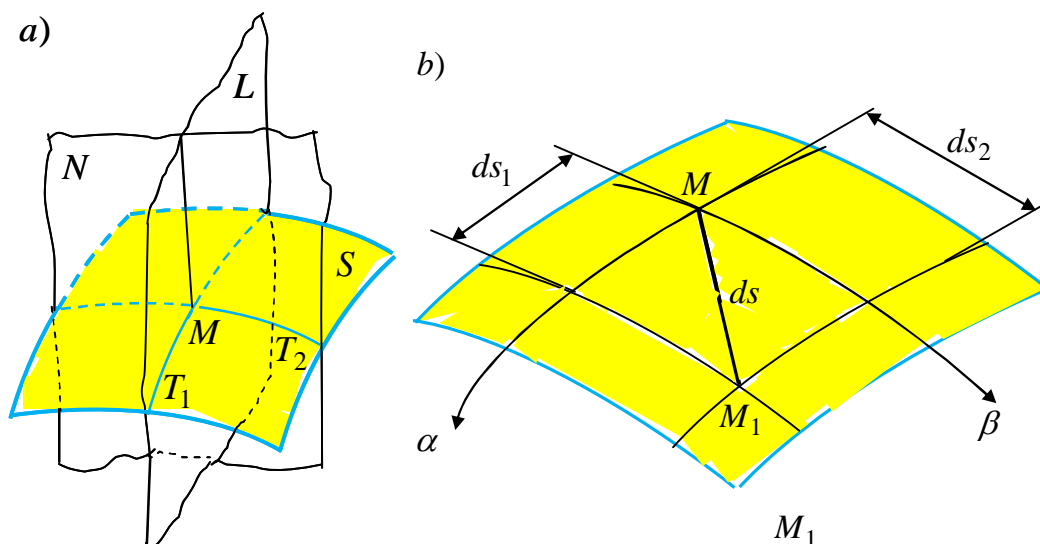
Yupqa qobiqlar nazariyasi Kirxgof-Lyav gipotezasiga asoslanadi:

- 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.

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.



10.1-chizma. Qobiq elementlari.

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:

$$\begin{aligned} dS^2 &= dS_1^2 + dS_2^2; \\ dS^2 &= A^2 d\alpha^2 + B^2 d\beta^2; \\ dS_1 &= A d\alpha; \quad dS_2 = B d\beta. \end{aligned} \quad (10.3)$$

Bu tenglama birinchi kvadratli sirt shaklini 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 $dS_1 = Ad\alpha$ bo'ladi. Xuddi shu kabi $dS_2 = Bd\beta$ orttirmani ham hosil qilish mumkin. Shunday qilib, koordinata chiziqlari $\alpha = const$, $\beta = const$ bo'lganda orttirmasi 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.

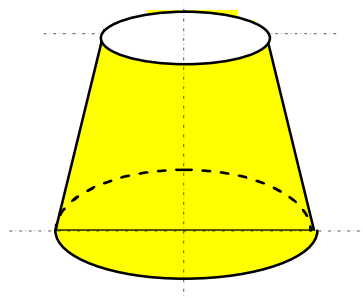
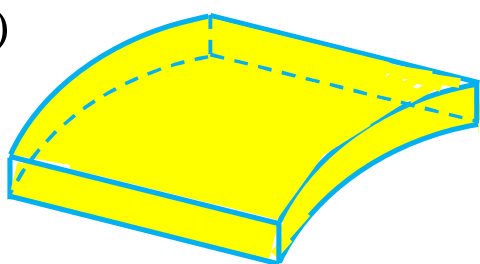
Qobiq o'rta sirtining biror M nuqtasi bosh egriliklarning ko'paytmasiga qobiqning Gauss egriligi deyiladi.

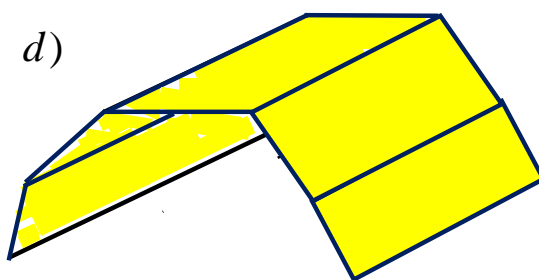
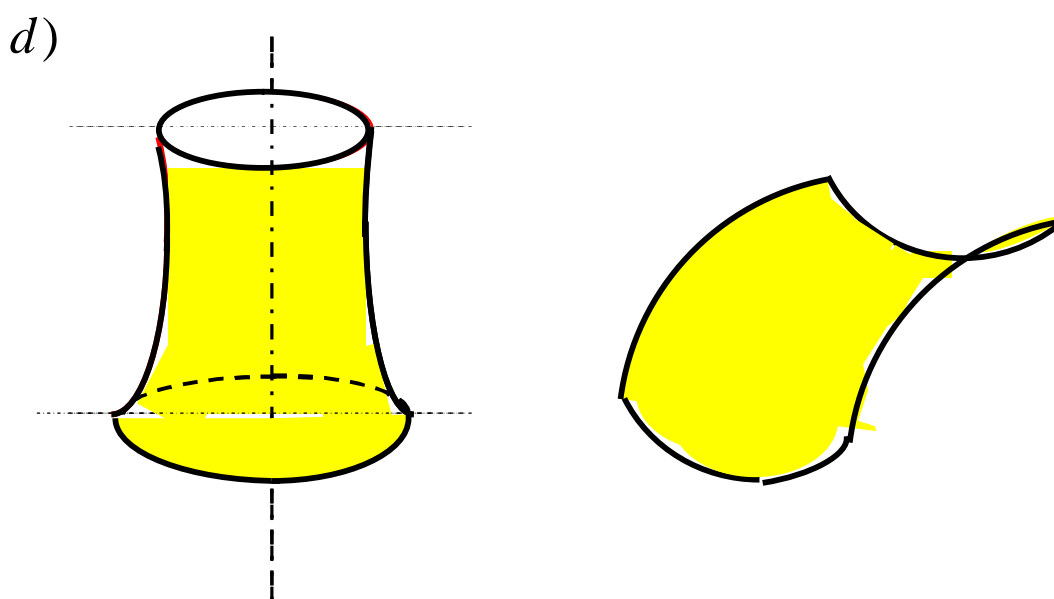
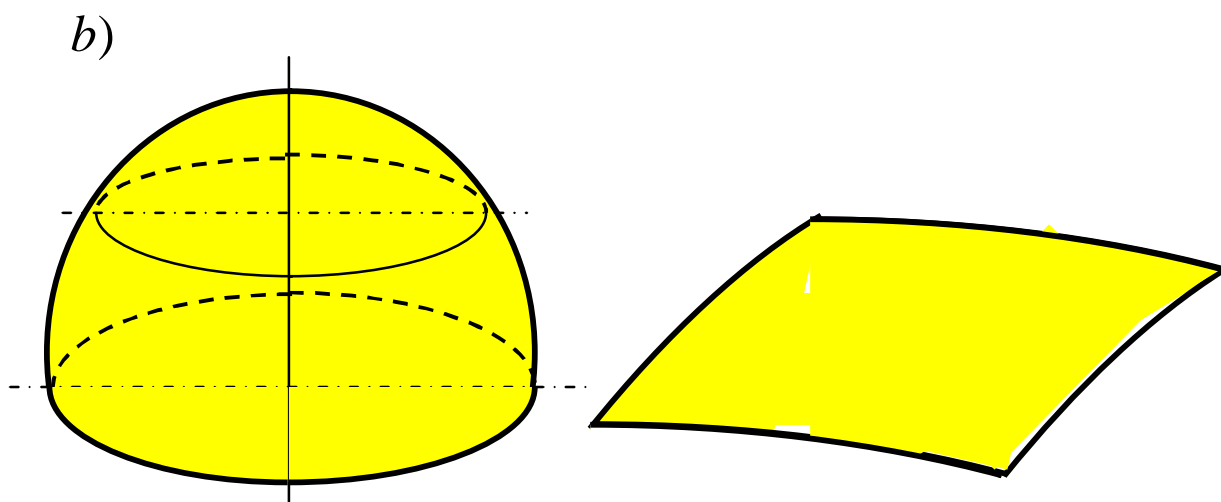
$$G = K_1 K_2. \quad (10.5)$$

Qobiqlar Gauss egriligiga qarab quyidagi turlarga bo'linadi:

1. Gauss egriligi nol, ya'ni $G = 0$ silindrik va konussimon qobiqlar (1.2.a-chizma).
2. Gauss egriligi musbat, ya'ni $G > 0$ sferik, elliptik va parabolik qobiqlar (1.2.b-chizma);
3. Gauss egriligi manfiy, ya'ni $G < 0$ giperbolik qobiqlar (1.2.g-chizma);

a)





10.2-chizma. Qurilishda ishlatilaligan qobiqlar.

1.2. Qobiqdagi deformatsiya va ko'chishlar

Qobiq o'rta sirtining 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

$$\varepsilon_1^I = \frac{1}{A} \frac{\partial u}{\partial \alpha} - \text{ko'chishning } \beta = \text{const} \text{ koordinata chizig'i bo'yicha}$$

o'zgarishidan aniqlanadi.

$$\varepsilon_1^{II} = \frac{1}{AB} \frac{\partial A}{\partial \beta} v - \text{ko'chishning } \alpha = \text{const} \text{ koordinata chizig'i bo'yicha}$$

o'zgarishi va birinchi kvadrat shakli koeffitsiyenti o'zgarishidan aniqlanadi.

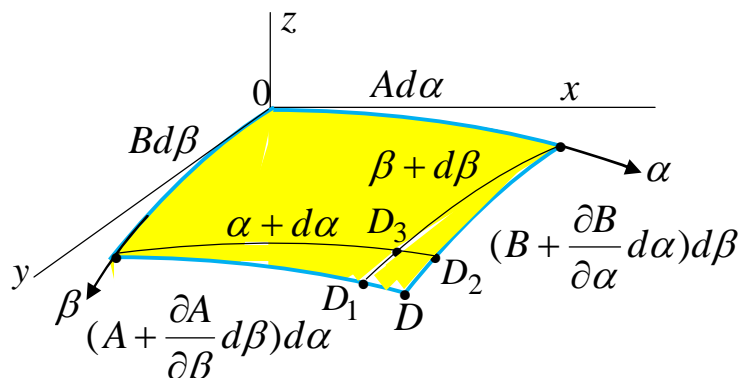
$$\varepsilon_1^{III} = \frac{w}{R_1} \text{ normal } w \text{ ko'chishga bog'liq bo'lgan deformatsiya.}$$

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:

$$\varepsilon_2 = \frac{\partial v}{B \partial \beta} + \frac{1}{AB} \frac{\partial B}{\partial \alpha} u + \frac{w}{R_2}. \quad (10.8)$$



10.3-chizma. O'rta tekislik deformatsiyasi.

Qobiq o'rtta sirtining siljish deformatsiyasi egriligining o'zgarishi va buralish deformatsiyalari quyidagicha ifodalanadi [15, 9-bet]:

$$\gamma = \frac{B}{A} \frac{\partial}{\partial \alpha} \left(\frac{v}{B} \right) + \frac{A}{B} \frac{\partial}{\partial \beta} \left(\frac{u}{A} \right). \quad (10.9)$$

$$\chi_1 = -\frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial \alpha} \left(\frac{1}{A} \frac{\partial w}{\partial \alpha} - \frac{u}{R_1} \right) - \frac{1}{AB} \frac{\partial A}{\partial \beta} \left(\frac{1}{B} \frac{\partial w}{\partial \beta} - \frac{v}{R_2} \right); \quad (10.10)$$

$$\chi_2 = -\frac{1}{B} \frac{\partial}{\partial \beta} \left(\frac{1}{B} \frac{\partial w}{\partial \beta} - \frac{v}{R_2} \right) - \frac{1}{AB} \frac{\partial B}{\partial \alpha} \left(\frac{1}{A} \frac{\partial w}{\partial \alpha} - \frac{u}{R_1} \right).$$

$$\chi_{12} = -\frac{1}{AB} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial \alpha \partial \beta} - \frac{1}{A} \frac{\partial A}{\partial \beta} \frac{\partial w}{\partial \alpha} - \frac{1}{B} \frac{\partial B}{\partial \alpha} \frac{\partial w}{\partial \beta} \right) + \quad (10.11)$$

$$+ \frac{1}{R_1} \left(\frac{1}{B} \frac{\partial u}{\partial \beta} - \frac{1}{AB} \frac{\partial A}{\partial \beta} u \right) + \frac{1}{R_2} \left(\frac{1}{A} \frac{\partial v}{\partial \alpha} - \frac{1}{AB} \frac{\partial B}{\partial \alpha} v \right).$$

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 α , $\alpha + d\alpha$; va β , $\beta + d\beta$ 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.

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 burovchi momentlarni M_{12}, M_{21} bilan belgilaymiz.

Zo'riqish N_1 kuchini aniqlash uchun ajratilgan elementar

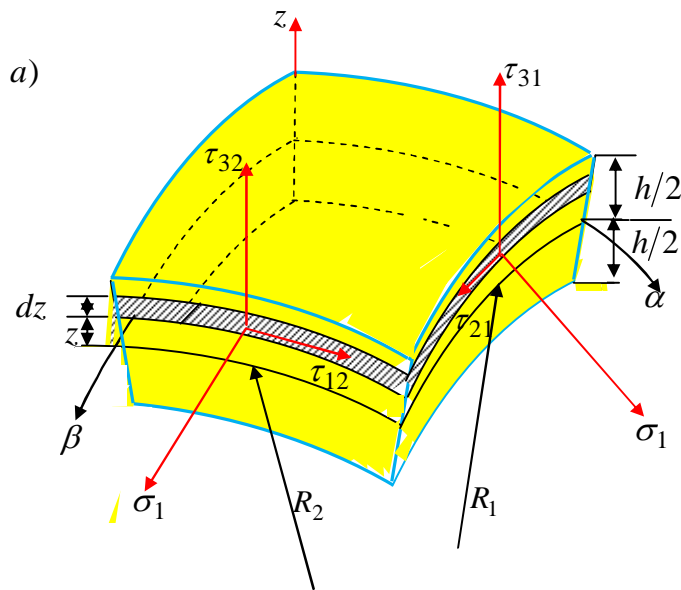
$dF = Bd\beta\left(1 + \frac{z}{R_2}\right)dz$ yuzadagi dN_1 miqdorini quyidagicha ifodalaymiz:

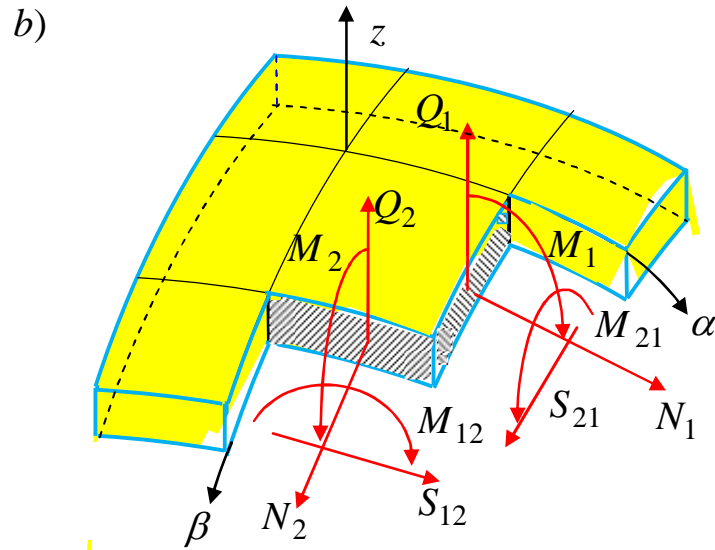
$$dN_1 = Bd\beta\left(1 + \frac{z}{R_2}\right)\sigma_1 dz. \quad (10.13)$$

Yupqa qobiqlar uchun $z/R_1, z/R_2$ kattaliklarni birga nisbatan e'tiborga olmasa ham bo'ladi. Haqiqatdan ham qobiq qalinligi uning egrilik 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:





10.4-chizma. Qobiqqa ta'sir etuvchi kuchlanishlar va kuchlar.

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= \frac{E}{1-\mu^2}(\varepsilon_1 + \mu\varepsilon_2); \\ \sigma_2 &= \frac{E}{1-\mu^2}(\varepsilon_2 + \mu\varepsilon_1); \\ \tau_{12} = \tau_{21} &= \frac{E}{2(1+\mu)}\gamma.\end{aligned}\tag{10.15}$$

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:

$$\begin{aligned}N_1 &= \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_1 dz = \frac{Eh}{1-\mu^2}(\varepsilon_1 + \mu\varepsilon_2); \\ N_2 &= \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_2 dz = \frac{Eh}{1-\mu^2}(\varepsilon_2 + \mu\varepsilon_1).\end{aligned}\tag{10.16}$$

Urinma kuch:

$$S_{12} = S_{21} = S = \int_{-h/2}^{h/2} \tau_{12} dz = \frac{Eh}{2(1+\mu)}\gamma.\tag{10.17}$$

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 kuchlanganlik holati momentsiz holat deb ataladi. Bundan tashqari fizik kuchlar asosan normal va siljituvchi kuchlar bilan muvozanatda bo'ladi. Bunday cheklanishlarga asoslanib qobiqlarni hisoblash nazariyasi, qobiqlarni momentsiz hisoblash nazariyasi deyiladi. Unda yuqoridagi kuchlanishlar quyidagicha ifodalaniladi:

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{h}; \quad \sigma_2 = \frac{N_2}{h}; \quad \tau_{12} = \frac{S_{12}}{h}. \quad (10.23)$$

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'lmasligi 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:

$$DD^I = \frac{\partial B}{\partial \alpha} d\alpha d\beta;$$

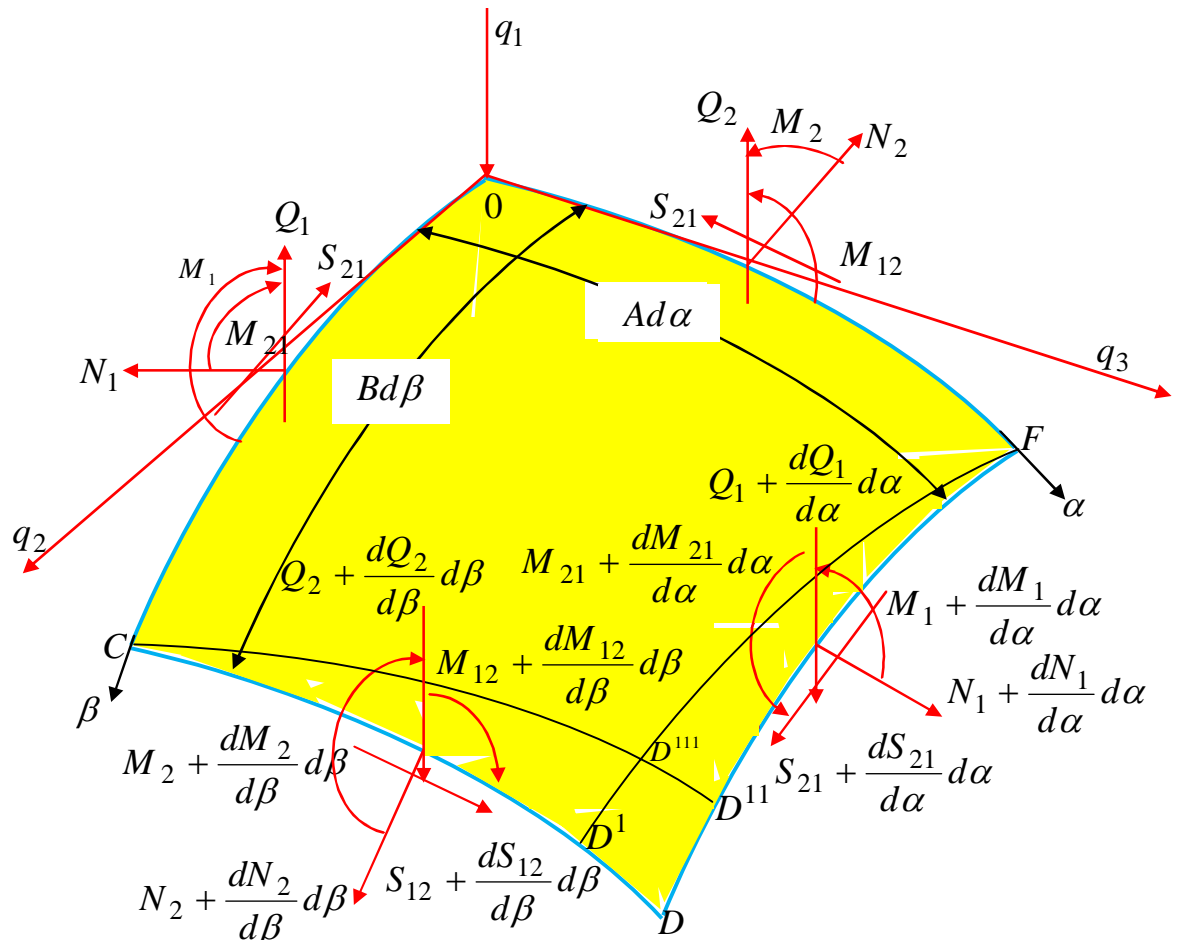
$$DD^{II} = \frac{\partial A}{\partial \beta} d\alpha d\beta.$$
(10.24)

Xuddi shuningdek, zo'riqish kuchlari ham α , β koordinatalarining uzluksiz funksiyalari bo'lganligi uchun orttirmaga ega bo'ladi.

Chetki OC tomonida normal kuch $N_1 B d\beta$, chetki FD tomonida normal kuch quyidagicha ifodalanadi:

$$\left(N_1 + \frac{\partial N_1}{\partial \alpha} d\alpha \right) \left(B d\beta + \frac{\partial B}{\partial \alpha} d\alpha d\beta \right) = N_1 B d\beta +$$

$$+ \frac{\partial N_1}{\partial \alpha} B d\alpha d\beta + N_1 \frac{\partial B}{\partial \alpha} d\alpha d\beta + \frac{\partial N_1}{\partial \alpha} \frac{\partial B}{\partial \alpha} d\alpha d\alpha d\beta.$$
(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

$$\frac{\partial N_1}{\partial \alpha} B d\alpha d\beta + N_1 \frac{\partial B}{\partial \alpha} d\alpha d\beta = \frac{\partial}{\partial \alpha} (N_1 B) d\alpha d\beta, \quad (10.26)$$

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 Ox o'qiga proyeksiyalab muvozanat tenglamasini tuzamiz.

Normal kuchlarning Ox 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 Ox 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 OF tomonga nisbatan juda kichik ψ burchakka burilgan bu normal kuch Ox o'qiga proyeksiya beradi.

Quyidagi nisbitni e'tiborga olib bu juda kichik ψ burchakni 10.5-chizmadan aniqlaymiz:

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{D^{III} D^{II}}{FD^{III}} \approx \frac{DD^I}{FD^{III}}; \quad \psi \approx \operatorname{tg} \psi = \frac{\frac{\partial B}{\partial \alpha} d\alpha d\beta}{A d\alpha}, \quad (10.31)$$

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 tomonidagi 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 siljituvchi kuchning Ox o'qidagi proyeksiyasi:

$$\left[S_{21} B d\beta + \frac{\partial}{\partial \alpha} (S_{21} B) d\alpha d\beta \right] \psi^\bullet, \quad (10.34)$$

bu yerda

$$\psi^\bullet = \frac{\frac{\partial A}{\partial \beta} d\alpha d\beta}{B d\beta} = \frac{1}{B} \frac{\partial A}{\partial \beta} d\alpha. \quad (10.35)$$

Unda bu kuchning proyeksiyasi:

$$S_{21} \frac{\partial A}{\partial \beta} d\alpha d\beta. \quad (10.36)$$

Ko'ndalang Q_1 kuchning Ox 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 Ox 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, Ox o'qi bo'yicha yo'nalgan kuchlar muvozanat tenglamasini hosil qilamiz:

$$\frac{\partial}{\partial \alpha} (N_1 B) + \frac{\partial}{\partial \beta} (S_{12} A) - N_2 \frac{\partial B}{\partial \alpha} + S_{21} \frac{\partial A}{\partial \beta} + Q_1 \frac{AB}{R_1} + AB q_1 = 0. \quad (10.39)$$

2. Xuddi shu usul bilan Oy koordinata o'qi bo'yicha muvozanat tenglamasini ham tuzamiz:

$$\frac{\partial}{\partial \beta} (N_2 A) + \frac{\partial}{\partial \alpha} (S_{21} B) - N_1 \frac{\partial A}{\partial \beta} + S_{12} \frac{\partial B}{\partial \alpha} + Q_2 \frac{AB}{R_2} + AB q_2 = 0. \quad (10.40)$$

3. Koordinata Oz o'qiga nisbatan muvozanat tenglamani tuzamiz.

Ko'ndalang Q_1 kuchining 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 Oz 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 OF 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 Oz 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, Oz 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 Ox o'qiga nisbatan barcha kuchlardan olingan momentlarning algebraik yig'indisini nolga tenglaymiz:

$$\frac{\partial(M_{21} B)}{\partial \alpha} + \frac{\partial(M_2 A)}{\partial \beta} - M_1 \frac{\partial A}{\partial \beta} + M_{12} \frac{\partial B}{\partial \alpha} - Q_2 AB = 0. \quad (10.46)$$

5. Xuddi shuningdek, Oy 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 Oz 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;

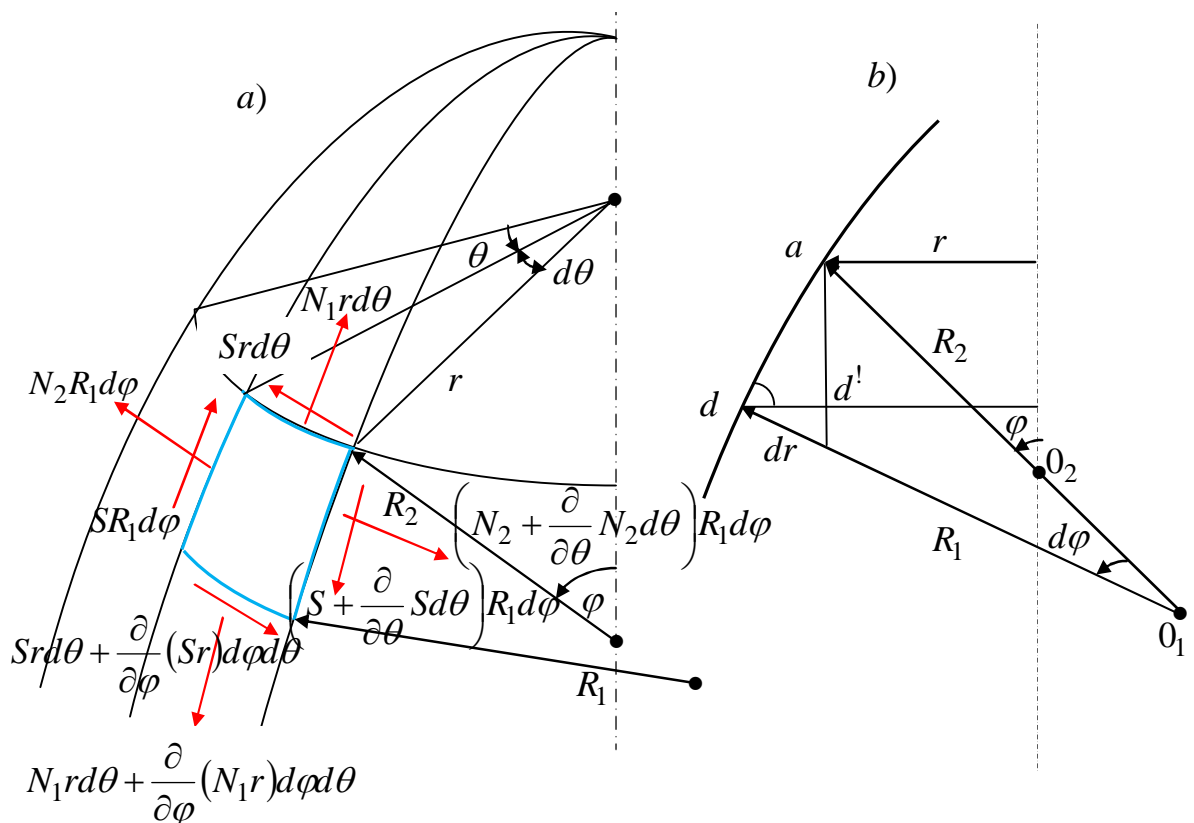
r - parallel aylana radiusi, ixtiyoriy aylanish sirtli qobiq uchun $r = f(\varphi)$.

Simmetrik qobiq uchun A va B Lyame koefitsiyentlari 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:

$$\frac{\partial}{\partial \varphi}(rN_1) + R_1 \frac{\partial S}{\partial \theta} - N_2 R_1 \cos \varphi + q_1 r R_1 = 0. \quad (10.57)$$

$$R_1 \frac{\partial N_2}{\partial \theta} + \frac{\partial}{\partial \varphi}(rS) + SR_1 \cos \varphi + q_2 r R_1 = 0. \quad (10.58)$$

$$\frac{N_1}{R_1} + \frac{N_2}{R_2} - q_3 = 0. \quad (10.59)$$



10.6-chizma. Aylanish sirtli qobiq elementi.

Xususiy 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'ladi. 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

$$R_1 = \infty, \quad R_2 = R, \quad dS_1 = Ad\alpha_1 = dx, \quad dS_2 = Bd\alpha_2 = Rd\theta, \quad (10.66)$$

bo'ladi, demak $\alpha_1 = x$, $\alpha_2 = \theta$, $A = 1$, $B = R$.

Unda muvozanat differensial tenglama (10.48-10.52) quyidagicha ifodalanadi

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial N_1}{\partial x} + \frac{\partial S_{12}}{R \partial \theta} + q_1 &= 0; \\ \frac{\partial S_{21}}{\partial x} + \frac{\partial N_2}{R \partial \theta} + \frac{Q_2}{R} + q_2 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (10.67)$$

$$\left. \frac{\partial Q_1}{\partial x} + \frac{\partial Q_2}{R \partial \theta} - \frac{N_2}{R} + q_3 = 0. \right\} \quad (10.68)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial M_{21}}{\partial x} + \frac{\partial M_2}{R \partial \theta} - Q_2 &= 0; \\ \frac{\partial M_1}{\partial x} + \frac{\partial M_{12}}{R \partial \theta} - Q_1 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (10.69)$$

Bu 5 ta tenglamalar sistemasidan Ko'ndalang kuchni yo'qotamiz, unda:

$$\frac{\partial N_1}{\partial x} + \frac{\partial S_{12}}{R \partial \theta} + q_1 = 0. \quad (10.70)$$

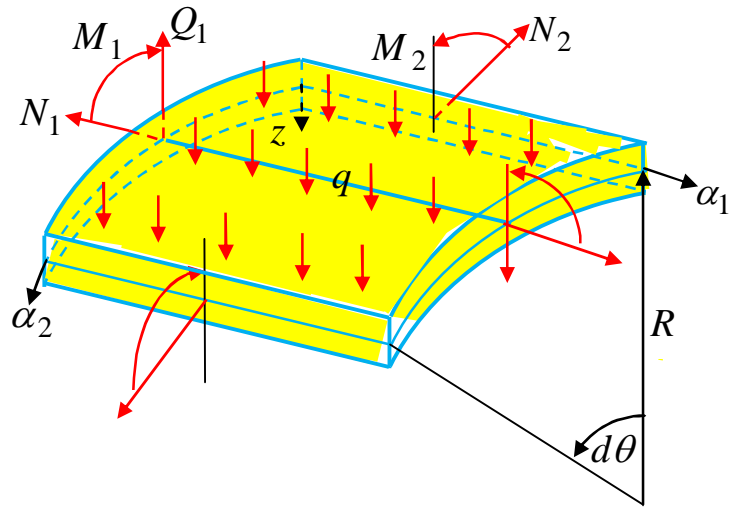
$$\frac{\partial S_{12}}{\partial x} + \frac{1}{R} \frac{\partial N_2}{\partial \theta} + \frac{1}{R^2} \frac{\partial M_2}{\partial \theta} + \frac{1}{R} \frac{\partial M_{12}}{\partial x} + q_2 = 0. \quad (10.71)$$

$$\frac{\partial^2 M_1}{\partial x^2} + \frac{1}{R^2} \frac{\partial^2 M_2}{\partial \theta^2} + \frac{2}{R} \frac{\partial^2 M_{12}}{\partial x \partial \theta} - \frac{N_2}{R} + q_3 = 0. \quad (10.72)$$

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 aniqmasdir.

Geometrik tenglamalarini yuqoridagi (10.7-10.11) tenglamalarga asosan quyidagi ifodalarni hosil qilamiz:

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= \frac{\partial u}{\partial x}; \\ \varepsilon_2 &= \frac{1}{R} \frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{w}{R}; \\ \gamma &= \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{1}{R} \frac{\partial u}{\partial \theta}. \end{aligned} \quad (10.73)$$



10.7-chizma. Silindrik qobiq elementi.

$$\begin{aligned}\chi_1 &= -\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}; \\ \chi_2 &= -\frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(-\frac{v}{R} + \frac{1}{R} \frac{\partial w}{\partial \theta} \right); \\ \chi_{12} &= -\frac{1}{R} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial \theta} - \frac{1}{2} \frac{\partial v}{\partial x} \right).\end{aligned}\quad (10.74)$$

Bu geometrik tenglamalarni e'tiborga olib, qobiqning ko'ndalang kesimdagi zo'riqish kuchlari (10.16-10.20) quyidagicha ifodalanadi:

$$N_1 = \frac{Eh}{1-\mu^2} \left[\frac{\partial u}{\partial x} + \mu \left(\frac{1}{R} \frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{w}{R} \right) \right]. \quad (10.75)$$

$$N_2 = \frac{Eh}{1-\mu^2} \left[\frac{1}{R} \frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{w}{R} + \mu \frac{\partial u}{\partial x} \right]. \quad (10.76)$$

$$S = S_{21} = S_{12} = \frac{Eh}{2(1+\mu)} \left[\frac{1}{R} \frac{\partial u}{\partial \theta} + \frac{\partial v}{\partial x} \right]. \quad (10.77)$$

$$M_1 = -D \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\mu}{R^2} \left(-\frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 w}{\partial \theta^2} \right) \right]. \quad (10.78)$$

$$M_2 = -D \left[\frac{1}{R^2} \left(-\frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 w}{\partial \theta^2} \right) + \mu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right]. \quad (10.79)$$

$$M_{12} = M_{21} = H = -D(1 - \mu) \frac{1}{R} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial \theta} - \frac{1}{2} \frac{\partial v}{\partial x} \right); \quad (10.80)$$

$$D = \frac{Eh^3}{12(1 - \mu^2)}.$$

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:

$$\frac{\partial N_1}{\partial x} + \frac{1}{R} \frac{\partial S_{12}}{\partial \theta} + q_1 = 0. \quad (10.81)$$

$$\frac{\partial S_{21}}{\partial x} + \frac{1}{R} \frac{\partial N_2}{\partial \theta} + q_2 = 0. \quad (10.82)$$

$$N_2 + q_3 R = 0. \quad (10.83)$$

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:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dN_1}{dx} + q_1 &= 0; \\ \frac{d^2 M_1}{dx^2} + \frac{N_2}{R} + q_3 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (10.84)$$

Bu ikki tenglamada uchta N_1, N_2, M_1 noma'lum bo'lib, masala bir marta statik aniqlasdir.

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:

$$\begin{aligned}\varepsilon_1 &= \frac{du}{dx}; & \varepsilon_2 &= -\frac{w}{R}; & \gamma &= 0; \\ \chi_1 &= \frac{d^2w}{dx^2}; & \chi_2 &= 0; & \chi_{12} &= 0.\end{aligned}\quad (10.86)$$

Unda zo'riqish (10.80-10.85) kuchlari quyidagicha ifodalanadi:

$$N_1 = \frac{Eh}{1-\mu^2} \left(\frac{du}{dx} - \mu \frac{w}{R} \right); \quad N_2 = \frac{Eh}{1-\mu^2} \left(-\frac{w}{R} + \mu \frac{du}{dx} \right) \quad (10.87)$$

Eguvchi momentlar:

$$M_1 = -D \frac{d^2w}{dx^2}; \quad M_2 = \mu D \frac{d^2w}{dx^2}. \quad (10.88)$$

Bu (10.88) ifodani e'tiborga olib (10.69) formuladan quyidagini aniqlaymiz:

$$Q_1 = -D \frac{d^3w}{dx^3}; \quad Q_2 = 0. \quad (10.89)$$

Bundan keyin $N_1 = 0$ deb qaraymiz va (10.87) formuladan quyidagilarni aniqlaymiz:

$$\frac{du}{dx} = \mu \frac{w}{R}; \quad N_2 = -\frac{Ehw}{R}. \quad (10.90)$$

Unda (10.90) tenglamani e'tiborga olib (10.84) tenglamaning ikkinchi tenglamasi quyidagicha ifodalanadi:

$$D \frac{d^4w}{dx^4} + \frac{Ehw}{R^2} = q_3. \quad (10.91)$$

Bu ifodaga:

$$q_3 = q; \quad \beta^4 = \frac{Eh}{4DR^2} = \frac{3(1-\mu^2)}{R^2h^2}. \quad (10.92)$$

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 shaklidagi 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:

$$M_1 = M_0; \quad Q_1 = Q_0. \quad (10.101)$$

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:

$$M_1 = \frac{e^{-\beta x}}{\beta} [\beta M_0 \cos \beta x + (Q_0 + \beta M_0) \cos \beta x]; \quad (10.105)$$

$$M_2 = \mu \frac{e^{-\beta x}}{\beta} [\beta M_0 \cos \beta x + (Q_0 + \beta M_0) \cos \beta x].$$

Kuchlanishlarni (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:

$$w_{\max} = w(0) = -\frac{Q_0 + \beta M_0}{2D\beta^3} < 0; \quad (10.107)$$

$$(M_1)_{\max} = M_0; \quad M_2 = \mu M_1.$$

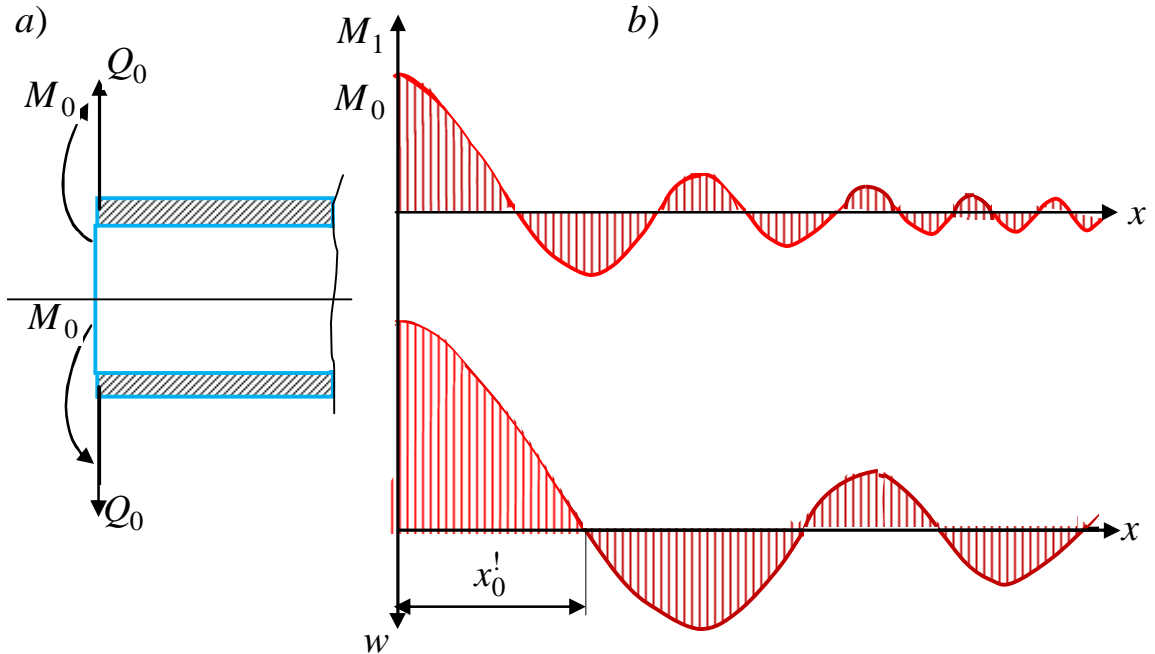
Koordinata x ning ortishi bilan M_1, M_2 eguvchi momentlar, w salqilik hamda σ_1, σ_2 kuchlanishlar tez so'nib boradi (10.8.b-chizma).

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:

$$\operatorname{tg} \beta x_0^* = -\frac{Q_0 + \beta M_0}{2D\beta^3} = \frac{1}{\operatorname{tg} \beta x_0}. \quad (10.109)$$



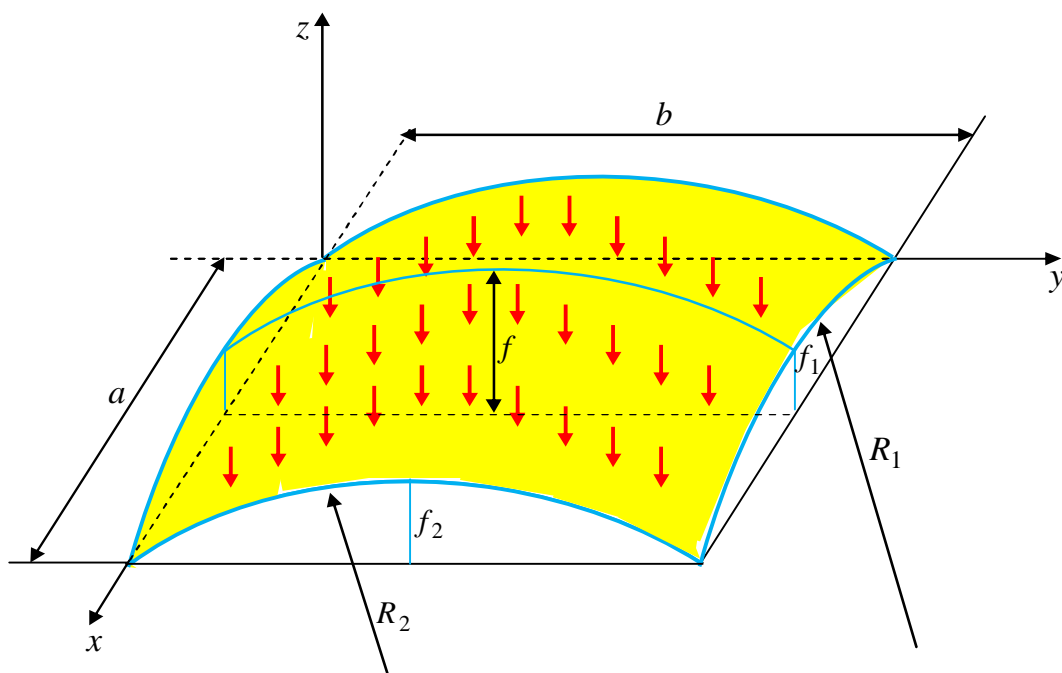
10.8-Chizma. Chap qirg'og'i bo'ylab yuklangan yarim cheksiz silindrik qobiq.

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:

$$\begin{aligned} N_1 &= \frac{Eh}{1 - \mu^2} (\varepsilon_1 + \mu \varepsilon_2); \\ N_2 &= \frac{Eh}{1 - \mu^2} (\varepsilon_2 + \mu \varepsilon_1). \end{aligned} \quad (10.118)$$

$$S = \frac{Eh}{2(1+\mu)}\gamma. \quad (10.119)$$

$$M_1 = -D(\chi_1 + \mu\chi_2) = -D\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \mu\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}\right). \quad (10.120)$$

$$M_2 = -D(\chi_2 + \mu\chi_1) = -D\left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \mu\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}\right). \quad (10.121)$$

$$M_{12} = M_{21} = H = -D(1-\mu)\chi_{12} = -D(1-\mu)\frac{\partial^2 w}{\partial x\partial y}. \quad (10.122)$$

$$\left. \begin{aligned} Q_1 &= -D\frac{\partial}{\partial x}(\nabla^2 w); \\ Q_2 &= -D\frac{\partial}{\partial y}(\nabla^2 w). \end{aligned} \right\} \quad (10.123)$$

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:

$$\begin{aligned} N_1 &= \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2}; \\ N_2 &= \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2}; \\ S_{12} &= -\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x\partial y}. \end{aligned} \quad (10.126)$$

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:

$$D\nabla^4 w = q + N_1 K_1 + N_2 K_2, \quad (10.127)$$

bu yerda

$$K_1 = 1/R_1, K_2 = 1/R_2. \quad (10.128)$$

Yuqoridagi (10.125) tenglamadan deformatsiya komponentlarini aniqlaymiz:

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= \frac{1}{Eh} (N_1 - \mu N_2); \\ \varepsilon_2 &= \frac{1}{Eh} (N_2 - \mu N_1); \\ \gamma &= \frac{1 + \mu}{Eh} S_{12}. \end{aligned} \quad (10.129)$$

Bu (10.129) ifodaga zo'riqish kuchi o'rniga (10.126) tenglamadan kuchlanishlar funksiyasini qo'yib quyidagini hosil qilamiz:

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= \frac{1}{Eh} \left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} - \mu \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} \right); \\ \varepsilon_2 &= \frac{1}{Eh} \left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} - \mu \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} \right); \\ \gamma &= -\frac{1 + \mu}{Eh} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y}. \end{aligned} \quad (10.130)$$

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 bigormonik 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:

$$\begin{aligned} \int_0^a \int_0^b (D\nabla^4 w - q\nabla_k^2 \varphi) w_{mn} dx dy &= 0; \\ \int_0^a \int_0^b (\nabla^4 \varphi + Eh\nabla_k^2 w) \varphi_{mn} dx dy &= 0. \end{aligned} \quad (10.136)$$

aniqlanadi.

Bu yerda $\nabla_k^2 = K_1 \frac{\partial^2}{\partial x^2} + K_2 \frac{\partial^2}{\partial y^2}$ Vlasov operatori.

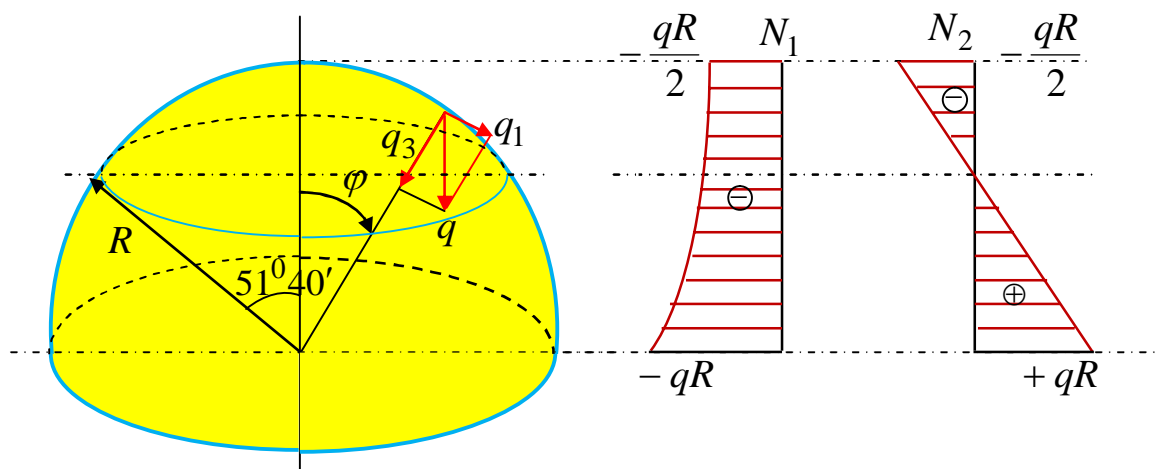
Bu tenglamalardan A_{mn} va B_{mn} parametrlar aniqlanadi.

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

$$\frac{\partial}{\partial \varphi} (N_1 \sin \varphi) - N_2 \cos \varphi + qR \sin^2 \varphi = 0.$$

$$N_1 + N_2 + qR \cos \varphi = 0.$$

tenglamani hosil qilamiz.

Bu tenglamaning yechimi quyidagi ko'rinishga ega:

$$N_1 = -\frac{qR}{1 + \cos \varphi}; \quad N_2 = -qR \left(\cos \varphi - \frac{1}{1 + \cos \varphi} \right).$$

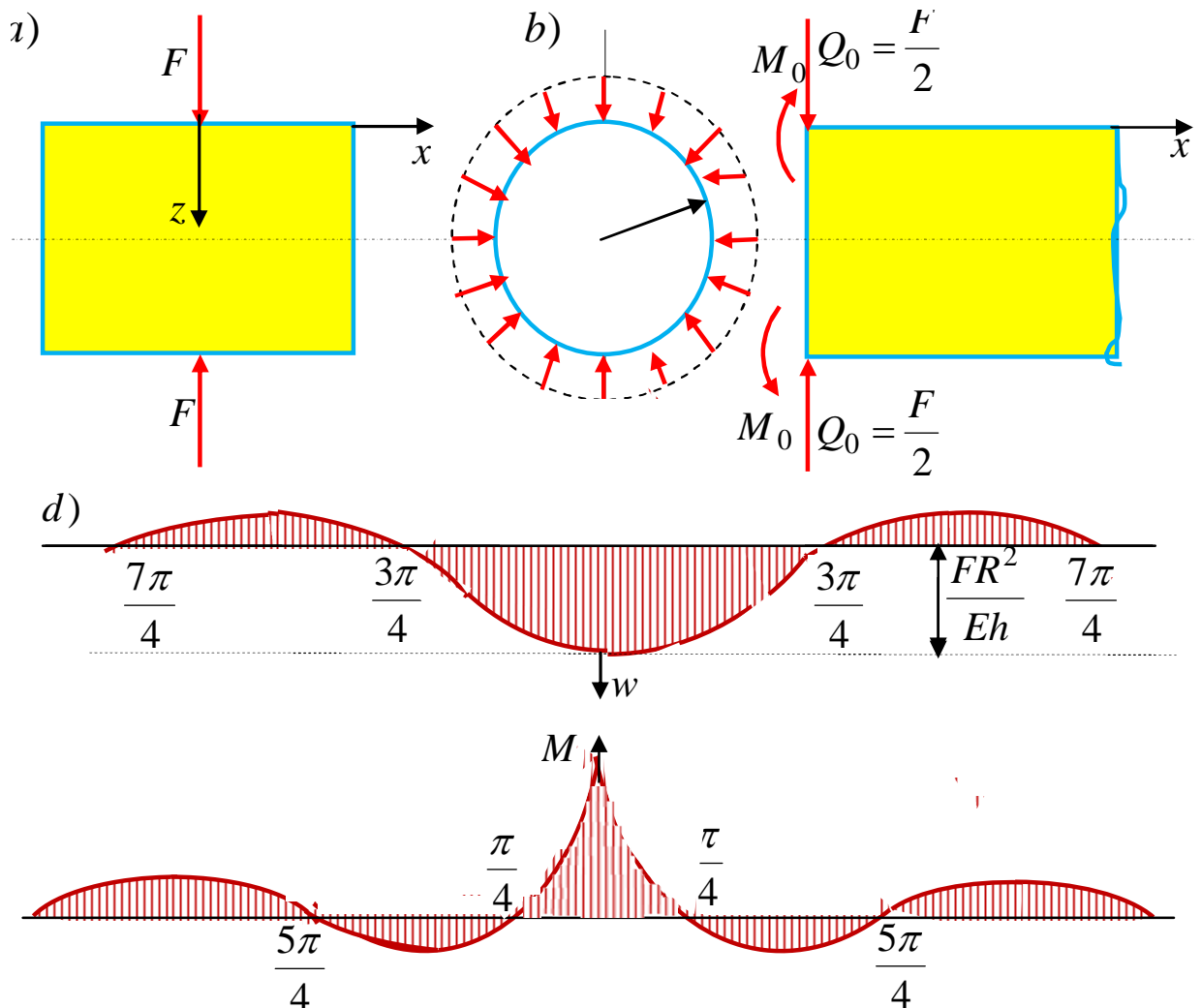
Bu formuladan ko'rinadiki, meridional zo'riqish kuch N_1 barcha kesimida manfiy bo'ladi.

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).



10.11-chizma. Salqilik va eguvchi moment epyuralari.

Bu masalani hal qilish uchun qobiqning yarimini qarash kifoya hamda chetki qirg'oq bo'ylab yuklangan qobiqlar hisobi mavzusida olingan yechimdan foydalanamiz:.

$$w_{\max} = \frac{F}{8D\beta^2} = \frac{FR^2}{2Eh}\beta.$$

Qobiqning chetki qirg'οqdagi ko'ndalang kuch (10.11.a-chizma) $Q_0 = -0,5F$ qirg'οqdagi M_0 momentni chegara shartidan aniqlaymiz.

Ya'ni $x = 0$ bo'lganda $\frac{dw}{dx} = 0$ bo'ladi:

$$\begin{aligned} \frac{dw}{dx} = & -\beta \frac{e^{-\beta x}}{2D\beta^3} [\beta M_0 \sin \beta x - (Q_0 + \beta M_0) \cos \beta x] + \\ & + \frac{e^{-\beta x}}{2D\beta^3} [\beta^2 M_0 \cos \beta x + \beta(Q_0 + \beta M_0) \sin \beta x] \end{aligned}$$

$$\left(\frac{dw}{dx} \right)_{x=0} = \frac{M_0}{2D\beta} \left(2 + \frac{Q_0}{\beta M_0} \right) = 0; M_0 = -\frac{Q_0}{2\beta} = \frac{F}{4\beta}.$$

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 $N_1 = 0$; $N_2 = -q_3 R = \gamma R(\ell - x)$ teng bo'ladi. Yuqoridagi formulaga asosan:

$$w = -\frac{RN_2}{Eh} = -\frac{\gamma R^2}{Eh}(\ell - x).$$

Masalani momentli nazariya asosida yechamiz. Silindrik qobiqni cheksiz uzun deb qabul qilamiz, unda (10.95) yechimdan foydalanish mumkin:

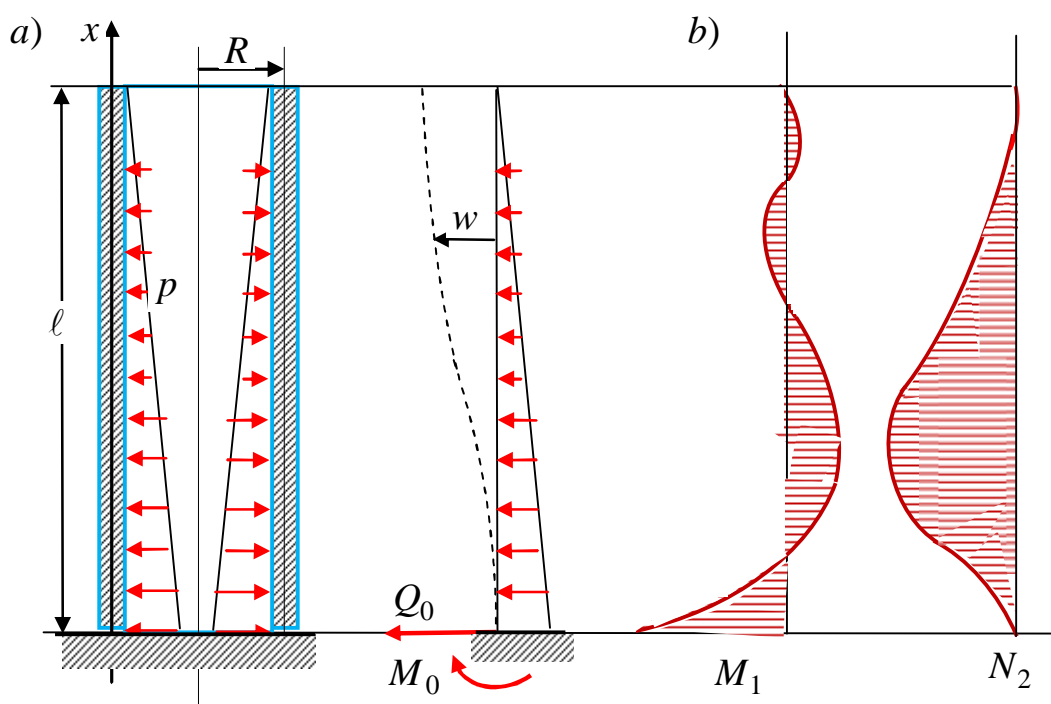
$$w = e^{-\beta x}(C_1 \cos \beta x + C_2 \sin \beta x) + w^*.$$

Differensial (10.96) tenglamaning xususiy yechimi:

$$w^* = -\frac{\gamma}{4D\beta^4}(\ell - x) = -\frac{\gamma R^2}{2Eh}(\ell - x).$$

bo'lganligi uchun salqilik quyidagicha ifodalanadi.

$$w = e^{-\beta x}(C_1 \cos \beta x + C_2 \sin \beta x) - \frac{\gamma R^2}{2Eh}(\ell - x).$$



10.12-chizma. Suyuqlik bilan to'ldirilgan silindrik qobiqda zo'riqish kuch va salqilik epyuralari.

C_1 va C_2 o'zgarmas koeffitsiyentlarni $x = 0$ bo'lganda $w = 0$; $dw/dx = 0$ bo'lish chegara shartlaridan aniqlaymiz, ya'ni

$$C_1 = \frac{\gamma R \ell}{Eh}; \quad C_2 = \frac{\gamma R^2}{Eh\beta}(\ell\beta - 1).$$

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-§. Mustaqi 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 K_1 va K_2 aniqlansin;

2. Solqilik $w(x, y) = A_{mn} \sin \frac{\pi mx}{a} \sin \frac{\pi ny}{b}$ va kuchlanish

$\varphi(x, y) = B_{mn} \sin \frac{\pi mx}{a} \sin \frac{\pi ny}{b}$ 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.

10.1-jadval

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 $N_x = 0$; $Q_x(x=0) = -\frac{F}{2}$ (10.11-chizma.).

1. Qobiq egilgan sirti differensial tenglamasi tuzilsin va uning umumiy yechimi aniqlansin;

2. Sirt chegara 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 10.2-jadvaldan olinsin.

10.2-jadval

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 amallar bajarilsin (10.12-chizma).

1. Qobiq egilgan sirti differensial tenglamasi tuzilsin va uning umumiy yechimi aniqlansin;

2. Sirt chegara 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

sistemi, 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, burovchi 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?

$$\frac{d^4 w}{dx^4} + 4\beta^4 w = \frac{q}{D}; \quad w = e^{-\beta x} (C_1 \cos \beta x + C_2 \sin \beta x) + w^\bullet;$$

$$M_1 = -D \frac{d^2 w}{dx^2}; \quad M_2 = -\mu D \frac{d^2 w}{dx^2};$$

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‘oq 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?:

$$D\nabla^4 w = q + K_1 \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + K_2 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}. \quad \nabla^4 \varphi = -Eh \left(K_1 \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + K_2 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right).$$

$$D\nabla^4 w = q; \quad \nabla^4 \varphi = 0.$$

$$\varphi = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} A_{mn} \varphi_{mn}; \quad w = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} B_{mn} w_{mn}.$$

$$\iint_{00}^{ab} (D\nabla^4 w - q\nabla_k^2 \varphi) w_{mn} dx dy = 0; \quad \iint_{00}^{ab} (\nabla^4 \varphi + Eh\nabla_k^2 w) \varphi_{mn} dx dy = 0.$$

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 parallell 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?

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{h}, \quad \sigma_2 = \frac{N_2}{h}, \quad \tau_{12} = \frac{S_{12}}{h}. \quad \sigma_1 = \frac{N_1}{h} + \frac{M_1}{I} z; \quad \sigma_2 = \frac{N_2}{h} + \frac{M_2}{I} z;$$

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{h} + \frac{M_1}{I} z; \quad \sigma_2 = \frac{N_2}{h} + \frac{M_2}{I} z; \quad \tau_{12} = \frac{N_{12}}{h} + \frac{M_{12}}{I} z; . \quad \sigma_1 = \frac{N_1}{h}, \quad \sigma_2 = \frac{N_2}{h},$$

28. Qobiqning momentsiz kuchlanganlik holatida qanday ichki kuch omillari nolga teng bo'ladi?

$$M_1 = M_2 = M_{12} = M_{21} = 0 \quad Q_1 = Q_2 = Q_{12} = Q_{21} = 0$$

$$S_1 = S_2 = 0; \quad M_{12} = M_{21} = 0 \quad S_1 = S_2 = S_{12} = S_{21} = 0$$

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'lumlar nechta bo'ladi?

$$3 \text{ ta}; \quad 5 \text{ ta};$$

$$9 \text{ ta}; \quad 15 \text{ ta};$$

XI bob

DINAMIK YUKLAR

11.1-§. Brusning dinamik yuklanishi

Fanning oldingi boblarida sterjenlar va sterjenlar sistemalarini statik yuk ta'sirida hisoblash masalalari mukammal ko'rib chiqilgan edi. Yuk konstruksiyaga juda ham asta-sekin qo'yilganda inshoot qismlarida paydo bo'ladigan harakat tezlanishi juda kichik bo'lganligidan ularni hisobga olmasa ham bo'ladi.

Yuk o'z miqdori, qo'yilgan nuqtalarini yoki yo'nalishlarini sekin-asta oxirgi qiymatigacha o'zgartiradigan, ya'ni tezlanishlari e'tiborsiz bo'lgan yuklarga *statik yuklar* deyiladi.

Yuk o'z miqdori, qo'yilgan nuqtalarini yoki yo'nalishlarini qisqa vaqt mobaynida juda katta tezlik bilan o'zgartirsa bunday yuklarga *dinamik yuklar* deyiladi. Dinamik kuchlar jumlasiga inersiya, zarb va davriy o'zgaruvchan kuchlar kiradi. Bunday yuklar ta'siri natijasida konstruksiya elementlarida tebranish hosil bo'ladi. Bu erda biz dinamik kuch ta'sirida hosil bo'ladigan jarayon mohiyatiga batafsil to'xtalib o'tamiz.

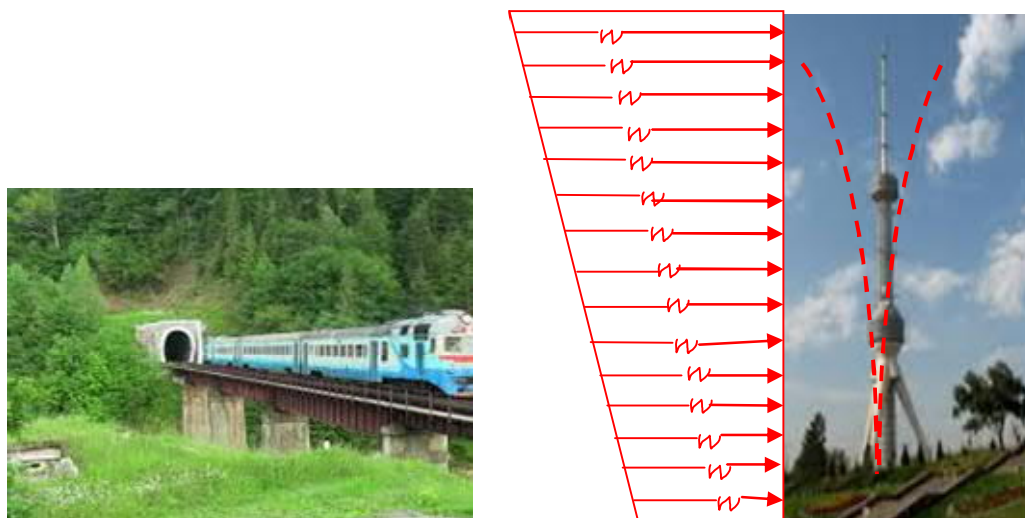
Muxandislik amaliyotida ko'pincha *dinamik yuklarga* duch kelamiz, bu yuk o'zining qiymati va holatini nisbatan tez o'zgartiradi (masalan, harakatlanayotgan poezd, shamol, molot va boshqalar) (11.1-chizma). Dinamik yuk inshoot qismlarida tebranma harakat yuzaga keltiradi. Shuning uchun hisoblarda inshootning o'z massasiga ham, yuk massasiga ham (masalan, poezd massasi) bog'liq bo'lgan inersiya kuchlarini ham hisobga olish zarur.

O'z navbatida qo'shimcha zo'riqish va deformatsiyalar inersiya kuchlariga bog'liq bo'ladi. Ba'zan bu qo'shimcha kuchlanishlar shu darajada kattaki, hatto asosiy kuchdan paydo bo'ladigan kuchlanishlardan ham ortiq bo'ladi.

Masalan liftlar o'zgarmas tezlik bilan yuqoriga ko'tarilayotganda, uning sim arqonida statik kuch, agar ma'lum tezlanish bilan ko'tarilsa, dinamik kuch hosil

bo‘ladi. Bunday yuklardan dinamik ko‘chish, deformatsiya va kuchlanishlar hosil bo‘ladi.

Konstruksiya elementlarini dinamik yukka hisoblashda nazariy mexanikadan ma’lum bo‘lgan, Dalamber prinsipidan foydalaniladi. Dalamber prinsipi, dinamik kuch ta’siridagi konstruksiya elementi har daqiqada sirtqi va inersiya kuchlari ta’sirida muvozanatda deb qaraydi. Inersiya F_i kuchi hajmiy kuchga kirib, u konstruksiya elementining hajmi bo‘yicha barcha zarrachalariga uzluksiz ta’sir etadi.



11.1-chizma. Dinamik yuklarga misollar.

Konstruksiya elementining har bir zarrachasiga ta’sir etayotgan elementar inersiya dF_{in} kuch, uning dm massasi bilan a tezlanishi ko‘paytmasiga teng bo‘ladi va tezlanishiga qarama-qarshi yo‘nalgan bo‘ladi:

$$dF_{in} = dma = \frac{dQ}{g} a = \gamma dV \frac{a}{g}. \quad (11.1)$$

Bu erda dQ va dV konstruksiya kichik elementining og‘irligi va hajmi;

γ materialning solishtirma og‘irligi, kN/m^3

g erkin tushish tezlanishi, uning qiymati $g = 9,81m/sek^2$.

Konstruksiya elementining bir-birlik hajmiga ta'sir etuvchi inersiya kuchi quyidagiga teng bo'ladi:

$$\frac{dF_{in}}{dV} = \gamma \frac{a}{g}. \quad (11.2)$$

Sterjenlarni hisoblashda uning uzunligi bo'ylab tekis taqsimlangan kuchni kiritish qulaylik tug'diradi. Ko'ndalang kesim yuzasi $A(z)$ uzunligi dz bo'lgan elementar sterjenning hajmi $A(z) \cdot dz$ ga teng bo'ladi. Unda (11.2) formulani e'tiborga olib quyidagini hosil qilamiz:

$$q_{in}(z) = \frac{\gamma a dV}{g dz} = \frac{\gamma a Adz}{g dz} = \frac{qa}{g}. \quad (11.3)$$

Bunda $q = \gamma \cdot A$ sterjenning bir-birlik uzunligiga to'g'ri keluvchi kuch.

Materiallar qarshiligida ko'pgina masalalarni yechishda F_d dinamik kuchlardan hosil bo'ladigan dinamik u_d ko'chish, deformatsiya va kuchlanish σ_d larni, F_{st} statik kuchdan hosil bo'ladigan statik u_{st} ko'chish, ε_{st} deformatsiya va kuchlanish σ_{st} larni dinamik koeffitsientga ko'paytirib aniqlanadi:

$$u_d = \mu u_{st}; \quad \varepsilon_d = \mu \varepsilon_{st}; \quad \sigma_d = \mu \sigma_{st}; \quad F_d = \mu F_{st}. \quad (11.4)$$

Ko'pgina hollarda dinamik koeffitsient μ analitik usulda topiladi, agar bu qiyin bo'lsa, tajriba yo'li bilan topiladi. Tabiiyki, bu koeffitsient dinamik yuk turiga, inshootning o'lchamlari, massasi, bikirligi kabi qator omillariga bog'liq.

Umumiy holda dinamik yuk inshootga bo'ladigan murakkab ta'sir bo'lib, hamma vaqt ham uni hisobga olib bo'lmaydi.

Bu bobda, faqat sodda masalalar ko'rib chiqamiz va ularni yechishda hisobni soddalashtiruvchi qator gipotezalar qabul qilinadi. Biz bu bobda yukni ko'tarishda sim arqon hisobi; zarb ta'sirining hisobi; **erkinlik darajasi birga teng bo'lgan sistemasining tebranma harakati hisobi** bilan tanishib chiqamiz.

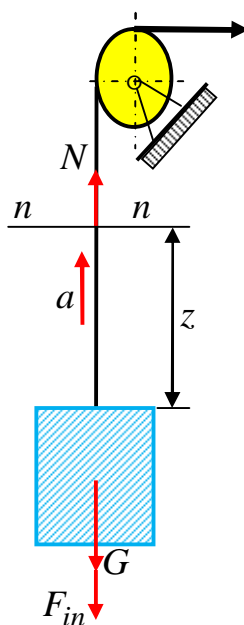
11.2-§. Sim arqonni hisoblashda inersiya kuchini inobatga olish

Og'irligi G bo'lgan yukni a tezlanish bilan ko'tarishda sim arqon hisobini ko'rib chiqamiz. (11.2-chizma). Ko'ndalang kesim yuzasi A bo'lgan, l m uzunlikdagi sim arqon og'irligini q bilan belgilaymiz.

Yuk qo'zg'almas bo'lganda, sim arqonning ixtiyoriy ko'ndalang n -n kesimida, yuk va sim arqon og'irligidan statik zo'riqish kuchi paydo bo'ladi. Ushbu statik zo'riqish kuchi sim arqonning qirqib olingan pastki qismining muvozanatda bo'lish shartidan aniqlanadi va u quyidagiga teng:

$$N_{st} = G + qz. \quad (11.5)$$

Bu erda qz z uzunlikdagi sim arqonning og'irligi.



11.2-chizma. Yuqoriga a tezlanish bilan ko'tarilayotgan yuk.

Yuqoriga biror yukni a tezlanish bilan ko'tarayotgan sim arqonda hosil bo'ladigan zo'riqish kuchini aniqlash uchun yukning harakat tenglamasini tuzish lozim. Bu tenglamani tuzish nazariy mexanikadan ma'lum bo'lgan D'alamber prinsipidan foydalanib amalga oshiriladi. Bu prinsipga muvofiq harakatlanayotgan sistemaning barcha nuqtalariga qo'shimcha ravishda *inersiya kuchlarini* qo'yib, sistemani muvozanatda deb qarash mumkin.

Inersiya kuchining miqdori massa bilan uning tezlanishi ko‘paytmasiga teng bo‘lib, tezlanishga nisbatan teskari tomonga yo‘nalgan.

Dalamber prinsipi yordamida istalgan dinamik masalaning yechimi sodda shakldagi statik muvozanat tenglamalarini tuzishga keltiradi.

Yuk a tezlanish bilan ko‘tarilganda yukning $\frac{G}{g}a$ inersiya kuchi va sim arqonning $\frac{qz}{g}a$ inersiya kuchlari hosil bo‘ladi.

Unda sim arqonda inersiya kuchi quyidagiga teng bo‘ladi:

$$F_{in} = \frac{G + qz}{g}a. \quad (11.6)$$

Bu erda $g = 9,81m/sek^2$ jismning erkin tushish tezlanishi.

Dinamik N_d zo‘riqish kuchining to‘la qiymati quyidagi tenglikdan topiladi:

$$N_d = (G + qz) + \frac{(G + qz)}{g}a = (G + qz)\left(1 + \frac{a}{g}\right). \quad (11.7)$$

(11.1) formulani e‘tiborga olib va belgilash kiritib (11.7) ifodani quyidagicha yozish mumkin:

$$N_d = \mu N_{st}. \quad (11.8)$$

Sim arqonning ixtiyoriy kesimidagi dinamik kuchlanish quyidagicha ifodalanadi:

$$\sigma_d = \frac{N_d}{A} = \mu \sigma_{st} \quad (11.9)$$

Bunda dinamik koeffitsient qiymati quyidagi ifodadan aniqladi:

$$\mu = 1 + \frac{a}{g}. \quad (11.10)$$

Xulosa

Demak yukni a tezlanish bilan ko‘targanda dinamik kuchlanish statik miqdordan bir necha marta katta bo‘ladi.

Agar yukni a tezlanish bilan tushirilsa, dinamik koeffitsient formulasi oldiga minus ishora qo'yish kerak. Yuk erkin tushganida tezlanish $a = -g$ bo'lganligidan sim arqondagi tortilish kuchi nolga teng bo'ladi. Sim arqon tushayotgan yuk ketidan hech qanday zo'riqishsiz harakatlanadi.

11.3-§. Tekis tezlanish bilan harakatlanayotgan brus hisobi

To'sin sim arqon bilan yuqoriga a tezlanish bilan ko'tarilayotganda, to'sin va sim arqonda hosil bo'ladigan dinamik kuch va kuchlanishlarni aniqlash masalasini ko'rib chiqamiz (11.3-chizma). Bunda hosil bo'lgan inersiya kuchi to'sinda qo'shimcha egilish va sim arqonda cho'zilish deformatsiyalarini hosil qiladi.

To'sin yuqoriga ko'tarilguncha to'sinning A kesimida eng katta statik eguvchi moment

$$M_{st} = \frac{q_1 \ell^2}{18} \quad (11.11)$$

sim arqonning B kesimida esa eng katta statik cho'zuvchi kuch hosil bo'ladi (mahkamlovchi qurilmalar og'irligini e'tiborga olmaymiz $h_1 \ll h$):

$$N_{st} = q_1 \ell + q_2 h; \quad (11.12)$$

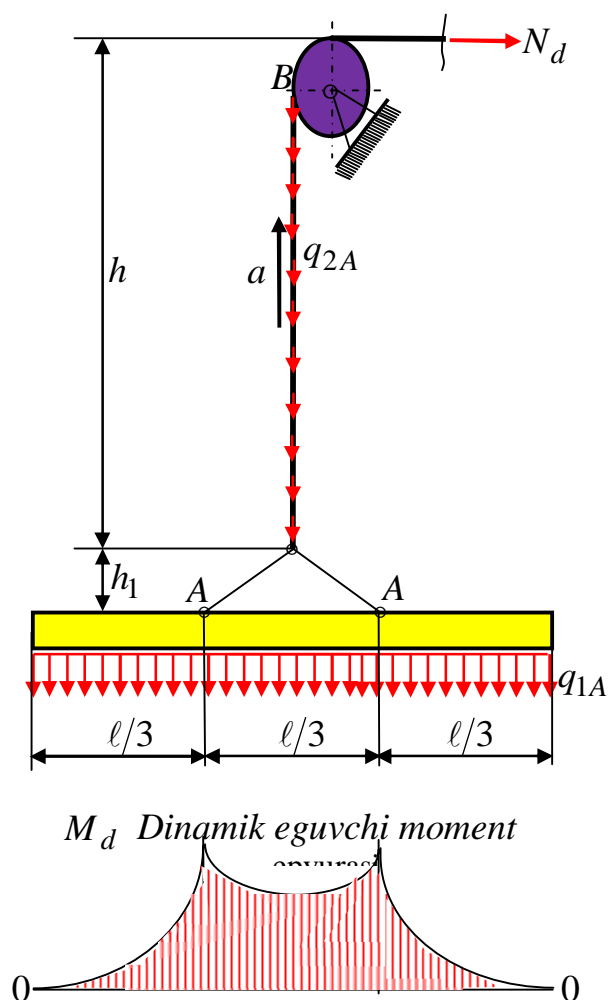
bu erda $q_1; q_2$ to'sin va trosning bir-birlik uzunliga to'g'ri keluvchi og'irligi.

To'sinni a tezlanish bilan ko'tarishda to'sin va sim arqon uzunligi bo'yicha tekis taralgan inersiya kuchlari hosil bo'ladi. Ular (11.3) formula asosida quyidagicha ifodalanadi:

$$q_{1,i} = \frac{q_1 a}{g}; \quad q_{2,i} = \frac{q_2 a}{g}. \quad (11.13)$$

Dinamik yuklar statik va inersiya yuklari yig'indisiga teng:

$$q_{1,d} = q_1 + q_{1,i} = \left(1 + \frac{a}{g}\right) q_1 = \mu \cdot q_1; \quad q_{2,d} = q_2 + q_{2,i} = \left(1 + \frac{a}{g}\right) q_2 = \mu \cdot q_2. \quad (11.14)$$



11.3-chizma. Tezlanish bilan ko'tarilayotgan to'sin.

Demak bu ifodalardan ko'rinadiki, qaralayotgan holat uchun dinamik koeffitsient miqdori quyidagi ifoda bilan aniqlanar ekan:

$$\mu = \left(1 + \frac{a}{g}\right). \quad (11.15)$$

Shunday qilib, eng katta dinamik eguvchi moment va sim arqonda dinamik zo'riqish kuchlari quyidagi formulalardan aniqlanadi:

$$M_d = \mu \cdot M_{st} = \mu \frac{q_1 \ell^2}{18}; \quad N_d = \mu \cdot N_{st} = \mu (q_1 \ell + q_2 h). \quad (11.16)$$

To'sin va sim arqonlardagi eng katta dinamik kuchlanish quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$\sigma_d = \frac{M_d}{W} = \mu \frac{M_{st}}{W}; \quad \sigma_d = \frac{N_d}{A} = \mu \frac{N_{st}}{A}. \quad (11.17)$$

Bu erda W to'sin ko'ndalang kesim yuzasi qarshilik momenti;

A sim arqon ko'ndalang kesim yuzasi.

11.4-§. Aylanma harakatda bo'lgan brus hisobi

Yuqorida keltirilgan to'sin uzunligi o'rtasidan o'tuvchi biror vertikal OO o'q atrofida o'zgarmas ω burchak tezlik bilan aylanganda hosil bo'luvchi kuchlanishlar qanday o'zgarishini ko'rib chiqamiz (11.4-chizma).

Bunda ajratilgan element radial (markazdan qochirma) tezlanishga ega bo'ladi:

$$a_n = \omega^2 z. \quad (11.18)$$

Qaralayotgan masalada sterjen uzunlik birligiga to'g'ri keluvchi inersiya kuchining intensivligi quyidagi formula orqali ifodalanadi:

$$q_{in} = \frac{\gamma A}{g} a_n = \frac{\gamma A}{g} \omega^2 z. \quad (11.19)$$

Bu kuchning to'sin uzunligi bo'yicha o'zgarish qonuni 11.4,b-chizmada keltirilgan. To'sindan ajratilgan elementga ta'sir etuvchi inersiya kuchi quyidagiga teng bo'ladi:

$$dN_{in} = \frac{\gamma A dz}{g} \omega^2 z. \quad (11.20)$$

Unda butun to'sin o'qidan z masofada ajratilgan elementga ta'sir etuvchi inersiya kuchi quyidagi formuladan aniqlanadi:

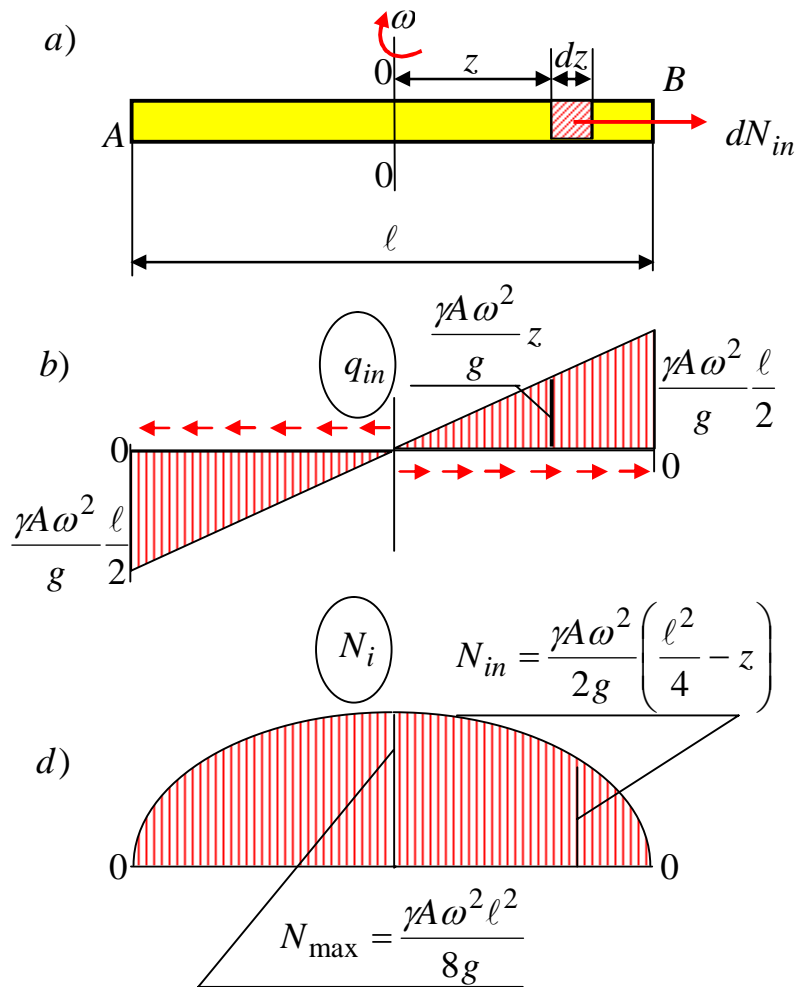
$$N_{in} = \int_z^\ell \frac{\gamma A z}{g} \omega^2 dz = \gamma \frac{A \omega^2}{2g} \left(\frac{\ell^2}{4} - z^2 \right). \quad (11.21)$$

Ushbu inersiya kuchining to'sin o'qi bo'yicha o'zgarish epyurasi 11.4,d-chizmada keltirilgan. Eng katta inersiya kuchi to'sinning $z = 0$ bo'lgan ko'ndalang kesimida hosil bo'ladi va uning miqdori quyidagiga teng bo'ladi:

$$N_{\max} = \gamma A \frac{\omega^2 \ell^2}{8g}. \quad (11.22)$$

Maksimal dinamik kuchlanish esa quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$\sigma_{d,\max} = \gamma \frac{\omega^2 \ell^2}{8g}. \quad (11.23)$$



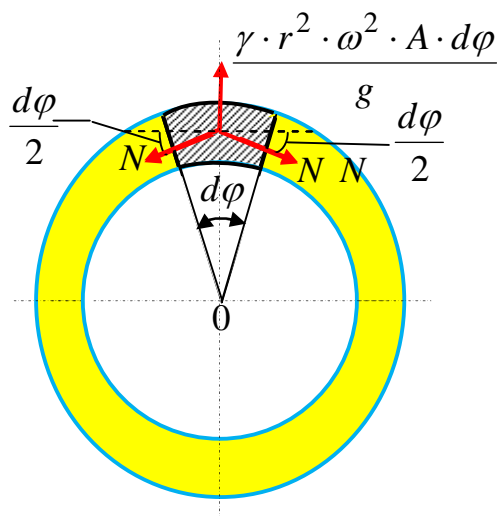
11.4-chizma. ω burchak tezligi bilan aylayotgan to'sin.

11.5-§. Aylanma harakatda bo'lgan halqa hisobi

Ko'ndalang kesim yuzasi A , radius r , solishtirma og'irligi γ bo'lgan, o'zgarmas ω burchak tezlik bilan aylanma harakatdagi halqa masalasini ko'rib chiqamiz. Ma'lumki, bunda halqa o'qining har bir nuqtasi $\omega^2 r$ tezlanish bilan harakatlanadi va natijada halqa o'qi bo'yicha tekis taqsimlangan inersiya kuchi yoki markazdan qochma kuch hosil bo'ladi.

Halqadan birorta cheksiz kichik element yoy ajratib olamiz (11.5-chizma.). Bu elementning uzunligi $ds = r d\varphi$ ga, hajmi $r A d\varphi$ ga og'irligi $\gamma r A d\varphi$ ga teng bo'ladi.

Element og'irligidan hosil bo'ladigan inersiya kuchi uning massasi bilan tezlanishi ko'paytmasiga teng bo'ladi:



11.5-chizma. Halqa.

Element kesimiga tashlab yuborilgan qismning ta'sirini bo'ylama cho'zuvchi kuch bilan almashtiramiz. Elementga ta'sir etayotgan kuchni va inersiya kuchini radial yo'nalish bo'yicha quyidagini hosil qilamiz:

$$2N \sin \frac{d\varphi}{2} = \frac{\gamma \cdot r^2 \cdot \omega^2 \cdot A \cdot d\varphi}{g}. \quad (11.24)$$

Bu ifodadagi burchak juda ham kichik bo'lganligi sababli $\sin \frac{d\varphi}{2} \approx \frac{d\varphi}{2}$ deb qaraymiz va quyidagi natijaga erishamiz:

$$N = \frac{\gamma \cdot r^2 \cdot \omega^2 \cdot A}{g}. \quad (11.25)$$

Unda halqada hosil bo'lgan kuchlanish quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{\gamma \cdot r^2 \cdot \omega^2}{g}. \quad (11.26)$$

11.6-§. Brusni bo'ylama va ko'ndalang zarba yuklarga hisoblash

Qaralayotgan masalaning yechimi ixtiyoriy sistemaga qo'llash mumkin bo'lishi uchun birorta elastik konstruksiyani uchiga to'plangan $m = G_0/g$ massa

biriktirilgan prujina ko‘rinishida qaraymiz (11.6,a-chizma). Balandlik h dan tushayotgan yuk massasini $M = G/g$ belgilaymiz.

Bu holat uchun quyidagi cheklanishlarni qabul qilamiz.

1. Real konstruksiyaga zarba beruvchi massaning birinchi zarb berishidanoq sterjen bo‘ylab elastik deformatsiya to‘lqini tarqalishi boshlanadi.

2. M va m massalarning urilishi bir ($\tau = 0$) zumda ro‘y beradi va ideal elastik emas deb qaraladi (orqaga qaytmaydi).

Yuqoridan tushayotgan zarba beruvchi massa tezligi tushayotgan balandligiga bog‘liq bo‘lib quyidagi teng bo‘ladi:

$$v = \sqrt{2gh}. \quad (11.27)$$

Yuqoridan tushayotgan zarba beruvchi massa pastki zarbalanuvchi massaga urilganda so‘ng ular bir butun bo‘lib $v_0 < v$ tezlik bilan harakatlanadi (11.6,b-chizma). Bu tezlikni sistemaning urilguncha va urilgandan keyingi harakatlari sonining tenglik shartida aniqlaymiz:

$$Mv = (M + m)v_0. \quad (11.28)$$

Bu tenglamadan $\tau = 0$ bo‘lganda sistemaning ikki massaning boshlang‘ich tezligini va sistemaning unga to‘g‘ri keluvchi kinetik T_0 energiyasini aniqlaymiz:

$$v_0 = \frac{M}{M + m}v. \quad T_0 = \frac{(M + m)}{2}v_0^2 = \frac{M^2}{2(M + m)}v^2. \quad (11.29)$$

Yig‘ma ($F_d + G_0$) massaning keyin harakati boshlang‘ich $\lambda_0 = 0$ ko‘chishida va (11.29) shart asosida erkinlik darajasi birga teng bo‘lgan sistema kabi tebranma harakatda bo‘ladi, uning grafigi 11.6,e-chizmada keltirilgan.

Prujinada eng katta zo‘riqish N_d kuchi, ko‘chish $\lambda = \lambda_d$ maksimal qiymatga etgan pastki chetki holatdagi 1 nuqtada hosil bo‘ladi.

Bu onda massaning tezligi va sistemaning kinetik energiyasi T_1 nolga teng bo‘ladi.

Elastik prujinada ichki zo‘riqish N kuchidan hosil bo‘ladigan λ ko‘chish orasidagi bog‘lanish quyidagicha ifodalanadi:

$$\lambda = N/c \quad (11.30)$$

Bu erda c prujina bikirligi.

Agar prujinani shartli ravishda yuqoridan tushuvchi yuk og'irligiga teng $F_{st} = G$ yuk bilan yuklasak, unda prujinada ichki zo'riqish $N_{st} = F_{st} = G$ kuchi bo'ladi va unga tegishli ko'chish quyidagicha aniqlanadi:

$$\lambda_{st} = N_{st}/c = G/c. \quad (11.31)$$

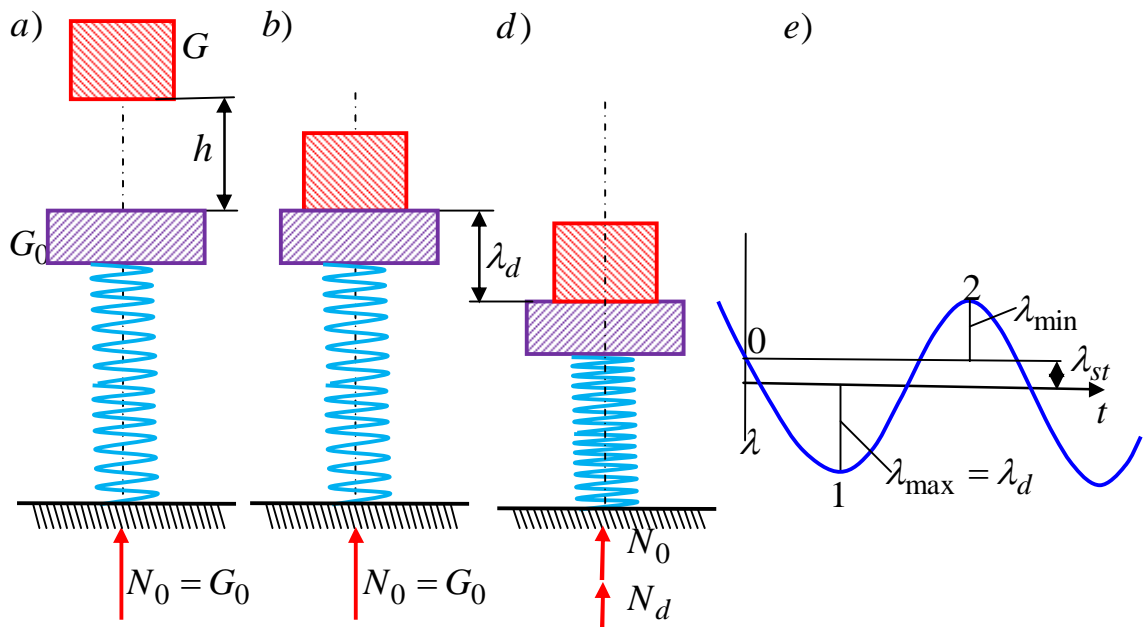
Zarb natijasida olingan boshlang'ich tezlik tufayli prujina λ_d qiymatga siqiladi (11.3-chizma,d). Dinamik λ_d ko'chishni (11.29) formuladan foydalanib quyidagicha ifodalash mumkin:

$$\lambda_d = N_d/c. \quad \lambda_d = \frac{N_d}{c}. \quad (11.32)$$

Ushbu (11.32) ifodani (11.31) ifodaga bo'lsak quyidagi natijani hosil qilamiz:

$$\mu = \frac{\lambda_d}{\lambda_{st}} = \frac{N_d}{N_{st}}. \quad (11.33)$$

Bundan ko'rinadiki, erkinlik darajasi birga teng bo'lgan sistema hisob modeli dinamik koeffitsienti ko'chish va zo'riqish kuchlari uchun bir xil bo'lar ekan.



11.6-chizma. Vertikal zarbda dinamik koeffitsientni aniqlash modeli.

Dinamik λ_d ko'chish va dinamik μ koeffitsienti aniqlash uchun nazariy mexanika kursidan ma'lum bo'lgan, kinetik energiya orttirmasi sirtqi kuch

bajargan ishiga tenglik teoremadan foydalanib aniqlanadi. Agar $\lambda = \lambda_0 = 0$ bo'lgan (11.6,b-chizma) va "1" nuqtada $\lambda = \lambda_d$ bo'lgan (11.6,d-chizma) holatlarni qabul qilib, ushbu teorema asosida quyidagi ifodani yozish mumkin:

$$T_1 - T_0 = A. \quad (11.34)$$

Bu erda $T_1 = 0$ sistemaning ko'chish $\lambda = \lambda_d$ bo'lganda kinetik energiyasi.

A og'irlik G , G_0 yuklari va prujina tomonida massaga ta'sir etayotgan N kuchlarning, $\lambda_0 = 0$ oraliqdan $\lambda = \lambda_d$ oraliqqa o'tishda harakatlanishi natijasida bajargan ish (11.7-chizma).

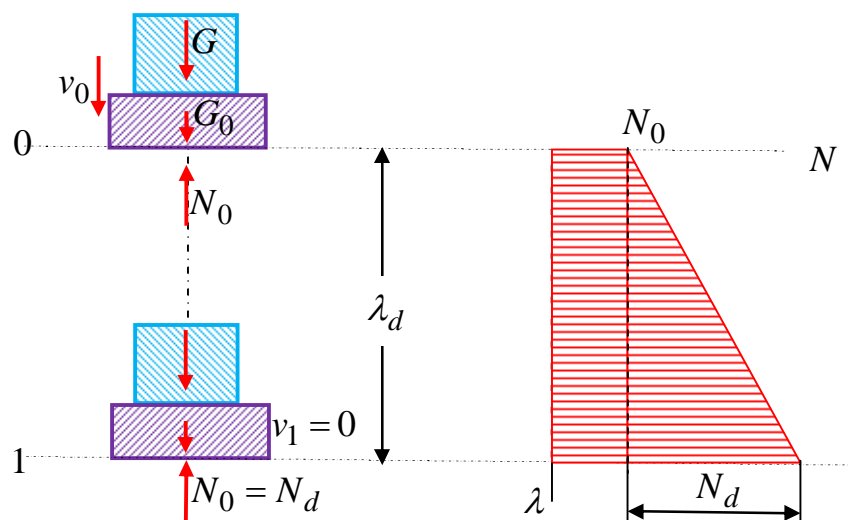
Og'irlik G , G_0 yuklari bajargan ishlari musbat bo'lib quyidagiga teng bo'ladi:

$$(G + G_0)\lambda_d. \quad (11.35)$$

Zo'riqish N kuchi bajargan ishi manfiy bo'lib trapetsiya yuzi orqali ifodalanadi, N kuchning λ_d yo'lda o'zgarishini tasvirlaydi. Demak bundan quyidagi ifodani yozish mumkin:

$$A = (G + G_0)\lambda_d - \left(N_0\lambda_d + \frac{N_d\lambda_d}{2} \right) = G\lambda_d - \frac{c\lambda_d^2}{2}. \quad (11.36)$$

Bu erda $G_0 = N_0$; $N_d = c\lambda_d$ ekanligi e'tiborga olingan.



11.7-chizma. Zarbdan keyin bajarilgan ishni hisoblash uchun sxema.

Ushbu (11.36) formuladan A ish va (11.29) tenglamadan kinetik T_0 energiya miqdorlarini (11.34) tenglamaga qo'yib hamda (11.31) formulani e'tiborga olib dinamik λ_d ko'chishga nisbatan quyidagi kvadrat tenglamani hosil qilamiz:

$$\lambda_d^2 - 2\lambda_d\lambda_{st} - 2h\frac{M}{(M+m)} = 0. \quad (11.37)$$

Bu tenglamani yechib, dinamik λ_d ko'chish ifodasini aniqlaymiz:

$$\lambda_d = \lambda_{st} \left[1 \pm \sqrt{1 + 2h\frac{M}{\lambda_{st}(M+m)}} \right]. \quad (11.38)$$

Bu ifodadagi musbat "+" ishora sistemaning pastki "1" birinchi amplituda holatiga to'g'ri keladi. Manfiy "-" ishora zarbdan keyin tebranish jarayonidagi "2" ikkinchi yuqoridagi holatiga to'g'ri keladi (11.6,e-chizma).

Dinamik ko'chish (11.38) formuladagi ishorani musbat olib (11.33) ifodaga asosan dinamik koeffitsientni ifodasini aniqlaymiz:

$$\mu = 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\lambda_{st}} \cdot \eta}. \quad (11.39)$$

Bu erda η zarb beruvchi va zarbalanuvchi massalarning o'zaro munosabatlarini e'toborga oluvchi koeffitsient:

$$\eta = \frac{M}{M+m}. \quad (11.40)$$

Dinamik (11.39) koeffitsientni (11.27) formuladan foydalanib quyidagicha ham ifodalash mumkin:

$$\mu = 1 + \sqrt{1 + \frac{v^2}{g\lambda_{st}} \cdot \eta}. \quad (11.41)$$

Agar yukning tushish balandligi nolga teng ($h = 0$) bo'lsa, dinamik koeffitsient (11.39) ikkiga teng ($\mu = 2$) bo'ladi. Bunday yuklanish to'satdan yuklanish deyiladi. Bu masalani fizik jihatdan quyidagicha talqin qilish mumkin: ipga osilgan yukni to'sin ustida shunday o'rnatish kerakki, yuk to'sin sirtiga tegib tursin, lekin og'irligi to'singa tushmasin, barcha og'irligi ipga tushsin. Agar ip bir onda qirqilsa, yukning butun og'irligi to'satdan balkaga tushadi. Bunda kuchlanish va solqiliklar

statik yuklanishdagiga qaraganda ikki marta katta bo‘ladi. Ma’lumki, statik yuklanishda yuk qiymati noldan belgilangan miqdorgacha ortadi deb, taxmin qilinadi.

Agar yukning tushish balandligi statik solqilikdan ancha katta bo‘lsa, ildiz ostidagi ikkinchi hadga nisbatan birni inobatga olmasa ham bo‘ladi. Unda dinamik koeffitsient quyidagicha ifodalanadi:

$$\mu = 1 + \frac{v}{\sqrt{g\lambda_{st}}}. \quad (11.42)$$

Bo‘ylama zarb. Ko‘ndalang A kesim yuzasi o‘zgarmas, materialining zichligi ρ , bo‘lgan, pastki uchi qistirib mahkamlangan sterjen ga bo‘ylama zarb ta’sirini qaraymiz (11.8,a-chizma). Zarb ta’siridan sterjenning, massasi $A dz \rho$ bo‘lgan cheksiz kichik elementi v_z tezlikni oladi. Bu v_z tezlik berilgan kesimning ko‘chishiga, ko‘chishi esa o‘z navbatida z qiymatiga proporsional, ya’ni dinamik ko‘chishlar epyurasi shakli ham sterjen uchiga statik ravishda qo‘yilgan bo‘ylama kuchdan hosil bo‘ladigan ko‘chishlar shakliga o‘xshash, deb faraz qilimiz. Unda brus balandligi bo‘yicha tezlikning o‘zgarish qonuni quyidagicha ifodalanadi:

$$v_z = \frac{z}{\ell} v. \quad (11.43)$$

Bu erda v sterjen zarb olgan nuqtasidagi tezlik.

Sterjenning kinetik energiyasi quyidagi formuladan aniqlanadi:

$$T = \int_0^{\ell} A \rho \frac{v_z^2}{2} dz = \frac{A \rho}{2} v^2 \int_0^{\ell} \frac{z^2}{\ell^2} dz = \frac{A \rho}{2} \frac{\ell v^2}{3} = \left(\frac{k Q_0}{g} \right) \frac{v^2}{2}. \quad (11.44)$$

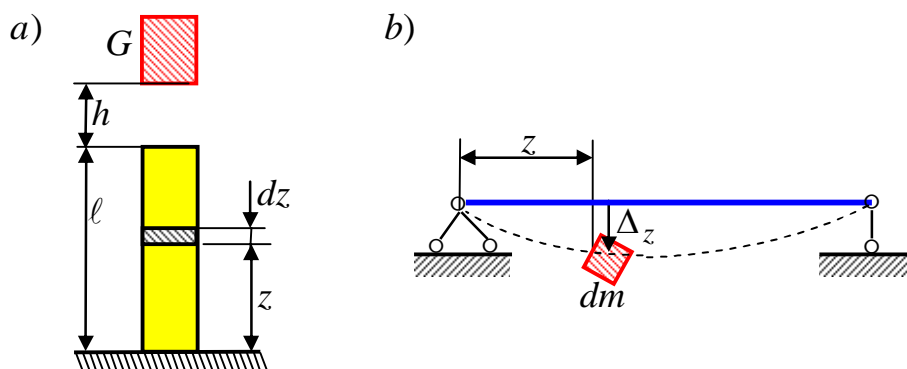
Bu erda k bo‘ylama zarbda keltirish koeffitsienti bo‘lib, bir uchi qistirib mahkamlangan, og‘irligi $A \ell \rho g$ bo‘lgan sterjen uchun $k = 1/3$ ga teng.

Ko‘ndalang zarb. Ikkita sharnirli tayanchga tiralangan, ko‘ndalang kesimi o‘zgarmas bo‘lgan to‘sin zarb masalasini ko‘ramiz. Sistemaning kinetik energiyasini aniqlash uchun chap tayanchdan z masofada yotuvchi to‘sin elementi (11.8,b-chizma) tezligi v_z zarb tushadigan, nuqtaga qo‘yilgan F kuch

ko‘rinishidagi statik yukdan hosil bo‘ladigan ko‘chish v_z ga proporsional, deb taxmin qilamiz.

Bu proporsionallik shartini quyidagi tenglik bilan ifodalash mumkin:

$$\frac{v_z}{v_{\max}} = \frac{\Delta_z}{\Delta_{\max}}. \quad (11.45)$$



11.8-chizma. Bo‘ylama va ko‘ndalang zarb.

Bu erda v_{\max} va Δ_{\max} mos ravishd to‘sin ravog‘i o‘rtasidagi nuqtaning tezligi va solqiligi.

Agar zarb tushadigan nuqta to‘sin ravog‘i o‘rtasida deb, qarasak unda solqilik quyidagi tenglama bilan ifodalanadi:

$$\Delta_z = \frac{F\ell^3}{48EI} \left(3\frac{z}{\ell} - 4\frac{z^3}{\ell^3} \right) = \Delta_{\max} \left(3\frac{z}{\ell} - 4\frac{z^3}{\ell^3} \right). \quad (11.46)$$

Demak, tezlikni ham quyidagi tenglama orqali ifodalash mumkin:

$$v_z = \Delta_{\max} \left(3\frac{z}{\ell} - 4\frac{z^3}{\ell^3} \right); \quad 0 \leq z \leq \frac{\ell}{2}. \quad (11.47)$$

Sistemaning kinetik energiyasi quyidagi tenglikdan topiladi:

$$\begin{aligned} T &= \int_0^{\ell} \frac{v_z^2}{2} dm = \int_0^{\ell} A\rho dz \frac{v_z^2}{2} = 2 \int_0^{\ell/2} \frac{1}{2} A\rho v_{\max}^2 \left(3\frac{z}{\ell} - 4\frac{z^3}{\ell^3} \right) dz = \\ &= A\rho v_{\max}^2 \int_0^{\ell/2} \left(9\frac{z^2}{\ell^2} - 24\frac{z^4}{\ell^4} + 16\frac{z^6}{\ell^6} \right) dz = \frac{17}{35} \left(\frac{Q_0}{2g} v_{\max}^2 \right). \end{aligned} \quad (11.48)$$

Bundan, ko'ndalang zarbda k keltirish koeffitsienti, uchlari sharnirli mahkamlangan, og'irligi $Q_0 = Al\rho$ bo'lgan to'sin uchun $k = 17/35$ ga teng ekanligi kelib chiqadi.

Uchlari sharnirli tayangan to'sinning o'rtasiga yuk kelib uriladigan hol uchun dinamik koeffitsientning qiymati quyidagiga teng bo'ladi:

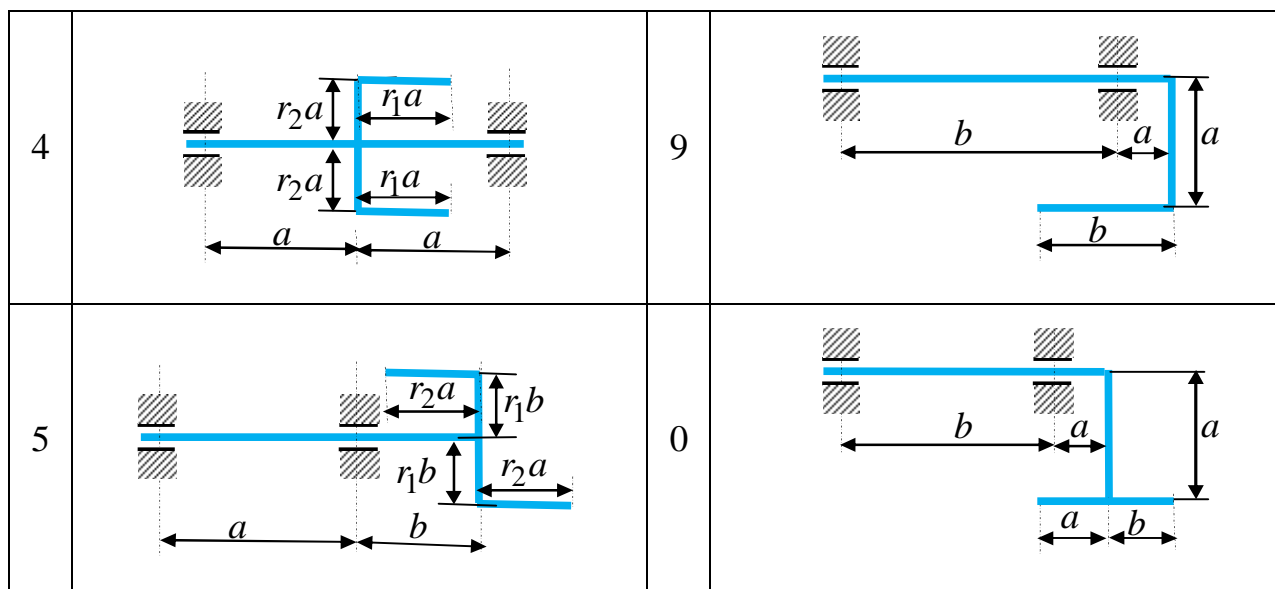
$$\mu = 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\lambda_{st}} \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{17 Q_0}{35 G}\right)}}. \quad (11.49)$$

11.7-§. Mustaqilish topshiriqlari

Ikki tayanchga o'rnatilgan bir-biri bilan bikir biriktirilgan sterjenlar sistemasi 1-jadvalda ko'rsatilgandek ω burchak tezligi bilan gorizontol o'q atrofida aylanadi. Quyidagi ishlar bajarilsin:

1-Jadval

No	Bir-biri bilan bikir mahkamlangan sterjenlar sistemasi	No	Bir-biri bilan bikir mahkamlangan sterjenlar sistemasi
1		6	
2		7	
3		8	



Inersiya kuchi ta'siridan hosil bo'lgan eguvchi moment M_{eg} epyurasi qurilsin;
 Sterjenlar sistemasi bir minutda mumkin bo'lgan aylanishlar soni mustahkamlik shartidan aniqlansin.

Sterjenlar sistemasi 1-jadvaldan, hisobiy qarshiligi R , sterjen materiali solishtirma og'irligi ρ , doira shakldagi ko'ndalang kesim o'lchami d , uzunliklar a, b va r_1, r_2 koeffitsientlar 2-jadvaldan shifr bo'yicha qabul qilinsin.

2-jadval

N _o	a m	b m	d sm	r_1	r_2	ρ g / sm^3	R $MPa,$
1	0,2	0,3	3	0,1	0,3	78,5	160
2	0,3	0,2	2	0,2	0,4	77,5	140
3	0,1	0,4	4	0,3	0,5	70,2	130
4	0,4	0,2	6	0,2	0,3	85,0	150
5	0,1	0,3	5	0,4	0,1	75,0	180
6	0,3	0,1	7	0,5	0,2	78,5	170
7	0,2	0,4	8	0,3	0,3	77,5	190
8	0,3	0,1	3	0,4	0,2	70,2	185
9	0,2	0,3	4	0,5	0,4	85,0	140
10	0,4	0,2	5	0,3	0,5	75,0	160

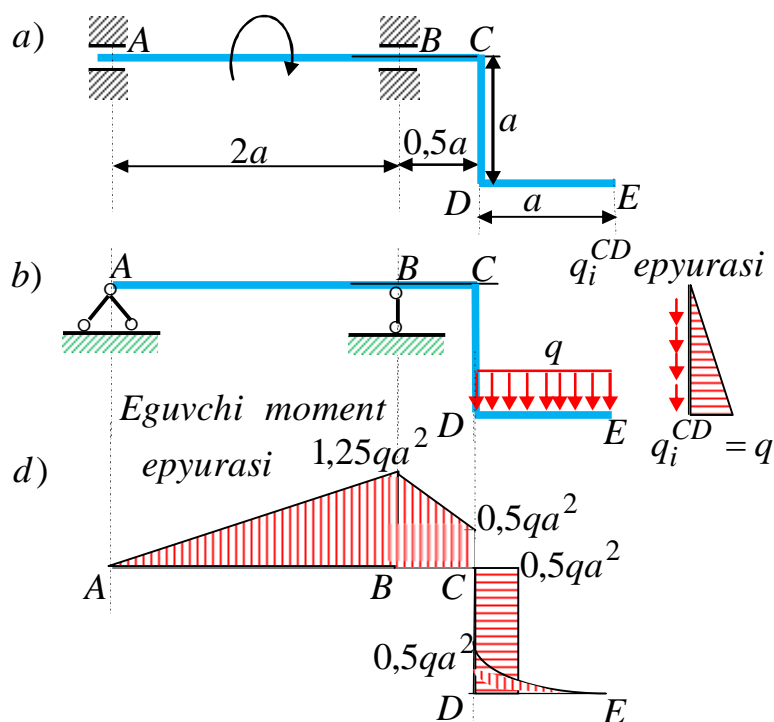
Topshiriq. Sterjenlar sistemasi 1-chizmada ko'rsatilgandek ω burchak tezligi bilan ABC o'q atrofida aylanadi. Inersiya kuchi ta'siridan hosil bo'lgan eguvchi moment M_{eg} epyurasi qurilsin va hisobiy qarshiligi $R=160MPa$, sterjenning materiali solishtirma og'irligi $\rho = 77,5 g/sm^3$ bo'lsa, bir minutda mumkin bo'lgan aylanishlar soni mustahkamlik shartidan aniqlansin. Sterjen ko'ndalang kesim o'lchami $d = 3sm$, uzunligi $a = 0,2m$ ga teng.

Yechish. Valning aylanishi natijasida siniq sterjenlarning har birida hosil bo'ladigan inersiya kuchlarini aniqlaymiz.

Horizontal ABC oraliqda sterjenning zarrachalari inersiya kuchlari muvozanatlashadi va bu oraliqda egilish hosil bo'lmaydi, demak $q_i^{ABC} = 0$ bo'ladi.

Vertikal CD oraliqda inersiya kuch sterjenning o'qi bo'yicha yo'naladi. Aylanish o'qidan y masofadagi kesimda inersiya kuch intensivligi quyidagiga teng bo'ladi:

$$q_i^{CD} = \rho A \omega^2 z.$$



1-chizma. Bir tirsakli val.

Agar $z = 0$ bo'lganda inersiya kuchi intensivligi $q_i^{CD} = 0$ ga, $z = a$ bo'lsa $q_i^{CD} = \rho A \omega^2 a$ ga teng bo'ladi.

Sterjen o'qiga parallel bo'lgan gorizontalar DE oraliqda inersiya kuch o'zgarish bo'lib quyidagiga teng bo'ladi:

$$q_i^{CD} = q = \text{const.}$$

Qaralayotgan sterjenlar sistemaga ta'sir etuvchi inersiya kuch epyurasi 1, b-chizmada keltirilgan.

Sterjenlar sistemasida inersiya kuchlaridan hosil bo'ladigan reaksiya kuchlarini aniqlaymiz, ya'ni tayanchlardagi reaksiya kuchlarining har ikkalasini ham yuqoriga yo'nalgan deb qabul qilamiz va statikaning muvozanat tenglamalarini tuzamiz:

$$\sum \text{mom}_A = 0; \quad qa \cdot 3a + 0,5qa \cdot 2,5a - Y_B \cdot 2a = 0; \quad Y_B = \frac{4,5}{2} = 2,125qa.$$

$$\sum \text{mom}_A = 0; \quad qa \cdot a + 0,5qa \cdot 0,5a + Y_A \cdot 2a = 0; \quad Y_A = -\frac{1,25}{2} = -0,625qa.$$

Bundan ko'rinadiki Y_A tayanch reaksiya kuchi yuqoriga emas balki, pastga qarab yo'nalgan ekan.

Aniqlangan reaksiya kuchlarining to'g'ri topilganligini tekshirib ko'ramiz:

$$Y_B + Y_A - qa - \frac{qa}{2} = 0; \quad 2,125qa - 0,625 - 1,5qa = 0; \quad 0 = 0.$$

Demak, bundan ko'rinadiki, tayanchlardagi reaksiya kuchlari to'g'ri topilgan ekan.

Har bir oraliq uchun eguvchi moment ifodalarini tuzamiz va ularning epyuralarini quramiz:

Birinchi gorizontalar DE oraliq $0 \leq z_1 \leq a$

$$M_{eg} = qz_1 \frac{z_1}{2}; \quad z_1 = 0; \quad M_{eg} = 0; \quad z_1 = 0; \quad M_{eg} = \frac{1}{2}qa^2.$$

ikkinchi gorizontalar DC oraliq $0 \leq z_2 \leq a$

$$M_{eg} = qa \frac{a}{2}; \quad z_2 = 0; \quad M_{eg} = \frac{1}{2} qa^2; \quad z_2 = 0; \quad M_{eg} = \frac{1}{2} qa^2.$$

uchinchi gorizonta CB oraliq $0 \leq z_3 \leq 0,5a$

$$M_{eg} = qa \cdot (z_3 + 0,5a) + \frac{qa}{2} \cdot z_3;$$

$$z_3 = 0; \quad M_{eg} = \frac{1}{2} qa^2; \quad z_3 = 0,5a; \quad M_{ega} = 1 \frac{1}{4} qa^2.$$

to'rtinchi gorizonta CA oraliq $0,5a \leq z_4 \leq 2,5a$

$$M_{eg} = qa \cdot (z_4 + 0,5a) + \frac{qa}{2} \cdot z_3 - Y_B (z_4 - 0,5a);$$

$$z_3 = 0,5a; \quad M_{eg} = 1 \frac{1}{4} qa^2; \quad z_3 = 2,5a; \quad M_{ega} = 0.$$

Eguvchi moment epyurasi 1,d-chizmada keltirilgan.

Eguvchi momentning maksimal qiymati $M_{\max} = 1,25qa^2$ teng ekanligi epyuradan ko'rinib turibdi.

Qaralayotgan sterjenlar sistemasi mustahkamlik sharti quyidagicha ifodalanadi:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_x} = R.$$

Bu yeda W_x ko'ndalang kesim yuzasining qarshilik momenti quyidagi formula dan aniqlanadi

$$W_x = \frac{\pi d^3}{32} \approx 0,1d^3.$$

Unda qaralayotgan sterjenlar sistemasi mustahkamlik sharti quyidagicha ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\frac{1,25qa^2}{0,1d^3} = R. \text{ yoki } \frac{1,25 \cdot \rho \cdot \pi \cdot d^2 \cdot a^3 \cdot \omega^2}{4 \cdot 0,1 \cdot d^3} = R.$$

Bundan ruxsat etilgan burchak tezligini aniqlaymiz:

$$\omega = \sqrt{\frac{R \cdot d}{9,81 \cdot \rho \cdot a^3}} = \sqrt{\frac{160 \cdot 10^6 \cdot 3 \cdot 10^{-2}}{9,81 \cdot 77,5 \cdot 10^3 \cdot 8 \cdot 10^{-3}}} = 88,8c^{-1}.$$

Unda ruxsat etilgan aylanishlar soni quyidagiga teng bo'ladi:

$$n_{rux} = \frac{30\omega}{\pi} = \frac{30 \cdot 88,8}{3,14} = 848 \text{ ay/min.}$$

Tayanch iboralar

Statik kuch, dinamik kuch, inersiya kuchi, tezlanish, dinamik deformatsiya, dinamik kuchlanish, Dalamber prinsipi, hajmiy kuch, massa, tezlanishiga qarama-qarshi, og'irlik, hajm, solishtirma og'irlik, erkin tushish tezlanishi, tekis taqsimlangan kuch, ko'ndalang kesim yuzasi, statik kuch, dinamik kuch, dinamik koeffitsient, analitik usul, tajriba yo'li, yuk turi, erkinlik darajasi, tebranma harakat, sim arqon, harakat tenglamasi, tezlanishga nisbatan teskari, statika muvozanat tenglama, bir-birlik uzunlik, dinamik eguvchi moment, kesim qarshilik momenti, aylanma harakat, burchak tezlik, radial tezlanish, maksimal dinamik kuchlanish, halqa, markazdan qochma kuch, bo'ylama va ko'ndalang zarba, to'plangan massa, elastik deformatsiya, to'lqin, ideal elastik, yuk tushadigan balandlik, zarb beruvchi massa, zarbalanuvchi massa, boshlang'ich tezlik, kinetik energiya, prujina bikirligi, kinetik energiya orttirmas, trapetsiya yuzi, bo'ylama zarb, ko'ndalang zarb, sharnirli tayanch.

Test savollari

1. Statik yuklar - deb qanday yuklarga aytiladi?

yuk o'z miqdori, qo'yilgan nuqtalari yoki yo'nalishini juda ham sekin-asta o'zgartiradigan, ya'ni tezlanishlari e'tiborsiz bo'lgan yuklarga;

yuklar o'z miqdor va qo'yilgan nuqtalarni juda qisqa vaqt mobaynida juda katta tezlik bilan o'zgartirgan yuklarga;

yuk o'z miqdori, qo'yilgan nuqtalari yoki yo'nalishini me'yorida o'zgartiradigan, ya'ni tezlanishlari e'tiborli bo'lgan yuklarga;

yuk o'z miqdori, qo'yilgan nuqtalari yoki yo'nalishini tezlik bilan o'zgartiradigan, ya'ni tezlanishlari e'tiborli bo'lgan yuklarga;

2. Dinamik yuklar deb - qanday yuklarga aytiladi?

yuklar o'z miqdor va qo'yilgan nuqtalarni juda qisqa vaqt mobaynida juda katta tezlik bilan o'zgartirgan yuklarga;

yuk o'z miqdori, qo'yilgan nuqtalari yoki yo'nalishini juda ham sekin-asta o'zgartiradigan, ya'ni tezlanishlari e'tiborsiz bo'lgan yuklarga;

yuklar o'z miqdor va qo'yilgan nuqtalarni o'rtacha vaqt mobaynida juda kichik tezlik bilan o'zgartirgan yuklarga;

yuklar o'z miqdor va qo'yilgan nuqtalarni juda katta vaqt mobaynida juda kichik tezlik bilan o'zgartirgan yuklarga;

3. Kuchlanish - deb nimaga aytiladi?

ichki kuch intensivligining yuza birligidagi miqdoriga kuchlanish deb aytiladi;

ichki kuchlarning ko'p ta'sir etuvchisiga kuchlanish deb aytiladi;

qisqa muddat ichida yo'nalishi o'zgarib boruvchi kuchlarga aytiladi;

qurilma elementlarini eguvchi kuchga kuchlanish deb aytiladi;

4. Konstruksiya elementining inersiya kuch nimaga teng?

massa bilan tezlanish ko'paytmasiga;

massa bilan tezlik ko'paytmasiga;

massaning erkin tushish tezlanishga bo'linmasiga;

massaning erkin tushish tezligiga bo'linmasiga;

5. Hajmiy kuchlar - deb qanday kuchlarga aytiladi?

jismning ichki barcha zarrachalariga ta'sir etuvchi kuchlarga hajmiy kuchlar deb aytiladi;

jismning tashqi barcha zarrachalariga ta'sir etuvchi kuchlarga hajmiy kuchlar deb aytiladi;

jismning bazi zarrachalariga ta'sir etuvchi kuchlarga hajmiy kuchlar deb aytiladi;

jismning sirtqi barcha zarrachalariga ta'sir etuvchi kuchlarga hajmiy kuchlar deb aytiladi;

6. Dinamik koeffitsient qanday aniqlanadi?

analitik usulda, tajriba yo'li bilan;

faqat tajriba yo'li bilan;

faqat analitik usulda;

adabiyotlardan;

7. Dinamik koeffitsient konstruksiya elementlarining qanday omillariga bog‘liq?

dinamik yuk turiga, inshootning o‘lchamlari, massasi, bikirligiga;

dinamik yuk turiga, massasi, mexanik xossalari, bikirligiga;

dinamik yuk turiga, inshootning o‘lchamlari, fizik xossalari, bikirligiga;

dinamik yuk turiga, ximyaviy xossalari, massasi, bikirligiga;

8. Dinamik kuch tezlanishga nisbatan qanday yo‘nalgan bo‘ladi?

kuch yo‘nalishiga teskari;

kuch yo‘nalishi bo‘yicha;

kuch yo‘nalishi perpedikulyar;

kuch yo‘nalishiga o‘tkir burchak ostida;

9. Tekis tezlanish harakatda dinamik kuchlanish quyida keltirilgan qaysi formuladan aniqlanadi?

$$\sigma_d = \sigma_{st} \left(1 + \frac{a}{g} \right);$$

$$\sigma_d = \gamma \frac{\omega^2 \ell^2}{8g};$$

$$\sigma_d = \left(1 - \frac{a}{g} \right) \sigma_{st};$$

$$\sigma = \frac{\gamma \cdot r^2 \cdot \omega^2}{g};$$

10. Aylanayotgan halqada hosil bo‘ladigan dinamik kuchlanish quyida keltirilgan qaysi formuladan aniqlanadi?

$$\sigma = \frac{\gamma \cdot r^2 \cdot \omega^2}{g};$$

$$\sigma_d = \left(1 - \frac{a}{g} \right) \sigma_{st};$$

$$\sigma_d = \sigma_{st} \left(1 + \frac{a}{g} \right);$$

$$\sigma_d = \gamma \frac{\omega^2 \ell^2}{8g};$$

11. Brus yoki plitani ko‘tarishda hosil bo‘ladigan dinamik kuchlanish quyida keltirilgan qaysi formuladan aniqlanadi?

$$\sigma_d = \gamma \frac{\omega^2 \ell^2}{8g};$$

$$\sigma_d = \sigma_{st} \left(1 - \frac{a}{g} \right);$$

$$\sigma = \frac{\gamma \cdot r^2 \cdot \omega^2}{g};$$

$$\sigma_d = \left(1 + \frac{a}{g}\right) \sigma_{st};$$

12. Balandlik h dan tushayotgan yuk massasini qaysi formulada to‘g‘ri aks ettirilgan.

$$M = G/g;$$

$$M = G \cdot g;$$

$$M = G \cdot a;$$

$$M = G/a;$$

13. Konstruksiya elementlarini zarb yuklariga hisoblashda qanday cheklanish qabul qilingan?

jismlarning urilishi ideal elastik emas deb qaraladi;

jismlarning urilishi ideal elastik deb qaraladi;

jismlarning urilishi ideal plastik deb qaraladi;

jismlarning urilishi elastik-plastik deb qaraladi;

14. Real konstruksiyaga zarba beruvchi massaning birinchi zarb berishidan sterjen bo‘ylab elastik deformatsiya to‘lqini tarqalishi boshlanadimi yoki yo‘q?

boshlanadi;

boshlanmaydi;

boshlanish yoki boshlanmasligi materialiga bog‘liq;

zarb berilganda to‘lqin tarqalmaydi;

15. Yuqoridan tushayotgan zarba beruvchi massa tezligi quyidagi qaysi formula orqali ifodalanadi.

$$v = \sqrt{2gh};$$

$$v = \frac{s}{t};$$

$$v = s \cdot t;$$

$$v = \sqrt{2h/g};$$

16. Yuqoridan tushayotgan M massali yuk uchiga to‘plangan m massa birlashtirilgan prujinaga zarb berganda, dinamik λ_d ko‘chish ifodasi qaysi ifodada to‘g‘ri ko‘rsatilgan?

$$\lambda_d = \lambda_{st} \left[1 \pm \sqrt{1 + 2h \frac{M}{\lambda_{st}(M+m)}} \right];$$

$$\lambda_d = \lambda_{st} \left[1 \pm \sqrt{1 + 2h \frac{M}{g(M+m)}} \right];$$

$$\lambda_d = \left[\lambda_{st} \pm \sqrt{\lambda_{st} + 2h \lambda_{st} \frac{M}{\lambda_{st}(M+m)}} \right];$$

$$\lambda_d = \lambda_{st} \left[1 \pm \sqrt{1 - 2h \frac{M}{\lambda_{st}(M+m)}} \right];$$

17. Tekis tezlanish bilan yuk yuqoriga harakatanganda dinamik koeffitsient qaysi formula orqali ifodalanadi?

$$\mu = \left(1 + \frac{a}{g} \right);$$

$$\mu = 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\lambda_{st}} \cdot \eta};$$

$$\mu = \left(1 - \frac{a}{g} \right);$$

$$\mu = \left(1 + \frac{a}{\lambda_{st}} \right);$$

18. Tezlanish bilan gorizontal harakatlanayotgan brus dinamik koeffitsient qaysi formula orqali ifodalanadi?

$$\mu = \left(1 + \frac{a}{g} \right);$$

$$\mu = 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\lambda_{st}} \cdot \eta};$$

$$\mu = \left(1 - \frac{a}{g} \right);$$

$$\mu = \left(1 + \frac{a}{\lambda_{st}} \right);$$

19. Zarb ta'sirida dinamik koeffitsient quyidagilarning qaysi biri bilan ifodalanadi?

$$\mu = 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\lambda_{st}} \cdot \eta};$$

$$\mu = \left(1 + \frac{a}{g} \right);$$

$$\mu = \left(1 - \frac{a}{g} \right);$$

$$\mu = \left(1 + \frac{a}{\lambda_{st}} \right);$$

20. Zarb ta'sirida dinamik koeffitsient tezlik orqali javoblarning qaysi birida to'g'ri ko'rsatilgan?

$$\mu = 1 + \sqrt{1 + \frac{v^2}{g \lambda_{st}} \cdot \eta};$$

$$\mu = 1 + \sqrt{1 + \frac{g}{v^2 \lambda_{st}} \cdot \eta};$$

$$\mu = \left(1 + \frac{a}{g}\right);$$

$$\mu = \frac{M}{M + m};$$

21. Yukning tushish balandligi nolga teng bo'lsa, dinamik koeffitsient quyidagi qiymatlarning qaysi birini qabul qiladi?

$$\mu = 2;$$

$$\mu = 0;$$

$$\mu = \infty;$$

$$\mu = 1;$$

22. Agar yukning tushish balandligi statik solqilikdan ancha katta bo'lsa, dinamik koeffitsient qaysi formula orqali ifodalanadi?

$$\mu = 1 + \frac{v}{\sqrt{g\lambda_{st}}};$$

$$\mu = 1 + \sqrt{1 + \frac{v^2}{g\lambda_{st}} \cdot \eta};$$

$$\mu = \left(1 + \frac{a}{g}\right);$$

$$\mu = \frac{M}{M + m};$$

23. Zarb yuk oddiy to'sin ravog'i o'rtasiga tushganda statik solqilik qaysi usuldan foydalanib aniqlash mumkin?

Vershagin;

Kesish;

Variatsiya;

CHekli ayirmalar;

24. Bo'ylama zarbda keltirish koeffitsienti javoblarning qaysi birida to'g'ri ko'rsatilgan?

$$k = \frac{1}{3};$$

$$k = \frac{17}{35};$$

$$k = 2;$$

$$k = \frac{1}{5};$$

25. Zarb ta'siridan dinamik kuchlanish ifodasi quyidagi javoblarning qaysi birida to'g'ri ko'rsatilgan?

$$\sigma_d = \left(1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\lambda_{st}} \cdot \eta}\right) \sigma_{st};$$

$$\sigma_d = \left(1 + \frac{a}{g}\right) \sigma_{st};$$

$$\sigma_d = (\sqrt{2gh})\sigma_{st};$$

$$\sigma_d = \left(1 + \sqrt{\frac{2h}{\lambda_{st}} \cdot \eta}\right)\sigma_{st};$$

26. Zarb ta'siridan dinamik kuchlanish ifodasi quyidagi javoblarning qaysi birida to'g'ri ko'rsatilgan?

$$\sigma_d = \left(1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\lambda_{st}} \cdot \eta}\right)\sigma_{st};$$

$$\sigma_d = \left(1 + \frac{a}{g}\right)\sigma_{st};$$

$$\sigma_d = (\sqrt{2gh})\sigma_{st};$$

$$\sigma_d = \left(1 + \sqrt{\frac{2h}{\lambda_{st}} \cdot \eta}\right)\sigma_{st};$$

27. Agar yukning tushish balandligi statik solqilikdan ancha katta bo'lsa, dinamik kuchlanish ifodasi quyidagi javoblarning qaysi birida to'g'ri ko'rsatilgan?

$$\sigma_d = \left(1 + \sqrt{\frac{2h}{\lambda_{st}} \cdot \eta}\right)\sigma_{st};$$

$$\sigma_d = \left(1 + \frac{a}{g}\right)\sigma_{st};$$

$$\sigma_d = \left(1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{\lambda_{st}} \cdot \eta}\right)\sigma_{st};$$

$$\sigma_d = (\sqrt{2gh})\sigma_{st};$$

28. Agar yuk konstruksiyaga to'satdan ta'sir etganda, dinamik kuchlanish quyidagi qaysi formula bilan ifodalanadi?

$$\sigma_d = 2\sigma_{st};$$

$$\sigma_d = 1\sigma_{st};$$

$$\sigma_d = 10\sigma_{st};$$

$$\sigma_d = 4\sigma_{st};$$

29. Agar yukning tushish balandligi statik solqilikdan ancha katta bo'lsa, dinamik koeffitsient qaysi formula orqali ifodalanadi?

$$\sigma_d = \sigma_{st} \left(1 + \frac{v}{\sqrt{g\lambda_{st}}}\right);$$

$$\sigma_d = \sigma_{st} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{v^2}{g\lambda_{st}} \cdot \eta}\right);$$

$$\sigma_d = \sigma_{st} \left(1 + \frac{a}{g}\right);$$

$$\sigma_d = \sigma_{st} \left(\frac{M}{M+m}\right);$$

30. Zarb dinamik koeffitsienti ko'chish va zo'riqish kuchlari uchun qanday bo'ladi?

bir xil bo'ladi;

turli xil bo'ladi;

manfiy bo‘ladi;

musbat bo‘ladi;

Ilova

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* $\Delta \ell_e$ – 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 $\Delta \ell_p$ - 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‘zilishga (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 $tg \alpha = \sigma / \varepsilon \approx E$.

15. *Elastiklik modulining fizik ma'nosi* – sterjenni ikki marta uzayishini ta'minlovchi kuchlanishni bildiradi. $E = \sigma / \varepsilon$, bunda $\varepsilon = 1$ bo'ladi, $\Delta \ell = \ell$ 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 chizikli geometrik o‘qi bo‘lib, odatda brus kabi asosan egilishga ishlaydi.

20. *Konsol* – bir uchi bilan qistirib mahkamlangan balka.

21. *Egilishda 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 jumlada 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'zilishi 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 kuchlanish.

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 kuchlanishlar 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* $\Delta \ell_e$ – исчезающая после снятия нагрузки (от англ. elastic).

6. *Деформация пластическая* $\Delta \ell_p$ – 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 $\operatorname{tg} \alpha = \sigma / \varepsilon \approx E$.

15. *Физический смысл модуля упругости* – напряжение, требующееся для удлинения стержня вдвое: $\sigma = \varepsilon$ при $\varepsilon = 1$, 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 защемленным концом.

21. *Деформация балки при изгибе* – кривизна ее геометрической оси.

22. *Сосредоточенная сила* – силы 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* $\sigma_{ПЦ}$ - 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 уравнения 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 резким 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 $\varepsilon = 1$, that is, for $\Delta\ell = \ell$. 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* -sil 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.

ADABIYOTLAR

Tavisiya e'tilgan asosiy adabiyotlar, xorijiy adabiyotlar va internet-saytlari ro'yxati

1. **Mirziyoyev, Shavkat Miromonovich.** Erkin va farovon, demokratik o'zbekiston davlatini birgalikda barpo etamiz. Sh.M. Mirziyoyev.– Toshkent : O'zbekiston, 2016. – 56 b.(.pdf)
2. **Mirziyoyev, Shavkat Miromonovich.** Tanqidiy tahlil, qat'iy tartib-intizom va shaxsiy javobgarlik – har bir rahbar faoliyatining kundalik qoidasi bo'lishi kerak. 2017 yil 14 yanvar / Sh.M. Mirziyoyev. – Toshkent : O'zbekiston, 2017.– 104 b.(.pdf)
3. Ўзбекистон Республикасининг “Таълим тўғрисида”ги қонуни. 1997 йил 29 август. Т.: “Адолат”, 1997.
4. Ўзбекистон Республикасининг “Кадрлар тайёрлаш миллий дастури”, 1997 йил 29 август. Т.: “Адолат”, 1997.
5. Ўзбекистон Республикаси Олий ва ўрта махсус таълим вазирлигининг 2009 йил 14 августдаги 286-сонли “Талабалар мустақил ишларини ташкил этиш тўғрисида”ги буйруғи.
6. 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.
7. Ўразбоев М.Т. Материаллар қаршилиги – Т.:«Ўқитувчи», 1979. – 510 б.
8. Качурина В.К. Материаллар қаршиликдан масалалар тўплами. – Т.: 1993. – 336 б.
9. Мансуров К.М. Материаллар қаршилиги курси.–Т.:“Ўқитувчи” 1983. – 504 б.
10. Материаллар қаршилиги. Смирнов А.Ф. умумий таҳрири остида – Т.: «Ўқитувчи», 1988. – 464 б.
11. **Nabiyev A.** Materiallar qarshiligi. – Т.: «Yngi asr avlodi», 2008. – 379 б
12. Қорабоев Б. Материаллар қаршилиги. Олий техника ўқув юртлари учун дарслик.-Т.: Фан ва технологияси, 2007.-192.б.

13. Хасанов С.М. Материаллар қаршилиги фанидан масалалар ечиш.Т.: Ўзбекистон. 2006.-288.б.

14. T.Shirinqulov, K. Ismayilov, A.Qo'ldashev Elastik-plastik plastinkalar hisobi : O'quv qo'llanma O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi –Т.: «ТАФАККУР-ВО'СТОНИ», 2012, 240 – б.

15. Ismayilov K. Elastik plastik qobiqlar. Qayta ishlangan va qo'shimchalar kiritilgan ikkinchi nashr, Samarqand: “Zarafshon” nashriyoti DK, 2014-yil. 184-b.

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. “Фан” Т.: 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. Сопротивление материалов – М.: «Высшая школа», 1989. – 624.с.

21. Варданян Г.С. и др. Сопротивление материалов теория упругости и пластичности.– М.: 1995. – 568с.

22. Александров А.В.и др. Сопротивление материалов . – М.: «Наука», 2001г. – 608с.

23. Hobilov B.A., N.J.To'uchiyev Materiallar qarshiligi. – Т.: «O'zbekiston faylasuflari milliy jamiyati», 2008. – 400 б.

24. Mirsaidov M.M. va boshqalar. Materiallar qarshiligi. – Т.: «Fan va texnologiya», 2010. – 412 б.

25. Колкунов Н.В. «Основы расчета упругих оболочек» М.: «Высшая школа», 1972г. 396 с.

26. Ismayilov K. Siqilgan sterjenlar, plastinkalar va qobiqlarning elastiklik

chegarasidan keyingi ustivorligi. – T.: «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.Woinowsky-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>

MUNDARIJA

Annotatsiyz	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 bilimni reyting tizimi asosida baholash mezonlari	12
1.5-§. Talabalarning mustaqil ishlash ko'nikma va malakalarining shakllanganligining to'rt darajasi	19
1.6-§. Talabalar mustaqil ta'limning mazmuni va hajmi	20
II BOB. Cho'zilish va siqilishda sterjenlarni mustahkamlikka hisoblash	24
2.1-§. Ruxsat etilgan kuchlanish usuli	24
2.2-§. Chegaraviy holat usuli	28
2.3-§. Xavfli yuk usuli	31
2.4-§. Mustaqil ish topshiriqlari	34
Tayanch iboralar	46
Test savollar	46
III BOB. Umimlashgan Guk qonuni	55
3.1-§. Daformatsiya komponentlarining kuchlanish komponentlari orqali ifodasi	55
3.2-§. Guk qonunining teskari ifodasi	58
Tayanch iboralar	61
Test savollar	61
IV BOB. Bosh kuchlanishlar, ekstremal urinma kuchlanishlar va oktaedrik kuchlanishlar	69
4.1-§. Kuchlanishlarni belgilash va ularning ishoralari	69
4.2-§. Jism nuqtasi kuchlanganlik holati. Bosh kuchlanishlar	70

4.3-§. Mustaqil ish topshiriqlari	91
Tayanch iboralar	92
Test savollar	92
V BOB. Jism nuqtasining deformatsiya holati. Bosh deformatsiyalar	101
5.1-§. Bosh deformatsiyalar. Nuqtaning kuchlanganlik va deformatsiyalangan holatlarining o‘xshashligi	101
Tayanch iboralar	113
Test savollar	113
VI BOB. Buralish deformatsiyasi	121
6.1-§. Doira kesimli to‘g‘ri brusning buralishi	121
6.2-§. Burovchi moment va uning epyurasini qurish	122
6.3-§. Val kesimidagi kuchlanishlarni hamda kesimning buralish burchagini aniqlash	125
6.4-§. Valni mustahkamlikka va bikirlikka hisoblash	130
6.5-§. To‘g‘ri to‘rtburchak kesimli sterjen (val) larning buralishi	133
6.6-§. Mustaqil ish topshiriqlari	136
Tayanch iboralar	141
Test savollar	142
VII BOB. Egilish deformatsiyasi	151
7.1-§. Qo‘shma to‘sinlarni mustahkamlikka hisoblash	151
7.2-§. Cho‘zilish va siqilishda elastiklik modullari turli bo‘lgan to‘sinlar hisobi	156
7.3-§. Teng qarshilik ko‘rsatuvchi to‘sinlar	162
Tayanch iboralar	164
Test savollar	165
VIII bob. Egilgan to‘sinlarning ko‘chishlarini aniqlash	173
8.1-§. Umumiy tushunchalar	173
8.2-§. To‘sin egilgan o‘qining differensial tenglamasi	175
8.3-§. Differensial tenglamani integrallash va doimiylarni aniqlash	177
8.4-§. Boshlang‘ich parametrlar usuli	187

8.5-§. Mustaqil ish topshiriqlari	196
Tayanch iboralar	205
Test savollar	206
IX BOB. STERJENLARNING BO‘YLAMA EGILISHI	214
9.1-§. Asosiy tushunchalar	214
9.2-§. Siqilgan sterjenning to‘rtinchi tartibli ustuvorlik differensial tenglamasi	218
9.3-§. O‘zgaruvchi kesimli sterjenlarning ustuvorlik masalasi	221
9.4-§. Sterjenning bo‘lama-ko‘ndalang egilishi	228
9.5-§. Mustaqil ish topshiriqlari	234
Tayanch iboralar	237
Test savollar	238
X-BOB. . Yupqa devorli idishlar (qobiqlar) hisobi	246
10.1-§. Qobiqlarni hisoblash	246
1.1. Asosiy tushunchalar. Qobiqlar geometriyasidan ba’zi ma’lumotlar	246
1.2. Qobiqdagi deformatsiya va ko‘chishlar	250
1.3. Qobiq kesimidagi ichki kuchlar va momentlar	252
1.4. Qobiq muvozanat differensial tenglamasi	256
10.2-§. Momentsiz nazariya asosida sferik va silindrik idishlarni hisoblash	261
2.1. Momentsiz nazariya asosida silindrik qobiqlar hisobi	261
2.2. Momentli nazariya asosida silindrik qobiqlar hisobi	263
10.3. -§. Silindrik qobiqda chegaraviy effekti	266
3.1. Simmetrik yuklangan silindrik qobiqlar hisobi	266
3.2. Chetki qirg‘og‘i bo‘ylab yuklangan yarim cheksiz silindrik qobiqlar hisobi	268
10.4-§. Yassisimon qobiqlar nazariyasi asoslari	271
10.5 -§ Mustaqil ish topshiriqlari	281
Tayanch iboralar	284

Test savollar	284
XI bob. Dinamik yuklar	292
11.1-§. Brusning dinamik yuklanishi	292
11.2-§. Sim arqonni hisoblashda inersiya kuchini inobatga olish	295
11.3-§. Tekis tezlanish bilan harakatlanayotgan brus hisobi	297
11.4-§. Aylanma harakatda bo‘lgan brus hisobi	299
11.5-§. Aylanma harakatda bo‘lgan halqa hisobi	301
11.6-§. Brusni bo‘ylama va ko‘ndalang zarba yuklarga hisoblash	302
11.7 -§ Mustaqil ish topshiriqlari	309
Tayanch iboralar	314
Test savollari	314
Glossariy	324
Adabiyotlar	336

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	19
1.6-§. Объем и содержание самостоятельного образования...	20
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.....	42
Вопросы теста.....	43
III ГЛАВА. Обобщенный закон Гука...	50
3.1-§. Выражение компонентов деформации через компоненты напряжений...	50
3.2-§. Выражение обратной закона Гука.....	53
Ключевые слова...	55
Вопросы теста.....	56
IV ГЛАВА. Главные напряжения. Экстремальные	

касательные напряжения и октаэдрические напряжения	62
4.1-§. Обозначение напряжения и их знаки.	62
4.2-§. Напряженное состояние в точке тела. Главные напряжения.	63
4.3-§. Задания для самостоятельной работы	831
Ключевые слова.....	84
Вопросы теста	84
V ГЛАВА. Деформационное состояние в точке тела.	
Главные деформации.....	92
5.1-§. Главные деформации. Подобие напряженного и деформированного состояния в точке.	92
Ключевые слова.....	103
Вопросы теста	103
VI ГЛАВА. Деформация кручение	110
6.1-§. Кручение прямого бруса с круглым сечением	110
6.2-§. Крутящий момент и построение их эпюр	111
6.3. Определение напряжений и угол закручения в сечениях вала	113
6.4-§. Расчет валов на прочность и жесткость ...	118
6.5. Кручение стержня с прямоугольным сечением.....	121
6.6-§. Задания для самостоятельной работы	123
Ключевые слова.....	129
Вопросы теста.....	130
VII ГЛАВА. Деформация при изгибе	136
7.1-§. Расчет составных балок	136
7.2-§. Расчет балок при растяжение и сжатие с различными модулями упругости.....	141
7.3-§. Балки равного сопротивления	146
Ключевые слова.....	149

Вопросы теста.....	150
VIII ГЛАВА. Определение перемещений при изгибе	156
8.1-§. Общие понятия	156
8.2-§. Дифференциальное уравнение изогнутой оси балок	158
8.3-§. Интегрирование дифференциального уравнения и определение	160
8.4-§. Метод начальных параметров	169
Задачи	178
Ключевые слова	186
Вопросы теста	188
IX ГЛАВА. Продольно изгиб стержней.....	194
9.1-§. Основные понятия.....	194
9.2-§. Дифференциальное уравнение устойчивости сжатого стержня четвертого порядка	198
9.3-§. Задачи устойчивости стержней равного сопротивления	201
9.4-§. Продольно-поперечный изгиб стержней	207
9.5-§. Задания для самостоятельной работы	213
Ключевые слова	216
Вопросы теста	216
X ГЛАВА. Расчет оболочек.....	222
10.1-§. Расчет тонкостенных резервуаров (оболочек)	222
1.1. Основные понятия. Некоторые сведения о геометрии оболочек	222
1.2. Перемещения и деформация оболочек.....	226
1.3. Усилия и моменты в сечениях оболочки....	227
1.4. Дифференциальные уравнения равновесия оболочек	231
10.2-§. Расчет на основе безмоментной теории тонкостенных резервуаров	236

2.1. Расчет сферической оболочки по безмоментной теории ...	236
2.2. Расчет цилиндрической оболочки по моментной теории...	238
10.3-§. Краевой эффект в цилиндрической оболочке.....	241
3.1. Расчет цилиндрических оболочек на симметричные нагрузки	241
3.2. Расчет длинных цилиндрических оболочек нагруженную на торц определенными силами тонкостенных .	243
10.4-§. Основные теория пологих оболочек...	245
10.5-§. Задания для самостоятельной работы.....	255
Ключевые слова.....	257
Вопросы теста	258
Глава XI. Динамическая нагрузка	264
11.1-§. Динамическое нагружение бруса	264
11.2-§. Учет сил инерции при расчете троса	267
11.3-§. Расчет бруса при равноускоренном движении	269
11.4-§. Расчет бруса при равномерном вращения	271
11.5-§. Расчет кольца при равномерном вращения	272
11.6-§. Расчет брусев на продольной и поперечной удар	273
Задачи	280
Ключевые слова	285
Вопросы теста	285
Глоссарий	292
Литературы	303

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.....	42
Test questions.....	43
III CHAPTER. The generalized Hooke's law.....	50
3.1-§. Expression of strain components through stress components.....	50
3.2-§. Expression of Hooke's inverse law.....	53
Keywords.....	55
Test questions.....	56
IV CHAPTER. The main stresses. Extreme tangential stresses and octahedral stresses.....	62
4.1-§. The stress designation and their signs.....	62

4.2-§. Stress at the point of the body. Main stresses.....	63
4.3-§. Tasks for independent work.....	83
Keywords.....	84
Test questions.....	84
V CHAPTER. Deformational state at the point of the body. Major deformations.....	92
5.1-§. Major deformations. Similarity of a stressed and deformed state at a point.....	92
Keywords.....	103
Test questions.....	103
VI CHAPTER. Deformation torsion.....	110
6.1-§. Torsion of a straight bar with a circular cross-section.....	110
6.2-§. Torque and construction of their diagrams.....	111
6.3-§. Determination of stresses and angle of twist in the shaft sections...	113
6.4-§. Calculating the shafts for strength and rigidity.....	118
6.5-§. Torsion of a rod with a rectangular section.....	121
6.6-§. Tasks for independent work.....	123
Keywords.....	129
Test questions.....	130
VII CHAPTER. Straight Bend.....	136
7.1-§. Calculation of composite beams.....	136
7.2-§. Calculation of beams during stretching and compression with various elastic moduli.....	141
7.3-§. Beams of equal resistance.....	146
Keywords.....	149
Test questions.....	150
VIII CHAPTER. Beams on the elastic foundation.....	156
8.1-§. The differential equation for the bending of a beam on an elastic Fuss-Winkler base.....	156

8.2-§. Calculation of infinitely long beams on a solid elastic base.....	158
8.3-§. Calculation of semi-infinite beams on a solid elastic base	160
8.4-§. Calculation of beams of finite length and rigidity on a solid elastic base.....	169
8.5-§. Method of initial parameters.....	178
8.6-§. Tasks for independent work.....	186
Keywords.....	188
Test questions.....	188
IX CHAPTER. Longitudinal bending of rods.....	194
9.1-§. Basic concepts.....	194
9.2-§. The differential equation of stability of a compressed rod of the fourth order.....	198
9.3-§. The problem of stability of rods of equal resistance.....	201
9.4-§. Longitudinal-transverse bending of rods.....	207
9.5-§. Tasks for independent work.....	213
Keywords.....	216
Test questions.....	216
X CHAPTER. Shell calculation.....	222
10.1-§. Calculation of thin-walled tanks (shells).....	222
1.1. Basic concepts. Some information about geometry Shells.....	222
1.2. Movements and deformation of shells.....	226
1.3. The forces and moments in the shell sections.....	227
1.4. Differential Equilibrium Equations of Shells.....	231
10.2-§. Calculation of thin-walled tanks. Calculations based on the membrane theory of thin-walled reservoirs.....	236
2.1. Calculation of the spherical shell by membrane theory....	236
2.2. Calculation of the cylindrical shell by the moment theory.....	238
10.3-§. Edge effect in a cylindrical shell.....	241
3.1. Calculation of cylindrical shells on symmetric loads.....	241

3.2. Calculation of long cylindrical shells loaded on the end by the finite forces of thin-walled.....	243
10.4-§. The basic theory of shallow shells.....	245
10.5 -§.Tasks for independent work.....	255
Keywords.....	257
Test questions.....	258
CHAPTER XI. Dynamic Load	264
11.1-§. Dynamic loading of the bar	264
11.2-§. The calculation of inertia forces in the calculation of the cable	267
11.3-§. Calculation of a bar at uniformly accelerated motion	269
11.4-§. Calculation of a bar with uniform rotation	271
11.5-§. Calculation of the ring with uniform rotation	272
11.6-§. Calculation of brushes for longitudinal and lateral impact	273
11.7-§. Tasks for independent work.....	280
Keywords.....	285
Test questions.....	285
Glossary.....	292
References	303

KUBAYMURAT ISMAYILOV
SOBIRJON KAXXOROVICH TOSHEV
SIROJIDDIN SAYDILLA YEVICH AMANOV
DILSHOD SHUKURULLAEVICH XOLIQOV

MATERIALLAR QARCHILIGI

O'quv qo'llanma

Muharrir:

Badiiy muharrir:

Texnik muharrir:

Sahifalovchi:

“CHO’LPON”

Nashriyot litsenziyasi №

100129, Toshkent, “Alisher Navoiy, 16-uy.

tel: (+99890) .(+99894)

E-mail: @mail.ru

Bosishga 2017 yil 10 oktyabrda ruxsat berildi.

Bichimi 60x84 1/16.

Ofset usulida bosildi. «Times New Roman» garniturasida.

Nashr bosma tabog‘i 20,5. Adadi 500 ta.

Bahosi kelishilgan narxda

«MUMTOZ SO‘Z» MChJ bosmaxonasida chop etildi.

100003, Toshkent sh., Navoiy ko‘chasi, 69-uy



«MASHHUR-PRESS»

ISBN 978-9943-5672-5-2



9 789943 567252