

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI
NAMANGAN MUHANDISLIK-QURILISH INSTITUTI**

"QURILISH MEXANIKASI"

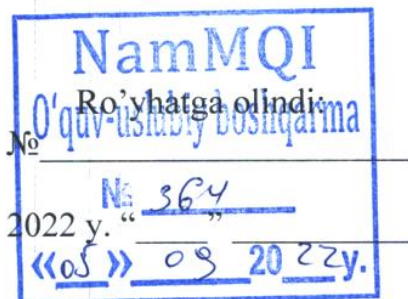
fani bo'yicha

O'QUV USLUBIY MAJMUA

Namangan 2022

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY VA O'RTA MAHSUS TA'LIM VAZIRLIGI

NAMANGAN MUHANDISLIK-QURILISH INSTITUTI



"QURILISH MEXANIKASI"
fanidan

O'QUV USLUBIY MAJMUA

Namangan 2022

Mazkur o'quv-uslubiy majmua Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligining 2018 yil 14.01 dagi 531-sonli, buyrug'ining 10 ilovasi bilan tasdiqlangan va Oliy va o'rta maxsus, kasb-hunar ta'limi yo'nalishlari bo'yicha O'quv uslubiy birlashmalari faoliyatini Muvofiqlashtiruvchi Kengashining 2018 yil 26.05dagi 2-son bayonnomasi bilan ma'qullangan hamda OO'MTVning 2020 yil 30 noyabrdagi № БД-5340200-2.03-sonli buyrug'i bilan tasdiqlangan va ro'yxatga olingan "Qurilish mexanikasi" fanining o'quv reja va dastur asosida tayyorlandi.

Tuzuvchi: NamMQI katta o'qit. Ph.D. M.U.Karabayeva
NamMQI katta o'qit. I. B.Najmiddinov

Taqrizchi: S.SH.Yuldashev-NamMQI "Materiallar qarshiligi va mexanika" kafedrası
professori t.f.d.

O'quv -uslubiy majmua NamMQI kengashining 2022 yil _____dagi ____-sonli qarori bilan
tasdiqqa tavsiya qilingan.

MUNDARIJA

№	Nomlanishi	bet
1.	O'quv materiallari	5
1.1.	Ma'ruza materiallari	7
1.2.	Amaliy mashg'ulot materiallari	306
2.	Mustaqil ta'lim mashg'ulotlari	408
3.	Glossariy	417
4.	Ilovalar	
4.1	Fan dasturi	430
4.2.	Ishchi fan dasturi	445
4.3.	Tarqatma materiallar	479
4.4.	Testlar	486

1. O'quv materiallari

So'z boshi

Fan va texnikaning yangi yutuqlarini muhandis-texnologlarga yetkazishda, ilmiy-texnika taraqqiyotini jadallashtirishda «Qurilish mexanikasi» fanining ahamiyati beqiyosdir. Ilmiy texnikaviy taraqqiyot vazifalari - Respublikada qurilish, mashinasozlik sanoatlarining rivojlanishida «Nazariy mexanika», «Materiallar qarshiligi», «Qurilish mexanikasi» fanlaridan iborat «Qurilish mexanikasi» fani yetakchi o'rinlarda turadi.

Fanni o'qitishdan maqsad - nazariy mexanika, materiallar qarshiligi, qurilish mexanikasi fanlari bo'yicha nazariy bilim berish: Inshoot qurilmalari va mashina detallarini mustahkamlikka, bikirlikka hamda ustvorlikka hisoblash bilan birgalikda mashinalar, asboblari va transport vositalarining yangi konstuksiyalarini yaratishning eng muhim shartlaridan biri ularning quvvat birligiga to'g'ri keladigan tannarxini kamaytirish, mashinasozlikda kam legirlangan, shakldor va aniq profildagi materiallardan, metal kukunlaridan, kompozitsion materiallardan hamda plastmassalardan foydalanish hisobiga yangi mashina, mexanizm va uskunalarni loyihalashda metaldan foydalanish samaradorligini oshirish hisoblanadi. Bularning hammasi mutahassislardan zamonaviy bino inshootlarni, mashina va jihozlarni yaratish uchun, ularni nazariy, amaliy va tajriba yo'li bilan aniqlash bo'yicha yetarli tayyorgarlikka hamda malakaga ega bo'lishini talab etadi.

Fanning vazifasi - talabalarda inshootlarni loyihalash jarayonida asosiy masalalardan biri hisoblangan loyiha-konstruktorlik hisoblari bo'yicha boshlang'ich ko'nikmalar hosil qilishdan iborat.

Qurilish mexanikasi fizika-matematika fanlari singari umum ilmiy fundamental va amaliy fanlarning biri sifatida o'rganiladi. Oliy matematika, fizika, materiallar qarshiligi, qurilish mexanikasi, gidravlika, mashina va mexanizmlar nazariyasi, elastik va plastik jismlar nazariyasi va boshqa umummuhandislik fanlari, shuningdek, ko'p qavatli baland imoratlar, ko'priklar, yer osti inshootlari, gidrotexnik inshootlar va shunga o'xshash ob'ektlarni loyihalash, qurish hamda ulardan foydalanishni o'rgatuvchi maxsus muhandislik fanlari «Qurilish mexanikasi»ning qonun qoidalari va prinsiplarini o'rgatishdan iborat.

Bo'lajak muhandis va muhandis-quruvchining qurilish mexanikani o'rganishi, uni kelgusi ishlab chiqarish va qurilish faoliyatiga, ilmiy-texnikaviy taraqqiyot jarayonida uchraydigan turlicha masalalar va yangiliklarni mustaqil ravishda hal qilishi uchun asosiy omillardan biri bo'lishi kerak. Shu bilan birga mexanikani o'rganish bo'lajak muhandis-quruvchining dunyoqarashini, uning umumiy madaniyatini, fikrlash qobiliyatini o'stirishdan iborat.

Qurilish mexanikasini o'rganish jarayonida talaba mexanikaning asosiy tushunchalari va qonunlari hamda shu qonunlardan kelib chiqadigan moddiy nuqta, qattiq jism, mexanik sistemaning muvozanati va harakatini aniqlash usullarini bilishi, olgan bilimni nazariy mexanikaning konkret masalalarini hal qilishga, shuningdek nazariy mexanikaning muhandislik va maxsus fanlarni o'rganishi uchun bo'lgan qonun-qoidalarini tadbiiq eta olishi zarur.

Hozirgi kunda hisoblash texnikasi, yadro energetikasi, kosmonavtika va elektronikaning rivojlanishi natijasida mexanikadan turlicha fizik tabiatga xos: elektromagnit, issiqlik, yorug'lik va kimyoviy xususiyatlariga ega bo'lgan kuchlar ta'siridagi sistemalarning harakatini o'rganishiga oid masalalar qo'yilmoqda. Texnikaning barcha soxalarida ayniqsa, mashinasozlik, asbobsozlik, qurilish, avtomatika, muhandislik kommunikatsiyasi inshootlarini, kibernetika va kosmonavtikaning rivojlanishida mexanika alohida o'rin egallaydi.

1.1.Ma'ruza materiallari

1-mavzu: Nazariy mexanika faniga kirish. Statikaning asosiy tushunchalari. Statika aksiomalari. Bog'lanishlar va bog'lanish reaksiya kuchlari. Kesishuvchi kuchlar sistemasi.

Reja:

1. Nazariy mexanika fanining ahamiyati va vazifalari.
2. Statikaning asosiy tushunchalari. Tashqi va ichki kuchlar.
3. Statika aksiomalari.
4. Bog'lanishlar va bog'lanish reaksiyalari.
5. Kuchlarni qo'shishning geometrik va analitik usullari.
6. tizimi teng ta'sir etuvchisi.
7. Kesishuvchi kuchlar tizimi muvozanati.
8. Uch kuchning muvozanatiga oid teorema.

Tayanch so'z va iboralar:

Nazariy mexanika, Materiallar qarshiligi, Qurilish mexanikasi, statika, tashqi va ichki kuchlar, aksiomalar, bog'lanishlar va bog'lanish reaksiyalari, moddiy nuqta, mexanik sistema, qattiq va deformatsiyalanuvchi jism, erkin va erkin bo'lmagan jism, kuch, kuchlar sistemasi, ekvivalent kuchlar, teng ta'sir etuvchi kuch, kesishuvchi kuchlar.

Ma'lumki, fan va texnikaning yangi yutuqlarini muhandislarga yetkazishda, ilmiy-texnika taraqqiyotini jadallashtirishda «Qurilish mexanikasi» fanining ahamiyati beqiyosdir. Ilmiy texnikaviy taraqqiyot vazifalari - Respublikada qurilish, mashinasozlik sanoatlarining rivojlanishida, «Nazariy mexanika», «Materiallar qarshiligi», «Qurilish mexanikasi» fanlarini o'z tarkibiga oluvchi «Qurilish mexanikasi» fani yetakchi o'rinlarda turadi.

Qurilish mexanikasi fizika-matematika fanlari singari umum ilmiy fundamental fanlarning biri sifatida o'rganiladi. Oliy matematika, fizika, materiallar qarshiligi, qurilish mexanikasi, gidravlika, mashina va mexanizmlar nazariyasi, elastik va plastik jismlar nazariyasi va boshqa umummuhandislik fanlari, shuningdek, ko'p qavatli baland imoratlar, ko'priklar, yer osti inshootlari, gidrotexnik inshootlar va shunga o'xshash ob'ektlarni loyihalash, qurish hamda ulardan foydalanishni

o'rgatuvchi maxsus muhandislik fanlari «Qurilish mexanikasi»ning qonun qoidolari va prinsiplarini o'rgatishdan iborat.

Bo'lajak muhandisning amaliy mexanikani o'rganishi, uni kelgusi ishlab chiqarishdagi faoliyatiga, ilmiy-texnikaviy taraqqiyot jarayonida uchraydigan turlicha masalalar va yangiliklarni mustaqil ravishda hal qilishi uchun asosiy omillardan biri bo'lishi kerak. Shu bilan birga amaliy mexanikani o'rganish bo'lajak muhandisning dunyoqarashini, uning umumiy madaniyatini, fikrlash qobiliyatini o'stirishdan iborat.

Qurilish mexanikasini o'rganish jarayonida talaba mexanikaning asosiy tushunchalari va qonunlari hamda shu qonunlardan kelib chiqadigan moddiy nuqta, qattiq jism, mexanik sistemaning muvozanati va harakatini aniqlash usullarini bilishi, olgan bilimini amaliy mexanikaning aniq masalalarini hal qilishga, shuningdek amaliy mexanikaning muhandislik va maxsus fanlarni o'rganishi uchun bo'lgan qonun-qoidalarini tadbiiq eta olishi zarur.

Hozirgi kunda hisoblash texnikasi, yadro energetikasi, kosmonavtika va elektronikaning rivojlanishi natijasida mexanikadan turlicha fizik tabiatga xos: elektromagnit, issiqlik, yorug'lik va kimyoviy xususiyatlariga ega bo'lgan kuchlar ta'siridagi sistemalarning harakatini o'rganishiga oid masalalar qo'yilmoqda. Texnikaning barcha soxalarida ayniqsa, mashinasozlik, asbobsozlik, qurilish, avtomatika, kibernetika va kosmonavtikaning rivojlanishida amaliy mexanika alohida o'rin egallaydi.

Qurilish mexanikasini 3 ta qismga ajratib o'rganiladi ya'ni nazariy mexanika, meteriallar qarshiligi va qurilish mexanikasi.

Tabiatda ro'y beradigan barcha o'zgarishlar va hodisalar harakat deb ataladi. Materiya harakatining eng sodda turi, jism holatining o'zgarishidir, ya'ni moddiy jismlarning vaqt o'tishi bilan fazoda bir-birlariga nisbatan qo'zg'alishlaridir. Harakatning bu turi mexanik harakat deb ataladi. Nazariy mexanika moddiy jismlar harakatining umumiy qonunlari haqidagi fandir. Xususan, agar jismning fazodagi holati vaqt o'tishi bilan o'zgarmasa, bu holda jism muvozanat holatida turadi. Muvozanat mexanik harakatning xususiy holidir. Binobarin, nazariy mexanika muvozanat qonuniyatlarini ham o'rgatuvchi fandir. Harakat va muvozanat

tushunchalaridan ularning nisbiyligi haqida xulosa chiqarishimiz mumkin. Mexanika fani matematika fani singari qadimiydir. Nazariy mexanikada izlanishning matematik usullari keng tatbiq qilinadi. Jismning holati boshqa qo'zg'almas deb olingan jismga biriktirilgan koordinata o'qlariga nisbatan kuzatiladi. Harakat davomida jismning holati kuzatilayotgan sanoq sistemasiga nisbatan vaqt o'tishi bilan o'zgaradi. Tabiatda harakatsiz jism mavjud emas, binobarin qo'zg'almas sanoq sistemi ham mavjud emasdir. Odatda ko'pgina muhandislik masalalarini hal qilishda (kosmik uchishlar masalasi bundan mustasnodir), yerni qo'zg'almas deb qaraladi. Shuning uchun, keyinchalik, agar alohida ta'kidlanmasa, yerga bog'langan sanoq sistemasini qo'zg'almas deb qabul qilamiz. Hozirgi zamon "Nazariy mexanika" fanining asosiy qonunlarini 1687 yilda mashhur donishmand olim Isaak Nyuton o'zining «Tabiiy fanlar falsafasining matematik asoslari» nomli asarida bayon qilib bergan. Shuni ta'kidlab o'tamizki, Nyuton qonunlari Arximed va Galiley singari va boshqa buyuk olimlarning kundalik kuzatishlari va izlanishlarining natijasidir. Nazariy mexanika fanining rivojlanishi davomida, undan ko'pgina muhandislik fanlari mustaqil fan bo'lib ajralib chiqdi. Masalan: materiallar qarshiligi, inshootlar nazariyasi, suyuq va gazsimon jismlar mexanikasi, mashina va mexanizmlar nazariyasi va boshqalar. Bu fanlar nazariy mexanika qonunlariga tayangani holda mustaqil fanlar tarzida shakllandi. Hozirgi zamon mexanikasining tez sur'atlar bilan taraqqiy etishi, texnikani rivojlantirishda ijodiy ishlashga qodir bo'lgan yuqori malakali muhandis xodimlarga muhtojlikni oshiradi. Hozirgi zamon muhandislari o'ta murakkab hisob ishlarini bajarishlari darkor, masalan: inshoot muvozanatlariga oid (imorat, ko'prik va boshqalar), mashina va mexanizmlar harakatiga oid hisob-kitob ishlari. Bunday masalalarni yechishga faqat "Nazariy mexanika" fani qonun-qoidalarini chuqur o'rgangan muhandislargina qodirdirlar.

"Nazariy mexanika" fani uch qismdan iborat: statika, kinematika va dinamika.

Statika moddiy jismlar muvozanatiga oid qonunlarni o'rganadi.

Kinematika jism harakati qonunlarini bu harakatni vujudga keltiruvchi yoki o'zgartiruvchi sababga bog'lamay tekshiradi. Bundan ko'rinadiki, kinematika jism harakatini faqat geometrik nuqtai nazardan tekshiradi, ya'ni bu harakatni vujudga

keltiruvchi sababga e'tibor bermaydi. Shuning uchun kinematikani to'rt o'lchovli geometriya deb atasak ham bo'ladi. Bunda uchta fazoviy o'zgaruvchilarga to'rtinchi o'zgaruvchi vaqt ham qo'shiladi.

Dinamika jismlar harakatini bu harakatni vujudga keltiruvchi, o'zgartiruvchi sababga bog'lab tekshiradi.

Hozirgi zamon texnikasi, injenyerlar oldiga echilishi muhim bo'lgan qator masalalarni qo'yimoqda, ular asosan mexanik harakatlar va moddiy jismlarning o'zaro ta'sirlariga bog'liq bo'lib, nazariy mexanika faniga taalluqli hisoblanadi.

Jismga ta'sir etuvchi kuchlar turlari, ular ustida amallar, kuchlarning muvozanat shartlarini o'rganuvchi nazariy mexanikaning bo'limi statika deb ataladi. Statikani o'rganish uchun zarur bo'lgan asosiy tushuncha va ta'riflarni keltiramiz.

1. **Moddiy nuqta.** Ko'rilayotgan masalada geometrik o'lchamlarining ahamiyati bo'lmagan jism moddiy nuqta deb ataladi.

2. **Mexanik sistema.** Har birining holati va harakati boshqalarining holati va harakatiga bog'liq bo'lgan moddiy nuqtalar to'plami mexanik sistema deb ataladi. Ta'rifdan ko'rinadiki mexanik sistema moddiy nuqtalar orasida o'zaro ta'sir mavjud bo'lishini taqozo qiladi.

3. **Absolyut (mutlaq) qattiq va deformatsiyalanuvchi jism.** Qattiq jismning ixtiyoriy ikki nuqtasi orasidagi masofa har qanday holatda ham o'zgarmasdan qolsa, bunday jism absolyut (mutlaq) qattiq jism deb ataladi. Tabiatda mutlaq qattiq jism mavjud emas. Har qanday qattiq jism bo'lmasin, shunday sharoit mavjud qilish mumkinki, uning ikki nuqtasi orasidagi masofa o'zgarishiga olib kelish mumkin. Bu jism shaklining o'zgarishiga olib keladi. Ikki nuqtasi orasidagi masofa o'zgaruvchi bo'lgan qattiq jism deformatsiyalanuvchi jism deb ataladi. Binobarin tabiatda faqat deformatsiyalanuvchi jism mavjuddir.

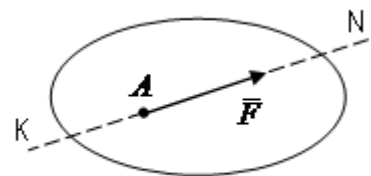
4. **Erkin va erkin bo'lmagan jism.** Fazoda ixtiyoriy vaziyatni egallashi mumkin bo'lgan jism erkin jism deb ataladi. Quyosh sistemasining sayyorolari bunga misol bo'la oladi. Agar jismning fazodagi vaziyati yoki harakatiga qandaydir chek qo'yilsa, bunday jism erkin bo'lmagan, ya'ni bog'lanishdagi jism deb ataladi.

5. **Kuch.** Moddiy jismlarning harakati yoki ichki holatining o'zgarishiga sabab bo'luvchi, o'zaro bir-birlariga ko'rsatgan ta'sirlarning miqdor o'lchovi kuch deb ataladi. Jismlarning o'zaro mexanik ta'siri ularni bir-biriga tegib yoki ma'lum masofada turganida ham mavjud bo'lishi mumkin.

Birinchi toifaga jismlarning o'zaro bir-birlariga bosimi, ikkinchi toifaga har xil tortishish kuchlari : sayyoralar orasidagi o'zaro tortishish, elektr, magnit va boshqalar kiradi. Jismga qo'yilgan kuch: miqdor, yo'nalish va qo'yilish nuqtasi bilan xarakterlanadi, ya'ni kuch vektor kattalikdir. SI xalqaro birliklar sistemasida kuch birligi – Nyuton.

Kuch yo'nalishi deb, tinch holatda turgan erkin moddiy nuqtaning qo'yilgan kuch ta'siridan olgan harakatining yo'nalishiga aytiladi.

Kuch yo'nalgan to'g'ri chiziq kuchning ta'sir chizig'i deb ataladi (1-shakl).



1-shakl

Jismning bevosita kuch qo'yilgan nuqtasi kuch qo'yilgan nuqta deb ataladi. Kuch yo'naltirilgan kesma orqali grafik tasvirlanadi. Tanlab olingan masshtabda kesma uzunligi kuch miqdorini ifodalaydi, kesmaning yo'nalishi kuch yo'nalishiga monand, uning boshlanishi yoki oxiri kuch qo'yilgan nuqtaga monand. 1-shaklda $\vec{F}$ kuch A nuqtaga qo'yilgan.

6. **Kuchlar sistemasi.** Jismga qo'yilgan bir necha kuchlardan iborat bo'lgan $(\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n)$ to'plam kuchlar sistemasi deb ataladi.

7. **Ekvivalent kuchlar sistemasi.** Agar jismga qo'yilgan $(\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n)$ kuchlar sistemasi ta'sirini, uning tinch yoki harakat holatini o'zgartirmay, boshqa kuchlar sistemasi, ya'ni $(\vec{Q}_1, \vec{Q}_2, \dots, \vec{Q}_n)$, bera olsa, unday ikki kuch sistemasi ekvivalent kuchlar sistemasi deyiladi. $(\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n) \Leftrightarrow (\vec{Q}_1, \vec{Q}_2, \dots, \vec{Q}_n)$.

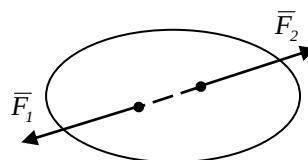
8. **Teng ta'sir etuvchi kuch.** Berilgan kuchlar sistemasi biror kuchga ekvivalent bo'lsa, bunday kuch teng ta'sir etuvchi kuch deb ataladi. Shuni nazarda tutish kerakki, kuchlar sistemasining jismga bergan ta'sirini yolg'iz bir kuch bera olsa, bunday kuch mazkur kuchlar sistemasining teng ta'sir etuvchisidir $(\vec{Q}_1, \vec{Q}_2, \dots, \vec{Q}_n) \Leftrightarrow \vec{R}$.

9. Muvozanatlashgan kuchlar sistemasi. Erkin jism unga qo'yilgan kuchlar sistemasi ta'sirida tinch holatda qolsa, bunday kuchlar sistemasi muvozanatlashgan kuchlar sistemasi yoki nolga ekvivalent sistema deyiladi. $(\vec{Q}_1, \vec{Q}_2, \dots, \vec{Q}_n) \Leftrightarrow 0$.

Statikaning asosiy aksiomalari

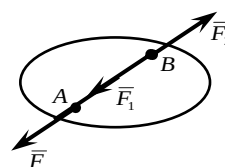
Statikaning asosida isbot talab etilmaydigan, aksioma deb ataluvchi boshlang'ich haqiqatlar to'plami yotadi. Bu aksiomalar tajriba va kuzatishlarning natijasidir. Aksiomalarga asoslanib, statikaning mazmunini tashkil etuvchi teoremlar isbot qilinadi.

1-aksioma. Erkin qattiq jismga qo'yilgan ikki kuch miqdor jihatdan bir-biriga teng $|\vec{F}_1| = |\vec{F}_2|$ va bir chiziq bo'ylab qarama-qarshi tomonga yo'nalgan bo'lsa, kuchlar sistemasi o'zaro muvozanatlashadi. Bu aksioma oddiy muvozanatlashgan kuchlar sistemasini aniqlaydi.



2-aksioma. Agar jismga ta'sir etayotgan kuchlar sistemasi qatoriga, muvozanatlashgan kuchlar sistemasini qo'shsak, yoki undan ayirsak, kuchlar sistemasining jismga ta'siri o'zgarmaydi.

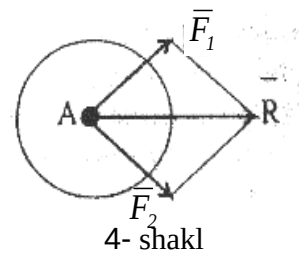
Bu aksiomadan quyidagi natija kelib chiqadi. Kuchning jismga ta'sirini o'zgartirmay, uning qo'yilish nuqtasini ta'sir chizig'i bo'ylab jismning ixtiyoriy nuqtasiga ko'chirishimiz mumkin. Jismning A nuqtasiga $\vec{F}$ kuch qo'yilgan. Uning ta'sir chizig'ining, u bo'ylab ixtiyoriy B nuqtasiga muvozanatlashgan kuchlar sistemasini, ya'ni miqdor jihatidan F ga teng bo'lgan $F_1 = F_2 = F$ va F ning ta'sir chizig'i bo'ylab yo'nalgan, $(\vec{F}_1, \vec{F}_2) \Leftrightarrow 0$ qo'yamiz.



Ikkinchi aksiomaga asosan bu kuchlar sistemasining jismga ta'siri o'zgarmaydi. Osonlik bilan ko'rish mumkinki, $\vec{F}$ va $\vec{F}_2$ kuchlar sistemasi muvozanatlashgan kuchlar sistemasini tashkil qiladi. Bu muvozanatlashgan kuchlar sistemasini jismdan olib tashlaymiz. U holda jismning B nuqtasiga qo'yilgan $\vec{F}_1 = \vec{F}$ kuchigina qoladi. Demak, kuch o'zining ta'sir chizig'i bo'ylab jismning ixtiyoriy nuqtasiga qo'yilishi

mumkin ekan. O'zining ta'sir chizig'i bo'ylab ixtiyoriy nuqtaga ko'chirish mumkin bo'lgan vektor sirpanuvchi vektor deb ataladi.

3-aksioma. Jismning biror nuqtasiga turli yo'nalishda qo'yilgan ikki kuchning teng ta'sir etuvchisi shu nuqtaga qo'yilgan bo'lib, ularning geometrik yig'indisiga teng bo'ladi. Bu aksioma bir nuqtaga qo'yilgan ikki kuchning yig'indisi, shu nuqtaga qo'yilgan ikki vektorni qo'shish qonuniyatiga



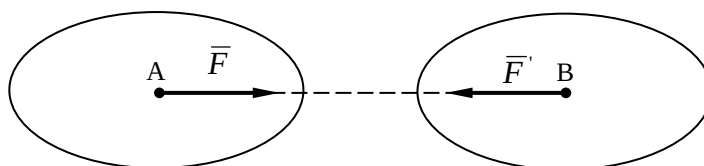
4- shakl

asoslanadi (4-shakl). $\vec{F}_1$ va $\vec{F}_2$ kuchlarning teng ta'sir etuvchisini R bilan belgilab, 3-aksiomaga asosan quyidagini yozishimiz mumkin:

$$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2.$$

4-aksioma. Ikki jismning bir-biriga ko'rsatgan ta'sir kuchlari o'zaro teng va bir to'g'ri chiziq bo'ylab qarama-qarshi tomonga yo'nalgan. Bu aksioma ta'sir aks ta'sir tenglik aksiomasi deyiladi. Aksioma tabiatda bir tomonlama ta'sir mavjud emasligini ko'rsatadi. Birinchi jism ikkinchi jismga qanday kuch bilan ta'sir etsa (ta'sir), ikkinchi jism birinchi jismga shunday kuch bilan ta'sir etadi (aks ta'sir). Ta'sir va aks ta'sir kuchlarini ikkita jismga alohida-alohida qo'yilganligini osonlik bilan ko'rish mumkin. Shuning uchun bu ikki kuchni muvozanatlashgan kuchlar sistemasi deb qarab bo'lmaydi.

Masalan: agar A jism B jismga $\vec{F}$ kuch bilan ta'sir qilsa, u holda bir vaqtning o'zida B jism ham A jismga shunday kuch bilan ta'sir qiladi: $\vec{F}' = -\vec{F}$ (5-shakl).

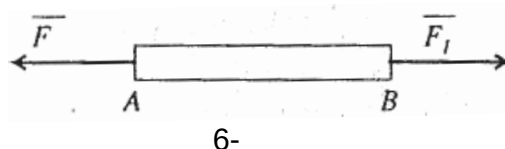


5-shakl

5-aksioma. Berilgan kuchlar ta'sirida deformatsiyalangan jism muvozanat holatida absolyut qattiq jismga aylansa, uning muvozanati o'zgarmaydi. Bu aksiomaga qotish prinsipi deyiladi. Aksiomadan ko'rinadiki, absolyut qattiq jismning muvozanat sharti zaruriydir, ammo ko'p hollarda deformatsiyalanuvchi jismning muvozanati uchun yetarli emas, haqiqatan ham, masalan AB sterjenning ikki $\vec{F}$ va $\vec{F}_1$

kuchlar ta'sirida muvozanatini ko'raylik (6-shakl). Bu kuchlar miqdor jihatidan AB to'g'ri chiziq bo'ylab qarama-qarshi yo'nalgan.

Agar sterjen absolyut qattiq bo'lsa, u holda $\vec{F}$ va $\vec{F}_1$ kuchlarning har qanday miqdorlarida sterjen muvozanatda bo'ladi. Agar sterjen absolyut qattiq bo'lmasa, kuchlarning miqdori ixtiyoriy bo'lmaydi, chunki sterjenni uzishi mumkin bo'lgan kuchlarning chegaraviy qiymatlari mavjuddir.



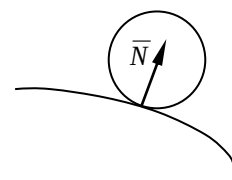
Bog'lanish va bog'lanish reaksiya kuchlari

Jismning holati va harakatini cheklovchi sabab bog'lanish deb ataladi. Mexanikada bog'lanishlar qattiq yoki elastik jismlar vositasida bajariladi.

Bog'lanishni jismga bergan ta'sirini ekvivalent kuch bilan almashtirish mumkin, uni bog'lanish reaksiyasi deb aytiladi. Jismning bog'lanishga ta'siri bosim deb aytiladi.

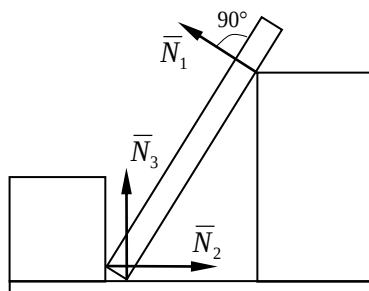
6-aksioma. Har qanday bog'lanishdagi jismni erkin jism deb qarash uchun bog'lanishlarni bog'lanish reaksiya kuchlari bilan almashtirish kerak. Bu aksioma bog'lanishdan qutulish prinsipi deyiladi. By aksiomaga asosan jismga ta'sir etayotgan kuchlar sistemasi qatoriga bog'lanish reaksiya kuchlarini ham qo'shish kerak. Odatda ular noma'lum bo'lib, berilgan kuchlar sistemasining muvozanat shartlaridan topiladi. Bog'lanishdan qutulish uchun bog'lansh reaksiya kuchining yo'nalishini aniqlash ahamiyatlidir. Bog'lanish reaksiya kuchining yo'nalishini aniqlashda quyidagidan foydalanishimiz lozim. Bog'lanishdagi jismlarning harakati qaysi tomonga cheklangan bo'lsa, reaksiya kuchi shu yo'nalishga teskari yo'nalgan bo'ladi. Bog'lanishning turlari va bog'lanish reaksiyalari ishqalanish mavjud bo'lmagan bir necha bog'lanishlarda reaksiyalarning yo'nalishlari qanday bo'lishini ko'ramiz.

1. **Silliq sirt.** Bunday sirt jismga silliq sirt bilan tegib turgan nuqtasidan sirtga o'tkazilgan normal yo'nalishi bo'ylab harakatiga

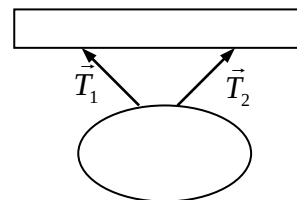


halaqit beradi. Binobarin, reaksiya kuchi $\vec{N}$ silliq sirt bilan jismning tegib turgan nuqtasidan sirtga o'tkazilgan normal bo'ylab yo'nalgan va shu nuqtaga qo'yilgan bo'ladi (7-shakl).

Agar tegib turgan sirtlardan birortasi nuqta bo'lsa, u holda reaksiya kuchi ikkinchi sirtga o'tkazilgan normal bo'ylab yo'nalgan bo'ladi (8-shakl).

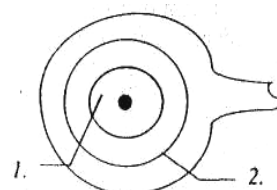


8- shakl



9-shakl

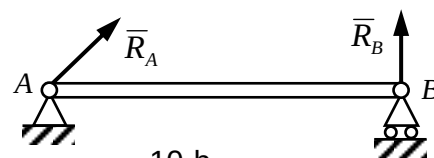
2. **Ip** (qayish, zanjir, arqon, tros). Agar bog'lanish cho'zil-maydigan ipdan iborat bo'lsa, ip jismning osilish nuqtasidan ip bo'ylab harakatlanishiga chek qo'yadi. Ipning taranglik kuchi ip bo'ylab osilish nuqtasiga tomon yo'naladi (9-shakl).



10-a shakl.

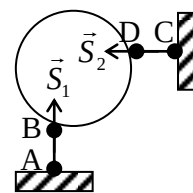
3. **Silindrik sharnir** (zoldirli g'ildirak-podshipnik).

Bolt 1 va kiygizilgan vtulka 2 dan iborat qo'zg'almas silindrik sharnir jism bilan mahkam biriktirilgan vtulkaning ichki diametri bilan barobar (10-a shakl).



10-b

Jism shakl tekisligiga perpendikulyar bo'lgan sharnir o'qi atrofida aylanishi mumkin. Ammo sharnir o'qiga perpendikulyar yo'nalish bo'yicha harakatlana olmaydi. Shuning uchun silindrik sharnirda reaksiya kuchi, sharnir o'qiga perpendikulyar bo'lgan tekislikda yotib, sharnir o'qini kesib o'tadi. Ko'pincha texnikada mustahkam va qo'zg'aluvchan sharnirli tayanchlar uchraydi. 10-b shaklda A mustahkam sharnirli tayanchdir. Bu tayanchda R_A reaksiya kuchi sharnir o'qidan o'tib va unga perpendikulyar tekislikda yotib, ixtiyoriy yo'nalishda bo'ladi. B tayanch sharnirli qo'zg'aluvchan tayanchdir. Bunda R_B reaksiya kuchi qo'zg'aluvchan tayanch tiralib turgan tekislikning normal bo'ylab yo'nalgan bo'ladi.



11-shakl

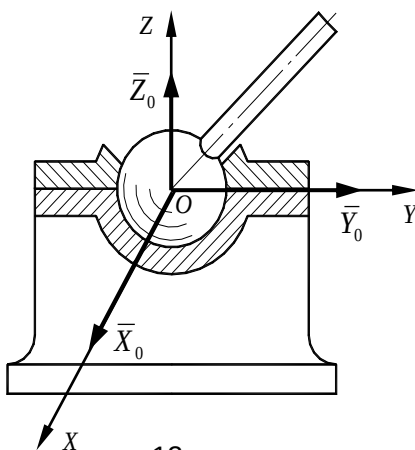
4. **Sterjen**. Bog'lanish uchlari sharnirlar bilan biriktirilgan

AB va CD sterjenlar vositasida bajariladi.

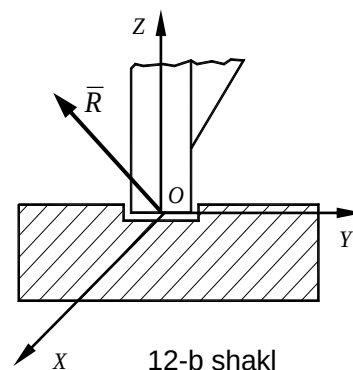
Sterjen og'irliklarini e'tiborga olmay, u sterjenning A va B (C va D) sharnirlariga qo'yilgan ikki kuch ta'sirida muvozanatda bo'ladi. Binobarin reaksiya kuchlari sterjenlarning uchlaridagi, sharnirlardan o'tuvchi o'qlar bo'ylab yo'nalgan bo'ladi (11-shakl).

5. Zoldirli sharnir va tagtovon (podpyatnik). Bu holda jism har qanday harakat qilishi mumkin, faqat sferik sharnirning markazi qo'zg'almas bo'lib qoladi (12- a shakl).

Xuddi shunday bog'lanishni siqib tiralib turgan podshipnik (zoldirli g'ildirak) vositasida bajarilganligini ko'rish mumkin, odatda bu tagtovon (podpyatnik) deyiladi (12-b shakl).



12-a



12-b shakl

Fotoapparatlarning shtatividagi zoldirli tutqich, inson va hayvonlarning ko'pgina suyaklarining birlashgan joylari zoldirli sharnirga misol bo'la oladi. Zoldirli (sferik) sharnir va tagtovon (podpyatnik)larda bog'lanish reaksiya kuchlarining yo'nalishi fazoda ixtiyoriy yo'nalishni olishi mumkin. Statika qismida quyidagi ikki masala hal qilinadi:

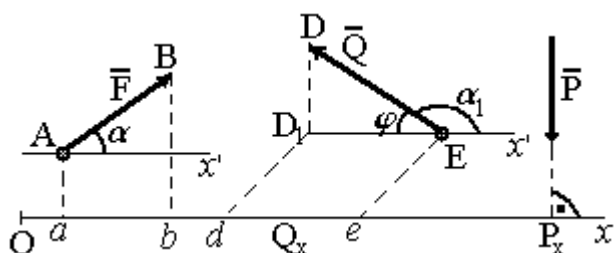
Jismga ta'sir qilayotgan kuchlar sistemasi unga ekvivalent bo'lgan soddaroq kuchlar sistemasi bilan almashtiriladi.

Kuchlar sistemasi ta'siridagi absolyut qattiq jismning muvozanat shartlarining zarur va yetarliligi tekshiriladi. Bog'lanishdagi jism bog'lanishdan xalos qilinganda erkin jism deb qaraladi. Jism unga ta'sir qilayotgan kuchlar sistemasi va reaksiya kuchlari ta'siridan muvozanatda bo'ladi. Muvozanat tenglamalaridan no'malum reaksiya kuchlari aniqlanadi. Keyinchalik jismga har xil kuchlar sistemasi ta'sir etayotganda statikaning ikki asosiy masalasi yechiladi.

Statika masalalarini analitik usulda yechish, kuchni o'qqa proyeksiyalash tushunchasiga asoslangan. Kuchning (yoki har qanday vektorning) biror o'qqa proyeksiyasi, shu kuchning modulini o'qning musbat yo'nalishi bilan kuch vektori orasidagi burchakning kosinusiga ko'paytmasiga teng bo'lgan algebraik qiymatga aytiladi. Agar shu burchak o'tkir bo'lsa - proyeksiya musbat ishorali bo'ladi, o'tmas bo'lsa - proyeksiya manfiy ishorali bo'ladi. Agar shu kuch o'qqa perpendikulyar holda yo'nalgan bo'lsa, uning proyeksiyasi nolga teng bo'ladi.

Masalan, shaklda tasvirlangan kuchlarning proyeksiyalari quyidagicha bo'ladi,

$$F_x = F \cos \alpha = ab; \quad Q_x = Q \cdot \cos \alpha = -Q \cos \varphi = -de, \quad P_x = 0.$$



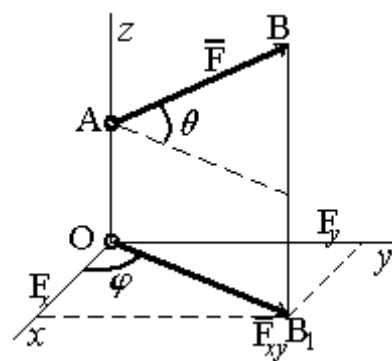
$\vec{F}$ - kuchning Oxy tekislikka proyeksiyasi deb, $\vec{F}$ - vektorining boshi va oxiridan shu tekislikka tushirilgan proyeksiyalarining orasidagi $\vec{F}_{xy} = \vec{OB}_1$

vektorga aytiladi. Shunday qilib, kuchning o'qqa proyeksiyasidan farqli ravishda, kuchning tekislikka proyeksiyasi vektor qiymat ekan, chunki uning son qiymatidan tashqari, shu Oxy tekislikda ma'lum yo'nalishga ega bo'ladi.

Kuchning tekislikdagi proyeksiyasining moduli $F_{xy} = F \cdot \cos \theta$, bu yerda θ - berilgan

kuch vektori $\vec{F}$ - bilan, uning Oxy tekislikdagi $\vec{F}_{xy}$ proyeksiyasi orasidagi burchak.

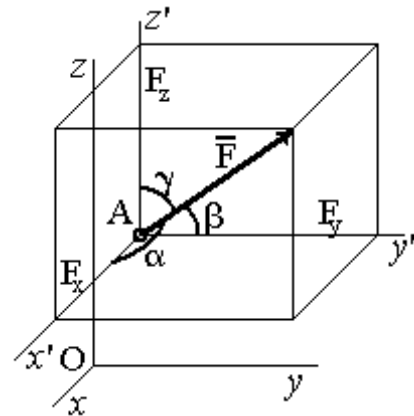
Ayrim hollarda kuchni to'g'ridan-to'g'ri o'qqa proyeksiyalash mumkin bo'lmaydi, shu sababli uni, avvalo, shu o'q yotgan tekislikka proyeksiyalanadi, undan so'ng shu proyeksiya vektorni o'qqa



proyeksiyalanadi. Masalan, shaklda ko'rsatilgan $\vec{F}$ - kuchini to'g'ridan to'g'ri koordinata o'qlariga proyeksiyalab bo'lmaydi, shuning uchun ularni o'qlardagi proyeksiyalari quyidagicha aniqlanadi,

$$F_x = F_{xy} \cdot \cos \varphi = F \cdot \cos \theta \cdot \cos \varphi;$$

$$F_y = F_{xy} \cdot \sin \varphi = F \cdot \cos \theta \cdot \sin \varphi;$$



Kuchni analitik usulda berilishi. Kuchni analitik usulda berilishi uchun, avvalo, Oxyz, koordinata o'qlarini tanlab olishimiz lozim, so'ngra shu o'qlarga nisbatan kuchning fazodagi yo'nalishi berilgan bo'ladi. Mexanika fanida faqat o'ng koordinata sistemalaridan foydalanish qabul qilingan. Bu sistemaning xususiyati shuki, Oz o'qining musbat uchidan qaraganda Ox o'qini soat strelkasiga teskari yo'nalishda 90° ga burganimizda, bu o'q Oy o'qi bilan ustma-ust tushadi.

Agarda berilgan F kuchning moduli va uning koordinata o'qlari bilan hosil qilgan α, β, γ - burchaklari ma'lum bo'lsa, shu holdagina $\vec{F}$ -kuch vektorini tasvirlash mumkin. Shunday qilib, F va α, β, γ -lar $\vec{F}$ - kuch vektorining tashkil etuvchilari hisoblanadi. Undan tashqari bu $\vec{F}$ -kuchning qo'yilgan nuqtasining koordinatalari, ya'ni x, y, z -lar ham berilgan bo'lishlari shart.

Mexanika masalalarini yechishda kuchlarni ularning proyeksiyalari F_x, F_y, F_z - orqali berilishi qulay hisoblanadi. Ushbu proyeksiyalarni bilgan holda, kuchning moduli va koordinata o'qlari bilan hosil qilgan burchak kosinuslarini quyidagi formulalar orqali aniqlanadi,

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2}$$

$$\cos \alpha = \frac{F_x}{F}, \quad \cos \beta = \frac{F_y}{F}, \quad \cos \gamma = \frac{F_z}{F},$$

Agar berilgan kuchlarning hammasi bir tekislikda joylashgan bo'lsa, har bir kuchni ularning Ox va Oy o'qlardagi proyeksiyalari orqali berilishi mumkin bo'ladi. U holda yuqoridagi formulalar soddaroq ko'rinishga keladilar,

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

$$\cos \alpha = \frac{F_x}{F}, \quad \cos \beta = \frac{F_y}{F},$$

Kuchlarni analitik usulda qo'shish. Kuchlarning vektor bog'lanishi bilan ularning proyeksiyalarini bog'lanishi geometriya fanidagi quyidagi teorema orqali ifodalanadi: yig'indi vektorning biror o'qqa proyeksiyasi, yig'indi vektorni tashkil etuvchi vektorlarning shu o'qqa proyeksiyalarining yig'indisiga teng. Ushbu teoremaga asosan, agar $\vec{R}$ - vektori $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n$ vektorlarning yig'indisidan iborat

bo'lsa, ya'ni $\vec{R} = \sum \vec{F}_k$ bo'lsa, u holda:

$$R_x = \sum F_{kx}; R_y = \sum F_{ky}; R_z = \sum F_{kz};$$

shu sababli, R_x , R_y va R_z - larni bilgan holda, yig'indi vektorning moduli va burchak kosinuslarini aniqlaymiz, ya'ni:

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2 + R_z^2}$$

$$\cos \alpha = \frac{R_x}{R}, \quad \cos \beta = \frac{R_y}{R}, \quad \cos \gamma = \frac{R_z}{R},$$

Yuqoridagi formulalar kuchlarni analitik qo'shish uchun zarur bo'lgan formulalarni tashkil etadi.

Berilgan kuchlar bitta tekislikda joylashgan kuchlardan iborat bo'lsa formulalar ancha soddalashadi,

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$$

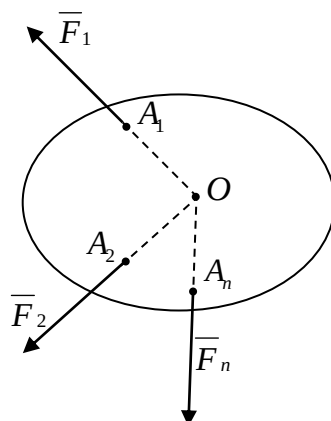
$$\cos \alpha = \frac{R_x}{R}, \quad \cos \beta = \frac{R_y}{R},$$

Agar kuchlar, o'zlarining modullari va burchak kosinuslari bilan berilgan bo'lsalar, ularni analitik usulda qo'shish uchun avvalo ularning proyeksiyalarining yig'indilarini aniqlash lozim bo'ladi.

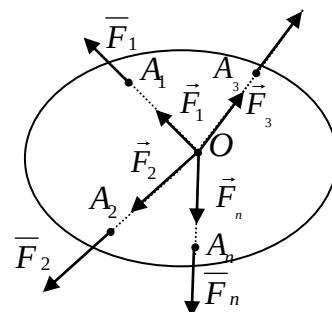
Kesishuvchi kuchlar tizimi.

Jismning $A_1, A_2, \dots, A_n$ nuqtalariga $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n$ kuchlar ta'sir etsin va ularning ta'sir chiziqlari O nuqtada kesishsin.

Ta'sir chiziqlari bir nuqtada kesishuvchi kuchlar sistemasi kesishuvchi kuchlar sistemasi deb aytiladi (a shakl).



a shakl



b shakl

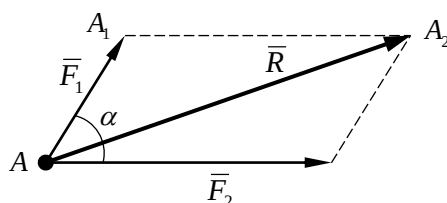
Kesishuvchi kuchlar sistemasi tekislik (fazo)dagi kesishuvchi kuchlar deyiladi, agar ularning ta'sir chiziqlari bir tekislikda joylashgan (joylashmagan) bo'lsa.

Ularni ta'sir chiziqlari bo'ylab O nuqtaga ko'chirish mumkin bo'lganligi tufayli, kesishuvchi kuchlar sistemasini bir nuqtaga qo'yilgan kuchlar sistemasi bilan almashtiramiz (b shakl).

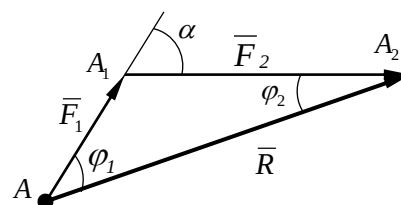
Kesishuvchi kuchlar sistemasi teng ta'sir etuvchisini geometrik usulda aniqlash

Avvalambor shuni ta'kidlaymizki, parallelogramm aksiomasiga asosan, biror A nuqtaga qo'yilgan ikki kuchning teng ta'sir etuvchisi ularga qurilgan parallelogramm diagonaliga yoki parallelogrammning yarmini tashkil etuvchi kuch uchburchagining AA_2 tomoniga teng (b shakl). Bu holda $\vec{R}$ vektor ikki $\vec{F}_1$ va $\vec{F}_2$ vektorlarning geometrik yig'indisiga teng, ya'ni $\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$.

Teng ta'sir etuvchi $\vec{R}$ ni $\vec{F}_1$ va $\vec{F}_2$ kuchlarning yo'nalishlari bilan tashkil qilgan burchaklari φ_1 va φ_2 larni hamda uning



a shakl



b shakl

miqdorini sinuslar va kosinuslar teoremlaridan foydalanib $\triangle AA_1A_2$ dan aniqlanadi

$$\frac{F_1}{\sin \varphi_2} = \frac{F_2}{\sin \varphi_1} = \frac{R}{\sin \alpha}$$

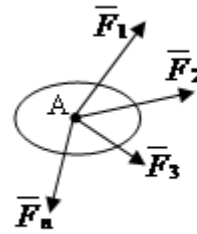
$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos \alpha}$$

bu yerda, α – $\vec{F}_1$ va $\vec{F}_2$ kuchlarning yo'nalishlari orasidagi burchak.

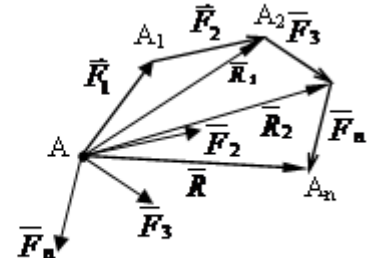
Aytaylik, A nuqtada kesishuvchi $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots,$

$\vec{F}_n$ kuchlarning sistemasi berilgan.

Birinchi ikki aksiomaning natijasidan foydalanib, bu kuchlar sistemasini A nuqtaga qo'yilgan kuchlar sistemasi bilan almashtiramiz.



a shakl



b shakl

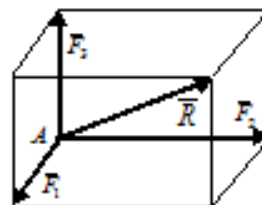
Endi quyidagini qurishni bajaramiz $\vec{F}_1$ kuchining oxiri A1 dan $\vec{F}_2$ kuch vektoriga teng bo'lgan $\vec{A_1A_2}$ vektorni o'tkazamiz, uning oxiridan vektor $\vec{A_2A_3} = \vec{F}_3$, uning oxiridan vektor $\vec{A_3A_n} = \vec{F}_n$ va hokazo. Hamma kuchlarni qo'ygandan keyin, birinchi kuchning boshi A dan oxirgi kuchining oxiri An ga $\vec{AA_n}$ kuch vektorini o'tkazamiz. $A_1A_2\dots A_n$ ko'pburchakni quramiz, u kuch ko'pburchagi deb ataladi. Kuch ko'pburchagida vektorlar oqimiga qarama-qarshi yo'nalishda bo'lgan $\vec{AA_n}$ vektorga kuch ko'pburchagini yopuvchi tomon deyiladi. Kuch ko'pburchagida shtrixlangan vektor yordamida bo'lingan uchburchaklarni qaraymiz (b shakl). Kuch uchburchagini qurish usuliga asosan $\vec{F}_1$ va $\vec{F}_2$ kuchlarning teng ta'sir etuvchisi $\vec{R}_1$, $\vec{AA_2}$ vektor vositasida tasvirlanadi, ya'ni $\vec{R}_1 = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$. $\vec{AA_3}$ vektor, $\vec{AA_2}$ va $\vec{F}_3$ kuchlarining teng ta'sir etuvchisi $\vec{R}_2$ ni tasvirlaydi, binobarin, uchta $\vec{F}_1, \vec{F}_2$ va $\vec{F}_3$ kuchlarining teng ta'sir etuvchisidir. Ya'ni, $\vec{R}_2 = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3$ va hokazo. Hamma uchburchaklarni ko'rib chiqib, quyidagi xulosaga kelamiz. Kuch ko'pburchagini yopuvchi $\vec{AA_n}$ tomoni n-ta kuchning teng ta'sir etuvchisini tasvirlaydi, ya'ni:

$$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = \sum \vec{F}_k$$

Shunday qilib kesishuvchi kuchlar sistemasining teng ta'sir etuvchisi, bu kuchlar ustiga qurilgan kuch ko'pburchagining yopuvchi tomoni sifatida geometrik aniqlanar ekan.

Demak, teng ta'sir etuvchi bu kuchlarning geometrik yig'indisiga teng bo'lar ekan. Teng ta'sir etuvchining ta'sir chizig'i kesishuvchi kuchlar sistemasi ta'sir chiziqlarining kesishgan nuqtasidan o'tadi.

Xususiyl holda bir tekislikda yotmagan uchta kesishuvchi kuchlar sistemasini ko'raylik. Bu kuchlarning teng ta'sir etuvchisi, kuchlar ustiga qurilgan parallelepipedning diagonalini orqali tasvirlanadi (parallelepiped). Da'voimizning haqligiga kuch ko'pburchagini qurish orqali ishonch hosil qilamiz.

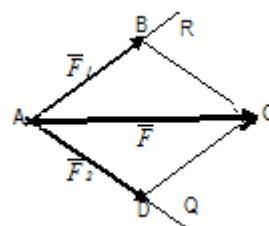


Kuchni tashkil etuvchilarga ajratish

Kuchni kesishuvchi tashkil etuvchi kuchlar sistemasiga ajratish deb, shunday kesishuvchi kuchlar sistemasini topishga aytiladiki, uning teng ta'sir etuvchisi berilgan kuchga teng bo'ladi. Boshqacha qilib aytganda, shunday kuchlar sistemasini topish kerakki, bu kuchlar ustiga qurilgan kuch ko'pburchagining yopuvchi tomoni berilgan kuchga teng bo'ladi. Bir xil yopuvchi tomonga ega bo'lgan har xil kuch ko'pburchaklarini qurish mumkin. Shuning uchun kuchni ta'sir etuvchilarga ajratish masalasini bir qiymatli hal qilish uchun, mumkin bo'lgan tashkil etuvchilar sonini cheklovchi qo'shimcha shartlar berilishi kerak. Tez-tez uchrab turadigan quyidagi ikki holni ko'ramiz:

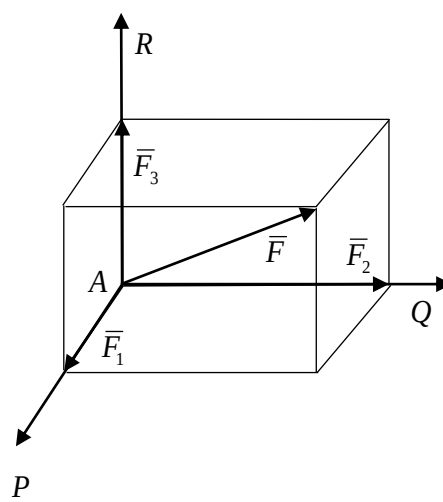
1. Berilgan $\vec{F}$ kuchni ikkita tashkil etuvchilarga ajratish

Ularning ta'sir chiziqlarining yo'nalishlari berilgan, AR va AQ $\vec{F}$ kuchi bilan bir tekislikda yotadi (shakl). Buning uchun $\vec{F}$ kuchning oxiridan izlanuvchi kuchlarning ta'sir chiziqlariga parallel qilib to'g'ri chiziqlar o'tkazamiz. Diagonali berilgan $\vec{F}$ kuchi bo'lgan ABCD parallelogramm hosil qilamiz. Uning AB va AD tomonlari izlanuvchi tashkil etuvchi $\vec{F}_1$ va $\vec{F}_2$ kuchlaridir.

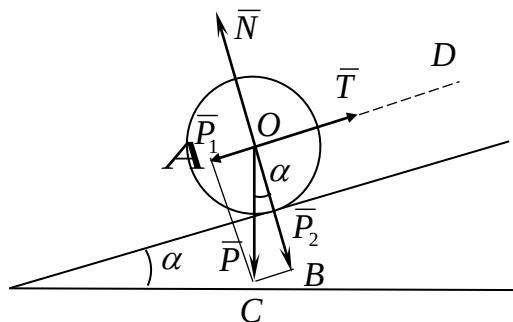


2. Berilgan $\vec{F}$ kuchni uchta kesishuvchi tashkil etuvchilarga ajratish

Kuchlarning ta'sir chiziqlarining yo'nalishlari fazoda AP, AQ, AR bo'lgan va $\vec{F}$ kuchi bilan bir tekislikda



yotmaydi (shakl). Buning uchun shunday parallelepiped qurish yetarliki, uning qirralari, ta'sir yo'nalishlari berilgan izlanuvchi kuchlardir. Diagonali esa berilgan kuchdir, u holda parallelepiped qonuniga asosan $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, $\vec{F}_3$ kuchlar parallelepiped qirralariga monand bo'lib, kuchning berilgan uchiga yo'nalish bo'yicha tashkil etuvchilaridir.



1-masala

Gorizont bilan α burchak tashkil qilgan silliq qiya tekislikda og'irligi $\bar{P}$ bo'lgan jism qiya tekislikka parallel bo'lgan OD ip yordamida muvozanatda tortib turibdi. Ipning taranglik $\bar{T}$ kuchi va jismning qiya tekislikka bo'lgan bosimi aniqlansin.

Yechish: Berilgan $\bar{P}$ kuchni qiya tekislikka parallel va unga perpendikulyar bo'lgan yo'nalishlar bo'yicha $\bar{P}_1$ va $\bar{P}_2$ tashkil etuvchilarga ajratamiz. Buning uchun diagonali $\bar{P}$ kuchiga teng bo'lgan, OA va OB tomonlari tanlab olingan yo'nalishlarga parallel bo'lgan OABC parallelogrammni quramiz. To'g'ri burchakli OBC uchburchakdan quyidagilarni aniqlaymiz:

$$P_1 = P \sin \alpha, \quad P_2 = P \cos \alpha$$

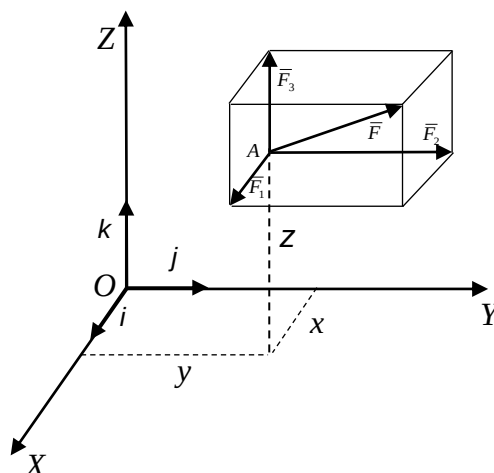
OD ip bo'ylab yo'nalgan $\bar{P}_1$ tashkil etuvchi ip reaksiya kuchi bilan muvozanatlashadi, ya'ni

$$T = P_1 = P \sin \alpha$$

Qiya tekislikka perpendikulyar bo'lgan $\bar{P}_2$ tashkil etuvchi, izlanayotgan shu tekislikka bo'lgan bosimni ifodalaydi. Shuni ta'kidlaymizki, jismga qo'yilgan qiya tekislikning $\bar{N}$ reaksiya kuchi miqdor jihatidan jismning qiya tekisligiga bo'lgan bosimga teng, ya'ni:

$$N = P_2 = P \cos \alpha.$$

Shuning uchun, tayanchga bo'lgan bosimni aniqlasak, unga teng bo'lgan



tayanch reaksiya kuchini aniqlagan bo'lamiz.

Kuchning miqdor va yo'nalishini koordinata o'qlardagi proyeksiyalari orqali aniqlash

Agar $\vec{F}$ kuchning to'g'ri burchakli koordinata o'qlardagi proyeksiyalari berilgan bo'lsa, u holda kuchning miqdori, qirralari kuch proyeksiyalarning absolyut miqdorlariga teng bo'lgan to'g'ri burchakli parallelepipedning diagonal uzunligini hisoblash tariqasida bo'ladi, ya'ni:

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2}$$

Kuchning yo'nalishi yo'naltiruvchi kosinuslar orqali quyidagicha aniqlanadi.

$$\cos(\vec{F}, \hat{x}) = \frac{F_x}{F}$$

$$\cos(\vec{F}, \hat{y}) = \frac{F_y}{F}$$

$$\cos(\vec{F}, \hat{z}) = \frac{F_z}{F}$$

Ma'lumki F kuchning to'liq berilishi uchun F_x, F_y, F_z ning proyeksiyalaridan tashqari uning qo'yilish nuqtasining koordinatalarini bilish kerak. Bunday usulga analitik usul deyiladi. shakldan parallelepiped qoidasini e'tiborga olib, koordinata o'qlarining **i, j, k** birlik vektorlaridan foydalanib, $\vec{F}$ kuchni quyidagi yig'indi shaklida tasvirlash mumkin.

$$\vec{F} = F_x \cdot \vec{i} + F_y \cdot \vec{j} + F_z \cdot \vec{k} \quad \text{yoki} \quad \vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3$$

$$\vec{F}_1 = F_x \cdot \vec{i}, \quad \vec{F}_2 = F_y \cdot \vec{j}, \quad \vec{F}_3 = F_z \cdot \vec{k}$$

bu yerda F_1, F_2, F_3 – kuchning koordinata o'qlari bo'ylab tashkil etuvchilaridir. Yuqoridagi tenglama kuchning koordinata o'qlari bo'ylab tashkil etuvchilarni tasvirlovchi formuladir.

Teng ta'sir etuvchini analitik usulda aniqlash

Geometriyadan ma'lumki, vektorlar yig'indisining biror o'qdagi proyeksiyasi tashkil etuvchi vektorlarning shu o'qdagi proyeksiyalarining algebraik yig'indisiga teng bo'ladi. Shunga asosan quyidagini topamiz:

$$R_x = \sum_{k=1}^n F_{kx} \quad R_y = \sum_{k=1}^n F_{ky} \quad R_z = \sum_{k=1}^n F_{kz}$$

Shunday qilib, kesishuvchi kuchlar sistemasinpg to'g'ri burchakli koordinata sistemasi o'qlaridagi proyeksiyalari F_{kx}, F_{ky}, F_{kz} ($k=1, 2, \dots, n$) berilgan bo'lsa, u holda teng ta'sir etuvchining proyeksiyalari R_x, R_y, R_z aniqlanadi. Keyin teng ta'sir etuvchining miqdori, yo'nalishlari aniqlanadi.

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2 + R_z^2},$$

$$\cos(\bar{R}, ox) = \frac{R_x}{R}$$

$$\cos(\bar{R}, oy) = \frac{R_y}{R}$$

$$\cos(\bar{R}, oz) = \frac{R_z}{R}$$

Kesishuvchi kuchlar sistemasining geometrik va analitik muvozanat shartlari

Kesishuvchi kuchlar sistemasiga qo'yilgan shart bajarilsa va ularning teng ta'sir etuvchisi $\mathbf{R}=0$ bo'lsa, u holda bu shartga kesishuvchi kuchlar sistemasining muvozanat sharti deyiladi.

1. Muvozanatning geometrik sharti. Ma'lumki, kesishuvchi kuchlarga qurilgan kuch ko'pburchagi yopiq bo'lganda, faqat shu holdagina $\bar{R}=0$ bo'ladi. Kesishuvchi kuchlar sistemasi muvozanatda bo'lishi uchun, kuch ko'pburchagining yopiq bo'lishi zarur va yetarlidir.

2. Muvozanatning analitik sharti. Agar $\mathbf{R}=0$ bo'lsa, u holda $R_x=0, R_y=0, R_z=0$ u holda quyidagini olamiz:

$$\sum_{k=1}^n F_{kx} = 0, \quad \sum_{k=1}^n F_{ky} = 0, \quad \sum_{k=1}^n F_{kz} = 0$$

Teskarisi, agar bu shart bajarilsa, u holda $\mathbf{R}=0$ bo'ladi. Binobarin kesishuvchi kuchlar muvozanatda bo'lishi uchun, ularning uchta koordinata o'qlardagi proyeksiyalarining yig'indisi alohida-alohida nolga teng bo'lishi zarur va yetarlidir. Agar kesishuvchi kuchlar sistemasi tekislikda joylashgan bo'lsa, u holda Ox va Oy o'qlarini shu tekislikda olib, quyidagi muvozanat shartini yozamiz.

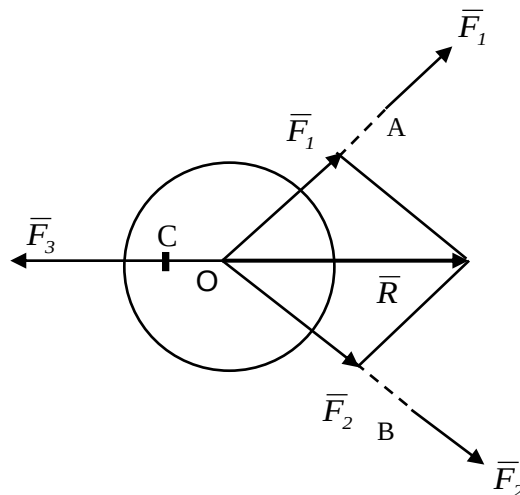
$$\sum_{k=1}^n F_{kx} = 0, \quad \sum_{k=1}^n F_{ky} = 0$$

Agar muvozanat shartlarda noma'lum reaksiya kuchlari qatnashsa va ularni aniqlashni taqozo qilsa, u holda bu shartlar muvozanat tengdamalari deb ataladi.

Uch kuch muvozanati haqida teorema

Teorema: Bir tekislikda yotuvchi parallel bo'lmagan uchta kuch ta'siridan jism muvozanatda bo'lsa, bu kuchlarning ta'sir chiziqlari bir nuqtada kesishadi (shakl).

Isbot: Kuchlar sistemasi bir tekislikda yotuvchi parallel bo'lmaganligi uchun, ulardan ixtiyoriy ikkitasining, masalan, $\vec{F}_1$ va $\vec{F}_2$ kuchlarning ta'sir chiziqlari biror O nuqtada kesishadi. $\vec{F}_1$ va $\vec{F}_2$ kuchlarni ta'sir chiziqlari bo'ylab O nuqtaga ko'chiramiz va parallelogramm qoidasiga asosan



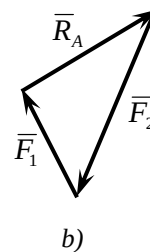
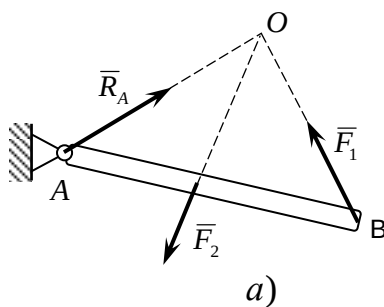
bitta O nuqtaga qo'yilgan $\vec{R}$ kuch bilan almashtiramiz. Natijada ikkita o'zaro muvozanatlashuvchi $\vec{F}_3$ va $\vec{R}$ kuchlarni olamiz. Statikaning birinchi aksiomasiga asosan $\vec{F}_3$ va $\vec{R}$ kuchlari bitta umumiy ta'sir chiziqqa ega. Demak, kuchlar bitta nuqtada kesishadi. Teorema isbotlandi.

Odatda isbot qilingan uchta bir tekislikda yotuvchi parallel bo'lmagan kuchlarning muvozanat shartlarining zaruriyligidir, ammo bu shartlar yetarli emas, chunki uchta qandaydir kuchlarning ta'sir chiziqlari bir nuqtada kesishadigan bo'lsa, ularni muvozanatlashuvchi deb xulosa chiqarib bo'lmaydi.

Uch kuch teoremasidan foydalanib, noma'lum reaksiya kuchlarining yo'nalishini avvaldan aniqlash mumkin.

Aytaylik, masalan, AB sterjen (shakl) uchta kuch ta'siridan muvozanatda. Yo'nalishi

noma'lum bo'lgan $\vec{R}_A$ reaksiya kuchining ta'sir chizig'i uch



kuch muvozanati haqidagi teoreмага asosan $\vec{F}_1$ va $\vec{F}_2$ kuchlar ta'sir chiziqlari

kesishgan O nuqtadan o'tadi. $\bar{R}_A$ reaksiya kuchining yo'nalishi esa, yopiq kuch uchburchagini qurish natijasida aniqlanadi, ya'ni kuch uchburchagida vektorlar oqimi bir xil yo'nalishda bo'ladi.

Takrorlash uchun savollar

1. Statika nimani o'rgatadi?
2. Statikaning asosiy tushunchalari nimalardan iborat?
3. Statikaning asosiy aksiyomalari qanday?
4. Bog'lanishlar deb nimaga aytiladi?
5. Bog'lanish reaksiya kuchi deb nimaga aytiladi?
6. Bog'lanishdan bo'shatish aksiyomasida nima deyiladi?
7. Bog'lanishning qanday turlarini bilasiz?
8. Jism silliq sirtga tayanganda reaksiya kuchi qanday yo'naladi?
9. Sharnirlardagi reaksiya kuchlari qanday yo'naladi?
10. Ip, sterjenlardagi reaksiya kuchlari qanday yo'naladi?
11. Bog'lanishdagi jism erkin jism holatiga qanday keltiriladi?
12. Qotish prinsipi deganda nimani tushunasiz?
13. Kesishuvchi kuchlar sistemasi qanday kuchlardan tashkil topgan?
14. Kuch ko'pburchagi deb qanday ko'pburchakka aytiladi?
15. Kesishuvchi kuchlar sistemasining teng ta'sir etuvchisi geometrik usulda qanday aniqlanadi?
16. Kuchni qanday tashkil etuvchilarga ajratish mumkin?
17. Kuchning o'qdagi proyeksiyasi qanday aniqlanadi?
18. Kuchning tekislikdagi proyeksiyasi qanday hisoblanadi va u qanday kattalik?
19. Teng ta'sir etuvchini analitik usulda qanday aniqlanadi?
20. Kesishuvchi kuchlar sistemasi geometrik muvozanat sharti qanday?
21. Kesishuvchi kuchlar sistemasi analitik muvozanat sharti qanday?
22. Uch kuch muvozanati haqidagi teoremani isbotlang.

2-mavzu. Kuchning nuqtaga nisbatan momenti. Juft kuch. Kuchning nuqtaga nisbatan momenti. Juft kuch va juft kuch momenti. Bir tekislikda joylashgan juftlarni qo'shish. Juftlar sistemasining muvozanat shartlari.

Reja:

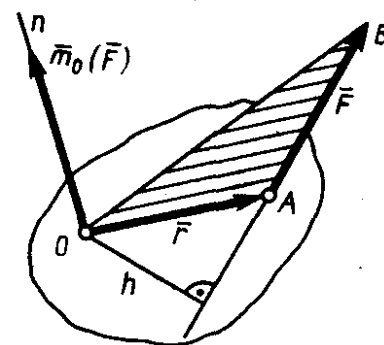
1. Kuch momenti. Kuchning nuqtaga nisbatan algebraik momenti.
2. Juft kuch va uning xossalari. Juftning algebraik momenti. Juftlarning muqobilligi haqida teorema va natijalar.
3. Bir tekislikda joylashgan juftlarni qo'shish. Juftlar tizimining muvozanat shartlari.

Tayanch so'z va iboralar:

Kuch proeksiyasi, kuch momenti, kuch elkasi, momenti markazi, kuch momenti vektori, kuch momentining geometrik ma'nosi, yo'naltiruvchi kosinuslar, juft kuch, juft kuch moment, muvozanat shartlari.

Kuchning markazga (yoki nuqtaga) nisbatan momenti.

Kuchning nuqtaga nisbatan momenti haqidagi muhim tushunchani kiritamiz. Kuchning momenti hisoblanayotgan nuqta moment markazi deb ataladi, kuchning shu nuqtaga nisbatan olingan momenti-markazga nisbatan moment deb ataladi. Agar jism qo'yilgan kuchlar ta'sirida, biror nuqta atrofida aylanma harakat qila olsa, kuchning shu nuqtaga nisbatan momenti jismning aylanma harakatini samaradorligini belgilaydi.



Masalan, A nuqtaga qo'yilgan $\vec{F}$ - kuchini olib ko'raylik (shakl). Birorta O markazdan shu $\vec{F}$ kuchning ta'sir chizig'iga perpendikulyarl chiziq o'tkazaylik; shu perpendikulyarl chiziqning uzunligi h -ni O markazga nisbatan $\vec{F}$ -kuchning yelkasi deb ataladi. Kuchning O markazga nisbatan momenti: 1) $F \cdot h$ ko'paytmadan iborat bo'lgan momentning modulidan; 2) O markaz va $\vec{F}$ kuch vektoridan o'tuvchi OAB tekisligining joylashishidan; 3) jismning shu tekislik bo'yicha aylanishining yo'nalishiga bog'liq ravishda aniqlanadi.

Analitik geometriya fanidan ma'lumki, har qanday tekislikning fazodagi holati unga o'tkazilgan normal (perpendikulyarl)ning yo'nalishi bilan aniqlanadi. Shunday qilib kuchning markazga nisbatan momenti nafaqat uning moduli bilan, balki fazodagi yo'nalishi bilan ham belgilanadi, ya'ni kuchning momenti vektor qiymatdan iborat ekan.

$\vec{F}$ -kuchning O markazga nisbatan momenti deb, kuchning moduli bo'yicha F -ni h - yelkaga ko'paytmasiga teng bo'lgan, yo'nalishi bo'yicha, O markaz va $\vec{F}$ kuch vektori yotgan tekislikka perpendikulyarl bo'lgan va shu O markazga qo'yilgan $\vec{m}_O(\vec{F})$ -vektorga aytiladi. Shu $\vec{m}_O(\vec{F})$ vektorning uchidan qaraganimizda $\vec{F}$ kuch vektori O markaz atrofida soat strelkasiga teskari yo'nalishda bo'lishi shart (shakl). Shu qoidaga binoan,

$$|\vec{m}_O(\vec{F})| = F \cdot h = 2 \cdot S_{OAB}$$

bu yerdagi S_{OAB} -OAB uchburchakning yuzasi. Oxirgi natija shuni belgilaydiki $S_{OAB} = AB \cdot h / 2 = F \cdot h / 2$ ga teng bo'ladi. Kuchning momenti Nyuton·metr (N·m) larda o'lchanadi. $\vec{m}_O(\vec{F})$ - vektorning ifodasini aniqlash uchun, $\vec{OA}$ vektorni $\vec{F}$ - vektorga vektor ko'paytmasini, $\vec{OA} \times \vec{F}$ ko'paytmani yozib chiqamiz,

$$|\vec{OA} \times \vec{F}| = 2 \cdot S_{OAB} = |\vec{m}_O(\vec{F})|$$

$\vec{OA} \times \vec{F}$ vektor OAB tekisligiga perpendikulyarl bo'lib, shu vektorning uchidan qarab $\vec{OA}$ vektorni soat strelkasining aylanishiga teskari tomonga burilganda 180° dan kam bo'lgan burchakda $\vec{F}$ -vektor bilan ustma-ust tushadi, ya'ni $\vec{m}_O(\vec{F})$ -vektor bilan bir xil ekanligi isbotlandi. Demak $\vec{OA} \times \vec{F}$ va $\vec{m}_O(\vec{F})$ vektorlar ham yo'nalishlari bo'yicha, ham modullari bo'yicha bir xil vektorlar ekanligi isbotlandi, ya'ni bitta vektor ekanligi ma'lum bo'ldi. Bunga asosan,

$$\vec{m}_O(\vec{F}) = \vec{OA} \times \vec{F} \quad \text{ёкн} \quad \vec{m}_O(\vec{F}) = \vec{r} \times \vec{F},$$

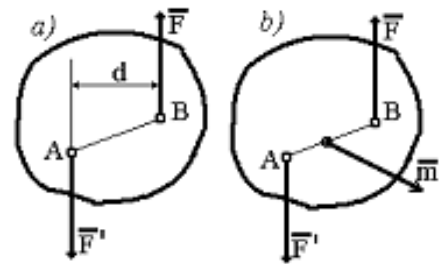
bu yerda $\vec{r} = \vec{OA}$, A nuqtaning O markazdan o'tkazilgan radius vektori.

Shunday qilib, $\vec{F}$ -kuchning O markazga nisbatan olingan momenti, O markazdan kuch qo'yilgan nuqtaga o'tkazilgan radius vektor $\vec{r} = \vec{OA}$ -ni kuch vektoriga vektor ko'paytmasiga teng ekan. Ushbu xulosa, kuchning markazga nisbatan olingan momentining ikkinchi ta'rifi bo'lib xizmat qilishi mumkin.

Kuchning quyidagi xossalarini aytib o'tamiz: 1) kuchning qo'yilgan nuqtasini, uning ta'sir chizig'i bo'ylab o'zgartirganimizda, momentning son qiymati (moduli) o'zgarmaydi; 2) agar kuchning ta'sir chizig'i O markazni kesib o'tsa (kuchning yelkasi nolga teng bo'ladi), yoki kuchning moduli nolga teng bo'lgan hollarda kuchning momenti nolga teng bo'ladi.

Juft kuch. Juftning momenti.

Modullari o'zaro teng, yo'nalishlari qarama-qarshi va parallel bo'lgan vektorlardan tashkil topgan ikkita kuchlardan iborat sistemaga-juft kuch¹ deb, ataladi (a shakl). Juft kuchlarni tashkil etuvchi $\vec{F}$ va $\vec{F}'$ vektorlardan iborat kuchlar sistemasi hech qachon muvozanat holatda bo'lmaydi (chunki bu kuchlar bir to'g'ri chiziqda yotmaydilar). o'z navbatida bu kuchlar sistemasining teng ta'sir etuvchisi ham bo'lmaydi, chunki ixtiyoriy kuchlar sistemasining bosh vektori, ya'ni vektor yig'indisi $\vec{R}$ bo'ladi, juft kuchlar uchun u $\vec{R} = \vec{F} + \vec{F}' = 0$ ga teng bo'ladi. Shu sababli juft kuchlar, jismlarning o'zaro maxsus ta'sirlariga oid bo'lganligi uchun, alohida o'rganiladi.



Juft kuchlarning ta'sir chiziqlari joylashgan tekislik, juft kuchlarning tekisligi deb ataladi. Juft kuchlarning ta'sir chiziqlari orasidagi eng qisqa masofa, juftning yelkasi deb ataladi. Juft kuchlarning jismga ta'siri, uning aylanma harakatini belgilaydi va uni belgilovchi qiymat juftning momenti deb ataladi. Juftning momenti: 1) $F \cdot d$ -ko'paytmadan iborat bo'lgan juftning moduli; 2) juftning ta'sir kuchi joylashgan tekislik; 3) juftning shu tekislik bo'yicha aylanishining yo'nalishi bilan

¹ Juftlar nazariyasini, buyuk frantsuz olimi- mexanik va geometr L.Puanso (1777-1859y.) yaratgan

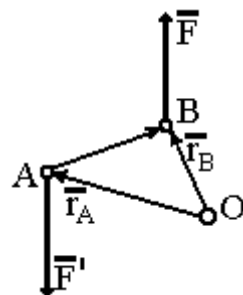
belgilanadi. Shunday qilib, kuchning markazga nisbatan momenti kabi, juftning momenti ham vektor qiymatdan iborat ekan.

Ta'rif: Juft kuchning momenti deb, moduli juftni tashkil qiluvchi kuchlarning birini modulini juftning yelkasiga ko'paytmasiga teng bo'lgan, yo'nalishi esa juft kuchlar yotgan tekislikka perpendikulyar bo'lib, jismni soat strelkasi yo'nalishiga teskari bo'lgan yo'nalishda aylantirishga harakat qiluvchi $\vec{m}$ yoki $\vec{M}$ - harfi bilan belgilanadigan vektorga aytiladi (b shakl).

$\vec{F}$ - kuchning A nuqtaga nisbatan yelkasi d - ga teng bo'lib, $\vec{F}$ - kuch va A nuqta yotgan tekislik bilan juft kuchlar joylashgan tekislik bir bo'lganligi uchun,

$$\vec{m} = \vec{m}_A(\vec{F}) = \vec{AB} \times \vec{F}$$

formula o'rinli bo'ladi. Lekin, kuchning vektor momenti faqat markazga qo'yilsa, juft kuchning vektor momenti ixtiyoriy nuqtaga qo'yilishi mumkin (ya'ni erkin vektor deb ataladi). Juft kuchning momenti ham, kuchning momenti kabi n'yuton-metr (N·m) bilan o'lchanadi.



Juft kuchning momentiga boshqacha ham ta'rif byerish mumkin. Juftning momenti juftni tashkil etuvchi kuchlarning ixtiyoriy O markazga nisbatan olingan momentlarning yig'indisiga teng, ya'ni

$$\vec{m} = \vec{m}_O(\vec{F}) + \vec{m}_O(\vec{F}'),$$

Ushbu ta'rifni isbotlash uchun, ixtiyoriy O markaz tanlab olamiz (shakl), va bu nuqtadan kuchlar qo'yilgan nuqtalarga $\vec{r}_A = \vec{OA}$ va $\vec{r}_B = \vec{OB}$ bo'lgan radius vektorlar o'tkazamiz. U holda $\vec{F}' = -\vec{F}$ ekanligini e'tiborga olib

$$\vec{m}_O(\vec{F}) = \vec{r}_B \times \vec{F}, \quad \vec{m}_O(\vec{F}') = \vec{r}_A \times \vec{F}' = -\vec{r}_A \times \vec{F},$$

hosil qilamiz, ularning geometrik yig'indisi:

$$\vec{m}_O(\vec{F}) + \vec{m}_O(\vec{F}') = (\vec{r}_B - \vec{r}_A) \times \vec{F} = \vec{AB} \times \vec{F},$$

hosil qilamiz. $\overline{AB} \times \overline{F} = \overline{m}$, ekanligini hisobga olsak formula isbotlanganligini ko'ramiz. Bundan yuqorida ko'rsatilgan natija kelib chiqadi, ya'ni

$$\overline{m} = \overline{AB} \times \overline{F} = \overline{m}_A(\overline{F}) \text{ yoki } \overline{m} = \overline{m}_B(\overline{F})$$

demak, juftning momenti birorta kuchning ikkinchi kuch qo'yilgan markazga nisbatan momentiga teng ekan. Juft kuchlar momentining moduli $m=F \cdot d$ formula orqali hisoblanadi.

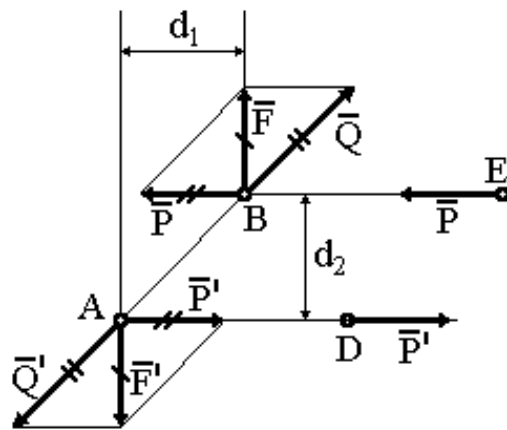
Agarda, juft kuchlarning qattiq jismga ta'siri (aylantirish samarasi) har bir kuchning ixtiyoriy O nuqtaga nisbatan olingan momentlarning yig'indisiga teng ekanligini e'tiborga olsak formulaga asosan momentlari teng bo'lgan ikkita juft kuchlar ekvivalent bo'lar ekan. Ya'ni ular jismga bir xil ta'sir ko'rsatar ekanlar. Boshqacha qilib aytganimizda, vektor momentlari $\overline{m}$ - o'zaro teng bo'lgan ikkita juft kuchlar, ularni tashkil etuvchi kuchlarning modullari qanday bo'lishligidan qat'iy nazar va ular bitta tekislikdami yoki parallel tekislikdami joylashganliklaridan qat'iy nazar ekvivalent juftlar ekanlar. Juft kuchlar uchun markaz O nuqtaning ahamiyati bo'lmaganligi uchun, uning vektor momentini ixtiyoriy nuqtaga joylash mumkin, ya'ni erkin vektor hisoblanadi.

Keyinchalik juft kuchni chizmalarda tasvirlashda uning o'rniga, uni xarakterlovchi vektor moment $\overline{m}$ - ni tasvirlaymiz. U holda m - juftning moduli (son qiymati)ni va $\overline{m}$ - vektor orqali juftning ta'sir etayotgan tekisligi hamda uning aylanish yo'nalishini aniqlab olinadi.

Agarda jismga bir vaqtning o'zida moment vektorlari $\overline{m}_1, \overline{m}_2, \dots, \overline{m}_n$ -ga teng bo'lgan bir nechta juft kuchlar ta'sir etsa, shu juftlarni ixtiyoriy nuqtaga nisbatan olingan momentlarining yig'indisi $\overline{m}_1 + \overline{m}_2 + \overline{m}_3 + \dots + \overline{m}_n$, lardan iborat vektor bo'lib, uning bosh momenti momenti $\overline{M} = \sum \overline{m}_k$ -ga teng bo'lgan bitta juft kuchga ekvivalent bo'ladi. Bu natija juftlarni qo'shish haqidagi teoremaning ifodasi hisoblanadi.

Juftlarni qo'shish va ularni ekvivalentligi haqidagi teorema

Jismga $\vec{F}$ va $\vec{F}'$ kuchlardan tashkil etgan juft ta'sir etayotgan bo'lsin. Shu juft kuchlar joylashgan tekislikda yotuvchi ixtiyoriy olingan D va E nuqtalardan shu tekislikda o'zaro parallel bo'lgan ikkita chiziq o'tkazaylik. Bu chiziqlar $\vec{F}$ va $\vec{F}'$ kuchlarning ta'sir chiziqlarini A va B nuqtalarda kesib o'tishsin (shakl). So'ngra shu $\vec{F}$ va $\vec{F}'$ kuchlarni (ular ilgari boshqa nuqtalarga joylashgan bo'lsalar) ana shu A va B nuqtalarga ko'chirib qo'yaylik. Endi $\vec{F}$ -kuchni AB va EB yo'nalishdagi ikkita $\vec{Q}$ va $\vec{P}$ tashkil etuvchi vektorlarga ajrataylik, o'z navbatida $\vec{F}'$ -kuchni ham BA va AD yo'nalishda bo'lgan ikkita $\vec{Q}'$ va $\vec{P}'$ vektorlarga ajrataylik.



Shaklda tasvirlangandek, $\vec{Q}' = -\vec{Q}$ va $\vec{P}' = -\vec{P}$ tenglamalar o'rinli bo'ladi. Shu sababli $\vec{Q}'$ va $\vec{Q}$ vektorlarni o'zaro muvozanatlovchi sistemani tashkil qilganligi sababli jismdan olib tashlaymiz. Natijada berilgan $\vec{F}$ va $\vec{F}'$ juft kuchlar o'rnida $\vec{P}$ va $\vec{P}'$ kuchlardan tashkil topgan, kuchlarning modullari ham, ularning yelkalari ham boshqa bo'lgan yangi juft kuchlar paydo bo'ldi. Yangi hosil bo'lgan juftni tashkil etuvchi $\vec{P}$ va $\vec{P}'$ kuchlarni D va E nuqtalarga qo'ysak, ularning ta'sir chiziqlari ham boshqacha ekanligini ko'rishimiz mumkin.

D va E nuqtalarni ixtiyoriy ravishda tanlab olganligimiz va ularni kesib o'tuvchi AD va BE chiziqlarni ham ixtiyoriy ravishda yo'naltirganligimizni e'tiborga olsak, $\vec{P}$ va $\vec{P}'$ kuchlardan tashkil topgan juftni, tekislikning xohlagan joyida hosil qilishimiz mumkinligining guvohi bo'ldik. Hosil bo'lgan $\vec{P}$ va $\vec{P}'$ kuchlardan iborat juftning kuchlarini $\vec{F}$ -kuchning ta'sir chizig'iga parallel holda ham paydo qilish mumkin, buning uchun yuqoridagi o'zgartirishlarni yana bir marta qaytarish lozim bo'ladi.

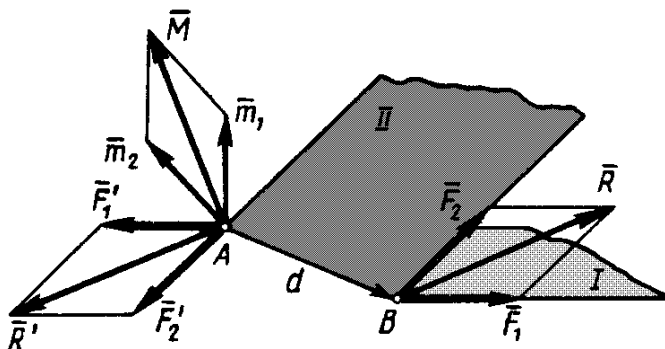
Endi $\vec{F}$, $\vec{F}'$ va $\vec{P}$, $\vec{P}'$ kuchlardan tashkil topgan juftlarning momentlari o'zaro teng ekanligini ko'rsatib o'taylik. Ularning momentlarini tegishlicha $\vec{m}_1$ va $\vec{m}_2$ -lar bilan belgilaylik. Moment vektorini aniqlash formulasiga asosan $\vec{m}_1 = \vec{AB} \times \vec{F}$ va $\vec{m}_2 = \vec{AB} \times \vec{P}$ bo'ladi. Ammo $\vec{F} = \vec{P} + \vec{Q}$ bo'lganligi sababli $\vec{AB} \times \vec{F} = \vec{AB} \times \vec{P} + \vec{AB} \times \vec{Q}$, lekin $\vec{AB} \times \vec{Q} = 0$ ekanligi sababli $\vec{m}_1 = \vec{m}_2$ ekanligi isbotlandi.

Ushbu isbot qilingan natijaga asosan quyidagi xulosaga kelamiz:

1) juft kuchlarni ular joylashgan tekislikning bir joyidan ixtiyoriy boshqa joyga ko'chirsak, jismning holati o'zgarmaydi.

2) juft kuchlar momentining modulini o'zgartirmagan holda, juftni tashkil etuvchi kuchlarining modullarini va juftning yelkasini tegishli ravishda o'zgartirsak, jismning holati o'zgarmaydi.

Bulardan tashqari, juft kuchlarning yana bir muhim xossasini isbotsiz keltiriladi.



3) juft kuchni bir tekislikdan o'ziga parallel bo'lgan va shu jismga tegishli bo'lgan har qanday boshqa tekislikka ko'chirsak, jismning holati o'zgarmaydi.

Demak, moment vektorlari o'zaro teng va bir xil yo'nalgan ikkita juft ekvivalent juftlar ekan (ekvivalent juftlar haqidagi teorema). Bunga asosan, har qanday juftni vektor momentini saqlagan holda, uning tashkil etuvchi kuchlar modullari va yelkalarini o'zgartirish yoki bir tekislikdan o'ziga parallel bo'lgan boshqa tekislikka ko'chirish yoki bir tekislikning bir joyidan boshqa istalgan joyga ko'chirish kabi amallarni bajarish mumkin ekanligi isbotlandi.

Endi juftlarni qo'shish haqidagi teoremani isbot qilaylik. Teorema: qattiq jismga ta'sir etuvchi bir necha juftlar, shunday bitta juftga ekvivalentki, bu ekvivalent

juft momentining vektori berilgan juftlar momentlari vektorlarining geometrik yig'indisiga teng bo'ladi.

Buni isbotlash uchun I va II tekisliklarda joylashgan va momentlari $\vec{m}_1$ va $\vec{m}_2$ dan iborat ikkita juftni olaylik (shakl). Tekisliklarning kesishgan chizig'ida yotuvchi $AB=d$ kesmani olaylik va shu kesmada $\vec{F}_1, \vec{F}_1'$ kuchlardan tashkil topgan $\vec{m}_1$ - juftni, hamda $\vec{F}_2, \vec{F}_2'$ kuchlardan tashkil topgan $\vec{m}_2$ - juftni tasvirga tushiraylik (lekin, albatta, $F_1 \cdot d = m_1$ va $F_2 \cdot d = m_2$).

A va B nuqtalarga qo'yilgan kuchlarni geometrik ravishda qo'shib, shuni aniqlaymizki, $\vec{F}_1, \vec{F}_1'$ va $\vec{F}_2, \vec{F}_2'$ lardan iborat bo'lgan ikkita juft $\vec{R}, \vec{R}'$ - kuchlardan tashkil topgan bitta juftga ekvivalent ekan. Endi shu ekvivalent juftning moment vektorini aniqlaylik. $\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$ bo'lgani sababli $\vec{AB} \times \vec{R} = \vec{AB} \times \vec{F}_1 + \vec{AB} \times \vec{F}_2$ yoki moment vektorini aniqlash formulasiga asosan $\vec{M} = \vec{m}_1 + \vec{m}_2$ ekanligi isbotlandi.

Ushbu teorema ikkita juft uchun isbot qilindi, lekin shuni ta'kidlash lozimki, agar tekisliklar ustma-ust bo'lsalar (ya'ni I va II tekisliklar bitta tekislikdan iborat bo'lsa) ham ushbu teorema o'z kuchini saqlab qoladi.

Agar jismga bir vaqtning o'zida moment vektorlari $\vec{m}_1, \vec{m}_2, \dots, \vec{m}_n$ dan iborat bo'lgan n - ta juftlar ta'sir etsa, juftlarni yuqorida isbot qilingan teorema asosan, birin ketin-qo'shish orqali ularni yagona ekvivalent juft bilan almashtirish mumkin bo'lib, hosil bo'lgan ekvivalent juftning moment vektori

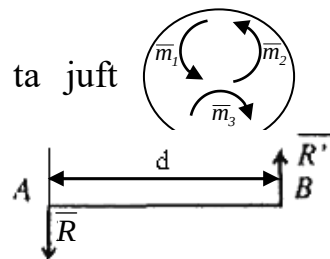
$$\vec{M} = \vec{m}_1 + \vec{m}_2 + \dots + \vec{m}_n = \sum \vec{m}_k \text{ formula orqali aniqlanadi.}$$

Yuqoridagilarga asosan, bir nechta juft kuchlar ta'siridagi qattiq jismning muvozanat shartini aniqlash oson, ya'ni $\vec{M} = 0$ yoki $\sum \vec{m}_k = 0$ dan iborat bo'lar ekan.

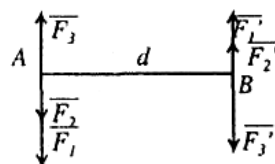
Tekislikda yotuvchi juftlarni qo'shish

Teorema: Tekislikda ixtiyoriy joylashgan juftlarni, momenti berilgan juftlar momentlarining algebraik yig'indisiga teng bo'lgan bitta juft bilan almashtirish mumkin.

Isbot: Tekislikda momentlari m_1, m_2, m_3 bo'lgan 3 ta juft joylashgan. Juftlarning ta'sir tekisligida ixtiyoriy AB kesmani, berilgan juftlar uchun umumiy yelka uchun tanlab olamiz (shakl) momentlari m_1, m_2, m_3 bo'lgan juftlarni, momentlari berilgan juftlarni momentlariga teng bo'lgan $(\bar{F}, \bar{F}')$, $(\bar{F}_2, \bar{F}_2')$, $(\bar{F}_3, \bar{F}_3')$ juftlar bilan almashtiramiz, ya'ni $m_1 = F_1 \cdot d$, $m_2 = F_2 \cdot d$, $m_3 = F_3 \cdot d$.



A nuqtaga qo'yilgan kuchlarni bitta kuch $\bar{R} = \bar{F}_1 + \bar{F}_2 + \bar{F}_3$ bilan almashtiramiz. B nuqtaga qo'yilgan kuchlarni bitta kuch $\bar{R}' = \bar{F}_1' + \bar{F}_2' + \bar{F}_3'$ bilan almashtiramiz. Boshqacha aytganda



$(\bar{R}, \bar{R}')$ kuchlar sistemasi berilgan juftlarga teng ta'sir etuvchi juftidir (shakl). Teng ta'sir etuvchi juftning momenti quyidagiga teng bo'ladi

$$M = R_1 d = (F_1 + F_2 - F_3) d = F_1 \cdot d + F_2 \cdot d + (-F_3 \cdot d)$$

yoki $M = m_1 + m_2 + m_3$, teorema isbotlandi. Xuddi shunday ixtiyoriy sondagi juftlar uchun quyidagini yozish mumkin,

$$M = \sum_{k=1}^n m_k$$

Juftlarning muvozanat sharti

Bir tekislikda ixtiyoriy joylashgan juftlar muvozanatda bo'lsin. Hamma juftlarni bitta juft bilan almashtirib, muvozanat mavjud bo'lishi uchun yoki $R=0$ yoki $d=0$ bo'lishi kerak degan xulosaga kelimiz. U holda $R \cdot d=0$, ya'ni juft momenti $M=0$. Bu

yerdan ko'rinadiki, $\sum_{k=1}^n m_k = 0$.

Demak, bir tekislikda ixtiyoriy joylashgan juftlar sistemasi muvozanatda bo'lsa, ular momentlarining algebraik yig'indisi 0 ga teng bo'ladi. Bu xulosaning teskarisi ham o'rinlidir. Ya'ni bir tekislikda ixtiyoriy joylashgan juftlar momentlarning algebraik yig'indisi nolga teng bo'lsa, bu juftlar sistemasi muvozanatda bo'ladi.

Haqiqatan ham agar $\sum m_k = 0$ bo'lsa, u holda $M=R \cdot d=0$. Bu yerdan $R=0$ yoki $d=0$ bo'lishi mumkin. Har ikkala holda ham sistema muvozanatda bo'ladi. Demak tenglik juftlar sistemasi muvozanatining zarur va yetarli shartini ifodalaydi.

Takrorlash uchun savollar

1. Kuchninig nuqtaga nisbatan momenti deb nimaga aytiladi?
2. Kuchning nuqtaga nisbatan momenti qachon nolga teng bo'ladi?
3. Kuchni ta'sir chizig'i bo'ylab ko'chirilsa kuch momenti o'zgaradimi?
4. Kuchning nuqtaga nisbatan momentining geometrik ma'nosi qanday?
5. Teng ta'sir etuvchi kuchning momenti tashkil etuvchi kuchlar momenti orqali qanday hisoblanadi?
6. Juft kuch deb nimaga aytiladi?
7. Juft kuch momenti qanday hisoblanadi?
8. Qanday juft kuchlar ekvivalent bo'ladi?
9. Tekislikdagi juft kuchlarni qanday qo'shish mumkin?
10. Tekislikdagi juft kuchlarning muvozanat shartlari qanday?

3-mavzu. Tekislikda va fazoda ixtiyoriy joylashgan kuchlar sistemasi. Kuchni o'ziga parallel ko'chirish. Tekislikda va fazoda kuchlar sistemasini bir markazga keltirish. Tekislikda va fazoda kuchlar sistemasining muvozanat shartlari.

Reja:

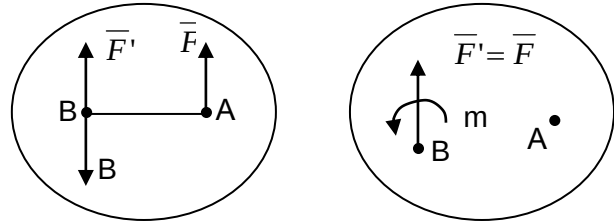
1. Tekislikda va fazoda ixtiyoriy joylashgan kuchlar sistemasini bir markazga keltirish.
2. Tekislikdagi va fazodagi ixtiyoriy kuchlar tizimining muvozanati.
3. Tekislikdagi va fazodagi kuchlar tizimi muvozanat shartlarining uch xil ko'rinishi.
4. Kuchni o'ziga parallel ixtiyoriy nuqtaga ko'chirishga oid teorema.

Tayanch so'z va iboral:

Tekislikda ixtiyoriy joylashgan kuchlar, ixtiyoriy kuchlar tizimining muvozanati, muvozanat shartlarining uch xil ko'rinishi, kuchni o'ziga parallel ixtiyoriy nuqtaga ko'chirish, teng ta'sir etuvchining momenti.

Teorema: Absolyut qattiq jismning biror nuqtasiga qo'yilgan kuchni jismga ta'sirini o'zgartirmay o'ziga parallel ravishda boshqa ixtiyoriy nuqtaga keltirish, momenti berilgan kuchdan keltirish nuqtasiga nisbatan olingan kuch momentiga teng bo'lgan juft qo'shishni taqozo qiladi.

Isbot: Jismning biror A nuqtasiga F kuch qo'yilgan bo'lsin. Jismning ixtiyoriy B nuqtasiga tashkil etuvchilari F' va F'' miqdor jihatidan F

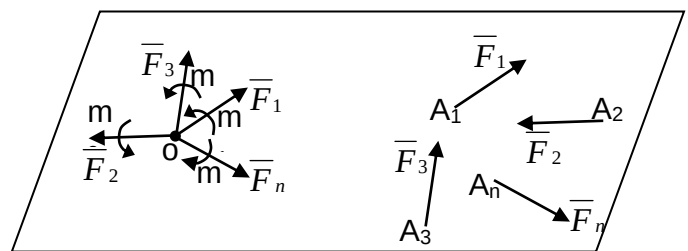


kuchga teng bo'lgan ya'ni $F' = F'' = F$ nolli sistemani kuchga parallel ravishda qo'yamiz (shakl). Hosil bo'lgan uchta kuchdan $(\vec{F}, \vec{F}', \vec{F}'')$ iborat bo'lgan sistema berilgan F kuchga ekvivalentdir. Bu sistemani F kuch va $(\vec{F}, \vec{F}'')$ juftdan tashkil topgan deb qarash mumkin. Binobarin A nuqtaga qo'yilgan F kuchi, B nuqtaga qo'yilgan shunday F' kuchiga va $(\vec{F}, \vec{F}'')$ juftga ekvivalentdir. Juft $(\vec{F}, \vec{F}'')$ ni qo'shilgan juft deb ataladi. Uning momentini aniqlaymiz $\vec{m}(\vec{F}, \vec{F}'') = F \cdot d = m_B(\vec{F})$.

Binobarin qo'yilgan juftning momenti A nuqtaga qo'yilgan F kuchdan, ko'chirish zarur bo'lgan B nuqtaga nisbatan momentga teng bo'ladi. Bu teoremaning tafsiloti shakllarda tasvirlangan.

Tekislikda ixtiyoriy joylashgan kuchlar sistemasini bir markazga keltirish

Bosh vektor va bosh moment. Qattiq jismga tekislikda ixtiyoriy joylashgan



$\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n$ kuchlar sistemasi ta'sir qilsin. Tekislikda keltirish markazi deb ataluvchi ixtiyoriy O nuqtani olib, momentlari m_1, m_2, m_n bo'lgan qo'shilgan juftlarni qo'shib, hamma kuchlarni shu markazga keltiramiz, (shakl). Demak $(\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n)$. Kuchlar

sistemi O nuqtaga qo'yilgan $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n$ kuchlar sistemasiga va bir tekislikda joylashgan momentlari

$$m_1 = m_0(\vec{F}_1), \quad m_2 = m_0(\vec{F}_2) \dots m_n = m_0(\vec{F}_n)$$

bo'lgan juftlar sistemasiga ekvivalent bo'ladi.

O nuqtaga qo'yilgan kuchlarni qo'shib, ularni bitta kuch bilan almashtiramiz.

$$\vec{R}' = \sum_{k=1}^n \vec{F}_k$$

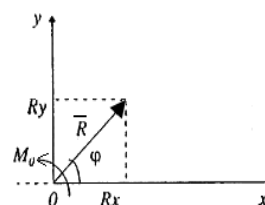
Modomiki, $\vec{F}'_k = \vec{F}_k$, u holda $\vec{R}' = \sum_{k=1}^n \vec{F}_k$ kattalik berilgan kuchlar sistemasining bosh vektori deb ataladi. Binobarin tekislikda ixtiyoriy joylashgan kuchlar sistemasini bosh vektori berilgan kuchlarning geometrik yig'indisiga teng ekan. Tekislikda joylashgan qo'shilgan juftlarni jamlab, momenti $M_0 = m_1 + m_2 + \dots + m_n$ bo'lgan bitta juft bilan almashtiramiz. Formulada momentlarni e'tiborga olib, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$M_0 = m_0(\vec{F}_1) + m_0(\vec{F}_2) + \dots + m_0(\vec{F}_n)$$

yoki

$$M_0 = \sum_{k=1}^n m_0(\vec{F}_k)$$

Moment M_0 berilgan kuchlar sistemasining O keltirish markaziga nisbatan bosh momenti deb ataladi. Demak, tekislikda ixtiyoriy joylashgan kuchlar sistemasini biror markazga nisbatan bosh momenti berilgan sistemaning kuchlaridan keltirish markaziga nisbatan olingan momentlarning algebraik yig'indisiga teng. Olingan natijani quyidagi teorema shaklida keltirish mumkin. Tekislikda ixtiyoriy joylashgan kuchlar sistemasini umumiy holda, sistemaning bosh vektoriga teng bo'lgan va qandaydir O nuqtaga qo'yilgan bitta kuch va shu tekislikda yotuvchi momenti berilgan kuchlar sistemasining shu nuqtaga nisbatan bosh momentiga teng bo'lgan bitta juft bilan almashtirish mumkin (shakl).



Bosh vektor R' ni miqdor va yo'nalishini analitik aniqlash. Koordinata sistemasi boshini keltirish markazi O nuqtada olib, (shakl) OX va OY o'qlarini o'tkazib, R' ning miqdorini quyidagi formula yordamida aniqlaymiz.

$$R' = \sqrt{(R'_x)^2 + (R'_y)^2}$$

Bu yerda R'_x va R'_y bosh vektor R' ning koordinata o'qlaridagi proyeksiyalaridir. Tenglikni koordinata o'qlariga proyeksiyalab, quyidagini olamiz:

$$R'_x = \sum_{k=1}^n F_{kx}, \quad R'_y = \sum_{k=1}^n F_{ky}$$

Ya'ni kuchlar sistemasi bosh vektorining koordinata o'qlaridagi proyeksiyalari, kuchlarning shu o'qlardagi proyeksiyalarining algebraik yig'indisiga tengdir. Bu formulaga R'_x , R'_y larning qiymatlarini keltirib qo'yib, quyidagini olamiz

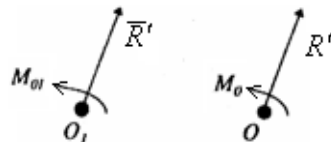
$$R' = \sqrt{\left(\sum_{k=1}^n F_{kx}\right)^2 + \left(\sum_{k=1}^n F_{ky}\right)^2}$$

Bosh vektor R' ning yo'nalishi, uni OX o'qi bilan tashkil qilgan φ burchagi orqali quyidagicha aniqlanadi

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{R'_y}{R'_x}$$

Shuni ta'kidlaymizki, bosh vektor R' keltirish markazini o'zgartirish bilan o'zgarmaydi, chunki berilgan kuchlar sistemasining miqdor va yo'nalishlari o'zgarmas qoladi.

Keltirish markazi o'zgarishi bilan bosh momentning o'zgarishi. Berilgan ($F_1, F_2, \dots, F_n$) kuchlar sistemasini bir O markazga keltirib, O nuqtaga qo'yilgan R' kuchni va momenti M_0 bo'lgan juftni olamiz (shakl).



Keltirish markazi uchun boshqa O_1 nuqtani olamiz va bu nuqtaga nisbatan bosh momentni M_{01} deb belgilaymiz, R' kuchni O nuqtadan O_1 nuqtaga ko'chirish uchun momenti O_1 nuqtaga qo'yilgan R' kuchdan O_1 nuqtaga nisbatan olingan kuch momentiga teng bo'lgan ya'ni $m_{01}(R')$ juftni qo'shish kerak. Bu juftni kuchlar

sistemasining O ga keltirish natijasida hosil bo'lgan juft bilan qo'shib, momenti quyidagiga teng bo'lgan bitta juft hosil qilamiz

$$M_{01} = M_0 + m_{01}(\bar{R}')$$

bundan

$$M_{01} - M_0 = m_{01}(\bar{R}')$$

Demak, keltirish markazi o'zgarishi bilan bosh momentning o'zgarishi oldingi markazga qo'yilgan bosh vektordan, keyingi markazga nisbatan olingan momentga teng bo'lar ekan.

Keltirishning xususiy hollari. Tekislikda ixtiyoriy joylashgan kuchlar sistemasini sodda hollarga keltirish. Tekislikda ixtiyoriy joylashgan kuchlar sistemasini biror O markazga keltirishda quyidagi xususiy hollar mavjud

$$1) \bar{R}' = 0, M_0 \neq 0$$

$$2) \bar{R}' \neq 0, M_0 = 0$$

$$3) \bar{R}' \neq 0, M_0 \neq 0$$

$$4) \bar{R}' = 0, M_0 = 0$$

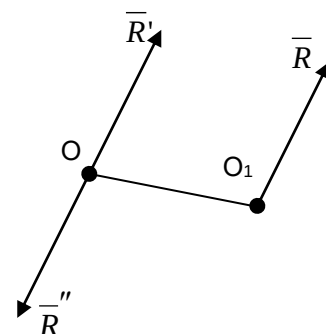
Kuchlar sistemasini bir juftga keltirish

Agar tekislikda ixtiyoriy joylashgan kuchlar sistemasini bosh vektori nolga teng bo'lib, biror markazga nisbatan bosh momenti nolga teng bo'lmasa, u holda bunday sistema bir juftga keladi. Bunday holda bosh momenti keltirish markazining tanlanishiga bog'liq bo'lmaydi, haqiqatan ham, agar $R'=0$ bo'lsa, u holda $M_{01}=M_0$ ekanligi kelib chiqadi.

Kuchlar sistemasini bir teng ta'sir etuvchiga keltirish. Teng ta'sir etuvchining momenti haqida teorema

Agar kuchlar sistemasining bosh vektori nolga teng bo'lmasa, u holda bunday sistema bitta teng ta'sir etuvchiga keltiriladi (2 va 3 xususiy hollar).

Agar $(\bar{F}_1, \bar{F}_2, \dots, \bar{F}_n)$ kuchlar sistemasini biror O markazga keltirish natijasida bitta kuch $\bar{R} = \sum \bar{F}_k$ va



momenti $M_0 = \sum m_0(\bar{F}_k)$ bo'lgan bitta juft hosil bo'lsin. Juft tashkil etuvchi kuchlar miqdorini bosh vektorga teng qilib olib, ya'ni, $\bar{R}' = \bar{R}'' = \bar{R}$ va juft tashkil etuvchi kuchlardan birini O nuqtaga R' bilan qarama-qarshi yo'nalishda joylashtiramiz (shakl) juft $(\bar{R}', \bar{R}'')$ ning yelkasi quyidagi formuladan aniqlanadi.

$$d = \frac{M_0}{R} \quad (*)$$

Hosil bo'lgan $(\bar{R}', \bar{R}'', \bar{R})$ kuchlar shakl sistemasi bitta R kuchga ekvivalent bo'ladi. Darhaqiqat, $\bar{R}$ berilgan $(\bar{F}_1, \bar{F}_2, \dots, \bar{F}_n)$ kuchlar sistemasining teng ta'sir etuvchisi bo'ladi.

Teng ta'sir etuvchining momentiga oid Varin'on teoremasi

Teorema: Tekislikda ixtiyoriy joylashgan kuchlar sistemasi teng ta'sir etuvchisining shu tekislikda yotuvchi ixtiyoriy nuqtaga nisbatan momenti, berilgan kuchlardan shu nuqtaga nisbatan olingan kuch momentlarining algebraik yig'indisiga teng.

Isbot: shakldan ko'rinadiki, $m_0(\bar{R}) = R \cdot d$. $R = R'$ ekanligi va (*) formulani e'tiborga olib quyidagini yozish mumkin

$$m_0(\bar{R}) = M_0 \text{ yoki } m_0(\bar{R}) = \sum_{k=1}^n m_0(\bar{F}_k)$$

Teorema isbotlandi.

Tekislikda ixtiyoriy joylashgan kuchlar sistemasining muvozanat shartlari

Tekislikda ixtiyoriy joylashgan kuchlar sistemasi muvozanatlashishi uchun, quyidagi shartning bajarilishi zarur va yetarlidir.

$$\bar{R}' = 0 \quad \text{va} \quad \bar{M}_0 = 0$$

Agar biror shart bajarilmasa, u holda kuchlar sistemasi teng ta'sir etuvchiga yoki juftga keltiriladi, ya'ni muvozanatda bo'lmaydi. Agar $\bar{R}' = 0$ bo'lsa, u holda sistema momenti M_0 bo'lgan juftga keltiriladi, modomiki $M_0 = 0$, u holda sistema muvozanatda bo'ladi. Bu shartdan tekislikda ixtiyoriy joylashgan kuchlar muvozanatining quyidagi analitik shartlari kelib chiqadi:

1. Muvozanat shartining asosiy ko'rinishi

Bosh vektor $\bar{R}'$ va bosh moment M_0 quyidagi formulalar yordamida aniqlanadi.

$$R' = \sqrt{\left(\sum_{k=1}^n F_{kx}\right)^2 + \left(\sum_{k=1}^n F_{ky}\right)^2}, \quad M_0 = \sum_{k=1}^n m_0(\bar{F}_k)$$

Agar $R' = 0$ va $M_0 = 0$ bo'lsa, u holda

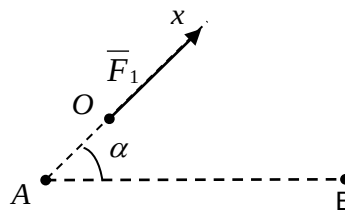
$$\sum_{k=1}^n F_{kx} = 0, \quad \sum_{k=1}^n F_{ky} = 0, \quad \sum_{k=1}^n m_0(\bar{F}_k) = 0$$

Ya'ni tekislikda ixtiyoriy joylashgan kuchlar muvozanatda bo'lishi uchun, kuchlarning koordinata o'qlaridagi proyeksiyalarining yig'indisi, kuchlarning ta'sir tekisligidagi biror nuqtaga nisbatan olingan momentlarning yig'indisi nolga teng bo'lishi zarur va yetarlidir. Bog'lanishdagi jismlarning muvozanatiga oid masalalar yechishda ushbu shartda noma'lum reaksiya kuchlari ishtirok etadi va muvozanat tenglamari deb ataladi. Agar noma'lum reaksiyalar soni ular qatnashgan tenglamalar soniga teng bo'lsa, u holda hamma noma'lumlar shu tenglamalardan aniqlanadi. Bunday masalar statik aniq masalalar deb ataladi. Agar noma'lum reaksiyalar soni, ular qatnashgan tenglamalar sonidan ko'p bo'lsa, u holda bunday masalalar statik aniqmas masalalar deb ataladi.

2. Muvozanat shartining ikkinchi shakli

Tekislikda ixtiyoriy joylashgan kuchlar sistemasi muvozanatda bo'lishi uchun kuchlarning ikkita A va B nuqtalarga nisbatan olingan momentlarining yig'indisi, hamda AB kesmaga perpendikulyar bo'lmagan OX o'qiga proyeksiyalarining yig'indisi nolga teng bo'lishi zarur va yetarlidir (shakl).

$$\left. \begin{aligned} \sum_{k=1}^n F_{ix} &= 0 \\ \sum m_A(\bar{F}_i) &= 0 \\ \sum m_B(\bar{F}_i) &= 0 \\ \alpha &\neq 90^\circ \end{aligned} \right\}$$



3. Muvozanat shartining uchinchi shakli

Tekislikda ixtiyoriy joylashgan kuchlar muvozanatda bo'lishi uchun kuchlarning bir to'g'ri chiziq ustida yotmagan uchta A, B va C nuqtalarga nisbatan olingan momentlarining yig'indisi nolga teng bo'lishi zarur va yetarlidir.

$$\sum_{k=1}^n m_A(\bar{F}_k) = 0, \quad \sum_{k=1}^n m_B(\bar{F}_k) = 0, \quad \sum_{k=1}^n m_C(\bar{F}_k) = 0$$

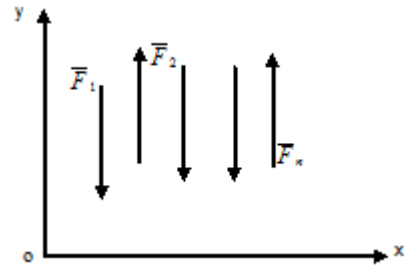
Tekislikda parallel joylashgan kuchlarning muvozanat shartlari

Agar hamma kuchlar OY o'qiga parallel bo'lsa (shakl), u holda

$$\sum_{k=1}^n F_{kx} = 0,$$

Modomiki,

$$\sum_{k=1}^n F_{ky} = \sum_{k=1}^n F_k$$



va muvozanat sharti quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\sum_{k=1}^n F_k = 0, \quad \sum_{k=1}^n m_0(\bar{F}_k) = 0$$

Demak, tekislikdagi parallel kuchlar muvozanatda bo'lishi uchun, kuchlarning algebraik yig'indisi va shu tekislikdagi biror nuqtaga nisbatan olingan momentlarning yig'indisi nolga teng bo'lishi zarur va yetarlidir.

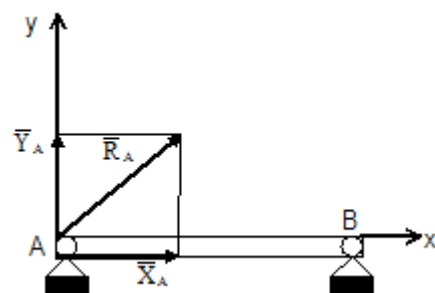
Tekislikda parallel kuchlar muvozanat shartining ikkinchi shakli

Tekislikda ixtiyoriy joylashgan parallel kuchlar muvozanatda bo'lishi uchun, bu kuchlarga parallel bo'lgan chiziq ustida yotmay turgan ikki A va B nuqtalarga nisbatan olingan kuchlar momentlarining yig'indisi nolga teng bo'lishi zarur va yetarlidir, ya'ni

$$\sum_{k=1}^n m_A(\bar{F}_k) = 0, \quad \sum_{k=1}^n m_B(\bar{F}_k) = 0$$

Reaksiya kuchlarini aniqlashga doir qo'shimchalar

Xususan, bog'lanish ishqalanishsiz silindrik sharnir vositasida bajarilgan bo'lsa, sharnir bog'lanish reaksiya kuchi silindrik o'qiga perpendikulyar bo'lgan tekislikda yotishi ko'rsatilgan edi. Reaksiya kuchining yo'nalishi noma'lum bo'lib, jismga ta'sir etuvchi boshqa kuchlarga bog'liq bo'ladi. Jism tekislikda ixtiyoriy joylashgan kuchlar ta'sirida muvozanatlashishiga oid masala yechiladigan bo'lsa, qo'zg'almas sharnirning reaksiya kuchi R_A ning miqdor va yo'nalishi noma'lum (shakl).

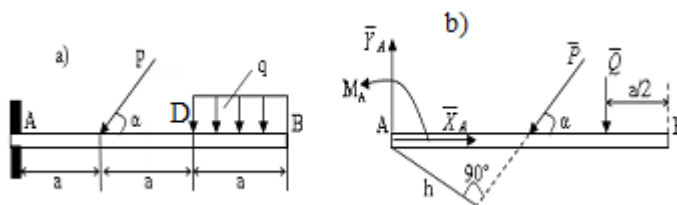


Shuning uchun uni OX va OY koordinata o'qlari bo'ylab X_A va Y_A tashkil etuvchilar orqali tasvirlab, R_A ning miqdor va yo'nalishi quyidagi formulalar yordamida aniqlanadi

$$R_A = \sqrt{X_A^2 + Y_A^2}, \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{Y_A}{X_A}$$

Qistirib mahkamlangan bog'lanish

(a shakl). Agar jismga tekislikda ixtiyoriy joylashgan kuchlar ta'sir qilsa, bu kuchlar sistemasini



markazga keltirish natijasida, A nuqtaga qo'yilgan R_A kuchi va momenti M_A bo'lgan juft hosil bo'ladi. Noma'lum R_A reaksiya kuchini koordinata o'qlari bo'ylab X_A va Y_A tashkil etuvchilari orqali tasvirlaymiz.

Binobarin jismning qistirib mahkamlangan kesmasida reaksiyaning ikkita X_A va Y_A tashkil etuvchilari hamda, momenti M_A bo'lgan reaktiv juft ta'sir qiladi.

Takrorlash uchun savollar

1. Kuchni o'ziga parallel qanday ko'chirish mumkin?
2. Tekislikdagi kuchlarni bir markazga keltirish natijasida nima hosil bo'ladi?
3. Kuchlar sistemasi bir markazga keltirilsa qanday hollar bo'lishi mumkin?
4. Tekislikda ixtiyoriy joylashgan kuchlar sistemasining muvozanat shartlari qanday?
5. Tekislikda parallel joylashgan kuchlar sistemasining muvozanat shartlari qanday?
6. Jismlar sistemasida reaksiyasi kuchlarini aniqlash masalasi qanday yechiladi?

4-mavzu. Parallel kuchlar markazi. Qattiq jismning og'irlik markazi.

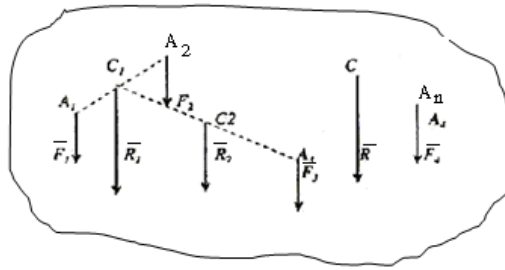
Reja:

1. Parallel kuchlar markazi va uning koordinatalarini aniqlash.
2. Jism og'irlik markazining koordinatalari.
3. Og'irlik markazini aniqlash usullari.

Tayanch soʻz va iboralar:

Parallel kuchlar markazi, ogʻirlik markazi, ogʻirlik markazining koordinatalari, boʻlaklarga ajratish usuli, manfiy yuzalar usuli, tajriba usuli, integrallash usuli.

Bir tekislikda yotmaydigan $(\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3)$ parallel kuchlar sistemasini koʻramiz (1-shakl)



1-shakl

kuchlarni ketma-ket qoʻshamiz $\vec{F}_1$ va $\vec{F}_2$ kuchlarni qoʻshib, ularga parallel boʻlgan $\vec{R}_1$ teng taʼsir etuvchisini topamiz. Uning miqdori $R_1 = F_1 + F_2$ ga teng boʻlib, qoʻyilish nuqtasi quyidagi proporsiyadan aniqlanadi:

$$\frac{A_1 C_1}{A_2 C_1} = \frac{F_2}{F_1}$$

Endi $\vec{R}_1$ va $\vec{F}_3$ kuchlarni qoʻshamiz ularning teng taʼsir etuvchisi R_2 ning miqdori quyidagiga teng:

$$R_2 = R_1 + F_3 = F_1 + F_2 + F_3$$

qoʻyilish nuqtasi esa quyidagi proporsiyadan aniqlanadi:

$$\frac{C_1 C_2}{A_3 C_2} = \frac{F_3}{R_2}$$

Endi R_2 va F_4 kuchlarning teng taʼsir etuvchisining miqdori

$$R = R_2 + F_4 = F_1 + F_2 + F_3 + F_4$$

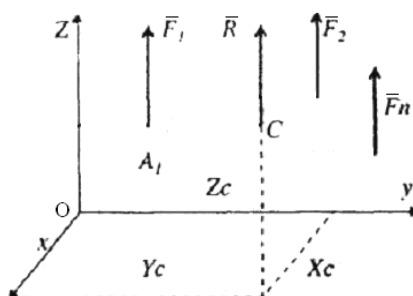
boʻlib, qoʻyilish nuqtasi S nuqta quyidagi proporsiyadan aniqlanadi:

$$\frac{A_2 C}{A_4 C} = \frac{F_4}{R}$$

Yuqoridagi tavsifdan koʻrinadiki, n ta parallel kuchlar sistemasining teng taʼsir etuvchisi ularning yigʻindisiga teng:

$$R = \sum_{k=1}^n F_k$$

Qo'yilish nuqtasi esa kuchlarning fazodagi yo'nalishlariga bog'liq bo'lmaydi, haqiqatan ham agar kuchlarning hammasini ularning qo'yilish nuqtalari atrofida teng burchakka bir tomonga bursak, ularning teng ta'sir etuvchisi ham shu burchakka C nuqta atrofida buriladi. Teng ta'sir etuvchi ta'sir chizig'i har doim parallel kuchlarning fazoda har qanday yo'nalishida ham C nuqtadan o'tadi. C nuqta parallel kuchlar markazi deyiladi.



2-shakl

Parallel kuchlar sistemasi markazining koordinatalarini aniqlash uchun koordinata sistemasi OZ o'qini berilgan kuchlar sistemasiga parallel qilib olamiz (2-shakl). Kuchlar qo'yilgan $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ nuqtalarning koordinatalarini mos ravishda $x_1, y_1, z_1', x_2, y_2, z_2', \dots, x_n, y_n, z_n'$. Parallel kuchlar markazi C nuqtaning kichik x, y, z koordinatalarini X_c, Y_c, Z_c deb belgilaymiz. Teng ta'sir etuvchining OX o'qiga nisbatan momenti haqidagi teoremani tatbiq qilamiz:

$$m_x(\bar{R}) = \sum_{k=1}^n m_x(F_k) \text{ yoki } R \cdot Y_c = F_1 \cdot y_1 + F_2 \cdot y_2 + \dots + F_n \cdot y_n$$

$$\text{bundan } y_c = \frac{F_1 \cdot y_1 + F_2 \cdot y_2 + \dots + F_n \cdot y_n}{R} \text{ yoki } y_c = \frac{\sum_{k=1}^n F_k \cdot y_k}{\sum_{k=1}^n F_k}$$

Shu teoremani OY o'qiga nisbatan tatbiq qilib X_c koordinatani aniqlaymiz:

$$X_c = \frac{\sum_{k=1}^n F_k \cdot x_k}{\sum_{k=1}^n F_k} \quad (1)$$

Endi koordinatani aniqlash uchun hamma kuchlarni bir tomonga OY o'qiga parallel qilib 90^0 ga buramiz va teng ta'sir etuvchining momenti haqidagi teoremani OX o'qiga nisbatan tatbiq qilamiz. Shunday qilib parallel kuchlar markazi quyidagi formulalar yordamida aniqlanadi.

$$x_c = \frac{\sum_{k=1}^n F_k \cdot x_k}{\sum_{k=1}^n F_k}; \quad y_c = \frac{\sum_{k=1}^n F_k \cdot y_k}{\sum_{k=1}^n F_k}; \quad z_c = \frac{\sum_{k=1}^n F_k \cdot z_k}{\sum_{k=1}^n F_k} \quad (2)$$

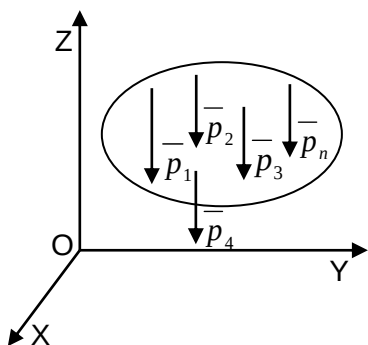
Biror yo'nalishni musbat tanlab olib, (2) formula yordamida nuqta koordinatalari x_c , y_c , z_c larni aniqlanayotganda kuchlarning qiymatlari mos ishoralar bilan olinishi zarur. Jismni elementar bo'lakchalarga bo'lib, har bir bo'lakka ularning og'irlik kuchlarini qo'yamiz. U holda parallel kuchlar sistemasini hosil qilamiz (3-shakl). Parallel og'irlik kuchlar sistemasining markazi, jismning og'irlik markazi bo'ladi. Jismning og'irlik markazining koordinatalari (2) formulaga asosan quyidagicha aniqlanadi:

$$X_c = \frac{\sum_{k=1}^n P_k \cdot x_k}{\sum_{k=1}^n P}; \quad Y_c = \frac{\sum_{k=1}^n P_k \cdot y_k}{\sum_{k=1}^n P}; \quad Z_c = \frac{\sum_{k=1}^n P_k \cdot z_k}{\sum_{k=1}^n P} \quad (3)$$

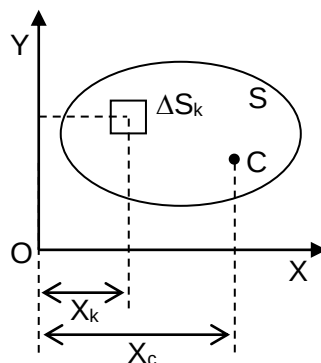
bu yerda, R-jism og'irligi. Bir jinsli jism uchun

$$P_k = \gamma \Delta V_k; \quad P = \gamma V$$

bu yerda, ΔV_k -elementar bo'lakchanning hajmi, V-jism hajmi, γ -birlik hajmining og'irligi.



3-shakl



4-shakl

P_k va P larning qiymatlarini (3) formulalarga qo'yib quyidagilarni olamiz:

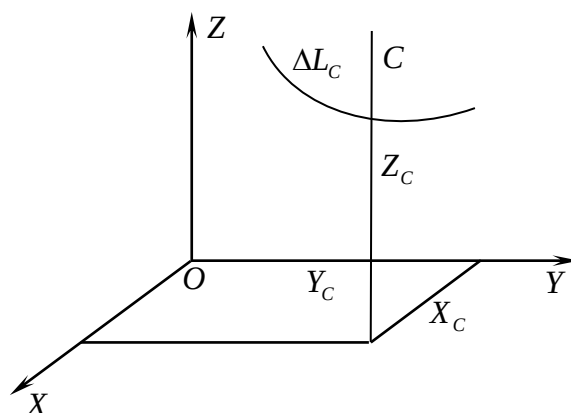
$$X_c = \frac{\sum_{k=1}^n X_k \Delta V_k}{V}; Y_c = \frac{\sum_{k=1}^n Y_k \Delta V_k}{V}; Z_c = \frac{\sum_{k=1}^n Z_k \Delta V_k}{V}; \quad (4)$$

Agar jism yupqa bir jinsli plastinka bo'lsa, uning og'irlik markazi koordinatalari quyidagi formulalar bilan aniqlanadi (4-shakl):

$$X_c = \frac{\sum_{k=1}^n X_k \Delta \rho_k}{\rho}; Y_c = \frac{\sum_{k=1}^n Y_k \Delta \rho_k}{\rho} \quad (5)$$

bu yerda ΔS_k -elementar bo'lakchanning yuzasi S -butun plastinka yuzasi. Agar jism bir jinsli chiziqdan (5-shakl) iborat bo'lsa, uning og'irlik markazining koordinatalari quyidagi formulalar yordamida aniqlanadi:

$$X_c = \frac{1}{L} \sum_{k=1}^n X_k \Delta L_k; Y_c = \frac{1}{L} \sum_{k=1}^n Y_k \Delta L_k; Z_c = \frac{1}{L} \sum_{k=1}^n Z_k \Delta L_k \quad (6)$$



5-shakl

Quyidagi belgilarni kiritamiz:

$$S_x = \sum_{k=1}^n Y_k \Delta S_k; S_y = \sum_{k=1}^n X_k \Delta S_k \quad (7)$$

U holda (5) formulalarni quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$X_c = \frac{S_y}{S}; Y_c = \frac{S_x}{S} \quad (8)$$

Bu yerda S_x yuzaning OX o'qiga nisbatan statik momenti deb ataladi, S_y esa Oy o'qiga nisbatan yuzaning statik momenti deb ataladi. Agar yuza og'irlik markazining

koordinatalari aniq bo'lsa, uning statik momenti quyidagi formulalar yordamida aniqlanadi:

$$S_x = S \cdot Y_c; \quad S_y = S \cdot X_c \quad (9)$$

Og'irlik markazini aniqlash usullari. Simmetrik jismlarning og'irlik markazi

Teorema: Agar bir jinsli jism simmetriya tekisligi o'qi yoki markaziga ega bo'lsa, u holda uning og'irlik markazi mos ravishda shu tekislikda, o'q yoki markazda yotadi.

Isbot: Jism simmetriya tekisligiga ega bo'lsin (6-shakl). U holda teoremaga asosan

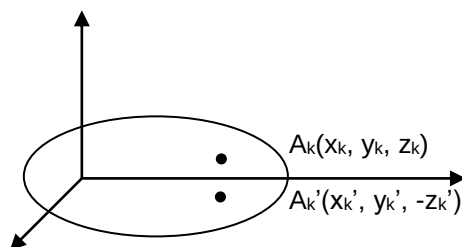
$$Z_c = 0 \text{ yoki } \sum_{k=1}^n Z_k \Delta V_k = 0$$

bo'ladi, shunga ko'ra jism elementar $A_1, A_2, \dots, A_n$ bo'laklarining hajmlarini mos ravishda quyidagicha bo'lgan

$$\Delta V_1, \Delta V_2, \dots, \Delta V_n$$

bo'lakchalarga bo'lamiz. Simmetriya o'qiga ega bo'lganligi sababli har qanday X_k, Y_k, Z_k koordinatali A_k bo'lakcha OXY tekisligiga nisbatan simmetrik bo'lgan A'_k nuqtaga mos keladi, uning koordinatalari $X_k, Y_k, -Z_k$ bo'ladi. Quyidagi ko'paytmalarni $Z_k \Delta V_k$ tuzib qo'shsak quyidagini olamiz:

$$\sum_{k=1}^n Z_k \Delta V_k = 0$$



6-shakl

u holda $Z_1 = 0$ bo'ladi. Xuddi shunday qolgan hollar ya'ni jism simmetrik o'q yoki markazga ega bo'lgan hollar isbot qilinadi.

1. Bo'laklarga ajratish (to'ldirish) usuli

Agar bir jinsli qattiq jismni og'irlik markazlari ma'lum bo'lgan chekli sonli geometrik shakllarga ajratish mumkin bo'lsa, u holda uning og'irlik markazining koordinatalari (4), (5), (6) formulalar yordamida aniqlanadi. Agar qattiq jismda teshiklar mavjud bo'lsa, uning og'irlik markazini aniqlashda jismni to'liq deb qaraladi, teshiklar va yetishmovchi yuza yoki hajmga tegishli hadlar manfiy ishoralar bilan olinadi. Bu usulni manfiy yuzalar (hajmlar) usuli deb ataladi.

1-masala

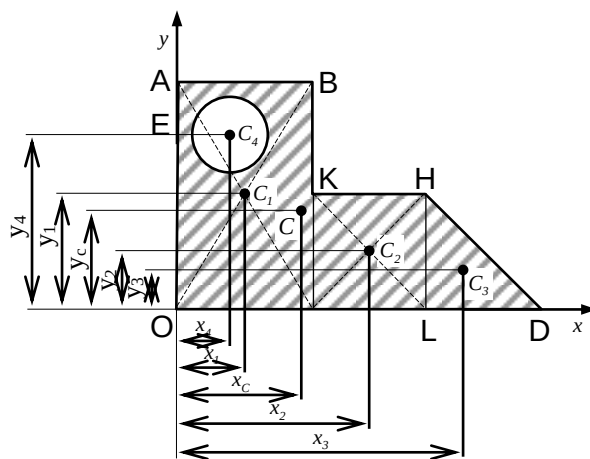
7-shaklda tasvirlangan bir jinsli yupqa plastinka og'irlik markazining koordinatalari aniqlansin.

Yechish: Plastinkani to'rtta bo'laklarga ajratamiz. Markazga $c_1(x_1, y_1)$ nuqta bo'lgan to'rt burchak markazi $c_2(x_2, y_2)$ nuqta bo'lgan to'rtburchak markazi $c_3(x_3, y_3)$ nuqta bo'lgan uchburchak va markazi $c_4(x_4, y_4)$ nuqta bo'lgan doira (teshik) shakldan c_1, c_2, c_3, c_4 nuqtalarining koordinatalari ma'lum o'lchovlari yordamida aniqlanadi. Bo'lakchalarning yuzalarini S_1, S_2, S_3, S_4 lar bilan belgilaymiz va ular osonlikcha aniqlanadi, (5)ga asosan quyidagi formuladan foydalanib, og'irlik markazining koordinatalarini topamiz.

$$\left. \begin{aligned} X_c &= \frac{S_1 \cdot x_1 + S_2 \cdot x_2 + S_3 \cdot x_3 + S_4 \cdot x_4}{S_1 + S_2 + S_3 + S_4} \\ Y_c &= \frac{S_1 \cdot y_1 + S_2 \cdot y_2 + S_3 \cdot y_3 + S_4 \cdot y_4}{S_1 + S_2 + S_3 + S_4} \end{aligned} \right\} (10)$$

Agar $OA=30$ sm, $OD=36$ sm, $OE=24$ sm, $AB=10$ sm, $BK=20$ sm, $x_4=5$ sm, $y_4=24$ sm, $r=3$ sm, $x_1=5$, $x_2=17$, $y_1=15$, $y_2=5$ bo'lsa

$$\begin{aligned} x_3 &= 28; \\ y_3 &= \frac{10}{3}. \end{aligned}$$



7-shakl

Agar $S_1=300$, $S_2=140$, $S_3=60$, $S_4=9\pi$ bo'lsa, (10) tenglikdan quyidagilarni topamiz:

$$x_c = \frac{300 \cdot 5 + 140 \cdot 17 + 60 \cdot 28 - 9\pi \cdot 5}{300 + 140 + 60 - 9\pi} = \frac{5418,7}{471,7} \approx 11,5 \text{ sm}$$

$$y_c = \frac{300 \cdot 15 + 140 \cdot 5 + 60 \cdot \frac{10}{3} - 9\pi \cdot 24}{300 + 140 + 60 - 9\pi} = \frac{4721}{471,7} \approx 10 \text{ sm}$$

2. Integrallash usuli

Agar bir jinsli qattiq jismni chekli sondagi sodda geometrik shakllarga ajratishning iloji bo'lmasa, u holda og'irlik markazi koordinatalarni (4), (5), (6) formulalar yordamida aniqlash uchun bu formulalarda bo'lakchalar soni n cheksizlikka intiladi, ularning o'lchovlari nolga intiladi. Bu formulalarda limitga o'tib hajm og'irlik markazining koordinatalari quyidagi formulalar yordamida aniqlanadi:

$$X_c = \frac{1}{V} \int_{(x)} x dV; Y_c = \frac{1}{V} \int_{(x)} y dV; Z_c = \frac{1}{V} \int_{(x)} z dV \quad (11)$$

Sirt og'irlik markazining koordinatalari quyidagi formulalar yordamida aniqlanadi:

$$X_c = \frac{1}{S} \int_{(S)} x dS; Y_c = \frac{1}{S} \int_{(S)} y dS; Z_c = \frac{1}{S} \int_{(S)} z dS.$$

bu yerda S – sirt yuzasi.

Agar sirt tekis shakl bo'lsa va XOY tekislik shu shakl tekisligida olinsa, yuqoridagi formulalar quyidagicha yoziladi:

$$X_c = \frac{1}{S} \int_{(S)} x dS; Y_c = \frac{1}{S} \int_{(S)} y dS; Z_c = \frac{1}{S} \int_{(S)} z dS \quad (12)$$

Ko'ndalang qirqim yuzalari o'zgarmas va bir jinsli moddadan iborat chiziqlarning og'irlik markazining koordinatalari quyidagi formulalar yordamida aniqlanadi:

$$X_c = \frac{1}{L} \int_{(L)} x dl; Y_c = \frac{1}{L} \int_{(L)} y dl; Z_c = \frac{1}{L} \int_{(L)} z dl \quad (13)$$

2-masala: Aylana qismi (yoyi) og'irlik markazining koordinatalari aniqlansin. Markaziy burchagi 2α bo'lgan R radiusli AB aylana yoyini olamiz (8-shakl). Aylana yoyi simmetriya o'qiga ega OX koordinata o'qidir. Isbot qilingan teorema asosan yonning og'irlik markazi uning simmetriya o'qida yotishi kerak, ya'ni $Y_c=0$ koordinata X_c quyidagi formula yordamida aniqlanadi.

$$X_c = \frac{1}{L_1} \int_{(L_1)} x dl \quad (14)$$

og'irlik markazining absissasi x bo'lgan yoydan cheksiz kichik elementar dl bo'lakchani ajratib olamiz. U holda

$$dl = R \cdot d\varphi, \quad x = R \cdot \cos \varphi, \quad L = R \cdot \alpha$$

quyidagi ifodalarni dl x va α (14) formulaga qo'yib, φ bo'yicha integrallab, quyidagini olamiz:

$$X_c = \frac{1}{2R\alpha} \int_{-a}^a R^2 \cos \alpha d\varphi = \left(\frac{R}{2\alpha} \cdot \sin \varphi \right) \Big|_{-a}^a = \frac{R \sin \alpha}{\alpha}$$

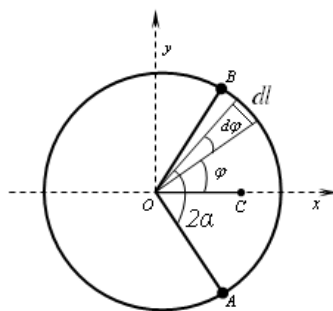
Demak,

$$X_c = \frac{R \sin \alpha}{\alpha} \quad (15)$$

yarim aylana uchun $\alpha = \frac{\pi}{2}$ bo'lganda

$$X_c = \frac{2R}{\pi} \approx 0,63r$$

bo'ladi (8-shakl).



8-shakl

3-masala: Doira shaklli sektor yuzaning og'irlik markazi koordinatlarini aniqlang. Ixtiyorimizda R radiusli va markaziy burchagi 2α bo'lgan doira sektor yuzi mavjud. 9-shakl sektor yuzasining simmetriya o'qini OX koordinata o'qi sifatida qabul qilib va $OC=x$ masofani quyidagi formula yordamida aniqlaymiz:

$$X_c = \frac{1}{S} \int_S x dS \quad (17)$$

markaziy burchagi $d\varphi$ bo'lgan cheksiz kichik Oab sektor yuzachani ajratamiz. Xuddi teng yonli uchburchak deb qaralgan bu elementar bo'lakchanning og'irlik markazi c' nuqtada bo'lib, bu masofa quyidagiga teng $OC' = \frac{2}{3}R$, bu c' markaz nuqtaning koordinatasi quyidagiga teng

$$X = \frac{2}{3} \cdot R \cdot \cos \varphi$$

yuzacha

$$dS = \frac{1}{q} \cdot R^2 d\varphi$$

sektor yuzasi

$$S = \frac{1}{2} \cdot R^2 \cdot 2\alpha = R^2 \alpha$$

olingan ifodalar S_1, dS larni (17) formulaga qo'yib va φ bo'yicha integrallab, quyidagini olamiz.

$$X_c = \frac{1}{R^2 \alpha} \int_{-\alpha}^{\alpha} \frac{1}{3} R^3 \cos \varphi d\varphi = \left(\frac{R}{3\alpha} \cdot \sin \varphi \right) \Big|_{-\alpha}^{\alpha} = \frac{2R \sin \alpha}{3\alpha}$$

demak,

$$X_c = \frac{2}{3} \cdot R \cdot \frac{\sin \alpha}{\alpha} \quad (18)$$

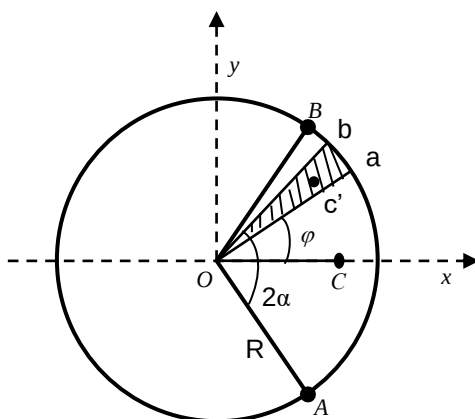
sektor o'rnida yarim doira bo'lsa

$$\alpha = \frac{\pi}{2}$$

bo'lib,

$$X = \frac{4R}{3\pi} = 0,2124$$

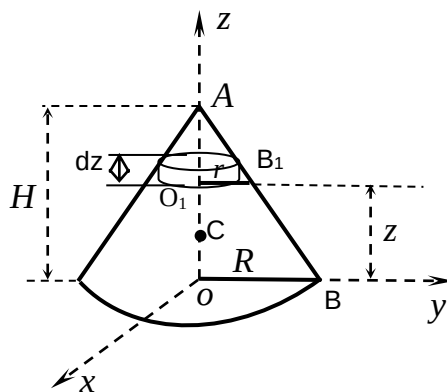
qiymatga ega



9-shakl

4-masala: Balandligi H va asosining radiusi R bo'lgan to'g'ri doiraviy konus og'irlik markazining koordinatalari aniqlansin, konusning simmetriya o'qini OZ koordinata o'qi sifatida olamiz. U holda $X_c = Y_c = 0$, Z_c koordinata quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$Z_c = \frac{1}{V} \int_V Z dv \quad (20).$$



10-shakl

Konus asosidan Z masofa balandlik dz va radiusi r bo'lgan silindr ko'rinishdagi cheksiz kichik bir element hajmini ajratamiz (10-shakl). Bu element hajmi quyidagiga teng:

$$dV = \pi \cdot r^2 dz$$

radius r ni AOB va O_1AB_1 uchburchaklarning o'xshashligidan aniqlanadi:

$$\frac{r}{R} = \frac{H - z}{H}$$

bundan

$$r = \frac{R}{H}(H - z)$$

u holda

$$dV = \frac{\pi R^2}{H^2} (H - z)^2 dz$$

konusning hajmi quyidagiga teng: $V = \frac{1}{3} \pi \cdot R^2 H$ bo'lgani uchun (20) ga asosan

$$Z_C = \frac{\int_0^H z \frac{\pi(H - z)^2 R^2}{H^2} dz}{\frac{1}{3} \pi R^2 H} = \frac{1}{4} \pi H \quad (21)$$

Takrorlash uchun savollar

1. Parallel kuchlar markazi qanday aniqlanadi?
2. Og'irlik markazini aniqlash formulalari qanday?
3. Hajmning og'irlik markazini aniqlash formulasini keltiring?
4. Yuzaning og'irlik markazi qanday aniqlanadi?
5. Chiziqning og'irlik markazi qanday aniqlanadi?
6. Og'irlik markazini aniqlashning qanday usullarini bilasiz?

5-mavzu. Kinematikaga kirish. Nuqta kinematikasi. Kinematikaning asosiy tushunchalari, moddiy nuqta harakatining berilish usullari. Moddiy nuqta harakatining tezlik va tezlanishi.

Reja:

1. Nuqta kinematikasi haqida tushuncha.
2. Nuqta harakatining berilish usullari.
3. Harakat qonuni bo'yicha tezlik va tezlanishlarni aniqlash.

Tayanch so'z va iboralar:

Kinematika, moddiy nuqta, qattiq jism, sanoq sistemasi, harakat qonuni, to'g'ri chiziqli harakat, egri chiziqli harakat, mexanik harakat, traektoriya, tezlik, tezlanish.

Kinematikada – nazariy mexanikaning bir bo'limi bo'lib unda moddiy nuqta va qattiq jismlarning mexanik harakatini, harakatni vujudga keltiruvchi sabablarni e'tiborga olmagan holda harakatni faqat geometrik nuqtai nazardan o'rganadi.

Kinematika bir tomondan dinamikaga kirish hisoblansa, ikkinchi tomondan kinematika metodlari alohida qism sifatida mexanizm harakatlarida, harakatlarni uzatishni o'rganishda katta amaliy ahamiyatga ega.

Harakatlanayotgan jismlarning harakatini o'rganish uchun albatta bittasini harakati ikkinchisiga nisbatan qaraladi. Shuning uchun jism harakatda der ekanmiz qaysi jismga nisbatan harakatlanayotganligini ko'rsatish kerak. Harakati o'rganilayotgan jismga koordinata o'qlari va vaqt bog'lanadi. Koordinata o'qlari bilan vaqt birgalikda sanoq sistemasi deyiladi.

Agar tanlangan sanoq sistemasiga nisbatan biror funksiya orqali jismning istalgan vaqtdagi holatini aniqlash mumkin bo'lsa u holda kinematikada harakat berilgan deyiladi. Biror sanoq sistemaga nisbatan harakatlanayotgan jism, boshqa sanoq sistemaga nisbatan tinch turgan bo'lishi mumkin. Demak "tinch" yoki "harakat" so'zlari nisbiy tushuncha. Shuning uchun harakat tanlangan sanoq sistemasiga juda ham bog'liq.

Harakat o'rganilayotgan ekan, uni biror vaqt oralig'ida qaraladi. harakat boshida ko'pincha $t=0$ deyiladi. Qattiq jism harakati mobaynida har bir nuqtasi har xil harakat qiladi. Shuning uchun kinematikada nuqtalar harakati va qattiq jism harakati o'rganiladi.

Nuqtaning vaqt o'tishi bilan fazoda qoldirgan izi traektoriya deb aytiladi. Agar traektoriya to'g'ri chiziq bo'lsa, harakat to'g'ri chiziqli, traektoriya egri chiziqdan iborat bo'lsa egri chiziqli harakat bo'ladi. Nuqta harakatini o'rganishda 2 ta masala: harakat qonunini matematik ifodasini yozish va bu qonunlarga asoslanib kinematik xarakteristikalar traektoriya, tezlik va tezlanishlarni aniqlash masalasi xal qilinadi.

Harakat qonunini berilish usullari. Trayektoriya.

Agar istalgan t vaqt uchun nuqtaning berilgan sanoq sistemasiga nisbatan holati (vaziyati) ma'lum bo'lsa, mazkur sanoq sistemasiga nisbatan nuqtaning harakat qonuni ma'lum bo'ladi. Kinematikada nuqtaning harakat qonuni uchta usulda beriladi:

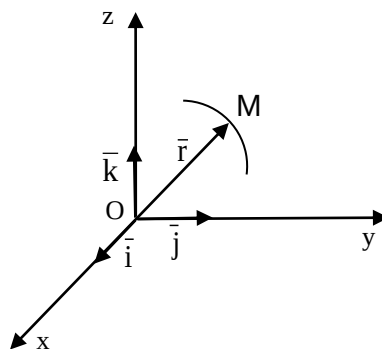
1. Vektor usuli
2. Koordinata usuli

3. Tabiiy usul

1. Vektor usuli: Bu usulda M nuqtaning holati biror qo'zg'almas markazdan $\vec{r}(t)$ radius vektori bilan aniqlanadi (1-shakl). Vaqtning o'tishi bilan M nuqta harakatlanganda uning $\vec{r}$ -radius vektori ma'lum qonun asosida o'zgaradi. Ya'ni skalyar argument t ning vektorli funksiyasidan iborat bo'ladi.

$$\vec{r} = \vec{r}(t) \quad (1)$$

Arap $\vec{r}(t)$ funksiya ma'lum bo'lsa, t vaqtning har bir payti uchun M nuqtaning holati ma'lum bo'ladi.

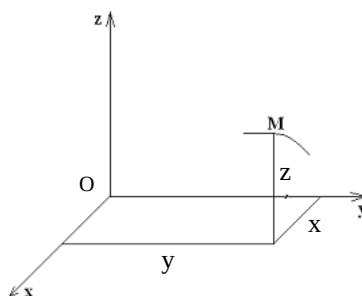


1-shakl

(1)-tenglamani nuqtaning harakat tenglamasi yoki harakat qonuni deyiladi. $\vec{r} = \text{const}$ bo'lsa, nuqta tinch holatda bo'ladi.

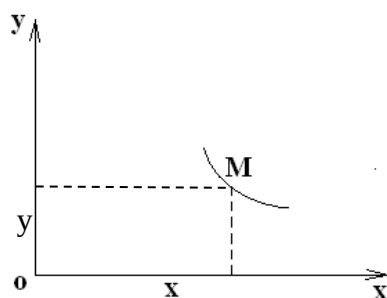
2. Koordinata usuli: Bu usulda harakatlanayotgan M nuqtaning holati uning uchta x, y, z to'g'ri burchakli Dekart koordinatalari orqali aniqlanadi (2-shakl). Nuqta harakatlanganda uning koordinatlari vaqt o'tishi bilan o'zgaradi. Binobarin, M nuqtaning koordinatlari x, y, z vaqtning bir qiymatli va uzluksiz differensiallanadigan funksiyasidan iborat bo'ladi.

$$\left. \begin{aligned} x &= x(t) \\ y &= y(t) \\ z &= z(t) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$



2-shakl

Bu tenglama nuqtaning Dekart koordinatalaridagi harakat tenglamalari deb ataladi. (2) tenglamalardan t vaqtni yo'qotib, nuqta trayektoriyasining tenglamasi aniqlanadi. Agar nuqta tekislikda harakatlansa ikkita harakat tenglamasiga ega bo'lamiz.



3-shakl

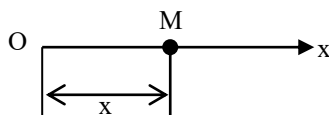
$$\left. \begin{array}{l} x = x(t) \\ y = y(t) \end{array} \right\} \quad (3)$$

(3) tenglamalarga nuqtaning tekislikdagi harakat tenglamalari deyiladi.

Moddiy nuqta o'zining fazodagi harakati natijasida to'g'ri chiziqli yo'lni o'tsa, bunday harakat to'g'ri chiziqli harakat deyiladi. O nuqtani koordinatalar boshi desak, biror M nuqta harakatlanmasdan oldin O da yoki O dan ma'lum uzoqlikda bo'ladi. (4-shakl) Nuqtaning to'g'ri chiziqli harakati bitta

$$x = x(t) \quad (4)$$

tenglama bilan aniqlanadi.



4-shakl

Nuqta tezligi

Nuqta tezligi vektor miqdor bo'lib, nuqta harakatining berilgan momentdagi tezligi va bu harakatning yo'nalishini harakterlaydi. Nuqta tezligi harakatning qanday usulda berilishiga qarab aniqlanadi. Agar harakat tenglamasi $\vec{r} = \vec{r}(t)$ - ko'rinishda berilgan bo'lsa uning tezligi radius vektoridan vaqt bo'yicha olingan birinchi tartibli hosilasiga teng:

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$$

Nuqta harakati koordinat usulda berilgan bo'lsin:

$$\left. \begin{array}{l} x = x(t) \\ y = y(t) \\ z = z(t) \end{array} \right\}$$

U holda tezlik vektorining koordinata o'qlaridagi proyeksiyasi harakatdagi nuqta koordinatasidan vaqt bo'yicha olingan birinchi hosilaga teng bo'ladi :

$$v_x = \frac{dx}{dt} = \dot{x} \quad v_y = \frac{dy}{dt} = \dot{y} \quad v_z = \frac{dz}{dt} = \dot{z}$$

Vektorning proyeksiyalari ma'lum bo'lsa, uning moduli va yo'nalishini topish mumkin. U proyeksiyalarga qurilgan parallelopiped diagonaliga teng, shunga ko'ra:

$$g = \sqrt{g_x^2 + g_y^2 + g_z^2}$$

Tezlik vektorining yo'naltiruvchi kosinuslari quyidagi formulalar yordamida aniqlanadi:

$$\cos(\vec{g}, \vec{i}) = \frac{g_x}{g}; \quad \cos(\vec{g}, \vec{j}) = \frac{g_y}{g}; \quad \cos(\vec{g}, \vec{k}) = \frac{g_z}{g}$$

Harakat tekislikda bo'lsa, tezlik moduli va yo'naltiruvchi kosinuslari quyidagicha aniqlanadi:

$$g_x = \frac{dx}{dt}; \quad g_y = \frac{dy}{dt}; \quad g = \sqrt{g_x^2 + g_y^2}$$

$$\cos(\vec{g}, \vec{i}) = \frac{g_x}{g}; \quad \cos(\vec{g}, \vec{j}) = \frac{g_y}{g}$$

Harakat qonuni tabiiy usulda $S=f(t)$ berilganda nuqta tezligi $g = \frac{ds}{dt} = f'(t)$ formula yordamida aniqlanadi.

$\frac{ds}{dt} > 0$ bo'lsa, S o'sib boradi. $\frac{ds}{dt} < 0$ bo'lsa harakat teskari sodir bo'ladi, keyingi holda tezlik moduli uchun ning absolyut qiymati olinadi, ya'ni. Agar $g = \frac{ds}{dt} = \text{const}$ bo'lsa, harakat tekis bo'ladi ya'ni $S = S_0 + gt$, agar $t=0$ da $S_0=0$ bo'lsa, $S = gt$ bo'ladi.

Nuqta tezlanishi

Nuqtaning tezlanishi vektor kattalik bo'lib, berilgan daqiqadagi nuqta tezlik vektorining vaqtga qarab o'zgarishini xarakterlaydi.

$$\text{Harakat qonuni vektor usulda berilganda nuqta tezlanishi} \quad \vec{a} = \frac{d\vec{g}}{dt} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2}$$

Harakat qonuni koordinata usulda berilganda nuqta tezlanishi quyidagicha aniqlanadi:

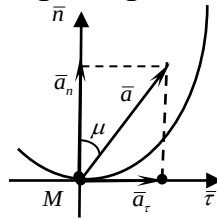
$$\left. \begin{aligned} a_x &= \frac{dg_x}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = \ddot{x} \\ a_y &= \frac{dg_y}{dt} = \frac{d^2y}{dt^2} = \ddot{y} \\ a_z &= \frac{dg_z}{dt} = \frac{d^2z}{dt^2} = \ddot{z} \end{aligned} \right\}$$

Tezlanishning moduli va yo'naltiruvchi kosinuslari quyidagi formulalar yordamida aniqlanadi:

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

$$\left. \begin{aligned} \cos(\vec{a}, \vec{i}) &= \frac{a_x}{a} \\ \cos(\vec{a}, \vec{j}) &= \frac{a_y}{a} \\ \cos(\vec{a}, \vec{k}) &= \frac{a_z}{a} \end{aligned} \right\}$$

Harakat qonuni tabiiy usulda berilganda egri chiziqli harakatda nuqta tezlanishini ikkita tashkil etuvchiga ajratiladi ya'ni urinma va normal tezlanishlarga, to'la tezlanish a tashkil etuvchilarni geometrik yig'indisiga teng bo'ladi. Bu tashkil etuvchilar



$$a_\tau = \frac{d\vartheta}{dt} \quad \text{yo'ki} \quad a_\tau = \frac{d^2 S}{dt^2}, \quad a_n = \frac{v^2}{\rho}$$

bu yerda ρ – trayektoriyaning egrilik radiusi.

Tezlanishning bu ikki tashkil etuvchisi o'zaro tik yo'nalganidan to'la tezlanishning moduli quyidagi formuladan topiladi.

$$a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2} = \sqrt{\left(\frac{d\vartheta}{dt}\right)^2 + \left(\frac{v^2}{\rho}\right)^2}$$

To'la tezlanishni yo'nalishi $\operatorname{tg} \mu = \frac{|a_\tau|}{a_n}$ formuladan topiladi.

6-mavzu. Qattiq jismning eng sodda harakatlari. Qattiq jismning ilgarilama va qo'zg'almas o'q atrofida aylanma harakati. Tezlik va tezlanishlarni aniqlash.

Reja:

1. Qattiq jismning ilgarilama harakati.
2. Qattiq jismning qo'zg'almas o'q atrofidagi aylanma harakati.
3. Aylanma harakatlarni bir jismdan ikkinchi jismga uzatish

Tayanch so'z va iboralar:

Ilgarilama harakat, tekis tezlanuvchan harakat, tekis harakat, tekis sekinlanuvchan harakat, aylanma harakat, aylanish o'qi, buralish burchagi, burchak tezlik, burchak tezlanish, normal tezlanish, orinma tezlanish.

Jismning ilgarilama va qo'zg'almas o'q atrofidagi aylanma harakatlariga jismning sodda yoki asosiy harakatlari deyiladi. Jismning har qanday murakkab harakatlarini shu ikki harakatdan tashkil topgan deb qaraladi.

Jismda olingan har qanday kesma harakat davomida hamma vaqt o'z-o'ziga parallel qolsa, jismning bunday harakatiga ilgariylanma harakat deyiladi. Ilgarilanma harakatdagi jism nuqtalarining trayektoriyalari istalgan egri chiziq bo'lishi mumkin.

Masalan to'g'ri chiziqli relsda harakatlanayotgan vagon kuzovining harakati ilgariylanma harakat bo'lib, kuzov nuqtalarining trayektoriyalari to'g'ri chiziqdan iborat bo'ladi.

Ilgariylanma harakatdagi jism nuqtalarining kinematik xarakteristikalari: harakat qonuni, tezlik va tezlanishlari quyidagi teorema asoslanadi:

Teorema: Ilgarilanma harakatdagi qattiq jismning hamma nuqtalari bir xil trayektoriya chizadi va har onda jism nuqtalarining tezlik va tezlanishlari bir-biriga teng bo'ladi.

Jismning ilgariylanma harakati uning biror nuqtasining harakati bilan aniqlanishini mumkin. Bunday nuqta uchun ko'pincha jism og'irlik markazi olinadi. C nuqtaning harakat tenglamalari jismning ilgariylanma harakat tenglamalari bo'ladi.

$$\left. \begin{aligned} X_c &= f_1(t) \\ Y_c &= f_2(t) \\ Z_c &= f_3(t) \end{aligned} \right\}$$

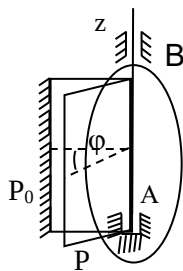
Shuning uchun ilgariylanma harakatdagi jism kinematikasi nuqta kinematikasidan farq qilmaydi.

Ilgariylanma harakatdagi jism nuqtasining $\bar{g}$ tezligi va $\bar{a}$ tezlanishi jismning hamma nuqtalari uchun bir xilda bo'lgani uchun $\bar{g}$ tezlikka jismning ilgariylanma harakat tezligi, $\bar{a}$ ga jismning ilgariylanma harakat tezlanishi deyiladi. $\bar{g}$ va $\bar{a}$ tezlik va tezlanish jismning istalgan nuqtasiga qo'yilgan deb tasvirlanadi. Shuni ta'kidlab o'tamizki, faqat jismning ilgariylanma harakati uchun $\bar{g}$ va $\bar{a}$ tezlik va tezlanishlar jismning ilgariylanma harakat tezligi va tezlanishi deb ataladi. Ammo jismning boshqa turdagi harakatlarda uning nuqtalari turlicha harakat qiladi. Shuning uchun uning biror nuqtasining harakati bilan aniqlab bo'lmaydi. Bunday holda jism nuqtasining tezligi, tezlanishini jism tezligi va tezlanishi deb atash mumkin emas.

Qattiq jism harakatlanganda uning ikki nuqtasi doimo harakatsiz qolsa, qattiq jismning bunday harakatiga qo'zg'almas o'q atrofida aylanma harakati deyiladi. Shu qo'zg'almas nuqtalardan o'tgan to'g'ri chiziqqa aylanish o'qi deyiladi. Aylanish o'qida joylashgan jism nuqtalari doimo harakatsiz bo'ladi. Aylanish o'qidan tashqarida joylashgan hamma nuqtalari trayektoriyasi aylanish o'qiga tik bo'lgan tekisliklarda joylashgan, markazi aylanish o'qida bo'lgan aylanalardan iborat bo'ladi.

Qattiq jismning aylanma harakatini tekshirish uchun aylanish o'qi orqali ikki tekislik o'tkazamiz. Ulardan biri qo'zg'almas P_0 , ikkinchisi jism bilan birlashtirilgan, u bilan birga harakatlanadigan P tekislik bo'lsin. Aylanish o'qini jismning qo'zg'almas A va B nuqtalari orqali yuqoriga yo'naltiramiz va uni Az deb belgilaymiz. Jismni Az o'qi atrofida harakatlanganda P tekislik P_0 tekislikka nisbatan φ burchakka buriladi. Bu burchak aylanish burchagi deyiladi. Aylanish o'qining musbat yo'nalishidan qaraganimizda jism soat milining aylanishiga teskari tomonga aylanma harakatini musbat yo'nalishda deb qaraymiz. Aks holda harakat

manfiy yo'nalishda bo'ladi. Demak, burchak P_0 dan P tekislikka qarab soat milining aylanishiga teskari yo'nalishda kesib boradi.



Aylanish burchagining o'zgarishi P tekislikni P_0 tekislikka nisbatan harakatlanishini ifodalaydi. Shuning uchun aylanish burchagi φ bilan vaqt orasidagi munosabat

$$\varphi = f(t).$$

Bu tenglamaga jism aylanma harakat tenglamasi deyiladi. Agar bu tenglik berilgan bo'lsa, vaqtning har bir paytdagi jismning holati ma'lum bo'ladi. Aylanish burchagi radianda o'lchanadi, u vaqtning bir qiymatli, uzliksiz, differensiallanadigan funksiyasi bo'ladi. Jism qo'zg'almas o'q atrofidagi holati bitta aylanish burchagi bilan aniqlangani uchun aylanma harakatdagi jism bitta erkinlik darajasiga ega bo'ladi.

Aylanma harakat burchak tezligi aylanish burchagidan vaqt bo'yicha olingan birinchi hosilasiga teng:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}$$

Hosilaning ishorasi harakat o'suvchi yoki kamayuvchi ekanini ko'rsatadi. Masalan, agar $\frac{d\varphi}{dt} > 0$ bo'lsa, harakat o'suvchi bo'lib, φ burchagi orta boradi, $\frac{d\varphi}{dt} < 0$ bo'lsa, φ burchagi kamayadi va harakat kamayuvchi bo'ladi. Shunday qilib hosilaning ishorasi harakat yo'nalishini aniqlaydi. Burchak tezligi rad/s bilan yoki 1/s bilan o'lchanadi. Aylanma harakatda burchak tezligi $\bar{\omega}$ - aylanish o'qi bo'ylab yo'nalgan vektor kattalik bilan ifodalanadi. U aylanish o'qining istalgan nuqtasiga qo'yiladi va uning uchidan qaraganimizda jism soat milining yo'nalishiga teskari aylanishini ko'rish kerak.

Agar harakat davomida hamma vaqt ω o'zgarmas bo'lsa, harakat tekis aylanma harakat bo'ladi uning harakat tenglamasi quyidagicha:

$$\varphi = \varphi_0 + \omega_0 t$$

Kinematika masalalarida ko'pincha tekis aylanma harakat burchak tezligini jismning $t=1$ min ichidagi aylanish soni n ifodasidan foydalanishga to'g'ri keladi. Jism bir aylanganda $\varphi = 2\pi$ burchakka aylanadi. Agar $t=1$ minut 60 s jism n marotaba aylansa, $\varphi = 2n\pi$ bo'ladi, u holda $\omega_0 = \frac{\varphi}{t}$ dan ω bilan n orasidagi munosabatni topamiz

$$\omega = \frac{\pi n}{30}$$

Bunda $\omega = \omega_0 = \text{const}$ deb hisoblanadi.

Burchak tezlanishi aylanma harakat burchak tezligining vaqt birligi ichida o'zgarishini xarakterlaydi. Burchak tezlanishi burchak tezligidan vaqtga nisbatan birinchi hosila yoki aylanish burchagidan vaqt bo'yicha olingan ikkinchi hosilaga teng bo'ladi. Burchak tezlanishini ε bilan belgilaymiz

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\varphi}{dt^2}$$

Burchak tezlanishi rad/s^2 yoki $1/\text{s}^2$ bilan o'lchanadi. Agar ω bilan ε bir xil ishorali bo'lsa, harakat tezlanuvchan, har xil ishorali bo'lsa, harakat sekinlanuvchan bo'ladi. Harakat davomida $\varepsilon = \text{const}$ bo'lsa, bunday harakatga tekis o'zgaruvchan aylanma harakat deyiladi. Tekis o'zgaruvchan aylanma harakat tenglamasi quyidagi ko'rinishda aniqlanadi

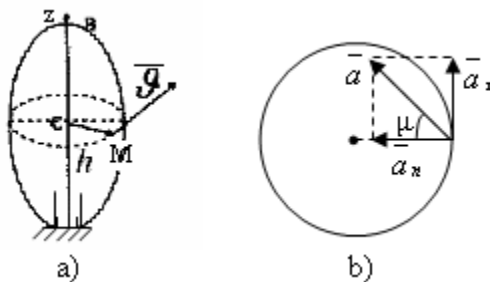
$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} \text{ dan } \omega = \omega_0 + \varepsilon t$$

Tekis o'zgaruvchan harakat tenglamasi quyidagicha ifodalanadi:

$$\varphi = \varphi_0 + \omega_0 t + \frac{\varepsilon t^2}{2}.$$

ε ning ishorasi harakatni tezlanuvchan yoki sekinlanuvchan ekanini ko'rsatadi. Agar $t=0$ da $\varphi_0 = 0$ bo'lsa, $\varphi = \omega_0 t + \frac{\varepsilon t^2}{2}$ tenglik hosil bo'ladi.

Aylanma harakatdagi jism M nuqtasining tezlik va tezlanishi aniqlaymiz.



Harakat egri chiziqli bo'lgani uchun M nuqtaning chiziqli tezligi quyidagi formula bo'yicha topiladi:

$$g = h\omega$$

Demak, aylanma harakatdagi jism nuqtasining tezligi nuqtadan aylanish o'qigacha bo'lgan masofa h ga proporsional o'zgarar ekan. Tezlik harakat yo'nalishida trayektoriyaga urinma bo'ylab yo'naladi. Endi M nuqtaning tezlanishini topamiz. Harakat egri chiziqli bo'lgani uchun M nuqtaning tezlanishi urinma va normal tezlanishlardan tashkil topadi.

$$a_n = \frac{g^2}{\rho}; \quad a_t = \frac{dg}{dt}$$

Bu tengliklarga yuqoridagi g ning qiymatini qo'yamiz:

$$a_n = \frac{d}{dt}(\omega \cdot h) = h \cdot \varepsilon; \quad a_n = \frac{(\omega \cdot h)^2}{h} = \omega^2 \cdot h$$

M nuqtaning to'liq tezlanishining miqdori:

$$a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2} = h \cdot \sqrt{\varepsilon^2 + \omega^4}$$

va yo'nalishi $tg\mu = \frac{|\varepsilon|}{\omega^2}$ formulalardan aniqlanadi.

a_n tezlanishi hamma vaqt aylanish markaziga qarab yo'naladi, ammo urinma tezlanish yo'nalishi harakatning tezlanuvchan yoki sekinlanuvchanligiga bog'liq bo'ladi. $\varepsilon > 0$ bo'lsa, harakat tezlanuvchan bo'lib, a_r bilan ϑ bir yo'nalishda, $\varepsilon < 0$ bo'lsa, harakat sekinlanuvchan bo'lib, a_r , ϑ ga teskari yo'naladi.

Radiuslari r_1 va r_2 bo'lgan tishli g'ildiraklar bir-biri bilan tishlashgan bo'lsin.

Birinchi g'ildirakni etakchi, ikkinchisini esa etaklanuvchi deb faraz qilaylik. Ikkala g'ildiraklarning bir-biriga tegib turgan nuqtalarining tezligi miqdor va yo'nalishi jihatdan bir xildir:

$$V_{1A} = V_{2A} \quad \text{yoki} \quad \omega_1 r_1 = \omega_2 r_2$$

bundan, $\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_2}{r_1} \quad (1) \quad \text{kelib chiqadi.}$

(1) munosabat g'ildiraklar harakati uzatish tasmlari orqali bo'lganda ham o'rinlidir.

(1)dan ko'ramizki, g'ildiraklar burchak tezliklarining nisbati radiuslarining nisbatiga teskari proporsional ekan.

G'ildirak tishlari tashqi tomondan tishlashgan bo'lsa yoki uzatma tasmlari ayqash bo'lsa, ular har xil tomonga aylanadi. Agar g'ildiraklar ichki tomondan tishlashgan bo'lsa yoki uzatma tasmlari ayqash bo'lmasa, ular bir tomonga aylanadi.

G'ildiraklar burchak tezliklarining nisbati tishlar soni z_1 , z_2 yoki aylanish soni n_1 , n_2 orqali quyidagicha ifodalanadi:

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{r_2}{r_1}$$

Etakchi g'ildirak burchak tezligining etaklanuvchi g'ildirak burchak tezligiga nisbati uzatish soni deb ataladi:

$$i_{1,2} = \frac{\omega_1}{\omega_2}$$

Rasmlardagi g'ildiraklar uchun uzatish soni musbat; dagi g'ildiraklar uchun uzatish soni manfiy bo'ladi.

Tishlashgan g'ildiraklar n (bir necha) juft bo'lsa, umumiy uzatish soni har bir juft g'ildirak uzatish sonlarining ko'paytmasiga teng:

$$i_{1,n} = i_{1,2} \cdot i_{2,3} \cdot \dots \cdot i_{n-1,n},$$

bundan

$$i_{1,n} = (-1)^m \frac{\omega_1}{\omega_2}$$

Bu erda m - tashqi tomondan tishlashgan juft g'ildiraklar soni.

7-mavzu. Qattiq jismning tekis parallel harakati. Nuqtaning murakkab harakati.

Raja:

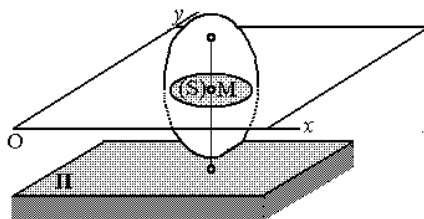
1. Tekislikka parallel harakatning tenglamasi.
2. Tekislikdagi harakatdagi shakl nuqtalarining tezliklarini aniqlash.
3. Jismning ikki nuqtasi tezligining proektsiyasi haqidagi teorema.
4. Tezliklar oniy markazi.

Tayanch soʻz va iboralar:

Qattiq jism, tekis shakl, tekis parallel harakat, tezlikning proektsiyasi haqidagi teorema, tezliklar oniy markazi, tezlanishlar oniy markazi murakkab harakat.

Tekislikka parallel (yoki tekislikdagi) harakat deb, qattiq jismning shunday harakatiga aytiladiki, shu jismda olingan barcha nuqtalar harakat davomida birorta qoʻzgʻalmas P -tekislikka parallel holda koʻchadilar (1- shakl).

Qattiq jismda qoʻzgʻalmas P -tekislikka parallel boʻlgan birorta S - yuzadan

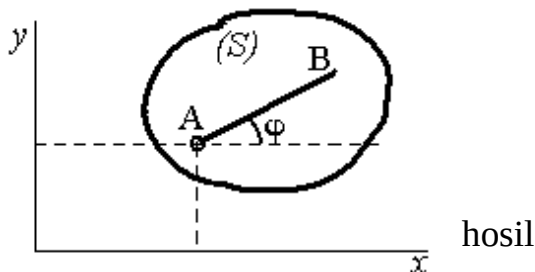


1- shakl

iborat kesma olaylik (1- shakl). Shu jismning tekislikka parallel harakatida jismning shu S -yuzaga perpendikulyar boʻlgan MM' toʻgʻri chiziqdagi barcha nuqtalari aynan bir xil harakat qiladilar.

Demak, qattiq jismning qoʻzgʻalmas Oxy oʻqlariga nisbatan harakatini oʻrganish uchun, shu S -yuzali kesimning harakatini oʻrganish kifoya qilar ekan. Shu sababli, quyida qattiq jismning harakatini oʻrganish oʻrniga, shu S -yuzadan iborat shaklning Oxy oʻqlaridagi harakatini oʻrganish bilan kifoyalanamiz.

S -yuzali shaklning Oxy - oʻqlardagi holati, shu yuzada ixtiyoriy olingan AB - kesmaning holati orqali batafsil aniqlanishi mumkin (shakl). Oʻz navbatida AB kesmaning holatini aniqlash uchun, A nuqtaning x_A , y_A koordinatalari va AB kesmaning x oʻqi bilan qilgan φ -burchakning qiymatlari aniq boʻlishi



shart. S -shaklning holatini aniqlash uchun tanlab olingan A nuqtani, kinematikada **qutb** (*polyus*) deb ataladi va bundan keyingi satrlarda faqat shunday deb nomlaymiz.

S -shakl harakat qilganda x_A , y_A koordinatalar va j burchagining qiymatlari oʻzgarib turadi. Qattiq jismning harakat qonunini aniqlash yoki S -shaklning Oxy -

o'qlardagi holatini istalgan vaqtda aniqlash uchun, quyidagi ifodalar aniq bo'lishi shart,

$$x_A = f_1(t), \quad y_A = f_2(t), \quad \varphi = f_3(t) \quad (1)$$

Jismning harakatini belgilovchi formulalar, *tekislikdagi shaklning harakat tenglamalari* deb ataladi. Hamda ular, *qattiq jismning tekislikka parallel harakatining tenglamalari* deb ataladi. Tenglamalardan birinchi ikkitasi jismning $j = \text{const}$ bo'lgandagi harakat qonunidan iborat; ular jismning ilgarilanma harakatini ifodalovchi tenglamalardan iborat bo'lib, jismning barcha nuqtalari qutb bilan bir xil harakatda bo'ladi. Uchinchi tenglama, agar $x_A = \text{const}$, $y_A = \text{const}$ bo'lgandagi harakatdan iborat bo'lib, ya'ni qutb qo'zg'almas bo'lgandagi harakatdir; bu esa jismni A - qutb atrofida aylanma harakatidan iborat bo'ladi. Bulardan quyidagi xulosani chiqaramiz: *tekislikdagi shaklning o'z tekisligidagi harakati, ikkita harakatlarning yig'indisidan iborat bo'lib, ulardan biri barcha nuqtalarning qutb bilan birgalikdagi ilgarilanma harakati, ikkinchisi esa barcha nuqtalarning A-qutb atrofida aylanma harakatidan iborat bo'lar ekan*

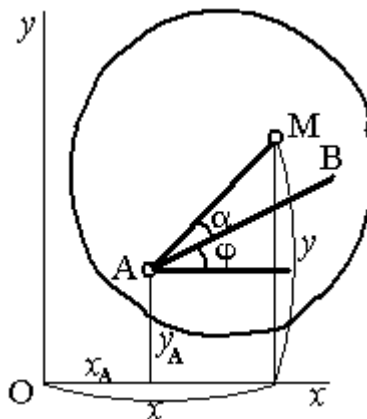
Harakatni o'rganish mobaynida, ixtiyoriy nuqtani qutb deb tanlab olish mumkin.

Qattiq jismning bunday harakatining asosiy **kinematik xarakteristikalari** qutbning tezlik va tezlanishlari ($\bar{v}_{\text{ilg}} = \bar{v}_A$, $\bar{a}_{\text{ilg}} = \bar{a}_A$), ya'ni ilgarilanma harakatning tezlik va tezlanishlari, hamda qutb atrofida aylanma harakatning burchak tezligi $-\omega$ va burchak tezlanishi $-\varepsilon$, lardan iborat bo'ladi. Agar tenglamalar sistemasi ma'lum bo'lsa, ushbu qiymatlarni istalgan vaqt uchun aniqlash mumkin bo'ladi.

Tekislikdagi harakatdagi shakl nuqtalarining traektoriyalarini aniqlash.

Endi tekislikka parallel harakat qilayotgan qattiq jism nuqtalarining harakatini o'rganamiz, ya'ni jismning har bir nuqtasini traektoriyasi, tezlik va tezlanishini aniqlaymiz. Hozir traektoriyani aniqlashni ko'rib chiqamiz.

Tekislikdagi shaklning M nuqtasini olib ko'raylik. Uning holati qutbdan shu M nuqtagacha bo'lgan $b = AM$ masofa va $BAM = \alpha$ burchak orqali aniqlanadi (3-shakl).



3-shakl

Agar harakat tenglamalar orqali berilgan bo'lsa, u holda M nuqtaning Oxy o'qlardagi x va y koordinatalari:

$$x = X_A + b \cos(j+a), y = Y_A + b \sin(j+a) \quad (2)$$

bu erda, X_A , Y_A , j -lar tenglamalar orqali aniqlanadigan va vaqt t -ga bog'liq holda o'zgaruvchan qiymatlar.

M nuqtaning Oxy tekisligidagi harakat qonuni (2) formula orqali ifodalanadi, hamda M nuqtaning traektoriyasining parametrik tenglamalari deb ataladi. Traektoriyaning oddiy tenglamasini aniqlash uchun, bu (2) tenglamalardan t -vaqtni yo'qotib yuborish lozim bo'ladi.

Agar birorta mexanizm zvenosining harakati o'rganilayotgan bo'lsa, shu zvenodagi ixtiyoriy nuqtaning traektoriyasini aniqlash uchun, nuqtaning koordinatalarini mexanizmning holatini belgilovchi birorta parametr orqali ifodalash kerak, so'ngra shu parametrni tenglamadan chiqarib tashlash lozim.

U holda, tenglamalar bilan ifodalanuvchi harakat qonunini aniqlashning zarurati yo'q.

1- masala. Ellipsograf lineykasiga mahkamlangan A va B polzunlar, o'zaro perpendikulyar bo'lgan yo'naltiruvchilar bo'ylab harakat qilmoqdalar (shakl). $AB=l$ ga teng bo'lsa, lineyka M nuqtasini traektoriyasi aniqlansin.

Yechish. A nuqtani qutb deb tanlab olamiz va nuqtaning holatini lineykada olingan $AM=b$ kesma orqali aniqlaymiz. Lineykaning holati j -burchak orqali ifodalanadi. U holda M nuqtani qo'zg'almas Oxy o'qlardagi x va y koordinatalarini aniqlaymiz: $x=(b-1)\cos j$, $y=b\sin j$ bo'ladi. Shu ikkala tenglamalardan vaqtga bog'liq o'zgaruvchi j -ni yo'qotib yuborsak, (lineykaning harakat qonuni qanday bo'lishidan qat'iy nazar) M nuqtaning traektoriyasi aniqlanadi. M nuqta traektoriyasining tenglamasi,

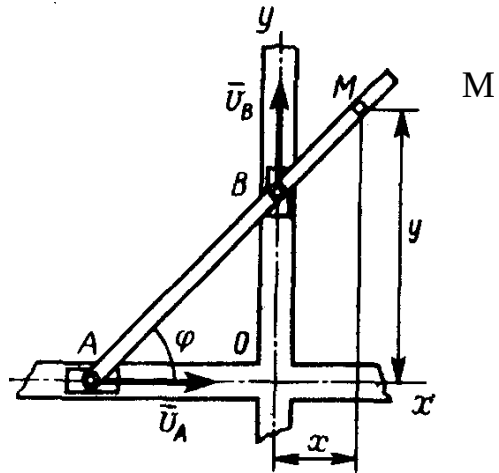
$$\frac{x^2}{(b-1)^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1$$

bo'ladi, bu egri chiziq esa, markazi O nuqtada joylashgan, yarim o'qlari $a=|b-1|$ va b -lardan iborat ellips ekan.

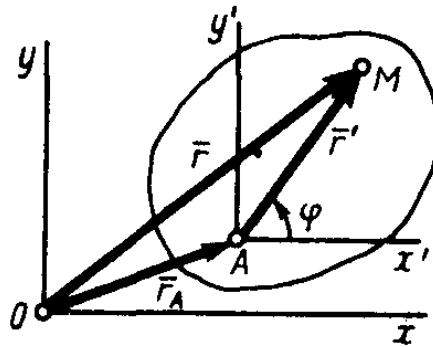
Tegishli vintlar yordamida l va b -larni o'zgartirib, lineykaning o'lchamlaridan katta bo'lmagan harqanday yarim o'qlarga ega bo'lgan ellipsni chizish mumkin ekan. Shu sababli bu mexanizmni **ellipsograf** (ellips chizuvchi-tarj) deb ataladi.

Tekislikdagi harakatdagi shakl nuqtalarining tezliklarini aniqlash.

Ko'rsatib o'tilganidek, tekislikka parallel harakatdagi jismning barcha nuqtalarini A-qutb bilan birgalikdagi $\bar{V}_A$ -tezlik bilan ilgarilanma harakati va qutb atrofidagi aylanma harakatlarning yig'indisidan iborat deb hisoblash mumkin ekan. Shaklning ixtiyoriy M nuqtasining tezligi, yuqorida aytilgan ikkita harakatlardan olinadigan tezliklarning geometrik yig'indisidan iborat bo'lishligini ko'rsatib



o'tamiz. Haqiqatdan ham, shaklning ixtiyoriy M nuqtasining qo'zg'almas Oxy o'qlardagi holati,



5- shakl

$\vec{r} = \vec{r}_A + \vec{r}'$ -ko'rinishdagi radius vektor bilan aniqlanadi (5- shakl). Bu erda $\vec{r}_A$ - qutbning radius vektori, $\vec{r}' = \overline{AM}$ -M nuqtaning qutb bilan birgalikda harakatlanuvchi Ax'y' - o'qlarga nisbatan olingan radius vektori. U holda,

$$\vec{v}_M = \frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{d\vec{r}_A}{dt} + \frac{d\vec{r}'}{dt}$$

Bu tenglikdagi $d\vec{r}_A/dt = \vec{v}_A$ - qutb A-ning tezligi; $d\vec{r}'/dt = \vec{v}_{MA}$ - M nuqtaning A qutb atrofidagi aylanishidan oladigan aylanma tezlik, yoki $\vec{r}_A = \text{const}$ bo'lgandagi aylanma tezlik. Shunday qilib yuqoridagi tenglikdan,

$$\vec{v}_M = \vec{v}_A + \vec{v}_{MA} \quad (3)$$

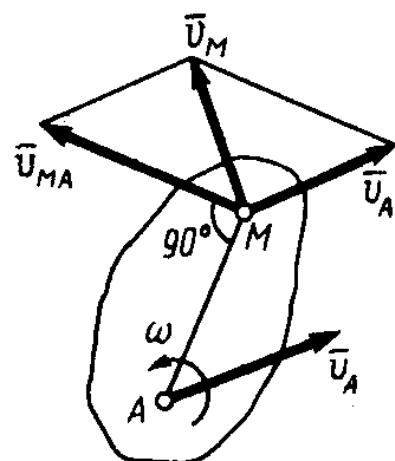
M nuqtaning A-qutb atrofidagi aylanma harakatidan oladigan $\vec{v}_{MA}$ -tezlik vektori,

$$\vec{v}_{MA} = \omega \times \overline{MA} \quad (\overline{AM} \wedge \vec{v}_{MA}) \quad (4)$$

bu erda ω - shaklning burchakli tezligi.

Shunday qilib, tekislikdagi shaklning ixtiyoriy M nuqtasining tezligi qutb deb qabul qilingan birorta A nuqtaning tezligi va shu M nuqtaning qutb atrofidagi aylanishidan oladigan tezliklarning geometrik yig'indisiga teng ekan. M

nuqtaning tezlik vektori $\vec{v}_M$ -ning moduli va yo'nalishi tegishli parallelogrammning dioganali aniqlanadi (6- shakl).



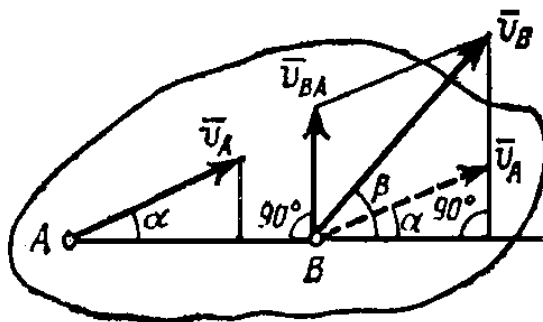
orqali

Jismning ikki nuqtasi tezligining proektsiyasi haqidagi teorema.

Tekislikdagi shakl (tekislikka parallel harakatlanuvchi qattiq jism) nuqtalarining tezliklarini (3) formula orqali aniqlash, ancha murakkab hisoblash ishlariga olib keladi. Lekin tekislikka parallel harakatdagi jism nuqtalarining tezliklarini aniqlash uchun, yuqorida olingan natijalardan kelib chiqadigan bir necha sodda va qulay usullar haqida so'z yuritamiz.

Shunday usullardan biri haqida quyidagi teoremdan foydalanamiz. Teorema: qattiq jismning ixtiyoriy ikki nuqtasining tezligini shu nuqtalardan o'tuvchi o'qqa bo'lgan proektsiyalari o'zaro teng.

Tekislikdagi shaklning (jismning) ixtiyoriy ikki A va B nuqtasini olib ko'raylik. A



7- shakl

nuqtani qutb deb qabul qilib (7- shakl), B nuqtaning tezligi uchun (3) formula orqali

$\vec{V}_B = \vec{V}_A + \vec{V}_{BA}$ vektor tenglamani yozamiz. Ushbu vektor tenglamani ikkala tomonini AB o'qqa proektsiyalaymiz. Lekin $\vec{V}_{BA}$ -tezlik vektori AB o'qqa perpendikulyar ravishda yo'nalgan bo'lganligi uchun,

$$v_B \times \cos\beta = v_A \times \cos\alpha \quad (5)$$

bo'ladi va teorema isbotlandi.

Ushbu natijani oddiy mulohaza yuritish orqali ham aniqlash mumkin: agar (5) tenglik qanoatlanmasa, u holda A va B nuqtalar orasidagi masofa o'zgarishi lozim, bu esa absolyut qattiq jism uchun mutloq mumkin emas. Shu sababli (5) tenglik nafaqat tekislikka parallel harakatda, hatto ixtiyoriy harakatda ham o'rinli bo'ladi.

Isbot qilingan ushbu teorema orqali jismning biror nuqtasining tezligi ma'lum bo'lsa, boshqa ixtiyoriy nuqtasining tezligini aniqlashga imkon ochib beradi.

Tekislikdagi harakatdagi shakl nuqtalarining tezliklarini oniy tezliklar markazi orqali aniqlash. Tsentroidalar haqida tushuncha.

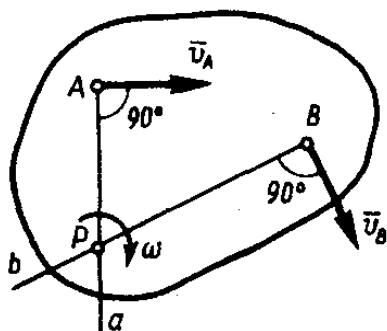
Tekis shakl (yoki tekislikdagi harakatdagi jism) nuqtalarining tezliklarini aniqlashning yana bir sodda usuli, oniy tezliklar markazi haqidagi tushunchaga asoslanadi.

Oniy tezliklar markazi deb shunday nuqtaga aytiladiki, uning shu ondagi tezligi nolga teng bo'ladi.

Agar qattiq jism ilgarilanma harakat qilmasa, albatta shunday nuqta topiladiki, u nuqtaning shu t - ondagi tezligi nolga teng bo'ladi, hamda bunday nuqta faqat bitta bo'ladi. Faraz qilaylik, t - onda jismning ixtiyoriy A va B nuqtasining tezlik

vektorlari $\vec{V}_A$ va $\vec{V}_B$ bo'lsin, lekin nuqtalarning tezlik vektorlari o'zaro parallel bo'lmasin. Agar shu A va B nuqtalardan ularning tezlik vektorlariga perpendikulyar bo'lgan Aa va Bb chiziqlar o'tkazsak, ularning kesishgan nuqtasi tekislikdagi harakatning oniy tezliklar markazi bo'ladi, chunki $\vec{v}_P = 0$ bo'ladi.

Agar $\vec{V}_P = 0$ bo'lsa, ikki nuqta tezligining proektsiyalari haqidagi teoremdan asosan



$\vec{V}_P$ - tezlikning vektori bir vaqtning o'zida ham

AR (chunki $\vec{V}_A \wedge \vec{AR}$) ga, ham BR (chunki $\vec{V}_B \wedge \vec{BR}$) ga perpendikulyar bo'lishi shart, bu esa aslo mumkin emas. Ushbu teoremdan ko'rinib turibdiki, hech qanday boshqa nuqtaning shu ondagi tezligi nolga teng emas ekan.

Endi, agar t- vaqt uchun P nuqtani qutb deb tanlab olsak, (3) formula orqali A nuqtaning tezligi quyidagicha aniqlanadi,

$$\vec{V}_A = \vec{V}_P + \vec{V}_{PA} = \vec{V}_{PA}$$

chunki $\vec{V}_P = 0$. Xuddi shunday natijani ixtiyoriy olingan boshqa nuqta uchun ham yozishimiz mumkin. Demak, *jismning tekislikdagi harakatidagi nuqtalarining shu ondagi tezliklarini aniqlash uchun, jismni oniy markaz atrofida aylanma harakat qilmoqda deb faraz qilish lozim ekan.* Hamda (4) tenglamaga asosan,

$$v_A = \omega \times RA (\vec{V}_A \wedge \vec{RA});$$

$$v_B = \omega \times RB (\vec{V}_B \wedge \vec{RB}) \text{ va h.k.} \quad (6)$$

shu tenglikdan quyidagi proportsiyani yozish mumkin,

$$\omega = \frac{v_A}{PA} = \frac{v_B}{PB} \quad (7)$$

ya'ni, *tekislikdagi harakatdagi jism nuqtalarining tezliklari ularning oniy tezliklar markazigacha bo'lgan masofalariga proportsional ekan.*

Yuqorida olingan natijalardan quyidagi xulosalar kelib chiqadi:

1. *Oniy tezliklar markazini aniqlash uchun faqat ixtiyoriy ikkita A va B nuqtalarning $\vec{V}_A$ va $\vec{V}_B$ tezliklarini yo'nalishlarini (yoki ularning traektoriyalarini) bilish kifoya ekan; shu nuqtalarning tezliklarini yo'nalishlariga o'tkazilgan perpendikulyar chiziqlarning (yoki ularning traektoriyalariga urinmalarining) kesishgan nuqtasi oniy tezliklar markazi bo'lar ekan.*

2. *Tekislikdagi harakatdagi jismning ixtiyoriy nuqtasining tezliklarini aniqlash uchun, uning birorta A nuqtasining tezligini son qiymati, yo'nalishi va boshqa ixtiyoriy B nuqtaning tezligini yo'nalishi ma'lum bo'lishi etarli ekan.* U holda A va B

nuqtalardan $\vec{V}_A$ va $\vec{V}_B$ tezliklarga perpendikulyar chiziqlar o'tkazsak, ularning kesishgan P nuqtasi oniy tezliklar markazi bo'ladi va $\vec{V}_A$ tezlikning yo'nalishiga qarab jismning aylanish yo'nalishini aniqlab olamiz. So'ngra $\vec{V}_A$ -tezlik orqali (7)

formula yordamida ixtiyoriy M nuqtaning v_M -tezligini aniqlaymiz va $\vec{V}_M$ -ni PM chizig'iga perpendikulyar ravishda M nuqtadan jismning aylanish tomoniga yo'naltirib qo'yamiz.

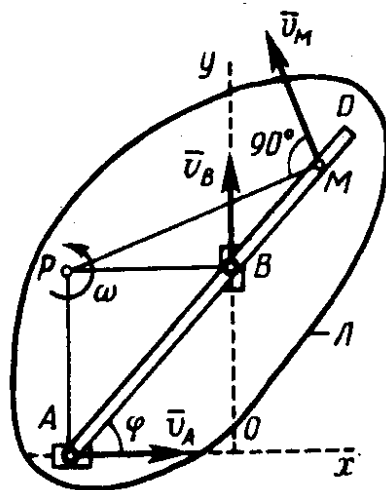
3. Tekislikdagi harakatdagi jismning burchakli tezligi ixtiyoriy nuqtaning tezligini, shu nuqtaning oniy tezliklar markazi P nuqtagacha bo'lgan masofaga bo'linganiga teng ekan:

$$\omega = v_B / PB. \quad (8)$$

Jismning burchakli tezligi ω -ni boshqacha usulda ham aniqlash mumkin ekan, (3), (4)

tengliklardan ma'lumki, $\mathbf{v}_{BA} = |\bar{\mathbf{v}}_B - \bar{\mathbf{v}}_A|$ va $\mathbf{v}_{BA} = \omega \times \mathbf{AB}$ bunga asosan

$$\omega = \frac{|\bar{\mathbf{v}}_B - \bar{\mathbf{v}}_A|}{AB} = \frac{|\bar{\mathbf{v}}_B + (-\bar{\mathbf{v}}_A)|}{AB} \quad (9)$$



Agar $v_A=0$ bo'lsa (u holda A nuqta oniy tezliklar markazi bo'ladi) (9) formula (8) formulaga aylanib qoladi.

(8) va (9) tengliklar bir-xil qiymatni aniqlaydilar, chunki yuqorida isbot qilganimizdek, bir vaqtni o'zida jismda ikkita oniy tezliklar bo'lishi mumkin emas, shu sababli bir vaqtni o'zida ikki xil burchakli tezlik - ω ham bo'lishi mumkin emas.

Misol. Ellipsograf AD lineykasining A va B nuqtalari tezliklarining yo'naltiruvchilari ma'lum. Shu yo'naltiruvchilarga perpendikulyarlar o'tkazib, lineykaning tekislikdagi harakati uchun oniy tezliklar markazi P-ni aniqlaymiz (ellipsografni A va B polzunlarga sharnirlar orqali mahkamlangan fanerdan tayyorlangan bitta list L - deb qaralsin, AD lineykani esa shu listga chizilgan shakl deb hisoblansin. U holda P nuqta listga tegishli bo'lib, uning tezligi $v_R=0$ bo'ladi).

P nuqtaning o'rnini aniqlangandan keyin $v_A/RA=v_B/RB$ proportsiyadan $v_A=v_B(RA/RB)=v_B \times t$ ga. M nuqta uchun ham xuddi shu kabi $v_M=v_B(RM/RB)$. RM -

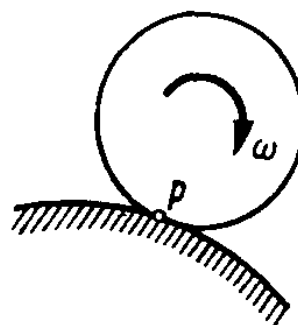
ning uzunligini AB, AM va j - lar orqali hisoblab olish mumkin. $\bar{V}_M$ - vektorning

yo'nalishi shaklda ko'rsatilgan ($\bar{V}_M \wedge RM$).

Lineykaning burchakli tezligini (8) yoki (9) formulalar orqali aniqlash mumkin,

$$\omega = \frac{v_B}{PB_{\text{voki}}} \quad \omega = \frac{|\bar{v}_B - \bar{v}_A|}{AB}$$

bu ikkala formula ham bir xil natija beradi.



Quyida oniy tezliklar markazini aniqlashning ayrim xususiy hollarini ko'rib o'tamiz:

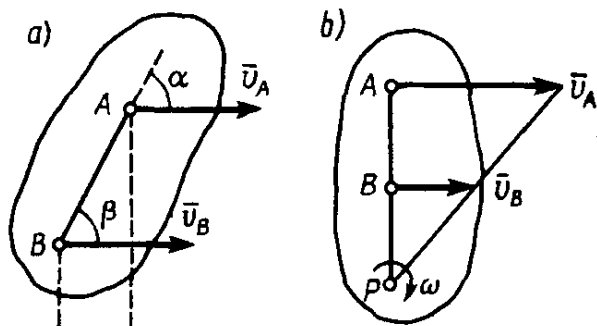
a) agar bir tsilindrsimon jism boshqa qo'zg'almas jismning sirti bo'ylab sirpanishsiz dumalab tekislikdagi harakat qilayotgan bo'lsa, dumalayotgan jismning qo'zg'almas sirt bilan shu ondagi tutashgan P -nuqtasining tezligi nolga teng bo'ladi ($v_R=0$), shu sababli bu nuqta oniy tezliklar markazi hisoblanadi. Bunga rels ustidagi vagon g'ildiragining harakati misol bo'lishi mumkin.

b) agar jismning A va B nuqtalari tezlik vektorlari o'zaro parallel bo'lsa va AB kesma

$\vec{V}_A$ -vektorga perpendikulyar bo'lmasa, u holda bu jismning oniy tezliklar markazi

cheksizlikda yotadi, demak barcha nuqtalarining tezliklari o'zaro teng va

$\vec{V}_A$ -ga parallel bo'ladi. Hamda tezlikning proektsiyalari haqidagi teorema asosan $v_A \cos \alpha = v_B \cos \beta$ bo'ladi, bundan $v_A = v_B$, chunki $a = b$, qolgan barcha nuqtalarning tezliklari ham shunga teng va bir xil yo'nalgan bo'ladi.



Demak, jismning barcha nuqtalarining tezliklari ham modullari, ham yo'nalishlari bo'yicha o'zaro teng bo'ladi, ya'ni jism *oniy ilgarilanma harakat tezliklar maydoniga ega* (jismning bunday holati *oniy ilgarilanma harakat*) ekanligi aniqlandi. O'z o'zidan ma'lumki jismning (9) formula orqali aniqlanadigan burchakli tezligi $-\omega$ nolga teng bo'ladi.

c) agar jismning A va B nuqtalari tezlik vektorlari o'zaro parallel bo'lsa va AB kesma

$\vec{V}_A$ -vektorga perpendikulyar bo'lsa, u holda bu jismning oniy tezliklar markazi P nuqta b shaklda tasvirlangan chizma orqali aniqlanadi. Ularning isbotini (6) formula yordami orqali aniqlanadi. Bunday holatda oniy tezliklar markazi P-ning o'rnini aniqlash uchun A va B nuqtalarning tezliklarini yo'nalishlaridan tashqari ularning son qiymatlari v_A va v_B -lar ham berilgan bo'lishi shart.

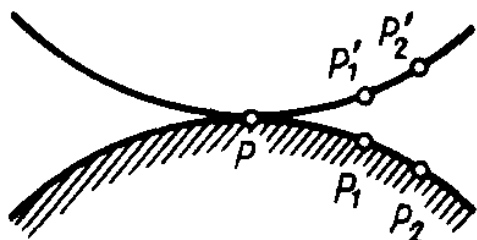
g) agar ixtiyoriy B nuqtaning tezlik vektori $\vec{V}_B$ va jismning burchakli tezligi $-\omega$

ma'lum bo'lsa, u holda bunday harakatning oniy tezliklar markazi $\vec{V}_B$ -ga perpendikulyar bo'lgan chiziqli joylashib, B nuqtadan (8) formula orqali aniqlanadigan $BR = v_B / \omega$ masofada yotadi.

Tsentroidalar va oniy aylanish markazi. Yuqorida ko'rib o'tilgandek, har bir olingan alohida on uchun shaklning tekislikdagi harakati, jismning oniy tezliklar markazi P nuqta atrofidagi aylanishidan iborat deb hisoblash mumkin ekan. Shu sababli, tekislikdagi harakatdagi jismning oniy tezliklar markazi P bilan qo'zg'almas jismning shu markaz bilan ustma-ust tushadigan nuqtasi ham P -harfi bilan belgilanadi va uni *oniy aylanishlar markazi* deb ataladi. Tekislikdagi shaklning aylanish o'qi S-yuzaga perpendikulyar bo'lib, oniy tezliklar markazi P nuqtadan o'tuvchi R_z - o'q *oniy aylanishlar o'qi* deb ataladi.

Qo'zg'almas aylanish o'qi (yoki markazi) bilan oniy o'q (yoki markaz) markazning farqi shundaki, oniy o'q (markaz), har onda o'zining o'rnini o'zgartirib

turadi. Jismning tekislikka parallel harakatini ikkita harakatlardan tashkil topgan deb qarash mumkin bo'lib, ulardan biri qutb bilan birgalikdagi ilgari lanma harakat, ikkinchisi qutb atrofidagi aylanma harakatdan iborat bo'ladi, deb aytilgan edi. Olingan natija tekislikdagi harakatning boshqa geometrik ko'rinishini oydinlashtirib beradi, ya'ni: *har qanday tekislikka parallel harakat uzluksiz o'zgaruvchi oniy o'q (markaz)lar atrofidagi elementar aylanishlardan iborat ekan deb hisoblash mumkin ekan.*



Jismning tekislikdagi harakatida oniy tezliklar markazi ham qo'zg'aluvchi jismdagi, ham qo'zg'almas Oxy tekisligidagi o'rni uzluksiz ravishda o'zgarib turar ekan. Qo'zg'almas tekislikdagi oniy aylanishlar markazlarining o'rinlarini qo'zg'almas tsentroidalar deb ataladi.

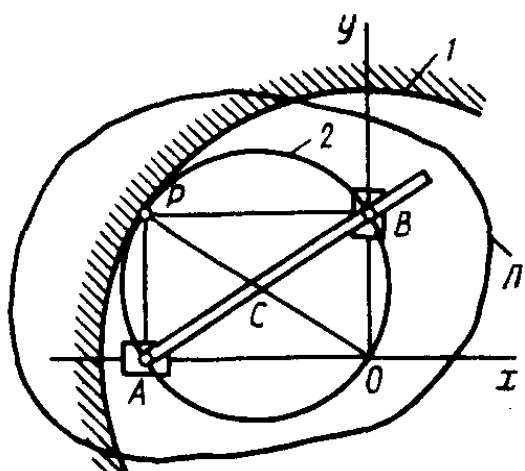
Jism bilan birgalikda harakat qilayotgan qo'zg'aluvchi o'qlardagi oniy tezliklar markazlarining o'rinlarini qo'zg'aluvchi tsentroidalar deb ataladi.

Hozirgi onda qo'zg'aluvchi va qo'zg'almas tsentroidalar oniy aylanish (yoki oniy tezliklar) markazi P nuqtada uchrashib turibdilar; tsentroidalar hech qachon kesishmaydilar, chunki u holda bir vaqtning o'zida bir nechta aylanish o'qi mavjud bo'lishi lozim edi, bu esa mumkin emas.

Keyingi oniy vaqt uchun tsentroidalarning qo'zg'aluvchi oniy tezliklar markazi - P'_1 va qo'zg'almas oniy aylanishlar markazi P_1 -lar ustma-ust tushadilar va hokazo;

Har bir on uchun oniy markazning o'rni uzluksiz o'zgarib turishligi va har-bir yangi

markazning tezligi $\bar{V}_P=0$ nolga teng bo'lganligi uchun, tekislikdagi harakatda qo'zg'aluvchan tsentroidalarning qo'zg'almas tsentroidalar ustidagi dumalanishlaridan iborat ekan deb hisoblash mumkin. Agar shu tsentroidalarni birorta materialdan yasab qo'zg'almas tsentroida ustida dumalatsak, haqiqiy real



harakatni olishimiz mumkin bo'ladi. 130-shakldagi harakatda Ox -o'qi qo'zg'almas tsentroidani tashkil qiladi, RDEK -aylana esa qo'zg'aluvchi tsentroidani tashkil etadi. Agar g'ildirak rels ustida sirpanmasdan dumalab harakatlansa, bu qo'zg'aluvchi tsentroidaning qo'zg'almas tsentroida ustidagi dumalanishini tasvirlaydi.

Misol. Ellipsografning AB lineykasi uchun oniy aylanish markazi P nuqtada yotadi. Ixtiyoriy on uchun $PO=AB=l$ bo'lgani sababli P nuqtaning Oxy

o'qlardagi qo'zg'almas o'rinlari, radiusi l -ga teng bo'lgan va markazi O nuqtada joylashgan aylanadan iborat bo'lar ekan. Hamda shu vaqtning o'zida AB lineykani fanera L-ga chizib qo'yilgan kesma deb faraz qilsak, u holda P nuqtadan lineykaning markazigacha bo'lgan masofa $PC=l/2$ o'zgarmas bo'lar ekan. Demak, qo'zg'aluvchi

P nuqtaning yoki qo'zg'aluvchi tsentroidaning fanera L-dagi o'rinlari markazi C nuqtada bo'lib, radiusi $PC=l/2$ bo'lgan aylanadan iborat ekan. Ellipsografning harakatida aylana -2, aylana -1 ustida sirpanmasdan harakat qilar ekan va ularning tutashgan nuqtalari har-bir on uchun oniy aylanishlar markazi bo'lar ekan. Agarda 1 va 2 aylanalarni tishli g'ildiraklardan tayyorlab birini ikkinchisining ustida dumalatilsa, 2 aylananing AB diametri ellipsografning harakatini takrorlab berar ekan.

Tekis shakl nuqtalarining tezlanishlarini aniqlashga "Tekislikka parallel harakat: chiziqli tezlanishlar:"

Tekislikka parallel harakatdagi qattiq jismning ixtiyoriy nuqtalarining tezlanishlari (tezliklari kabi), jismning qutb bilan birgalikdagi ilgarilanma harakatdagi va qutb atrofidagi aylanma harakatida oladigan tezlanishlarning vektor yig'indilaridan iborat bo'lishligini ko'rib o'tamiz.

Tekislikdagi harakatdagi jismning M nuqtasini Oxy o'qlardagi holati $\vec{r} = \vec{r}_A + \vec{r}'$ radius vektor orqali ifodalanadi. Bu erda $\vec{r}' = \overline{AM}$, u holda M nuqtaning tezlanishi,

$$\vec{a}_M = \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = \frac{d^2 \vec{r}_A}{dt^2} + \frac{d^2 \vec{r}'}{dt^2}$$

Ushbu tenglamaning o'ng tarafidagi birinchi yig'indi A nuqta (qutb)ning tezlanishi, ikkinchi yig'indi esa M nuqtaning A qutb atrofidagi aylanishidan oladigan $\vec{a}_{MA}$ tezlanishdan iborat. Demak,

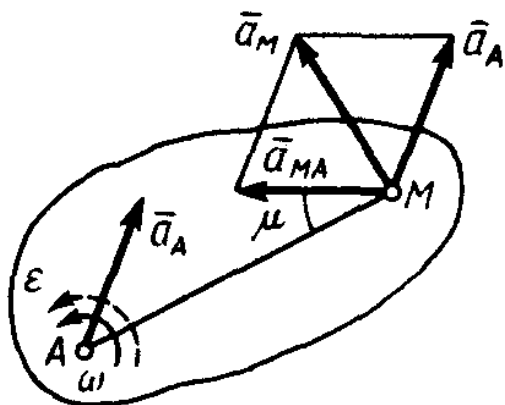
$$\vec{a}_M = \vec{a}_A + \vec{a}_{MA} \quad (1)$$

$\vec{a}_{MA}$ -tezlanishning son qiymati, qattiq jismning qo'zg'almas o'q atrofidagi aylanma harakatida oladigan tezlanishidan iborat bo'lib, (13) va (14) formulalar orqali aniqlanadi:

$$a_{MA} = MA \sqrt{\varepsilon^2 + \omega^4}, \quad \operatorname{tg} \mu = e/\omega^2 \quad (2)$$

bu erda ω va e - jismning burchakli tezligi va burchakli tezlanishi, m -esa $\vec{a}_{MA}$ vektor bilan MA kesma orasidagi burchak (shakl).

Shunday qilib, tekislikdagi harakatdagi jismning ixtiyoriy M nuqtasining tezlanishi, qutb deb tanlab olingan birorta A nuqtaning tezlanishi va jismning shu A - qutb atrofidagi aylanishidan hosil bo'ladigan tezlanishlarning geometrik yig'indisidan



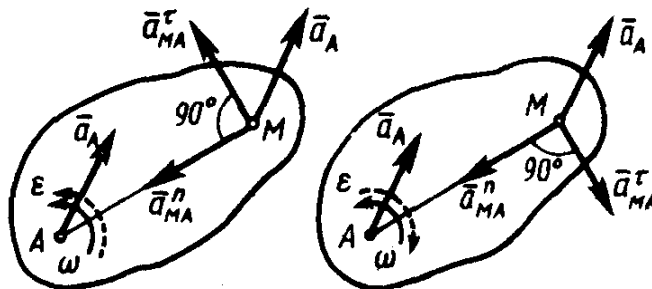
iborat bo'lar ekan. $\vec{a}_M$ - vektorning moduli va yo'nalishini tegishli parallelogramm qurish orqali aniqlaniladi (shakl).

Ammo a_M -tezlanishni parallelogramm qurish orqali shakldagi kabi aniqlashda,

ancha murakkab amallarni bajarishga olib keladi, masalan, m -burchakni oldindan hisoblash, so'ngra $\vec{a}_A$ va $\vec{a}_{MA}$ -vektorlar orasidagi burchakni aniqlash kerak bo'ladi. Shu sababli $\vec{a}_{MA}$ -vektorni ikkita tashkil etuvchilarga ajratib yuboriladi, ya'ni $\vec{a}_{MA}^\tau$ -urinma va $\vec{a}_{MA}^n$ -normal tezlanishlari, ya'ni (5) tenglik quyidagi ko'rinishga keladi,

$$\vec{a}_M = \vec{a}_A + \vec{a}_{MA}^\tau + \vec{a}_{MA}^n \quad (3)$$

Vektor $\vec{a}_{MA}^\tau$ -AM kesmaga perpendikulyar bo'lib, tezlanuvchan harakatda aylanish tomoniga, sekinlanuvchan harakatda esa, aylanishga teskari tomonga yo'naladi, $\vec{a}_{MA}^n$ - vektori har doim M nuqtadan A nuqtaga qarab yo'nalgan bo'ladi (shakl). Ushbu



shakl

tezlanishlarning modullari esa,

$$a_{MA}^\tau = AM \times \epsilon, \quad a_{MA}^n = AM \times \omega^2 \quad (4)$$

Agar qutb A egri chiziqli harakatda bo'lib, uning traektoriyasi ma'lum bo'lsa, u nuqtaning tezlanishini urinma - $\vec{a}_A^\tau$ va normal - $\vec{a}_A^n$ tashkil etuvchilarga ajratib yuborgan mahqul bo'ladi, u holda

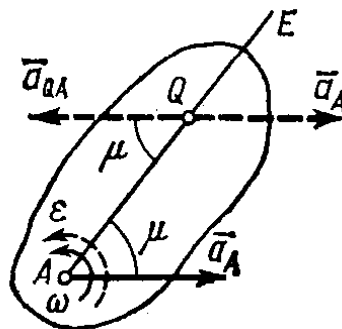
$$\vec{a}_M = \vec{a}_A^\tau + \vec{a}_A^n + \vec{a}_{MA}^\tau + \vec{a}_{MA}^n \quad (5)$$

Va nihoyat, agar M nuqta egri chiziq bo'ylab harakatlanib, uning traektoriyasi ma'lum bo'lsa, u holda (3) -(5) tenglamalarning chap tarafdagi $\vec{a}_M$ -vektorni ham ikkita tashkil etuvchi vektorlarning yig'indisi $\vec{a}_M^\tau + \vec{a}_M^n$ -dan iborat deb hisoblash mumkin bo'ladi. Masalalarni echishda amalda (3)-(5) formulalardan ko'proq foydalaniladi.

Tezlanishlarning oniy markazi.

Ilgarilama bo'lmagan har qanday tekislikdagi harakatdagi jismda, istalgan vaqt uchun shunday Q nuqta topish mumkinki u nuqtaning shu ondagi tezlanishi nolga teng bo'ladi. Ushbu nuqta *oniy tezlanishlar markazi* deb ataladi.

Oniy tezlanishlar markazi Q nuqtaning o'rnini aniqlash uchun, jismning burchakli tezligi $-\omega$ va burchakli tezlanishi $-\epsilon$, hamda ixtiyoriy biror A nuqtasining $\bar{a}_A$ -



tezlanishi ma'lum bo'lishi shart. Agarda ular ma'lum bo'lsa Q nuqtaning o'rnini quyidagi tartibda aniqlaniladi:

1) $\tan \mu = \epsilon / \omega^2$ formula orqali μ - burchakning qiymatini aniqlaymiz;

2) A nuqtadan $\bar{a}_A$ -vektorga μ - burchak ostida AE to'g'ri chiziqni o'tkazamiz

(shakl); agar jism tezlanuvchan harakatda bo'lsa, bu AE chiziq $\bar{a}_A$ -vektorning aylanish tomonida yotishi shart, agar sekinlanuvchan harakatda bo'lsa jismning aylanishiga teskari tomonida yotishi shart bo'ladi, ya'ni har doim burchakli tezlanish ϵ -tomonga yo'nalgan bo'ladi.

3) AE chiziqdan A nuqtadan boshlab AQ masofada Q -nuqtaning o'rnini belgilaymiz,

$$AQ = a_A / \sqrt{\epsilon^2 + \omega^4} \quad (6)$$

Q -nuqtaning shu o'ri jismning oniy tezlanishlar markazi hisoblanadi. Haqiqatdan ham (1) va (8) formulalar orqali,

$$\bar{a}_Q = \bar{a}_A + \bar{a}_{QA}$$

bu erda, $a_{QA} = AQ \sqrt{\epsilon^2 + \omega^4}$. Agarda AQ -ning qiymatini (6) tenglikdan keltirib qo'ysak, $a_{QA} = a_A$ bo'ladi. Hamda $\bar{a}_{QA}$ -vektor AQ chizig'i bilan μ -burchak tashkil etishi lozim, shu sababli $\bar{a}_{QA}$ -vektori $\bar{a}_A$ -vektorga parallel ravishda yo'nalgan bo'ladi. Lekin ular qarama-qarshi tomonga yo'naladilar. Demak, $\bar{a}_{QA} = -\bar{a}_A$ va $\bar{a}_Q = 0$ bo'ladi.

Endi Q nuqtani qutb deb tanlab olsak, $\bar{a}_Q = 0$ bo'lganligi uchun, ixtiyoriy M nuqtaning tezlanishi (1) formulaga asosan aniqlanadi

$$\bar{a}_M = \bar{a}_Q + \bar{a}_{MQ} = \bar{a}_{MQ} \quad (7)$$

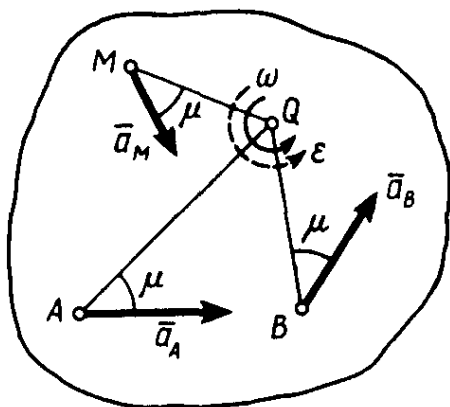
(8) tenglikka asosan, M nuqtaning tezlanishini moduli,

$$a_M = MQ \times \sqrt{\epsilon^2 + \omega^4} \quad (8)$$

Demak, tekislikdagi harakatdagi shaklning ixtiyoriy nuqtasining shu ondagi tezlanishi, jismni oniy tezlanishlar markazi Q atrofidagi aylanishdan iborat bo'lgandagi kabi aniqlanar ekan. Hamda,

$$a_M/MQ = a_A/AQ = \dots = \sqrt{\varepsilon^2 + \omega^4} \quad (9)$$

ya'ni, tekislikdagi shakl nuqtalarining tezlanishlari oniy tezlanishlar markazigacha bo'lgan masofaga to'g'ri proporsional ravishda bo'lar ekan (tekislikdagi harakatdagi jism nuqtalarining tezlanishlar maydoni) shaklda bu tezlanishlar vektor ko'rinishda ifodalangan.



Shuni nazarda tutish lozimki, ushbu masalada oniy tezliklar markazi P va oniy tezlanishlar markazi Q bir nuqtada joylashmas ekan. Masalan, to'g'ri chiziqli rels ustida dumalab harakatlanayotgan (shakl) g'ildirakning markazi C nuqtasining tezligi o'zgarmas ($B_C = \text{const}$) bo'lgani uchun g'ildirakning oniy tezlanishlar markazi shu C nuqtada bo'ladi, chunki $a_C = (v_C)' = 0$ bo'ladi. Xuddi shu vaqtda g'ildirakning oniy tezliklar markazi P nuqtada bo'ladi ($v_R = 0$). Ya'ni oniy tezliklar markazi P va oniy tezlanishlar markazi Q turli nuqtalarda

joylashadilar. Qattiq jism qo'zg'almas o'q atrofida aylanma harakat qilgan holdagina ular bir nuqtada, ya'ni aylanish o'qida joylashadilar.

Ayrim masalalarni echishda oniy tezlanishlar markazidan foydalanish bir qancha qulayliklarga olib keladi.

8-mavzu. Dinamikaga kirish. Dinamikaning asosiy qonunlari. Moddiy nuqta dinamikasining ikki asosiy masalasi.

Reja:

1. Asosiy tushunchalar va ifodalar.
2. Dinamika qonunlari. Moddiy nuqta dinamikasining asosiy masalalari.
3. O'lchov birliklari.
4. Kuchlarning asosiy ko'rinishlari.
5. Moddiy nuqta harakatining differentsial tenglamalari.
6. Dinamikaning masalasi.

Tayanch so'z va iboralar:

Dinamika, jismlarning inertligi, jismning massasi, inertsia qonuni, dinamikaning asosiy qonuni, o'lchov, o'lchov sistemasi, o'zgaruvchan kuchlar, elastiklik kuchi, ishqalanish kuchi.

Kuchlar ta'sirida bo'lgan jismlarning harakatini o'rganuvchi qism **dinamika** deb ataladi.

Kinematika qismida jismlarning harakatlariga faqat geometrik nuqtai nazardagina qaralgan edi. **Dinamika** qismining kinematikadan farqi shundaki, jismlarning harakatlarini o'rganishda, ularga ta'sir etayotgan kuchlar sistemasidan

tashqari jismlarning **inertligi**, ya'ni ularning massalari va shu massalarning joylashish tartiblari (*geometrik shakli*) ham e'tiborga olinadi.

Kuch va ularning moddiy jismlarga ko'rsatadigan mexanik ta'sirlarining o'lchovi ekanligi haqidagi tushunchalar statika qismida ko'rib o'tilgan edi. Lekin, statika qismida jismlarga ta'sir etuvchi kuchlarning vaqt mobaynidagi o'zgarishlarini hisobga olmagan edik va statika masalalarini yechganimizda barcha kuchlarni o'zgarmas deb qaragan edik. Amalda esa harakatlanuvchi jismga o'zgarmas kuchlardan tashqari, moduli va yo'nalishi bo'yicha o'zgaruvchan bo'lgan kuchlar ham ta'sir etadi. Shu qatorda berilgan (aktiv) kuchlar² ham va bog'lanish reksiyalari ham o'zgaruvchan bo'lishlari mumkin.

Tajribalar orqali aniqlandiki, jismga ta'sir etayotgan kuchlar vaqtga, jismning holatiga (koordinatasiga) va uning tezligiga bog'liq ravishda o'zgaruvchan bo'lar ekan. Masalan, reostatni yoqish va o'chirish hisobiga elektrovozning tortish kuchi yoki elektromotorning yaxshi markazlashtirilmagan valining aylanishidan hosil bo'ladigan tebranishlar ta'siridagi kuchlar vaqtga bog'liq ravishda o'zgaruvchi kuchlarga misol bo'lishi mumkin; butun olam tortilish qonuni yoki prujinaning elastiklik kuchi esa jismlarning holatiga (ya'ni koordinatalardagi o'rniga) bog'liq ravishda o'zgaruvchi kuchlarga misol bo'la olishi mumkin; muhit qarshiligi kuchi tezlikka bog'liq ravishda o'zgaradi.

Shuni ta'kidlab o'tish lozimki, statika qismidagi kuchlar haqidagi tushunchalar va qoidalar to'lasicha **dinamika** qismida ham o'rinli hisoblanadi, chunki statika qismidagi qoidalar faqat o'zgarmas kuchlar uchungina o'rinli deyilgan emas.

Inertlik tushunchasi shundan iboratki, agar jismga biror tezlik berilsa jism shu tezlikni saqlab qoladi, agar unga kuch ta'sir etilsa, jismning tezligi birdaniga emas balki ma'lum vaqt mobaynida o'zgaradi. Va bu o'zgarish davri jismning inertligiga to'g'ri proporsional ravishda bo'ladi. **Moddiy jismlarning inertlik xossasining miqdori fizik qiymat bo'lib, uni jismning massasi³ deb ataladi.** Klassik mexanikada massa skalyar, faqat musbat ishorali va har-bir jism uchun o'zgarmas qiymat hisoblanadi.

Jismning harakati uning umumiy massasigagina bog'liq bo'lib qolmasdan, shu massaning qanday joylashganligiga ham, ya'ni jismning geometrik shakliga ham uzviy bog'liq bo'ladi.

Dinamika qismi ancha murakkab bo'lganligini hisobga olib, uni o'rganish nuqta **dinamikasidan** boshlanadi. Bunda, ma'lum massaga ega bo'lgan *moddiy nuqta* degan abstrakt tushuncha kiritiladi, ya'ni har qanday jismni uning geometrik shakliga (massalarning tarqalishiga) e'tibor bermasdan o'rganiladi.

Kinematika qismida ko'rib o'tganimizdek, har qanday harakat asosan ilgarilanma va aylanma harakatlarning yig'indisidan iborat bo'ladi. Agar masalalarning shartlariga ko'ra aylanma harakatlarni e'tiborga olinmasa bunday jismlarning harakatini o'rganishda ularni moddiy nuqta deb qabul qilinadi, chunki natijaviy echimda hech qanday xatolik bo'lmaydi. Masalan, planetalarning Quyosh atrofdagi harakatlarini, artileriya snaryadining qanday masofaga borib tushishini

² Muvozanatdagi jismga ta'sir qilib, uni harakatga keltira oluvchi kuchni *aktiv kuch* deb ataladi.

³ Massa, jismning gravitatsion xususiyatining ham o'lchovi hisoblanadi.

aniqlashda va shunga o'xshash qator masalalarni echishda, ularni moddiy nuqta deb qaraladi.

Ilgarilarni harakatdagi barcha masalalarni yechishda massasi jismning umumiy massasiga teng bo'lgan moddiy nuqta deb hisoblanadi. Mexanik sistema yoki qattiq jismlarning **dinamikasiga** oid harakatlarni o'rganishdan oldin, bitta moddiy nuqtaning **dinamikasiga** oid masalalarni ko'rib o'tish lozim bo'ladi. Shu sababli **dinamika** qismini moddiy nuqta **dinamikasidan** boshlab o'rganamiz.

Dinamika qonunlari. Moddiy nuqta dinamikasining masalalari.

Dinamikaning asosida jismlarning harakatlarini o'rganishga bag'ishlangan va

Muammo: Mexanik harakatlarning qonunlari nechta. Ular qaysi tenglamalar orqali ifodalanadilar. Dinamika qonunlari kim tomonidan va qachon kashf etilgan.

jamiyatning ijtimoiy-mehnat faoliyatida sinovdan o'tgan qator tajriba va kuzatishlar natijasida aniqlangan qonuniyatlar yotadi. **Dinamikaning** qonunlarini birinchi bo'lib I. Nyuton o'zining 1687 yilda⁴ nashr etgan, «Tabiiy falsafaning matematik asoslari» nomli kitobida klassik ko'rinishda sistemalashtirilgan holda bayon qilgan.

Ushbu qonunlarni quyidagicha ifodalash mumkin:

Birinchi qonun (inertsia qonuni): *tashqi muhit ta'siridan ihtotalangan moddiy nuqtaga qo'yilgan kuchlar uning holatini o'zgartirmaguncha, u o'zining tinch holatini yoki to'g'ri chiziqli tekis harakatini davom etdiradi.* Kuchlar ta'sir qilmayotgan (*aniqrog'i-kuchlarning bosh vektori nolga teng bo'lgan*) jismning harakatini, *inertsia* bo'yicha harakat deb ataladi.

Inertsia qonuni materiya (borliq) ning asosiy xossalaridan biri, ya'ni uning har doim harakatda ekanligini ko'rsatib beradi. Ushbu qonun italyan olimi G. Galiley tomonidan (1638 y.) ochilgunga qadar, Aristotel (*Arastu, yunon faylasufi, Iskandar Zulqarnayning ustози, eramizdan oldingi 384-322y. yashagan*) tomonidan aytilgan fikr,

Ushbu qonunni kashf qilganligi sababli G.Galiley, Rim papasining (1633 y) hukmiga binoan o'lim jazosiga mahkum etilgan edi. Lekin G.Galiley cherkovdan kechirim so'rab, ushbu fikr noto'g'ri ekanligini tan olishi sababli, o'lim jazosi umrbod surgunga almashtirilgan edi.

Savol: Nima sababdan Katolik dini bu qonundan shunchalik havfsiragan edi?

ya'ni jism faqat kuch ta'siridagina harakat qilishi mumkin degan fikr hukmronlik qilar edi.

Eng muhim narsalardan biri, ushbu inertsia qonuni qaysi hisob sistemasida o'rinli ekanligini aniqlashdan iboratdir. Nyutonning fikricha ushbu qonun qandaydir qo'zg'almas (absolyut) fazoda joylashgan hisob sistemasidagina o'rinli hisoblangan. Lekin hozirgi zamondagi tushunchalar bo'yicha, fazo - bu materiya (borliq)ning yashash formasi bo'lib, undagi materiyalarning harakatiga bog'liq bo'lmagan qandaydir absolyut fazo bo'lishi mumkin emas ekan.

⁴ A.N.Krilov tomonidan, nihoyat sifatli tarjima qilingan qo'lyozmasi mavjud. Akad. A.N.Krilov, tanlangan asarlar, t.VII. M.-L., 1936.

Ushbu qonun tajribalar orqali aniqlanganligi sababli (Galileyning ko'rsatmasiga asosan, qiyaligi kamayib borayotgan tekislikning ustidagi sharchaning harakati orqali ham aniqlash mumkin ekan), ma'lum darajadagi xatoliklarga ega bo'lgan hisob sistemasi, albatta, mavjud bo'lib, u hisob sistemasida bu qonun o'rinli bo'ladi. Shunga asosan ilmiy abstraktsiyaga tayangan holda, mexanikada ushbu **inertsia qonuni** o'rinli bo'lgan hisob sistemasi mavjud ekanligi postulot (hali isbot qilinmagan fikr) tarzida kiritiladi va uni *inertsial hisob sistemasi* deb ataladi.

Rossiyani buyuk davlatlar qatoriga ko'tarilishda I.Nyutonning hissasi alohida o'rin tutadi. 11 yanvar 1698 yili 26 yoshli shaxzoda Petr I Londonga kelib, I.Nyuton bilan uchrashadi. Nyuton o'sha davrda Angliya davlatining moneta (tanga pul) chiqaruvchi korxonasini rahbari bo'lgan. Petr I Rossiyani kelajakda buyuk davlatlar qatoriga qo'shilishining birdan-bir yo'li mexanika va matematikani rivojlantirish, hamda ular asosida texnikani taraqqiy etdirish lozim ekanligini tushunib, I.Nyutonning tavsiyanomasiga ko'ra Evropalik bir necha yosh mexanik va matematik olimlarni Rossiyaga olib kelib, ularga Evropa miqyosida eng yaxshi sharoitlar yaratib berdi va 28 yanvar 1724 yil kuni Rossiya Fanlar Akademiyasiga asos solindi.

Amalda foydalanilayotgan real hisob sistemasini **inertsial hisob sistemasi** deb qabul qilish mumkin ekanligi, o'sha hisob sistemasining inertsial hisob sistemasi deb hisoblab, o'tkazilgan tajribalardan olingan natijalarni solishtirish orqali aniqlash mumkin. Tajribalar natijasida aniqlandiki, markazi Quyoshda joylashib, o'qlari qo'zg'almas yulduzlar tomonga yo'naltirilgan o'qlardan iborat hisob sistemasi bizning Quyosh sistemamiz uchun yuqori aniqlikdagi **inertsial sistema** hisoblanar ekan. Aksariyat masalalarni echishda, erga mahkamlangan hisob sistemasini inertsial sistema deb qabul qilish mumkin ekan va bundagi xatolik sezilarli emas ekan. Bunday fikrning o'rinli ekanligi keyinchalik asoslanib beriladi.

Ikkinchi qonun (**dinamika**ning asosiy qonuni): moddiy nuqtaga ta'sir etayotgan ixtiyoriy kuchlar, uning tezligini qanday o'zgartirishi mumkin ekanligini aniqlab beradi, ya'ni: *moddiy nuqtaning massasini unga ta'sir qilayotgan kuchlardan oladigan tezlanishiga ko'paytmasi, moduli bo'yicha kuchga teng bo'lib, moddiy nuqtaning oladigan tezlanishining yo'nalishi kuchning yo'nalishi bilan bir xil bo'lar ekan.*

Ushbu qonunning vektor ko'rinishdagi matematik ifodasi, quyidagicha yoziladi

$$m\vec{a} = \vec{F} \quad (1)$$

Kuch bilan tezlanishning modullari orasidagi bog'lanish, quyidagicha bo'ladi

$$ma=F \quad (1')$$

Dinamikaning ikkinchi qonuni ham, birinchi qonun kabi faqat inertsial hisob sistemalaridagina o'rinli bo'ladi. Ushbu qonundan ko'rinib turibdiki, jismning massasi uning **inertlik** o'lchovi bo'lib hisoblanar ekan. Chunki biror kuchni moddiy nuqtaga ta'siridan oladigan tezlanish nuqtaning massasiga bog'liq bo'lib, qanchalik uning massasi oz bo'lsa, oladigan tezlanishi katta bo'ladi yoki aksincha.

Agar moddiy nuqtaga bir vaqtning o'zida bir nechta kuchlar ta'sir etsa, kuchlarning parallelogrammi haqidagi qoidaga asosan, ular shu kuchlarning geometrik yig'indisiga teng bo'lgan bitta teng ta'sir etuvchi $\vec{R}$ -kuchga ekvivalent bo'ladilar,

U holda **dinamikaning** asosiy qonuni, quyidagi ko‘rinishga keladi,

$$m\bar{a} = \bar{R} \quad \text{yoki} \quad m\bar{a} = \sum \bar{F}_k \quad (2)$$

Ushbu natijani boshqa usul bilan ham aniqlash mumkin, ya’ni kuchlarning jismga ta’sirlari

bir birlariga bog‘liq emasligiga asoslanib, har bir kuchdan alohida tezlanish oladi, so‘ngra shu olingan tezlanishlarni geometrik usulda qo‘shilsa, yuqoridagi tenglik kelib chiqadi.

Uchinchi qonun (ta’sir va aks ta’sir qonuni): moddiy jismlarning

o‘zaro mexanik ta’sirlarini xarakterlab beradi. Ikkita moddiy nuqta uchun quyidagicha ifodalanadi: *ikkita moddiy nuqtaning bir-birlariga ta’sir kuchlari, shu nuqtalarni birlashtiruvchi chiziqda joylashib, modullari teng lekin yo‘nalishlari qarama qarshi bo‘lar ekan.*

Bu qonundan statika kursida foydalangan edik. Bu qonun moddiy nuqtalar sistemasining **dinamika**sida alohida ahamiyatga ega bo‘lib, shu nuqtalarga ta’sir etadigan ichki kuchlarning o‘zaro bog‘likligini aniqlab beradi.

Agar ikkita erkin nuqta bir birlariga kuch bilan ta’sir etsalar, bu nuqtalar **dinamikaning** uchinchi va ikkinchi qonuniga asosan, ularning massalariga teskari proportsional bo‘lgan tezlanishlar bilan harakatlanadilar. **D i n a m i k a n i n g m a s a l l a r i**. Erkin moddiy nuqta uchun **dinamikaning** quyidagi masalalari echiladi: 1) moddiy nuqtaning harakat qonuni berilgan bo‘lsa, shu nuqtaga ta’sir etuvchi kuchni aniqlash (**dinamikaning birinchi masalasi**); nuqtaga ta’sir etayotgan kuchlar ma’lum bo‘lsa, nuqtaning harakat qonunini aniqlash (**dinamikaning ikkinchi yoki asosiy masalasi**).

Agar moddiy nuqta erkin bo‘lmasa, ya’ni unga bog‘lanishlar ta’sir etib u ma’lum tekislik ustida yoki egri chiziq bo‘ylab harakatlansa, **dinamikaning birinchi masalasida** nuqtaning harakat qonuni va unga ta’sir etuvchi aktiv kuchlar berilgan bo‘lsa, bog‘lanishlarning reaksiyalari aniqlanadi. Erkin bo‘lmagan jismlar uchun **dinamikaning ikkinchi qonuni** yana ikkiga ajraladi, ya’ni nuqtaga ta’sir etuvchi kuchlar ma’lum bo‘lsa a) nuqtaning harakat qonuni, b) unga qo‘yilgan bog‘lanishlarning reaksiyalari aniqlanadi.

O‘lchov birliklari.

Muammo: Mexanik harakatni kuzatib borish uchun, moddiy nuqta bosib o‘tgan masofa, vaqt va unga ta’sir etayotgan kuchni aniqlash uchun, ma’lum o‘lchov birliklari tanlab olish lozim bo‘ladi. Aks holda jismlarning harakatlarini bir-biridan farqlab bo‘lmaydi.

Barcha mexanik qiymatlarni o‘lchash uchun bir birlariga bog‘liq bo‘lmagan uchta o‘lchov birliklari etarli ekan. Ulardan ikkitasi uzunlik va vaqt o‘lchovlari. Uchinchisi o‘lchov birligi sifati yoki massani yoki kuchni tanlab olish mumkin. Ular (1) formula orqali bir-birlariga bog‘liq bo‘lganligi uchun, ularni ixtiyoriy ikkita

o'lchov birligi sifatida qabul qilib bo'lmaydi. Shu sababli mexanikada bir-biridan mutloq farq qiluvchi o'lchov sistemasi bo'lishi mumkinligi kelib chiqadi.

Qadimda bizning halqimiz og'irlik birligi sifatida pud, qadoq va botmondan iborat qiymatlardan foydalanganlar. 1 pud (put) novvosning bitta oyog'ini og'irligi, qadoq pudning 40 dan bir qismi, botmon esa 5 pudga teng bo'lgan.

Birinchi tip birlilik sistemasi. Bu sistemada, asosiy birlik sifatida uzunlik vaqt va massa qabul qilingan, kuchning o'lchov birligi esa ularning hosilasidan kelib chiqadi.

Bunday sistemaga *fizik qiymatlarning xalqaro o'lchov sistemasi* (SI) kiradi va unda mexanik qiymatlarning asosiy o'lchov birliklari sifatida metr (m), kilogramm massa (kg) va sekund (s) qabul qilingan. Kuchning o'lchov birligi esa hosilaviy qiymat bo'lib, -1 Nyuton (N) deb belgilangan; 1N - shunday kuchki, uning ta'sirida 1 kg massali jism 1 m/s^2 tezlanish oladi ($1\text{N}=1\text{kg}\cdot\text{m/s}^2$). 1 m, 1 kg va 1 s qanday qiymat ekanligi fizika fanida batafsil ko'rib chiqilgan.

1961 yilda qabul qilingan xalqaro birliklar sistemasi (SI) ancha afzal hisoblanganligi uchun, biz shu o'lchov sistemasidan foydalanamiz.

Ikkinchi tip birlilik sistemasi. Bu sistemada, asosiy birlik sifatida uzunlik vaqt va kuch qabul qilingan, massaning o'lchov birligi esa ularning tegishli hosilalaridan kelib chiqadi.

Bunday o'lchov sistemasi texnikada keng tarqalgan MKGSS sistemasi bo'lib, unda mexanik qiymatlarning asosiy o'lchov birliklari sifatida metr (m), kilogramm

Nemis olimi G.Leybnits (1646-1716) Petr I ning iltimosiga ko'ra, o'ta qoloq (hamda qashshoq) Rossiya uchun maorif va mamlakatni boshqarish loyihasini ishlab chiqdi va Petr I o'sha davrda davlatni jahonga tanilgan Evropa olimlarning maslahatlariga tayangan holda boshqarib, tez yillarda Rossiyani imperiya darajasiga ko'tardi.

Germaniyaning o'zida esa Fanlar akademiyasi 24 yanvar 1744 yili ochilgan.

kuch (kG) va sekund (s) qabul qilingan. Massaning o'lchov birligi esa hosilaviy qiymat bo'lib, -1 $\text{kG}\cdot\text{s}^2/\text{m}$ deb belgilangan; ya'ni 1 kG kuch ta'sirida 1 m/s^2 tezlanish oladigan massa hisoblangan.

SI o'lchov sistemasi bilan MKGSS o'lchov

sistemalari orasidagi bog'lanish quyidagicha: $1\text{kG}=9,81\text{N}$ yoki $1\text{N}=0,102 \text{ kG}$.

Mexanikada o'lchov (razmer) va o'lchovning birligi degan tushunchalar ham bo'lib, ularni bir-birlari bilan almashtirib yubormaslik lozim. O'lchov berilgan qiymatning mazmunini bildirib, u faqat tenglamaning ko'rinishidan aniqlanadi. O'lchov birligi esa asosiy qiymatlarning tanlab olinishiga bog'liq bo'ladi. Masalan, agar uzunlik vaqt va massani tegishlicha L, T va M harflari bilan belgilasak, tezlikning o'lchovi L/T bo'ladi, (ya'ni uzunlikni vaqtga nisbati tezlikning o'lchovi), o'lchov birligi esa 1 m/c, 1km/soat va h. k. bo'ladi.

Kuchlarning asosiy ko'rinishlari.

Muammo: Shu mavzugacha, biz kuchlarni yo'nalishi va qiymati jihatidan harakat davomida o'zgarmas qiymat deb hisoblagan edik. Aslida, kuchlar harakat davomida, ham yo'nalish, ham son qiymati o'zgaruvchan bo'lishi mumkin.

O'zgaruvchan kuchlar, vaqtning, tezlikning yoki moddiy nuqtaning koordinatalariga bog'liq ravishda o'zgarish qonuniyatlari qanday bo'lishi mumkin ekanligi o'rganiladi.

Dinamika masalalarini echishda biz asosan quyidagi o'zgarmas va o'zgaruvchan kuchlardan foydalanamiz (qoidaga ko'ra kuchlarning o'zgarish qonuniyatlari, tajriba yo'li bilan aniqlanadi).

Og'irlilik kuchi. Bu erning yaqinidagi fazoda, barcha jism (massa)lariga ta'sir etuvchi o'zgarmas kuch - $\vec{P}$. Og'irlik kuchining moduli jismning og'irligiga teng bo'ladi.

Og'irligi 1 N bo'lgan yukni, bozordagi tarozida tortsangiz, necha grammni ko'rsatadi?

Tajribalar orqali aniqlandiki, og'irlik kuchi $\vec{P}$ ta'sirida (uncha katta bo'lmagan balandlikdan, havosiz bo'shliqda) Erga erkin tushib kelayotgan har qanday jismning tezlanishi har doim bir xil bo'lib *erkin tushish tezlanishi*, ba'zida esa *og'irlik kuchining tezlanishi*⁵ deb ataladi va $\vec{g}$ -vektori orqali belgilanadi. U holda (1') tenglamadan

$$R=mg \text{ yoki } m=R/g \quad (3)$$

Bu tengliklar orqali jismning massasi aniq bo'lsa, uning og'irligini (unga ta'sir etayotgan og'irlik kuchining modulini) yoki og'irligi ma'lum bo'lsa, uning massasini aniqlash mumkin ekan. Jismning og'irligi yoki og'irlik kuchi, g -qiymat kabi Erning geografik kengligi va dengiz sathidan balandligiga bog'liq ravishda ma'lum miqdorda farqlanadi; jismning massasi esa o'zgarmas qiymat hisoblanadi.

Ishqalanish kuchi. Sirpanib harakatlanuvchi jismlarning (suyuq yog'lar ishlatilmagan sirtlar orasidagi) yuzalariga ta'sir etuvchi ishqalanish kuchini qisqacha shunday deb ataladi va u statika qismida (Kulon qonuni) batafsil bayon etilgan edi. Uning moduli quyidagi tenglama orqali aniqlanadi,

$$F=f \cdot N \quad (4)$$

bu erda f -ishqalanish koeffitsienti bo'lib, uni o'zgarmas deb hisoblash qabul qilingan. N -normal reaksiya.

Tortilish kuchi. Bu kuch, Nyuton tomonidan kashf etilgan kuch bo'lib, butun olam tortilish qonuniga asosan ikkita moddiy jismlarning bir birlarini tortilish kuchlaridan iboratdir. Tortilish kuchi masofaga bog'liq bo'lib, oralaridagi masofa r -ga teng bo'lgan va massalari m_1 , m_2 bo'lgan ikkita moddiy nuqtalarning o'zaro tortilish kuchi, quyidagi tenglik orqali aniqlanadi,

$$F=fm_1m_2/r^2 \quad (5)$$

bu erda f -gravitatsion doimiy qiymat (SI sistemasida $f=6,673 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg} \cdot \text{s}^2$).

⁵ Jismlarning erkin tushishdagi harakat qonuni Galiley tomonidan ochilgan. Erkin tushishdagi tezlanish g -ning son qiymati erning turli joylarida turlicha bo'ladi; uning qiymati geografik kenglik va dengiz sathidan qancha balandlikda ekanligiga bog'liq bo'ladi. Moskvaning (dengiz sathidagi) kengligida $g=9,8156 \text{ m/s}^2$.

E l a s t i k l i k k u c h i. Bu kuch ham masofaga bog‘liq holda o‘zgaradi. Uning miqdori Guk qonuniga binoan aniqlanadi, unga binoan kuchlanish (kuchni yuza birligiga nisbati) deformatsiyaga to‘g‘ri proporsional bo‘ladi. Masalan, prujinaning elastiklik kuchining qiymati, quyidagicha aniqlanadi

$$F=c\cdot\lambda \quad (6)$$

Qadimda uzunlik birligi sifatida o‘sha yurtning podshohini (Qadimiy Misrda Firavnni) oyoq izini uzunligi tanlab olingan. Masalan Angliyada hozirda ham foydalanilayotgan 1 fut (oyoq izi)ning uzunliti 0,3048 metr ga teng, ya’ni taxminan 30 sm ga teng. «Dyuym» so‘zi ham «bosh barmoq» degan ma’noni anglatib, bosh barmoqning eniga teng bo‘lib 0,0254 metrni yoki 2,54 sm ni tashkil qiladi, ya’ni «dyuym» «fut»ning taxminan 1/12 qismini tashkil qiladi

bu erda λ -prujinaning uzayishi (yoki siqilishi); c -prujinaning qattqlik koefitsienti (SI sistemasida N/m bilan o‘lchanadi).

Y’ p i s h q o q i s h q a l i s h k u c h i. Bu kuch jismning tezligiga bog‘liq bo‘lib, yopishqoq suyuq muhitdagi (yoki suyuq yog‘langan sirtlarda) harakatlarda paydo bo‘ladi va quyidagicha

aniqlanishi mumkin

$$R=\mu\cdot v \quad (7)$$

bu erda v - jismning tezligi, μ -yopishqoq qarshilik koefitsienti. (7) formulani Nyutonning yopishqoq ishqalish qonuni asosida aniqlash mumkin.

A e r o d i n a m i k (g i d r o d i n a m i k) q a r s h i l i k k u c h i. Bunday kuch ham tezlikka bog‘liq bo‘lib, havoda yoki suv(suyuqlik)da harakatlanayotgan jismlarga ta’sir etadi. Amalda uning qiymatini quyidagi tenglama orqali aniqlanadi,

$$R=0,5\cdot c_x\cdot\rho\cdot S\cdot v^2 \quad (8)$$

bu erda ρ - muhitning zichligi; S - jism shaklining harakat yo‘nalishiga perpendikulyar bo‘lgan tekislikka bo‘lgan proektsiyasining yuzasi (midel yuzasi); c_x - qarshilik koefitsienti, o‘lchovsiz birlik bo‘lib uning qiymatini jismning shakliga va harakat yo‘nalishiga qarab qanday holatda ekanligiga bog‘liq holda tajribalar orqali aniqlanadi;

I n e r t v a g r a v i t a t s i o n m a s s a l a r. Berilgan jismning massasini eksperimental usulda aniqlash uchun (1) formulaga asoslanish mumkin, bu tenglamada massa inertlik xossasi bo‘yicha ishtirok etmoqda, shuning uchun uni inert massa deb ataladi. Lekin uni (5) formula orqali aniqlasak, bu tenglamada jismning gravitatsion xossasi bo‘yicha ishtirok etadi, shu sababli uni gravitatsion (yoki og‘ir) massa deb ataladi.

Inert va gravitatsion massalar bir narsa deb qabul qilinmagan bo‘lsa ham, ularning qiymatlari bir-birlariga juda yuqori aniqlikda teng ekan (jahon fiziklarining 1971 yilda o‘tkazgan tajribalari natijasida ularning farqi atigi 10^{-12} ekanligi aniqlandi). Ana shu eksperimental tasdiqlangan fakt, ekvivalentlik printsipi deb ataladi. Bu printsipni Eynshteyn⁶ o‘zining nisbiylikning umumiy nazariyasiga asos qilib olgan edi (tortilish nazariyasi).

⁶ Albert Eynshteyn (1879-1955y.) -buyuk fizik-olim, nisbiylik (relyativistik mexanika)ning maxsus nazariyasini va umumiy nisbiylik nazariyasining asoschisi.

Yuqoridagilarga asoslanib, mexanika fanida massani jismning inertlik o'lchovi va gravitatsion xossasini aniqlovchi «*massa*» degan yagona termin ishlatiladi.

Moddiy nuqta harakatining differentsial tenglamalari.

Muammo: Yuqorida biz ko'rib o'tgan mavzular faqat, harakatni qanday qonuniyatlar orqali aniqlanishi haqida gapirilgan edi. Faraz qilaylik biz texnikada uchrab turadigan aniq bir masala berilgan bo'lsin. Shu masalani echishni nimadan boshlash lozimligi, qanday hisob sistemalaridan foydalanish maqul ekanligini ko'rib o'tamiz.

Moddiy nuqta dinamikasi masalalarini echish uchun quyidagi ikkita tenglamalar sistemalarining biridan foydalanamiz.

Dekart koordinatalaridagi tenglamalar. Kinematika qismidan ma'lumki nuqtaning to'g'ri burchakli dekart koordinatalaridagi harakati quyidagi tenglamalar orqali beriladi:

$$x=f_1(t), \quad y=f_2(t), \quad z=f_3(t) \quad (9)$$

Dinamikaning asosiy masalalari shundan iboratki, nuqtaning harakatini bilgan holda, ya'ni (9) formula aniq bo'lsa, shu nuqtaga ta'sir etuvchi kuch aniqlanadi. Yo'ki teskarisi, ya'ni nuqtaga ta'sir etayotgan kuchlar ma'lum bo'lsa uning harakat qonuni, aniqrog'i (9) tenglamalar aniqlanadi. Shu sababli, nuqta dinamikasi masalalarini echish uchun shu nuqtaning x, y, z -koordinatalari bilan unga ta'sir etuvchi kuch (kuchlar)ni bog'lovchi tenglamalar kerak bo'ladi. Bunday tenglamalarni dinamikaning ikkinchi (asosiy) qonuni orqali olinadi.

Oxy inertial hisob sistemasida joylashgan moddiy nuqtaning $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \dots, \vec{F}_n$ kuchlar ta'siridagi harakatini ko'rib o'taylik. (2) tenglamaning, ya'ni $m\vec{a} = \sum \vec{F}_k$ -ning ikkala tomonini x, y, z -koordinata o'qlariga proektsiyalaymiz va $a_x = d^2x/dt^2$, $a_y = d^2y/dt^2$, $a_z = d^2z/dt^2$ ekanligini e'tiborga olsak,

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = \sum F_{kx}, \quad m \frac{d^2y}{dt^2} = \sum F_{ky}, \quad m \frac{d^2z}{dt^2} = \sum F_{kz} \quad (10)$$

yoki vaqt bo'yicha olingan ikkinchi tartibli hosilalarni ikkita nuqta orqali belgilasak,

$$m\ddot{x} = \sum F_{kx}, \quad m\ddot{y} = \sum F_{ky}, \quad m\ddot{z} = \sum F_{kz} \quad (10')$$

Mana shular bizga kerak bo'lgan tenglamalar sistemasidan iborat bo'lib, ularni *nuqtaning to'g'ri burchakli dekart koordinatalaridagi harakatining differentsial tenglamalari* deb ataladi. Nuqtaga ta'sir etuvchi kuchlar vaqt t -ga, nuqtaning o'rnini, ya'ni uning x, y, z koordinatalariga va tezligiga, ya'ni $v_x = x'$, $v_y = y'$, $v_z = z'$ -larga bog'liq holda o'zgarishi mumkin ekanligi sababli, (10) tenglamalar sistemasidagi har bir tenglamaning o'ng tomonlari shunday o'zgaruvchilarning funktsiyalaridan iborat bo'lishi mumkin, ya'ni t, x, y, z, x', y', z' -lar birgalikda ishtirok etishlari mumkin.

Uch yoqli tabiiy o'qlarga proektsiyalardan iborat tenglamalar. Bunday tenglamalarni hosil qilish uchun $m\vec{a} = \sum \vec{F}_k$ -tenglikni ikkala tomonini $M\tau$ - o'qlarga proektsiyalaymiz, ya'ni nuqtaning traektoriyasiga urinma - $M\tau$ o'qqa,

bosh normal - Mn o'qqa va binormal - Mb o'qqa ($Oxyz$ -o'qlar, traektoriyalarga nisbatan harakat qilmoqda) proektsiyalaymiz. U holda $a_\tau = dv/dt$, $a_n = v^2/\rho$, $a_b = 0$ ekanligiga asoslanib, quyidagilarni yozamiz,

$$m \frac{dv}{dt} = \sum F_{k\tau}, \quad m \frac{v^2}{\rho} = \sum F_{kn}, \quad 0 = \sum F_{kb} \quad (11)$$

bu erdagi $v = ds/dt$, (11) tenglamalar sistemasi *moddiy nuqta harakatining differentsial tenglamasining uch yoqli tabiiy o'qlardagi proektsiyalari* hisoblanadi.

Dinamikaning birinchi masalasini yechish (harakat qonuniga binoan kuchlarni aniqlash).

Agar moddiy nuqtaning tezlanishi berilgan bo'lsa, unga ta'sir qilayotgan kuch yoki bog'lanish reaksiyasi (1) va (2) formulalar orqali darhol aniqlanadi. Lekin bog'lanishlar reaksiyalarini aniqlash uchun qo'shimcha ravishda aktiv kuchlar ma'lum bo'lishi kerak. Agarda tezlanish bevosita berilmagan, lekin nuqtaning harakat qonuni ma'lum bo'lsa, u holda kuchni aniqlash uchun (10) va (11) formulalardan foydalanish mumkin.

1 masala. Og'irligi R bo'lgan havo shari a tezlanish bilan pastga tushmoqda. Havo sharini xuddi shunday tezlanish bilan yuqoriga ko'tarilishi uchun qanday miqdordagi Q yuk (ballast)ni tashlab yuborish kerakligi aniqlansin.

YE ch i sh. Pastga tushayotgan havo shariga og'irlik kuchi $\bar{F}$ va ko'tarish kuchi $\bar{F}$ ta'sir etadi (19.1, a shakl). (19.2) tenglamani vertikal o'qqa proektsiyalab, quyidagini yozamiz,

$$(R/g)a = R - F$$

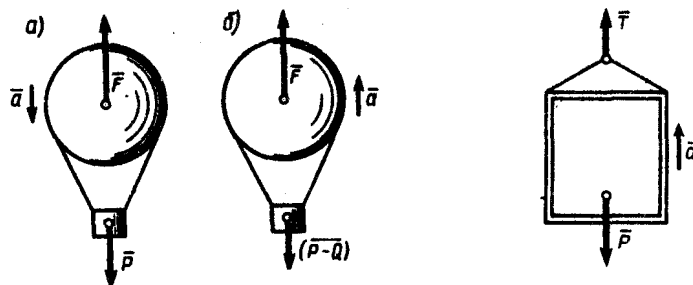
Ballast tashlab yuborilgandan keyin (1, b shakl) sharning og'irligi $R - Q$ ga teng bo'ladi, lekin ko'tarish kuchi avvalligicha saqlanib qoladi. U holda shar yuqoriga qarab harakatlanmoqda deb hisoblab, quyidagi tenglamani yozamiz,

$$(R - Q) \cdot a/g = F - (R - Q)$$

Ushbu tenglamalardan noma'lum ko'taruvchi kuch F -ni yo'qotib yuborsak, Q kuchining qiymatini aniqlaymiz, ya'ni

$$Q = 2R/(1 + g/a).$$

2 masala. Og'irligi R bo'lgan lift (2 shakl) a tezlanish bilan yuqoriga



1 shakl

2 shakl

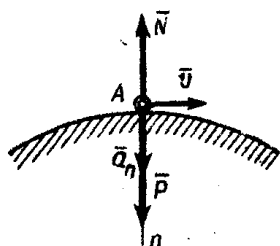
ko'tarilmoqda. Trosning tortilish kuchi aniqlansin.

YE ch i sh. Liftga og'irlik kuchi $\bar{F}$ va trosning reaksiya kuchi $\bar{T}$ ta'sir etmoqda. (2) tenglamaning vertikal o'qqa proektsiyasidan iborat tenglama tuzamiz, $(R/g) \cdot a = T - R$, bundan

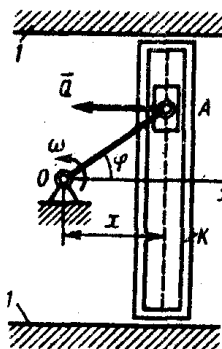
$$T = R(1 + a/g)$$

Agar lift shunday tezlanish bilan pastga tushib kelayotgan bo'lsa, u holda trosning tortilish kuchi $T_1 = R(1 - a/g)$ ga teng bo'ladi.

3 masala. Do'ng ko'priknining A nuqtasidagi radiusi R (3 shakl) ga teng. Massasi m -ga teng bo'lgan va v - tezlik bilan ketayotgan avtomobil ko'priknining A nuqtasida unga qanday kuch bilan bosadi.



3 shakl



4 shakl

YE ch i sh. Ko'priknining A nuqtasida avtomobilning normal tezlanishi $a_n = v^2/R$ bo'ladi. Ko'priikka undan tashqari avtomobilning og'irlik kuchi $P = m\bar{g}$ va A nuqtaning reaksiya kuchi $\bar{N}$ ta'sir etadi. U holda (2) tenglamaning normal o'qdagi proektsiyasi, yoki (11) tenglamaning ikkinchi formulasini qo'llash natijasida,

$$mv^2/R = mg - N \text{ bundan } N = m(g - v^2/R)$$

Avtomobilning ko'priikka bosim kuchi moduli bo'yicha N ga teng bo'lib, pastga qarab yo'naladi.

19.4 masala. Uzunligi l bo'lgan OA krivoship o'zgarmas ω_1 burchakli tezlik bilan O nuqta atrofida aylanishi natijasida K kulisani l, l yo'naltiruvchilar bo'yicha surmoqda. (4 shakl). Ishqalanish kuchini e'tiborga olmasdan A polzunung kulisaga ta'sir kuchi Q aniqlansin. Kulisaning og'irligi R ga teng.

YE ch i sh. Ox koordinata o'qlarini o'tkazamiz. U holda kulisaning holati $x = l \cdot \cos \varphi$ koordinata orqali aniqlanadi, $\varphi = \omega t$ bo'lgani uchun $x = l \cdot \cos \omega t$ bo'ladi. Kulisaning ushbu harakat qonunini bilgan holda (10') tenglamalarning birinchisidan foydalanamiz. Ushbu koordinata x -dan vaqt bo'yicha ikki marta hosila olamiz,

$$x'' = -\omega^2 \cdot l \cdot \cos \omega t = -\omega^2 \cdot x$$

$Q_x = -Q$ bo'lgani uchun,

$$-(R/g) \cdot \omega^2 \cdot x = -Q \quad Q = (R/g) \cdot \omega^2 \cdot x$$

bo'ladi. Demak, polzunung kulisaga ko'rsatadigan bosim kuchi, kulisaning O markazigacha bo'lgan x masofasiga proporsional ravishda o'zgarar ekan.

Ushbu mavzudagi muammolarni bartaraf etishga qaratilgan uslubiy ko'rsatmalar: Bizni o'rab turgan koinot inertsial sitemadan iborat ekan.

1. Shu inertsial sistemada joylashgan ixtiyoriy qattiq jismlar, ularga ta'sir etayotgan kuchlarning bosh vektori nolga teng bo'lsa, ularning tezlik vektorlari o'zgaras bo'lib, cheksiz vaqt mobaynida o'shanday tezlik bilan harakatlarini

davom etaverar ekanlar. Masalan, Quyosh sistemasi, o'zining 9 ta planetasi va bir qancha osmon jismlari bilan birgalikda, o'zining o'zgarmas tezligi bilan qilayotgan harakatini cheksiz davom etdiraverar ekan.

2. Aristotelg' (Arastu) tomonidan aytilgan fikr, ya'ni har qanday harakatlanayotgan jism, o'z harakatini davom etdirishi uchun, uni harakatlantiruvchi kuch albatta zarur ekanligi haqidagi noto'g'ri fikr G.Galiley tomonidan inkor etildi.
3. Ushbu fikr, ya'ni agar biror jismga tashqaridan ta'sir qilayotgan kuchlarning vektor yig'indisi nolga teng bo'lsa, u jism o'zining to'g'ri chiziqli o'zgarmas tezlik bilan qilayotgan harakati cheksiz davom etaverishligi, dinamikaning birinchi qonuni - inertsia qonuni deb qabul qilindi.
4. Agarda inertsial sistemada (masalan bizning quyosh sistemamizda) joylashgan ixtiyoriy jismga tashqaridan ta'sir etayotgan kuchlarning bosh vektori (yig'indisi) nolga teng bo'lmasa, ushbu jism o'sha bosh vektor-kuch yo'nalishi bo'yicha tezlanish olib, o'z harakatini tegishli ravishda o'zgartirishi aniqlandi
5. Bizning koinotimizda harakatlanayotgan qattiq jismlarning harakatlari, dinamikaning ikkinchi qonuni, ya'ni Nyutonning qonuni bilan sodir bo'lishi tasdiqlandi. Dinamikaning ikkinchi qonuni, dinamikaning asosiy qonuni deb atala boshlandi.
6. Dinamikaning asosiy qonuni, harakatning differentsial tenglamasi ekanligi aniqlandi, ya'ni har qanday jismning harakati faqat differentsial tenglamalar orqaligina ifodalanishi mumkin ekanligi isbotlandi.
7. Agarda birorta jismning harakat qonuni bizga ma'lum bo'lsa, unga ixtiyoriy vaqtda ta'sir etayotgan kuchning moduli va yo'nalishini aniq hisoblashimiz mumkin ekanligi isbotlandi.
8. Yuqoridagilarga asosan, shu narsa isbot bo'ldiki, har qanday jismning (masalan, uchayotgan o'rdakka otilgan o'qning, parvoz qilayotgan samolyotga otilgan raketaning, uzilib tushayotgan olmaning, osmondan tushayotgan meteorit, qor va yomg'irning, yulduzlarning, planetalarning (ularning tabiiy va sun'iy yo'ldoshlarining) harakat qonunlarini oldindan va juda yuqori aniqlikda hisoblashimiz mumkin ekan.
9. Demak, har qanday jismlarning mexanik harakatlarining qonuniyatlarini, insonlar tomonidan oldindan hisoblash mumkin ekan.

Takrorlash uchun savollar:

1. Dinamika qismi nimani o'rganadi?
2. Dinamikaning birinchi qonuni nimadan iborat?
3. Havosiz bo'shliqda jism harakatlana olishi mumkinmi?
4. Dinamikaning asosiy qonunini ta'riflab bering?
5. Dinamikaning uchinchi qonunini ta'riflab bering?
6. Inertsial hisob sistemasi nimadan iborat?
7. SI halqaro o'lchov sistemasi nima?

8. MKGSS o'lchov sistemasi nima?
9. Kuchlarning asosiy ko'rinishlari qaysilardan iborat?
10. Harakatning differentsal tenglamasini Dekart o'qlardagi ko'rinishini yozib bering?
11. Harakatning differentsal tenglamasini tabiiy uch yoqli o'qlardagi ko'rinishini yozib bering?
12. Dinamikaning asosiy masalasi nimadan iborat?

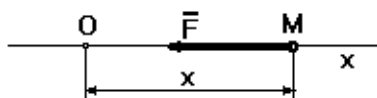
9-mavzu. Moddiy nuqtaning to'g'ri chiziqli tebranma harakati.

1. Moddiy nuqtaning to'g'ri chiziqli tebranma harakati. Muhit qarshilisiz erkin tebranma harakat.
2. Yopishqoq muhit qarshiligidagi erkin tebranma harakat (so'nuvchi tebranishlar).

Tayanch so'z va iboralar:

Tebranma harakat, tebranma harakat tenglamasi, moddiy nuqta, tebranish davri, tebranish chastotasi, tebranish amplitudasi, logarifmik decrement, qarshilik kuchi.

Tebranish nazariyasi fizika va texnikaning qator ilmiy asoslarini tashkil etadi. Fan va texnikaning turli bo'limlariga tegishli bo'lgan tebranishlar bir-birlaridan, masalan, mexanikadagi, radiotexnikadagi, akustikadagi va b., o'zlarining fizik mohiyati bilan tubdan farq qilsalar ham, lekin tebranma harakatning asosiy qonuniyatlari hamma vaqt bir xilligicha qolar ekan.



1 shakl

Shu sababli, mexanik tebranishlarning qonuniyatlarini o'rganish o'ta muhim bo'lib, uning natijalari nafaqat texnikada, undan tashqari tebranishga bog'liq bo'lgan juda ko'p boshqa sohalarda ham dolzarb (aktual) hisoblanadi. Avvaliga muhit qarshiligini hisobga olmagan holdagi erkin tebranishlarni ko'rib o'tamiz. To'g'ri chiziq bo'ylab harakatlanuvchi M nuqtaga, faqat bitta *-muvozanatlovchi* $\vec{F}$ kuch qo'yilgan bo'lib, yo'nalishi har doim O markazga qaraydi, moduli esa shu markazgacha bo'lgan masofaga to'g'ri proporsional bo'lsin (1 shakl). Shu to'g'ri

chiziqli traektoriya bo'ylab o'tkazilgan koordinata o'qiga $\bar{F}$ -kuchning proektsiyasi quyidagicha bo'ladi,

$$F_x = -cx \quad (1)$$

Shakldan ko'rinib turganidek $\bar{F}$ -kuchi nuqtani O markazdagi muvozanat holatga keltirishga harakat qiladi, chunki shu O nuqtada $F=0$ ga teng bo'ladi; shu sababli uni «muvozanatlovchi» kuch deb ataladi. Bunday kuchga elastiklik kuchi misol bo'la oladi.

M nuqtaning harakat qonunini aniqlaymiz. Harakatning differentsial tenglamasini Ox o'qidagi proektsiyasini yozamiz:

$$m x'' = F_x \quad \text{yoki} \quad m x'' = -sx. \quad (2)$$

Tenglikning ikkala tomonini m-ga bo'lib yuborib va $c/m=k^2$ belgilash kiritib, yuqoridagi tenglamani quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$x'' + k^2 x = 0 \quad (3)$$

(3) tenglama, *muhit qarshiligisiz erkin tebranma harakatning differentsial tenglamasi* deb ataladi. Ushbu chiziqli, ikkinchi darajali bir jinsli differentsial tenglamaning echimini $x=e^{nt}$ ko'rinishda izlanadi. (3) tenglamadagi x-ni $x=e^{nt}$ orqali ifodalab, noma'lum n- ni aniqlash uchun quyidagi kvadrat tenglamadan iborat bo'lgan xarakteristik tenglamani hosil qilamiz $n^2+k^2=0$. Ushbu tenglamaning ildizlari faqat mavhum ($n_{1,2}=\pm ik$) qiymatlar bo'lgani sababli, differentsial tenglamalarning nazariyasiga asosan, (3) tenglamaning umumiy echimi, quyidagicha bo'ladi

$$x = C_1 \sin kt + C_2 \cos kt, \quad (4)$$

bu erdagi S_1 va S_2 -lar integral doimiylari. Agar, S_1 va S_2 - o'zgarmas qiymatlarning o'rniga A va α -dan tashkil topgan boshqacha, ya'ni $S_1=A \cos \alpha$, $S_2=A \sin \alpha$ larni kiritsak, u holda (4) tenglamaning ko'rinishi $x=A(\sin kt \cdot \cos \alpha + \cos kt \cdot \sin \alpha)$ yoki

$$x = A \sin(kt + \alpha), \quad (5)$$

bo'ladi. Bu (3) tenglamaning boshqacha echimi bo'lib, integral doimiylari sifatida A va α -lar ishtirok etmoqda. Ular orqali harakatni tadqiq qilish ancha qulay hisoblanadi.

Tebranma harakatdagi nuqtaning tezligi

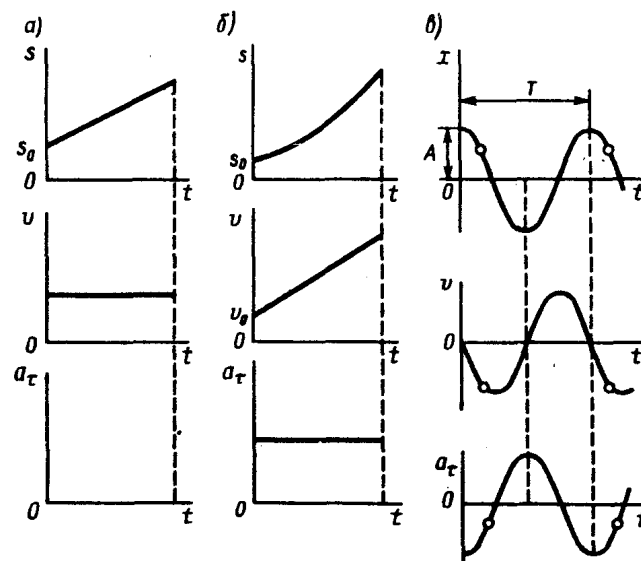
$$v_x = x' = Ak \cos(kt + \alpha), \quad (6)$$

(5) qonuniyat bilan tebranuvchi nuqtaning harakati *garmonik tebranma harakat* deb ataladi. Bunday harakatning $\alpha=90^\circ$ dagi grafigi v shaklda tasvirlangan.

Bunday harakatning barcha xarakteristikalariga tasviriy kinematik tafsilotlar berish mumkin. Radiusi A ga teng bo'lgan aylana bo'ylab tekis

harakatlanayotgan V nuqtaning harakatini ko'rib chiqaylik. Nuqtaning harakati V_0 -holatdan boshlanib, $\angle DOB_0 = \alpha$ burchak orqali aniqlanadi. OV radiusning burchakli tezligi- k o'zgarmas qiymat bo'lsin. U holda, ixtiyoriy t vaqtda burchak $\varphi = \angle DOB = \alpha + kt$ bo'lsin, V nuqtaning (Ox o'qiga) DE -ga perpendikulyar bo'lgan diametrga proektsiyasi M , $x = A \sin(kt + \alpha)$, qonuniyat bilan harakat qiladi, bu erda $x = OM$, ya'ni garmonik tebranma harakat qilmoqda.

M nuqtaning tebranish markazi O nuqtadan eng katta uzoqlashgan qiymati A , *tebranish amplitudasi* deb ataladi. $\varphi = kt + \alpha$ *tebranish fazasi* deb



a,b,v shakl.

ataladi. Tebranish fazasi- φ , nuqtaning koordinatasi x -dan farqli ravishda, berilgan vaqtdagi nuqtaning holatini aniqlabgina qolmasdan, keyingi harakatning yo'nalishini ham belgilab beradi; masalan, fazasi φ bo'lgan M holatdan, nuqta o'ng tomonga qarab harakatlanadi, fazasi $(\pi - \varphi)$ bo'lganda esa chap tomonga qarab harakatlanadi. Bir-biridan 2π fazaga farqlanuvchi tebranma harakatlar bir xil hisoblanadilar (v shaklda o'rtasi oq nuqtalar bilan bir xil fazalar belgilab qo'yilgan).

Tebranishning boshlang'ich fazasini α -qiymat orqali aniqlanadi. Masalan, $\alpha = 0$ bo'lganda tebranma harakat sinusoida bo'yicha sodir bo'ladi (harakat O nuqtadan boshlanib, tezlik o'ng tomonga yo'naladi). $\varphi = \pi/2$ - bo'lganda kosinusoida (harakat $x = A$ holatdan va v_0 -tezlik bilan boshlanadi), OV radiusning burchakli tezligi bilan bir xil bo'lgan k -qiymat *tebranishning davriy chastotasi* deb ataladi (shakl).

Nuqtaning to'la bir marta tebranishi uchun sarflangan vaqt oralig'i T (yoki τ), *tebranish davri* deb ataladi. Davr o'tishi bilan faza 2π -ga

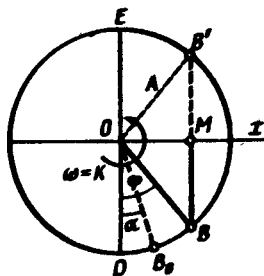
o'zgaradi. Shu sababli $kT=2\pi$ bo'lishi shart, bundan tebranish davri aniqlanadi

$$T=2\pi/k \quad (7)$$

Tebranish davriga teskari nisbatda bo'lgan

$$\nu=1/T=k/2\pi \quad (8)$$

qiymat, tebranish chastotasi deb ataladi va u 1 s vaqt ichidagi tebranishlar sonini ifodalaydi.



3 shakl

Bundan ko'rinib turibdiki, k - qiymat ν -dan faqat 2π ko'paytmasi bilan farqlanar ekan. Keyinchalik, qisqaroq gapirish uchun k -ni ham chastota degan so'z bilan atayveramiz.

Endi A va α integral doimiylarining son qiymatlarini aniqlaymiz.

A va α - ni boshlang'ich shartlarga asosan aniqlash. Odatdagidek, $t=0$ da $x=x_0$, $v_x=v_0$ ekanligidan foydalanib, (5) va (6) formulalar orqali $x_0=A\sin\alpha$, $v_0/k=A\cos\alpha$ -ni aniqlaymiz. Bu tengliklarni kvadratga ko'tarib, ularni hadma-had qo'shsak, so'ngra ularning birini ikinchisiga nisbatini olsak, A va α larning qiymatlarini aniqlaymiz

$$A=\sqrt{x_0^2 + v_0^2 / k^2}, \quad \operatorname{tg}\alpha=kx_0/v_0 \quad (9)$$

A va α -larni nuqtaning chegaraviy shartlari orqali aniqlash. Boshlang'ich shartlarning o'rniga quyidagi chegaraviy shartlar berilgan bo'lsin: $t=0$ da $x=x_0$, $t=t_1$ da $x=l$ bo'lsin. U holda, (5) formula orqali $0=\sin\alpha$, $l=A\cdot\sin(kt+\alpha)$ -ni yozamiz, bundan $\alpha=0$, $A=l/\sin kt$ bo'ladi va (3) tenglamaning yechimi (agar faqat $t_1\neq\pi/2=T/2$ bo'lsa) $x=(l/\sin kt_1)\sin kt$ bo'ladi, agar $t_1=\pi/2$ (yoki $2\pi/k$ va h.) bo'lsa, u holda A -ni aniqlash uchun $l=A\sin\pi$ tenglama tuzamiz, lekin $l\neq 0$ bo'lganda u tenglamani qoniqtirmaydi, natijada masala echimga ega bo'lmaydi. Agar $l=0$ va $t_1=\pi/2$ bo'lsa, A -ni aniqlash uchun $0=A\sin\pi$ tenglama hosil qilamiz, ya'ni A -ning ixtiyoriy qiymatlarida ham tenglamani qoniqtiradi. Demak (3) tenglamaning echimi $x=A\sin kt$ ko'p bo'lishi mumkin, A -ixtiyoriy son.

Shunday qilib, boshlang'ich shartlarsiz, ya'ni chegaraviy shartlar berilgan masalalar bir necha yechimga yoki, umuman, echimga ega

bo'lmashliklari mumkin ekan. Ko'rilgan xususiy holda, agar masalaning sharti bo'yicha $t=0$ da $x=x_0$ bo'lsa, u holda yarim davrdan keyin ham, ya'ni $t_1=\pi/k$ bo'lganda ham $x=0$ bo'lishi kerak. Shuning uchun, $t_1=\pi/k$ bo'lganda $x=l \neq 0$ bo'lishi mumkin emas va $t_1=\pi/k$ bo'lganda $x=l=0$ bo'lishi doimo bajariladi, ya'ni ixtiyoriy A amplituda bilan.

Erkin tebranishlarning xossalari. Mavzuning so'nggida erkin tebranishlarning muhim xossalari bilan tanishtirib o'tamiz: 1) amplituda va boshlang'ich faza, boshlang'ich (yoki chegaraviy) shartlarga *bog'liq* bo'ladi; 2) chastota k va o'z navbatida davr T boshlang'ich (yoki chegaraviy) shartlarga *bog'liq bo'lmaydi* [ular (2) va (7) tengliklar orqali aniqlanadi] va tebranuvchi sistemaning o'zgarmas xarakteristikasi hisoblanadi. (*Xuddi mana shu ikkinchi xossasiga asosan soat mexanizmlari ixtiro etilgan*).

Bundan xulosa qilib shuni aniqlash mumkin ekanki; agar masalada faqat davr (yoki chastota)ni aniqlash talab etilsa, u holda harakatning differentsial tenglamasini tuzib, uni (3) ko'rinishga keltirish kerak ekan. So'ngra undan T (yoki k) ning qiymatini integrallamasdan turib (7) formula orqali aniqlash mumkin ekan.

Yuqorida ko'rib o'tilgan tebranma harakat *chiziqli* deb ataladi, chunki ularning differentsial tenglamalari chiziqli funktsiyalardan tashkil topgan. Ushbu tebranma harakatlarning davri boshlang'ich (yoki chegaraviy) shartlarga va amplitudaga bog'liq emasligi chiziqli tebranma harakatlarning eng asosiy xossalariidan biri hisoblanadi. Harakati chiziqsiz differentsial tenglamalar orqali tuzilgan tebranma harakatlar, *chiziqsiz* deb ataladi; ular yuqoridagi xossalarga ega emaslar.

Nuqtaning erkin tebranma harakatiga o'zgarmas kuchning ta'siri. Faraz qilaylik, moddiy M nuqtaga, O markazga intilgan muvozanatlovchi $\bar{F}$ (son qiymati $F=c \cdot OM$) kuchdan tashqari, moduli va yo'nalishi o'zgarmas bo'lgan $\bar{P}$ -kuch ham ta'sir qilsin (shakl). Bunday holatda, M nuqtaning muvozanat holati O markazda bo'lmay qoladi va u yangi O_1 nuqtada bo'ladi. Chunki shu O_1 nuqtada $\bar{P}$ kuchi bilan $\bar{F}$ kuchi o'zaro muvozanatlashadi va bu $OO_1=\lambda_{st}$ masofa $s\lambda_{st}=R$ formula orqali aniqlanadi, ya'ni

$$\lambda_{st}=R/c \quad (10)$$

λ_{cn} -qiymat, *statik og'ish* deb ataladi.

O_1 -nuqtani koordinata boshi deb tanlab olaylik va O_1x o'qni $\bar{P}$ kuchning yo'nalishi bo'yicha yo'naltiraylik. U holda $F_x=-c(x+\lambda_{ct})$ va $R_x=R$ bo'ladi. Natijada (1) tenglama (10) formulaga asosan $s\lambda_{st}=R$ ekanligini hisobga

olib, nuqta harakatining differentsial tenglamasini tuzamiz, ya'ni $m\ddot{x} = -cx$ yoki $x'' + k^2x = 0$ bo'ladi..

Ushbu tenglama, [bu erdagi k - (2) formula orqali aniqlanadi] (3) tenglama bilan bir xil bo'ladi. Bunga asosan xulosa qilib, shuni aytish mumkinki: *o'zgarmas kuch, tebranma harakatning xarakteristikasini hech qanday o'zgartirmas ekan, faqat tebranish markazini kuchning yo'nalishi tomonga qarab statik og'ish λ_{st} -ga teng bo'lgan (OO_1) masofaga surar ekan xolos.*

Tebranish davrini λ_{st} -orqali ifodalaymiz. (10) va (2) formulalar orqali $k^2 = R/m\lambda_{st}$ -ni aniqlaymiz. U holda (7) tenglikdan,

$$T = 2\pi \sqrt{m\lambda_{ct} / P} \quad (11)$$

Shunday qilib, tebranish davri statik og'ish λ_{st} -ning kvadrat ildiziga to'g'ri proportsional ekan.

Xususiyl holda, agar $\bar{P}$ kuchning o'rnida og'irlik kuchi qatnashsa, u holda $R = mg$ bo'ladi va (11) formula quyidagi ko'rinishga keladi:

$$T = 2\pi \sqrt{\lambda_{ct} / g} \quad (11')$$

1 masala. AV vertikal prujinaning V uchiga yuk osib qo'yiladi va boshlang'ich tezliksiz qo'yib yuboriladi. Agar yuk muvozanat holatda prujinani λ_{st} (prujinaning statik uzayishi) qiymatga uzaytiriladigan bo'lsa, shu yukning harakat qonuni aniqlansin.

Yechish. Koordinata boshi O nuqtani prujinaning statik muvozanat holatga joylashtiramiz va Ox o'qini vertikal pastga yo'naltiramiz (shakl). Elastiklik kuchi $F = c\lambda$. Ushbu masalada $\lambda = \lambda_{st} + x$ bo'ladi. Shu sababli, $F_x = -c(\lambda_{st} + x)$.

Harakatning differentsial tenglamasini tuzamiz,

$$m\ddot{x} = -c(\lambda_{st} + x) + R$$

Lekin, masalaning shartiga ko'ra $R = mg = c\lambda_{st}$ (muvozanat holatda og'irlik kuchi R bilan elastiklik kuchi $c\lambda_{st}$ o'zaro muvozanatlashadilar); Natijada $c/m = g/\lambda_{st} = k^2$, belgilash kiritib, quyidagini yozamiz,

$$x'' + k^2x = 0$$

Bu tenglamani echmasdanoq, (11') formula orqali tebranish davrini aniqlaymiz, $T = 2\pi/k = 2\pi \sqrt{\lambda_{ct} / g}$

Yuqorida ko'rib o'tganimizdek, ushbu differentsial tenglamaning echimi [(4) formula], quyidagicha bo'ladi,

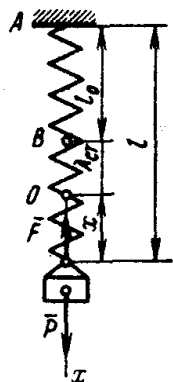
$$x = C_1 \sin kt + C_2 \cos kt,$$

Boshlang'ich shartlarga asosan, $t=0$ da $x = -\lambda_{st}$, $v_x = 0$. Hamda

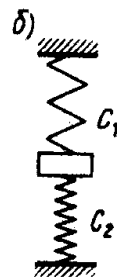
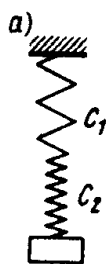
$$v_x = \dot{x} = kS_1 \cos kt - kS_2 \sin kt,$$

bu tenglamalardan integral doimiylarini aniqlaymiz, ya'ni $S_2 = -\lambda_{st}$, $S_1 = 0$. Demak, nuqta $x = -\lambda_{st} \cos kt$ qonuniyat bilan tebranma harakat qilargan (bu erdagi λ_{st} -tebranish amplitudasi).

2 masala. Qattqlik koeffitsientlari s_1 va s_2 -bo'lgan ikkita ketma ket



1 shakl



2 shakl

ulangan prujinalarga osib qo'yilgan R yuk (2 a shakl)ning tebranish davri aniqlansin.

Yechish. Har bir prujina statik holatda R kuch bilan tortilmoqda. Demak, prujinalarning statik uzayishlari $\lambda_{st1} = R/s_1$, va $\lambda_{st2} = R/s_2$. U holda prujinalarning umumiy uzayishi

$$\lambda_{st} = \lambda_{st1} + \lambda_{st2} = R \left(\frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_2} \right) = R \frac{c_1 + c_2}{c_1 c_2} \text{ ga teng bo'laadi.}$$

$R = s_{ekv} \lambda_{st}$ bo'lganligi sababli, yuqoridagi formuladan,

$$s_{ekv} = \frac{c_1 + c_2}{c_1 c_2}$$

bu erdagi s_{ekv} -ekvivalent prujinaning qattqlik koeffitsienti, ya'ni shu ikkita prujinaning o'rnini bosuvchi yagona prujinaning qattqligi. Xususiyl xolda, agar $s_1 = s_2 = s$ bo'lsa, $s_{ekv} = s/2$ bo'ladi.

Tebranish davri (11') formula orqali aniqlanadi,

$$T = 2\pi \sqrt{\lambda_{cr} / g} = 2\pi \sqrt{\frac{P}{g} \frac{c_1 + c_2}{c_1 c_2}}$$

3 masala. Oldingi masalani, yuk prujinalarga 2b shakldagidek osilgandagi holati uchun echilsin.

Yechish. Ushbu holatda, ikkala prujinaning statik uzayishi (siqilishi) o'zaro teng bo'ladi. Hamda og'irlik kuchi R, $\lambda_{st1} = R/s_1$, va $\lambda_{st2} = R/s_2$ lardan iborat elastik kuchlari bilan muvozanatlashadi, ya'ni $R = (s_1 + s_2) \lambda_{st2}$. Bundan $s_{ekv} = (s_1 + s_2)$ bo'ladi. Natijada tebranish davri

$$T=2\pi\sqrt{\lambda_{cr}/g}=2\pi\sqrt{\frac{P}{g(c_1+c_2)}}$$

4 masala. Agar muvozanatlovchi kuch $\bar{F}$ ning moduli O markazgacha bo'lgan masofaning kubiga proportsional ravishda o'zgarsa, massasi m -ga teng bo'lgan nuqtaning tebranish davri aniqlansin (1 shakl). $F=-c_1x^3$, bu erdagi s_1 -berilgan koeffitsient. Harakatni kuzatish boshlanganda, ya'ni $t=0$ da $x=x_0$, $v_0=0$.

Yechish. Nuqtaning differentsial tenglamasini (14) ko'rinishda tuzamiz; Natijada quyidagi chiziqli bo'lmagan differentsial tenglama hosil bo'ladi,

$$mv_x \frac{dv_x}{dt} = -cx^3 \quad \text{yoki} \quad \frac{d(v_x^2)}{dx} = -n^2x^3; \quad \text{bu erda} \quad n^2 = \frac{c_1}{m}$$

Oxirgi tenglamani ikkala tomonini dx -ga ko'paytirib yuboramiz va (boshlang'ich shartlarga muvofiq bo'lgan) tegishli (o'ng tomonini x_0 dan x -gacha, chap tomonini 0 dan v_x gacha) chegaralarda aniq integral olamiz,

$$v_x^2/2 = n^2(x_0^4 - x^4)/4 \quad (a)$$

Lekin $t=0$ da $v_x=0$ bo'lgani sababli, nuqta $\bar{F}$ kuch ta'sirida chap tomonga qarab siljiy boshlaydi, natijada $v_x < 0$ bo'ladi. (a) tenglamadan ko'rinish turganidek, $x=-x_0$ bo'lganida $v_x=0$ bo'ladi va nuqta $\bar{F}$ -kuchi ta'sirida ($x < 0$ va $c_1x^2 < 0$ hamda $F_x > 0$ bo'lganda) o'ng tomonga qarab harakatlanib, $x=x_0$ holatga keladi va yana $v_x=0$ bo'ladi va h.k. Shunday qilib, nuqta x_0 -ga teng amplituda bilan tebranma harakat qiladi.

Masalani echishni davom etdirish uchun (a) formulaga $dx/dt=v_x$ ni qo'yamiz; $v_x < 0$ ekanligini hisobga olsak,

$$\frac{dx}{dt} = -\frac{n}{\sqrt{2}} \sqrt{x_0^4 + x^4} \quad \text{va} \quad dt = -\frac{\sqrt{2}}{n} \frac{dx}{\sqrt{x_0^4 - x^4}}$$

Yuqoridagi mulohazalarga asosan nuqta $x=x_0$ holatdan $x=0$ (O nuqtagacha) holatga davrning to'rtidan bir qismida ko'chadi. Shu sababli,

$$\frac{T}{4} = -\frac{\sqrt{2}}{n} \int_{x_0}^0 \frac{dx}{\sqrt{x_0^4 - x^4}}$$

$x=x_0z$ -belgilash kiritamiz, (z - o'zgaruvchan bo'lgan yangi qiymat) va $x=0$ da $z=0$, hamda $x=x_0$ da $z=1$ bo'lishini e'tiborga olib,

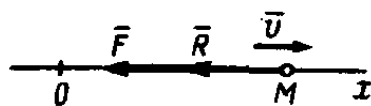
$$T = \frac{4\sqrt{2}}{nx_0} \int_0^1 \frac{dz}{\sqrt{1-z^4}} \quad \text{ni yozamiz.}$$

Tenglamaning o'ng tomonidagi aniq integralning (bu, elliptik integralning xususiy ko'rinishi) echimi tegishli jadvaldan aniqlanadi; u taqriban olganda 1,31 ga teng bo'ladi, natijada

$$T \approx 7,4/\pi x_0$$

Ko'rinib turganidek, chiziqli bo'lmagan bunday tebranma (chiziqli tebranma harakatga nisbatan) harakatda tebranish davri x_0 -ga bog'liq bo'lar ekan va x_0 ortgan sari tebranish davri kamayib borar ekan.

Yopishqoq muhitlarning qarshiligi ta'siridagi erkin tebranma harakatni tekshirib ko'ramiz. Yopishqoq muhitlar (turli yog'lar, suv va boshqa suyuqliklar) ning qarshiliklari nuqtaning tezligiga to'g'ri proportsional ravishda o'zgaruvchan funktsiyadan iborat bo'ladi, masalan $\bar{R} = -\mu \bar{V}$ (manfiy ishora, kuchni tezlikka teskari yo'nalishda ekanligini



ko'rsatib turibdi).

Nuqtaning harakatida muvozanatlovchi $\bar{F}$ kuch va muhit qarshiligi kuchi $\bar{R}$, ta'sir etsin (shakl). U holda $F_x = -cx$, $R_x = -\mu v_x = -\mu x'$ bo'lganligi uchun, shu nuqtaning harakat differentsial tenglamasi quyidagicha yoziladi

$$m x'' = -cx - \mu x'$$

Tenglamaning ikkala tomonini m -ga bo'lib yuborib, tegishli belgilashlar kiritsak,

$$x'' + 2b x' + k^2 x = 0 \quad (12)$$

bu erdagi

$$k^2 = c/m; \quad 2b = \mu/m \quad (13)$$

k va b -qiymatlarning o'lchov birliklari bir xil ($1/\text{vaqt}$); shu sababli ularni o'zaro solishtirish mumkin.

(12) tenglama *tezlikka proportsional bo'lgan qarshilik ta'siridagi erkin tebranma harakatning differentsial tenglamasi* deb ataladi. Uning echimini (3) tenglamadagi kabi $x = e^{nt}$ ko'rinishda axtariladi. Ushbu x -ning qiymatini (12) ga qo'ysak, xarakteristik tenglama kelib chiqadi, uning ildizlari

$$n_{1,2} = -b \pm \sqrt{b^2 - k^2} \quad (14)$$

1. Agar, $k > b$ bo'lsa, ya'ni muvozanatlovchi kuchga nisbatan qarshilik kuchi kichkina bo'lsa, quyidagi belgilash kiritilgandan so'ng

$$k_1 = \sqrt{k^2 - b^2} \quad (15)$$

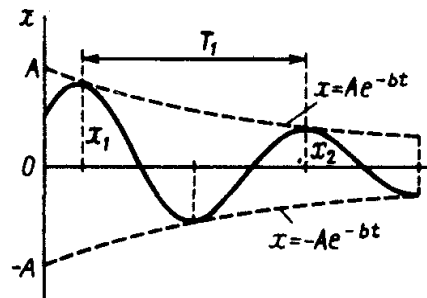
(14) ifoda $n_{1,2} = -b \pm ik_1$ ko'rinishga keladi, ya'ni **xarakteristik tenglamaning** ildizlari kompleks sonlardan iborat bo'lar ekan. U holda (12) tenglamaning umumiy echimi, (3) tenglamaning echimidan faqat e^{-bt} ko'paytmaga farq qilar ekan xolos, ya'ni

$$x = e^{-bt} (C_1 \sin k_1 t + C_2 \cos k_1 t) \quad (16)$$

yoki (5) formula kabi o'zgartirilsa,

$$x = A e^{-bt} \sin(k_1 t + \alpha) \text{ bo'ladi,} \quad (17)$$

(17) formuladagi A va α -lar integral doimiylari hisoblanadi va ularning



shakl.

son qiymatlari boshlang'ich shartlar yordamida aniqlanadi.

(17) tenglama bo'yicha sodir bo'ladigan harakat, so'nuvchi harakat bo'ladi, chunki tenglamada e^{-bt} dan iborat ko'paytma bo'lganligi sababli, $x = OM$ (shakl) qiymat vaqt o'tishi bilan kamayib borib nolga intiladi.

Ushbu tebranma harakatning grafigi shaklda tasvirlangan (grafik ikki tarafdin $x = A e^{-bt}$ va $x = -A e^{-bt}$ punktir egri chiziqlar ichiga olingan, chunki $\sin(kt + \alpha)$ ning son qiymati 1-dan oshmaydi).

T_1 vaqt oralig'ini so'nuvchi tebranishlar davri deb ataladi va u $\sin(kt + \alpha)$ ning davriga teng bo'lib, uning qiymati

$$T_1 = \frac{2\pi}{k_1} = \frac{2\pi}{\sqrt{k^2 - b^2}} \quad (18)$$

Bir davr ichida, nuqta to'la bir marta tebranadi, ya'ni $x=0$ holatdan (shakl) o'ng tomonga qarab harakat boshlasa, bir davr o'tgandan so'ng yana shu nuqtadan yana o'ng tomonga harakat boshlaydi. Agar (7) tenglikni e'tiborga olsak (18) formula quyidagi ko'rinishga keladi,

$$T_1 = \frac{2\pi}{k\sqrt{1 - b^2/k^2}} = \frac{T}{\sqrt{1 - b^2/k^2}} \approx T(1 + \frac{1}{2} \frac{b^2}{k^2}) \quad (18')$$

Bundan ko'rinib turibdiki, $T_1 > T$, ya'ni muhit qarshiligi ta'sirida tebranish davri ortar ekan, lekin qarshilik kuchi juda oz miqdorda bo'lsa (ya'ni $b \ll k$), u holda b^2/k^2 nolga yaqin son bo'lib, natijada $T_1 \approx T$ bo'ladi. Demak, kichkina qarshilik kuchi tebranish davriga ta'sir etmas ekan.

Tebranayotgan nuqtaning ketma ket o'ng (yoki chap) tomonga ikkita maksimum og'ishiga ketgan vaqt ham T_1 ⁷ -ga teng bo'lar ekan. Demak, agar birinchi maksimal og'ishi x_1 , t_1 -vaqtga to'g'ri kelsa, undan keyingi maksimal og'ish vaqti $t_2=t_1+T_1$ ga to'g'ri keladi va h.k. U holda (17) formula orqali, $k_1T_1=2\pi$ ekanligini hisobga olsak,

$$x_1=A e^{-bt_1} \sin(k_1t_1+\alpha)$$

$$x_2=A e^{-b(t_1+T_1)} \sin(k_1t_1+k_1T_1+\alpha)=x_1 e^{-bT_1}$$

Xuddi shunday ifodani har qanday ketma ket x_{n+1} ikkita og'ish uchun $x_{n+1}=x_n e^{-bT_1}$ yozishimiz mumkin, Shunday qilib, tebranishning qulochi (razmaxi) geometrik progressiya bo'yicha sekin asta kamayib borar ekan. Ushbu progressiya'ning mahraji e^{-bT_1} -ni *tebranish dekrementi* deb ataladi va uning logarifm modulini, ya'ni bT_1 -ni *logarifmik dekrement* deb ataladi.

Yuqorida olingan natijalardan shuni aniqlash mumkin ekanki, kichkina qarshilik kuchi tebranishning davriga katta ta'sir ko'rsatmas ekan, lekin har-bir tebranishda asta sekin tebranish qulochi (razmax) geometrik progressiya bo'yicha kamayib borar ekan.

2. $b>k$ bo'lsin, ya'ni qarshilik kuchi muvozanatlovchi kuchdan katta bo'lsin. Quyidagi $b^2-k^2=r^2$ belgilash kiritamiz va (14) xarakteristik tenglamaning ildizlari $n_{1,2}=-b\pm r$ dan iborat bo'lib, ikkala ildizi ham haqiqiy va manfiy (chunki $r<b$) sonlardan iborat bo'lar ekan. Demak, $b>k$ bo'lgandagi nuqta harakatining (12) differentsial tenglamasining echimi,

$$x=C_1 e^{-(b+r)t} + C_2 e^{-(b-r)t}$$

e^{-at} -funktsiya ($a>0$) vaqt mobaynida monoton (muntazam) kamayib borib, nolga intilganligi uchun, bunday harakat tebranma harakat bo'lmaydi va muvozanatlovchi kuch ta'sirida asta sekin (asimptotik ravishda) muvozanat $x=0$ holatga keladi. Agar $t=0$ da $x=x_0>0$ va $v_x=v_{x0}$ bo'lsa, bunday harakatning grafigi v_{x0} bog'liq ravishda shakldagi egri chiziqlardan biri ko'rinishida bo'ladi; (1- $v_{x0}>0$ bo'lganda; 2- $v_{x0}<0$ bo'lganda va $|v_{x0}|$ kichkina bo'lganda; 3- $v_{x0}<0$ bo'lganda va $|v_{x0}|$ katta bo'lganda; ushbu natijalarning sifat ko'rsatkichlari fizik mulohazalar orqali aniqlanadi). Agar $x_0<0$ bo'lsa, grafiklarning ko'rinishi aslo o'zgarmaydi, (faqat Ot o'q atrofida 180° ga aylanib qoladi, ya'ni ko'zgudagi teskari tasvirga aylanib qoladi); va nihoyat $x_0>0$ va $v_{x0}=0$ bo'lsa (1-egri chiziq) $t=0$ vaqtda o'zining maksimal V holatida bo'ladi.

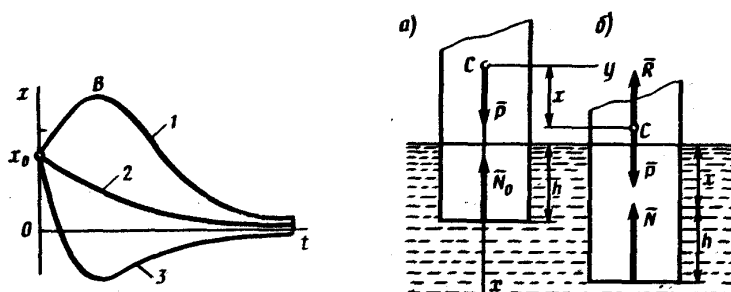
⁷ x -ning maksimum va minimum qiymatlaridagi vaqtlar, $dx/dt=Ae^{-bt}[k_1 \cos(k_1t+\alpha)-b\sin(k_1t+\alpha)]=0$ tenglama orqali aniqlanadi. Agar qandaydir $t=t_1$ vaqtda kvadrat qavs nolga teng bo'lsa, u t_1+T_1 , t_1+2T_1 - va h.k. vaqtlarda ham nolga teng bo'ladi, chunki $k_1T_1=2\pi$.

3. Mavzuning so'ngida $b=k$ bo'lgan holatni ko'rib o'tamiz. Bu holda (14) xarakteristik tenglamaning ildizlari $n_{1,2}=\pm b$ bo'ladi. ya'ni son qiymatlari bir xil, lekin ishoralari qarama-qarshi bo'ladi va (12) tenglamaning umumiy echimi, quyidagi ko'rinishga keladi,

$$x = e^{-bt} (C_1 + C_2 t)$$

Bu holda ham nuqta tebranma harakatda bo'lmaydi va vaqt o'tishi bilan tebranmagan holda egri chiziqli harakat qilib asta-sekin (asimptotik ravishda) muvozanat, ya'ni $x=0$ holatga yaqinlasha boradi {Lopital qoidasiga ko'ra, agar $t \rightarrow \infty$ intilsa $\lim(t/e^{bt}) = \lim(1/be^{bt}) = 0$ } va shaklning 3-grafigi bo'yicha harakat qiladi.

Masala. Solishtirma og'irligi $-\gamma$ bo'lgan suyuqlikka qisman cho'ktirilgan (massasi $-m$, ko'ndalang kesim yuzasi- S bo'lgan) tsilindrni



muvozanat holatdan chiqarib yuboriladi, natijada tsilindr tebranma harakat qila boshlaydi. Agar tsilindrning tebranma harakatiga suyuqlik (muhit) tomonidan ko'rsatiladigan qarshilik kuchi $\bar{R} = -\mu \bar{v}$ -dan iborat bo'lsa, shu tsilindrning so'navchi tebranma harakati aniqlansin

Yechish. Muvozanat holatda (a shakl) tsilindrga og'irlik kuchi $\bar{P}$ va tsilindr tomonidan siqib chiqarilgan suyuqlikning og'irligiiga teng bo'lgan arximed kuchi $\bar{N}_0$, ya'ni $N_0 = \gamma Sh$ (h -tsilindrning suvga cho'kib turgan qismining muvozanat holatdagi balandligi) ta'sir etadi.

Tsilindrning og'irlik markazi joylashgan S nuqtadan vertikal pastga qaratib Ox o'qini o'tkazamiz va tsilindrning S markazini boshlang'ich holatidan ixtiyoriy x masofada pastroqda tasvirlaymiz (b shakl). Tsilindrning ushbu holatida, unga: og'irlik kuchi $\bar{P}$, arximed qarshilik kuchi $\bar{N}_0$ va suyuqlikning qarshilik kuchi $\bar{R}$ -(bu kuchning yo'nalishi, har doim tsilindrning tezligiga teskari yo'nalishda bo'ladi)lar ta'sir etadi; $\bar{P}$ va $\bar{R}$ kuchlarni S nuqtaga vektor shaklida qo'yamiz. Tsilindrning cho'kish qo'shimcha ravishda x masofaga ortganligini e'tiborga olsak, arximed kuchining moduli $N = \gamma S(h+x)$ bo'ladi (bundan ko'rinib turibdiki,

arximed kuchi x masofaga proportsional ravishda muvozanatlovchi kuch bo‘lib xizmat qilmoqda).

Tsilindrning ilgarilanma harakatining differentsial tenglamasini Sx o‘qidagi proektsiyasini yozamiz:

$$m x'' = R_x + N_x + R_x \quad \text{yoki} \quad m x'' = R - (N_0 + \gamma Sx) - \mu v_x.$$

Tsilindrning muvozanat holatida $R = N_0$ bo‘lishini va quyidagi belgilashlarni kiritsak,

$$\gamma S/m = k^2, \quad \mu/m = 2b \quad (a)$$

yuqoridagi differentsial tenglama (12) formuladagi ko‘rinishga keladi, ya’ni

$$x'' + 2b x' + k^2 x = 0$$

U holda (a) belgilashlarni e‘tiborga olib (18) formuladan so‘nuvchi tebranma harakatning davrini aniqlasak, u quyidagicha bo‘ladi:

$$T_1 = \frac{2\pi}{\sqrt{\gamma S / m - \mu^2 / 4m^2}}.$$

Takrorlash uchun savollar:

1. Moddiy nuqtaning erkin tebranishlari deb qanday harakatga aytiladi?
2. Erkin tebranma harakat sodir bo‘lishi uchun qaysi shartlar bajarilishi shart.
3. Tebranish chastotasi deb qanday qiymatga aytiladi?
4. Tebranish davri nima?
5. Tebranish amplitudasi nima?
6. Muhit qarshiligi ta’siridagi so‘nuvchi tebranishlar deb qanday harakatlarga aytiladi?
7. Muhit qarshiligi qanday bo‘lganda so‘nuvchi tebranishlar sodir bo‘ladi?
8. So‘nish dekrementi deyilganda nimani tushunish lozim?
9. Logarifmik so‘nish dekrementi qanday aniqlanadi?
10. Erkin tebranishlar chastotasi bilan so‘nuvchi tebranishlar chastotasi orasidagi matematik bog‘lanishni yozib bering?
11. Tebranish amplitudalari nimalarga bog‘liq bo‘ladi?
12. CHiziqsiz tebranishlar deb qanday tebranishlarga aytiladi?
13. Kichik tebranishlarda tebranish amplitudasi, tebranish chastotasiga bog‘liq bo‘ladimi?

10-mavzu. Moddiy nuqta va mexanik sistema dinamikasining umumiy teoremlari. Kuchning ishi, quvvat va kinetik energiya.

Reja:

1. Mexanik sistema. Ichki va tashqi kuchlar
2. Massalar markazi.

3. Moddiy nuqta va mexanik sistema harakat miqdorini o'zgarishi haqidagi teorema.

Tayanch so'z va iboralar:

Mexanik sistema, ichki va tashqi kuchlar, massalar markazi, radius vektor, statik moment, inertsia moment, harakat miqdori, harakat miqdor moment.

Harakatlari o'zaro bir-biriga bog'liq moddiy nuqtalar sistemasi mexanik sistema deyiladi. Mexanik sistema erkin va bog'langan holatda bo'lishi mumkin.

Mexanik sistema nuqtalarining harakati hech qanday sabab bilan chegaralanmagan ya'ni nuqtalar orasidagi bog'lanishlar o'zaro ta'sir kuchidan iborat bo'lsa, mazkur sistema erkin bo'ladi.

Mexanik sistema nuqtalarining harakati biror sabab bilan chegaralangan ya'ni mazkur sistema nuqtalariga bog'lanishlar qo'yilgan bo'lsa u bog'lanishdagi sistema deb ataladi.

Erkin mexanik sistemaga misol qilib Quyosh sistemasini olish mumkin, chunki Quyosh va planetalar o'zaro butun olam tortilish kuchi ta'sirida bo'ladi.

Bog'lanishdagi mexanik sistemaga har qanday mashina mexanizmlarini misol keltirish mumkin. Chunki mashina mexanizmlarining qismlari bir-birlari bilan sharnirlar, sterjenlar, qayishlar yoki tishli q'ildiraklar vositasida bog'langan bo'ladi.

Sistemaning ixtiyoriy ikki nuqtasi orasidagi masofa o'zgarmay qolsa, u o'zgarmas sistema deb ataladi. Bunday sistemaga qattiq jism misol bo'la oladi. Mexanik sistemaga ta'sir qiluvchi kuchlar shartli ravishda ichki va tashqi kuchlarga ajratiladi. Mexanik sistemani tashkil etuvchi nuqtalarning o'zaro ta'siri ichki kuchlar deyiladi. Mexanik sistema tarkibiga kirmaydigan jism (nuqta)lar tomonidan qo'yilgan kuchlar tashqi kuchlar deb ataladi.

Ichki kuchlar F^i , tashqi kuchlar F^e , shuningdek, ichki kuchlar bosh vektori R^i , tashqi kuchlar bosh vektori R^e bilan belgilanadi. Biror sistema uchun tashqi deb hisoblanadigan kuch ikkinchi sistemaga nisbatan ichki kuch bo'lishi ham mumkin. Masalan, butun Quyosh sistemasining harakati tekshirilganda planetalarning o'zaro tortilish kuchi ichki kuch hisoblanadi. Yerning o'z orbitasi

bo'ylab Quyosh atrofidagi harakati tekshirilganda tortish kuchi tashqi kuch bo'ladi.

Ichki kuchlar xossalarini ko'rib chiqamiz.

1. Sistema ichki kuchlarining bosh vektori nolga teng. Haqiqatan, Nyutonning III qonuniga ko'ra sistema ixtiyoriy ikki M_1 va M_2 nuqtalarining o'zaro ta'sir kuchlari miqdor jihatdan teng va bir to'g'ri chiziq bo'ylab qarama-qarshi tomonga yo'nalgan $\vec{F}_{12}^i = -\vec{F}_{21}^i$. Binobarin, $\vec{F}_{12}^i + \vec{F}_{21}^i = 0$.

Bu xulosani sistemaning barcha nuqtalari uchun tatbiq etish mumkin. Shunday qilib,

$$\vec{R}^i = \sum \vec{F}_v^i = 0$$

buni Dekart koordinata o'qlariga proyeksiyalasak,

$$\begin{aligned} R_x^i &= \sum F_{vx}^i = 0, \\ R_y^i &= \sum F_{vy}^i = 0, & R_z^i &= \sum F_{vz}^i = 0 \end{aligned}$$

hosil bo'ladi.

4. Ichki kuchlarning biror markazga nisbatan bosh momenti nolga teng.

$$\vec{M}_0^i = \sum \vec{m}_0 (\vec{F}_v^i) = 0$$

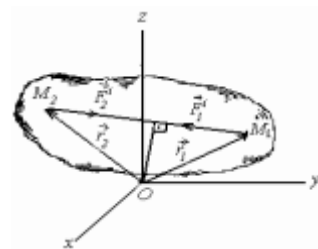
Bu xossaning o'rinli bo'lishi ham Nyutonning uchinchi qonunidan foydalanib ko'rsatiladi. Buni Dekart koordinata o'qlariga proyeksiyalasak,

$$M_x^i = \sum m_x (\vec{F}_v^i) = 0, \quad M_y^i = \sum m_y (\vec{F}_v^i) = 0, \quad M_z^i = \sum m_z (\vec{F}_v^i) = 0$$

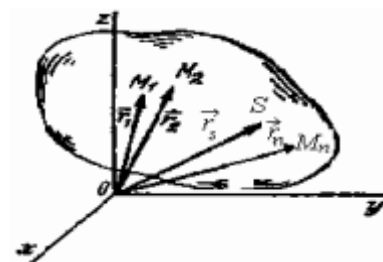
kelib chiqadi.

Ichki kuchlarning bu xossalaridan ichki kuchlar o'zaro muvozanatlashadi degan natija kelib chiqmaydi, chunki bu kuchlar sistemaning turli nuqtalariga qo'yilgan. Shuning uchun ichki kuchlar sistema nuqtalarining o'zaro ko'chishiga ta'sir qiladi. Absolyut qattiq jism o'rganilayotganda ichki kuchlar muvozanatlashuvchi kuchlar sistemasini tashkil etadi.

Mexanik sistemaning harakati faqat ta'sir kuchlarigagina bog'liq bo'lmay, balki massaning taqsimlanishiga bog'liq. Bunday kattaliklar haqidagi ta'limot massalar geometriyasi deb ataladi.



Mexanik sistema $M_1, M_2, \dots, M_n$ moddiy nuqtalardan tashkil topgan bo'lib, ularning massalari mos ravishda $m_1, m_2, \dots, m_n$ bo'lsin.



Sistema nuqtalari massalarining arifmetik yig'indisiga sistemaning massasi deyiladi va u quyidagicha yoziladi:

$$M = \sum m_v$$

Radius-vektori

$$\vec{r}_s = \frac{\sum m_v \vec{r}_v}{\sum m_v}$$

formula yordamida aniqlanadigan geometrik nuqta –S sistemaning inersiya (massa) markazi deb ataladi. Buni Dekart koordinata o'qlariga proyeksiyalasak,

$$x_s = \frac{\sum m_v x_v}{\sum m_v}, \quad y_s = \frac{\sum m_v y_v}{\sum m_v}, \quad z_s = \frac{\sum m_v z_v}{\sum m_v}$$

kelib chiqadi.

Yuqoridan mos ravishda

$$M \vec{r}_s = \sum m_v \vec{r}_v$$

va

$$M x_s = \sum m_v x_v$$

$$M y_s = \sum m_v y_v$$

$$M z_s = \sum m_v z_v$$

kelib chiqadi.

Birinchi sistemaning qutbga nisbatan statik momenti, ikkinchisi esa sistemaning Oyz, Oxz, Oxy tekisliklarga nisbatan statik momenti deb ataladi.

Sistema inersiya markazini qutb deb olsak, shu markazga nisbatan sistemaning statik momenti nolga teng bo'ladi:

$$\sum m_v \rho_v = M \rho_s = 0$$

Bunda ρ_v bilan M_v nuqtaning inersiya markaziga nisbatan radius-vektori, ρ_s bilan inersiya markazini radius-vektori belgilangan.

Sistemaning inersiya markazidan o'tuvchi ixtiyoriy tekislikka nisbatan statik momenti ham nolga teng bo'ladi.

Sistemaning o'qqa, nuqtaga va tekislikka nisbatan inersiya momentlari tushunchalari bilan tanishib chiqamiz. Ixtiyoriy O nuqtadan uchta o'zaro perpendikulyar o'qlarni, shuningdek, koordinata tekisliklarini o'tkazamiz.

Sistemaning biror o'qqa nisbatan inersiya momenti deb sistema har bir zarrachasi massasini shu zarrachadan mazkur o'qqacha bo'lgan masofa kvadratiga ko'paytmasining butun sistema zarrachalari bo'yicha olingan yig'indisiga aytiladi.

Sistemaning Oz o'qqa nisbatan inersiya momentini I_z bilan belgilasak, ta'rifga muvofiq

$$I_z = \sum m_v h_v^2$$

bunda M_v nuqtadan Oz o'qqacha bo'lgan masofa h_v deb olingan.

Inersiya momentining SI sistemadagi o'lchov birligi kgm^2 , texnik sistemada esa kgms^2 bo'ladi.

O'qqa nisbatan inersiya momentini hisoblaganda sistema zarrachalaridan o'qqacha bo'lgan masofani shu zarrachalar koordinatalari orqali ifodalash mumkin. M_v moddiy nuqta koordinatalarini x_v, y_v, z_v desak, sistemaning Ox, Oy, Oz o'qlariga nisbatan inersiya momentlari quyidagicha yoziladi:

$$I_x = \sum m_v (y_v^2 + z_v^2),$$

$$I_y = \sum m_v (x_v^2 + z_v^2),$$

$$I_z = \sum m_v (x_v^2 + y_v^2).$$

Sistemaning koordinatalar boshiga nisbatan inersiya moment

$$I_0 = \sum m_v r_v^2 = \sum m_v (x_v^2 + y_v^2 + z_v^2)$$

bo'ladi.

Yuqoridagi ifodalarni hadlab qo'shib, oxirgi ifoda bilan taqqoslasak, sistemaning koordinata boshiga nisbatan inersiya momenti bilan koordinata o'qlariga nisbatan inersiya momentlari orasidagi quyidagi bog'lanishni hosil qilamiz:

$$2I_0 = I_x + I_y + I_z$$

Sistemaning yOz , xOz , va xOy tekisliklarga nisbatan inersiya momentlari:

$$I_{yOz} = \sum m_v x_v^2,$$

$$I_{xOz} = \sum m_v y_v^2,$$

$$I_{xOy} = \sum m_v z_v^2$$

formulalardan foydalanib topiladi.

Bir jinsli jismning biror o`qqa nisbatan inersiya momentini uning shu o`qqa nisbatan inersiya radiusi deb ataluvchi chiziqli kattalik ρ_z dan foydalanib ham aniqlash mumkin: $I_z = M \rho_z^2$

Bir jinsli jismning o`qqa nisbatan inersiya radiusi tajribalar vositasida aniqlanib, jadvallarda berilgan bo`ladi.

Agar jismning biror o`qqa nisbatan inersiya momenti aniq bo`lsa, uning shu o`qqa nisbatan inersiya radiusini

$$\rho_z = \sqrt{\frac{I_z}{M}}$$

formuladan aniqlash mumkin.

Qattiq jismning markazdan qochma inersiya momentlari quyidagich topiladi:

$$I_{yz} = \sum m_v y_v z_v, \quad I_{zx} = \sum m_v z_v x_v, \quad I_{xy} = \sum m_v x_v y_v$$

$$m_v \vec{a}_v = \vec{F}_v^c + \vec{F}_v^i$$

M_v nuqta radius-vektorini $\vec{r}_v$, tezligini $\vec{V}_v$ desak, uning tezlanishi:

$$\vec{a}_v = \frac{dV_v}{dt} = \frac{d^2 \vec{r}_v}{dt^2}$$

$$m_v \frac{d\vec{V}_v}{dt} = \vec{F}_v^c + \vec{F}_v^i$$
$$m_v \frac{d^2 \vec{r}_v}{dt^2} = \vec{F}_v^e + \vec{F}_v^i$$
[illegible]

$$\left\{ \begin{array}{l} m_1 \frac{d^2 \vec{r}_1}{dt^2} = \vec{F}_1^e + \vec{F}_1^i \\ m_2 \frac{d^2 \vec{r}_2}{dt^2} = \vec{F}_2^e + \vec{F}_2^i \\ \vdots \\ m_n \frac{d^2 \vec{r}_n}{dt^2} = \vec{F}_n^e + \vec{F}_n^i \end{array} \right.$$

Sistema inersiya (massa) markazining unga qo'yilgan tashqi va ichki kuchlar ta'siridagi harakatini aniqlash uchun sistema harakatining differensial tenglamalaridan foydalanamiz. U quyidagicha ifodalanadi:

$$M \frac{d^2 \vec{r}_s}{dt^2} = \vec{R}^e$$

ifodani moddiy nuqta harakatining differensial tenglamasi bilan taqqoslab, massa markazining harakati haqidagi teoremani hosil qilamiz: sistema massasi inersiya markazida joylashgan deb qabul qilinsa, u markaz tashqi kuchlar bosh vektori ta'sirida xuddi moddiy nuqta kabi harakatlanadi.

koordinata o'qlariga proyeksiyalasak:

$$M \frac{d^2 x_s}{dt^2} = R_x^e, \quad M \frac{d^2 y_s}{dt^2} = R_y^e, \quad M \frac{d^2 z_s}{dt^2} = R_z^e$$

sistema massa markazi harakati differensial tenglamalarining koordinata usulidagi ifodalari kelib chiqadi.

Kinematikadan ma'lumki, ilgari lama harakatdagi jismning holati mazkur jism bitta nuqtasining holati bilan aniqlanar edi. Shuning uchun tenglamalarni jismning ilgari lama harakati differensial tenglamalari deb atash mumkin.

tabiiy koordinata o'qlariga proyeksiyalasak, tabiiy usuldagi massa markazi harakatining differensial tenglamasi kelib chiqadi:

$$M \frac{dV_s}{dt} = R_\tau^e, \quad M \frac{V_s^2}{\rho} = R_n^e$$

Inersiya markazining harakati haqidagi teoremadan quyidagi natijalar kelib chiqadi.

1. Sistemaga ta'sir qiluvchi tashqi kuchlar bosh vektori nolga teng bo'lsin, ya'ni $\vec{R}^e = 0$. Bu holda (78.3) dan $\vec{V}_s = \overline{const}$ kelib chiqadi.

Demak, sistemaga ta'sir qiluvchi tashqi kuchlar bosh vektori nolga teng bo'lsa, inersiya markazi to'g'ri chiziqli teng o'lchovli harakat qiladi. Agar boshlang'ich paytda massa markazi tinch holatda bo'lsa, $\vec{V}_s = 0$ dan $\vec{r}_s = \overline{const}$ hosil bo'ladi; ya'ni inersiya markazi berilgan koordinata sistemasiga nisbatan o'z holatini o'zgartirmaydi.

2. Sistemaga ta'sir etuvchi tashqi kuchlar bosh vektorining biror o'qdagi proyeksiyasi, masalan R_x^e nolga teng bo'lsin. U holda (78.4) ning birinchisidan $a_{sx} = 0$ yoki $V_{sx} = \dot{x}_s = const$ hosil bo'ladi.

Demak, sistemaga ta'sir qiluvchi kuchlar bosh vektorining biror o'qdagi proyeksiyasi nolga teng bo'lsa, inersiya markazi tezligining shu o'qdagi proyeksiyasi o'zgarmas ekan. Xususiyl holda $\dot{x}_s = 0$ bo'lsa, inersiya markazining Ox o'q bo'yicha koordinatasi o'zgarmay qoladi: $x_s = const$.

Bu natijalar sistema inersiya markazi harakatining saqlanish qonuni deyiladi.

M moddiy nuqta $\vec{F}$ kuch ta'sirida bo'lsin.

Kuchning elementar vaqt oralig'dagi elementar impulsi deb kuch vektori bilan shu vaqtning ko'paytmasiga aytiladi va u quyidagicha yoziladi:

$$d\vec{S} = \vec{F} dt$$

Kuchning biror $(0, t)$ vaqt oralig'idagi impulsini aniqlash uchun ni shu vaqt oralig'ida integrallaymiz:

$$\vec{S} = \int_0^t \vec{F} dt$$

Dekart koordinata o'qlariga proyeksiyalasak, kuch impulsi vektorining koordinata o'qlaridagi proyeksiyalari kelib chiqadi:

$$S_x = \int_0^t F_x dt, S_y = \int_0^t F_y dt, S_z = \int_0^t F_z dt$$

Agar S_x, S_y, S_z ma'lum bo'lsa, kuch to'la impulsining moduli

$$S = \sqrt{S_x^2 + S_y^2 + S_z^2}$$

formuladan, yo'nalishi esa yo'naltiruvchi kosinuslari:

$$\cos(\vec{S}, \vec{i}) = \frac{S_x}{S}, \cos(\vec{S}, \vec{j}) = \frac{S_y}{S}, \cos(\vec{S}, \vec{k})$$

bilan aniqlanadi.

Kuch impulsining birligi SI da Ns (kgm/s) dan iborat.

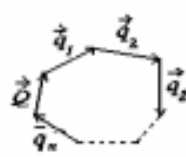
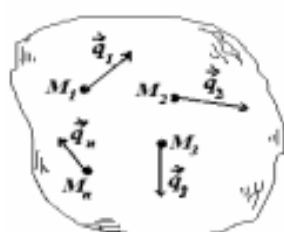
Kuch impulsi moddiy nuqtaga tashqaridan ta'sir qiluvchi jismlarning biror vaqt oralig'da nuqtaga bergan mexanik harakatini xarakterlaydi.

Moddiy nuqta massasi bilan tezlik vektorining ko'paytmasiga moddiy nuqtaning harakat miqdori deyiladi:

$$\vec{q} = m\vec{V}$$

tenglamadan ko'rinib turibdiki, moddiy nuqtaning harakat muqdiri vektor kattalik bo'lib, u tezlik vektori bo'ylab yo'naladi. Harakat miqdorining o'lchov birligi SI da kgm/s dan iborat.

Mexanik sistemaning harakat miqdori deb sistemani tashkil etuvchi nuqtalar harakat muqдорlarining geometrik yig'indisiga aytiladi (rasm).



rasm

$$\vec{Q} = \sum \vec{q}_v = \sum m_v \vec{V}_v$$

$$m_v = \text{const}, \vec{V}_v = \frac{d\vec{r}_v}{dt}$$

bo'lgani uchun

$$\vec{Q} = \frac{d}{dt} \sum m_v \vec{r}_v$$

$$\sum m_v \vec{r}_v = M \vec{r}_s$$

Natija ni quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$\vec{Q} = \frac{d}{dt} (M \vec{r}_s) = M \frac{d\vec{r}_s}{dt}$$

yoki

$$\vec{Q} = M \vec{V}_s$$

Demak, mexanik sistemaning harakat miqdori sistema massasi bilan inersiya markazi tezligi vektorining ko'paytmasiga teng.

harakat miqdorining o'zgarishi haqidagi teorema

$$\frac{d\vec{Q}}{dt} = \vec{R}^e$$

ifoda sistema harakat miqdorining o'zgarishi haqidagi teoremani ifodalaydi: mexanik sistema harakat miqdorining vaqt bo'yicha birinchi hosilasi mazkur sistemaga ta'sir qiluvchi tashqi kuchlar bosh vektoriga teng.

ikki tomonini dt ga ko'paytirsak:

$$d\vec{Q} = \vec{R}^e dt$$

yoki

$$d\vec{Q} = d\vec{S}^e$$

Demak, sistema harakat miqdorining differensialli unga ta'sir qiluvchi tashqi kuchlar bosh vektorining elementar impulsiga teng.

Dekart koordinata o'qlaridagi proyeksiyalari quyidagicha bo'ladi:

$$\frac{dQ_x}{dt} = R_x^e, \quad \frac{dQ_y}{dt} = R_y^e, \quad \frac{dQ_z}{dt} = R_z^e$$

sistema harakat miqdorining biror o'qdagi proyeksiyasidan vaqt bo'yicha olingan birinchi tartibli hosila unga ta'sir qiluvchi tashqi kuchlar bosh vektorining mazkur o'qdagi proyeksiyasiga teng.

ni ma'lum vaqt oralig'ida integrallasak, sistema harakat miqdorining chekli vaqt oralig'ida o'zgarishi haqidagi teoremani yoki impulsar teoremasini hosil qilamiz:

$$\vec{Q} - \vec{Q}_0 = \int_0^t \vec{R} dt = \vec{S}^e$$

Demak, sistema harakat miqdorining ma'lum vaqt oralig'ida o'zgarishi unga ta'sir qiluvchi tashqi kuchlar bosh vektorining shu vaqt oralig'idagi impulsiga teng.

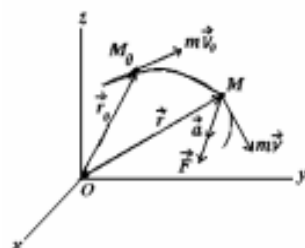
Dekart koordinata o'qlariga proyeksiyalasak, impulslar teoremasining skalyar ko'rinishi kelib chiqadi

$$Q_x - Q_{0x} = S_x^e$$

$$Q_y - Q_{0y} = S_y^e$$

$$Q_z - Q_{0z} = S_z^e$$

moddiy nuqta harakat miqdorining o'zgarishi haqidagi teorema quyidagi ko'rinishlarda yoziladi



$$d(m\vec{V}) = \vec{F} dt = d\vec{S}$$

$$m\vec{V} - m\vec{V}_0 = \int_0^t \vec{F} dt = \vec{S}$$

moddiy nuqta harakat miqdorining differensial mazkur nuqtaga ta'sir qiluvchi kuchning elementar impulsiga teng.

ifodani quyidagicha o'qish mumkin: *moddiy nuqta harakat miqdorining ma'lum vaqt oralig'ida o'zgarishi nuqtaga ta'sir qiluvchi kuchning shu vaqt oralig'idagi impulsiga teng.*

Dekart koordinata o'qlariga proyeksiyalab, quyidagi skalyar ifodalarga ega bo'lamiz:

$$mV_x - mV_{0x} = S_x,$$

$$mV_y - mV_{0y} = S_y,$$

$$mV_z - mV_{0z} = S_z.$$

Harakat miqdorining saqlanish qonuni harakat miqdori o'zgarishi haqidagi teoremaning xususiy holidan iborat. Bu xususiy hollar quyidagicha:

Agar sistemaga ta'sir qiluvchi tashqi kuchlar bosh vektori nolga teng bo'lsa, sistema harakat miqdori o'zgarmay qoladi, ya'ni:

$$\vec{R}^e = 0 \quad \text{da} \quad \vec{Q} = \text{const}$$

integrallash bilan o'rinli bo'lishini ko'ramiz.

Agar sistemaga ta'sir qiluvchi tashqi kuchlar bosh vektorining biror o'qdagi proyeksiyasi nolga teng bo'lsa, sistema harakat miqdorining shu o'qdagi proyeksiyasi o'zgarmaydi. Masalan,

$$R_x = 0 \quad \text{da} \quad Q_x = \text{const}$$

ifoda *mexanik sistema harakat miqdorining saqlanish qonunini* ifodalaydi.

Moddiy nuqta harakat miqdorining saqlanish qonuni quyidagicha bo'ladi:

$$a) \quad \vec{F} = 0 \quad \text{da} \quad \vec{q} = m\vec{V} = \text{const},$$

$$b) \quad F_x = 0 \quad \text{da} \quad mV_x = m\dot{x} = \text{const}$$

11-mavzu. Materiallar qarshiligi faniga kirish. Asosiy tushunchalar. Fanning maqsad va vazifalari. Materiallar qarshiligida qabul qilingan asosiy gipoteza va cheklanishlar.

Reja:

1. Asosiy tushunchalar. Fan tekshiradigan masalalar.
2. Konstruktsiya elementlarining modellari.
3. Kuchlarning klassifikatsiyasi.
4. Inshootga ta'sir etuvchi yuklar.
5. Materiallar qarshiligida qabul qilingan gipoteza va shartlar.

Tayanch so'z va iboralar:

Deformatsiya, elastiklik, plastiklik, oquvchanlik, mustahkamlik, bikrlilik, ustuvorlik, hisob sxemasi, balka, konsol, ferma, arka, siniq konsol, rama, konstruktsiya, tashqi kuchlar, sirtqi kuchlar, hajmiy kuchlar, reaksiya kuchlari, reaktiv kuchlar, sharnirli qo'zg'aluvchan tayanch, sharnirli qo'zg'almas tayanch, qistirib mahkamlangan tayanch.

Materiallar qarshiligi fani «Deformatsiyalanuvchi qattiq jismlar mexanikasi» deb umumiy nom bilan ataluvchi fanlar tarkibiga kirib, deformatsiyalanuvchi qattiq jismlar mexanikasining amaliy masalalarini o'rganadi, konstruktsiya va inshootlar elementlarining tashqi kuchlar ta'siridagi holatini – mustahkamligini, bikrligini va ustuvorligini baholaydi. Bu fan qurilish, mashinasozlik, aviasozlik va boshqa sohalar amaliyotida keng qo'llanilib, qator muhandislik fanlari uchun asos yaratadi.

Shu sababli materiallar qarshiligini chuqur o'rganish talaba uchun yuqori texnik tayyorgarlik kafolatini o'tab, unga ixtiyoriy amaliy masalalarni malakali yechishga yordam beradi.

Materiallar qarshiligi fani – elastiklik nazariyasi, plastiklik nazariyasi, oquvchanlik nazariyasi, gruntlar, sochiluvchan materiallar va tog' jinslari mexanikasi, tebranishlar nazariyasi va ustuvorlik nazariyasi kabi bir qator fanlarni o'z ichiga oladi. Bu fanda o'rganiladigan ob'ektlarga konstruktsiyalarning yupqa devorli elementlari, bruslar, balkalar, sterjenlar, vallar, plastina va qobiqlar kiradi.

Materiallar qarshiliginig fan sifatida shakllanishi 1638-yilda Galileo Galiley tomonidan «Fanning ikki yangi tarmog'iga oid matematik isbot va suhbatlar» kitobining chop etilishi bilan boshlangan. Ushbu kitob dinamika va mustahkamlik nazariyasiga bag'ishlangan edi. Robert Guk tomonidan kuchlanish va deformatsiya orasidagi proporsionallik qonunining 1660-yilda ochilishi va 1678-yilda bu natijaning chop etilishi materiallar qarshiligi fani rivojlanishiga asos soldi.

Keyingi davrlarda balka egilishi masalasi yechimiga ko'plab taniqli olimlar ishlari bag'ishlandi, faqat 1826-yilga kelibgina Nave o'zining qurilish mexanikasi

bo'yicha chop etgan kitobida deyarli 200 yil davom etgan balka egilishi masalasi yechimini e'lon qildi. Nave ushbu masalani to'g'ri yechimini topdi va birinchi bor kuchlanish tushunchasini kiritdi.

Lagranj, Koshi, Puasson, Sen-Venan kabi yirik olimlarning ishlari materiallar qarshiligi fani rivojlanishiga katta hissa qo'shdi. 1744-yilda to'g'ri sterjenga qo'yilgan siquvchi bo'ylama kuchning kritik qiymatini aniqlagan Eyler ishlarini alohida ta'kidlash lozim. Ushbu masala yechimi ham deyarli 200 yilga cho'zildi. Gap shundaki, Eyler tomonidan taklif etilgan yechimda materiallarni chiziqli – elastiklik holati bo'yicha cheklash haqidagi faraz qo'yilgan bo'lib, u Eyler formulasini qo'llash sohasi va aniqlik darajasini ancha cheklab qo'ygan edi. Shu sababli, olingan natijaning har doim tajriba natijalari bilan mos kelmasligi ushbu formulaga muhandislar qiziqishini uncha uyg'otmadi. Faqat 1889-yildagina Engesser tomonidan masalaning proporsionallik chegarasidan tashqarida ustuvorlikning nazariy yechimi aniqlandi. Ammo, ushbu yechimning isboti keltirilmadi. 1894-yilda Yasinskiy ushbu masala isbotini keltirdi, 1910-yilda Karman ham Yasinskiyga bog'liq bo'lmagan holda masala isbotini topdi.

Shu bilan birga materiallar qarshiligi haqidagi fan rivojlanishiga va uning amaliy masalalarini yechishga quyidagi olimlar o'zlarining katta hissalarini qo'shdilar – D.I.Juravskiy, X.S.Golovin, P.F.Papkovich, I.G.Bubnov, B.G.Galerkin, S.P.Timoshenko, V.Z.Vlasov, N.B.Belyaev, A.A.Gvozdev, G.V.Kolosov, V.V.Bolotin, N.X.Arutunyan, M.A.Koltunov, L.A.Tolokonnikov, N.I.Musxelishvili, A.A.Ilyushin, Yu.N.Rabotnov, X.A.Raxmatullin, S.R.Rjanitsin, Ye.I.Shemyakin, M.T.O'rozboev, V.Q.Qobulov, B.E.Novojilov, V.V.Lure, V.V.Moskvitin, V.G.Zubchaninov, V.I.Feodosev, V.L.Biderman, I.G.Teregulov, B.E.Pobedrya, V.N.Nemirovskiy, I.E.Troyanovskiy, A.S.Kravchuk va boshqalar.

Odatda jismdagi deformatsiyalanish jarayoni inshoot ishlashiga sezilarli darajada ta'sir qilib, inshoot yaroqliligiga putur yetkazadi, ya'ni uning mustahkamligini, bikrligini yoki ustuvorligini buzishi mumkin.

Inshootning bu qobiliyatlari to'g'risida gapirilganda asosan quyidagilar tushuniladi:

mustahkamlik deganda – konstruksiya elementlarining qo'yilgan tashqi kuchlar ta'siriga chidamliligi tushuniladi,

bikrlilik deganda – konstruksiya elementlarining tashqi kuchlar ta'sirida katta geometrik o'zgarishlar hosil qilmaslik qobiliyati tushuniladi,

ustuvorlik deganda – konstruksiya elementlarining tashqi kuchlar ta'sirida o'zining avvalgi holatini yo'qotmaslik qobiliyati tushuniladi.

Odatda to'g'ri loyihalangan yoki to'g'ri ishlatilayotgan konstruksiyada deformatsiya buzilish darajasigacha yetmasdan to'xtaydi, ya'ni jismda deformatsiyalanish jarayoni kechayotgan bir vaqtda deformatsiyalanishga qarshilik ko'rsatish holati paydo bo'ladi, jism «qarshilik ko'rsatadi». «Qarshilik ko'rsatish» kattaligi deformatsiyani o'sishi bilan kuchayib boradi va shunday muvozanat holati yuz beradiki, bu holda deformatsiyalanish jarayoni to'xtaydi.

Tabiiyki, «Qarshilik ko'rsatish» effekti turli jismlar uchun har xil bo'lib, bir xil o'lchamli yog'och konstruksiyaning buzilishi metall konstruksiyaga nisbatan kamroq

kuchlanishlarda ro'y beradi. Konstruksiya materialining yaxlitligini saqlash shartlarini o'rganish, «mustahkamlikka hisoblash» deb ataladi. Ba'zi konstruksiyalarda material mustahkamligidan tashqari yana deformatsiyaning talab qilingan miqdordan oshmaydigan qiymatlarini ta'minlash talab etiladi. Ushbu hisob «bikrlikka hisoblash» deb ataladi.

Hisob sxemasini tuzish

Materiallar qarshiligining ixtiyoriy masalasini yechish, hisob sxemasini tanlashdan boshlanadi, ya'ni shunday soddalashtirilgan sxema tanlanadiki, unda bir tomondan konstruksiyaning asosiy xususiyatlari e'tiborga olinadi, ikkinchi tomondan yakuniy natijaga sezilarli ta'sir etmaydigan ikkilamchi omillar tashlab yuboriladi. Ushbu holat tashqi kuchlarni hisoblashda ham, ko'rilayotgan elementni geometrik jihatdan belgilayotganda ham va konstruksiya materiali modeliga ham tegishlidir.

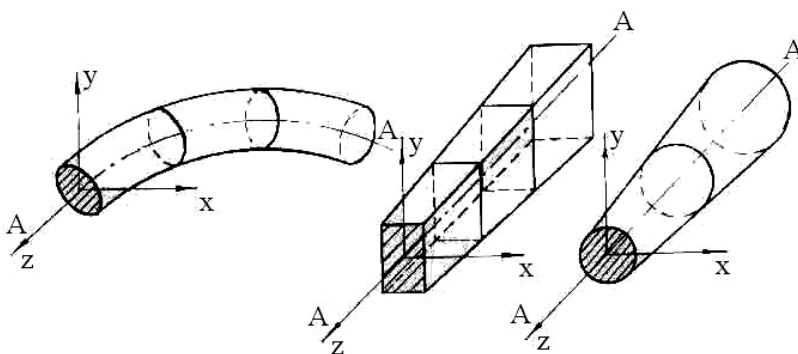
Misol uchun lift arqoniga tushayotgan kuchlanishni aniqlanayotganda kabina og'irligi, ko'tarilayotgan yuk og'irligi, inersiya kuchlari, arqon og'irligi kabi omillar hisobga olingan holda, havoning qarshilik kuchi, barometrik bosimning farqi, havo haroratining yuqoriga ko'tarilishi bilan bog'liq omillar ikkinchi darajali deb tashlab yuboriladi.

Temir yo'l ko'prigini hisoblashda poezd sostavining og'irligi, harakat paytida hosil bo'ladigan dinamik kuchlar hisobga olinadi, shamolning qarshiligi hisobga olinmaydi. Teleradio translyatori machtasini hisoblashda esa machta bo'ylab harakatlanayotgan odamlar og'irligini hisobga olmay, shamol bosimini hisobga olish kerak va hokazo.

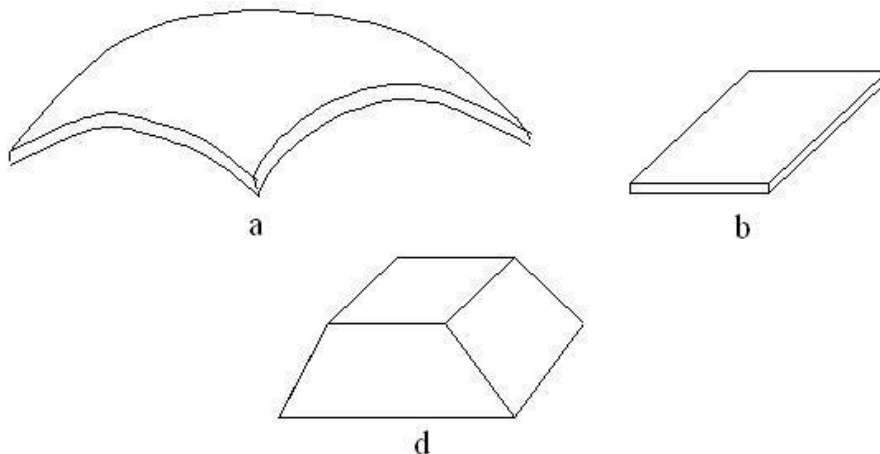
Konstruksiya qismlari. Hisob sxemasini tuzishda konstruksiya geometriyasini soddalashtirish uchun konstruksiyaning ayrim qismlarini (elementlarini) ikki o'lchami (eni va bo'yi) uchinchi o'lchami (uzunligi)dan ko'p (8 va undan ortiq) marta kam bo'lsa sterjenga keltirib olinadi. Demak, sterjen deb ikki o'lchami bir o'lchamiga nisbatan bir necha marta kichik bo'lgan konstruksiya elementiga aytiladi. Demak, biror tekis kesimni A–A o'qi atrofida aylantirishdan hosil bo'lgan jismni sterjen deb qarash mumkin.

«A–A» o'qi sterjenning bo'ylama o'qi deyiladi, og'irlik markazidan o'tuvchi, bo'ylama o'qqa tik joylashgan tekis kesim – sterjenning ko'ndalang kesimi deyiladi.

Sterjen nuqtalarining koordinatalari Oxyz to'g'ri burchakli sanoq sistemasiga nisbatan aniqlanadi, odatda z o'qi, bo'ylama o'q yo'nalishi bo'yicha yo'naltiriladi, x va y o'qlari esa sterjen ko'ndalang kesimi tekisligida yotadi.



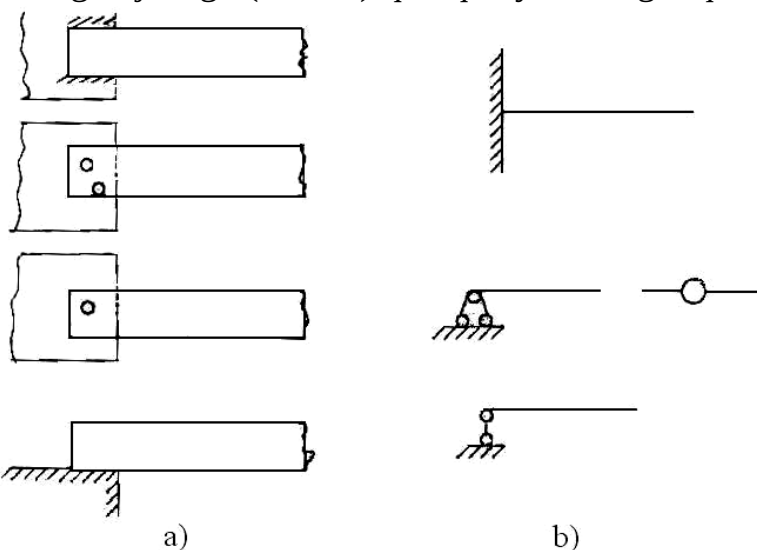
Sterjenlar bo'ylama o'qi shaklidan kelib chiqib to'g'ri chiziqli, egri chiziqli, siniq yoki fazoviy egilgan ko'rinishlarda bo'lishi mumkin. Fazoviy egilgan egri chiziqli sterjenga vintli prujina misol bo'lishi mumkin. Hisoblash sxemasini tuzayotganda sterjen ko'ndalang kesim yuzasi shaklidan qat'iy nazar bo'ylama o'q ko'rinishida tasvirlanadi. Ba'zi hollarda, ya'ni sterjen kuchlar sistemasi bilan yuklangan bo'lsa, hisob sxemasida tashqi kuchlarni aniqroq ko'rsatish uchun sterjen o'zining aniq geometrik o'lchamlari bilan tasvirlanadi.



Materiallar qarshiligida sterjenlardan

tashqari plastinka va qobiqlar hisobining ham eng sodda hollari ko'riladi.

Bir o'lchami (qalinligi) qolgan ikki o'lchamidan ko'p marta kam bo'lgan va ma'lum egrilik radiusiga ega bo'lgan jismga (a-rasm) qobiq deyiladi, agar qobiq sirti tekislikdan iborat bo'lib, egrilik radiusi cheksiz katta bo'lsa, u (b-rasm) plastinka deyiladi. Uchta o'lchami ham bir xil tartibda bo'lgan jismlar (d-rasm) esa massiv deb ataladi.



Konstruksiya qismlarining bog'lanishlari.

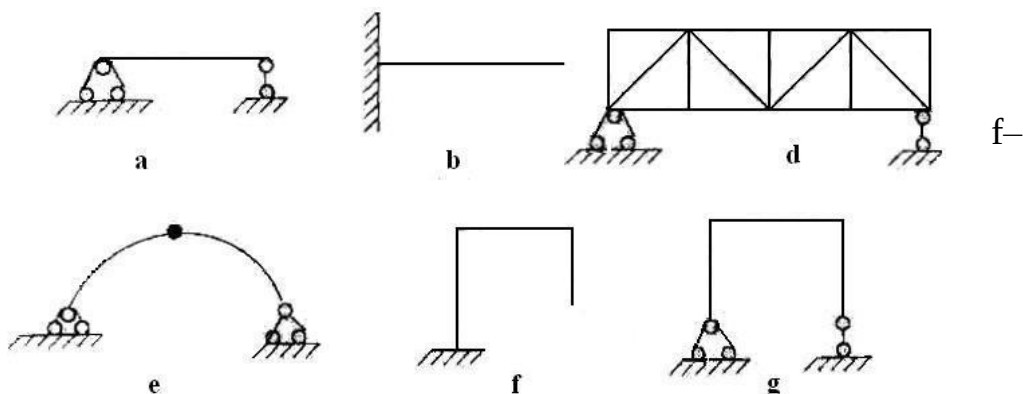
Sterjenlardan yaxlit inshoot yasash uchun turli

biriktirish vositalari – bolt, parchin mix, payvand va qirqib kirgizishlardan foydalaniladi. Hisob sxemasida ushbu usullar yordamida biriktirish shartli ravishda nazariy mexanikada mavjud bo'lgan qistirib mahkamlangan, qo'zg'aluvchi yoki qo'zg'almas sharnir, oraliq sharnir, yoki silliq sirt bog'lanishlariga keltiriladi.

Konstruksiyaning xillari. Inshootni tashkil etuvchi sterjenlar o'q shakliga, tutashtirish usuliga, tayanch turlariga qarab bir qancha turlarga bo'linadi, ular ichida eng ko'p tarqalganlari: balka, konsol, ferma, arka, siniq konsol va ramalardir.

a–balka; b–
konsol; d–
ferma; e–arka;
siniq konsol; g–
rama.

Tashqi kuchlar va ularning tasnifi.



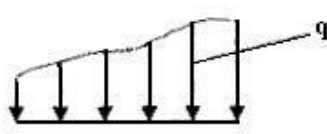
Tashqi kuchlar va ularning tasnifi. Berilgan yuklar va tayanchlar reaksiyalari. Statik va dinamik kuchlar. O'zgarmas va vaqtga bog'liq holda o'zgaruvchan kuchlar. Ichki kuchlar va ularni o'rganish (kesish usuli). To'la, normal va urinma kuchlanishlar, ko'chishlar va deformatsiya.

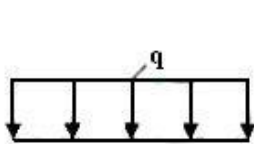
Konstruksiya ta'sir qiluvchi tashqi kuchlar. Inshootga ta'sir qilayotgan tashqi kuchlar ham turlicha bo'lishi mumkin, lekin ularni bir necha turlarga ajratish mumkin – bir nuqtaga ta'sir etuvchi yoki to'plangan kuch, yoyilgan kuch (tekis yoki notekis), yoyilgan yoki bir nuqtaga qo'yilgan juft kuch – moment.

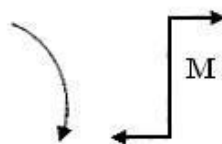
Ob'ekt

yuzasiga nisbatan ancha kichik yuzaga qo'yilgan yoyilgan kuchlar, bir nuqtaga ta'sir etuvchi yoki to'plangan kuchlarni tashkil etib, ular N , kgk , tk larda o'lchanadi.


Bir nuqtaga ta'sir etuvchi kuch

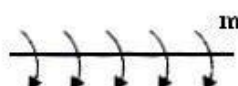

Notekis taqsimlangan kuch


Tekis taqsimlangan kuch


Bir nuqtaga ta'sir etuvchi moment kN ,

Tekis

taqsimlangan kuchlar ko'rilyotgan ob'ekt yuzalari bo'yicha teng ta'sir etuvchi parallel kuchlar sistemasidan iborat bo'ladi.


Taqsimlangan moment

Agarda bu kuchlar uzunlik bo'yicha taqsimlangan bo'lsa u holda yoyilgan kuch xarakteristikasi sifatida uning intensivligi q olinadi va bu – **kuch/masofa** birligida (N/sm , kN/m , kgk/sm , tk/m va hokazolarda) o'lchanadi. Bunga devor og'irligining fundamentga ta'siri misol bo'lishi mumkin.

Agarda kuch yuza bo'yicha taqsimlangan bo'lsa u holda bu kuch – **kuch/yuza** birligida (N/sm^2 , kN/m^2 , kgk/sm^2 , tk/m^2 larda) o'lchanadi. Bu kuchga yoqqan qor og'irligini tekis tomga ta'siri misol bo'lishi mumkin.

Tekis taqsimlangan kuchning teng ta'sir etuvchisini topish uchun kuch intensivligini ta'sir etish masofasiga ko'paytiriladi ($q \cdot \ell$) notekis taqsimlangan kuch ham parallel kuchlar sistemasidan iborat bo'lib, uning kattaligi kuch qo'yilish

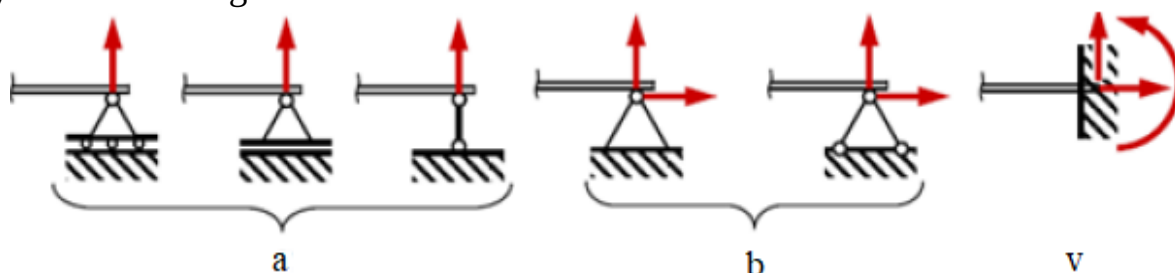
nuqtasidan boshlab masofa funksiyasi sifatida o'zgaradi. Notekis taqsimlangan kuchga oddiy misol sifatida uchburchak qonuni bo'yicha taqsimlangan gidrostatik bosimni keltirish mumkin.

Kuch intensivligining epyurasi deb, taqsimlangan kuchning mos masshtabdagi grafik tasviriga aytiladi. Taqsimlangan kuchning teng ta'sir etuvchisi miqdor jihatidan kuch intensivligining epyurasi maydoniga teng bo'lib, epyuraning og'irlik markaziga qo'yilgan bo'ladi. Bir nuqtaga qo'yilgan moment M ni miqdorlari teng, o'zaro parallel va qarama-qarshi tomonga yo'nalgan juft kuchlar ko'rinishida tasvirlash mumkin.

Konstruksiya elementlariga ta'sir etuvchi tashqi kuchlar, asosan sirtqi va hajmiy kuchlarga bo'linadi. Jismga qo'shni ikkinchi jismdan o'tadigan kuchlar sirtqi kuchlar deyiladi. Jismning barcha ichki nuqtalariga ta'sir qiluvchi kuchlar hajmiy kuchlar deyiladi. Bunga harakatlanayotgan jismda hosil bo'ladigan inersiya kuchi misol bo'ladi.

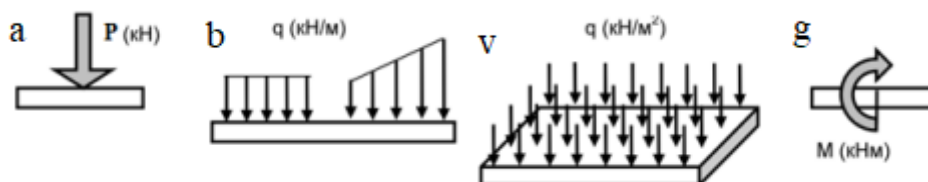
Inshoot, bino, mashina qismlari ishlash jarayonida bir-biriga o'zaro ta'sir etadi, ya'ni inshootning har bir elementi u bilan bog'langan element uchun tashqi kuch (ta'sir) manbadan iborat bo'ladi. Masalan, tom yopilmasi og'irligining stropilalariga ta'sir kuchi, o'z navbatida stropiladagi kuchlarning devorga uzatilishi va h.k. konstruksiya, inshoot elementlariga ta'sir etuvchi barcha tashqi kuchlarni aktiv (faol) va reaktiv kuchlarga ajratish mumkin.

Tayanchlarda hosil bo'lgan reaksiya kuchlarni reaktiv kuchlar deb ataladi. Tayanch turlarining sxemasi:



a) SHarnirli qo'zg'aluvchan tayanch; b) SHarnirli qo'zg'almas tayanch;
v) qistirib mahkamlangan tayanch

Konstruksiya elementini yuklayotgan tashqi kuchlarni aktiv (faol) kuchlar deb ataladi. Materiallar qarshiligida aktiv kuchlarni yuklar deb ataladi.



Agarda tashqi kuchlar brusning uzunligiga nisbatan o'lchamli darajadagi uzunligiga ta'sir etsa bunday kuchlarni taqsimlangan, yoyilgan kuchlar deb ataladi va "q" harfi bilan belgilanadi (b,v-rasm). «q» – brusning birlik uzunligiga to'g'ri kelgan tashqi kuchning miqdorini ifodalaydi va uni yoyilgan kuchning intensivligi deb ataladi. Intensivlikning o'lchov birligi N/m, kN/m dan iborat bo'ladi. Yoyilgan kuchlar tekis taqsimlangan ko'rinishda "q", hamda ba'zi hollarda taqsimlanish qonuniyati murakkab funksiyadan iborat bo'lishi ham mumkin

(q). O'lchamlari katta bo'lgan konstruksiyalar, masalan qurilish inshootlarini hisoblashda hajmiy kuchlarni e'tiborga olinishi kerak. Bu kuchlar xususiy og'irlik, inersiya kuchlaridan iborat bo'lib, konstruksiya hajmining barcha nuqtalariga qo'yilgan bo'ladi. Hajmiy kuchlar taqsimlangach, yoyilgan kuchlar qatoriga kiritiladi va ular (N/m^3), (kN/m^3) birlikda o'lchanadi. Konstruksiyaga (vaqtga nisbatan) ta'sir etish hususiyatiga nisbatan kuchlar statik va dinamik kuchlarga ajratiladi.

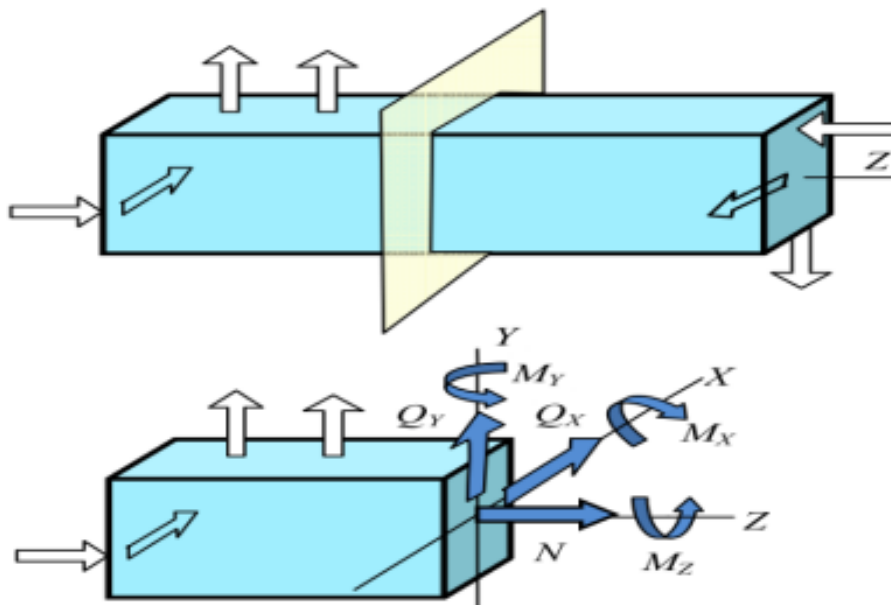
Konstruksiyaga ta'sir etuvchi kuchlar ta'sir etish turiga qarab to'plangan, taqsimlangan (tarqatilgan) va hajmiy yuklarga ajratiladi. Materiallar qarshiligi hisoblarida konstruksiya, inshootlarning hisobiy sxemalaridan foydalaniladi. Masalan, brusni uning o'qi – oddiy chiziq bilan, brusga ta'sir etuvchi kuchlarning esa har bir ko'rinishdagi kuchning o'ziga xos belgilanish bilan ifodalaniladi (rasm).

To'plangan kuch deb, brusning kichik yuzasi yoki nuqtasiga qo'yilgan kuchga aytiladi. (a-rasm). Masalan, brusning uchiga qo'yilgan «P» kuch. Bu erda P – kuchning modul qiymatini, strelka esa yo'nalishini ifodalaydi. Mazkur kuchlar qatoriga juft kuch “m” ni ham kiritish mumkin (g-rasm). To'plangan kuch “P” ning o'lcham birligi N (N'yuton), kN, juft kuchning o'lcham birligi – N·m, kN·m. Vaqtga nisbatan o'zgaras yoki juda sekin o'zgaruvchan kuchlarni statik kuchlar deb ataladi. Statik kuchlar uzatilganda konstruksiyaning barcha qismlari muvozanatda turadi deb taxmin qilish mumkin. Agar vaqt oralig'ida qiymati, yo'nalishi yoki qo'yiladigan joyi tez o'zgarishi bilan xarakatlanadigan kuchlarga dinamik kuchlar deb ataladi. Masalan, biror mashina yoki mexanizmning harakatdagi qismlarida hosil bo'ladigan inersiya kuchlari, zilzila vaqtida inshoot elementlarida hosil bo'ladigan zilzilaviy kuchlar, zarbaviy kuchlar va h.k..

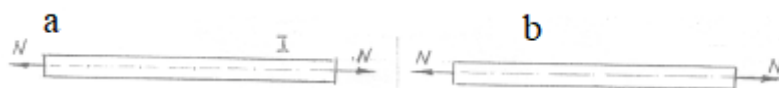
Tashqi kuchlar ta'sirida bo'lgan ixtiyoriy jismni ko'raylik. Ixtiyoriy nuqtadan jismni ikki qismga ajratamiz. Kesimning normal yo'nalishi bo'ylab yo'nalgan kuch bo'ylama kuch $N(x)$ deyiladi. Ichki kuchlarning normalga perpendikulyar yo'nalishdagi tashkil etuvchisi ko'ndalang (kesuvchi) kuch $Q(x)$, Z – o'qiga nisbatan olingan moment $M(x)$, eguvchi moment deyiladi. Musbat yo'nalishi o'ng qo'l qoidasiga binoan aniqlangan. $T(x)$ moment burovchi moment deyiladi.

Brus deformatsiyasining eng oddiy ko'rinishlari

Yuqorida brus kesimlarida umumiy holda ichki kuch teng ta'sir etuvchilari 6 ta tashkil etuvchilardan (N , Q_y , Q_z , M_x , M_y , M_z) iborat ekanligi ta'kidlab o'tilgan (rasm). Ammo ko'p hollarda amalda mazkur ichki kuchlardan brus kesimlarida faqat ayrimlari ko'p uchraydi.

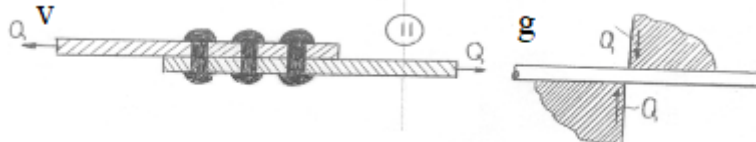


1. Agar brus faqat o'qi bo'ylab yo'nalgan ichki kuch «N» ta'sirida bo'lsa, brus cho'zilish va siqilish deformatsiyasiga ishlaydi. Ichki kuch «N» ni bo'ylama kuch deb ataladi, brusni esa sterjen deb ataladi, agarda uning o'lchamlari uncha katta bo'lmasa (rasm)



Siqilishga ishlaydigan qurilish konstruksiyalarini ustun, kalonna deb ataladi.

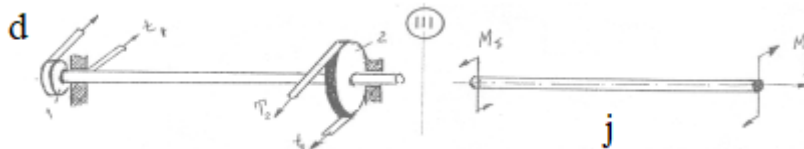
2. Brus kesimidagi ichki kuchlardan $Q_y, Q_z \neq 0$, bo'lib qolganlari nolga teng bo'lsa brusda siljish, kesilish deformatsiyasi sodir bo'ladi (rasm).



Bu ko'rinishdagi deformatsiyalar asosan mashina, inshoot elementlarining birikmalari: boltli, parchin mix, elektr gaz payvand birikmalarida, metallarni kesish jihozlarida va h.k. sodir bo'ladi.

3. Agar brus kesimidagi ichki kuchlardan $M_x \neq 0$, qolganlari nolga teng bo'lsa brusda buralish deformatsiyasi sodir bo'ladi.

Buralishga ishlaydigan mashina qismlarini val deb ataladi. Brusni kesimidagi ichki kuchni ($M_x = M_b$) burovchi moment deb ataladi (d,e-rasm).



4. Brusga uning o'qiga tik bo'lgan tashqi kuchlar ta'sir etish natijasida brus kesimlarida M - eguvchi moment, Q - ko'ndalang kuch ko'rinishidagi ichki kuchlar hosil bo'ladi. Brusning o'qi to'g'ri chiziqli shakldan egri chiziqli shaklga o'tadi. Bu ko'rinishdagi deformatsiyani egilish deb ataladi. Egilishga ishlaydigan braslarni balka deb ataladi (f, k-rasm).



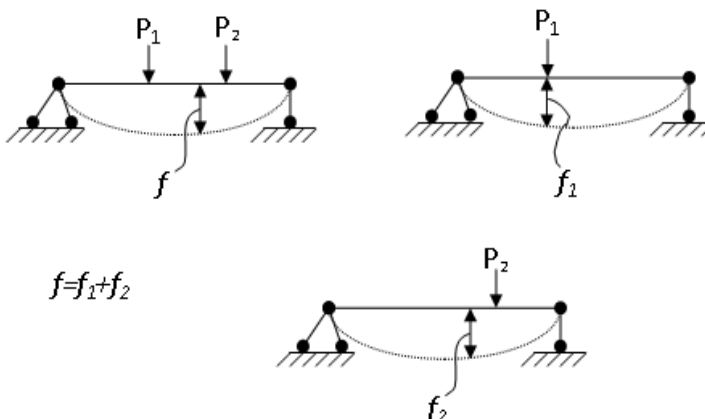
Brus kesimlarida bir vaqtning o'zida bir necha turdagi ichki kuchlarning birgalikda ta'siri brusda deformatsiyaning murakkab turlarini hosil bo'lishiga olib keladi.

Tabiatda mavjud materiallar molekular tarkibiga ko'ra u yoki bu darajada shakllangan agregat holatida bo'lib, ularning o'lchamlari esa submikrokristalldan (mikrostrukturadan) to beton ko'rinishidagi konglomerat (makrostruktura) tuzilishgacha bo'lishi mumkin. Odatda materiallar qarshiligi fanida ob'ekt holatini o'rganganda alohida agregatlarning o'zaro ta'sirini va real materiallarning barcha xossalarini e'tiborga olib bo'lmaydi. Shuning uchun hisoblash formulalarini keltirib chiqarishda qator farazlar qabul qilinib, real jismning bir nechta asosiy xossalarini o'zida aks ettirgan ideal jism qaraladi. Bunday jismlarda tashqi kuch yoki issiqlik ta'sirida uning zarrachalarining joylashishlari o'zgaradi, lekin uning tarkibidagi moddaning umumiy miqdori (jismning massasi) o'zgarmaydi, ya'ni uning faqat o'lchamlari va shakli o'zgarishi mumkin. Demak, deformatsiya deganda, jism zarrachalarining o'zaro joylashishi natijasida uning o'lchamlari va shaklining o'zgarishi tushuniladi.

Jismlarning kuch ta'sirida deformatsiyalanib, kuch olingandan keyin, o'zining oldingi holatiga qaytishi jismning elastiklik xossasi deyiladi. Kuch olinishi bilan deformatsiyaning yo'qoladigan qismi elastik deformatsiya, qoladigan qismi qoldiq (plastik) deformatsiya deb ataladi. Agarda deformatsiya to'liq yo'qolsa jism absolyut elastik deb ataladi.

Materiallar qarshiligi fanida quyidagi xossalarga ega bo'lgan ideal jism qaralishi uchun quyidagi farazlar qabul qilingan:

1. Jism bir jinsli va yaxlit deb qaraladi, ya'ni biror nuqta atrofidan olingan cheksiz hajmdagi materialning xossalari nuqtaning o'rniga bog'liq emas va jism bir butun yaxlit tuzilgan deb qaraladi.
2. Jism absolyut elastik va izotrop deb qaraladi. Ya'ni izotrop deganda jismning xossalarini barcha yo'nalishlar bo'yicha bir xilligi tushuniladi. (Shu bilan birga turli yo'nalishlar bo'yicha xossalari har xil bo'lgan anizotrop jismlar ham ko'p uchraydi, lekin bu darslik hajmida unday jismlar qaralmaydi).
3. Jismning deformatsiyasi uning o'lchamlariga qaraganda ancha kichik deb qaraladi.
4. Jismga qo'yilgan kuch ma'lum miqdordan oshmasa, jism chiziqli deformatsiyalanadi (Guk qonuni).
5. Bir nechta kuch ta'siridan hosil bo'ladigan deformatsiya yoki ko'chishning



qiymati, har qaysi kuch alohida ta'siridan hosil bo'ladigan qiymatlarning yig'indisiga teng (kuchlar ta'sirining mustaqillik prinsipi).

6. Deformatsiyadan oldin tekis bo'lgan kesim, deformatsiyadan keyin ham tekis bo'lib qoladi (Bernulli gipotezasi).

Bu qabul qilingan gipoteza va farazlarni qo'llash nazariy tekshirishlarda differensial va integral hisob apparatidan keng foydalanish imkoniyatini yaratib, keyinchalik hisob ishlarini birmuncha soddalashtirish imkoniyatini beradi.

12-mavzu: Tekis kesim yuzalarining inersiya momentlari. Bosh inersiya o'qlari va bosh inersiya momentlari.

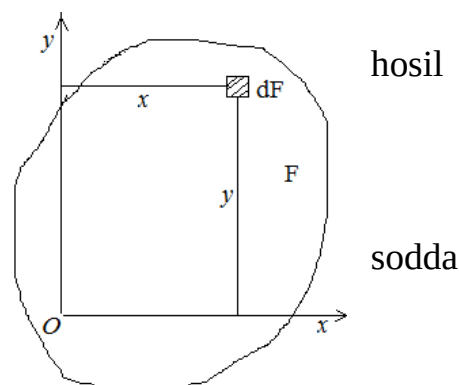
Reja:

1. Yuzaning statik momenti. Kesimning og'irlik markazi.
2. Murakkab kesimning og'irlik markazi holatini aniqlash.
3. Oddiy shakllarning inersiya momentlari va markazdan qochma inersiya momentlarini aniqlash.
4. Inersiya momentlarini o'qlarni parallel ko'chishiga va qo'zg'almas nuqta atrofida buralishga bog'liqligi.
5. Bosh o'qlar va bosh inersiya momentlari.

Tayanch so'z va iboralar:

Statik moment, og'irlik markazi, o'qqa nisbatan inersiya momenti, markazdan qochma inersiya moment, qutb inersiya moment, qarshilik moment, markaziy o'qlar, bosh o'qlar, bosh inersiya momentlari.

Sterjenlarning cho'zilish va siqilishida uning mustahkamligi va bikrligi, ko'ndalang kesimda bo'ladigan kuchlanish, deformatsiyaning potensial energiyasi va boshqalar sterjen ko'ndalang kesim yuzasiga bog'liq. Yuza ko'ndalang kesimning eng geometrik xarakteristikasidir. Agar yuza cheksiz elementar yuzalardan iborat bo'lsa, u holda kesimning to'liq yuzasi: $F = \int dF$ ga teng bo'ladi.



Sterjenlarni egilishga, buralishga, murakkab qarshilikka hamda siqilgan sterjenlarni ustivorlikka hisoblashda kesimning murakkab geometrik xarakteristikalaridan foydalaniladi. Kesim yuzasining bunday geometrik xarakteristikalariga statik moment, o'qqa, qutbga nisbatan va markazdan qochma inersiya momentlari kiradi. Bu xarakteristikalarda integral ostidagi ifoda elementar

yuza bilan yuzaga bog'langan koordinata o'qlari x, y, ρ larning funksiyalarini ko'paytmasiga bog'liq bo'ladi. Aytib o'tilgan geometrik xarakteristikalar nafaqat kesimning shakli va o'lchamiga balki koordinata o'qlarining va qutb nuqtaning holatiga ham bog'liq bo'ladi. Sodda shakllarning geometrik xarakteristikasi maxsus formulalar yordamida aniqlanadi. Standart profilni kesim yuzalari burchaklik, shveller, qo'shtavrlarning geometrik xarakteristikalari sortament jadvalarida beriladi. Murakkab tekis kesim yuzalarining geometrik xarakteristikalarini aniqlash uchun, yuzani sodda shakllarga bo'lib olinadi va har bir kesim uchun geometrik xarakteristika aniqlanib geometrik xarakteristikalar orasidagi bog'lanish formulalaridan foydalaniladi. Sodda shakllar deganda uchburchak, to'rtburchak, doira, halqalar tushuniladi.

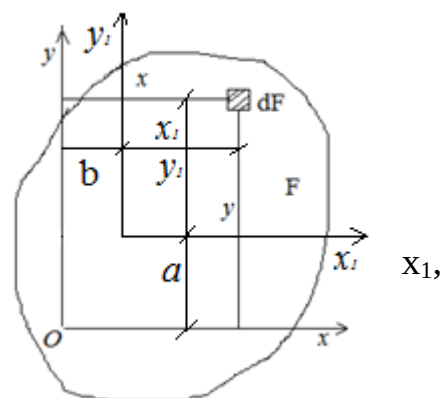
Kesimning statik momenti

Ko'ndalang kesimning statik momenti deb, kesimdan olingan elementar yuza bilan shu kesimdan mos koordinata o'qigacha bo'lgan masofaga ko'paytmasidan yuza bo'yicha olingan integralga aytiladi. Yuzaning x o'qqa nisbatan statik momenti: $S_x = \int_F y dF$, yuzaning y o'qqa nisbatan statik momenti: $S_y = \int_F x dF$. Statik momentlarni sm^3 , m^3 va h.z.(uzunlikning kubi) da ifodalanadi.

Murakkab kesimning statik momentini aniqlash uchun uni sodda shakllarga ajratib, har bir shaklning mos koordinata o'qlariga nisbatan statik momenti hisoblanib, ularni yig'indisi olinadi. Turli o'qqa nisbatan olingan statik momentlar yig'indisi olinmaydi.

O'qlarning musbat yo'nalishi o'zgarisa statik moment ishorasi ham o'zgaradi.

Parallel o'qlarga nisbatan yuzaning statik momentini o'zgarishini aniqlaymiz. Buning uchun x, y o'qlarga parallel holda x_1, y_1 o'qlarni o'tkazamiz va shu o'qlarga nisbatan yuzaning statik momentini aniqlaymiz. Shakldan elementar yuzani yangi koordinata o'qlariga nisbatan koordinatalari



y_1 bo'lib, oldingi koordinatalar bilan bog'lasak: $x=b+x_1$, $y=a+y_1$ bo'ladi. Bu formulalardan $x_1=x-b$, $y_1=y-a$ bo'ladi. Bularni yuzani statik momentini aniqlash formulasiga qo'ysak: $S_{x_1} = \int_F (y-a)dF = \int_F ydF - \int_F adF = S_x - aF$. Demak, $S_{x_1} = S_x - aF$. Shunga o'xshash $S_{y_1} = S_y - bF$.

Endi, x_1 , y_1 larning shu o'qlarga nisbatan statik momentlari nolga teng bo'ladigan holatlarini aniqlaymiz. Buning uchun x_1 , y_1 o'qlarga nisbatan statik momentlarni nolga tenglaymiz: $S_{x_1} = S_x - aF = 0$, $S_{y_1} = S_y - bF = 0$. Bulardan $a = \frac{S_x}{F}$, $b = \frac{S_y}{F}$ ni olamiz. Agar a va b ni shaklning og'irlik markazi C ning koordinatalari deb olsak, u holda og'irlik markazining koordinatalari $y_c = \frac{S_x}{F}$, $x_c = \frac{S_y}{F}$ bo'ladi. Bu formulalar tekis shaklning og'irlik markazini koordinatalarini aniqlash formulasidir.

Agar og'irlik markazining koordinatalari ma'lum bo'lsa ularni shakl yuzasiga ko'paytirib ixtiyoriy o'qlarga nisbatan statik momentni $S_x = y_c \cdot F$, $S_y = x_c \cdot F$ formulalar yordamida aniqlash mumkin.

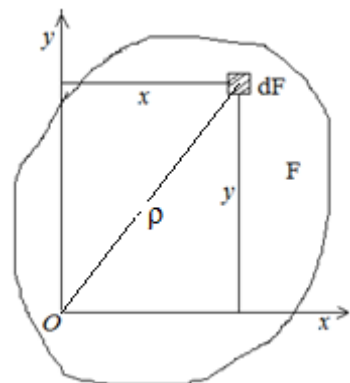
Yuqoridagi formulalar yordamida murakkab tekis shaklning og'irlik markazining koordinatasini quyidagi tartibda aniqlanadi:

1. Murakkab shaklga koordinata sistemasi bog'lanadi.
2. Murakkab shaklni sodda shakllarga bo'linadi.
3. Har bir shaklni tanlab olingan koordinata sistemasiga nisbatan og'irlik markazining koordinatalari va yuzalari aniqlanadi.
4. Har bir shaklning og'irlik markazining mos koordinatalarini sodda shakl yuzasiga ko'paytirib o'qqa nisbatan statik momentlar hisoblanadi va ularning yig'indisi olinadi.
5. Sodda shakllar yuzalari qo'shib berilgan murakkab shakl yuzasi topiladi.
6. Mos o'qqa nisbatan hisoblangan statik momentni murakkab shakl yuzasiga bo'linadi.

Yuzaning og'irlik markazidan o'tadigan o'qlarni markaziy o'qlar deb ataladi. Materiallar qarshiligida juda ko'p masalalarda markaziy o'qlarni holatini aniqlashga to'g'ri keladi. Demak ularni aniqlash uchun mos o'qlarga nisbatan yuzaning statik momentini aniqlash kerak.

Kesimning inersiya momentlari

Kesimning biror o'qqa nisbatan inersiya momenti deb, kesimdan olingan elementar yuzani o'qqacha bo'lgan masofa kvadratiga ko'paytmasidan yuza bo'yicha olingan integraliga aytiladi ya'ni: $I_x = \int_F y^2 \cdot dF, I_y = \int_F x^2 \cdot dF$.



shu

Kesimning qutb inersiya momenti deb, kesimdan olingan elementar yuzani koordinata boshigacha bo'lgan masofa kvadratiga ko'paytmasidan yuza bo'yicha olingan integraliga aytiladi ya'ni: $I_\rho = \int_F \rho^2 \cdot dF$.

Kesimning biror o'qqa nisbatan markazdan qochirma inersiya momenti deb, kesimdan olingan elementar yuzani o'qqlargacha bo'lgan masofa ko'paytmasidan yuza bo'yicha olingan integraliga aytiladi ya'ni: $I_{xy} = \int_F xy \cdot dF$.

Inersiya momentlarining o'lchov birligi sm^4 , m^4 va h.z.(uzunlikning to'rtinchi darajasi) da ifodalanadi.

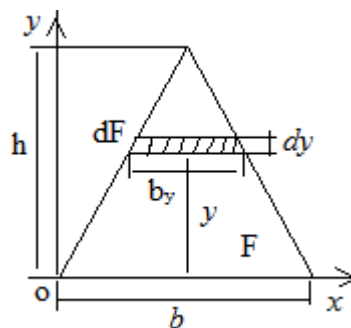
Yuqoridagi chizmadan foydalanib tekis kesimning koordinata o'qlariga nisbatan inersiya momenti bilan qutb inersiya momenti orasidagi bog'lanishni hosil qilish mumkin: $\rho^2 = x^2 + y^2$ bo'lgani uchun

$$I_\rho = \int_F \rho^2 \cdot dF = \int_F (x^2 + y^2) \cdot dF = \int_F x^2 \cdot dF + \int_F y^2 \cdot dF = I_y + I_x.$$

Demak, $I_\rho = I_x + I_y$ ya'ni qutb inersiya momenti koordinata o'qlariga nisbatan inersiya momentlarining yig'indisiga teng.

Sodda shakllarning inersiya momentlari

Sodda shakllar uchburchak, to'rtburchak, doira halqalardir. Ularning o'qqa nisbatan inersiya



va

momentlarini aniqlaymiz. Uchburchakni o'qqa nisbatan inersiya momentini aniqlash uchun balandligi h va asosi b ga teng bo'lgan ixtiyoriy uchburchak olib uning tomonidan o'tadigan koordinata sistemasini bog'laymiz. Asosidan y balandlikda elementar dF yuzacha olamiz va uni y ning kvadratiga ko'paytirib integrallaymiz ya'ni $I_x = \int_F y^2 \cdot dF$. Rasmdan $dF = b_y \cdot dy$ bo'lgani uchun uchburchakning mos

tomonlarini nisbatlarini tuzib b_y ni aniqlaymiz. $\frac{b_y}{b} = \frac{h-y}{h} \Rightarrow b_y = \frac{b}{h}(h-y)$ bo'ladi. U

holda $dF = \frac{b}{h}(h-y) \cdot dy$ bo'ladi va inersiya momenti

$$I_x = \int_F y^2 \cdot dF = \int_0^h y^2 \cdot \frac{b}{h}(h-y) dy = \int_0^h y^2 \cdot b dy - \int_0^h y^3 \cdot \frac{b}{h} dy = \frac{y^3 b}{3} \Big|_0^h - \frac{y^4 b}{4h} \Big|_0^h = \frac{h^3 b}{3} - \frac{h^3 b}{4} = \frac{h^3 b}{12} \quad \text{ga}$$

teng. Demak, uchburchakni x o'qiga nisbatan inersiya momenti $I_x = \frac{h^3 b}{12}$ formula

yordamida aniqlanadi. Xuddi shunga o'xshash y o'qiga nisbatan inersiya momenti

$$I_y = \frac{hb^3}{12} \quad \text{formula yordamida aniqlanadi.}$$

To'g'ri to'rtburchakni tomonidan o'tadigan o'qlarga nisbatan inersiya momentini aniqlash uchun tomonlari b va h bo'lgan to'g'ri to'rtburchakni olamiz. Undan x o'qidan y masofa yuqoridan elementar yuzacha dF ni ajratamiz va x o'qiga nisbatan inersiya momentini aniqlaymiz.

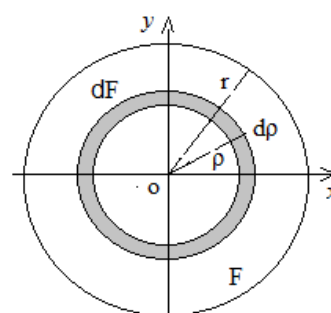
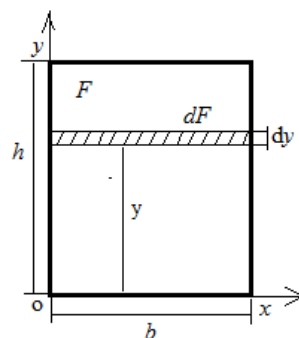
Elementar yuzacha $dF = b \cdot dy$. U holda ta'rif bo'yicha x o'qiga nisbatan inersiya momenti

$$I_x = \int_F y^2 \cdot dF = \int_0^h y^2 \cdot b \cdot dy = \frac{y^3 \cdot b}{3} \Big|_0^h = \frac{h^3 \cdot b}{3} \quad \text{ga teng. Demak,}$$

to'g'ri to'rtburchakning tomonidan o'tadigan o'qqa nisbatan inersiya momenti $I_x = \frac{h^3 \cdot b}{3}$. Shunga o'xshash

$$I_y = \frac{h \cdot b^3}{3}.$$

Agar koordinata o'qlari to'g'ri to'rtburchakning og'irlik markazidan o'tsa



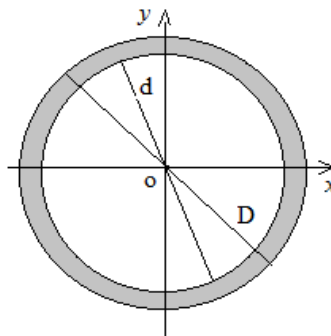
yuqoridagi integralda integrallash chegarasi $-h/2$ dan $h/2$ gacha olinadi ya'ni

$$I_x = \frac{y^3 \cdot b}{3} \Big|_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} = \frac{h^3 \cdot b}{2^3 \cdot 3} - \left(-\frac{h^3 \cdot b}{2^3 \cdot 3}\right) = \frac{h^3 \cdot b}{12} \text{ ga teng bo'ladi. Demak, to'g'ri to'rtburchakning}$$

og'irlik markazidan o'tadigan o'qqa nisbatan inersiya momenti $I_x = \frac{h^3 \cdot b}{12}$. Shunga

$$\text{o'xshash } I_y = \frac{h \cdot b^3}{12}.$$

Doiraning inersiya momentini aniqlashda doira markaziy o'qlarga nisbatan simmetrik bo'lgani uchun dastlab qutb inersiya momentini aniqlab so'ngra o'qlarga nisbatan inersiya momentini aniqlash osonroq. Shuning uchun doirani qutb inersiya momentini aniqlaymiz. Buning uchun doiradan qalinligi $d\rho$ ga teng bo'lgan elementar dF yuzachani ajratamiz va ta'rifdan foydalanib qutb inersiya momentini aniqlaymiz. Rasmdan $dF=2\pi\rho d\rho$ bo'lgani uchun qutb inersiya momenti



$$I_\rho = \int_F \rho^2 dF = \int_0^r \rho^2 \cdot 2\pi\rho d\rho = 2\pi \frac{\rho^4}{4} \Big|_0^r = \frac{\pi r^4}{2} \text{ ga teng}$$

bo'ladi. Demak $I_\rho = \frac{\pi r^4}{2}$. Agar doirani radiusni uning diametri yordamida ifodalasak

$r=d/2$ bo'lgani uchun $I_\rho = \frac{\pi d^4}{32}$ bo'ladi. Doirani o'qqa nisbatan inersiya momentini

aniqlash uchun qutb va o'qqa nisbatan inersiya momentlari orasidagi bog'lanishdan foydalanamiz. Markaziy o'qlar simmetriya o'qlari bo'lgani uchun x va y o'qqa nisbatan inersiya momentlari o'zaro teng $I_x = I_y$ bo'ladi. Shuning uchun

$$I_\rho = I_x + I_y = 2I_x = 2I_y. \text{ Bundan } I_x = I_y = \frac{I_\rho}{2} \text{ bo'ladi. } I_\rho \text{ ni aniqlash formulasini}$$

$$\text{qo'ysak } I_x = I_y = \frac{\pi d^4}{64} \text{ bo'ladi.}$$

Halqaning qutb va o'qqa nisbatan inersiya momentlarini aniqlashda katta va kichik doira inersiya momentlarini ayirishdan foydalanamiz, ya'ni katta doira diametrini D , kichik doira diametrini d bilan belgilasak u holda halqaning qutb va

o'qqa nisbatan inersiya momentlari

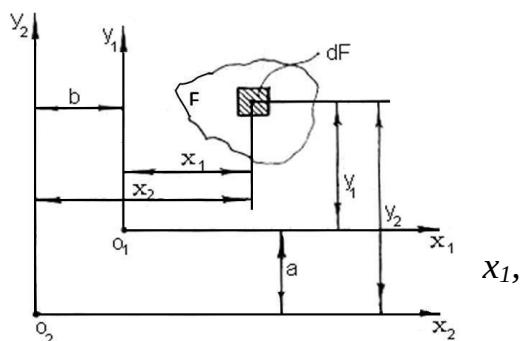
$$I_p = \frac{\pi D^4}{32} - \frac{\pi d^4}{32} = \frac{\pi}{32} (D^4 - d^4) = \frac{\pi D^4}{32} (1 - (\frac{d}{D})^4) = \frac{\pi D^4}{32} (1 - c^4) \text{ bo'ladi. Bu erda } c = \frac{d}{D} \text{ deb}$$

belgilandi. O'qlarga nisbatan inersiya momenti $I_x = I_y = \frac{\pi D^4}{64} (1 - c^4)$ formula yordamida aniqlanadi.

Koordinata o'qlarini parallel ko'chirganda inersiya momentlarini o'zgarishi

Bizga F yuzaga ega bo'lgan tekis kesimning x_1, y_1 o'qlarga nisbatan $I_{x_1}, I_{y_1}, I_{x_1 y_1}$ inersiya momentlari ma'lum bo'lsin.

Ushbu kesimning inersiya momentlarini y_1 o'qlariga parallel bo'lgan «yangi» x_2, y_2 o'qlarga nisbatan topish talab qilinsin.



$$\text{Bu yerda } y_2 = y_1 + a, \quad x_2 = x_1 + b,$$

bo'lib, «yangi» koordinata sistemasiga nisbatan inersiya momentlar quyidagicha bo'ladi:

$$\begin{aligned} I_{x_2} &= \int_F y_2^2 dF = \int_F (y_1 + a)^2 dF = \int_F (y_1^2 + 2ay_1 + a^2) dF = \\ &= \int_F y_1^2 dF + 2a \int_F y_1 dF + a^2 \int_F dF; \end{aligned}$$

Bu yerda

$$\int_F y_1^2 dF = I_{x_1}, \quad \int_F y_1 dF = S_{x_1}, \quad \int_F dF = F$$

$$\text{bo'lgani uchun } I_{x_2} = I_{x_1} + 2aS_{x_1} + a^2F$$

Xuddi shu usulda I_{y_2} ni topamiz:

$$I_{y_2} = I_{y_1} + 2bS_{y_1} + b^2F$$

Markazdan qochma inersiya moment esa

$$I_{x_2 y_2} = \int_F x_2 y_2 dF = \int_F (y_1 + a)(x_1 + b) dF = \int_F (x_1 y_1 + ax_1 + by_1 + ab) dF =$$

$$= \int_F x_1 y_1 dF + a \int_F x_1 dF + b \int_F y_1 dF + ab \int_F dF$$

Bu yerda $\int_F x_1 y_1 dF = I_{x_1 y_1}$, $\int_F x_1 dF = S_{y_1}$, $\int_F y_1 dF = S_{x_1}$, $\int_F dF = F$

bo'lgani uchun $I_{x_2 y_2} = I_{x_1 y_1} + aS_{y_1} + bS_{x_1} + abF$.

Agarda x_1, y_1 o'qlari markaziy x_c, y_c o'qlardan iborat bo'lsa, u holda ushbu o'qlarga nisbatan statik momentlar nolga teng ($S_{x_1} = 0, S_{y_1} = 0$) bo'lgani uchun inersiya momentni aniqlash formulalari quyidagi ko'rinishga keladi:

$$\left. \begin{aligned} I_{x_2} &= I_{x_c} + a^2 F \\ I_{y_2} &= I_{y_c} + b^2 F \\ I_{x_2 y_2} &= I_{x_c y_c} + abF \end{aligned} \right\}$$

Ushbu formulalar amaliy hisoblash ishlarida keng qo'llaniladi.

Agarda kesimning markaziy o'qlarga nisbatan inersiya momentlari ma'lum bo'lsa, u holda yuqoridagi formulalar yordamida bu o'qlarga parallel bo'lgan ixtiyoriy o'qlarga nisbatan tekis kesimning inersiya momentlarini topish mumkin.

Koordinata o'qlari burilganda

inersiya momentlarining o'zgarishi

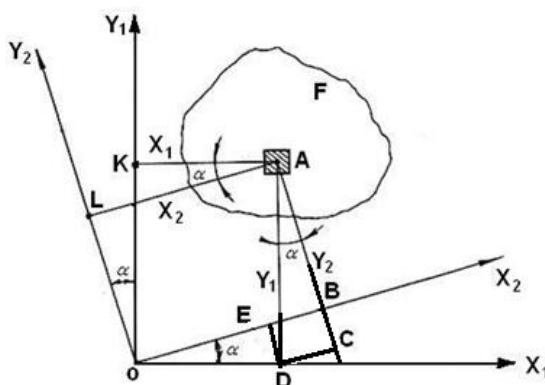
Bizga F yuzaga ega bo'lgan tekis kesimning x_1, y_1 sanoq sistemasida

$I_{x_1}, I_{y_1}, I_{x_1 y_1}$ inersiya momentlari ma'lum bo'lsin.

Ushbu kesimning shu koordinata

boshi atrofida oldingi o'qlarga nisbatan α burchakka burishdan hosil bo'lgan x_2, y_2

o'qlarga nisbatan $I_{x_2}, I_{y_2}, I_{x_2 y_2}$ inersiya momentlarini topish talab



qilinsin. Rasmdan elementar yuzacha dF ning koordinatalarini «yangi» x_2, y_2 koordinata sistemasida « x_1, y_1 » va « α » burchak orqali aniqlaymiz.

$AK = x_1, AD = y_1, AL = x_2, AB = y_2, OB = AL = x_2, OL = AB = y_2$. Geometrik munosabatlardan quyidagilarni yozishimiz mumkin. Bu yerda ACD va OED to'g'ri burchakli uchburchaklar, BCDE to'g'ri burchakli to'rtburchak bo'lib, $\angle E = \angle B = \angle C = \angle D = 90^\circ$ dir.

$$y_2 = AB = AC - BC = AC - ED = y_1 \cos \alpha - x_1 \sin \alpha$$

$$\text{Shunga asosan: } x_2 = OE + EB = OE + DC = y_1 \sin \alpha + x_1 \cos \alpha$$

Berilgan α burchakning musbat yo'nalishi deb, x_2, y_2 o'qlarini x_1, y_1 bilan ustma-ust tushishi uchun soat strelkasi yo'nalishi bo'yicha aylantirilishini qabul qilamiz. Ko'rinib turibdiki, bu holda elementar yuzachaning koordinatalari o'zgaryapti demak, inersiya momentlari ham o'zgaradi.

Tekis F kesimning x_2, y_2 koordinatalar sistemasidagi inersiya momentlarini ta'rifdan foydalanib, topsak u quyidagicha bo'ladi:

$$I_{x_2} = \int_F y_2^2 dF = \int_F (y_1 \cos \alpha - x_1 \sin \alpha)^2 dF,$$

$$I_{y_2} = \int_F x_2^2 dF = \int_F (y_1 \sin \alpha + x_1 \cos \alpha)^2 dF,$$

$$I_{x_2 y_2} = \int_F x_2 y_2 dF = \int_F (y_1 \cos \alpha - x_1 \sin \alpha)(y_1 \sin \alpha + x_1 \cos \alpha) dF$$

Ushbu ifodalarni soddalashtirib, quyidagilarni hosil qilamiz:

$$I_{x_2} = I_{x_1} \cos^2 \alpha + I_{y_1} \sin^2 \alpha - I_{x_1 y_1} \sin 2\alpha$$

$$I_{y_2} = I_{y_1} \cos^2 \alpha + I_{x_1} \sin^2 \alpha + I_{x_1 y_1} \sin 2\alpha$$

$$I_{x_2 y_2} = \frac{(I_{x_1} - I_{y_1})}{2} \sin 2\alpha + I_{x_1 y_1} \cos 2\alpha$$

Bu formulalar tekis kesimlarning buralgan o'qlarga nisbatan inersiya momentlarini topishda keng qo'llaniladi.

Bosh inersiya o'qlari va bosh inersiya momentlari

Yuqorida yozilgan formulalarni birinchi ikkitasini xadlab qo'shsak quyidagini hosil qilamiz:

$$I_{x_2} + I_{y_2} = I_{x_1} (\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha) + I_{y_1} (\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha)$$

yoki

$$I_{x_2} + I_{y_2} = I_{x_1} + I_{y_1} = I_{\rho}$$

bo'lib, o'qlarga nisbatan inersiya momentlar yig'indisi α burchakka bog'liq bo'lmay, u o'zgarmasdan qolar ekan. Ammo ularning har biri alohida o'zgarishi mumkin. Bundan quyidagicha xulosa qilish mumkin: o'qlarni α burchakka burib shunday holatni aniqlash mumkinki, unda o'qqa nisbatan inersiya momentlaridan biri eng katta, ikkinchisi esa eng kichik qiymatga ega bo'ladi. Bu inersiya momentlar bosh inersiya momentlar deyilib, ular aniqlangan o'qlar esa bosh inersiya o'qlari deb ataladi. Agar bosh o'qlar tekis kesimning og'irlik markazi orqali o'tsa, u holda inersiya momentlar – bosh markaziy inersiya momentlar, o'qlar esa bosh markaziy o'qlar deyiladi.

Bosh o'qlarning holatini, ya'ni x_2, y_2 o'qlari bosh o'qlar bilan ustma-ust tushadigan α_0 burchakni aniqlash uchun o'qqa nisbatan inersiya momentini aniqlash formulalaridan birortasini α burchak funksiyasi deb qarab, birinchi tartibli hosilasini olsak, u holda

$$\begin{aligned} \frac{dI_{x_2}}{d\alpha} &= \frac{d}{d\alpha} (I_{x_1} \cos^2 \alpha + I_{y_1} \sin^2 \alpha - I_{x_1 y_1} \sin 2\alpha) = -I_{x_1} 2 \sin \alpha \cos \alpha + \\ &+ I_{y_1} 2 \sin \alpha \cos \alpha - I_{x_1 y_1} 2 \cos 2\alpha = (I_{x_1} - I_{y_1}) \sin 2\alpha - 2 \cdot I_{x_1 y_1} \cos 2\alpha \end{aligned}$$

hosil bo'ladi.

Bu ifodalarni soddalashtirib, uning qiymatini nolga tenglasak

$$\frac{I_{x_1} - I_{y_1}}{2} \sin 2\alpha + I_{x_1 y_1} \cos 2\alpha = 0 \quad \text{bo'ladi.}$$

Bu formulani markazdan qochma inersiya momentini aniqlash formulasi bilan $\alpha = \alpha_0$ bo'lganda solishtirsak

$$\left(\frac{dI_{x_1}}{d\alpha} \right)_{\alpha=\alpha_0} = -(-2I_{x_1 y_1})_{\alpha=\alpha_0} = 0$$

bo'lib,

$$(I_{x_1 y_1})_{\alpha=\alpha_0} = 0 \quad \text{kelib chiqadi.}$$

Bundan ko'rinadiki, bosh o'qlarga nisbatan markazdan qochma inersiya moment nolga teng bo'lib, aksincha markazdan qochma inersiya moment nolga teng bo'lgan o'qlar bosh inersiya o'qlari bo'lar ekan.

Demak, ixtiyoriy ikkita o'zaro tik o'qlardan biri kesimning simmetriya o'qi bo'lsa, y o'q bosh o'qlardan biri bo'lib, kesimning og'irlik markazi orqali o'tuvchi simmetriya o'qi esa bosh markaziy o'q bo'ladi.

Endi oxirgi olingan tenglamadan α_0 burchakni topsak u

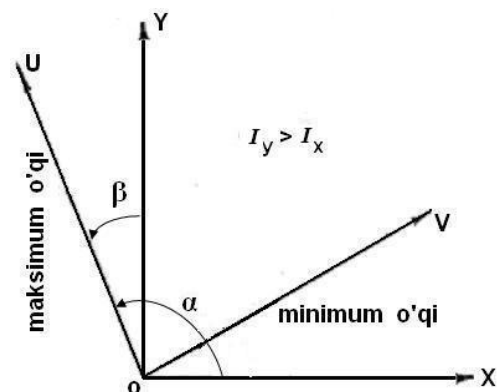
$$\operatorname{tg} 2\alpha_0 = -\frac{2I_{x_1 y_1}}{I_{x_1} - I_{y_1}} \quad \text{bo'ladi.}$$

Bu yerda α_0 , x_1 , y_1 o'qlarini bosh o'qlar bilan ustma-ust tushishi uchun burish kerak bo'lgan burchakni ifodalaydi. Kelgusida α ni α_0 orqali belgilaymiz. Agar α_0 burchak musbat bo'lsa, u holda $x_1 y_1$ o'qlarini soat strelkasiga qarshi yo'nalishda burish kerak bo'ladi.

Bosh inersiya o'qlarining biri maksimum o'qi (unga nisbatan olingan inersiya momentning qiymati eng katta bo'ladi), ikkinchisi esa minimum (unga nisbatan olingan inersiya momentning qiymati eng kichik bo'ladi) o'qidir.

Maksimum o'qi doimo (x_1 yoki y_1) o'qqa nisbatan olingan inersiya momentlarning katta qiymati bilan kichik burchak tashkil etadi. Ushbu holat bosh inersiya o'qlaridan qaysi biri maksimum, qaysinisi minimum ekanligini aniqlashga yordam beradi.

Masalan, agar $I_y > I_x$ bo'lib, U va V bosh inersiya o'qlari bo'lsa, u holda U o'qi



maksimum o'qi V o'qi esa – minimum o'qi bo'ladi (chunki «y» bilan «U» orasidagi burchak β , «x» bilan «U» orasidagi α burchakdan kichik).

Bosh inersiya momentlarining qiymatlarini, (ya'ni inersiya momentlarining eng katta va eng kichik qiymatlarini) topish uchun α burchakka nisbatan o'qqa nisbatan inersiya momentlarini aniqlash formulalaridan birinchi tartibli hosila olib uni nolga tenglaymiz:

$$\frac{dI_{x_2}}{d\alpha} = 0; \quad \frac{dI_{y_2}}{d\alpha} = 0.$$

Olingan natijadan α burchakni yo'qotsak, u holda I_{max} va I_{min} qiymatlarini topish uchun quyidagi formula hosil bo'ladi.

$$I_{\frac{max}{min}} = I_{U/V} = \frac{I_x + I_y}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(I_x - I_y)^2 + 4I_{xy}^2}$$

Bu yerda (+) ishora olinsa I_{max} , (–) ishora olinsa I_{min} topiladi.

Tekis kesim tekisligining ixtiyoriy nuqtasidan unga mos ravishda bosh inersiya o'qlarini o'tkazish mumkin. Ammo konstruksiya elementlarini hisoblashda faqat kesim og'irlik markazidan o'tuvchi bosh o'qlar, ya'ni bosh markaziy inersiya o'qlari amaliy ahamiyatga ega bo'ladi. Shuning uchun kelgusida bosh markaziy inersiya momentlarni I_{max} va I_{min} orqali ifodalaymiz.

Bosh inersiya momentlariga tegishli bo'lgan bir nechta xususiy hollarni ko'ramiz.

1. Agar $I_x = I_y$ va $I_{yx} = 0$ bo'lsa, u holda koordinata sistemasini ixtiyoriy burish orqali hosil bo'lgan o'qlar bosh inersiya o'qlari bo'lib, bu holda

$$I_x = I_y = I_{max} = I_{min} = \text{const} \quad \text{bo'ladi.}$$

2. Ikkitadan ortiq simmetriya o'qiga ega bo'lgan kesimlar uchun markaziy o'qlarga nisbatan olingan inersiya momentlar o'zaro teng bo'ladi.

Bunday kesimlarga teng tomonli uchburchak, kvadrat, ixtiyoriy muntazam ko'pburchak, doira va boshqa tekis kesimlar misol bo'lishi mumkin.

3. Agar

$I_x = I_y$ va $I_{xy} \neq 0$ bo'lsa, u holda

$\operatorname{tg} 2\alpha = \infty$; $\alpha = 45^\circ$ ga teng bo'ladi.

Bu holda bosh o'qlar inersiya momentlari aniqlangan xy o'qlariga nisbatan 45° burilgan bo'ladi.

Murakkab tekis kesimlar bosh markaziy o'qlarining holatini va bosh markaziy inersiya momentlarini aniqlash

Aksariyat hollarda tekis kesimlarning geometrik xarakteristikalarini aniqlashda bosh markaziy o'qlarning holatini va bosh markaziy inersiya momentlar qiymatlarini topish hisoblashning asosiy maqsadlaridan biri bo'ladi. «Sodda» kesimlar uchun ushbu ma'lumotlarning qiymatlari yuqorida keltirilgan formulalar yordamida topiladi. Standart po'latli prokat profillar uchun inersiya momentlarining qiymatlari sortament jadvallarida (ilovada) keltirilgan bo'ladi.

Sodda shakllar yig'indisidan iborat bo'lgan murakkab kesim uchun ushbu xarakteristikalarini quyidagicha aniqlash maqsadga muvofiq:

1. Murakkab tekis kesimlarning geometrik xarakteristikalarini aniqlash uchun ularni oldindan ma'lum bo'lgan formulalar, qonuniyatlar yoki jadvaldan aniqlash mumkin bo'lgan bir nechta sodda bo'laklarga ajratiladi. Murakkab kesimni sodda bo'laklarga ajratish usuli yakuniy natijaga ta'sir etmaydi.

2. Murakkab kesim og'irlik markazining holati aniqlanib, bu nuqtadan ixtiyoriy x_c, y_c markaziy o'qlarni o'tkazamiz. Bu x_c, y_c o'qlar murakkab kesim uchun bosh o'qlar bo'lmaydi, lekin bu o'qlar murakkab kesimni tashkil etuvchi sodda kesimlarning bosh markaziy o'qlarining ko'pchiligiga parallel bo'lishi kerak.

3. Tanlab olingan x_c, y_c markaziy o'qlarga nisbatan sodda kesimlarning, keyin murakkab kesimning inersiya momentlarini $I_{x_c}, I_{y_c}, I_{x_c y_c}$ shu sodda kesimlar inersiya momentlarining yig'indisi sifatida topamiz.

4. Murakkab kesim uchun markaziy inersiya momentlarining qiymatlari $I_{x_c}, I_{y_c}, I_{x_c y_c}$ va x_c, y_c o'qlarni U, V deb belgilanuvchi bosh markaziy o'qlar bilan ustma-ust tushishi uchun burish kerak bo'lgan burchak, ya'ni α_0 ning qiymatini aniqlaymiz. (Shuni esda tutish lozimki, α_0 burchakning musbat qiymatlarida x_c, y_c

o'qlarni U , V o'qlar bilan ustma-ust tushirish uchun soat strelkasiga teskari yo'nalishda burish kerak.

5. Murakkab kesim uchun bosh markaziy inersiya momentlarning $I_{max./min.}$ yoki $I_{U/V}$ qiymatlarini aniqlaymiz.

Nazorat savollari:

1. Tekis kesimlarning geometrik xarakteristikalarini nima uchun aniqlanadi?
 2. Kesim yuzasining o'qqa nisbatan statik momentlari nimaga teng bo'ladi?
 3. Statik momentlarning o'lchov birligini ayting.
 4. Kesimning og'irlik markazidan o'tuvchi o'qqa nisbatan statik momentlar nimaga teng bo'ladi?
 5. Kesim murakkab shaklli bo'lsa uning og'irlik markazining holatini aniqlash formulalarini yozing?
 6. O'qqa nisbatan inersiya momentlar qanday aniqlanadi?
 7. Markazdan qochma inersiya moment qanday aniqlanadi?
 8. Qutb inersiya moment qanday aniqlanadi?
 9. Inersiya momentlarning o'lchov birligini ayting.
 10. To'g'ri to'rtburchakning markaziy o'qlariga nisbatan inersiya momentlari qanday aniqlanadi?
 11. Doiraning markaziy o'qlariga nisbatan inersiya momentlari qanday aniqlanadi?
 12. O'qlarga nisbatan aniqlangan inersiya momentlar bilan qutb inersiya momenti orasida qanday bog'lanish mavjud?
 13. Qanday o'qlar markaziy o'qlar deyiladi?
 14. O'qlaridan biri simmetriya o'qi bo'lgan o'qlarga nisbatan markazdan qochma inersiya moment nimaga teng bo'ladi?
 15. O'qlar parallel ko'chirilganda inersiya momentlar qanday o'zgaradi?
 16. Qaysi parallel o'qqa nisbatan inersiya moment eng kichik qiymatga erishadi?
 17. Qanday o'qlar bosh o'qlar deb ataladi?
 18. Bosh inersiya momentlari deb nimaga aytiladi?
 19. Bosh o'qlarga nisbatan markazdan qochma inersiya moment nimaga teng bo'ladi?
 20. Bosh markaziy inersiya o'qlari deb nimaga aytiladi?
 21. Bosh markaziy inersiya moment deb nimaga aytiladi?
 22. Bitta simmetriya o'qiga ega bo'lgan kesimda bosh markaziy o'qlarning holati qanday aniqlanadi?
- Ikkita simmetriya o'qiga ega bo'lsa, kesimda bosh markaziy o'qlarning holati qanday aniqlanadi?

13-mavzu: Ichki kuchlarni aniqlash. Kesish usuli. Ichki kuchlar. Kuchlanishlar. Normal, urinma va to'la kuchlanishlar. Oddiy deformatsiya turlari. Cho'zilish yoki siqilishda kuchlanish va deformatsiya. Ko'ndalang deformatsiya.

Reja:

1. Cho'zilish va siqilish deformatsiyasi.
2. To'g'ri brusni cho'zilish (siqilish)ida kuchlanish va deformatsiyani aniqlash.
3. Guk qonuni. Brusning ko'ndalang deformatsiyasi. Puasson koeffitsienti.

Tayanch so'z va iboralar:

Kuchlanish, cho'zilish deformatsiyasi, siqilish deformatsiyasi, Puasson koeffitsienti, kesish usuli, bo'ylama kuch, ko'ndalang kuch, eguvchi moment, burovchi moment, normal kuchlanish, urinma kuchlanish, ruxsat etilgan normal kuchlanish, ruxsat etilgan urinma kuchlanish, mustahkamlik sharti.

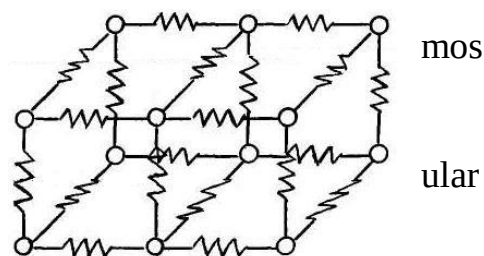
Konstruksiya qo'yilgan tashqi kuchlar ta'sirida tayanch nuqtalarida reaktiv kuchlar (tayanch reaksiya kuchlari) hosil bo'ladi. Tashqi va reaktiv kuchlar ta'sirida konstruksiya muvozanatda turadi, ya'ni bu holda statikaning muvozanat tenglamalari o'rinli bo'ladi. Ikkinchi tomondan sistema tashqi kuchlar ta'sirida muvozanatda ekanligi ma'lum bo'lsa, statika tenglamalarini qo'llab noma'lum tayanch reaksiya kuchlarini aniqlash mumkin. Bu holda shuni e'tiborga olish lozimki, tayanchlardagi noma'lum reaksiya kuchlarining soni statika tenglamalari sonidan ortiq bo'lsa, masala statik noaniq bo'lib, konstruksiya esa statik noaniq sistema bo'lishi mumkin. Ushbu sistemalarda tayanch reaksiyalarini topish uchun maxsus usullardan foydalaniladi.

Ba'zi hollarda tashqi kuchlarni aktiv kuchlar, bog'lanish reaksiya kuchlarini reaktiv kuchlar deb ataladi. Aktiv va reaktiv kuchlari birgalikda tashqi kuchlar deb ataladi.

Tashqi kuchlar ta'sirida (agar inshoot konstruksiyasi buzilmasa) inshoot qismlari deformatsiyalanadi. Bu hol inshootning deformatsiyalanish jarayonida unga qarshilik ko'rsatuvchi ichki kuchlarning paydo bo'lganligini anglatadi.

Ichki kuchlarning hosil bo'lishini ko'z oldimizga keltirishimiz uchun jismni prujinalar yordamida tutashtirilgan alohida-alohida zarrachalar to'plamidan iborat deb qarashimiz kerak bo'ladi.

Zarrachalar orasidagi boshlang'ich masofa o'zgarmasa, ya'ni tashqi kuchlar ta'sir etmaganda, ravishda deformatsiya va prujinalardagi zo'riqish nolga teng bo'ladi. Sistemaga tashqi kuchlar ta'sir etganda zarrachalar orasidagi masofalar o'zgaradi, orasidagi bog'lanish vazifasini o'tovchi prujinalar cho'ziladi yoki siqiladi, bu hol sistemaning



deformatsiyalanish jarayoniga ko'rsatayotgan qarshiligini bildiradi. Shuni ta'kidlash lozimki, ushbu qurilgan model tutash muhit gipotezasiga (jismni yaxlit butunligiga) mos kelmaydi, biroq holatni tushuntirishga qulaydir. Ta'sir etayotgan kuchni ko'paytirish yoki kamaytirish natijasida prujinaning uzunligi proporsional ravishda o'zgaradi. Ushbu holat R.Gukga 1660 yilda materiallar qarshiligi, elastiklik nazariyasi fanlari uchun asos bo'lgan quyidagi qonunni bayon qilishga olib keldi:

«Kuch qanday bo'lsa, cho'zilish ham shu kabidir». Ushbu tasdiq keyinchalik Guk qonuni deb aytila boshlandi.

Ma'lum chegaragacha cho'zilgan yoki siqilgan prujinalar, kuch olinishi bilan o'zining boshlang'ich holatiga qaytadi va bu hol ko'p marta qaytarilishi mumkin. Bu holda material elastiklik bosqichida ishlamoqda yoki «Guk qonuniga bo'ysunmoqda» deyiladi. Agar prujina ma'lum bir qiymatdan ortiq cho'zilsa yoki siqilsa, kuch ta'siri to'xtatilgandan so'ng boshlang'ich holatga qaytmaydi, balki «qoldiq» cho'zilish (siqilish) deb ataluvchi masofaga farq qiladi. Ushbu holatda prujina materiali elastiklik bosqichidan tashqarida (Guk qonuni ta'sir doirasidan tashqarida) ishlamoqda deyiladi. Deformatsiyaning juda katta qiymatlarida modeldagi prujina uziladi, bu hol materialning buzilishini, ya'ni mustahkamligi yetmaganligini anglatadi.

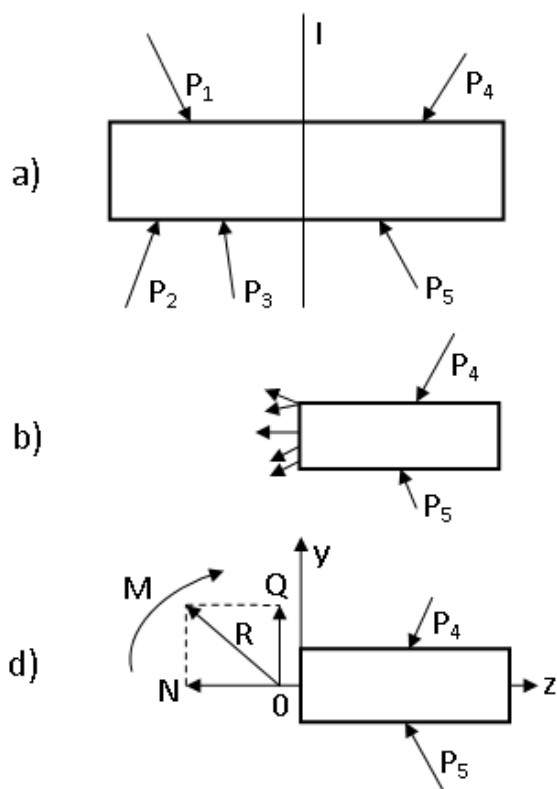
Kesish usuli. Tekis kuchlar sistemasi ta'sirida hosil bo'ladigan ichki kuchlar. Sterjenning u yoki bu kesimida hosil bo'luvchi ichki kuchlarning miqdorini aniqlash uchun qurilish mexanikasining kesish usuli qo'llaniladi, ushbu usul «K. T. A. M.» usuli deb ataladi. Ushbu nom ichki kuchlarni topish uchun bajarilayotgan amallarning bosh harflari qisqartmasidan iborat va quyidagicha o'qiladi: Kesamiz; Tashlab yuboramiz yoki qoldiramiz; Almashtiramiz; Muvozanatini «tekshiramiz».

Faraz qilaylik, sterjen shaklidagi jism bir tekislikda yotuvchi $P_1, P_2 \dots P_n$ kuchlar sistemasi ta'sirida muvozanatda bo'lsin (a-rasm).

Bir tekislikda yotuvchi tashqi kuchlar sistemasi deganda shakl tekisligida yotuvchi barcha kuchlarni tushunamiz.

Ichki kuchlarni aniqlash uchun sterjen o'qiga perpendikulyar bo'lgan $I-I$ kesim o'tkazib, sterjenni ikki bo'lakka ajratamiz. Sterjenning chap yoki o'ng qismini tashlab yuborib, tashlab yuborilgan qismi ta'sirini ichki kuchlar sistemasi orqali almashtiramiz (b-rasm). Odatda sterjenning tashqi kuchlar ko'proq qo'yilgan qismi tashlab yuboriladi. Kesilgan kesimda hosil bo'lgan ichki kuchlar, ko'ndalang kesim tekisligi bo'ylab ixtiyoriy ravishda yo'nalgan bo'ladi. Bu ixtiyoriy kuchlarning soni cheksiz ko'p bo'lganligi uchun ular bilan ishlash ko'p noqulayliklarni tug'diradi. Shuni e'tiborga olib bu kuchlar

sistemasini nazariy mexanika fanidan ma'lum bo'lgan, bosh vektor R va bosh moment M ga keltiriladi (d-rasm). Bu bosh vektor R va bosh moment M lar kesimning og'irlik markaziga (O nuqtaga) qo'yiladi. Bosh vektor R ni sterjen o'qi bo'ylab yo'nalgan bo'ylama N va unga tik yo'nalgan ko'ndalang Q tashkil



etuvchilarga ajratamiz. (ya'ni z va y o'qlariga proeksiyalarini olamiz). Hozircha M ni tashkil etuvchilarga ajratmasdan, faqat R ni ajratdik. Bo'ylama tashkil etuvchi N ni – bo'ylama ichki kuch, ko'ndalang tashkil etuvchi Q ni ko'ndalang ichki kuch deb ataymiz.

Shunday qilib, bir tekislikda yotuvchi tashqi kuchlar ta'siridan umumiy holda uchta ichki kuch M , Q , N lar paydo bo'ladi.

Sterjenning qoldirilgan qismi, unga ta'sir qilayotgan tashqi kuchlar va 1–1 kesimga qo'yilgan ichki kuchlar ta'sirida muvozanatda bo'ladi. Statikaning muvozanat tenglamalariga asosan yozishimiz mumkin:

$$\sum X_k = 0; \quad \sum Y_k = 0; \quad \sum Z_k = 0; \quad \sum M_{0k} = 0$$

Ushbu tenglamalarni tuzib $I-I$ kesimda hosil bo'lgan ichki kuchlarni topamiz:

$$\begin{aligned} \sum Z_k &= N + \sum P_z^* = 0, & N &= -\sum P_z^*, \\ \sum Y_k &= Q + \sum P_y^* = 0, & Q &= -\sum P_y^*, \\ \sum M_{0k} &= M + \sum M_0(P^*) = 0, & M &= -\sum M_0(P^*). \end{aligned}$$

Bu yerda,

$\sum P_z^*$ – sterjenning qoldirilgan qismiga ta'sir etuvchi barcha tashqi kuchlarning bo'ylama o'qdagi proeksiyalari yig'indisi;

$\sum P_y^*$ – sterjenning qoldirilgan qismiga ta'sir etuvchi barcha tashqi kuchlarning ko'ndalang o'qdagi proeksiyalari yig'indisi;

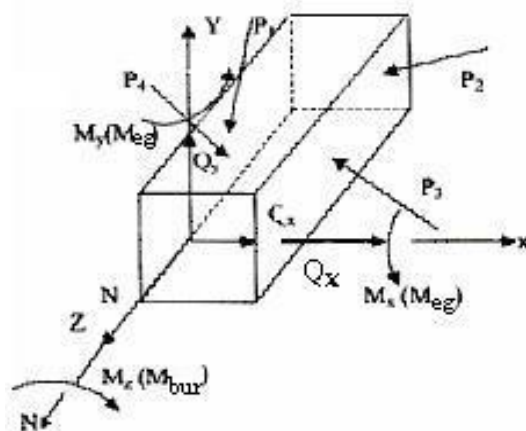
$\sum M_0(P^*)$ – sterjenning qoldirilgan qismiga ta'sir etuvchi barcha tashqi kuchlardan kesim og'irlik markaziga nisbatan olingan momentlar yig'indisi.

Bu ifodadagi (–) ishora sterjenning ko'rilayotgan qismiga ta'sir etayotgan ichki kuchlar vektorining yo'nalishi, tashqi kuchlar vektori yo'nalishiga qarama-qarshi ekanligini bildiradi.

Shunday qilib, bo'ylama ichki kuchlar N va ko'ndalang ichki kuchlar Q mos ravishda sterjenning qoldirilgan qismiga ta'sir etuvchi tashqi kuchlarning bo'ylama va ko'ndalang o'qlardagi proeksiyalari yig'indisiga teng ekan. Ichki kuchlar momenti M esa sterjen qoldirilgan qismi kesimining og'irlik markaziga nisbatan tashqi kuchlardan olingan momentlari yig'indisiga teng bo'ladi.

Fazoviy kuchlar ta'sirida hosil

bo'ladigan ichki kuchlar. Agarda sterjenga fazoviy tashqi kuchlar sistemasi ta'sir etsa, u holda sterjen kesimida oltita ichki kuchning tashkil etuvchilari (komponentalari) N , Q_x , Q_y , M_x , M_y , M_z hosil bo'ladi. Bu yerdagi N – bo'ylama kuch, Q_x , Q_y – lar esa ko'ndalang yoki kesuvchi kuchlar, M_z – burovchi moment (odatda u M_{bur} ko'rinishda belgilanadi), M_y – eguvchi momentlar deyiladi.



M_x ,

Agar tashqi kuchlar ta'sirida sterjen ko'ndalang kesimida faqat bitta ichki kuch paydo bo'lsa, u holda oddiy qarshilik, agar ikki va undan ortiq (noldan farqli) ichki kuchlar paydo bo'lsa murakkab qarshilik hosil bo'ladi.

Sterjen kesimida paydo bo‘ladigan ichki kuchlar turiga qarab bir nechta oddiy qarshilik ko‘rinishlari hosil bo‘lishi mumkin, ya’ni N kuchi o‘q bo‘ylab cho‘zilish yoki siqilishni vujudga keltiradi, ko‘ndalang kuch Q – siljishni, burovchi moment M_{bur} – buralishni, M_x (yoki M_y) momenti – sof egilish deformatsiyalarini hosil qiladi.

Murakkab qarshilikka misol qilib bir vaqtning o‘zida sterjen ko‘ndalang kesimda hosil bo‘ladigan bo‘ylama kuch (N) va eguvchi moment (M_x yoki M_y) keltirish mumkin. Bu kuchlar bir vaqtning o‘zida cho‘zilish bilan egilish deformatsiyasini yoki ikkita eguvchi moment M_x bilan M_y qiyshiq egilishni hosil qilishi mumkin.

Murakkab qarshilikda ichki kuchning bitta tashkil etuvchisi boshqalaridan ancha katta bo‘lib, konstruksiya elementining mustahkamligiga asosiy ta’sirni shu ko‘rsatadigan bo‘lsa u holda qaralayotgan holatni oddiy qarshilik deb qarash mumkin. Bunga balkaning ko‘ndalang egilishini misol qilish mumkin, ya’ni bu holda balka ko‘ndalang kesimida ikkita ichki kuch – eguvchi moment M , ko‘ndalang kuch Q bir vaqtda hosil bo‘ladi. Lekin bu holda balkaning mustahkamligini baholaganda ko‘pincha ko‘ndalang kuch Q e’tiborga olinmasdan, hisob ishlari faqat eguvchi moment orqali bajariladi. Xuddi shunday, vintli prujina kesimlarida bir vaqtning o‘zida 4 ta ichki kuch komponentalari M_{eg} , M_{bur} , N , Q paydo bo‘ladi, ammo hisob ishlarini bajarganda faqat burovchi moment M_{bur} e’tiborga olinadi, ya’ni masala oddiy qarshilik holatiga keltiriladi.

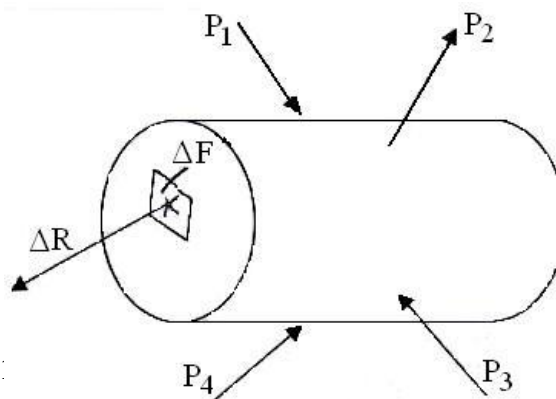
Sterjen kesimlarida hosil bo‘ladigan ichki kuchlarning miqdori kesimning sterjendagi holatiga – ta’sir qilayotgan tashqi kuchlarning z o‘qi bo‘yicha o‘zgarishiga bog‘liq bo‘ladi (qabul qilingan sanoq sistemasida z o‘qi sterjen bo‘ylama o‘qi bo‘ylab yo‘nalgan) ya’ni:

$$N = f_1(z); \quad Q = f_2(z); \quad M_{eg} = f_3(z); \quad M_{bur} = f_4(z).$$

Ushbu funksiyalarning grafiklari ichki kuchlarning z o‘qi bo‘yicha o‘zgarishini ifodalab ichki kuchlarning epyuralari deb ataladi. Umuman olganda, materiallar qarshiligida epyura deb, tekshirilayotgan kattalikning sterjen uzunligi yoki kesim yuzasi bo‘ylab o‘zgarishini ko‘rsatuvchi grafikka aytiladi. Ichki kuchlar epyurasiga qarab ichki kuchlarning ekstremal qiymatlari sterjenning qaysi kesimlariga to‘g‘ri kelishini aniqlash mumkin. Ichki kuchlar epyurasini qurish materiallar qarshiligi fanida aksariyat masalalarning asosiy va kerakli bosqichi hisoblanadi. Epyuralarni qurish qoidasi va tartibi keyinchalik keltiriladi.

Kuchlanishlar to‘g‘risida tushuncha

Kesish usuli yordamida qurilgan ichki kuchlar epyurasidan foydalanib sterjenning har bir kesimida hosil bo‘ladigan ichki kuchlarning absolyut miqdorini aniqlash mumkin. Ammo, har bir absolyut kattalik kabi ichki kuch kattaligi ham hodisani to‘liq baholashga me’yor bo‘laolmaydi. Masalan, temir yo‘l ko‘prigi fermasi sterjenida hosil bo‘luvchi bo‘ylama kuch $N=5\text{tk}$, material mustahkamligi nuqtai nazaridan juda ham kichik



bo'lishi, ammo shu kuch ingichkaroq po'lat trosni muqarrar buzilishiga olib kelishi mumkin. Shuning uchun materiallar mustahkamligini baholaganda nisbiy kattaliklar ishlatiladi va ular materiallar qarshiligida kuchlanish deb ataladi.

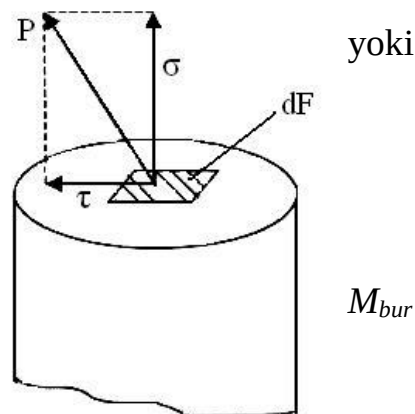
Kuchlanishlarning turlari. Biror jismning kesimini ko'raylik. Kesimdagi K nuqta atrofidan elementar yuzacha ΔF ni ajratamiz. Shu yuzachaga ta'sir qilayotgan ichki kuchni $\Delta \vec{R}$ deb belgilaymiz. Bu holda quyidagi kattalik $\bar{P}_{o'r} = \frac{\Delta \vec{R}}{\Delta F}$, ΔF yuzachadagi o'rtacha kuchlanish deb olinadi.

ΔF yuzachani kichraytira borib K nuqtaga intiltiramiz, ya'ni (ko'rilayotgan muhitimiz uzluksiz bo'lganligi sababli) $\Delta F \rightarrow 0$ bo'lsa u holda $\lim_{\Delta F \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{R}}{\Delta F} = \vec{P}$ natija vektor kattalik bo'lib, sterjen kesimining K nuqtasidagi to'la kuchlanishni ifodalaydi. Demak kuchlanish **kuch/yuza** o'lchov birligida o'lchanar ekan. Kuchlanish odatda kgk/sm^2 , kgk/mm^2 , N/mm^2 , kN/sm^2 , Pa , MPa va x.k.z.larda o'lchanadi. Demak, kuchlanish vektor kattalik bo'lib ichki kuchlarning yuza birligidagi miqdori ekan.

To'la kuchlanishning kesimga perpendikulyar o'qdagi proeksiyasi normal kuchlanish σ (sigma), kesimda yotuvchi o'qdagi proeksiyasi esa urinma kuchlanish τ (tau) deb ataladi

Kesimda hosil bo'ladigan kuchlanishlar (normal urinma kuchlanishlar) yuzaga ta'sir qilayotgan ichki kuchlarning tashkil etuvchilariga va kesimning bo'ylama o'qqa nisbatan joylashishiga bog'liq. Masalan: bo'ylama kuch N va eguvchi moment M_{eg} ta'sirida sterjen ko'ndalang kesimida faqat normal kuchlanish, ko'ndalang kuch Q va burovchi moment ta'sirida urinma kuchlanish paydo bo'ladi.

Sterjen ko'ndalang kesimi bilan mos kelmaydigan kesimlarda kuchlanishlarning boshqa komponentalari ham hosil bo'lishi mumkin.



Ruxsat etilgan kuchlanishlar va mustahkamlikni baholash. Materiallar qarshiligida konstruktsiya elementlarining mustahkamligi bo'yicha fikr yuritish uchun nazariy va tajriba yo'llari bilan har bir material uchun kuchlanishlarning chegaraviy qiymatlari aniqlanadi. Chunki kuchlanishlar ushbu qiymatlardan oshib ketganda konstruktsiya materiali normal ishlashi mumkin emas. Bu kuchlanishlarga eng katta normal kuchlanish $\sigma_{m.ch.}$ – materialning mustahkamlik chegarasidagi normal kuchlanish, ruxsat etilgan normal $[\sigma]$ va ruxsat etilgan urinma $[\tau]$ kuchlanishlar kiradi. Mustahkamlik chegarasidagi normal kuchlanish $\sigma_{m.ch.}$ materialning uzilishi oldidan unda hosil bo'lishi mumkin bo'lgan eng katta kuchlanish bo'lib, uning ta'siridan keyin material ishga yaroqsiz bo'lib qoladi. Bu kuchlanish qiymati materialning xossalariga bog'liqdir.

Konstruktsiya materiali normal ishlashi uchun har doim quyidagi shart bajarilishi lozim:

$$\sigma_{\max} \leq [\sigma] \text{ yoki } \tau_{\max} \leq [\tau].$$

Ushbu shartlar mustahkamlik shartlari deb ataladi.

Tabiatda mavjud materiallar deformatsiyalanish davrida o'zini turlicha tutishiga qarab shartli ravishda plastik va mo'rt materiallarga ajratiladi. Plastik materiallarga kam uglerodli po'lat, mis, alyuminiy va boshqa metallarni misol qilish mumkin.

Mo'rt materiallarga misol qilib cho'yan, tabiiy va sun'iy toshlar va hokazolarni keltirish mumkin. Plastik materiallar deformatsiyalanish jarayonida cho'zilish va siqilishga bir xil qarshilik ko'rsatadi, ya'ni $[\sigma]_{ch} = [\sigma]_s$. Mo'rt materiallarning cho'zilishga qarshiligi, siqilishga qarshiligiga qaraganda ancha kam bo'ladi, ya'ni $[\sigma]_{ch} < [\sigma]_s$.

Bu holda mustahkamlikning qo'shimcha shartlaridan foydalanish kerak:

$$\sigma_{ch}^{\max} \leq [\sigma]_{ch}$$

$$\sigma_s^{\max} \leq [\sigma]_s$$

Ba'zi materiallar uchun ruxsat etilgan kuchlanish $[\sigma]$ ning qiymati jadvalda keltirilgan.

Material	Ruxsat etilgan kuchlanish kgk/sm^2	
	Cho'zilishda $[\sigma]_{ch}$	Siqilishda $[\sigma]_s$
Kul rang cho'yan	28 ... 800	1200 ... 1500
Po'lat St 0 va St 2	1400	
Po'lat St 3	1600	
Po'lat St 3 (ko'priklarda)	1400	
Uglerodli po'lat (mashinasozlikda)	600 ... 2500	600 ... 2500
Ligerlangan po'lat (mashinasozlikda)	1000 ... 4000	va yuqori
Mis	300 ... 1200	
Latun	700 ... 1400	
Bronza	600 ... 1200	
Alyuminiy	300 ... 800	
Alyuminli bronza	800 ... 1200	
Dyuralyumin	800 ... 1500	
Tekstolit	300 ... 400	
Getinaks	500 ... 700	
Fanera	400 ... 500	
Qarag'ay tolalar bo'ylab tolalarga ko'ndalang	70 ... 100	100 ... 120
	—	15 ... 20
Dub tolalar bo'ylab tolalarga ko'ndalang	90 ... 130	130 ... 150
	—	20 ... 35
Tosh devor	3 gacha	4 ... 40
g'isht devor	2 gacha	6 ... 25

Agar jadvalda berilgan ma'lumotlarda $[\sigma]$ cho'zilishga yoki siqilishga tegishligi aytilmagan bo'lsa, u holda berilgan ma'lumot faqat $[\sigma]_{ch}$ ga tegishli bo'ladi. Ruxsat etilgan kuchlanishlar haqidagi to'la ma'lumotlar maxsus ma'lumotnomalarda berilgan.

Shunday qilib konstruksiya elementini mustahkamlikka hisoblash uchun uning kesimlarida hosil bo'ladigan kuchlanishlarning eng katta qiymatlarini topish kerak ekan.

Eng katta kuchlanishlar hosil bo'ladigan kesim xavfli kesim deyiladi.

Ko'ndalang kesimi o'zgarmas bo'lgan sterjenlarda xavfli kesimni ichki kuchlar epyurasidan aniqlash mumkin, ko'ndalang kesimi o'zgaruvchan sterjenlarda xavfli kesimni aniqlash uchun eng katta kuchlanishlar epyurasini butun sterjen uzunligi bo'yicha qurish kerak va undan eng katta kuchlanish sterjenning qaysi kesimiga to'g'ri kelayotganini aniqlash kerak.

Barcha hollarda sterjen ko'ndalang kesimida hosil bo'ladigan kuchlanishni quyidagi ifoda yordamida aniqlash mumkin:

$$kuchlanish = \frac{ichki\ kuch}{ko'ndalang\ kesimining\ geometrik\ xarakteristikasi}$$

Kesimdagi ichki kuchlarning kattaligi ichki kuchlar epyurasidan aniqlanadi.

Ko'ndalang kesimning geometrik xarakteristikasi deganda uning o'lchamlari va shaklini matematik usulda bayon qilish hamda ularni biror sanoq sistemasiga nisbatan aniqlash tushuniladi.

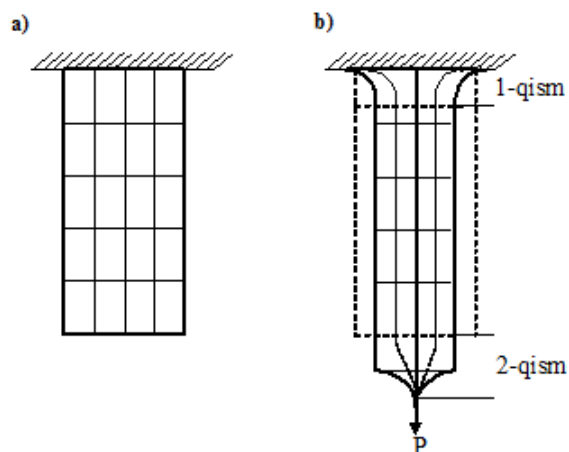
Yuqorida qayd etib o'tilganidek, mustahkamlikni ta'minlash uchun kuchlanishning eng katta qiymatlari ruxsat etilgan kuchlanishga teng yoki undan kichik bo'lishi kerak.

$$\sigma^{max}\ yoki\ \tau^{max} = \frac{ichki\ kuchlar}{ko'ndalang\ kesimining\ geometrik\ xarakteristikasi} \leq [\sigma]\ yoki\ [\tau]$$

Ushbu ifoda mustahkamlik sharti deb ataladi va materiallar qarshiligining aksariyat masalalarini yechish uchun asos bo'lib xizmat qiladi. Ushbu usul ruxsat etilgan kuchlanishlar bo'yicha mustahkamlikni hisoblash usuli deyiladi.

Yuqorida aytib o'tilgan fikrlardan kelib chiqib, konstruksiya elementining mustahkamligini baholash uchun yana bir bor quyidagi xulosalarni eslatib o'tish zarur: birinchi ko'ndalang kesimlarida paydo bo'ladigan ichki kuchlarning qiymatlari aniqlanadi, ikkinchi ko'ndalang kesimlarda hosil bo'ladigan kuchlanishlarning qiymatlari aniqlanadi, uchinchi xavfli kesim aniqlanadi (eng katta kuchlanishning qiymatiga qarab), to'rtinchi konstruksiyaning xavfli kesimidagi mustahkamligi mustahkamlik shartidan foydalanib baholanadi.

Agar tashqi kuchlar ta'sirida sterjen ko'ndalang kesim yuzasida faqat ichki bo'ylama kuch N hosil



bo'lsa, cho'zilish va siqilish deformatsiyasi paydo bo'ladi.

Cho'zilish va siqilish deformatsiyasi ramali konstruksiyalar elementlarida, kolonnalarda, fundamentlarda va fermalar elementlarida yuz berishi mumkin. Faqat cho'zilishga ishlaydigan, ya'ni cho'zuvchi kuchlarni qabul qiluvchi o'ziga xos konstruksiyalarga troslar, zanjirlar, elektr uzatish simlari va boshqalar kiradi. Ular umumiy holda egiluvchi iplar deb ataladi.

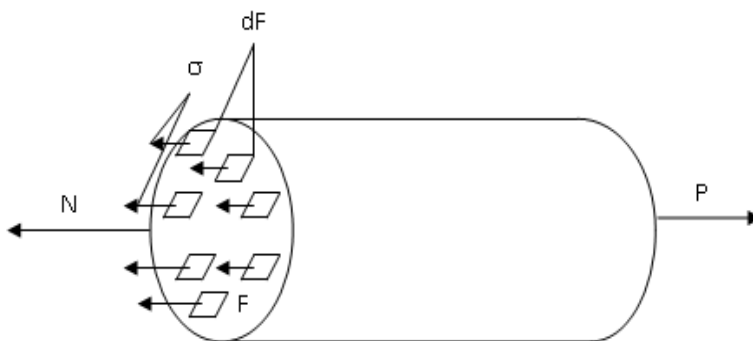
Cho'zilishda sterjenning bo'ylama o'lchamlari uzayib, siqilishda esa u qisqaradi. Bu hodisani kuzatish uchun oson deformatsiyalanuvchi materialdan tayyorlangan sterjenga uni o'qi bo'ylab qo'yilgan cho'zuvchi P kuch ta'sir etgan holatni ko'ramiz.

Buning uchun (kuch ta'sir etguncha) sterjen sirtiga o'zaro tik chiziqlardan to'rt yasaymiz.

Sterjenning deformatsiyalanishgacha bo'lgan holati a-rasmda, deformatsiyadan keyingi holati b-rasmda ko'rsatilgan. Ko'rinib turibdiki, o'tkazilgan ko'ndalang chiziqlar deformatsiyadan keyin ham to'g'riligi va sterjen o'qiga tikligini saqlab qolgan. Sterjenning mahkamlangan joyiga yaqin qismi va tashqi P kuch qo'yilgan nuqta atroflari bundan mustasno, ya'ni b-rasmdagi 1- va 2-qismlar.

Ushbu qismlarning o'lchamlari sterjen uzunligiga nisbatan juda kichik bo'lganligi sababli, ularni sterjen ko'ndalang kesimi o'lchamlariga yaqin deb qarash mumkin. Qism o'lchamlarini aniqlab beruvchi ushbu qoida Sen – Venan prinsipi deb ataladi. Sterjenga chizilgan to'rdagi keskin o'zgarishlar asosan sterjendagi teshiklar atrofida,

sterjen ko'ndalang kesimlarining o'zgargan joylarida hosil bo'lishi mumkin. Hisoblash ishlarida bu qismlar e'tiborga olinmaydi.



Sterjenning bo'ylama o'qiga tik o'tkazilgan to'g'ri chiziqlar, ko'ndalang kesimning ko'chish izlari hisoblanib (b-rasm) ular deformatsiyadan keyin ham to'g'ri chiziqli holatini saqlab qoladi.

Sterjenning deformatsiyagacha tekis bo'lgan ko'ndalang kesimlari deformatsiyadan keyin ham tekisligini saqlab qolishi rasmdan ko'rinib turibdi. Bu holat Bernulli tomonidan qabul qilingan gipotezani o'zida aks ettiradi. Ushbu gipotezaning qo'llanilishi ko'ndalang kesimda hosil bo'ladigan kuchlanishlarning taqsimlanishini tekshirishni osonlashtiradi. Ya'ni, sterjenning ko'ndalang kesimida hosil bo'luvchi normal kuchlanishlar ko'ndalang kesim yuzasi bo'ylab tekis taqsimlangan, ya'ni $\sigma = \text{const}$ deb olinishiga imkoniyat yaratadi.

Shunga asoslanib yozishimiz mumkin:

$$P = N = \int_F \sigma dF = \sigma F$$

bundan, $\sigma = \frac{N}{F}$ bo'lib, bu formula cho'zilish va siqilishda sterjen ko'ndalang kesimida hosil bo'ladigan normal kuchlanish σ ni aniqlash formulasi deyiladi.

Cho'zilish va siqilishda ichki kuch omili vazifasini bo'ylama kuch N , ko'ndalang kesimning geometrik xarakteristikasini esa – kesim yuzasi F bajaradi.

Cho'zilish va siqilishga ishlayotgan sterjenlarning mustahkamligini ta'minlash uchun sterjen ko'ndalang kesimlarida paydo bo'ladigan normal kuchlanish σ ruxsat etilgan normal kuchlanish $[\sigma]$ ga teng yoki undan kichik bo'lishi kerak, ya'ni

$$\sigma = \frac{N}{F} \leq [\sigma]$$

Ushbu shart cho'zilish va siqilishda mustahkamlik sharti deb ataladi.

Kuchlanishlarning eng katta qiymati paydo bo'ladigan ko'ndalang kesim xavfli kesim deyiladi. Ko'ndalang kesimlari o'zgarmas bo'lgan sterjenlardagi xavfli kesimni ichki kuchlar, ya'ni N ning epyurasidan aniqlash mumkin. Chunki bu holda ichki kuchlarning eng katta qiymatiga erishgan kesim xavfli kesim bilan ustma-ust tushadi. O'zgaruvchan kesimli, masalan pog'onasimon sterjenlarda ichki kuchlar N

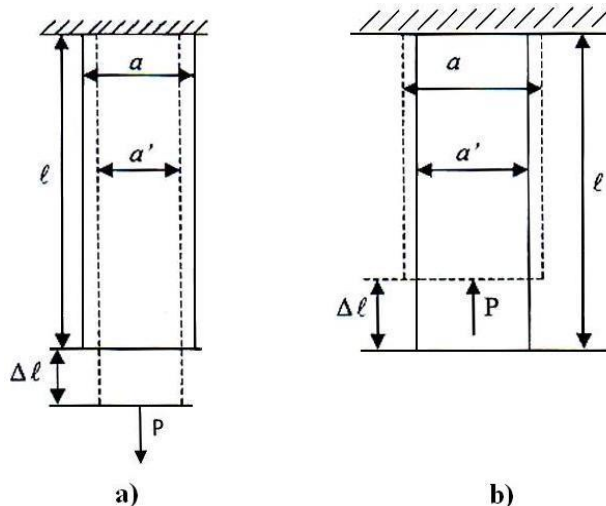
epyurasidan xavfli kesimni topib bo'lmaydi. Buning uchun sterjen uzunligi bo'yiga normal kuchlanish σ ning epyurasini qurish kerak.

Cho'zilish va siqilishda sterjen uzunligi bo'yicha normal kuchlanishlar o'zgarishini ko'rsatuvchi grafikka normal kuchlanishning epyurasi deyiladi. Kuchlanishlar epyurasining ordinatalari bo'ylama kuch N ordinatalarini sterjenning mos ko'ndalang kesim yuzalariga bo'lish orqali topiladi.

Cho'zilish va siqilishda deformatsiyalar

Sterjenning P kuch ta'siridagi deformatsiyanishini sxematik ravishda ko'rgan edik. Uzunligi ℓ ga teng bo'lgan markaziy P kuch ta'siridagi sterjenning deformatsiyasini tekshiradigan

bo'lsak, cho'zilishda uning uzunligi uzayadi (a-rasm), ko'ndalang kesim o'lchamlari esa kichrayadi, siqilishda buning aksi bo'lib, uzunligi qisqaradi, ko'ndalang kesim o'lchamlari esa kattalashadi (b-rasm).



Bu holda $\Delta \ell$ sterjenning absolyut bo'ylama deformatsiyasi $a-a^1$ esa sterjenning absolyut ko'ndalang deformatsiyasi deyiladi.

Absolyut deformatsiya uzunlik o'lchov birligida o'lchanadi. Sterjenning deformatsiyalari uning o'lchamlariga nisbatan juda kichik deb qabul qilinadi. Bu qoida boshlang'ich parametr prinsipi deb atalib, tashqi kuchlarni sterjen deformatsiyalangandan keyin ham o'zaro joylashishini o'zgarmas deb hisoblashga asos yaratadi. Cho'zilish va siqilishda hosil bo'ladigan, ko'ndalang va bo'ylama absolyut deformatsiyalarni qurollanmagan ko'z bilan kuzatish qiyin, shuning uchun ularni o'lchash uchun tenzometr deb ataluvchi maxsus asboblari ishlatiladi. Absolyut deformatsiyalar ro'y berayotgan hodisani sifatli baholash uchun yetarli emas, shuning

uchun deformatsiyalarni baholash, nisbiy kattaliklar orqali amalga oshiriladi, ya'ni nisbiy bo'ylama (ε) va nisbiy ko'ndalang (ε^1) deformatsiyalar orqali.

$$\varepsilon = \frac{\Delta \ell}{\ell}, \quad \varepsilon^1 = \frac{a - a^1}{a}$$

Tajribalardan har bir material uchun nisbiy ko'ndalang deformatsiyaning nisbiy bo'ylama deformatsiyaga nisbati o'zgarmas ekanligi aniqlangan, ya'ni

$$\left| \frac{\varepsilon^1}{\varepsilon} \right| = \nu = \text{const}$$

Ushbu kattalik ν ko'ndalang deformatsiya koeffitsienti yoki Puasson koeffitsienti deyilib, uning qiymati $0 \leq \nu \leq 0,5$ bo'lishi mumkin.

Har xil materiallar uchun Puasson koeffitsientining qiymatlari ma'lumotnoma jadvallarda keltirilgan bo'lib, yog'och probka uchun $\nu=0$, po'lat uchun $\nu=0,25-0,30$, suv uchun $\nu=0,5$ teng bo'ladi.

Tashqi kuchlar ta'sirida qattiq jismlarda hosil bo'ladigan deformatsiya va kuchlanishning o'zaro bog'liqlik masalasi ko'plab tadqiqotchilar tomonidan o'rganilgan. 1676-yilda R.Guk tomonidan birincha marotaba – «kuch qanday bo'lsa, cho'zilish ham shunday» bo'ladi degan faraz o'rta tashlanadi.

Keyingi davrlarda olib borilgan ko'plab tadqiqotlar yuklanish va deformatsiya orasida, ya'ni kuchlanish va deformatsiya o'rtasida chiziqlikka yaqin bog'lanish mavjudligini tasdiqladi.

Hozirgi davrda bu qoida – normal kuchlanish σ nisbiy bo'ylama deformatsiya ε ga to'g'ri proporsional bo'ladi deb aytilib, u quyidagicha ifodalanadi: $\sigma = E\varepsilon$.

Bu qonun cho'zilish va siqilishda Guk qonuni deyiladi. Bu yerda E – har bir material uchun o'zgarmas kattalik bo'lib, materialning deformatsiyaga moyilligini xarakterlaydi va u birinchi tartibli elastiklik moduli yoki Yung moduli deyiladi.

Elastiklik modulining o'lchov birligi kuchlanish o'lchov birligida bo'lishi (4.6) ifodadan ko'rinib turibdi, chunki ε o'lchovsiz kattalikdir. Masalan, po'lat uchun

$E=2 \cdot 10^6 \text{ kg/sm}^2$ ga teng. Turli xil materiallar uchun elastiklik modulining qiymatlari jadvalda keltirilgan.

Materiallar	Elastiklik moduli E [kgk/sm ²]
Uglerodli po‘lat	$(2.0 \div 2.1) \cdot 10^6$
Legirlangan po‘lat	$(2.1 \div 2.2) \cdot 10^6$
Alyumin prokat	$6.9 \cdot 10^5$
Dyuralyumin	$7.1 \cdot 10^5$
Shisha	$5.6 \cdot 10^5$
Granit	$4.9 \cdot 10^5$
Ohak	$4.2 \cdot 10^5$
Marmar	$5.6 \cdot 10^5$
Qum	$1.8 \cdot 10^5$
Terilgan devor:	
Granitli	$(0.9 \div 1.0) \cdot 10^5$
Ohakli	$0.6 \cdot 10^5$
G‘ishtli	$(0.27 \div 0.3) \cdot 10^5$
Beton – mustahkamlik chegarasi quyidagicha bo‘lganda	
100	$(1.46 \div 1.96) \cdot 10^5$
150	$(1.64 \div 2.14) \cdot 10^5$
200	$(1.82 \div 2.32) \cdot 10^5$
Yog‘och (sosna, yel) tola bo‘ylab	$(1.0 \div 1.2) \cdot 10^5$
tolaga tik bo‘lganda	$(5.0 \div 10) \cdot 10^3$

Agarda elastiklik moduli ma‘lum bo‘lsa u holda o‘zgarmas bo‘ylama kuch N ta’siridagi sterjen bo‘laklarining absolyut cho‘zilishini quyidagicha aniqlash mumkin:

$$\begin{cases} \sigma = E \cdot \varepsilon \\ \sigma = \frac{N}{F} \end{cases} \quad \text{va} \quad \varepsilon = \frac{\Delta \ell}{\ell} \quad \text{bo‘lganligidan}$$

$$\frac{N}{F} = E \frac{\Delta \ell}{\ell} \quad \text{bundan,} \quad \Delta \ell = \frac{N \ell}{EF}$$

EF – sterjen ko‘ndalang kesimining cho‘zilish va siqilishdagi bikrligi deyiladi.

Nazorat savollari:

1. Sterjenda qachon cho‘zilish yoki siqilish deformatsiyasi sodir bo‘ladi?
2. Cho‘zilish va siqilishda sterjen ko‘ndalang kesimlarida qanday kuchlanish hosil bo‘ladi?
3. Cho‘zilish va siqilishdagi kuchlanishning qiymati ko‘ndalang kesimning qanday geometrik xarakteristikalariga bog‘liq?
4. Cho‘zilish va siqilishda ko‘ndalang kesim o‘lchamlari qanday aniqlanadi?
5. Cho‘zilish va siqilishda sterjenning yuk ko‘tarish qobiliyati qanday topiladi?
6. Cho‘zilish va siqilishda absolyut va nisbiy bo‘ylama deformatsiya qanday aniqlanadi?
7. Cho‘zilish va siqilishdagi absolyut va nisbiy ko‘ndalang deformatsiya qanday aniqlanadi?
8. Puasson koeffitsienti nima?
9. Guk qonuni qanday ifodalanadi?
10. Elastiklik moduli nimani xarakterlaydi va qanday o‘lchov birligida o‘lchanadi?

14-mavzu. Materiallarning mexanik xususiyatlarini tajribada o‘rganish.

Cho‘zilish diagrammasi.

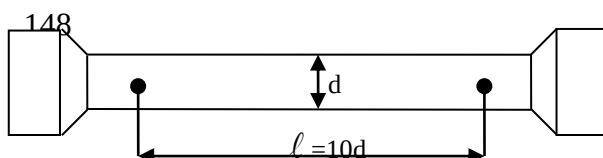
Reja:

1. Plastik va mo‘rt materiallarning cho‘zilish va siqilish diagrammalari.
2. Ruxsat etilgan kuchlanishlar, ularni tanlash, ehtiyotlik koeffitsienti.
3. Cho‘zilish va siqilish deformatsiyasida xususiy og‘irlikni hisobga olish.
4. Mustahkamlik va bikrlikka hisoblash. Bo‘ylama kuch, normal kuch va ko‘chish epyuralari. Pog‘onali sterjenlar.
5. Cho‘zilish va siqilish deformatsiyasida potensial energiya

Tayanch so‘z va iboralar:

Mexanik xossalar, cho‘zilish va siqilish diagrammalari, plastik material, mo‘rt material, proporsionallik chegarasi, oquvchanlik chegarasi, mustahkamlik chegarasi, ehtiyotlik koeffitsienti, Lyuders-Chernov chiziqlari, deformatsiyasning potensial energiyasi.

Konstruksiya elementlarini mustahkamlikka hisoblashda va deformatsiyalarini aniqlashda materialning mexanik xarakteristikalarini – ruxsat etilgan kuchlanishning va elastiklik modulining qiymatlari ishlatiladi. Ushbu xarakteristikalar tekshirilayotgan materialdan olingan namunalarni tajribada sinab, olingan natijalarni tahlil qilish asosida topiladi. Namunalarni tajribada sinashning eng ko‘p tarqalgan usuli bu



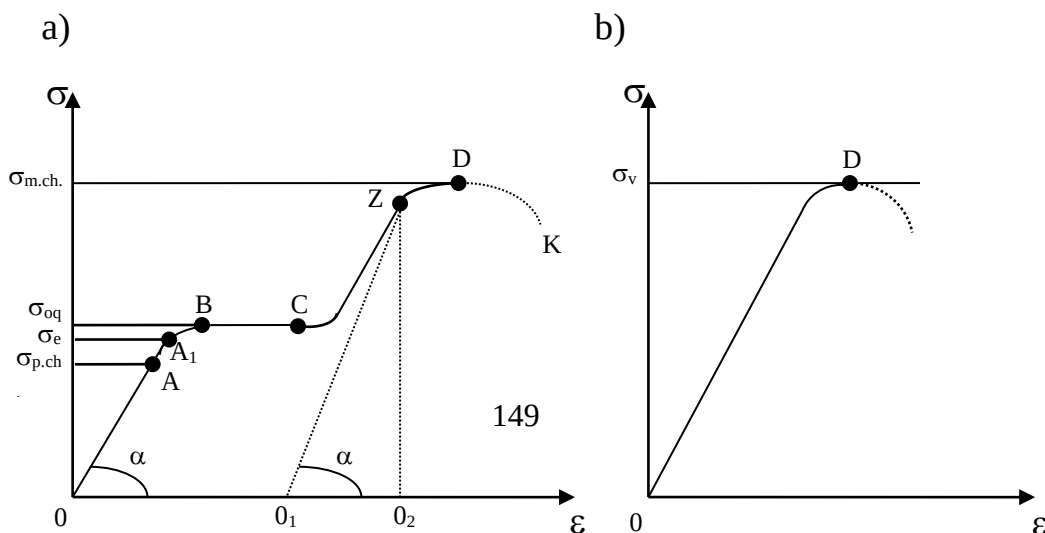
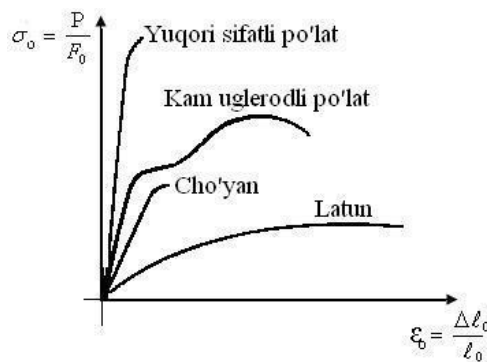
choʻzish va siqishga sinashdir. Buning uchun maʼlum miqdordagi yuklanishni berilgan tezlik bilan namunaga bera oladigan turli xildagi sinov mashinalaridan foydalaniladi. Bu holda namunaga beriladigan zoʻriqishni, sinov mashinasining turiga qarab bir necha grammdan yuzlab tonnagacha oʻzgartirish mumkin.

Zoʻriqishga mos keluvchi absolyut deformatsiyalar esa namunaga (sterjenlarga) oʻrnatilgan tenzometrlar yordamida aniqlanadi. Hozirgi zamon sinov mashinalari zoʻriqishga mos keluvchi deformatsiyani aniqlash bilan birga avtomatik ravishda $P = f(\Delta l)$ yoki $\sigma = f(\varepsilon)$ grafiklarini ham chizib boradi. Bu funksiya grafiklari $\sigma \sim \varepsilon$ ning shartli diagrammalari deyilib, materialning mexanik xarakteristikalari shu diagrammalardan aniqlanadi.

Turli xil materiallar uchun σ va ε diagrammalari rasmda keltirilgan.

Bu yerda ℓ namunaning (sterjenning) boshlangʻich uzunligi, F –sterjenning boshlangʻich koʻndalang kesim yuzasi. Rasmda tasvirlangan diagrammalar turli xil masshtablarda keltirilgan.

Diagrammalarning xilma-xilligi materiallarning xossalarini aniqlashda asosiy maʼlumot beruvchi manba boʻlib, ularni sinflarga ajratishda va koʻrgazmali namoyish etishda kerakli maʼlumot hisoblanadi. Odatda diagrammalar shartli ravishda plastik materiallar diagrammasi va moʻrt materiallar diagrammasiga ajratiladi.

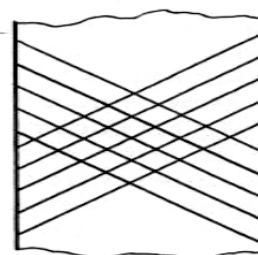


Quyidagi a,b-rasmlarda plastik va mo‘rt materiallar uchun har xil mashtablarda qurilgan va shartli soddalashtirilgan diagramma-lar keltirilgan.

Plastik materiallar uchun $\sigma \sim \varepsilon$ diagrammasini ko‘raylik (a-rasm). Diagramma bir qator o‘ziga xos bo‘laklardan iborat. OA bo‘lakda diagramma to‘g‘ri chiziqdan iborat. A nuqtada proporsionallik chegarasiga mos keluvchi kuchlanish $\sigma_{p.ch.}$ ning eng katta qiymati hosil bo‘lib, agar kuchlanish undan ortib ketsa Guk qonuni bajarilmaydi. Kam uglerodli po‘latlar uchun $\sigma_{p.ch.}$ ning qiymati taxminan 2000 kgk/sm^2 ga teng bo‘ladi. Bu holda elastiklik moduli $E = tg \alpha = \frac{\sigma}{\varepsilon}$ bo‘ladi. σ_e – elastiklik chegarasidagi eng katta kuchlanishni ifodalaydi. Kuchlanishning qiymati $\sigma_{p.ch.}$ dan ortishi bilan deformatsiya yuklanishdan tezroq o‘sadi va diagramma A_1 nuqtagacha yuqoriga qavargan egri chiziq ko‘rinishini oladi. So‘ngra material xarakterida keskin o‘zgarish yuz beradi va cho‘zuvchi kuchning ma’lum bir qiymatida material «oqadi», bu holda deformatsiyaning ortishi uchun cho‘zuvchi kuchni oshirmasa ham bo‘ladi. Diagrammada gorizonttal (yoki deyarli gorizonttal) qism (B–C) hosil bo‘ladi.

Yuklanish o‘zgarmas (deyarli o‘zgarmas) bo‘lganda deformatsiyaning o‘sishi materialning oquvchanligini ifodalaydi va bu holatga to‘g‘ri keluvchi kuchlanish oquvchanlik chegarasidagi kuchlanish deyilib, u σ_{oq} deb belgilanadi. Kam uglerodli po‘lat uchun $\sigma_{oq} \approx 2400 \text{ kg/sm}^2$ ga teng bo‘lishi mumkin.

Namuna materiali oqayotganda uning sirtida ko‘proq yoki kamroq keskin ko‘zga tashlanadigan darajadagi to‘g‘ri chiziqlar paydo bo‘ladi. Bu chiziqlar «Chernov chiziqlari» yoki ba’zi hollarda

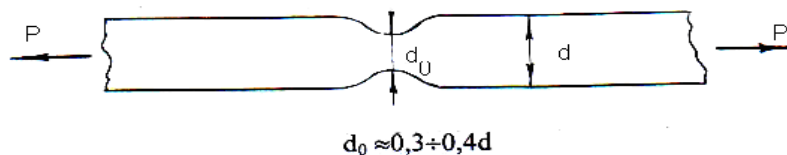


«Lyuders chiziqlari» deb ataladi. Bu chiziqlar material yetarli darajada deformatsiyalanganida material zarralarining o‘zaro harakatlanishi natijasida hosil bo‘ladi.

Oquvchanlikdan so‘ng (C nuqtadan keyin) material yana cho‘zilishga qarshilik ko‘rsata boshlaydi va $\Delta\ell$ ni uzaytirish uchun kuchni oshirishga to‘g‘ri keladi. Diagrammaning D nuqtasida kuchlanish eng katta qiymatga erishib, bu material ko‘tara oladigan eng katta yukning qiymatiga to‘g‘ri keladi. Bu kuchlanish $\sigma_{m.ch.}$ deb belgilanib, mustahkamlik chegarasidagi kuchlanishni ifodalaydi.

Bu vaqtdan boshlab namuna o‘zini boshqacha tuta boshlaydi. Shu davrgacha cho‘zilishda butun sterjen qatnashib, uni uzunligining har bir bo‘lagi taxminan bir xil uzayib, ko‘ndalang o‘lchamlari ham bir xil qisqargan edi.

Yuklanishning
qiymati D nuqtadagi
qiymatga yetgan vaqtdan
boshlab, deformatsiya



asosan namunaning bir joyiga yig‘iladi, ya’ni shu joy atrofidagi kichkina bo‘lakka katta kuchlanish ta’sir qiladi. Bu holat o‘sha joydagi ko‘ndalang kesimning torayishiga olib kelib, «bo‘yin» deb ataluvchi qism paydo bo‘ladi.

Bu holda namuna deformatsiyalanuvchi qismining kichrayishi hisobiga sterjenni cho‘zish uchun tobora kamroq kuch talab etiladi va nihoyat namuna K nuqtada uziladi.

Agar tajribani kuchlanish $\sigma_{p.ch.}$ ga yetmasdan to‘xtatib namunadan kuchni olib tashlasak, (ya’ni yuksizlantirsak) u holda yuksizlanish ham diagramma ham shu AO chizig‘i bo‘yicha orqaga qaytadi. Bu holda namunadan yuk olinganidan keyin deformatsiya batamom yo‘q bo‘lib ketib, sterjen o‘zining oldingi holatiga qaytadi. Bu sterjenning faqat elastik deformatsiyalanganligini bildiradi.

Agar namuna diagrammaning C va D nuqtalar oralig‘ida yotuvchi Z nuqtasida yuksizlantirilsa, u holda yuksizlantirish natijasida diagramma OA to‘g‘ri chiziqqa

deyarli parallel bo'lgan ZO_1 to'g'ri chiziq bo'yicha orqaga qaytadi. Bu holda namuna boshlang'ich o'lchamlariga qaytmaydi, O_1O_2 kesma elastik deformatsiyani, OO_1 kesma qoldiq deformatsiyani, OO_2 to'liq deformatsiyani ifodalaydi. Shunday OA_1 yuklanishni topish mumkinki, bunda namuna faqat elastik deformatsiyalanib, odatda diagrammaning A_1 nuqtasi A nuqtadan sal yuqoriroqda yotadi. Elastiklik chegarasida, ya'ni σ_e da deformatsiya $\varepsilon \approx 0,001-0,03\%$ ni tashkil qilishi mumkin.

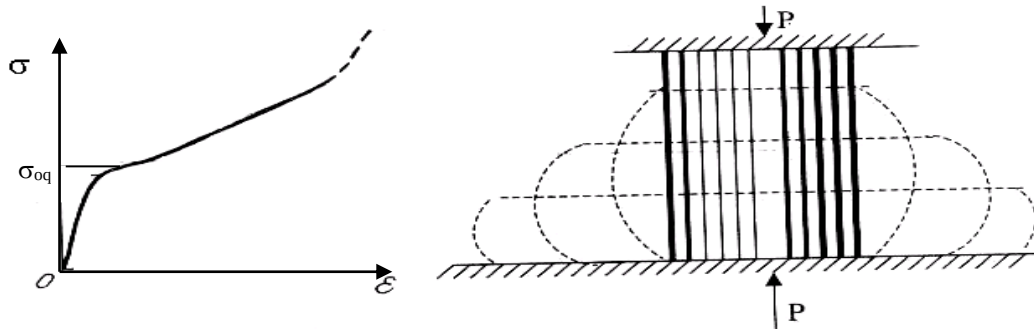
Odatda A va A_1 nuqtalar shu darajada bir-biriga yaqin bo'ladiki, elastiklik chegarasi σ_e bilan proporsionallik chegarasi $\sigma_{p.ch.}$ ko'p hollarda ustma-ust tushishi ham mumkin. Shuning uchun material elastiklik chegarasigacha Guk qonuniga bo'ysunadi deb hisoblanadi. Haqiqatda esa proporsionallik chegarasigacha material Guk qonuniga $\sigma=E \cdot \varepsilon$ bo'ysunadi deyish to'g'riroq bo'ladi.

Namuna uchun cho'zuvchi kuchning eng katta qiymati OD ordinataga to'g'ri keladi, shuning uchun ko'p hollarda bu kuch buzuvchi yuklanish ham deb ataladi, chunki u buzilishning boshlanishiga sababchi bo'ladi, to'la buzilish esa diagrammadagi yuklanish K nuqtaga yetganda hosil bo'ladi. Eng katta yuklanish hosil qilgan D nuqtadagi kuchlanish mustahkamlik chegarasidagi kuchlanish ($\sigma_{m.ch.}$) yoki vaqtinchalik qarshilik ko'rsatuvchi kuchlanish σ_v deb ataladi. Kam uglerodli po'lat uchun $\sigma_{m.ch.} \approx 4000 \text{ kg/sm}^2$ ga teng bo'lishi mumkin.

Jadvalda ba'zi-bir materiallar uchun oqish chegarasidagi σ_{oq} va mustahkamlik chegarasidagi $\sigma_{m.ch.}$ kuchlanishlarning eng katta qiymatlari keltirilgan:

Materialning nomi	Markasi	Kuchlanishlar	
		σ_{oq} kgk/sm ²	$\sigma_{m.ch.}$ kgk/sm ²
Uglerodli po'lat	St.3	2400	3800–4700
	St.6	3100	6000–7200

Xromli po‘lat	20X	6500	8000
Xrom-kremniy marganesli po‘lat	35XGSA	14000	16500
Dyuralyuminiy	D16	3300	4500–5000
Titan qotishmasi	VT4	7000–8000	8000–9000



Yuqoridagi rasmda plastik materiallar uchun siqilish diagrammasi $\sigma \sim \varepsilon$ keltirilgan.

Plastik materiallar uchun siqilish diagrammasi $\sigma \sim \varepsilon$ ning cho‘zilishdagi diagrammadan farqi vaqtinchalik qarshilik ko‘rsatish nuqtasining bo‘lmasligidadir.

Ko‘ndalang kesim yuzasining kattalashib borishi evaziga plastik materiallarda namunani deyarli buzib bo‘lmaydi. Ammo kuchlanishning noldan σ_{oq} gacha bo‘lgan qiymatlarida plastik materiallarning siqilish va cho‘zilish diagrammalari bir xil bo‘ladi.

Bunday materiallar uchun ruxsat etilgan kuchlanishning qiymati quyidagi munosabat yordamida aniqlanadi: $[\sigma] = \frac{\sigma_{oq}}{n_1}$, (n_1 – ehtiyotlik koeffitsienti).

Mo‘rt materiallar uchun $\sigma \sim \varepsilon$ diagrammasi D nuqtada tugovchi to‘g‘ri chiziqdan iborat bo‘lib, bu nuqtadagi kuchlanishning qiymati σ_v deb belgilanib, u vaqtinchalik qarshilik ko‘rsatuvchi kuchlanish deb ataladi. Mo‘rt materiallarning

siqilish va cho‘zilishdagi diagrammalarining xarakteri bir xil bo‘ladi, lekin σ_v ning qiymati siqilishda cho‘zilishga nisbatan ancha katta bo‘ladi.

Mo‘rt materiallarning haqiqiy $\sigma \sim \varepsilon$ diagrammasida kuchlanish va deformatsiya o‘rtasida to‘g‘ri proporsionallik bog‘lanish mavjud bo‘lmasdan, u egri chiziqqa yaqin chiziqdan tashkil topgan bo‘ladi.

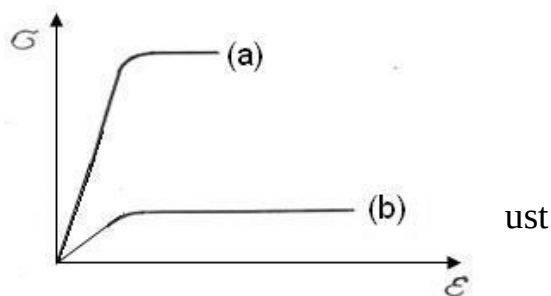
Shunday qilib, ushbu materiallar uchun elastiklik moduli E siqilish va cho‘zilishda bir-biridan farq qiluvchi o‘zgaruvchan kattalik bo‘ladi. Lekin amaldagi kuchlanishning o‘zgarish chegarasida bu holat hisobga olinmay elastiklik modulini o‘zgarmas deb, kuchlanish bilan deformatsiya o‘rtasidagi bog‘lanishni chiziqli deb olish mumkin.

Turli materiallarning cho‘zilish va siqilishda mustahkamlik chegaralari
(kgk/sm^2)

Materialning nomi	Cho‘zilishda $\sigma_{m.ch.}$	Siqilishda σ_v
Oddiy kulrang cho‘yan	1400 ... 1800	6000... 10000
Mayda zarrali kulrang cho‘yan	2100 ... 2500	14000 gacha
Oq cho‘yan	—	17500 gacha
Bakelit	200 ... 300	800 ... 1000
Tekstolit	500 ... 1000	1500 ... 2500
Getinaks	800 ... 1000	2400 ... 3400
Qattiq polivinilxlorid (PVX, viniplast)	400 ... 500	800 ... 1000
Fenoplast FKPM–15	200 ... 250	1200 ... 1500
Granit, diabaz gneys, kvarsit	30 ... 50	1200 ... 2600
Qum tosh	20	400 ... 1500
G‘isht	—	75 ... 300
Beton	—	50 ... 350

Muz 0 dan -30^0 va undan past: chuchuk suv	—	4.5 ... 15
1 – 2% tuzli suv	—	4 ... 13,5
3 – 6% tuzli suv	—	3 ... 10,5

«Stekloplastik» materiallar mo‘rt materiallar bo‘lsa ham ular tolalari bo‘yicha tekshirilganda haqiqiy $\sigma \sim \varepsilon$ diagrammasi ideallashtirilgan diagrammalar bilan ustma-tushadi. Xvoyli daraxt uchun rasmda



keltirilgan diagrammada materialning anizotroplik xususiyati yaqqol ko‘zga tashlanadi: *a* – tola bo‘yicha siqilganda, *b* – ko‘ndalang siqilganda.

Quruq qarag‘ay yog‘ochi uchun tola bo‘ylab siqilishdagi proporsionallik chegarasi o‘rtacha $\sigma_{p.ch.} = 350 \dots 400 \text{ kgk/sm}^2$, elastiklik moduli $E = 1,1 \cdot 10^5 \text{ kg/sm}^2$ ni tashkil etadi. Tolalarga ko‘ndalang siqishda proporsionallik chegarasi taxminan $\sigma_{p.ch.} = 50 \text{ kgk/sm}^2$ ni, elastiklik moduli $E = 5000 \text{ kgk/sm}^2$ ni tashkil etadi. Bu materialni tolalari bo‘ylab cho‘zilishdagi proporsionallik chegarasi, siqilishdagiga nisbatan tahminan ikki marta katta. Cho‘zilishdagi elastiklik moduli siqilishga nisbatan ancha katta, ammo hisoblash ishlarida qarag‘ay yog‘ochining siqilishdagi xarakteristikalari olinadi.

Rasmdan ko‘rinib turibdiki, tolalari bo‘ylab siqilish diagrammasi $\sigma \sim \varepsilon$ mo‘rt materiallarga xos, tolalarga ko‘ndalang siqilish diagrammasi $\sigma \sim \varepsilon$ esa plastik materiallarga xosdir. Tolasimon tuzilishga ega qurilish materiali bo‘lgan daraxtlarda cho‘zilishdagi mustahkamlik siqilishdagiga qaraganda ancha kattaroq bo‘ladi.

Konstruksiyani hisoblashning asosiy maqsadi uning mustahkamligini ta’minlashdir. Shuning uchun konstruksiya elementlarida hosil bo‘ladigan kuchlanishlar shu material uchun taalluqli bo‘lgan ruxsat etilgan kuchlanishlardan

katta bo'lmisligi kerak. Har bir material uchun bu ruxsat etilgan kuchlanishlarning qiymati $\sigma \sim \varepsilon$ diagrammasidan aniqlanadi. Diagrammaga e'tibor beradigan bo'lsak C nuqta $\sigma \sim \varepsilon$ diagrammasining xarakterli nuqtasi bo'lib, σ_{oq} kuchlanishga, ya'ni oquvchanlik chegarasiga mos keladi. Kuchlanish ushbu kattalikka yetganda konstruksiya ishiga salbiy ta'sir ko'rsatuvchi yetarli darajada katta deformatsiyalar hosil bo'lishi mumkin. Shuning uchun plastik materiallar uchun ruxsat etilgan kuchlanish $[\sigma]$ ning qiymati, oquvchanlik chegarasiga mos bo'lgan kuchlanish σ_{oq} ning, ehtiyotlik koeffitsienti n_1 nisbatiga teng deb olinadi, ya'ni: $[\sigma] = \frac{\sigma_{oq}}{n_1}$

Diagrammada aniq ko'zga tashlanuvchi oquvchanlik maydonchasi bo'lmagan plastik materiallar uchun shartli oquvchanlik chegarasi tushunchasi kiritiladi, unda qoldiq deformatsiya 0,2% gacha bo'lgan kuchlanish qabul qilinadi. Ushbu mexanik xarakteristika $\sigma_{0,2}$ orqali belgilanadi.

Mo'rt materiallar uchun diagrammadagi D nuqtaga to'g'ri keluvchi (vaqtinchalik qarshilikka mos keluvchi) kuchlanish σ_v olinib, mo'rt materiallar uchun ehtiyotlik koeffitsienti n_2 ga bo'linib, ruxsat etilgan kuchlanish quyidagicha aniqlanadi: $[\sigma] = \frac{\sigma_v}{n_2}$. Ehtiyotlik koeffitsientlari n_1 va n_2 lar o'zaro teng emas. Chunki kuchlanish σ_{oq} ga yetganda material buzilmay, faqat deformatsiyasi oshadi, lekin kuchlanish σ_v ga yetganda buzilish boshlanadi. Undan tashqari ehtiyotlik koeffitsientining kattaligiga plastik va mo'rt materiallar ishlashidagi, qator o'ziga xos jixatlar ta'sir ko'rsatadi. Masalan, mo'rt materiallar zarbali yoki o'zgaruvchi ishorali yuklanishlarga deyarli qarshilik ko'rsatmaydi. Ehtiyotlik koeffitsient n_1 , n_2 larning qiymatlari jadvalda

Yuklanish	Materiya	n_1	n_2
Statik	plastik	2.0	—

keltirilgan.

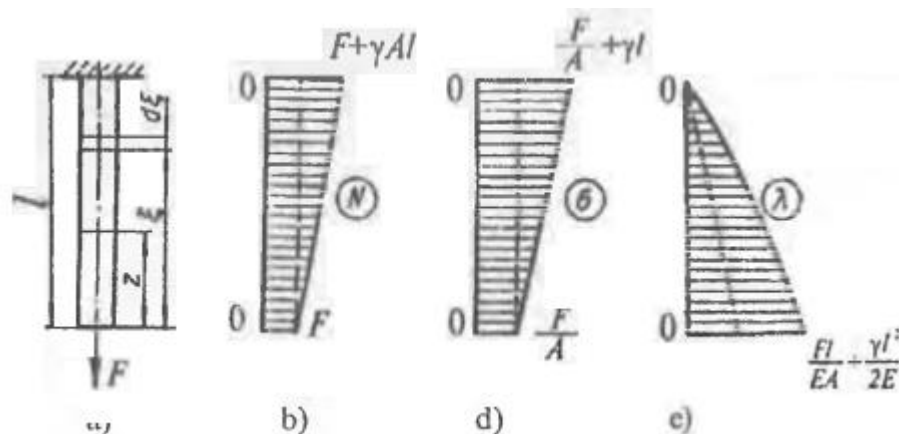
Ekstremal sharoitlarda
ishlovchi maxsus inshootlarni
loyixalashda ehtiyotlik
koeffitsientlarining

Statik	mo'rt	–	3–9
Zarbali	plastik	2,8 – 5,0	–
Bir xil o'zgaruvchi qiymatli (cho'zilish- siqilishda)	plastik	5,0 – 15,0	–

qiymatlari har bir holat uchun tajriba tadqiqotlari o'tkazilib aniqlanadi.

Ko'pincha bruslarning xususiy og'irlik kuchlari tashqi kuchlarga nisbatan juda kichik bo'lganligi sababli amaliy hisoblashlarda ularning ta'sirini e'tiborga olmasa ham bo'ladi. Lekin vertikal joylashgan juda uzun sterjen (zanjir, o'g'ir po'lat arqon, burg'ulash shtangasi va boshqa)lar, vazmin brus (imorat yoki ko'priklarning ustunlari va boshqa)lar o'z og'irliklaridan ham sezilarli darajada cho'ziladi yoki siqiladi. Albatta, bunday hollarda xususiy og'irlik kuchlarining ta'sirini e'tiborga olish zarurdir.

Odatda, xususiy og'irlik kuchlari vertikal o'q bo'ylab taqsimlangan «tashqi» bo'ylama kuchlar sifatida qaraladi. Bir uchi bilan mahkamlangan, tashqi va xususiy og'irlik kuchlari ta'siridagi o'zgarmas kesimli uzun sterjenlarni tekshiramiz.



Sterjenning erkin uchidan z masofada turgan kesimda G_z normal kuchlanishni aniqlash uchun pastki qismning muvozanatini tekshiramiz:

$\sum Z_i = 0, N_z - G_z - F = 0$, Bunda $G_z = \gamma A z$ pastki qismning xususiy og'irlik kuchi;

γ -sterjen materialining solishtirma og'irligi (po'lat uchun $\gamma=78 \cdot 10^3 \text{ N/m}^3$). Demak, kesimlardagi bo'ylama kuch N va normal kuchlanishlar sterjen uzunligi bilan chiziqli bog'lanishda ekan: $N_z=F+\gamma Az$, .

Sterjenning mahkamlangan kesimi eng xavfli kesim ekanligi epyuralardan ko'rinib turibdi; shu bois, mustahkamlik sharti quyidagi ko'rinishda yoziladi: $\sigma_{\max}=F/A+\gamma l \leq [\sigma]$. Oxirgi ifodadan mustahkamlikni ta'minlovchi yuzani topish mumkin: $A \geq \frac{F}{[\sigma]-\gamma l}$. Endi sterjenning deformatsiyasini aniqlaymiz. Dastlab, Guk qonuniga asosan, dz uzunlikdagi juda kichik bolakchani mutlaq deformatsiyasini topamiz: $\Delta(dz) \approx \frac{(F + \gamma Az)dz}{EA}$. Sterjenning absolut deformatsiyasini topish uchun oxirgi

ifodani sterjen uzunligi bo'yicha integrallaymiz: $\Delta l = \int_0^l \frac{(F + \gamma Az)dz}{EA} = \frac{Fl}{EA} + \frac{\gamma Al^2}{2EA}$.

Sterjenning xususiy ogirligi $G=\gamma Al$ ekanligini e'tiborga olib, oxirgi ifodani quyidagi ko'rinishda yozamiz: $\Delta l = \frac{(F + 0,5Gl)}{EA}$. $F=0$ bo'lgan hol uchun $\Delta l_G = \frac{Gl}{2EA}$. Demak, sterjenning xususiy og'irlik kuchidan hosil bo'lgan mutlaq deformatsiyasi sterjen og'irligiga teng, ammo uning uchiga qo'yilgan kuchdan hosil bo'ladigan mutlaq deformatsiyaga nisbatan ikki baravar kam bo'lar ekan.

Endi tajribalardan olingan cho'zilish yoki siqilish diagrammalaridan foydalanib, materiallarning energetik tavsiflarini aniqlashga o'tamiz. Cho'zilish diagrammasining faqat Guk qonuni o'rinli bo'lgan OA chegarasidan foydalanib, sterjenni cho'zish uchun sarflangan **elementar ishni aniqlaymiz**: $W = F \frac{\Delta l}{2}$. Demak, statik ravishda qo'yilgan kuchning bajargan ishini aniqlash uchun mazkur kuchning oxirgi qiymatini mutlaq deformatsiyaning oxirgi qiymati yarmiga ko'paytirish lozim.

Agar sterjen kesimlaridagi kuchlanishlar elastiklik chegarasidan ortib ketmasa, kuchning ta'siri olingandan keyin u o'zining dastlabki geometrik shakliga to'liq

qaytadi; bu jarayon albatta, sterjen materialida to'plangan deformatsiyaning potensial energiyasi hisobiga amalga oshadi.

Umumiy holda, F kuchning bajargan ishi energiyaning saqlanish qonuniga ko'ra, zarralarning kinetik va deformatsiyaning potensial energiyasiga aylanadi:

$W = K + U$. Kuch statik ravishda ta'sir etganligi sababli sterjen zarralarining tezligi taxminan nolga teng deb olinadi, ya'ni $K = 0$ bo'ladi. Shu sababli, tashqi kuchning bajargan ishi miqdor jihatidan deformatsiyaning potensial energiyasiga teng bo'ladi: $W = U$. Guk qonuni va $W = F \frac{\Delta l}{2}$ formulani e'tiborga olsak $U = \frac{F^2 l}{2EA}$.

Oxirgi formula tarkibidagi F kuchning qiymatini $F = \sigma A$ yoki $F = \frac{\delta EA}{l}$, ifodalar yordamida yo'qotib, deformatsiyaning potensial energiyasini quyidagi ko'rinishlarda yozamiz: $U = \frac{\sigma^2 Al}{2E}$, $U = \frac{\delta^2 Al}{2E}$. Bu deformatsiyaning potensial energiyasi hamma vaqt musbat ekanligini ko'rsatadi.

Ba'zi masalalarni yechishda solishtirma potensial energiya formulasidan ham foydalanishga to'g'ri keladi. Sterjenning hajm birligiga to'g'ri kelgan potensial energiya solishtirma potensial energiya deb atalib, u $a = \frac{U}{V} = \frac{\sigma^2}{2E}$ yoki $a = \frac{\delta \cdot E}{2}$ ko'rinishlarda ifodalanadi.

Pog'onali sterjenlar uchun deformatsiyaning potensial energiyasi quyidagicha yoziladi: $U = \sum_{i=1}^n \frac{N_i^2 l_i}{2EA_i}$. Bunda, N_i i - oraliqning ko'ndalang kesimidagi bo'ylama kuch; A_i va l_i i -oraliqning ko'ndalang kesim yuzasi va uning uzunligi.

Takrorlash uchun savollar:

1. Materiallarning mexanik xossalarini o'rganish deganda nimalar o'rganiladi?
2. Materialning elastiklik chegarasi deb nimaga aytiladi?
3. Elastiklik moduli nimani xarakterlaydi va qanday o'lchov birligida o'lchanadi?
4. Cho'zilish va siqilish deformatsiyasida xususiy og'irlikni qanday hisobga olinadi?

5. Cho'zilish va siqilish deformatsiyasida potensial energiya qanday aniqlanadi?

15-mavzu. Cho'zilish yoki siqilishda uchraydigan statik noaniq masalalar. Statik noaniqlik darajasi. Statik noaniq sistemalarni hisoblash tartibi. Statik noaniq sistemalarda ichki kuchlarni aniqlash.

Reja:

1. Statik noaniq sterjenlar konstruksiyalarida hosil buluvchi holatlar va ularning turlari.
2. Statik noaniq sistemalarni hisoblash tartibi.

Tayanch so'z va iboralar:

Statik noaniq sterjenlar sistemasi, statik noaniqlik darajasi, asosiy sistema, muvozanat tenglamasi, deformatsiyaning birgalikdagi tenglamasi.

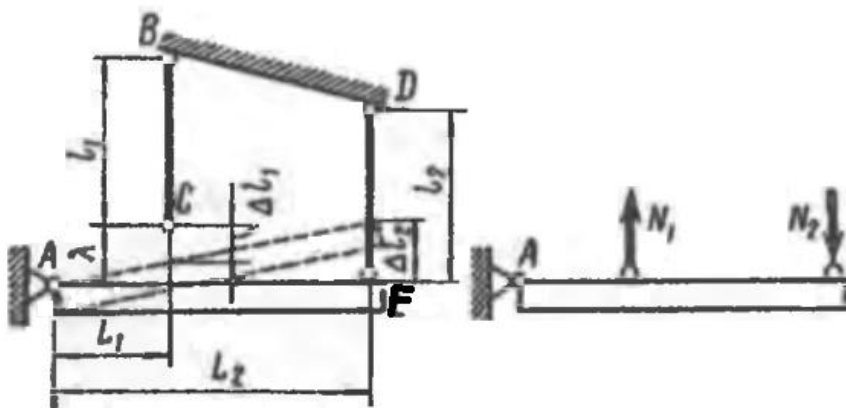
Cho'zish yoki siqilish deformatsiyasiga oid masalalarni yechayotganda, bordi-yu, sterjen (sterjenlar tizimi)ning tayanchlarida hosil bo'luvchi reaksiya kuchlari yoki ularning ko'ndalang kesimlaridagi zo'riqish kuchlarini statikaning muvozanat tenglamalari yordamida aniqlash mumkin bo'lmasa, bunday masalalarga cho'zish yoki siqilishdagi statik aniqmas masalalar deyiladi. Tekshirilayotgan obyektlarning tayanchlarida hosil bo'luvchi reaksiya kuchlarini va ularning ixtiyoriy kesimlaridagi ichki kuchlarni faqat statikaning muvozanat tenglamalari yordamida aniqlash mumkin bo'lgan masalalar statik aniq masalalar deyiladi. Aksincha, reaksiya kuchlari va ichki kuchlarni statikaning muvozanat tenglamalari yordamida aniqlash mumkin bo'lmagan masalalar statik aniqmas masalalar deyiladi.

Barcha statik aniqmas konstruksiyalar «ortiqcha» bog'lanishlarga, ya'ni noma'lum zo'riqish yoki tayanch reaksiyalariga ega bo'ladi. Garchi bu bog'lanishlar konstruksiyalarning geometrik o'zgarmasligi va muvozanatini ta'minlash uchun zarur bo'lmasada, ularning mustahkamligi, bikrligi va ustuvorligini oshirish uchun xizmat qiladi. Ortiqcha bog'lanishlarni aniqlashda statika tenglamalaridan tashqari qo'shimcha tenglamalar ham tuzish zarur.

Masalaning statik aniqmaslik darajasi undagi ortiqcha noma'lumlarning soni bilan belgilanadi. Masalan, ortiqcha noma'lumlar soni ikkita bo'lganda masala ikki marta statik aniqmas deb hisoblanadi. Bunday masalani yechish uchun statikaning muvozanat tenglamalariga qo'shimcha ravishda yana ikkita qo'shimcha tenglama tuzish kifoya.

Statik aniqmas konstruksiyalarning sterjenlaridan birortasi loyihadagi oichamlari bo'yicha tayyorlanmasa, montajdan so'ng mazkur sterjendagina emas, balki u bilan bog'langan boshqa qismlarda ham qo'shimcha zo'riqishlar hosil bo'ladi. Masalan, aytaylik, shaklda tasvirlangan statik aniqmas konstruksiyaning birinchi sterjeni

loyihadagidan A miqdorga qisqa qilib tayyorlangan bo'lsin. Albatta, bunday konstruksiyani yigish (montaj



qilish) uchun esa BC sterjenni cho'zish, DE sterjenni esa siqish kerak. Shu konstruksiyaning sterjenlardagi zo'riqish kuchlarini toping.

Yechish: Statikaning muvozanat tenglamasini tuzamiz: $\sum M_{Ai} = 0$ yoki $N_1 L_1 - N_2 L_2 = 0$ ko'rinishda yozib, berilgan tizimning bir marta statik aniqmas ekanligiga ishonch hosil qilamiz. Konstruksiyaning deformatsiyadan keyingi holati bo'yicha deformatsiya tenglamasini tuzamiz: $\frac{\Delta l_2}{L_2} = \frac{\lambda - \Delta l_1}{L_1}$. Guk qonunidan

foydalanib, sterjenlarning deformatsiyalarini aniqlaymiz: $\Delta l_1 = \frac{N_1 l_1}{EA_1}$, $\Delta l_2 = \frac{N_2 l_2}{EA_2}$.

Yuqoridagi barcha tenglamalarni birgalikda yechib, sterjenlardagi zo'riqishlarni aniqlaymiz: $N_1 = \lambda \frac{L_2^2 A_1 A_2 E}{l_2 A_1 L_1^2 + l_1 A_2 L_2^2}$, $N_2 = \lambda \frac{L_1 L_2 A_1 A_2 E}{l_2 A_1 L_1^2 + l_1 A_2 L_2^2}$

Yoqorida ta'kidlanganidek, nomalumlardan sonidan statikaning muvozanat tenglamalarining ayirmasi oqtiqcha bog'lanishlar sonini yoki statik aniqmaslik sonini aniqlaydi. Statik aniqmaslik darajasini S harfi bilan belgilasak, statik aniqmaslik darajasi quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$S = \Sigma R - n$$

bu yerda ΣR - noma'lumlardan soni; n - berilgan sistema uchun tuzilishi mumkin bo'lgan statikaning muvozanat tenglamalar soni.

Agar $S=1$ bo'lsa, sistema bir marta statik aniqmas sistema, $S=2$ bo'lsa, sistema ikki marta statik aniqmas sistema deyiladi. Statik aniqmas masalalarni yechishda qo'shimcha ya'ni birgalikdagi deformatsiya tenglamalar soni shu statik aniqmaslik darajasiga teng bo'ladi.

Konstruksiyaning alohida elementlari orasidagi deformatsiya va ko'chishlar orasidagi bog'lanish tenglamalari deformatsiyaning birgalikdagi tenglamasi deyiladi.

Konstruksiya elementlari bir-biridan ajralmagan holda deformatsiyalanadi yoki elementlari bir-biriga nisbatan ko'chadi. Bular umumiy holda konstruksiyaning deformatsiyasini hosil qiladi. Mana shu holatni elementlarning birgalikdagi deformatsiyasi deyiladi. Deformatsiyaning birgalikdagi tenglamasi sistemaning deformatsiyadan keyingi holatiga qarab tuziladi.

Statik aniqmas sistemalarni hisoblashni umumiy qoidasi quyidaicha:

1. Qanday zo'riqlashlarni aniqlash kerak va ular qanday statik aniqmaslik darajasini tashkil qiladi.
2. Kesish usulidan foydalanib, noma'lumlarni o'z tarkibiga oluvchi statikaning muvozanat tenglamalari tuziladi.
3. Sistemaning deformatsiyalanish holatiga qarab deformatsiyaning birgalikdagi tenglamasi tuziladi.
4. Guk qonunidan foydalanib deformatsiya yoki ko'chishlarni hosil bo'luvchi noma'lum zo'riqlashlar bilan ifodalanadi.
5. Statika tenglamalari va deformatsiyaning birgalikdagi tenglamalari birgalikda yechilib noma'lum zo'riqlashlar aniqlanadi.

Statik aniqmas sterjenli sistemalarni yechishga doir masalalarni ko'raylik.

Masala. Ikki tomoni qistirib mahkamlangan sterjenni o'qi bo'ylab F kuch ta'sir qilayapti. Shu sterjenda hosil bo'ladigan zo'riqish aniqlansin va epyurasi qurilsin.

Yechish: F kuch sterjen o'qi bo'ylab yo'nalganligi uchun sistema tayanchlarida faqat

sterjen o'qi bo'ylab yo'nalgan

gorizontal reaksiya kuchlari H_B va

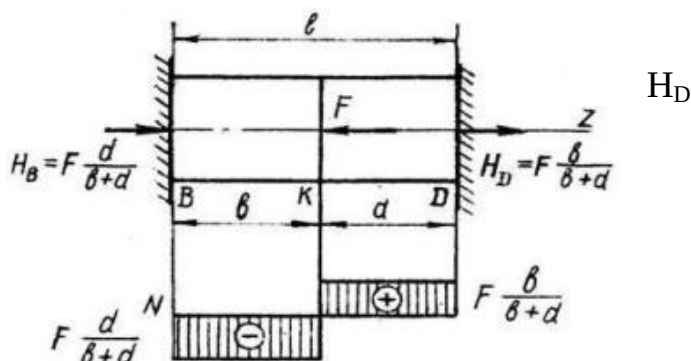
hosil bo'ladi. Bir to'g'ri chiziq

bo'ylab yo'nalgan kuchlar sistemasi

uchun faqat bitta muvozanat

tenglamasini tuzish mumkin.

Shuning uchun statik aniqmaslik darajasi



$$S = \Sigma R - n = 2 - 1 = 1$$

ga teng ya'ni sistema bir marta statik aniqmas sistemadir.

Sistemaga statikaning muvozanat tenglamasini tuzamiz:

$$\Sigma z = 0; H_B - F + H_D = 0$$

Sterjenning uchlari qistirib mahkamlangan bo'lgani uchun uning umumiy uzunligi o'zgarmay qoladi. Shuning uchun sterjenning absolyut deformatsiyasi nolga teng bo'ladi. U holda deformatsiyaning birgalikdagi tenglamasi

$$\Delta l = 0$$

yoki kengaytirilgan holda

$$\Delta l = \Delta l_b + \Delta l_d = 0$$

ko'rinishda bo'ladi.

Guk qonunidan foydalanib bo'ylama deformatsiyani cho'zilish-siqilishdagi ichki zo'riqish kuchi orqali ifodalaymiz:

$$\Delta l = \frac{N_{BK} b}{EA} + \frac{N_{DK} d}{EA} = 0$$

Kesish usulidan foydalanib b va d oraliqdagi bo'ylama kuchni tayanch reaksiyalari orqali ifodalaymiz:

$$N_{BK} = -H_B, \quad N_{DK} = H_D.$$

Bularni yuqoridagi tenglamaga qo'ysak

$$\Delta l = -\frac{H_B b}{EA} + \frac{H_D d}{EA} = 0$$

EA ga qisqartirsak

$$H_B b = H_D d .$$

Bu tenglamani muvozanat tenglamasi bilan birgalikda yechsak

$$H_B = F \frac{d}{b+d}, \quad H_D = F \frac{b}{b+d}$$

hosil bo'ladi.

Bu olingan ifodalar yordamida bo'ylama kuch epyurasi qurilgan va u yuqoridagi chizmada tasvirlangan.

Nazorat savollari:

1. Qanday masalalar statik noaniq masalalar deyiladi?
2. Statik noaniq masalalar qanday yechiladi?
3. Statik noaniqlik darajasi qanday aniqlanadi?
4. Statik noaniq masalalarni yechishda qo'shimcha tenglamalar qanday tuziladi?
5. Statik noaniq sterjenli sistemada bo'ylama kuch epyurasi qanday quriladi.

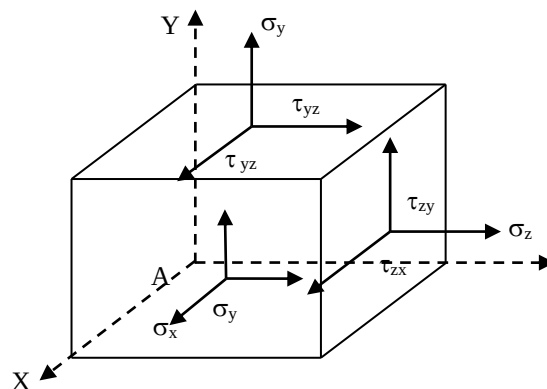
16-mavzu. Sterjenning qiya kesimlaridagi kuchlanishlarni aniqlash. Bosh kuchlanishlar va bosh yuzalar. Hajmiy kuchlanganlik holati.

Reja:

1. Kuchlanish holatining turlari.
2. Urinma kuchlanishlarning juftlik qonuni.
3. Tekis kuchlanish holatida ixtiyoriy qiya yuzachalardagi kuchlanishlar.
4. Tekis kuchlanish holati uchun lar va bosh kuchlanishlar.
5. Hajmiy kuchlanganlik holati.

Tayanch so'z va iboralar:

Kuchlanish holati, qiya kesimdagi kuchlanish, chiziqli kuchlanish, tekis kuchlanish, hajmiy kuchlanish, bosh yuza, bosh kuchlanish.



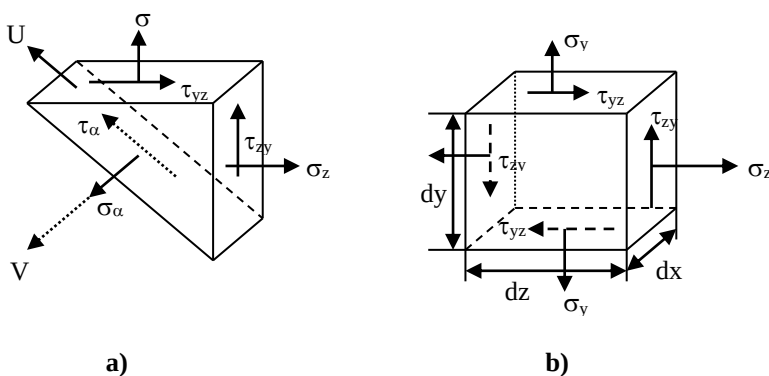
Sterjen kesimlarida hosil bo'ladigan kuchlanishlarning miqdori va turi kesimning tashqi yuklamaga nisbatan joylashishiga bog'liq bo'lib, nuqtadan o'tuvchi kesimlardagi barcha normal va urinma kuchlanishlar birgalikda nuqtaning kuchlanish holatini ifodalaydi. Kuchlanish holatini tekshirish uchun ko'rilayotgan nuqta atrofidan 6 ta kesim o'tkazib to'g'ri burchakli elementar parallelepiped ajratamiz. Parallelepipedning barcha qirralari A nuqtadan o'tgani uchun, uning o'lchamlari kichraytirilsa u shu nuqtaga intiladi. Bu holda kesishuvchi tekisliklardagi kuchlanishlarni, tekshirilayotgan nuqtaga ta'sir qilayotgan kuchlanishlar deb qarash mumkin.

Kesishuvchi yuzachalarda hosil bo'layotgan to'la kuchlanishni 3 ta tashkil etuvchilarga, ya'ni – bittasi yuzachaga normal bo'lgan – normal kuchlanishga, ikkitasini esa kesim tekisligida yotuvchi urinma kuchlanishlarga ajratish mumkin (shaklda ko'rsatilgan). Normal kuchlanishlarni mos x, y, z o'qlari bo'yicha σ_x , σ_y , σ_z harflari bilan belgilaymiz. Urinma kuchlanishlarni ikkita indeksli τ_{xy} kabi harflar bilan belgilaymiz.

Birinchi indeks yuzachaning qaysi o'qqa perpendikulyarligini ko'rsatsa, ikkinchisi τ vektor yo'nalishini ko'rsatadi. O'qlarning musbat yo'nalishini an'anaviy ravishda olamiz.

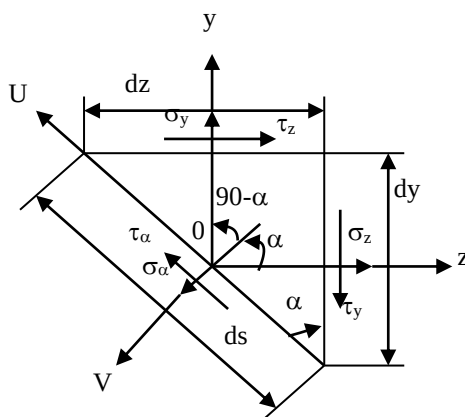
Cho'zuvchi σ kuchlanishlarni musbat, siquvchi σ kuchlanishlarni manfiy deb olamiz. Urinma τ kuchlanishlarning ishorasi biz ko'rayotgan masalalarda uncha ahamiyatga ega emas.

Cheksiz kichik elementning qirralarida (nuqtadan o'tuvchi o'zaro tik 3 ta tekisliklarda) hosil bo'ladigan kuchlanishlar rasmda ko'rsatilgan. Elementning ko'rinmayotgan qirralarida ham huddi shunday qarama-qarshi yo'nalgan



kuchlanishlar hosil bo'ladi.

Agar ko'rilayotgan nuqta shunday parallelepiped ajratish mumkin bo'lsaki, uning barcha qirralarida kuchlanishlar bo'lsa, bunday kuchlanish holati hajmiy kuchlanish holati. Agar ajratilgan parallelepipedning



atrofidan

mavjud

deyiladi.

ikkita

qarama-qarshi qirralari kuchlanishdan holi bo'lsa, bunday kuchlanish holati tekis, to'rtta qarama-qarshi qirralari kuchlanishdan holi bo'lsa chiziqli kuchlanish holati deb ataladi. Masalan: suvning gidrostatik bosimi ostidagi jismda fazoviy kuchlanish holati hosil bo'ladi. Materiallar qarshiligida hajmiy kuchlanish holati deyarli amalda ko'rilmaganligi uchun, tekis kuchlanish holatini tekshiramiz. Chiziqli kuchlanish holat esa tekis kuchlanish holatining xususiy holidan kelib chiqadi. Tekis kuchlanish holatida kuchlanishlarni quyidagicha, faqat bitta indeks orqali ham belgilash mumkin, ya'ni $\tau_y = \tau_{zy}, \tau_z = \tau_{yz}$ deb. Tekis kuchlanish holatida bo'lgan elementar prizmaning muvozanatini ko'ramiz.

Rasmda barcha kuchlanishlarning musbat yo'nalishlari ko'rsatilgan. Prizmaning o'lchamlari kichik bo'lganligi uchun kuchlanishlar uning qirralari bo'ylab tekis taqsimlangan deb qaraymiz, ya'ni qirraga ta'sir etuvchi kuch kuchlanishning qirra yuzachasiga ko'paytmasiga teng. Statikaning muvozanat tenglamalariga asosan prizma ta'sir qilayotgan barcha kuchlardan U va V o'qlariga proeksiyalar olib, ularning yig'indisini nolga tenglaymiz:

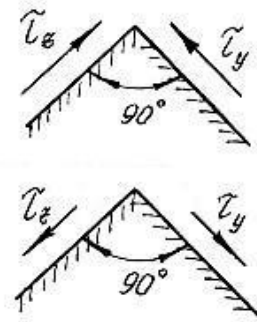
$$\begin{aligned} \sum U &= \tau_{\alpha} ds \cdot dx - (\sigma_z \cdot dy \cdot dx + \tau_z \cdot dz \cdot dx) \cos \alpha - \\ &- (\sigma_y \cdot dz \cdot dx - \tau_y dy \cdot dx) \cos(90^\circ - \alpha) = 0 \\ \sum V &= \tau_{\alpha} ds \cdot dx - (\sigma_z \cdot dy dx + \tau_z \cdot dz dx) \sin \alpha + \\ &+ (\sigma_y \cdot dz \cdot dx - \tau_y dy \cdot dx) \sin(90^\circ - \alpha) = 0 \end{aligned}$$

bu yerda $ds = dy / \cos \alpha$

O nuqtaga nisbatan momentlar yig'indisini olib uni ham nolga tenglaymiz

$$\sum M_0 = \tau_y dy \cdot dx \cdot \frac{dz}{2} + \tau_z \cdot dz \cdot dx \cdot \frac{dy}{2} = 0 \quad \text{bundan}$$

$\tau_y = -\tau_z$ kelib chiqib, bu tenglik urinma kuchlanishlarning **juftlik qonuniyati** deyiladi. Bu **qonun** o‘zaro tik yuzachalarda hosil bo‘luvchi urinma kuchlanishlar miqdor jihatidan teng, yo‘nalish jihatidan qarama-qarshi ekanligini isbotlaydi.



Proyeksiya tengliklarni ixchamlasak va juftlik qonunini e‘tiborga olsak quyidagi munosabatlar hosil bo‘ladi: $\sigma_\alpha = \sigma_z \cos^2 \alpha + \sigma_y \sin^2 \alpha + \tau_z \sin 2\alpha$,

$\tau_\alpha = \frac{\sigma_z - \sigma_y}{2} \sin 2\alpha - \tau_z \cos 2\alpha$. Hosil bo‘lgan ifodalar, agar o‘zaro tik ikkita yuzachada σ_x , σ_y , τ_z , qiymatlari ma’lum bo‘lsa, berilgan nuqtadan o‘tuvchi ixtiyoriy yuzachada hosil bo‘ladigan σ_α va τ_α topish imkoniyatini beradi. Bu yerdagi z , y o‘qlarining yo‘nalishlari ixtiyoriy bo‘lishi mumkin.

Qiya yuzachaga tik bo‘lgan, ya’ni $\alpha + 90^\circ$ burchakka burilgan yuzachadagi normal kuchlanishni $\sigma_\alpha = \sigma_z \cos^2 \alpha + \sigma_y \sin^2 \alpha + \tau_z \sin 2\alpha$ (1) formulaga asosan topsak $\sigma_{\alpha+90} = \sigma_z \cos^2(\alpha + 90^\circ) + \sigma_y \sin^2(\alpha + 90^\circ) + \tau_z \sin 2(\alpha + 90^\circ)$ (2) bo‘ladi.

Yuqoridagi (1) bilan (2) ni qo‘shib quyidagini hosil qilamiz: $\sigma_\alpha + \sigma_{\alpha+90} = (\sigma_z + \sigma_y)(\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha)$ ya’ni $\sigma_\alpha + \sigma_{\alpha+90} = \sigma_z + \sigma_y = \text{const}$.

Natijada tekshirilayotgan nuqtadan o‘tuvchi tik yuzachalardagi normal kuchlanishlarning yig‘indisi o‘zgarmas miqdor ekanligi isbotlandi. Berilgan α burchakning o‘zgarishi bilan har bir qiya yuzachadagi normal kuchlanishning qiymati ham o‘zgaradi. Demak, shunday o‘zaro tik yuzachalar mavjud bo‘lishi kerakki, ularning birida normal kuchlanish eng katta, ikkinchisida esa eng kichik qiymatga ega bo‘ladi. Bu yuzachalar bosh yuzachalar deyilib, unda hosil bo‘lgan kuchlanishlar esa bosh kuchlanishlar deb ataladi.

Muhandislik konstruksiyalarini hisoblaganda nuqta orqali o‘tgan barcha yuzalarda hosil bo‘ladigan kuchlanishlarni bilish shart emas, faqat kuchlanishlarning eng katta va kichik qiymatlarini aniqlash yetarli. Shuning uchun bosh kuchlanishlarni

va bu kuchlanishlar hosil bo'layotgan bosh yuzalarni aniqlash asosiy masalalardan biri bo'ladi.

Bosh yuzalarni $tg2\alpha_0 = \frac{2\tau_z}{\sigma_z - \sigma_y}$ formula yordamida, bosh kuchlanishlar

$\sigma_{\min}^{\max} = \sigma_{1,2} = \frac{\sigma_z + \sigma_y}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_z - \sigma_y)^2 + 4\tau_z^2}$ formula yordamida aniqlanadi. Bu yerda, α_0 –

bosh yuzalarning σ_z va σ_y kuchlanishlar ta'sir qilayotgan yuzalarga nisbatan buralishini ifodalovchi burchak. $\sigma_{\max}$ kuchlanish ta'sir qilayotgan bosh yuza holatini aniqlash uchun katta qiymatli σ_z yoki σ_y ta'sir qilayotgan yuzani α_0 burchakka burish kerak, ya'ni shu yuzaga ta'sir qilayotgan urinma kuchlanish elementar parallelepiped markaziga nisbatan qaysi yo'nalishda aylantirishga harakat qilayotgan bo'lsa, shu yo'nalishda burish kerak. $\sigma_{\max}$ ta'sir qilayotgan bosh yuza aniqlangandan so'ng unga tik bo'lgan $\sigma_{\min}$ kuchlanishli ikkinchi bosh yuza osonlik bilan topiladi.

Bosh yuzalarda urinma kuchlanish nolga teng bo'ladi. Urinma kuchlanishlarning ekstremal qiymatlari hosil bo'ladigan yuzalarni holati quyidagi formula yordamida aniqlanadi: $tg2\alpha = \frac{\sigma_z - \sigma_y}{2\tau_z}$, urinma kuchlanishlarning ekstremal qiymati esa $\tau_{\min}^{\max} = \pm \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2}$ formula yordamida aniqlanadi. Urinma kuchlanishlar ekstremal qiymatlarga erishadigan yuzalar **siljish yuzalari** deyiladi. Urinma kuchlanishlarning juftlik qonuniga asosan, miqdor jihatidan $\tau_{\max} = \tau_{\min}$.

Siljish yuzalarida hosil bo'ladigan normal kuchlanishlar quyidagicha bo'ladi:

$$\frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} = \frac{\sigma_z - \sigma_y}{2}.$$

Olingan natijalarni cho'zilish va siqilishga ishlovchi sterjenlar qiya kesimlarida hosil bo'ladigan kuchlanishlarni aniqlashga qo'llasak, bu holda bosh yuzalardan biri tik ko'ndalang kesim yuzasi bilan, ikkinchisi esa sterjen o'qiga parallel bo'lgan bo'ylama yuza bilan ustma–ust tushishini ko'rish mumkin. Bosh kuchlanishlardan

biri $\sigma_{\max} = \sigma = \frac{N}{F}$, ikkinchisi $\sigma_{\min} = 0$ ga teng bo'ladi. Siljish yuzasi esa ko'ndalang kesimga nisbatan 45° burchak ostida burilgan bo'ladi.

Jismdan qirralari cheksiz kichik bo'lgan parallelepiped ajratib, fazoviy holat uchun umumlashgan Guk qonunini ko'ramiz.

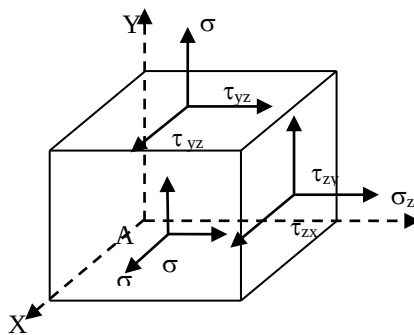
Parallelepipedning tomonlari bosh yuzalar bilan ustma-ust tushsin, bu holda uning tomonlariga faqat bosh kuchlanishlar $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ ta'sir qilib, qirralari shu bosh kuchlanishlar yo'nalishi bo'yicha deformatsiyalanadi. Bu qirralarni nisbiy deformatsiyalarini $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ deb belgilaymiz.

Bu holda umumlashgan Guk qonuni quyidagicha ifodalanadi:

$$\begin{aligned}\varepsilon_1 &= \frac{1}{E} [\sigma_1 - \nu(\sigma_2 + \sigma_3)] \\ \varepsilon_2 &= \frac{1}{E} [\sigma_2 - \nu(\sigma_1 + \sigma_3)] \\ \varepsilon_3 &= \frac{1}{E} [\sigma_3 - \nu(\sigma_1 + \sigma_2)]\end{aligned}$$

Bu nisbiy $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ deformatsiyalar faqat parallelepiped hajmini o'zgartirishga sabab bo'ladi.

Agarda parallelepiped tomonlari bosh yuzalar bilan ustma-ust tushmasa, u holda uning tomonlarida urinma kuchlanishlar τ ham paydo bo'lib, umumlashgan Guk qonuni quyidagicha yoziladi:

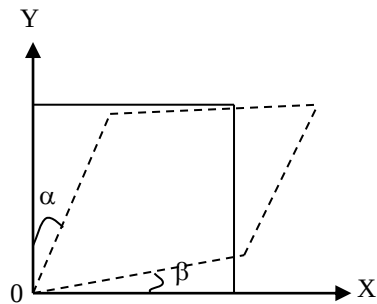


$$\begin{aligned}\varepsilon_x &= \frac{1}{E} [\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)] & \gamma_{xy} &= \frac{\tau_{xy}}{G} \\ \varepsilon_y &= \frac{1}{E} [\sigma_y - \nu(\sigma_x + \sigma_z)] & \gamma_{yz} &= \frac{\tau_{yz}}{G} \\ \varepsilon_z &= \frac{1}{E} [\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)] & \gamma_{zx} &= \frac{\tau_{zx}}{G}\end{aligned}$$

Bu yerda E – elastiklik moduli, G – siljishdagi elastiklik moduli, ν – Puasson koeffitsienti, $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$ – x, y, z o'qlari bo'yicha parallelepiped qirralarining nisbiy bo'ylama deformatsiyalari, $\gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}$ – nisbiy siljish deformatsiyalari bo'lib, ular qirralar orasidagi to'g'riburchak o'zgarishini ifodalaydi. Buni quyidagi misolda ko'rishimiz mumkin, parallelepipedni bitta tomonini olsak, u urinma kuchlar ta'sirida quyidagicha deformatsiyalanadi:

Bu holda $\gamma_{xy} = \alpha + \beta$ bo'ladi.

Bu siljish deformatsiyalari γ_{xy} , γ_{xz} , γ_{yz} lar faqat paralelepipedning shaklini o'zgartirishga sabab bo'ladi.



Yuqorida yozilgan qonunlar deformatsiyalar bilan kuchlanishlarni fazoviy kuchlanish holatida bog'lovchi munosabatlar bo'lganligi uchun umumlashgan Guk qonuni deb ataladi. Bu munosabatlar kuchlanishlarning qiymatlari proporsionallik chegarasidan oshmagandagina ma'noga ega.

Xususiy hollarda umumlashgan Guk qonuni tekis va chiziqli kuchlanish holatlar uchun Guk qonuni kelib chiqadi.

Takrorlash uchun savollar:

1. Nuqtaning kuchlanish holatining qanday turlari bor?
2. Tekis kuchlanish holati deganda qanday kuchlanish holatini tushunasiz?
3. Urinma kuchlanishlarning juftlik qonuni nimani ifodalanadi?
4. Tekis kuchlanish holatida qiya kesimdagi kuchlanishlar qanday aniqlanadi?
5. Bosh kuchlanish va bosh yuzalarni ta'riflang?

17-mavzu. Siljishda va buralishda kuchlanish va deformatsiya. Buralishda doira kesimli sterjenni mustahkamlik va bikrlikka hisoblash. Buralishda statik noaniq masalalar.

Reja:

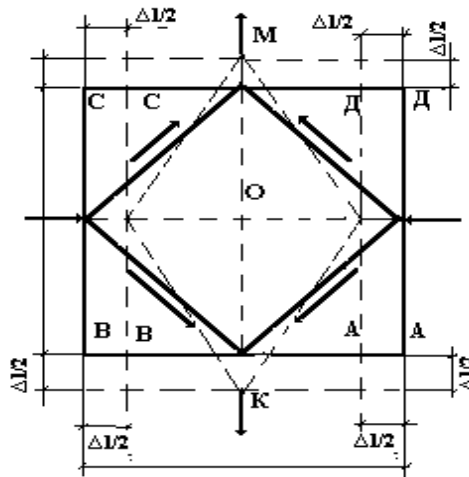
1. Siljish. Sof siljish.
2. Sof siljishda bosh kuchlanishlar. Siljish uchun Guk qonuni.
3. Elastiklik doimiylar orasidagi bog'lanish.
4. Kesimi doiraviy vallarning buralishida qabul qilingan asosiy farazlar.
5. Kesim yuzasi doiraviy sterjenlarning buralishi, burovchi moment va uning epyurasi.
6. Urinma kuchlanishlar, mustahkamlik va bikrlilik shartlari. Val kesimini inersiya va qarshilik momentlari.

Tayanch so'z va iboralar:

Siljish deformatsiyasi, sof siljish, elastiklik moduli, urinma kuchlanish, siljish burchagi, bosh yuza, bosh kuchlanish, buralish deformatsiyasi, burovchi moment, kesimi doiraviy val, inersiya momenti, qarshilik momenti, buralish burchagi, nisbiy buralish burchagi, buralishdagi mustahkamlik sharti, buralishdagi bikrlilik sharti.

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

Quyidagi xususiy holni tekshiramiz. Tekis kuchlanish holatida bo'lgan sterjendan bir elementar kub ajratamiz. Bu kubning tomonlari bosh yuzalar bo'lib, bu yuzalarga cho'zuvchi va siquvchi bosh normal kuchlanishlar ta'sir qilgan deylik, ya'ni $\sigma_1 = -\sigma_3 = \sigma$ bo'lsin (1 - rasm).



1 - rasm

Eng katta urinma kuchlanishlar 45° va 135° burchak hosil qilgan yuzalarda vujudga kelishini bilamiz.

Tekshirilayotgan xususiy hol uchun bu xildagi yuzalarda bo'ladigan urinma va normal kuchlanishlar quyidagicha topiladi.

$$\tau_{\max} = (\sigma_1 - \sigma_3)/2 = [\sigma - (-\sigma)]/2 = \sigma$$

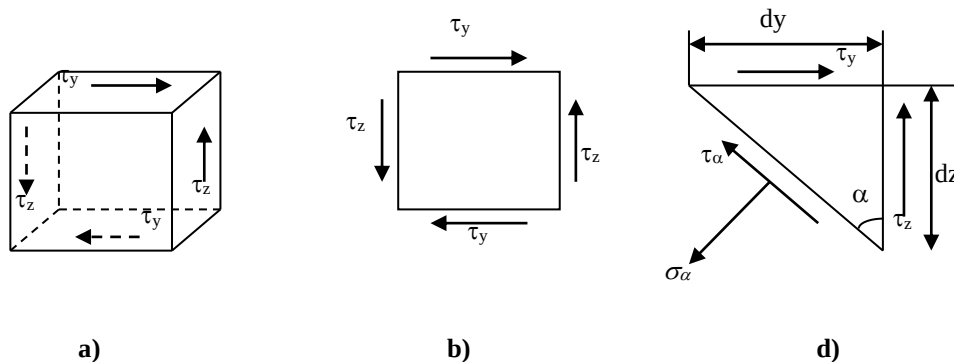
Demak, $\sigma_1 = -\sigma_3 = \sigma = \tau$ bo'ladi, normal kuchlanishlar esa quyidagicha topiladi: $\sigma_\alpha = 0$; $\sigma_\beta = 0$.

Nuqta atrofidan ajratilgan elementar parallelepiped yuzalari bo'ylab faqat urinma kuchlanishlar ta'sir qilsa, bu holda materialda sof siljish deformatsiyasi hosil bo'ladi (2 a,b-rasm).

Tik qirraga nisbatan α burchak ostida joylashgan yuzadagi normal va urinma kuchlanishlarni aniqlasak, $\sigma_z = \sigma_y = 0$ bo'lganligi uchun

$$\sigma_\alpha = \tau_z \sin 2\alpha \quad (1)$$

$$\tau_\alpha = -\tau_z \cos 2\alpha. \quad (2)$$



2-rasm. Elementar parallelepipedning tekis kuchlanish holatidagi yon tomonlariga faqat urinma kuchlanishlar ta'sir etgan hol:

a,b) sof siljish deformatsiyasi; d) sof siljishda α burchak ostidagi kesimga ta'sir etayotgan kuchlanishlar.

Bu (2) formuladan ko'rinadiki, eng katta urinma kuchlanish $\alpha=0$ yoki $\alpha=90^\circ$ da hosil bo'lib, u ekstremal kuchlanishlar τ_z ga (yoki τ_y ga) teng bo'lishi mumkin. Bu kuchlanishlar yotgan yuzalar siljish yuzalari bo'lib, bu yuzalarga normal kuchlanishlar ta'sir qilmaganligi sababli, siljish yuzalaridan farqli ravishda, ular sof siljish yuzalari deb ataladi.

Sof siljishdagi bosh yuzalar va bosh kuchlanishlarning miqdorini topsak.

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2\tau_z}{\sigma_z - \sigma_y} = \infty, \text{ demak } 2\alpha = 90^\circ, \alpha = 45^\circ, \text{ ya'ni bosh yuzalar sof siljish yuzalariga nisbatan } 45^\circ \text{ ga burilgan bo'ladi.}$$

Bosh kuchlanishlarni aniqlasak

$$\sigma_{\max}^{\min} = \frac{\sigma_z - \sigma_y}{2} \pm \sqrt{(\sigma_z - \sigma_y)^2 + 4\tau_z^2} = 0 \pm \frac{1}{2} \sqrt{0 + 4\tau_z^2}$$

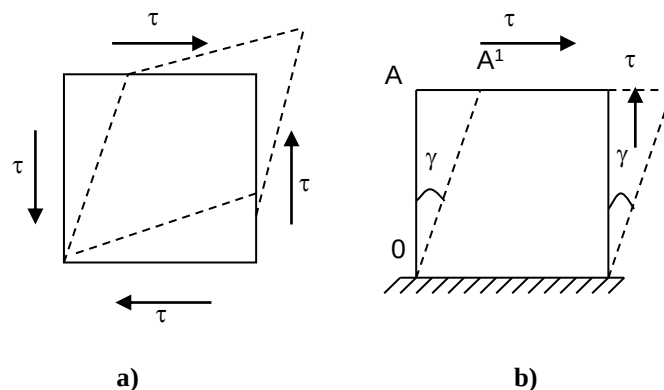
bo'lgani uchun

$$\sigma_{\max} = \tau_z, \sigma_{\min} = -\tau_z$$

bo'ladi.

Shunday qilib, sof siljishda bosh kuchlanishlarning miqdori o'zaro teng, yo'nalishlari esa qarama-qarshi ekanligini aniqladik.

Urinma kuchlanishlar ta'siridagi elementar parallelopiped (3-rasm) deformatsiyasini ko'ramiz.



3-rasm. Urinma kuchlanishlar ta'siridagi elementar parallelopiped:
a) urinma kuchlanish parallelopipedning barcha qirralariga ta'sir etgandagi deformatsiya; b) parallelopipedning pastki qirrasini mahkamlangan holdagi deformatsiya.

Bu holda parallelopipedning o'lchamlari o'zgarmaydi, faqat urinma kuchlanishlar ta'sirida deformatsiyalanadi (3-rasm), ya'ni shaklini o'zgartiradi. Deformatsiya kichik bo'lganligi sababli parallelopipedning pastki qirrasini qistirib mahkamlangan deb qarash mumkin (3b-rasm).

A A' kattalik, parallelopipedning deformatsiyasini ifodalab, absolyut siljish deyiladi. Nisbiy kattalik $\frac{AA'}{AO} = \operatorname{tg} \gamma$ siljishdagi nisbiy deformatsiyani ifodalaydi, γ burchak esa siljish burchagi deyiladi. $\gamma \ll 1$ bo'lganligi uchun, $\operatorname{tg} \gamma \approx \gamma$ deb olamiz.

O'tkazilgan tajribalar siljishdagi urinma kuchlanish bilan nisbiy deformatsiya o'rtasida to'g'ri chiziqli bog'lanish mavjud ekanligini isbotlaydi, ya'ni

$$\tau = \gamma G \quad (3)$$

Bu (3) qonun siljishdagi Guk qonuni deyiladi.

G – siljishdagi elastiklik moduli yoki ikkinchi tur elastiklik moduli deyiladi. Ikkinchi tur elastiklik moduli ham, Yung moduli kabi kuchlanish o'lchov birligida o'lchanadi.

Birinchi va ikkinchi tur elastiklik modullari o'rtasida quyidagi bog'lanish mavjud:

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} \quad (4)$$

Bu yerda ν – Puasson koeffitsienti.

Agar tashqi kuchlar ta'sirida sterjen ko'ndalang kesimida, ichki kuchlarning burovchi moment hosil bo'lsa, bu holda buralish deformatsiyasi sodir bo'ladi. Burovchi momentni sterjen uzunligi bo'ylab o'zgarishini ko'rsatuvchi grafikka

burovchi moment epyurasi deyiladi. Buralish deformatsiyasi fazoviy konstruksiyalar, vintli prujinalar va boshqa konstruksiya elementlarida hosil bo‘ladi, lekin buralishga ishlovchi ko‘p tarqalgan elementlar – vallar hisoblanadi. Sof buralishga ishlovchi konstruksiya elementiga avtomobilning kardan valini misol qilish mumkin.

Valga tashqi kuchlarning burovchi momenti dvigateldan berilayotgan bo‘lsa, u holda valda hosil bo‘ladigan burovchi momentni quyidagicha aniqlash mumkin:

a) agar quvvat N ot kuchida (o.k.) berilgan bo‘lsa $M_b = 716,2 \frac{N}{n}$

b) agar quvvat N kilovatda (kvt) berilgan bo‘lsa $M_b = 973,6 \frac{N}{n}$

Bu yerda n – valning bir minutda aylanishlar soni.

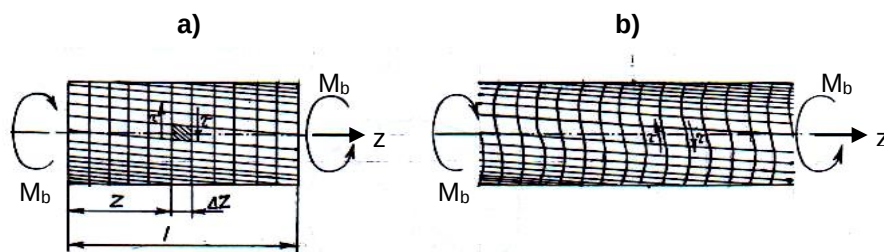
Buralish deformatsiyasini tekshiramiz. Buning uchun burovchi moment M_b bilan yuklangan

doiraviy

ko‘ndalang

kesimli sterjen

sirtiga o‘zaro tik



(bo‘ylama va ko‘ndalang) chiziqlar to‘rini chizib, uni burasak (a-rasm), ko‘ndalang to‘g‘ri chiziqlar to‘g‘riligicha qolib, bo‘ylama chiziqlar bir xildagi γ burchakka og‘adi. Sterjen sirtidagi to‘g‘ri to‘rtburchaklar parallelogramm shaklini olib, har bir ko‘ndalang kesim sterjen o‘qi atrofida φ burchakka buriladi.

Agar to‘g‘ri to‘rtburchak shaklidagi ko‘ndalang kesimga ega bo‘lgan sterjen buralsa, u holda uning ko‘ndalang kesimlari tekis qolmasdan (b-rasm), ko‘ndalang kesimning nuqtalari bir-biriga nisbatan sterjen bo‘ylama o‘qi bo‘ylab ko‘chadi, ya’ni deplanatsiya deb ataluvchi hodisa ro‘y beradi. Bu holda doiraviy kesimli sterjenlarda qo‘llaniladigan tekis kesimlar gipotezasini qo‘llab bo‘lmaydi.

Doiraviy kesimli sterjenlar buralish masalasining nazariy yechimi birinchi bo‘lib mashhur fransuz fizigi Kulon tomonidan olingan bo‘lib, masalani yechishda quyidagi farazlar ishlatilgan:

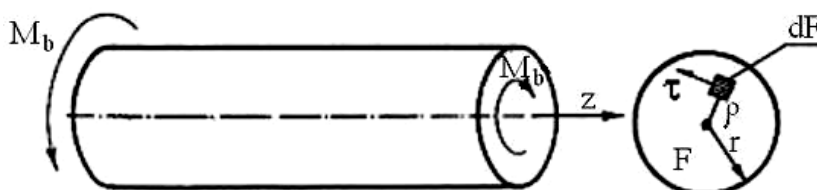
1. Deformatsiyadan keyin sterjen o'qi to'g'riligicha qoladi.

2. Sterjen ko'ndalang kesimi deformatsiyagacha va undan keyin ham tekisligicha qolib, o'qqa nisbatan normal joylashadi (tekis kesimlar gipotezasi), ular faqat o'qqa nisbatan ma'lum burchakka buriladi.

3. Ko'ndalang kesim radiuslari o'z uzunligini saqlab qoladi va egilmaydi.

4. Ko'ndalang kesimlar orasidagi (sterjen o'qi bo'ylab) masofa o'zgarmaydi.

Ikkita burovchi momentlar ta'siridagi ko'ndalang kesimlari doirasimon bo'lgan sterjen buralishini ko'ramiz (sterjen chap uchidagi moment, qistirib



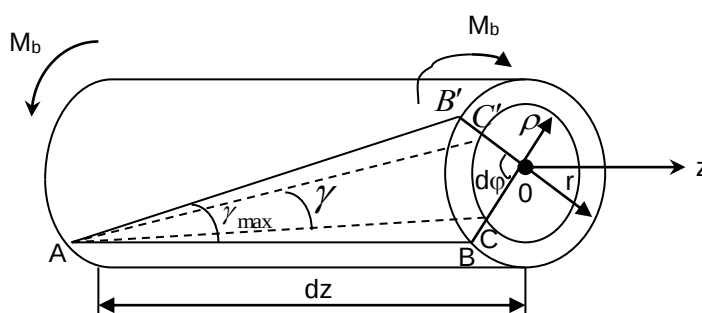
mahkamlangan tayanchning reaksiyasidir).

Bu farazlar asosida buralishni ko'ndalang kesim yuzalarining bir-biriga nisbatan siljishlari natijasi deb qarash mumkin. Demak, u holda ko'ndalang kesim yuzalarida faqat urinma kuchlanish τ lar hosil bo'lib, normal kuchlanish $\sigma=0$ bo'ladi.

Agarda ko'ndalang kesim yuzasidan elementar yuzacha dF ajratsak, unga urinma kuchlanish τ ta'sir qiladi. Bu holda F yuzaga ta'sir qilayotgan urinma kuchlanishlar bilan sterjenga ta'sir qilayotgan burovchi moment M_b o'rtasida quyidagi bog'lanish borligini

$$\text{ko'ramiz: } M_b = \int_F \tau \cdot \rho \cdot dF$$

Buralish natijasida hosil bo'ladigan deformatsiyani kesim yuzasi bo'yicha qanday qonuniyat bilan o'zgarishini



aniqlash uchun sterjendan uzunligi dz ga teng bo'lakcha ajratib, uni burovchi moment M_b bilan burasak, u holda quyidagi bog'lanishni aniqlashimiz mumkin.

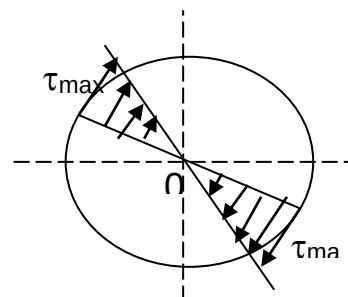
$$\text{Rasmdan } \gamma = \frac{CC'}{AB} = \frac{\rho d\phi}{dz}$$

$$\gamma_{\max} = \frac{BB'}{AB} = \frac{r \cdot d\phi}{dz} \text{ bo'ladi.}$$

Siljishdagi Guk qonuniga asosan urinma kuchlanish

Bu formuladan foydalanib, urinma kuchlanish τ ni sterjen ko'ndalang kesim yuzasi bo'yicha taqsimlanishini ko'radigan bo'lsak, u

$$\begin{aligned} \rho = 0: \quad \tau &= 0; \\ \rho = r: \quad \tau &= \tau_{\max} = G \frac{rd\varphi}{dz} \end{aligned}$$



ni
ni

Burovchi moment M_b bilan urinma kuchlanish τ o'zaro bog'lash uchun $\tau = G\gamma = G \frac{\rho d\varphi}{dz}$ ni olib borib M_b

$$\text{aniqlash formulasiga qo'yamiz: } M_b = \int_F \tau \rho dF = \int_F G \frac{\rho d\varphi}{dz} \cdot \rho dF = G \frac{d\varphi}{dz} \int_F \rho^2 dF,$$

bu yerda, G – siljishdagi elastiklik moduli; $\int_F \rho^2 dF = I_\rho$ – doiraviy kesimning qutb

inersiya momenti. Shunga asosan $M_b = GI_\rho \frac{d\varphi}{dz}$, bundan $\frac{d\varphi}{dz} = \frac{M_b}{GI_\rho}$ bo'ladi. Buni

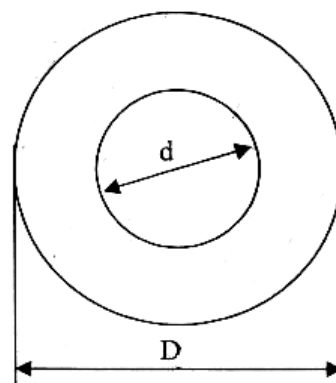
urinma kuchlanishni aniqlash formulasiga qo'yamiz va buralishda doiraviy kesimli sterjen ko'ndalang kesimining ixtiyoriy nuqtasida hosil bo'ladigan urinma kuchlanishni topish formulasi hosil bo'ladi, ya'ni $\tau = G\rho \frac{d\varphi}{dz} = G\rho \frac{M_b}{GI_\rho} = \frac{M_b \cdot \rho}{I_\rho}$, ρ – ko'ndalang kesim markazidan kuchlanish aniqlanayotgan nuqtagacha bo'lgan masofa.

Ko'ndalang kesimda hosil bo'ladigan eng katta urinma kuchlanish quyidagicha aniqlanadi: $\tau_{\max} = \frac{M_b \cdot r}{I_\rho} = \frac{M_b}{\frac{I_\rho}{r}} = \frac{M_b}{W_\rho}$, $W_\rho = \frac{I_\rho}{r}$ - qutb qarshilik momenti deyilib, mm^3 ,

sm^3 larda o'lchanadi.

Doiraviy kesimli sterjenning **buralishdagi mustahkamlik sharti** quyidagicha ifodalanadi: $\tau_{\max} = \frac{M_b}{W_\rho} \leq [\tau]$. Agar sterjen kesimi doira shaklida bo'lsa, u holda

$$W_\rho = \frac{I_\rho}{r} \approx \frac{0,1d^4}{\frac{d}{2}} \approx 0,2d^3, \text{ bo'ladi, chunki } I_\rho \approx 0,1d^4.$$



Halqasimon kesimli sterjen uchun $W_{\rho} = \frac{I_{\rho}}{D/2} = 0,2D^3 \left(1 - \frac{d^4}{D^4}\right)$ bo'ladi, chunki $I_{\rho} = 0,1D^4 - 0,1d^4 = 0,1(D^4 - d^4)$

Bu yerda shuni ta'kidlash lozimki, halqaning qarshilik momentini tashqi va ichki doiralarning qarshilik momentlarini ayirmasi sifatida topish mumkin emas.

Buralishdagi mustahkamlik shartidan foydalanib tashqi kuch va material berilganda valning kerakli diametrini aniqlash, berilgan diametr va material asosida ruxsat etilgan tashqi burovchi moment kattaligini topish, tashqi kuch va ko'ndalang kesimi o'lchamlari asosida sterjenning materialini tanlash mumkin.

Buralishga ishlovchi konstruksiya elementlarining mustahkamligini baholash bilan birga, ko'p hollarda ularning deformatsiyalarini aniqlashga ham to'g'ri keladi. Ayniqsa o'ta aniqlikda ishlovchi asbob-uskunalarda buralishda hosil bo'ladigan deformatsiyalarni baholash katta ahamiyatga ega bo'ladi.

Doiraviy ko'ndalang kesimli sterjenlarning buralishdagi deformatsiyasi ko'ndalang kesimlarining bir-biriga nisbatan buralishidan hosil bo'lib, u **buralish burchagi** φ orqali aniqlanadi, ya'ni $\varphi = \int_0^{\ell} \frac{M_b}{GI_{\rho}} dz$. Agar sterjen uzunligi bo'yicha burovchi moment M_b o'zgarmas bo'lsa, u holda buralish burchagini aniqlash formulasi quyidagicha bo'ladi: $\varphi = \frac{M_b \cdot \ell}{GI_{\rho}}$, ℓ – sterjenni uzunligi, φ – buralish burchagi bo'lib, radianlarda o'lchanadi.

Ikkinchi tur elastiklik moduli G ni qutb inersiya momenti I_{ρ} ga ko'paytmasi (GI_{ρ}) buralishdagi sterjen bikrligi deyiladi. Buralishdagi sterjen bikrligi o'zgarmas bo'lsa, u holda ikkita kesimlar orasidagi buralish burchagini shu kesimlar orasidagi burovchi moment epyurasining yuzasi ω_b ni, buralish bikrligi GI_{ρ} ga bo'lish orqali aniqlash mumkin, ya'ni $\varphi = \frac{\omega_b}{GI_{\rho}}$, bu yerda ω_b – burovchi moment epyurasining yuzasi bo'lib, bu formula barcha shakldagi epyuralar uchun o'rinlidir. Hisoblash ishlarida to'la buralish burchagi φ dan tashqari yana **nisbiy buralish burchagi** θ ni ham

aniqlash talab qilinishi mumkin. Bu θ kattalik sterjen uzunligi bo'yicha buralish burchagi o'zgarishini ifodalab, u rad/m yoki grad/m larda o'lchanadi.

Ko'p hollarda valning nisbiy buraish burchagi θ konstruktsiya elementlarini normal ishlashini ta'minlash uchun ruxsat etilgan buralish burchagi $[\theta]$ orqali chegaralanadi. Umumiy holda $[\theta]$ ning qiymati $[\theta]=0,3\div 1$ grad/m bo'lib, avtomobil kardan vallari uchun $[\theta] \approx 2,5$ grad/m, zarbali yuklanishlarda esa $[\theta]=0,15$ grad /m deb olinadi.

Ba'zan **ruxsat etilgan buralish burchagi $[\theta]$** ni bir metrga emas, balki val diametrining yigirmaga ko'paytirilgan nisbati olinadi. Barcha hollarda, buralish burchagini chegaralashda quyidagi shart bajarilishi kerak: $\theta_{\max} \leq [\theta]$, bu shart **buralishdagi bikrlilik sharti** deb ataladi. Odatda $\theta_{\max} = \frac{M_{\max}}{GI_{\rho}}$ bo'lgani uchun bikrlilik sharti ushbu formuladan foydalanib ham val diametrini aniqlash mumkin.

Takrorlash uchun savollar:

1. Burovchi moment qanday topiladi?
2. Sof siljish qachon hosil bo'ladi?
3. Sof siljishdagi bosh kuchlanishlar nimaga teng?
4. Siljishdagi Guk qonuni qanday ifodalanadi?
5. Qanday holatlarda buralish deformatsiyasi hosil bo'ladi?
6. Buralish deformatsiyasida qanday kuchlanish hosil bo'ladi?
7. Kuchlar ta'sirining mustaqillik prinsipi qanday ifodalanadi?

18-mavzu. To'g'ri sterjenning tekis egilishi. Egilishda balka ko'ndalang kesimidagi normal va urinma kuchlanishlarni aniqlash. Balkalarning mustahkamligini bosh kuchlanishlar bo'yicha tekshirish. Balkaning egilishdagi deformatsiyalarini aniqlash. Universal formula.

Reja:

1. Balkalarni egilishi haqida yushuncha.
2. Tayanchlar va tayanch reaksiyalari.
3. Juravskiyning differensial bog'lanishlari.
4. Egilishga ishlaydigan element ko'ndalang kesimidagi normal va urinma kuchlanishlarni aniqlash.

5. Bosh yuza va bosh kuchlanishlar.
6. Balkalarni mustahkamlikka hisoblash. Balkalarni bikirlikka hisoblash.

Tayanch soʻz va iboralar:

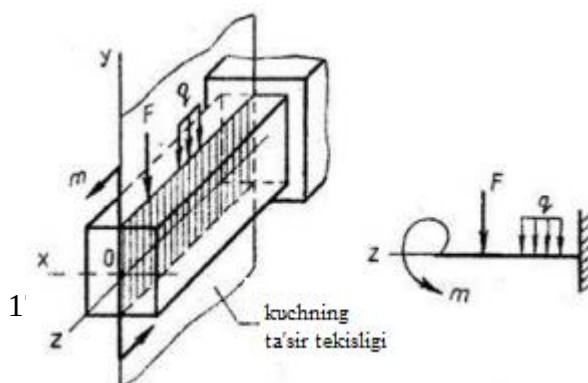
Balka, tayanch, sof egilish, koʻdalang egilish, eguvchi moment, koʻndalang kuch, epyura, normal kuchlanish, urinma kuchlanish, differensial bogʻlanish, neytral qatlam, neytral oʻq, qarshilik moment, mustahkamlik sharti.

Maʼlumki deformatsiyalarni besh xil turga ajratish mumkin. Ular siqilish, choʻzilish, siljish, buralish va egilish deformatsiyalaridir. Agar bu deformatsiyalardan faqat bittasi hosil boʻlsa ularni oddiy deformatsiyalar deyiladi. Agar bir vaqtni oʻzida tashqi kuchlar taʼsirida deformatsiyaning ikki yoki undan ortiq turi sodir boʻlsa murakkab deformatsiya deyiladi. Biz yuqorida aytib oʻtilgan deformatsiya turlaridan toʻgʻri egilish deformatsiyasini va hosil boʻladigan ichki kuch hamda kuchlanishlarni aniqlash masalasi bilan shugʻullanamiz.

Egilish eng koʻp tarqalgan deformatsiya turidir. Egilishga ishlaydigan mashina va mexanizm elementlari, qurilish sohasida ishlatiladigan koʻplab elementlarni misol keltirish mumkin. Mashina resorlari, gʻildirak oʻqlari, tomlarni yopishda ishlatiladigan elementlarda egilish deformatsiyalari hosil boʻladi.

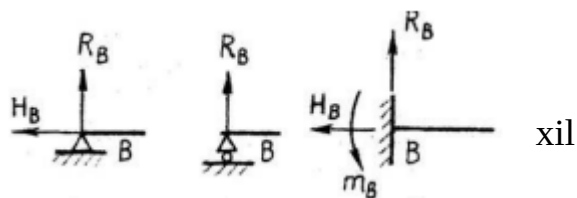
Egilishga ishlaydigan toʻgʻri bruslarni balka(toʻsin)lar deb ataladi. Egilish deformatsiyasi deb shunday deformatsiya turiga aytiladiki bunda tashqi kuch balka oʻqiga perpendikulyar yoʻnalgan boʻladi yoki juft kuch balka oʻqi yotgan tekislikda yotadi. Bunday kuchlar taʼsiridan balka oʻqi egiladi yaʼni egilish deformatsiyasi hosil boʻladi.

Agar balkaga taʼsir qiluvchi barcha kuchlar bitta tekislikda yotsa yaʼni kuch tekisligida u holda bu kuchlar taʼsiridan balkaning egilishini tekis egilish deyiladi. Agar kuchning taʼsir tekisligi koʻdalang kesimning bosh inersiya oʻqlaridan biriga mos kelsa, bunday egilish toʻgʻri egilish deyiladi. Quyida toʻgʻri egilishga



misol keltirilgan. Odatda ko'ndalang kesim yuzasiga ega bo'lgan balkani hisoblash sxemasida o'q chiziq bilan almashtiriladi. Qaralayapgan balkaga ta'sir etayotgan kuchlar juft kuch, to'plangan kuch va takalgan kuchlar bo'lib ular kuchning ta'sir tekisligida yotibdi. Bunday egilishni to'g'ri egilish deyiladi. Biz hozircha balkalarni to'g'ri egilishini ko'ramiz.

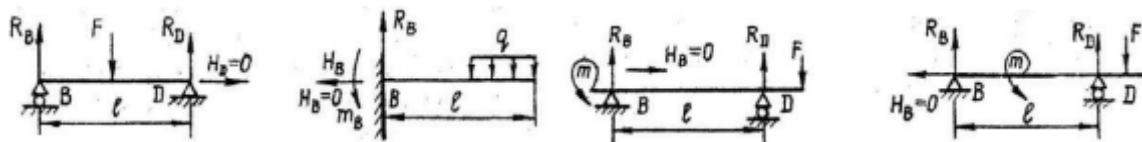
Balkalarni tinch turishini tayanchlar ta'minlaydi. Balkalarni asoslar bilan biriktirish uchun asosan 3 ko'rinishdagi tayanchlardan



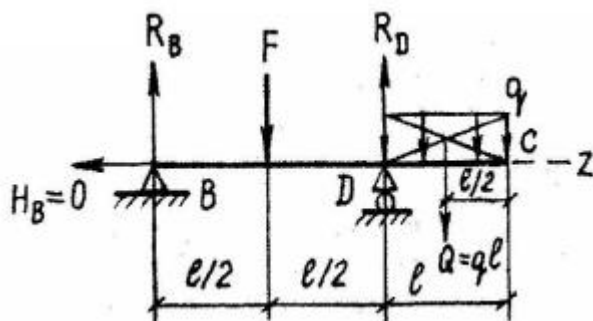
foydalaniladi: SHarnirli qo'zg'almas tayanch, sharnirli qo'zg'aluvchan tayanch va qistirib mahkamlanadigan tayanch. Hisoblash sxemasida bunday tayanchlarda hosil bo'ladigan reaksiya kuchlari rasmda ko'rsatilgan holdagidek hosil bo'ladi.

Balkalarda masalaning qo'yilishiga qarab statik aniq yoki statik aniqmas balka bo'lishi mumkin. Agar masaladagi noma'lumlar statikaning muvozanat tenglamalari yordamida aniqlash mumkin bo'lsa masala statik aniq aks holda statik aniqmas bo'ladi.

Tayanchlarga biriktirilishiga qarab balkalar: oddiy balka, konsol, konsolli balkalarga ajratish mumkin. Agar balka bitta sharnirli qo'zg'almas va bitta sharnirli qo'zg'aluvchan tayanchga biriktirilgan bo'lsa oddiy balka deyiladi. Agar balkaning bir uchi qistirib mahkamlangan bo'lsa konsol deyiladi. Agar balka oddiy balka bo'lib uning chap yoki o'ng uchi tayanch nuqtadan o'tib ketgan bo'lsa bunday balkalarni konsolli balkalar deyiladi. Quyida oddiy balka, konsol, 2 konsol va birkonsolli balkalar keltirilgan:



Yuqorida keltirilgan barcha balkalar statik aniq balkalar deyiladi. Bu tayanchlar balkaning geometrik o'zgarmasligini ta'minlash uchun etarli. Agar yuqoridagi balkalarga



qo'shimcha tayanchlar kiritilsa kiritilsa balka statik aniqmas balkaga aylanadi. Masalan: rasmda ko'satilgan balkalar 1 marta statik aniqmas balkalar deyiladi. Ikkalasida ham 1 tadan ortiqcha tayanchlar kiritilgan. Bunday balkalarni hisoblashda statikaning muvozanat tenglamasiga qo'shimcha deformatsiya tenglamalarini ham qo'shish kerak.

Tashqi kuchlar ta'siridagi statik aniq balkalarni hisoblash, tayanch reaksiyalarini aniqlashdan boshlanadi. Tayanch reaksiyalarini aniqlash uchun nazariy mexanika kursida o'rganilgan statikaning muvozanat tenglamalaridan foydalaniladi ya'ni qaraladigan masalaga koordinatalar sistemasini bog'lab quyidagi muvozanat

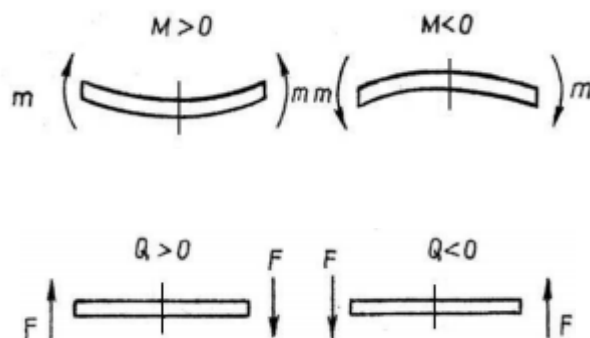
$$\begin{aligned} \sum X &= 0 \\ \text{tenglamalarini tuziladi: } \sum Y &= 0 \quad . \\ \sum M_o &= 0 \end{aligned}$$

Masalan, quyidagi balka uchun tayanch reaksiyalarini aniqlashda dastlabki holatda reaksiya kuchlarini chizmada tasvirlaymiz va muvozanat tenglamalarini tuzamiz. Agar hisoblash natijasida reaksiya kuchlarining qiymati musbat chiqsa olingan yo'nalishlar o'zgarishsiz qoladi. Agar natija manfiy chiqsa reaksiya kuchlarining yo'nalishi teskarisiga o'zgaradi. Balkaga intensivligi q ga teng bo'lgan tekis tarqalgan kuch ham ta'sir qilayapti. Reaksiya kuchini aniqlashda bu kuchni teng ta'sir etuvchi kuch bilan almashtiramiz. Bu kuchning teng ta'sir etuvchisi $Q=ql$ ga teng bo'lib u og'irlik markaziga qo'yilgan bo'ladi (chizmada ko'rsatilgan). Tayanchlar odatda katta xarflar bilan belgilanadi (chizmada B va D). Agar barcha kuchlarni z o'qqa proeksiyasini olsak ya'ni $\sum Z = 0$ H_B nolga tengligi kelib chiqadi. B va D nuqtalarga nisbatan moment olib $\{\sum M_B = 0, \sum M_D = 0$ R_B va R_D reaksiya kuchlari aniqlanadi. Reaksiya kuchlarining to'g'riligini tekshirish uchun vertikal o'qqa barcha kuchlar proeksiyalarini yigindisini nolga tenglash kerak: $\sum Y = 0$ yoki ixtiyoriy C nuqtaga nisbatan barcha kuchlar momentlarining yig'indisini nolga tenglash kerak: $\sum M_C = 0$. Oldingi yoki keyingi muvozanat shartlari bajarilsa reaksiya kuchi to'g'ri aniqlangan bo'ladi.

Reaksiya kuchlari ma'lum bo'lgandan so'ng balka kesimlarida hosil bo'ladigan eguvchi moment va kesuvchi kuchlarni aniqlash mumkin.

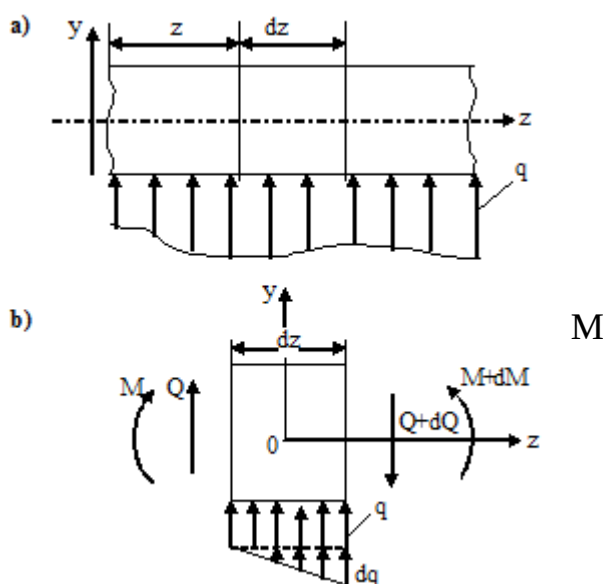
Balkaning ixtiyoriy kesimidagi eguvchi moment M va ko'ndalang kuch Q ni aniqlash uchun kesish usulidan foydalanamiz. Eguvchi momentni aniqlash uchun balkani xarakterli oraliqlarga ajratamiz. Xarakterli oraliq deganda kuchlarni joylashishi va tayanchlarni joylashishiga qarab oraliqlarga ajratiladi. Balkaning qaysi kesimidagi eguvchi momentni aniqlash kerak bo'lsa shu kesimdan balkani kesib ikki qismga ajratiladi. Qaralayapgan qismlardan qaysi birida tashqi kuchlar kam bo'lsa shu qism olib qolinadi va tashlab yuborilgan qismining olib qolingani qismiga ko'satadigan ta'sirini ichki kuchlar eguvchi moment hamda ko'ndalang kuch bilan almashtiriladi va shu qism uchun muvozanat tenglamalari tuzilib ichki kuchlar eguvchi moment M , ko'ndalang kuch

Q lar aniqlanadi. Eguvchi moment M ni aniqlashda kesim markaziga nisbatan tashqi kuchlardan moment olinadi, ko'ndalang kuch Q ni aniqlashda tashqi kuchlarni balka



o'qiga perpendikulyar bo'lgan o'qqa proeksiyasi olinadi. Bunda eguvchi moment M va ko'ndalang kuch Q ni ishorasini olishda quyidagi qoidaga amal qilamiz: eguvchi moment M ishorasini musbat olamiz agarda tashqi kuch ta'siridan balkaning egilishdagi qavariqligi pastga bo'lsa aks holda manfiy ishora olinadi. Ko'ndalang kuch Q ni ishorasini musbat olinadi agarda tashqi kuch balkaning kesib olingan qismini soat strelkasi yo'nalishida aylantirishga harakat qilsa, aks holda manfiy ishora olinadi.

Har bir oraliq uchun M va Q ni o'zgarishini ko'rsatuvchi funksiyalar tuzib olinadi. Olingan funksiyalarni mos oraliqlardagi kerakli qiymatlari hisoblanib, olingan qiymatlar bo'yicha



va Q ni o'zgarishini ko'rsatuvchi grafik yasaladi. Bu grafiklar mos ravishda M va Q epyuralari deyiladi. Epyuradan balkaning xavfli kesimi aniqlanadi ya'ni M va Q qaysi kesimda eng katta qiymatga ega bo'lsa, shu kesim xavfli kesim hisoblanadi.

Juravskiyning differensial bog'lanishlari

Qurilgan epyuralarning to'g'riligini tekshirish va olingan natijalarni muhokama qilish uchun tashqi kuch intensivligi q bilan, balka ko'ndalang kesimlarida hosil bo'ladigan ichki kuchlar, ya'ni eguvchi moment M va ko'ndalang kuch Q o'rtasidagi muhim bog'lanishlarning mavjudligi katta ahamiyatga ega.

Ixtiyoriy yoyilgan kuch q bilan yuklangan balkani (a-rasm) ko'ramiz. Undan ikkita kesim o'tkazib uzunligi dz bo'lgan element ajratamiz (b-rasm). Ajratilgan elementning chap qirrasi bo'yicha M va Q ichki kuchlar, o'ng qirrasi bo'yicha esa $M + dM$, $Q + dQ$ kuchlar ta'sir qilsin.

Tashqi kuchlarning ajratilgan elementga ta'sirini chiziqli qonunga bo'ysunadi deb hisoblaymiz. (Ajratilgan elementga ta'sir etuvchi barcha ichki va tashqi kuchlarni musbat deb olamiz).

Ajratilgan elementning muvozanatini tekshiramiz:

$$\sum Y = Q - (Q + dQ) + qdz + \frac{dqdz}{2} = 0$$

$$\sum M_o = -M - Q dz + \frac{dq \cdot dz}{2} \left(\frac{dz}{2} - \frac{dz}{3} \right) + (M + dM) - \frac{1}{2} dQ dz = 0$$

Ushbu tenglamalardan ikkinchi va uchinchi darajali cheksiz kichik miqdorlarni tashlab yuborsak, quyidagi munosabat hosil bo'ladi:

$$\left. \begin{array}{l} \frac{dQ}{dz} = q \\ \frac{dM}{dz} = Q \end{array} \right\} \text{ bo'lib, bundan, } \frac{d^2 M}{dz^2} = q \text{ kelib chiqadi.}$$

Bu munosabatlar Juravskiyning differensial bog'lanishlari deb ataladi.

Agar shakldagi y o'qining yo'nalishi o'zgarsa, q va Q kattaliklarning oldidagi ishoralar ham teskarisiga almashadi.

Juravskiy bog‘lanishlari yoyilgan bo‘ylama kuch q va ichki bo‘ylama kuch N orasida ham bajariladi, ammo bo‘ylama ichki kuch N ning epyurasini qurishda va uni tahlil qilishda kam ishlatiladi.

Ma'lumki, $y=f(x)$ funksiya grafigi ekstremum (max yoki min) qiymatlariga, ushbu funksiya hosilasi nolga teng bo‘ladigan nuqtalarda erishadi. Demak, ichki kuch momentining eng katta yoki eng kichik qiymati ham ko‘ndalang kuch Q nolga teng bo‘lgan kesimda hosil bo‘ladi.

Bundan tashqari Juravskiy differensial bog‘lanishlari M va Q epyuralariga tegishli qator xulosalarni ham chiqarish imkoniyatini yaratadi, ya'ni:

1. Balkaning ko‘ndalang kuch o‘zgarmas bo‘lgan uchastkasida (yoyilgan kuch bo‘lmasa) M ning epyurasi to‘g‘ri chiziqli bo‘ladi.

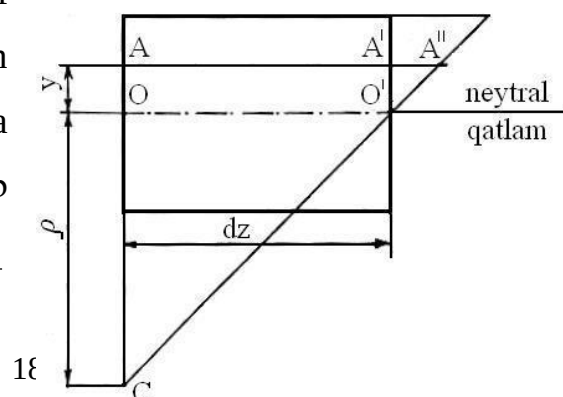
2. Balkaga tekis taqsimlangan yoyilgan q kuchi ta'sir etayotgan uchastkasida Q ning epyurasi chiziqli qonun bo'yicha o'zgaradi (epyura to'g'ri chiziqli bo'ladi). M ning epyurasi esa egri chiziqli bo'lib, uni qurish uchun kamida 3 ta nuqtadagi qiymat ma'lum bo'lishi kerak.

3. Agar qo'shni uchastkalar chegarasida bir nuqtaga ta'sir etuvchi tashqi kuch P berilgan bo'lsa, u holda Q ning epyurasida shu kuchga teng sakrash hosil bo'lib, M ning epyurasida esa egilish nuqtasi hosil bo'ladi. Agar Q ning epyurasida sakrash bo'lmasa, u holda qo'shni uchastkalar orasida M ning epyurasi silliq o'zgaradi.

Agar balkaga bir nuqtaga qo'yilgan tashqi moment ta'sir qilsa, u holda M epyurasining moment ta'sir qilgan joyida sakrash yuz beradi, uning kattaligi tashqi moment qiymatiga teng bo'ladi, Q ning epyurasida esa qo'shni uchastkalardagi Q ni qiymatlari o'zaro teng bo'ladi.

M va Q ning maksimal qiymatlari ma'lum bo'lgandan so'ng normal va o'rinma kuchlanishlar aniqlanadi. Normal

kuchlanish eguvchi momentdan foydalanib, urinma kuchlanish esa ko'ndalang kuchdan foydalanib aniqlanadi. Normal kuchlanish $\sigma = \frac{M}{W}$



formuladan, urinma kuchlanish esa $\tau = \frac{QS}{bI}$ formuladan foydalanib aniqlanadi. Bu formulalarda M - eguvchi moment epyurasidan olingan eng katta qiymat, W – qarshilik momenti, Q – kundalang kuch epyurasidan olingan eng katta qiymat, S – ajratilgan yuzaning statik momenti, b - ko‘ndalang kesimning eni, I - ko‘ndalang kesimning inersiya momenti.

Normal va urinma kuchlanishlarni aniqlash formulalari qanday hosil qilinadi? Buning uchun tashqi kuch ta’sidagi balkadan elementar bo‘lakcha ajratib olib uning muvozanati tekshiriladi. Normal kuchlanishni aniqlash uchun balkani sof egilish holati olinadi, urinma kuchlanishni aniqlash uchun ko‘ndalang egilish holati qaraladi.

Egilgan sterjendan dz uzunlikdagi element ajratib, uning muvozanatini ko‘ramiz. OO^1 – bu uzunligi o‘zgarmaydigan neytral qatlam. Neytral qatlamdan y masofadagi AA^1 qatlam AA^{11} ga uzayadi. O^1OC va $A^{11}A^1O^1$ uchburchaklar o‘xshashligidan $\frac{A^1A^{11}}{y} = \frac{OO^1}{\rho} = \frac{A^1A^{11}}{OO^1} = \varepsilon$ neytral o‘qdan y masofada yotuvchi

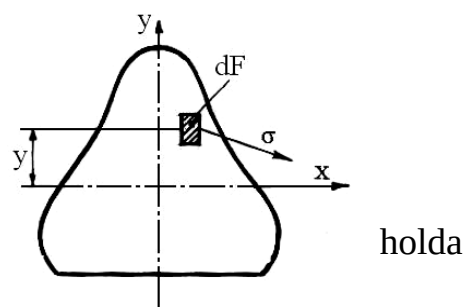
qatlami nisbiy bo‘ylama deformatsiyasini topamiz. $\varepsilon = \frac{y}{\rho}$, Guk qonunidan $\frac{\sigma}{E} = \frac{y}{\rho}$,

bu yerdan qatlamda hosil bo‘luvchi normal kuchlanish $\sigma = \frac{yE}{\rho}$.

Cho‘zilishdag bo‘ylama kuch $N = \int_F \sigma dF$.

Ya’ni $N = \int_F \frac{yE}{\rho} dx$, chunki $\frac{E}{\rho} = const$, u

$$N = \frac{E}{\rho} \int y dx$$



Sof egilishda ko‘ndalang kesimdagi ichki bo‘ylama kuch N nolga teng, $\frac{E}{\rho} \neq 0$, demak $\int y dx = 0$.

$\int y dF = S_x$ – neytral «x» o‘qiga nisbatan ko‘ndalang kesim yuzasining statik momenti. Kesim og‘irlik markazidan o‘tuvchi o‘qqa nisbatan statik moment nolga teng. Bundan neytral o‘q kesim og‘irlik markazidan o‘tishi kelib chiqadi.

«y» o‘qiga nisbatan ichki kuchlar momenti $M_y = \int_F \frac{E}{\rho} x y dF$ ifodadan aniqlanadi, ammo momentning ta’sir tekisligi «y» o‘qi orqali o‘tgani uchun $M_y = 0$ bo‘ladi. $\frac{E}{\rho} \neq 0$ bo‘lgani uchun $\int_A x y dF = 0$. Bu yerdagi $\int_F x y dF$ ifoda ko‘ndalang

kesimning «x», «y» o‘qlariga nisbatan markazdan qochma inersiya momentiga teng, hamda bosh o‘qlarga nisbatan markazdan qochma inersiya momentlari nolga teng. Demak «y» o‘qi shartga ko‘ra markaziy o‘q edi, endi bosh o‘q ham bo‘ladi, mos ravishda kesim og‘irlik markazidan o‘tuvchi x neytral o‘qi ham simmetriya o‘qiga tik bo‘lib inersiya bosh markaziy o‘qi bo‘ladi.

Momentning «x» neytral o‘qiga nisbatan muvozanat sharti $M_x - \int_F \sigma y dF = 0$ yoki $M_x - \frac{E}{\rho} \int_F y^2 dF = 0$, $\sigma = \frac{yE}{\rho}$ bo‘lgani uchun $\frac{E}{\rho} = \frac{\sigma}{y}$ hamda $\int_F y^2 dF$ ifoda «x» – neytral o‘qqa nisbatan kesim inersiya momentiga teng.

$$M_x - \frac{\sigma}{y} I_x = 0 \quad \text{yoki} \quad \sigma = \frac{M_x y}{I_x}$$

Ko‘ndalang kesim ixtiyoriy nuqtasidagi normal kuchlanishlarni egilishdagi qiymatini ifoda aniqlash imkonini beradi. Chunki har bir ko‘ndalang kesim uchun eguvchi moment epyurasidan aniqlanuvchi M_x va I_x inersiya momentlari o‘zgarmas kattalik bo‘lganligi sababli ko‘ndalang kesim har bir nuqtasidagi normal kuchlanishlar neytral o‘qdan shu nuqtagacha bo‘lgan masofa orqali aniqlanadi.

Neytral o‘qqa nisbatan ko‘ndalang kesim simmetrik bo‘lgan holda «y» o‘qqa nisbatan normal kuchlanishlar epyurasi ham simmetrik bo‘ladi.

Bu holda eng katta kuchlanishlarni topish uchun kesimning «x» o'qiga (W_x) yoki «y» o'qiga (W_y) nisbatan qarshilik momenti deb ataluvchi maxsus geometrik xarakteristika kiritiladi.

$$W_x = \frac{I_x}{y_{\max}}, \quad W_y = \frac{I_y}{x_{\max}}$$

Masalan, to'g'ri to'rtburchak uchun

$$W_x = \frac{I_y}{y_{\max}}, \quad I_x = \frac{bh^3}{12}; \quad y_{\max} = \frac{h}{2} \quad \text{va} \quad W_x = \frac{2bh^3}{12h} = \frac{bh^2}{6}$$

$$\text{Mos ravishda} \quad W_y = \frac{b^2h}{6}$$

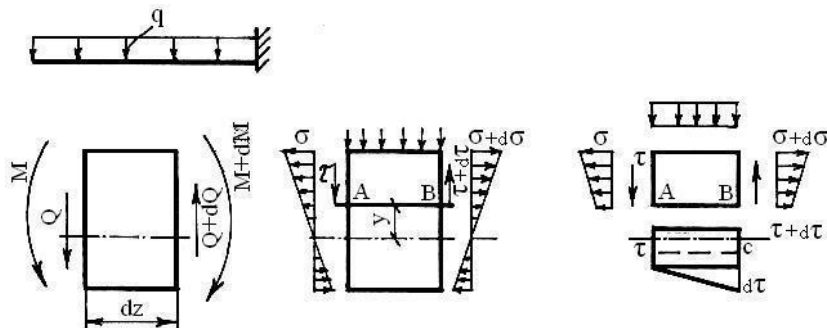
Doira uchun $I_x = I_y = 0,05 d^4$, $y_{\max} = x_{\max} = d/2$, mos ravishda $W_x = W_y = 0,1 d^3$ ($\tau_{\max}$ ni aniqlashdagi geometrik xarakteristika – qutb qarshilik momenti $0,2 d^3$ ga teng va o'qqa nisbatan ikki marta katta). Prokat shaklli po'lat uchun qarshilik momenti kattaliklari prokat po'latlar sortamenti jadvalidan olinadi.

Kiritilgan qarshilik momenti yordamida normal kuchlanishni quyidagicha yozish

mumkin: $\sigma = \frac{M}{W}$.

Egishdagi

mustahkamlik sharti



esa:

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

Ko'rinishda yoziladi.

Urinma kuchlanishni aniqlash uchun ko'ndalang egilish holatidagi balkadan dz uzunlikdagi element ajratamiz.

Ajratilgan elementni neytral qatlamdan «y» masofada bo'ylama gorizontal kesim o'tkazib 2 ta qismga ajratamiz va AB tekislik bilan chegaralangan yuqori

qismini muvozanatini ko'ramiz. Hamda, urinma kuchlanishlar ko'ndalang kesim darajasida neytral o'q «x» ga parallel va normal kuchlanishlar o'zgarmas deb faraz qilamiz. Urinma kuchlanishlar juftligi qonuniga asosan AB tekislik va ko'ndalang kesim A nuqtasida τ , B nuqtasida $\tau + d\tau$ urinma kuchlanishlar paydo bo'ladi.

Ajratilgan element yuqori qismi muvozanat tenglamalarini sterjen bo'ylama o'qiga proeksiyalar yig'indisi ko'rinishida tuzamiz.

$$\sum Z = \int_F \sigma dF + \tau b dz + \frac{d\tau \cdot dz \cdot b}{2} - \int_{F^*} \sigma dF - \int_{F^*} d\sigma dF = 0$$

bu yerda, b – ko'ndalang kesimning AB tekislik darajasidagi uzunligi.

Ikkinchi darajali kichik miqdor $\left(\frac{d\tau dz b}{2}\right)$ ni e'tiborga olmasdan va

$$d\sigma = \frac{dM_y}{I_x}, \quad \int_{F^*} d\sigma dF = \frac{dM}{I_x}, \quad \int_{F^*} y dF = \frac{dM}{I_x} \cdot S_x^*, \text{ bu yerda } S_x^* \text{ ko'ndalang kesim}$$

AB tekislikdan yuqorida joylashgan F^* yuzasining statik momenti,) ekanligini hisobga

$$\frac{dM}{I_x} S_x^* = \tau b dz$$

olib ni hosil qilamiz. Juravskiy bog'lanishidan $\frac{dM}{dz} = Q$, demak

$$\tau = \frac{QS_x^*}{I_x b}$$

natijada Juravskiy bog'lanishini hosil qilamiz.

Urinma kuchlanishlar bo'yicha mustahkamlik sharti quyida keltirilgan:

$$\tau_{\max} = \frac{QS_x^*}{I_x b} \leq [\tau]$$

Bu yerda $\tau_{\max}$ xavli kesimda hosil bo'ladigan eng katta urinma kuchlanish, $[\tau]$ – ruxsat etilgan urinma kuchlanish.

Nazorat savollari:

1. Egilish qanday holatda sodir bo'ladi?
2. Sof va ko'ndalang egilish ta'riflarini ayting.
3. To'g'ri va qiya egilish deb nimaga aytiladi?
4. Egilishga ishlovchi konstruksiyalar asosiy sxemalarini sanang.

5. Juravskiy differensial bog'lanishlari deb nimaga aytiladi?
6. Sof egilishda sterjen ko'ndalang kesimlarida qanday kuchlanishlar hosil bo'ladi?
7. Neytral qatlam nima?
8. Egilishda ko'ndalang kesim neytral o'qi qanday o'tkaziladi?
9. Sof egilishda normal kuchlanish qanday topiladi?
10. Qarshilik momenti nima?
11. Sof egilishda eng katta normal kuchlanishlar qanday topiladi?
12. Egilishda mustahkamlik sharti qanday ko'rinishga ega?
13. Egilishda ko'ndalang kesim o'lchamlari qanday topiladi?
14. Ko'ndalang egilishda kesimda qanday kuchlanishlar hosil bo'ladi?
15. Ko'ndalang egilishda urinma kuchlanishlar qanday topiladi?
16. Ko'ndalang egilishda mustahkamlik sharti qanday ko'rinishga ega?

19-mavzu. Qiyshiq egilishda kuchlanish va deformatsiya. Cho'zilish va egilishning birgalikdagi ta'siri. Nomarkaziy cho'zilish yoki siqilish.

Reja:

1. Murakkab qarshilik haqida tushuncha.
2. Murakkab qarshilikda normal kuchlanish.
3. Mustahkamlik sharti.
4. Sterjenga bo'ylama kuchning nomarkaziy ta'siri.
5. Sterjen nomarkaziy siqilishining umumiy holi.
6. Nomarkaziy siqilishda normal kuchlanishlarni aniqlash.
7. Neytral chiziq. Kesim yadrosi.
8. Buralish bilan egilishning birgalikdagi ta'siri.

Tayanch so'z va iboralar:

Murakkab qarshilik, murakkab deformatsiya, eguvchi moment, ko'ndalang kuch, bo'ylama kuch, normal kuchlanish, mustahkamlik sharti, markaziy bo'lmagan cho'zilish, markaziy bo'lmagan siqilish, eksentrisitet, kuchlanish, inersiya raidusi, qiyshiq egilish, neytral o'q, kesim yadrosi.

Murakkab qarshilik deganda sterjen ko'ndalang kesimlarida tashqi yuk ta'sirida bir emas, bir nechta ichki kuchlar hosil bo'lib, har birining sterjen mustahkamligi va deformatsiyalanishiga ta'sir darajasi bir xil bo'lgan hol tushuniladi. Amalda kesimda bitta ichki kuch hosil bo'lish hollari juda kam uchraydi. Masalan, egilishda ko'ndalang kesimlarda bir paytning o'zida ichki kuchlar – eguvchi moment M , ko'ndalang kuch Q , bo'ylama kuch N hosil bo'ladi. Ammo bu kuchlar ta'siridan hosil bo'luvchi kuchlanishlarning jism mustahkamligiga ta'siri bir-biriga nisbatan solishtirib bo'lmaydigan darajada bo'lganligi sababli, hisoblashlarda bir qism kuchlar

ta'siri hisobga olinmaydi. Masalan egilishda faqat eguvchi momentni, prujina hisobida faqat burovchi momentni e'tiborga olinadi va hokazo, ya'ni masala oddiy qarshilikning turlaridan biriga keltiriladi.

SHunday qilib, oddiy va murakkab qarshilik o'rtasidagi chegara yetarli darajada shartli ekan. Odatda murakkab qarshilik 3 ta asosiy ko'rinishlarga ajratiladi - qiyshiq egilish, u ichki kuchlar eguvchi momenti ta'sir tekisligi ko'ndalang kesim bosh markaziy inertsia o'qlarining birortasiga ham mos kelmaganda ro'y beradi, egilish va cho'zilish (yoki siqilish)ning bir paytda sodir bo'lishi, buning uchun sterjen ko'ndalang kesimlarida ichki bo'ylama N kuch va ichki kuchlar eguvchi momenti M_{eg} hosil bo'lishi hamda ikkala omil tomonidan paydo bo'luvchi normal kuchlanishlar miqdori darajasi bir xil, ko'ndalang kesimlarda ichki kuchlarning eguvchi va burovchi momentlari bir vaqtda hosil bo'lishidan paydo bo'luvchi burilishli egilish. Egilish va cho'zilish (siqilish)ning birgalikdagi ta'siriga qo'yilish nuqtasi kesim og'irlik markazida bo'lmagan cho'zuvchi yoki siquvchi bo'ylama kuch ta'siridagi markaziy bo'lmagan cho'zilish (siqilish)ni misol qilish mumkin.

Sterjenlarni murakkab qarshilikka hisoblashda kuchlar ta'sirining mustaqillik qonunidan foydalaniladi, ya'ni sterjenga bir nechta kuch ta'sir etganda, har bir kuch ta'sirini alohida ko'rib, natija esa qo'shiladi. Masalan, qiyshiq egilishni sterjenni biror x va y bosh markaziy o'qlariga nisbatan eguvchi ikkita moment ta'siridagi egilish deb qarash mumkin. Ko'ndalang kesimning ixtiyoriy nuqtasidagi kuchlanish σ_x va σ_y yig'indisiga teng.

$$\sigma = \sigma_x + \sigma_y = M_x Y / I_x + M_y X / I_y \quad (1)$$

Egilish va cho'zilishning birgalikdagi ta'sirida kuchlanish egilish va cho'zilish (siqilish) ta'siridan hosil bo'lgan kuchlanishlar yig'indisiga teng.

$$\sigma = \sigma^{ch} + \sigma^{eg} = N / F + M_x Y / I_y \quad (2 a)$$

yoki cho'zilish (siqilish) va qiyshiq egilishda

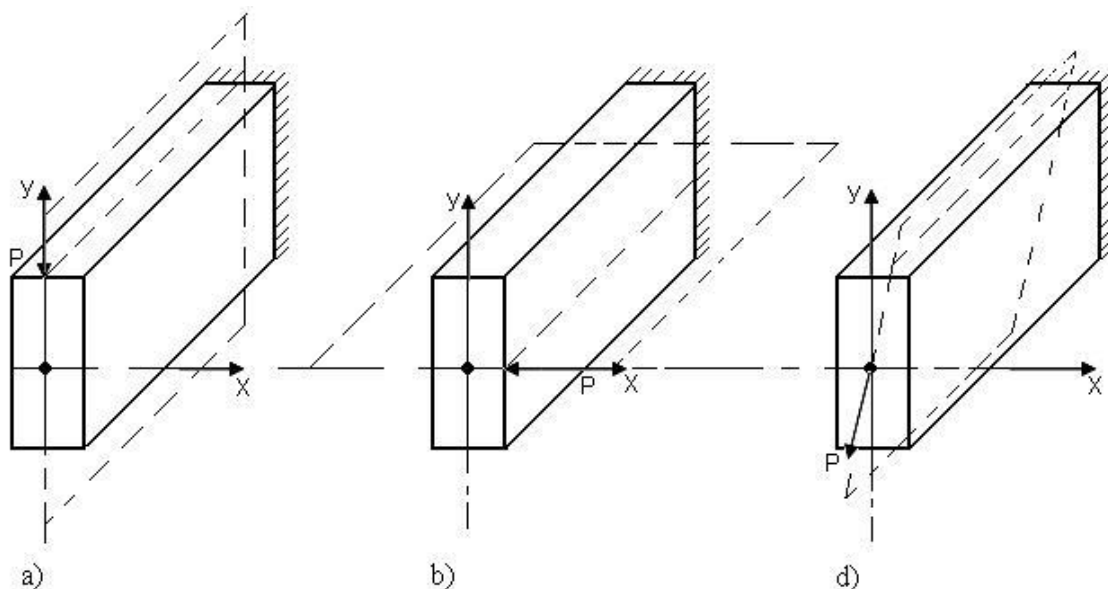
$$\sigma = \sigma^{ch} + \sigma^{eg} = N / F + M_x Y / I_x + M_y X / I_y \quad (2 b)$$

Ushbu murakkab qarshilik turlarini birlashtirib turuvchi umumiy jihat shundan iboratki, cho'zilish (siqilish) ta'siridan ham, egilish ta'siridan ham sterjen ko'ndalang kesimlarida σ normal kuchlanishlar hosil bo'lib, kesim har bir nuqtasidagi yakuniy kuchlanishni tashkil etuvchilarning algebraik yig'indisi sifatida aniqlash mumkin.

Egilish va buralish birgalikda ta'sir etganda har bir kuch omilini alohida ko'rish mumkin, lekin yakuniy natija ya'ni yakuniy kuchlanishni yig'indi sifatida topish mumkin emas, chunki egilishda sterjen ko'ndalang kesimlarida normal kuchlanishlar, buralishda esa urinma kuchlanishlar hosil bo'ladi.

Bu holda materialni baholash uchun mustahkamlik nazariyasidan foydalanishga to'g'ri keladi, shu sababli, qiyshiq egilish hamda cho'zilish va egilishni birgalikdagi ta'siri oddiy qarshilikning favqulodda holati deb, murakkab qarshilikka faqat egilishning buralish bilan bir vaqtdagi ta'siri kiritiladi.

Ichki kuchlar eguvchi momenti ta'sir tekisligi sterjen ko'ndalang kesimi bosh inertsia o'qlarining birortasi bilan ham ustma-ust tushmasa qiyshiq egilish hosil bo'lishini yuqorida aytilgan edi. O'z navbatida moment ta'sir tekisligi tashqi yuklar holatiga bog'liq bo'ladi.



1-rasm. Erkin uchiga P kuch qo'yilgan balkaning egilishi:

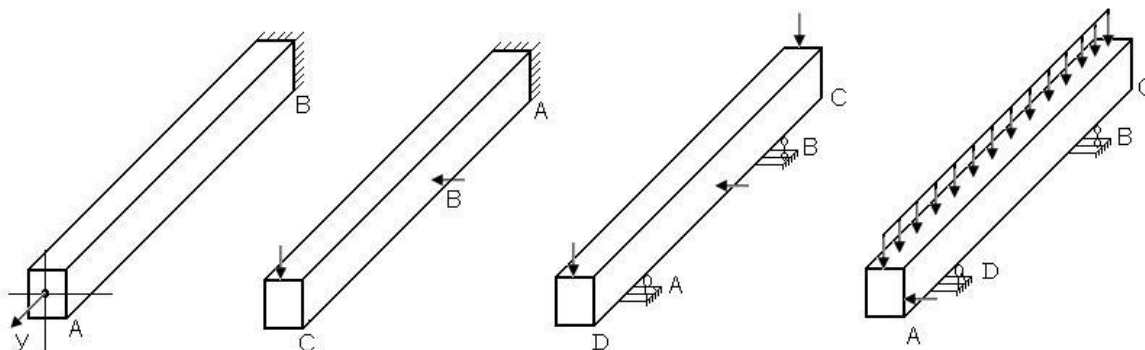
- a) egilish tekisligi «y» o'qi bo'yicha mos tushadi;
- b) egilish tekisligi «x» o'qi bo'yicha mos tushadi;
- d) egilish tekisligi bosh o'qlarga mos tushmaydi

1.a-rasmda moment ta'sir tekisligi y bosh markaziy o'qi orqali, 1.b-rasmda esa x o'qi orqali o'tadi, mos ravishda bu hollarda to'g'ri ko'ndalang egilish yuzaga keladi, birinchi holda x o'qi, ikkinchi holda y o'qi neytral o'q bo'ladi. 1.d-rasmda keltirilgan holda eguvchi moment ta'sir tekisligi ko'ndalang kesim bosh markaziy inertsia o'qlarining hech biri bilan mos kelmagani uchun qiyshiq egilish yuzaga keladi.

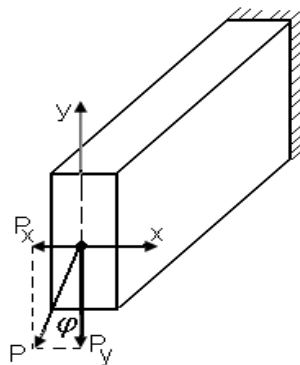
2-rasmda keltirilgan barcha hollarda qiyshiq egilish faqat AB qismda, boshqa qismlarda to'g'ri ko'ndalang egilish hosil bo'ladi.

Konstruktsiyalarda aksariyat hollarda ko'ndalang qiyshiq egilish hosil bo'lgani uchun, faqat ko'ndalang kesimda ikkita simmetriya o'qiga ega bo'lgan sterjenlarni ko'ramiz.

Yuqorida aytib o'tilganidek, qiyshiq egilishni M_y va M_x momentlar hosil qiluvchi ikki ko'ndalang egilishga ajratish mumkin. Ular kattaligini aniqlash uchun har bir ko'ndalang kesimda M_y va M_x epyuralarini qurish kerak. Misol tariqasida 3-rasmda keltirilgan sterjenni ko'raylik.



2-rasm. Qiyshiq egilish deformatsiyasi



3-rasm. Qiyshiq egilishdagi sterjen hisobi

Tashqi yukni x, y o'qlariga proektsiyalaymiz

$$P_y = P \cos \varphi, \quad P_x = P \sin \varphi$$

P_y kuchi ta'siridan M_x moment (x o'qi neytral o'q), P_x kuchi ta'siridan M_y moment (y o'qi neytral o'q) hosil bo'ladi. M_x va M_y epyuralarini quramiz.

Kuchlar ta'sirining mustaqillik printsipiga asosan ko'ndalang kesim nuqtalaridagi yakuniy kuchlanish M_x va M_y momentlar ta'siridan hosil bo'luvchi kuchlanishlar yig'indisiga teng, ya'ni

$$\sigma = \sigma_x + \sigma_y = M_x y / I_x + M_y x / I_y \quad (3)$$

bu yerda I_x, I_y – ko'ndalang kesim inertsia momentlari, M_x, M_y – ichki kuchlar momentlari, ular sterjen har bir ko'ndalang kesim uchun epyuralardan topiladi.

Har bir ko'ndalang kesim uchun I_x, I_y, M_x, M_y – kattaliklar o'zgarmas bo'ladi. x va y kordinatalar normal kuchlanishlar taqsimoti tenglamasida birinchi darajada ishtirok etgani uchun sterjen ko'ndalang kesimi kuchlanish epyuralari to'g'ri chiziqli bo'ladi. To'g'ri egilishdagi kabi ko'ndalang kesimda cho'zilgan va siqilgan sohalar vujudga keladi, ular normal kuchlanishlari nolga teng bo'lgan neytral o'q bilan ajratiladi, ya'ni

$$\sigma = M_x y / I_x + M_y x / I_y = 0 \quad \text{yoki}$$

$$M_x y / I_x + M_y x / I_y = 0 \quad (4)$$

Yuqoridagi 11.2 tenglama qiyshiq egilishda neytral o'q tenglamasi deyiladi. Umumiy holda u quyidagi ko'rinishga ega

$$K_1 X + K_2 Y = 0$$

Bu yerda $K_1 = M_y / I_x$, $K_2 = M_x / I_y$, ya'ni kesim og'irlik markazida yotuvchi koordinatalar boshidan o'tuvchi to'g'ri chiziq tenglamasini beradi.

Neytral chiziqni hosil qilish uchun x kordinataga ixtiyoriy qiymat berib, y ning mos keluvchi kordinatasini (4) tenglamadan topiladi. Qiyshiq egilishda neytral o'q ko'ndalang kesimning markaziy inertsia o'qlari bilan mos tushmaydi va yakuniy eguvchi moment tekisligiga perpendikulyar emas.

Sterjen ko'ndalang kesimida hosil bo'luvchi kuchlanishning absolyut miqdori ruxsat etilgandan ortib ketmasligi kerak ya'ni

$$\sigma = M_x y / I_x + M_y x / I_y \leq [\sigma] \quad (5)$$

Ikkita simmetriya o'qiga ega bo'lgan ko'ndalang kesim uchun (11.3) ifodani quyidagicha yozish mumkin

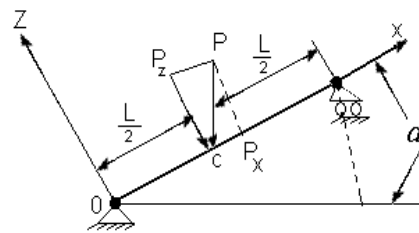
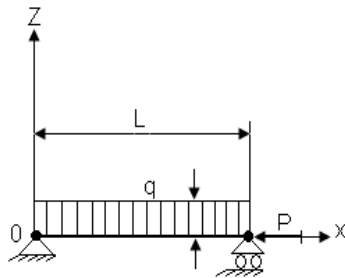
$$\sigma = M_x / W_x + M_y / W_y \leq [\sigma] \quad (6)$$

bu yerda $I_x / Y_{\max}$ ni W_x , $I_y / X_{\max}$ ni W_y deb belgilab oldik.

(6) ifoda qiyshiq egilishdagi mustahkamlik sharti deyiladi. Eng katta siquvchi va cho'zuvchi kuchlanishlar neytral o'qdan eng uzoqdagi ko'ndalang kesim burchak nuqtalarida hosil bo'ladi. Absolyut miqdor jihatidan ikkita simmetriya o'qiga ega bo'lganda $\sigma_{\max}^{ch} = \sigma_{\max}^c$. Mo'rt materialdan tayyorlangan sterjenlar uchun mustahkamlik shartiga $[\sigma]_{ch}$ qo'yish kerak.

Amalda

shunday hollar
mavjudki,
sterjen
egilishidan
tashqari



cho'zilish yoki siqilish ta'sirida ham bo'ladi. Bu hol balkaga bir nechta bo'ylama va ko'ndalang kuchlar yoki faqat bitta kuch ta'sir etganda ro'y beradi (1-shaklda 2 ta, 2-shaklda 1 ta kuch).

Odatda egilishdagi urinma kuchlanishlarni e'tiborga olmay faqat normal kuchlanishlar topiladi, chunki urinma kuchlanish normal kuchlanishga nisbatan juda kichik.

Murakkab qarshilikda normal kuchlanishni topish masalasini egilishdagi normal kuchlanishni topish va cho'zilish yoki siqilishdagi kuchlanishlarni topishdan iborat ikki qismga ajratish mumkin. Brus kesimi har bir nuqtasidagi to'la kuchlanish aytilgan kuchlanishlar algebraik yig'indisiga teng.

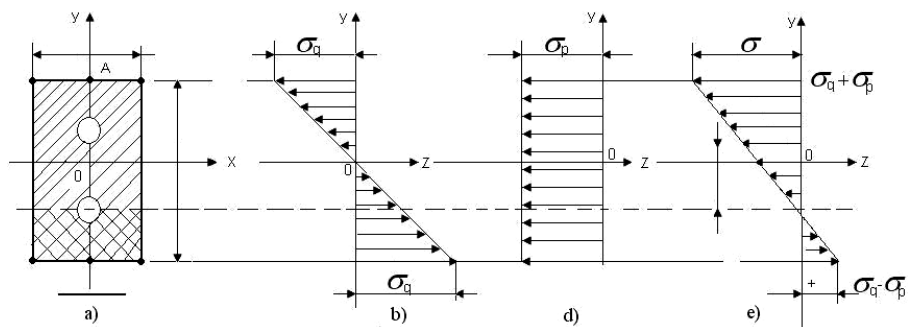
Masalan, rasmda tasvirlangan hol uchun kesim chap tayanchdan z masofadagi ixtiyoriy nuqtasidagi q yuk ta'siridan normal kuchlanishlar $\sigma_q = \frac{M_x y}{I_x}$

P kuch ta'siridan siqilishdagi kuchlanish ko'ndalang kesim yuzasi bo'ylab tekis taqsimlangan, barcha kesimlar uchun bir xil va quyidagiga teng: $\sigma_p = -\frac{N}{F}$

To'la kuchlanish $\sigma = -\frac{N}{F} + \frac{M_x y}{I_x}$

Bu kuchlanishlar epyuralari b,d,e-rasmlarda ko'rsatilgan.

Qiyshiq
egilish va
cho'zilish yoki
siqilishning bir
paytdagi ta'siri
uchun brus



ixtiyoriy nuqtasi kuchlanishi uchun quyidagi umumiy formula o'rinli

$$\sigma = \frac{N}{F} + \frac{M_x y}{I_x} + \frac{M_y x}{I_y}. \quad \text{Tenglamadagi (+) ishora turli kuch omillaridagi hosil}$$

bo'layotgan kuchlanishlar yig'indisi olinganini bildiradi. Oldingidek cho'zuvchi N kuch musbat, M_x , M_y larni musbat deymiz, agar ular kesim birinchi choragida cho'zuvchi kuchlanishlarni hosil qilsa.

Neytral o'q tenglamasini kuchlanishni nolga tenglab olish mumkin

$$\sigma = \frac{N}{F} + \frac{M_x y}{I_x} + \frac{M_y x}{I_y} = 0. \quad \text{Tenglamaga kiruvchi neytral o'q o'tgan ko'ndalang kesim}$$

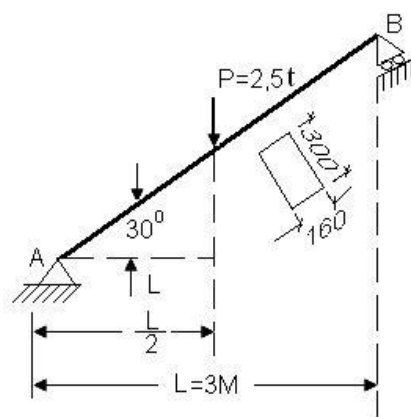
nuqtalari koordinatalari birinchi darajada bo'lgani uchun, neytral o'q to'g'ri chiziqdan iborat bo'ladi.

$x = y = 0$ holda tenglama bajarilmaydi, demak neytral o'q kesim og'irlik markazidan o'tmaydi. Odatda neytral o'qni qurish uchun bosh inersiya o'qlari yotgan kesim bilan neytral o'q kesishgan nuqta holati aniqlanadi. Qiyshiq egilishdagi kabi sterjen kesimi ikkita simmetriya o'qi bir paytning o'zida bosh markaziy o'qlar hisoblanadi. Neytral o'qning x o'qi bilan kesishish nuqtasida y qiymati nolga teng.

$$\text{Mos ravishda tenglamadan } x_0 \text{ koordinata } x_0 = \frac{NI_y}{FM_y} \text{ hamda } y_0 = \frac{NI_x}{FM_x}.$$

M_x yoki M_y nolga teng bo'lgan holda, ya'ni to'g'ri egilish va bo'ylama kuch kombinatsiyasida, neytral o'q egilishidagi o'qqa rasmdagi kabi parallel bo'ladi. neytral

Absolyut miqdor jihatidan eng katta kuchlanishlar neytral o'qdan eng uzoqdagi



ko'ndalang kesim burchak nuqtalarida hosil bo'ladi, hamda ular bir xil ishorali yoki turli ishorali bo'lishi mumkin. Eng katta siquvchi kuchlanishlar miqdor jihatidan cho'zuvchi kuchlanishlarga teng emas. Eng katta kuchlanishlar ruxsat etilganiga teng yoki undan kichik bo'lishi kerak, ya'ni $\sigma^{\max} = \frac{N}{F} + \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \leq \sigma$. Bu ifoda egilish va cho'zilish birgalikda ta'sirining mustahkamlik sharti deyiladi. Plastik materiallar uchun eng katta kuchlanishning absolyut miqdorini topib, ularni ruxsat etilgani bilan solishtirish kifoya.

Mo'rt materiallar uchun eng katta siquvchi va cho'zuvchi kuchlanishlarni aniqlab, olingan natijani mustahkamlik shartiga qo'yish kerak.

Misol tariqasida rasmda keltirilgan balka ko'ndalang kesimlarida hosil bo'luvchi eng katta kuchlanishlarni aniqlashni ko'raylik. Balka yuqori yarmi egiladi, pastki yarmi esa siqiladi. Egilishni $P \cos 30^\circ$ li kuch, siqilishni esa $P \sin 30^\circ$ li kuch

hosil qiladi. Eng katta eguvchi moment $M_{\max} = \frac{P \cos 30^\circ (\frac{\ell}{\cos 30^\circ})}{4} = \frac{P\ell}{4} = \frac{2,5}{4} = 1,875$

Kesim qarshilik momenti va ko'ndalang kesim yuzasi quyidagiga teng:

$$W = bh^2 / 6 = 16 \cdot 30^2 / 6 = 2400 \text{ sm}^3; \quad F = 16 \cdot 30 = 480 \text{ sm}^2$$

Eng katta siquvchi kuchlanishlar (balka yuqori tolalarida, kesimda kuchdan chap tomonda) quyidagiga teng:

$$\begin{aligned} \sigma^s_{\max} &= -D \sin 30^\circ / F - M_{\max} / W = -2500 / 2 \cdot 480 - 187500 / 2400 = \\ &= -2,6 - 78,1 = -80,7 \text{ kg / sm}^2; \end{aligned}$$

Eng katta cho'zuvchi kuchlanishlar

$$\sigma^{ch}_{\max} = -\frac{P \sin 30^\circ}{F} + \frac{M_{\max}}{W_x} = -2,6 + 78,1 = 75,5 \text{ kg / sm}^2$$

Eguvchi moment va bo'ylama kuch birgalikda ta'siri vaqtida ko'ndalang kesim o'lchamlarini topishning o'ziga xos xususiyatlari mavjud, ularni misollarda ko'rib chiqamiz.

Rasmda keltirilgan yog'och balka ko'ndalang kesim o'lchamlarini mustahkamlik shartidan toping. Tomonlar nisbati $h/b=2$ ga teng. Yog'och uchun ruxsat etilgan kuchlanish $[\sigma]_s = [\sigma]_{ch} = 100 \text{ kg / sm}^2$.

Geometrik xarakteristikalar

$$W_x = bh^2 / 6 = 4b^3 / 6; \quad F = bh = 2b^2$$

Mustahkamlik sharti quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi;

$$\sigma = \frac{187500 \cdot 6kg \cdot sm}{4b^3} + \frac{2500kg}{4b^2} \leq 100kg/sm^2$$

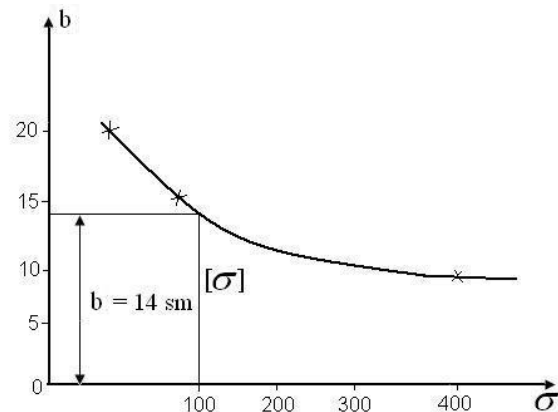
Hosil qilingan kub tenglamani yechishning eng oson usuli tanlash usulidir, ya'ni b ni qiymatini berib, unga mos kuchlanish topiladi.

$$b = 10sm \quad \sigma = -281,75 - 6,25 = -287,5kg/sm^2 > [\sigma]$$

$$b = 15sm \quad \sigma = -82 - 5,6 = -87,6kg/sm^2 < [\sigma]$$

$$b = 20sm \quad \sigma = -35 - 3,1 = -38,1kg/sm^2 < [\sigma]$$

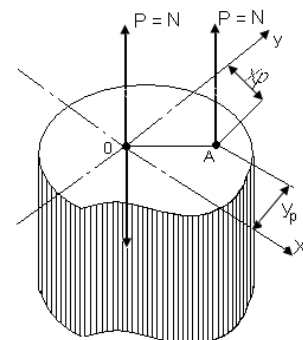
Olingan nuqtalar bo'yicha $\sigma = f(b)$ grafikni chizamiz (rasm) va undan 100 kg/sm² ruxsat etilgan kuchlanishga mos keluvchi b kattalikni olamiz.



Ruxsat etilgan kuchlanishga $b=14,7-14,8$ sm masofa mos kelishi rasmda ko'rinib turibdi. Ko'ndalang kesim o'lchamlarini aniqlashda, uni o'sish tomoniga aniq songacha yaxlitlanadi. Shu sababli tenglama yechimi yetarli darajada aniq.

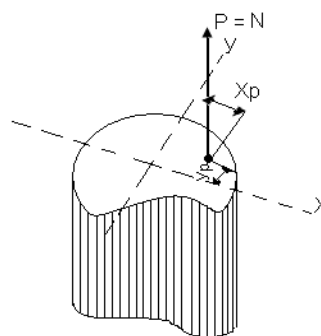
Shuni qayd etish lozimki, yuqoridagi fikrlash katta birklikka ega bo'lgan sterjenlar uchun o'rinli.

Qo'yilish nuqtasi sterjen ko'ndalang kesimi og'irlik markazidan o'tmaydigan cho'zuvchi yoki siquvchi bo'ylama kuch ta'sirida **markaziy bo'lmagan cho'zilish yoki siqilish** paydo bo'ladi. Bo'ylama kuch qo'yilgan (A) nuqta qutb deyiladi. Qutbning $x_p y_p$ o'qlar sistemasidagi (kesim bosh markaziy inersiya o'qlari) koordinatalari kuch qo'yilgan nuqtasining **ekssentrisitetlari** deb ataladi va ba'zan e_x, e_y orqali belgilanadi. Nazariy mexanika qoidalaridan



foydalanib kuchni kesim og'irlik markaziga ko'chiramiz.

Bu holda sterjen bo'ylama kuch va yelkasi bo'lgan juft kuch ta'sirida bo'ladi. Bo'ylama N bo'ylab cho'zishni, juft kuch esa – momenti $P(OA)$ teng momenti sof egilishni hosil qiladi. Agar OA chiziq koordinata o'qlari hech biri bilan mos tushmasa, juft kuch sof qiyshiq egilish hosil qiladi. Shunday qilib, umumiy holda markaziy bo'lmagan cho'zilish yoki siqilishni sof qiyshiq egilish va o'q bo'ylab cho'zilish yoki siqilish birgalikda ta'siriga keltirish mumkin. Kuchlar ta'sirining mustaqillik qonuniga asosan sterjen ko'ndalang kesimlarida hosil bo'luvchi to'la kuchlanishni cho'zilishdagi (siqilishdagi) σ_N kuchlanish va qiyshiq egilishdagi $\sigma_{M_x} + \sigma_{M_y}$ kuchlanish yig'indisi sifatida aniqlash mumkin: $\sigma = \sigma_N + \sigma_{M_x} + \sigma_{M_y} = N/F + M_x Y/I_x + M_y X/I_y$. Bu ifoda egilish va cho'zilish (siqilish) birgalikda ta'sir etgandagi kuchlanishni aniqlash ifodasi bilan bir xildir.



OA
kuch
ga

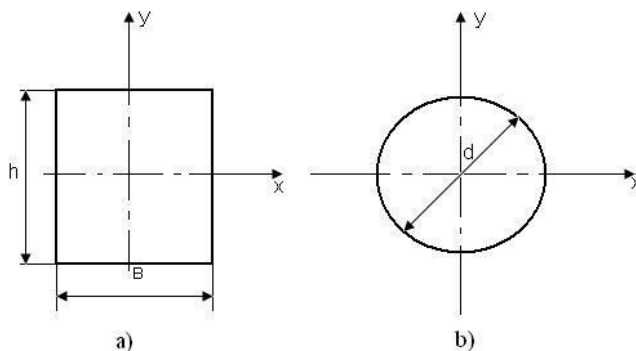
Odatda ushbu ifodani quyidagicha o'zgartiriladi: $M_x = N \cdot y_p$, $M_y = N \cdot x_p$, va

belgilash kiritamiz: $i_x = \sqrt{I_x / F}$;

$i_y = \sqrt{I_y / F}$. Masalan, ko'ndalang kesimi to'g'ri to'rtburchak uchun

$$i_x = \sqrt{\frac{bh^3}{12bh}} = 0,29h,$$

$$i_y = \sqrt{\frac{b^3h}{12bh}} = 0,29b.$$



Doira uchun

$$i_x = i_y = \sqrt{0,05d^4 / 0,8d^2} = 0,25d$$

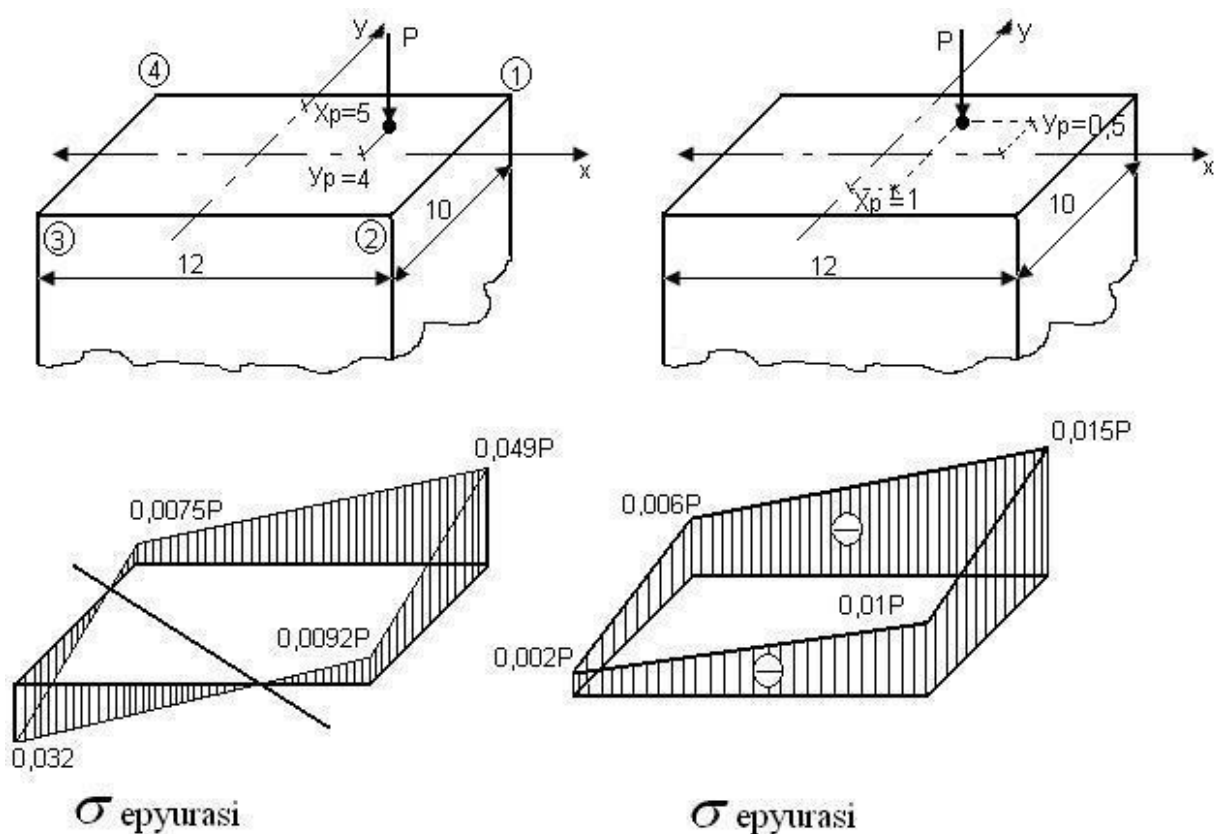
Prokat profillar uchun bosh markaziy inersiya o'qlariga nisbatan inersiya raduslari sortament jadvalidan (ilovadan) olinadi: $i_x^2 = I_x / F$, $i_y^2 = I_y / F$ va ularni kuchlanish ifodasiga qo'ysak, quyidagini olamiz: $\sigma = N \left(\frac{1}{F} + \frac{Y_p y}{I_x} + \frac{X_p x}{I_y} \right)$ yoki

$$\sigma = \pm \frac{N}{F} \left[1 + \frac{Y_p y}{i_x^2} + \frac{X_p x}{i_y^2} \right], \quad \text{bu ifodaga har bir ko'ndalang kesim uchun o'zgarmas}$$

bo'lgan kattaliklar: **P**- tashqi bo'ylama kuchga teng bo'lgan **N** bo'ylama ichki kuch, ko'ndalang kesim yuzasi **F**, kesim bosh inersiya o'qiga nisbatan inersiya raiduslari kvadratlari i_x^2, i_y^2 , shu sistemadagi **P** kuch qo'yilish nuqtasining koordinatalari x_p, y_p lar kiradi. x va y lar kuchlanishi aniqlanayotgan nuqta koordinatalari bo'lgani uchun o'zgaruvchi kattalik hisoblanadi. **N** kuch oldidagi ishora uni siquvchi (–) yoki cho'zuvchi (+) ekanligini anglatadi.

N kuchi ishorasi orqali markaziy bo'lmagan cho'zilish va siqilish bir–biridan farq qiladi, shu sababli kelgusida markaziy bo'lmagan cho'zilish-siqilish so'zi o'rniga “markaziy bo'lmagan siqilish” so'zini ishlatamiz. Chunki markaziy bo'lmagan siqilish o'q bo'ylab siqish va sof qiyshiq egilish birgalikda ta'sirini ifodalagani uchun hisoblash natijalari ixtiyoriy ko'ndalang kesimlar uchun, ularda simmetriya o'qlari bor – yo'qligidan qat'iy nazar o'rinli bo'ladi.

Egilish va cho'zilish-siqilish birgalikda ta'siridagi kabi markaziy bo'lmagan siqilishda ham ko'ndalang kesim tekisligiga bo'ylab normal kuchlanishlar taqsimoti epyurasi bo'ylab kuch ishorasi bilan mos kelib bir xil yoki turlicha bo'lishi mumkin. Epyura ko'rinishi kuch kattaligiga bog'liq bo'lmay, kuch qo'yilish nuqtasi holatidan aniqlanadi. To'g'ri to'rtburchak shaklidagi ko'ndalang kesim bo'ylab normal kuchlanishlar taqsimlanishi epyurasini **P** kuchining 2 nuqtaga ta'sir etgan hollari uchun ko'raylik.



To'g'ri to'rtburchakli kesimning turli nuqtalariga P kuch qo'yilgandagi normal kuchlanish (σ) epyuralari.

Ko'ndalang kesim geometrik xarakteristikalarini topamiz:

$$F=12 \cdot 10=120 \text{ sm}^2, I_x=10^3 \cdot 12/12=1000 \text{ sm}^4, I_y=12^3 \cdot 10/12=1440 \text{ sm}^4,$$

$$i_x^2=1000/120=8,3 \text{ sm}^2, i_y^2=1440/120=12 \text{ sm}^2$$

eng katta kuchlanishlar miqdor jihatidan x, y koordinatalar eng katta qiymatga erishadigan burchak nuqtalarda bo'lishi $\sigma = \pm \frac{N}{F} \left[1 + \frac{Y_p y}{i_x^2} + \frac{X_p x}{i_y^2} \right]$ ifodadan ma'lum.

Undan tashqari $\sigma = \pm \frac{N}{F} \left[1 + \frac{Y_p y}{i_x^2} + \frac{X_p x}{i_y^2} \right]$ ifoda $\sigma=f(x,y)$ funksiyani ifodalaydi va x hamda y unga birinchi darajada kiradi. Bundan bu bog'lanish grafigi, ya'ni kuchlanishlar taqsimoti epyurasi to'g'ri chiziqli ekanligi, uni qurish uchun 1–2–3–4 burchak nuqtalarida kuchlanishlar qiymatlarini aniqlash kifoyaligi kelib chiqadi.

1- sxema uchun $x_p=5 \text{ sm}, y_p=4 \text{ sm}$.

$$\sigma = -\frac{P}{120} \left[1 + \frac{5x}{12} + \frac{4y}{8,3} \right]$$

1-nuqta $x_1=6$ sm, $y_1=5$ sm, $\sigma_1=-0,049P$

2-nuqta $x_2=6$ sm, $y_2=-5$ sm, $\sigma_2=-0,092P$

3-nuqta $x_3=-6$ sm, $y_3=-5$ sm, $\sigma_3=-0,032P$

4-nuqta $x_4=-6$ sm, $y_4=5$ sm, $\sigma_4=-0,0075P$

2-sxema uchun $x_p=2$ sm, $y_p=1$ sm.

$$\sigma = -\frac{P}{120} \left[1 + \frac{1 \cdot x}{12} + \frac{0,5 \cdot y}{8,3} \right]$$

1-nuqta $x_1=6$ sm, $y_1=5$ sm, $\sigma_1=0,015P$

2-nuqta $x_2=6$ sm, $y_2=-5$ sm, $\sigma_2=0,01P$

3-nuqta $x_3=-6$ sm, $y_3=-5$ sm, $\sigma_3=0,002P$

4-nuqta $x_4=-6$ sm, $y_4=5$ sm, $\sigma_4=-0,0066P$

Nuqtalardagi qiymatlari asosida σ epyurasini quramiz.

Ko‘rinib turibdiki 1-sxemadagi σ epyurasi 2 xil ishorali, ya’ni sterjen ko‘ndalang kesimi yuzasi neytral o‘q bilan bo‘lingan siqilgan va cho‘zilgan sohaga ajralgan. Neytral o‘q tenglamasini topish uchun kuchlanishni nolga tenglaymiz:

$$\pm \frac{N}{F} \left[1 + \frac{X_p x}{i_x^2} + \frac{Y_p y}{i_y^2} \right] = 0. \text{ Bunda } \frac{N}{F} \neq 0 \text{ bo‘lgani uchun } 1 + \frac{X_p x}{i_x^2} + \frac{Y_p y}{i_y^2} = 0. \text{ Bu ifoda}$$

neytral o‘q tenglamasi hisoblanadi. Ko‘rinib turibdiki, neytral o‘q tenglamasi to‘g‘ri chiziqdan iborat va kesim og‘irlik markazidan o‘tmaydi.

Neytral o‘qni qurish uchun uning x, y o‘qlari bilan kesishish nuqtalari koordinatlarini topish qulayroq. x o‘qi bilan kesishganda y koordinata, y o‘qi bilan kesishganda esa x koordinata nolga teng bo‘ladi. Tenglamadan x_0, y_0 koordinata

o‘qlaridan neytral o‘q kesgan uchastka mos ravishda $X_o = -\frac{i_y^2}{X_p}$, $y_o = -\frac{i_x^2}{y_p}$, ga teng. Bu

ifodadagi $(-)$ ishora x_0, y_0 koordinatalari kuch qo‘yilgan nuqta koordinatalariga qarama-qarshi, ya’ni neytral o‘q ko‘ndalang kesim qutb joylashganga qarama-qarshi tomonida birinchi choragidan o‘tishini anglatadi. Kuchlanishlar ruxsat etilgandan

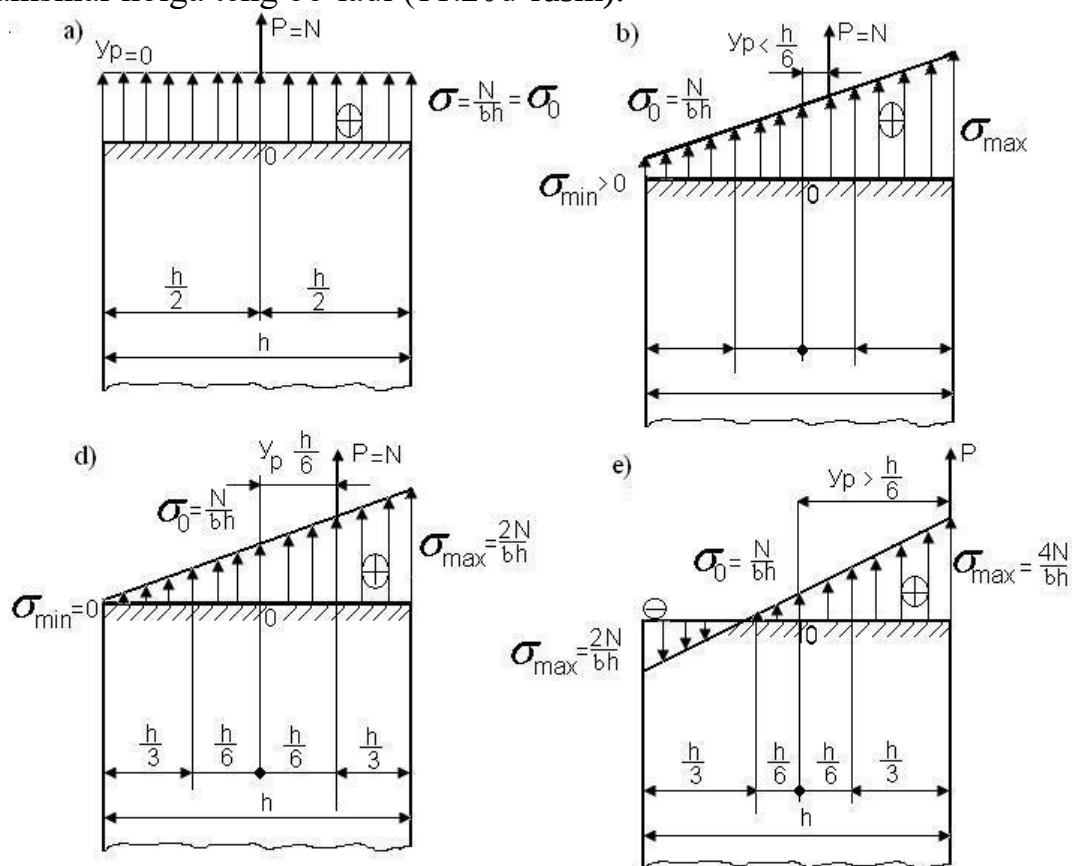
kichik bo'lishi kerak:
$$\sigma_{\max}^{ch} = \frac{N}{F} \left[1 + \frac{X_p x}{i_x^2} + \frac{Y_p y}{i_y^2} \right] \leq [\sigma]_{ch}, \quad \sigma_{\max}^s = -\frac{N}{F} \left[1 + \frac{x_p x}{i_x^2} + \frac{y_p y}{i_y^2} \right] \leq [\sigma]_s$$

Bu ifodalar markaziy bo'lmagan siqilishdagi mustahkamlik shartlari deb ataladi.

Mo'rt materiallar (beton, g'isht devor) juda kichik cho'zuvchi kuchlanishlarni qabul qila oladi, boshqalari esa (masalan, grunt) cho'zilishga umuman qarshilik ko'rsata olmaydi. Bunday materiallar cho'zuvchi kuchlanishlar hosil bo'lmaydigan konstruktsiya elementlaridagina qo'llaniladi.

Markaziy siqiluvchi elementlarda cho'zuvchi kuchlanishlar hosil bo'lmaydi, shu sababli ular yuqorida ko'rsatilgan materiallardan tayyorlanishi mumkin. Bunday materiallarni markaziy bo'lmagan siqiluvchi elementlarda ham qo'llash mumkin, agar ularda cho'zuvchi kuchlanishlar hosil bo'lmasa. Buning uchun siqiluvchi kuch qo'yilish nuqtasi kesim yadrosi deb ataluvchi ko'ndalang kesim biror markaziy sohasida yoki shu soha chegarasida joylashgan bo'lishi kerak. Kesim yadrosi deb, uning shunday bir markaziy sohasiga aytiladiki, uning ixtiyoriy nuqtasiga qo'yilgan kuch brus ko'ndalang kesimi barcha nuqtalarida kuch ishorasi bilan bir xil kuchlanish hosil qiladi.

Agar kuch kesim yadrosidan tashqariga qo'yilgan bo'lsa, u holda ko'ndalang kesimda siqiluvchi va cho'ziluvchi kuchlanishlar hosil bo'ladi (11.20-rasm). Agar kuch kesim yadrosi chegarasiga qo'yilgan bo'lsa, u holda neytral o'q kesim konturiga urinadi (nuqtada yoki chiziq bo'ylab), urinish nuqtasida normal kuchlanishlar nolga teng bo'ladi (11.20d-rasm).



11.20-rasm. Kuchlarni kesim yadrosiga qo'yilishida kuchlanishlarning o'zgarishi:

- a) kuch markaziy qo'yilgan; b) kuch kesim yadrosi ichiga qo'yilgan; d) kuch kesim yadrosi chegarasiga qo'yilgan; e) kuch kesim yadrosidan tashqariga qo'yilgan.

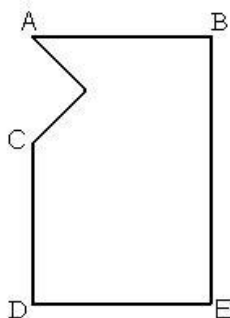
Cho'zuvchi kuchlanishlarni yomon qabul qiladigan materiallardan tayyorlangan elementlarni markaziy bo'lmagan siqilishga hisoblashda kesim yadrosining shakli va o'lchamlarini bilish muhimdir. Bu narsa kuchlanishlarni hisoblamasdan siquvchi kuch eksentrisiteti asosida ko'ndalang kesimda cho'zuvchi kuchlanishlar paydo bo'lishi yoki bo'lmashini aniqlashga imkon beradi.

Kesim yadrosini quyidagi tartibda qurish tavsiya etiladi:

1. Og'irlik markaziy holati, y, z bosh markaziy inersiya o'qlari holati I_y, I_z – bosh inersiya momentlari qiymatlari va i_o^2, i_z^2 – inersiya radiusi kvadratlari aniqlanadi.

2. Agar kesim ko'pburchak ko'rinishida bo'lsa, u holda buning burchaklari uchlarini qutb deb olib, har bir qutb uchun neytral o'q holati aniqlanadi. Neytral o'qlari bilan chegaralangan kontur kesim yadrosi chegarasi bo'ladi.

3. Agar ko'pburchakli kesim ichki burchaklarga ega bo'lsa (11.21-rasm), u holda ko'pburchak uchlarini ko'rayotgan qutb sifatida ko'rilmaydi, chunki neytral o'q B qutb nuqta bo'lganda undan o'ta olmaydi, sababi bu holda kesimni kesib o'tishga to'g'ri keladi.



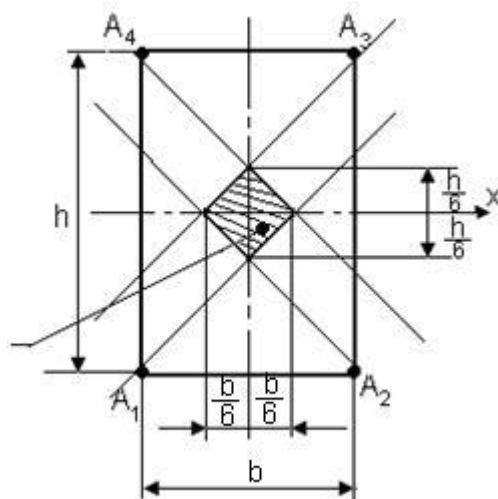
11.21-rasm. Ichki burchakli ko'pburchak kesim.

To'g'ri to'rt burchak kesim yadrosini ko'raylik (11.22-rasm) to'g'ri to'rtburchak A_1 uchini qutb deb qabul qilamiz. (koordinatalri $y=y_P=-h/2, x=x_P=-v/2$)

(11.15) ifodadan foydalanib koordinata o'qlaridan $a_1 a_1$ neytral o'q kesgan bu qutbga mos kesimni aniqlaymiz.

$$y_{01} = -\frac{i_x^2}{y_\delta} = -\frac{bh^3/12}{bh(-h/2)} = \frac{h}{6}.$$

$$x_{01} = -\frac{i_y^2}{x_\delta} = -\frac{bh^3/12}{bh(-b/2)} = \frac{b}{6}.$$



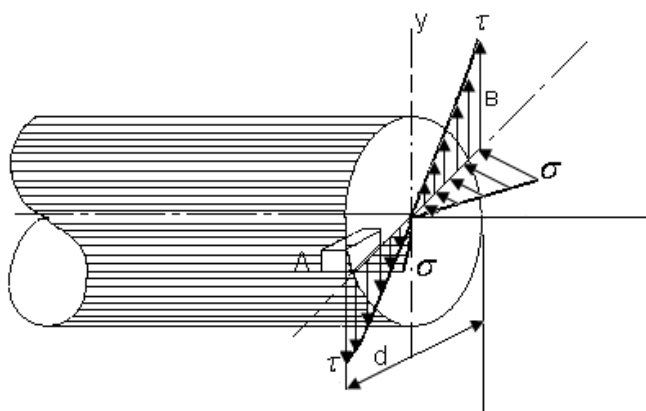
11.22-rasm. To'g'ri to'rtburchak uchun kesim yadrosini qurish.

Bu kesim qiymatlari asosida a_1 a_1 neytral o'qni quramiz (11.22-rasm).

Qutb nuqtani ketma-ket A_2, A_3, A_4 nuqtalarga ko'chirib, har bir qutbga mos keluvchi neytral chiziqlarni quramiz va kesim og'irlik markazi atrofida kesim yadrosiga mos sohani hosil qilamiz. To'g'ri to'rtburchak uchun kesim yadrosi diagonallari $\frac{h}{3}$ va $\frac{h}{3}$ ga teng bo'lgan rombdan iborat (11.22-rasm). Agar kesimda doira shaklidagi markaziy teshik mavjud bo'lsa, u holda kesim yadrosi shakli o'zgarmaydi, faqat uning o'lchamlari o'zgaradi. Olingan natijalarni 11.20-rasmdagi epyuralar bilan solishtirsak, 11.20d-rasmda qutb nuqta kesim yadrosi chegarasida joylashgan diametri d ga teng bo'lgan doirasimon kesim uchun kesim yadrosi ham diametri d/n bo'lgan doiradan iborat bo'ladi.

Egilish va buralishning birgalikda ta'siri

Tashqi yuk ta'sirida sterjen ko'ndalang kesimlarida bir vaqtning o'zida ichki kuchlar eguvchi va burovchi momentlari hosil bo'lgan holga egilish va buralishning birgalikda ta'siri deyiladi. Yuqorida (11.1) da ko'rsatib o'tilganidek, murakkab qarshilikning bu turi o'ziga xos jihati ko'ndalang kesimda eguvchi moment ta'siridan σ normal kuchlanishlar, burovchi moment ta'siridan τ urinma kuchlanishlar hosil bo'lishidir. 11.23-rasmda doirasimon sterjen ko'ndalang kesimlarida kuchlanishlar taqsimoti keltirilgan.



11.23-rasm. Doirasimon sterjen ko'ndalang kesimlarida kuchlanishlar taqsimoti.

Ko'ndalang kesimi doirasimon bo'lmagan sterjenlarda kuchlanishlar taqsimoti epyurasi murakkabroq ko'rinishga ega. Ikkala holda ham normal va urinma kuchlanishlar material A nuqtasi atrofida tekis kuchlanish holatini paydo qiladi. Bu holda material mustahkamligini baholash uchun mustahkamlik nazariyasidan foydalaniladi (5.7 bo'limga qarang).

(5.18) ifodaga asosan mustahkamlik sharti ko'rinishi

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

Bu yerda σ_{ekv} kattaligi III mustahkamlik nazariyasiga asosan (5.20) ifodadan topiladi $\sigma_{ekv} = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}$, IV nazariyaga asosan (5.21) ifodadan

$\sigma_{ekv} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$. Bu mustahkamlik nazariyasidan hozirgi davrda plastik materiallardan yasalgan konstruksiyalarni loyihalash va hisoblashda keng qo'llanilmoqda. Mo'rt materiallardan iborat konstruksiyani egilish va buralishning birgalikda ta'sirini hisoblashda σ_{ekv} ni topishda Mor nazariyasidan (5.22) foydalanish kerak, ammo bu hollarda mo'rt materiallar kamdan-kam qo'llaniladi.

Egilish va buralishning birgalikda ta'siridan konstruksiyani hisoblash quyidagicha amalga oshiriladi:

Eguvchi va burovchi momentlar epyurasi quriladi;

Xavfli kesim holati aniqlanadi;

Murakkab qarshilikning boshqa turlari kabi ichki kuchlar epyurasi tashqi ko'rinishidan xavfli kesim holatini aniqlash qiyin, ba'zan bir nechta xarakterli kesimlarni tekshirishga to'g'ri keladi.

Xavfli kesimda ko'ndalang kesim xarakterli nuqtalarida normal va urinma kuchlanishlar miqdori aniqlanib ularni tanlangan mustahkamlik nazariyasi asosida σ_{ekv} topiladi.

Mustahkamlik shartiga σ_{ekv} qiymatini qo'yib material mustahkamligi yoki ko'ndalang kesim kerakli o'lchamlari aniqlanadi. Ko'ndalang kesimi doirasimon sterjen uchun hisoblashlarni soddalashtirish mumkin $\sigma_{max} = M_b / W$, $\tau_{max} = M_b / W_\rho$, doira uchun $W_\rho = 0,2d^3$, $W = 0,1d^3$, ya'ni $W_\rho = 2W$ bo'lgani uchun uchinchi nazariya ifodasiga asosan

$$\sigma_{ekv} = \frac{\sqrt{M_b^2 + M_e^2}}{W} \quad (11.17 a)$$

Doirasimon ko'ndalang kesimli val hisobi to'rtinchi nazariyaga asosan

$$\sigma_{ekv} = \frac{\sqrt{M_e^2 + 0,75M_b^2}}{W} \quad (11.17 b)$$

Natijada $\sqrt{M_e^2 + M_b^2}$ va $\sqrt{M_e^2 + 0,75M_b^2}$ ifodalarni M_p – hisob momenti orqali belgilab, ko'ndalang kesimi doirasimon sterjenlar uchun mustahkamlik shartini quyidagi ko'rinishda yozish mumkin.

$$\sigma_{ekv} = \frac{M_p}{W} \leq [\sigma] \quad (11.18)$$

ya'ni ko'rinish jihatidan mustahkamlik sharti egilishdagi mutahkamlik shartiga o'xshaydi, unga M_{max} o'rniga uchinchi yoki to'rtinchi mustahkamlik shartidan aniqlanuvchi M_p hisob momenti kiradi.

Takrorlash uchun savollar:

1. Murakkab qarshilik nima?
2. Cho'zilish va egilishga doir misollar keltiring.
3. Kuchlar ta'sirining mustaqillik prinsipi qanday ifodalanadi?
4. Cho'zilish va egilishda kuchlanish qanday aniqlanadi?
5. Cho'zilish va egilishda mustahkamlik sharti qanday ifodalanadi?
6. Markaziy bo'lmagan cho'zilish yoki siqilish kuch qo'yiladi?
7. Ekssentrisitet nima?
8. Kuchlar ta'sirining mustaqillik prinsipi qanday ifodalanadi?
9. Markaziy bo'lmagan siqilish yoki cho'zilishda kuchlanish qanday aniqlanadi?
10. Kuchlanish nolga teng bo'lgan chiziq qanday chiziq deyiladi?

20-Mavzu: Siqilgan sterjenlarning ustivorligi masalasi. Siqilgan sterjenlarni hisoblash usullari.

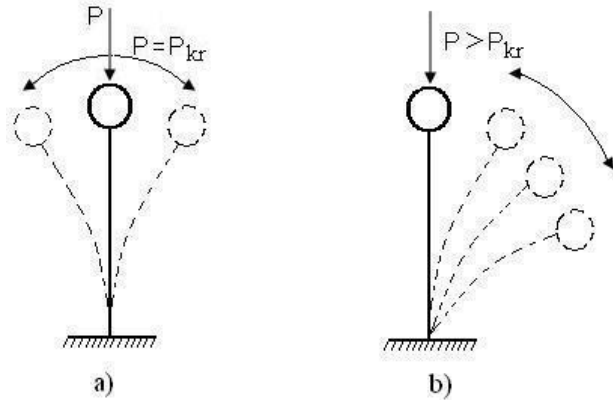
Reja:

1. Ustivorlik. Kritik kuch va uni aniqlash. Eyler formulasi.
2. Kritik kuchni sterjenni mahkamlanishiga bog'liqligi.
3. Eyler formulasidan foydalanish chegarasi. Yasinskiy formulasi.

Tayanch soʻz va iboralar:

Ustivorlik, boʻylama egilish, kritik kuch, keltirilgan uzunlik, sterjen egiluvchanligi, inersiya radiusi, kuchlanishni pasaytirish koeffitsienti, chiziqli interpolatsiya

Siqilgan sterjen ustuvorligi tushunchasini P yuk taʼsiridagi qistirib mahkamlangan egiluvchi sterjen misolida koʻramiz. Agar P kuch uncha katta boʻlmasa sterjen qisqa muddatli gorizonta



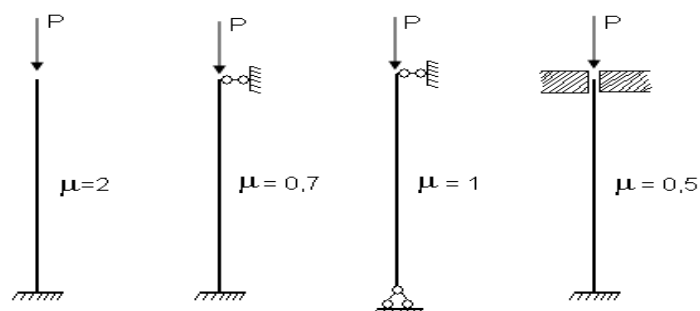
l yuk taʼsirida egiladi va yuk olingach oʻz oʻqi atrofida tebranma harakat qilib, oʻzining boshlangʻich holatiga qaytadi.

Yuk kattaligi oshirilganda sterjen qisqa muddatli yukdan keyin oʻzining boshlangʻich holatini saqlay olmay, egilgan holda qolishi yuz beradi. U ikkinchi marta muvozanat holatidan chiqarilganda yukni olingach, oʻzining yangi egilgan oʻqi atrofida tebranadi.

Sistemaning sterjen va yukdan iborat birinchi holati ustuvor, ikkinchi holati ustuvor boʻlmagan holat deyiladi. Sterjen geometrik parametrlari oʻzgarmas boʻlganda sistemaning ustuvor holatdan ustuvor boʻlmagan holatga oʻtishi siquvchi kuch P kattaligiga bogʻliq.

Sterjenni ustuvor holatdan ustuvor boʻlmagan holatga oʻtkazuvchi siquvchi kuchga P_{kr} **kritik kuch**, bu sterjenda hosil boʻluvchi kuchlanishlarga σ_{kr} **kritik kuchlanish** deyiladi.

Materialning kritik kuchlanishlarga yetishi juda xavflidir, chunki sterjen ustuvorligi yoʻqolganda



deformatsiyalar keskin oshib ketadi va bu hol konstruksiya buzilishiga olib kelishi mumkin.

Birinchi marta kritik kuch kattaligini Leonard Eyler aniqlagani uchun, ba'zan uni Eyler kuchi ham deb ataladi. Eylerga asosan kritik kuch kattaligi quyidagi bog'lanishdan topiladi: $P_{kr} = \pi^2 EI_{min} / (\mu \ell)^2$. Bu yerda I_{min} – ko'ndalang kesim bosh markaziy inersiya momentlaridan biri (kichigi), ℓ – sterjen uzunligi, μ – sterjen uchlarini mahkamlash usuliga bog'liq o'lchamsiz koeffitsient.

Bikr mahkamlash sof holda amalda juda kam uchrashini aytish lozim. Masalan, yetarli uzunlikdagi metall sterjen, asosiy konstruksiyaga payvandlash yoki birikma orqali tutashtirilgan sistema – bikr mahkamlanganga misol, ammo uni ustuvorlikka tekshirishda sharnirli mahkamlangan deb olinadi. Bu ferma sterjenlariga ham taalluqli bo'lib, hisoblashlarda $\mu=1$ ni qabul qiladi. $\mu \ell$ ko'paytma **keltirilgan uzunlik** deyiladi.

Kritik kuchga mos keluvchi, miqdori P_{kp}/F ga teng bo'lgan kuchlanish **kritik kuchlanish** deyiladi.

Tajribalar tahlili shuni ko'rsatadiki, Eyler formulasi asosida hisoblangan natijalar sterjen geometrik parametrlari ma'lum diapazonida yaxshi mos tushadi. Bu parametrlarni umumiy baholash uchun **sterjen egiluvchanligi** λ o'lchamsiz kattaligi kiritiladi: $\lambda = \frac{\mu \cdot \ell}{i_{min}}$, bu yerda, $\mu \cdot \ell$ – sterjen keltirilgan uzunligi, i_{min} – bosh markaziy inersiya o'qlaridan biriga nisbatan ko'ndalang kesim inersiya radiusi.

Kesim inersiya radiusi quyidagi ifodadan topiladi: $i_{min} = \sqrt{\frac{I_{min}}{F}}$

λ egiluvchanlik o'lchamsiz kattalik bo'lib 0 dan 200 gacha bo'lgan qiymatlarni qabul qiladi. Yuqoridagi ifodani λ ning $\lambda \approx 100-200$ qiymatlarida qo'llash mumkin. λ ning Eyler formulasini qo'llash mumkin bo'lgan quyi chegarasi materialga bog'liq. Xususan yog'och uchun 110 ga, cho'yan uchun 80 ga teng va hokazo.

Egiluvchanligi o'rtacha egiluvchanlikdan kichik bo'lgan sterjenlar uchun Peterburg temir yo'llar instituti professori F.S.Yasinskiy tomonidan σ_{kr} kritik kuchlanishni aniqlash imkonini beruvchi empirik bog'lanish taklif etildi: $\sigma_{kr} = a - b\lambda$,

bu yerda a, b – sterjen materialiga bog‘liq tajribada aniqlanuvchi, kuchlanish o‘lchov birligidagi kattaliklar, masalan po‘lat uchun $a=3100 \text{ kg/sm}^2$, $b=11,4 \text{ kg/sm}^2$ ga teng.

O‘rtacha egiluvchanlik deb λ qiymati $40 \div 100$ gacha bo‘lgan egiluvchanlikka aytiladi. $\lambda < 40$ holda kritik kuchlanishni oquvchanlik chegarasiga teng deb olinadi.

Sterjen ustuvorligini yo‘qotishi mumkin bo‘lgan chegaraviy kuchlanish σ_{kr} kattaligi sterjen materiali va geometrik o‘lchamlariga bog‘liq ekanligini aniqladik. Ustuvorlikka hisoblashda, ruxsat etilgan kuchlanishdagi kabi **ehtiyot koefitsienti** kiritiladi. Mustahkamlikka nisbatan ustuvorlikdagi ehtiyot koefitsienti kattaroq qiymatga ega, chunki bir qator tasodifiy kattaliklar – sterjen egriligi, markaziy bo‘lmagan yuk, tasodifiy yondan ta’sirlar kabi kattaliklarga bog‘liq bo‘ladi. Ustuvorlikdagi ruxsat etilgan kuchlanish $[\sigma_y]$ mustahkamlikdagi ruxsat etilgan kuchlanish bilan quyidagicha bog‘langan: $[\sigma_y] = \varphi \sigma_{kr}$, bu yerda: φ – o‘lchovsiz koefitsient, siqilgan sterjenlar uchun asosiy ruxsat etilgan **kuchlanishni pasaytirish koefitsienti** deb, ba’zan bo‘ylama egilish koefitsienti deb ataladi.

φ kattaligi sterjen materiali egiluvchanligiga bog‘liq va u maxsus jadvalda keltiriladi:

Sterjen egiluvchanligi $\lambda = \frac{\mu \cdot \ell}{i_{\min}}$	Materiallar							
	Po‘lat OS, St2, St3, St4	Po‘lat St5	Po‘lat SPK	Cho‘yan	Yog‘och	Beton	Temir beton	Tosh devor
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
10	0,99	0,98	0,97	0,97	0,99	0,99	0,99	0,99
20	0,96	0,95	0,95	0,91	0,97	0,96	0,98	0,96
30	0,94	0,92	0,91	0,81	0,93	0,90	0,97	0,91
40	0,92	0,89	0,87	0,69	0,87	0,83	0,94	0,85
50	0,89	0,86	0,83	0,57	0,80	0,76	0,88	0,78
60	0,86	0,82	0,79	0,44	0,71	0,69	0,82	0,71
70	0,81	0,76	0,72	0,34	0,60	0,63	0,72	0,65
80	0,75	0,70	0,65	0,26	0,48	0,56	0,64	0,58
90	0,69	0,62	0,55	0,20	0,38	0,51	0,57	0,52
100	0,60	0,51	0,43	0,16	0,31	0,45	0,52	0,47
110	0,52	0,43	0,35	–	0,25	–	–	0,42
120	0,45	0,36	0,30	–	0,22	–	–	0,38
130	0,40	0,33	0,26	–	0,18	–	–	0,34
140	0,36	0,29	0,23	–	0,16	–	–	0,31
150	0,32	0,26	0,21	–	0,14	–	–	0,28

160	0,29	0,24	0,19	—	0,12	—	—	—
170	0,26	0,21	0,17	—	0,11	—	—	—
180	0,23	0,19	0,15	—	0,10	—	—	—
190	0,21	0,17	0,14	—	0,09	—	—	—
200	0,19	0,16	0,13	—	0,08	—	—	—

Sterjen siqilishidagi mustahkamlik sharti ustuvorlikni yo‘qotish ehtimolini

hisobga olgan holda ko‘rinishi: $\sigma = \frac{P}{F} \leq [\sigma_y]$ yoki $\sigma = \frac{P}{F} \leq \varphi[\sigma]$.

Siqilgan sterjenlarni ustuvorlikni yo‘qotish ehtimolini hisobga olgan holdagi hisobi masalasi 2 turga bo‘linadi.

- 1) Sterjen ko‘ndalang kesimi geometrik o‘lchamlari ma’lum bo‘lganda ruxsat etilgan siquvchi kuch kattaligini topish.
- 2) Siquvchi kuch kattaligini va kesim shakli berilganda uning geometrik o‘lchamlarini aniqlash.

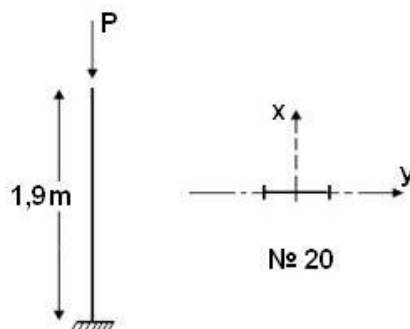
Ikkala turdagi masalalarini yechish tartibiga doir misollar keltiramiz.

Rasmda tasvirlangan qo‘shstavir profildagi ustun uchun ruxsat etilgan kuch kattaligi aniqlansin.

Bu ko‘rinishdagi masalalarni yechish uncha qiyin emas. Mustahkamlik shartidan ruxsat etilgan kuch kattaligi topiladi $P^{rux} = F \times \varphi \times [\sigma]$.

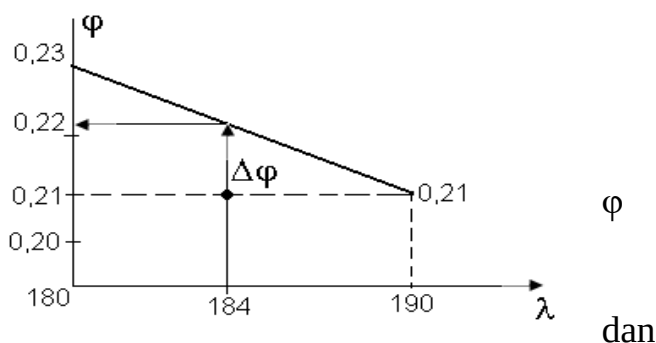
Sortamentdan $F=26,8 \text{ sm}^2$, $i_y(i_{min})=2,07 \text{ sm}$ ni

topamiz. Koeffitsient $\mu=2$ (bir uchi qistirib mahkamlangan sterjen) sterjen egiluvchanligi:



$$\lambda = \mu \times \ell / i_{min} = 2 \cdot 190 / 2,07 = 184$$

Jadvaldan chiziqli interpolatsiyalash usuli bilan St 3 uchun $\lambda=184$ qiymatini topamiz. Jadvalda egiluvchanlik 180 va 190 bo‘lgandagi qiymatlari keltirilgan. Oraliq qiymatlarni topish uchun φ ni 180



190 gacha oraliqda chiziqli o‘zgaradi deb qabul qilamiz. Rasmda chiziqli interpolatsiya usulining grafik tasviri keltirilgan.

Uchburchaklar o'xshashligidan $\lambda=184$ ga mos keluvchi φ qiymatini analitik usulda topamiz

$$\Delta\varphi = \left[\frac{0,23-0,21}{190-180} \right] (190 - 184)$$

bu yerdan $h\Delta\varphi=0,012$, $\varphi=0,21+\Delta\varphi=0,222$.

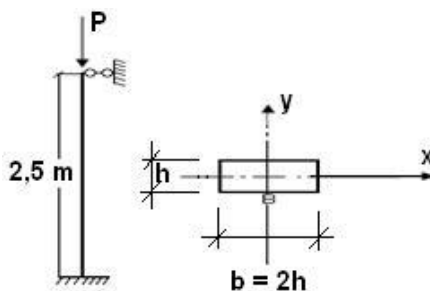
Shunday qilib, $P^{rux} = 26,8 \text{ sm}^2 \times 0,222 \times 1600 \text{ kg/sm}^2 = 9500 \text{ kg} = 9,5 \text{ t}$.

Ikkinchi turdagi masalalarni yechish qiyinroq, chunki mustahkamlik shartiga ko'ndalang kesim o'lchamlariga bog'liq ikkita kattalik kiradi va ulardan biri φ analitik ko'rinishda emas, balki jadval ko'rinishida beriladi. Amalda bu tenglama bir noma'lumli (ko'ndalang kesim o'lchami) bo'lsa ham uni ketma-ket yaqinlashish usuli bilan yechishga to'g'ri keladi. Bunday tipdagi masalalarni yechishga misollar keltiramiz.

40 t kuch yuklangan po'lat ustun ko'ndalang kesimi o'lchamlari topilsin.

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

Mustahkamlik shartida P va $[\sigma]$ ma'lum hisoblanadi. $F=hb=h \times 2h=2h^2$. Yuqoridagi jadval asosida φ ni aniqlash uchun λ ni bilish

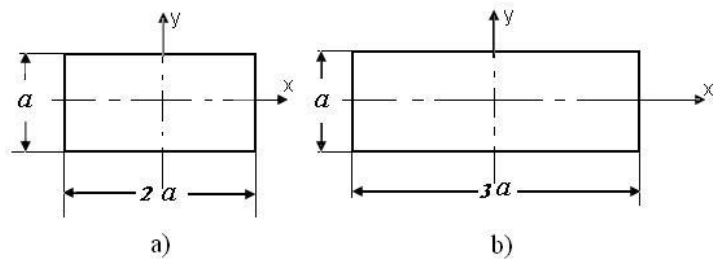


kerak. $\lambda=\mu l/i_{min}$, $\mu=0,7$ (bir tomoni qistirib mahkamlangan ikkinchi tomoni sharnirli tayangan) $i_{min}=i_x=0,29h$ (rasmga qarang) $\lambda=0,70 \times 250/0,29h=603/h$.

Shunday qilib, mustahkamlik sharti tenglamasida faqatgina h noma'lum xolos. h ni bilgan holda F , λ ni topish mumkin, λ asosida jadvaldan φ ni topamiz.

Sterjen egiluvchanligi λ qancha kichik bo'lsa, sterjen o'zgaras ko'ndalang kesimidagi kuchlanishlar shuncha kam bo'lishi mustahkamlik shartidan va yuqoridagi jadvaldan ma'lum. O'z navbatida ko'ndalang kesim minimal inersiya radiusi kattalashishi bilan sterjen egiluvchanligi kamayadi. Bundan ko'ndalang kesimi halqali ustunlar, yaxlitga nisbatan qulayroq ekanligi kelib chiqadi. Ikkinchi tomondan minimal inersiya radiusi tushunchasi geometrik xarakteristika sifatida o'z xususiyatlariga ega. Ko'ndalang kesimning ikki shaklini ko'raylik.

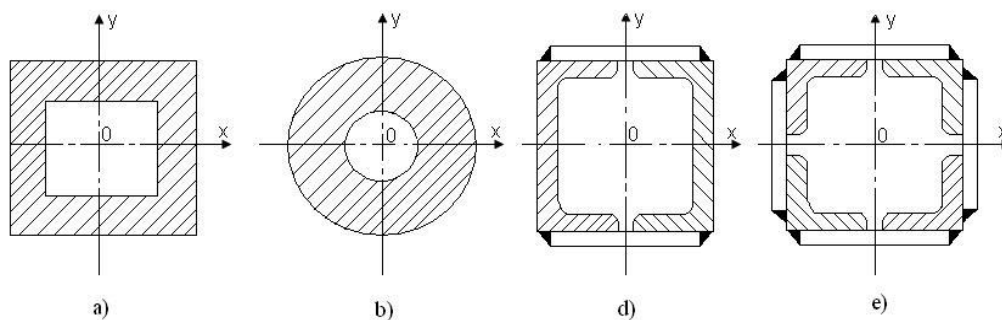
Ikkala kesim uchun i_{min} ni x o'qiga nisbatan aniqlanadi: a sxema uchun



$$i_{min} = i_x = \sqrt{a^3 2a / 12 \times 2a^2} = 0,29ab \text{ sxema uchun}$$

$i_{min} = i_x = \sqrt{a^3 3a / 12 \times 3a^2} = 0,29a$, ya'ni inersiya radiuslari, mos ravishda sterjenlar egiluvchanligi bir xil keltirilgan uzunlikda o'zaro teng. Shunday qilib, x o'qi yo'nalishida ustun o'lchamlarini kattalashtirish, ustun yuk ko'tarish qobiliyatini oshirish uchun kesim yuzasini kengaytirish ruxsat etilgan kuchlanish pasaytirish ko'effitsientiga ta'sir etmas ekan. Buning qulayroq usuli ustun o'lchamlarini y o'qi yo'nalishida kengaytirish, bu holda F oshishi bilan i_{min} kattalashadi, demak bikrlilik kamayadi va ruxsat etilgan kuchlanish pasaytirish ko'effitsienti ko'payadi. y o'qi bo'yicha o'lchamlarni oshirishni x va y o'qlariga nisbatan inersiya radiuslari o'zaro teng bo'lguncha davom ettirish kerak.

Sterjen ko'ndalang kesim yuzalari:



a) to'g'ri to'rtburchakli kovak kesimi; b) halqasimon kesim; d) shveller va listdan tayyorlangan kesim; e) teng yonli burchaklik va listdan tayyorlangan kesim.

Bundan sterjen kesimidagi materialni iloji boricha markazdan uzoqroqqa – chegaraga joylashtirish kerakki, kesim bikrligi, ya'ni markaziy o'qlarga nisbatan inersiya momentlari bir xil bo'lishi kelib chiqadi.

Birikmali kesim elementlari uzunligi bo'yicha ma'lum bir oraliqlarda yaxlit yoki tutashtiruvchi plankalar orqali bir-birlari bilan biktirilib bog'lanishi lozim.

Takrorlash uchun savollar:

1. Kritik kuch deb qanday kuchga aytiladi?
2. Sterjen markaziy o'qi bo'ylab yo'nalgan kuch ta'sirida qanday deformatsiya hosil bo'ladi?
3. Kritik kuchni aniqlashni Eyler formulasini qo'llanish chegarasini tushuntiring.
4. Kritik kuchlanish qanday aniqlanadi?
5. Qanday hollarda Yasinskiy formulasidan foydalaniladi?

21-Mavzu: Qurilish mexanikasi faniga kirish. Inshootlar hisoblash sxemalari va ularning turlari. Inshootlar hisoblash sxemalarining kinematik analizi.

Reja:

1. Qurilish mexanikasi fanining mohiyati va usullari.
2. Inshootlar va ularning hisoblash sxemasi.
3. Tayanchlar va ularning turlari.
4. Tashqi yuklar va ularning inshootga ta'siri.
5. Bino va inshootlarning hisoblash sxemasi va ularning kinematik analizi.
6. Bog'lovchi sharnirlar va ularning turlari.
7. Inshootlar geometrik strukturasining tahlili.
8. Statik aniq, statik noaniq konstruksiyalar.
9. Geometrik o'zgaruvchan, geometrik o'zgarmas hamda oniy o'zgaruvchan sistemalar.

Tayanch so'z va iboralar:

Inshootlar, hisoblash sxemasi, statik kuchlar, dinamik kuchlar, plastinka, plita, qobiq, rama, tayanchlar. diskalar, sharnirlar, erkinlik darajasi, tayanch sterjenlar, geometrik o'zgarmas sistemalar, geometrik o'zgaruvchan sistemalar, oniy o'zgaruvchan sistemalar.

Qurilish mexanikasi - konstruksiya va inshootlarning mustahkamligi, bikrligi va ustivorligini hisoblash printsiplari hamda metodlari to'g'risidagi fandir. Unda inshootlarning mustahkamligini hisoblash bilan birga ularning tashqi kuchlarga chidamli bo'lishini tahminlash masalasi tekshiriladi.

Inshootlarning ustivorligini hisoblashda konstruksiyalarning aynan o'rni va muvozonat holidagi shaklini deformatsiyalangandan keyin ham saqlab qolish qobiliyati aniqlanadi.

Inshootlarning katta ko'chish (siljish) tebranishlar ta'siriga chidamliligini, ulardan normal foydalanishni aniqlash maksadida bikrlikga hisoblanadi.

Inshootlarning mustahkamligi, bikrligi va ustivorligi masalalarini hal qilish uchun tashqi kuchlar ta'siridagi sistemalarda hosil bo'ladigan ichki zo'riqishlar va deformatsiyalarni aniqlash metodlarini bilish kerak.

Qurilish mexanikasining asosiy vazifalaridan biri-inshootlarda hosil bo'ladigan ichki zo'riqish kuchlari va deformatsiyalarini aniqlashdan iborat.

Agar inshoot elementlarining materiali va o'lchamlari ma'lum bo'lsa aniqlangan ichki zo'riqish kuchlari va deformatsiyalar miqdoriga ko'ra har bir element va butun inshootning mustahkamligi, bikrligi va ustivorligini tekshirish mumkin.

Qurilish mexanikasi statik va dinamik kuchlar ta'sirida bo'lgan inshootlarni hisoblash nazariyalari to'g'risida ma'lumot beradi.

Qurilish mexanikasining yana bir vazifasi – inshootlarning tuzilishi, uning elementlarining bir - biriga biriktirilishi qonunlarini tekshirish va ularning eng ratsional (havfsiz, tejimli) shakllarini yaratishdan iborat.

Inshootlar va ularni konstruksiyalarini hisoblashda har qanday muxandis 2 ta omilni: inshootga ta'sir qiluvchi kuchlarni va uning ta'siridan inshoot va uning elementlarida xosil bo'ladigan ichki zo'riqishlarni aniqlashni bilishi muhim ro'l o'ynaydi.

Qurilish mexanikasi fanining qisqacha rivojlanish tarixi

XIX asrning boshlariga kelib sanoat, temir yo'l transporti va gidrotexnika inshootlarning rivojlanishi quruvchilar oldiga yangi injenerlik masalalarini qo'ydi. Bu davrda temirdan tayyorlangan temir yo'l ko'priklari, katta oralikli (proletli) fermalar qurilishi keng tarqaldi.

Rus mexanigi I.P.Kulibin (1735—1813) bu sohada o'zining bir qancha ixtirolarini e'lon qildi. U 1776 yilda Neva daryosiga muljallangan, prolyoti 300 metrli arka tipidagi yog'och ko'prikni hisoblash nazariyasini yaratdi. Arka modelini (10 marta kichraytirilgan) 3500 pudli yuk bilan tekshirib sinab qurdi.

Rus ko'prikshunos injeneri D.I.Juravskiy (1821—1891) o'z nazariyalari va eksperimental ishlari bilan qurilish mexanikasining rivojlanishiga katta xissa qo'shdi. U 1855 yilda tashqi kuchlar ta'sirida ferma elementlarida hosil bo'ladigan zo'riqishlarning qonunini aniqladi va ferma modelida tekshirib qo'rdi. Birinchi bo'lib balkalarni mustahkamligini faqat normal kuchlanishlariga emas balki urinma kuchlanishlariga ham bog'liqligini, ularni aniqlash nazariyasini yaratadi. XIX asrning oxirida va XX asrning boshlarida konstruksiyalarning murakkablashuvi mos holda ularning hisoblash sxemalarini murakablashuviga sabab bo'ldi. Bu sohada ma'lum bo'lgan grafik metod ko'p masalalarni yechish imkonini bera olmas edi. Bunday sistemalarni hisoblash uchun yangi analitik metodlar yaratila boshladi.

Bu davrda qurilish mexanikasining rivojlanishiga buyuk olimlar D.Maksvell (1831 — 1879), O.Mor (1835 — 1918), D.Reley (1842 — 1919), S.P.Timoshenko (1878 — 1972) va boshkalar katta xissa ko'shdilar. Professor X.S.Golovin (1844 — 1904) arkalarni hisoblashda elastik nazariyasini tadbik etdi qurilish mexanikasiga oid kitobini nashr kildi. Bulardan tashqari X.S.Golovin ko'p panjarali fermalarni takribiy hisoblash usulini va qurilish mexanikasida eng kichik ish printsipini yaratdi.

Professor F.S.Yasinskiy (1856 — 1899) yaratgan sterjenlarining ustuvorlik nazariyasi va fazoviy hamda panjarali simmetrik fermalarni hisoblash sohasidagi ishlari, olim va pedagog V.L.Kirpichevning grafostatikaga tegishli va statik aniqmas sistemalarni hisoblash nazariyasi, professor L.D.Prosquryakovning (1859 — 1926)

grafik va grafoanalitik hisoblash metodlari va Rossiya fanlar akademiyasining faxriy aʼzosi V.G.SHuxovning (1853 — 1939) koʻpgina asarlari giperbolik shaklidagi poʻlat minoralari va boshqa ishlari qurilish mexanikasining rivojlanishiga katta xissa qoʻshdi. Statik aniqmas sistemalarni hisoblash nazariyasining rivojlanishda B.G.Golyorkin, I.M.Rabinovich, N.S.Streletskiy, A.A. Gvozdev, B.N.Jemochkin, N.I.Bezuxov, I.P.Prokofgʻev, A.P.Filin, V.A.Kiselyov va boshqa koʻpgina olimlarning asarlari, Oʻzbekistonlik olimlar M.T.Oʻrozboev, X.A.Raxmatulin, V.K.Qobulov, T.R.Rashidov, T.SH.SHirinkoʻlov, K.S Abdurashidov va boshqalarning ishlari salmoqli boʻlib koʻshildilar.

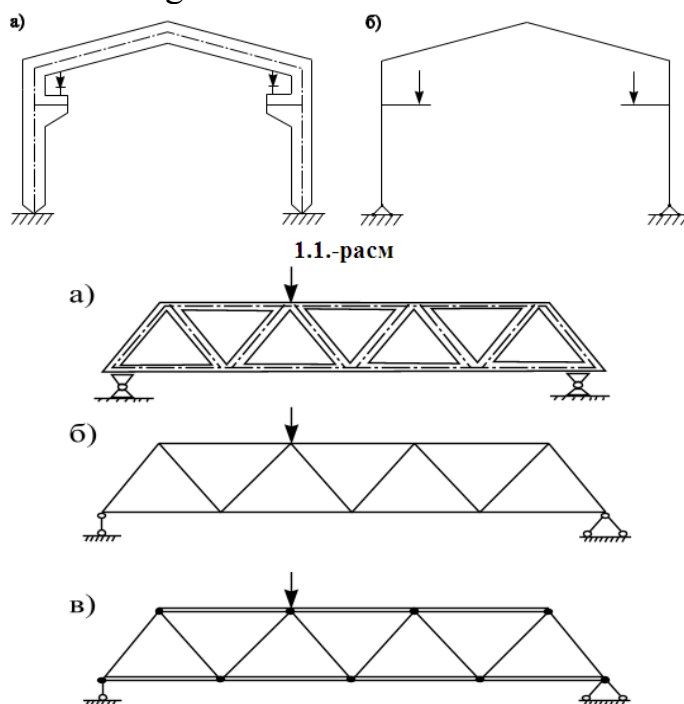
Inshootlarning dinamikasi hamda ustuvorlik nazariyalariga taʼluqli masalalar A.N.Dinnik, K.S.Zavriev, N.V.Kornouxov, N.K.Snitko, A.F.Smirnov, V.V.Bolotin, I.P.Prokofgʻev, Ya.M.Ayzenberg, A.I.Seytlin va boshqa olimlarning asarlarida rivojlantirildi. V.Z.Vlasovning tadqiqod ishlarida qobiqlarni hisoblash nazariyasi toʻla bayon etildi va injenerlik masalarini yechishda ularni amaliy tadbqiq qilish yoʻllari koʻrsatildi.

Elastik asosda yotuvchi sistemalarni hisoblash nazariyasining rivojlanishiga A.N.Krqllov, N.P.Puzqryovskiy, G.D.Dutov, B.N.Gorbunov, A.A.Umanskiy va boshqa olimlarning ishlari katta hissa boʻlib koʻshildi. A.A.Ilyushin, A.A.Gvozdeev, N.S.Streletskiy, N.N.Golgʻdenblat va boshqa olimlar yaratgan chekli holat uslubi qurilish normalari va qoidalariga (SNIP) kiritildi.

Inshootlar va ularning hisoblash sxemasi

Inshoot va tuzilmalar (konstruksiyalar)ining hisobini osonlashtirish uchun ularning haqiqiy sxemasi hisoblash sxemasi bilan almashtiriladi.

Inshootlarning asosiy xususiyatlarini hisobga oluvchi uning soddalashtirilgan tasviri (sxemasi) hisoblash tasviri deyiladi. Hisoblash tasviri imkoni boricha koʻproq xaqiqiy tasvirni ifodalashi zarur. 1.1, 1.2—rasmlarda bahzi inshootlar, ularning toʻliq va hisoblash tasvirlari koʻrsatilgan.



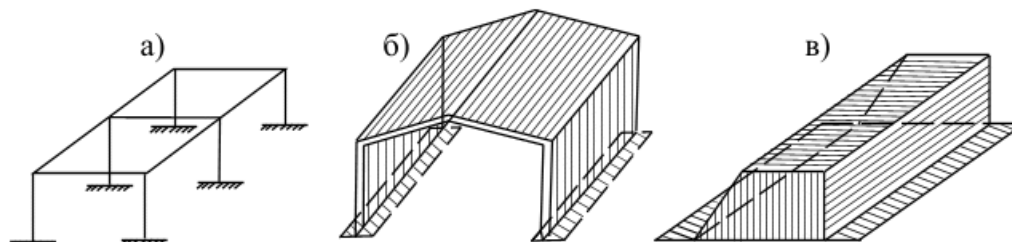
1.2 — rasm

Inshootlar va ularning hisoblash sxemalari elementlarning geometrik shakliga ko'ra quyidagicha klassifikatsiyalanadi (turlanadi):

Sterjenlar birikmasidan tashkil topgan inshootlar (1.3a—rasm) sterjenli sistemalar deyiladi.

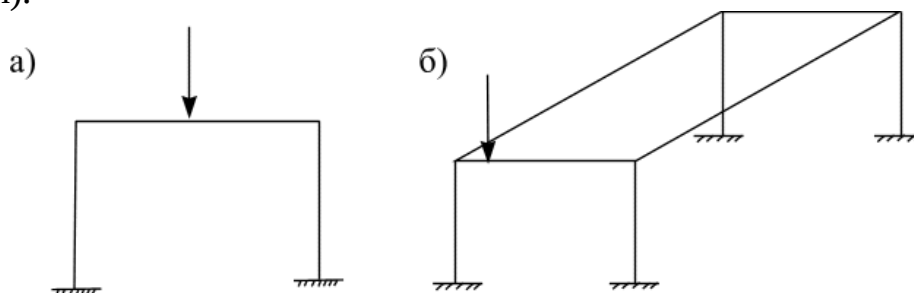
Plastinka, plita va qobiqlar hamda ularning birikmasidan tashkil topgan inshootlar (1.3b — rasm).

Uch o'lchami bir-biriga yaqin bo'lgan inshootlar (1.3a—rasmda) massiv sistemalar deyiladi.



1.3-rasm

Inshootlar elementlarning joylashuviga ko'ra yassi va fazoviy sistemalar bo'linadi (1.4 — rasm).



1.4 – rasm

Inshootlarning fizik hisoblash modeli tanlangandan so'ng hisoblash usuli (metodi) tanlanadi va uning yordamida hisoblash modeli o'rganiladi.

Tashqi yuklar va ularning turlari

Yuklarning uchta asosiy guruhi bo'lishi mumkin:

1. Foydali yuklar — inshoot qabul qilishi lozim bo'lgan yuklar. Masalan, odamlar, asbob-uskunalar, avtomobillar va hokozo.
2. Inshootlarning xususiy og'irligi.
3. Qor va shamol (atmosfera) yuklari (ta'siri).

Yuklarning ko'yilishiga qo'ra ular to'plangan va taralgan (yoyilgan) bo'ladi.

Yuklar ta'sir qilish vaqtiga ko'ra doimiy va muraqqat yuklarga bo'linadi. Ta'sir qilish harakteriga ko'ra statik va dinamik bo'ladi.

Statik kuchlar ta'siridan inshoot qisimlarida inersiya kuchi hosil bo'lmaydi.

Inshootga ta'sir kiluvchi yuklar kuzgalmas va harakatlanuvchi yuklar guruhiga bo'linadi.

Inshootlar tayanchlarining cho'kishi va tashqi haroratning o'zgarishi natijasida ham ularga ta'sir etuvchi qo'shimcha yuklar hosil bo'lishi mumkin.

Inshootga ta'sir kiluvchi yuklar qo'zgalmas va harakatlanuvchi yuklar guruhiga bo'linadi.

Inshootlar tayanchlarining cho'kishi va tashqi haroratning o'zgarishi natijasida ham ularga ta'sir etuvchi qo'shimcha yuklar hosil bo'lishi mumkin.

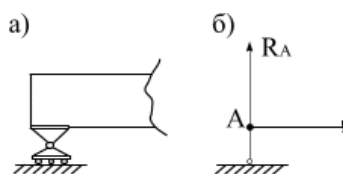
Tashqi yuklarning turlari materiallar qarshiligida o'rganilgan turlarga aynan mosdir. SHu bilan birga qurilish mexanikasida qo'yilish nuqtasiga qarab quyidagi turlarga bo'linadi:

1. Qo'zgalmas yuklar – bu yuklar inshootga ta'sir qilish davrida o'z o'rnini o'zgartirmaydi.
2. Qo'zgaluvchan yuklar – inshootga qo'yilgan o'rnini o'zgartiradigan yukdir. Inshootga bir necha turdagi yuklar ta'sir qilganda ularni birgalikda qarash uchun asosiy va maxsus birikmalar qaraladi. Buning natijasida hisobiy zo'riqishlar aniqlanadi. So'ngra shu zo'riqish asosida konstruktiv yechimlar tanlanadi. Bunda qo'llanadigan koeffisientlar inshootning va materialning turiga muvofiq qurilish meyorlarida va qoidalarida keltirilgan bo'ladi.

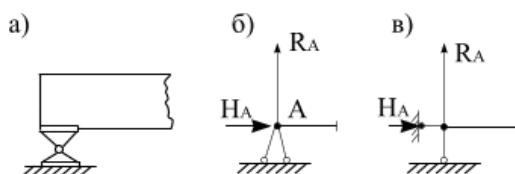
Tayanch va ularning turlari

Inshootlarni asos bilan biriktiruvchi va ularning ko'chishini cheklovchi qurilmalar tayanchlar deb ataladi.

Tekis inshootlar tayanchlari asosan quyidagi turlarda bo'ladi: 1. SHarnirli qo'zgaluvchan tayanch (1.5 — rasm). 2. SHarnirli qo'zgalmas tayanch (1.6 — rasm).

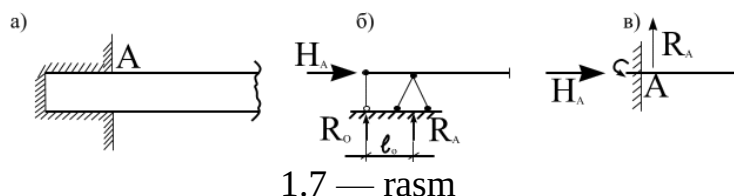


1.5 - rasmi



1.6 - rasmi

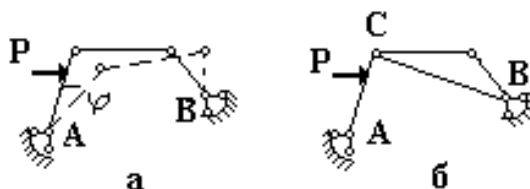
3. Qistirib mahkamlangan tayanch (1.7 — rasm):



1.7 — rasm

Inshootlar sxemalarining kinematik analizidan ko'zlangan maqsad, bir-biri bilan sharnirli yoki tashqi yuklar ta'sirida o'zining shakli va holatini o'zgartirmasligini aniqlashdir.

Bunday talabni qanoatlantiruvchi inshoot geometrik o'zgarmas sistema bo'ladi. Inshoot shakli yoki holatining o'zgarishi uni tashqil etuvchi elementlarning deformatsiyalanishi tufayliga sodir bo'lishi mumkin. Har bir inshootni hisoblashdan oldin uning sxemasini geometrik o'zgarmaslik shartlariga asosan kinematik analiz qilish kerak. Masalan, 1-rasmda tasvirlangan sistemaning sterjenlaridagi zuriqishlari aniqlash mumkin emas, chunki oz miqdordagi P kuchning ta'siri ham uning shakli va holatini o'zgartiradi. Demak, berilgan sistema geometrik o'zgaruvchan sistema, ya'ni mexanizmdir. Sistema geometrik o'zgarmas bo'lishi uchun unga qo'shimcha bog'lovchi element (masalan, BC)ni kiritish kerak (1-rasm, b).



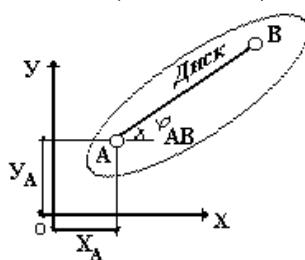
1- rasm

Sistemani asosiy hamda yordamchi elementlarga ajratishda va ularning bir-biri bilan qanday bog'lanishda ekanligini tekshirishda kinematik analizning ahamiyati katta. Kinematik analiz yordamida sistemaning geometrik o'zgarmas yoki o'zgaruvchi ekanligi bilib olinadi. Faqat geometrik o'zgarmas inshootlarga tashqi yuklarni qabul qilib, ularga qarshilik ko'rsatishi, ya'ni yuklar ta'sirida ishlashi mumkin.

Yassi sistemalarning erkinlik darajasi

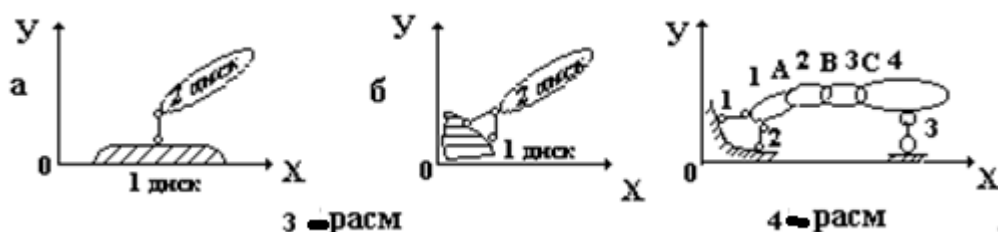
Har qanday yassi jism yoki yassi jismlar sistemasining tekislikda olgan urni tula aniqlab beruvchi, bir-biriga bog'liq bo'lmagan geometrik parametrlar miqdori shu sistemaning erkinlik darajasi soni deb ataladi. Tekislikda olingan biror A nuqtaning ixtiyoriy qabul qilingan qo'zg'almas koordinatalar o'qiga nisbatan olgan urni ikkita koordinata X_A , Y_A bilan aniqlanadi. Shuning uchun nuqtaning o'zi yotgan tekislikdagi erkinlik darajasi soni ikkiga teng bo'ladi.

Har qanday geometrik o'zgarmas tekis sistema disk deb ataladi. Masalan: sterjen, plastinka, balka va fermalarni disk deb qabul qilish mumkin. Tekislikdagi biror diskning koordinatalar uqiga nisbatan olgan urni uchta parametr X , Y va φ_{AB} bilan aniqlanadi (2-rasm). Demak, har bir disk o'zi yotgan tekislikda uchta erkinlik darajasiga ega bo'ladi. Diskning erkin harakatini, ya'ni erkinlik darajasini turli qurilmalar yordamida cheklash mumkin. Bitta erkinlik darajasini cheklovchi kurilma kinematik bog'lanish deiladi. Bunga misol qilib, ikkita diskni bir-biri bilan bog'lovchi sterjenni ko'rsatish mumkin (3- rasm,a). Bu sterjen ikkinchi



2-rasm

diskning birinchi diskka nisbatan chiziqli ko'chishiga qarshilik ko'rsatadi. Ikki disk bir-biri bilan silindrik sharnir vositasida bog'langanda (3-rasm,b) birinchi diskka nisbatan ikkinchi disk ikkita erkinlik darajasini yuqotadi. Demak, silindrik sharnir ikkita sterjenga ekvivalentdir (3-rasm,b). Inshootlarning hisoblash sxemalari, asosan, geometrik tekis elementlar (disklar)dan iborat bo'lgan kinematik zanjirlardan tuziladi (4-rasm). Bu disklar (elementlar) bir-biriga sharnirlar yordamida, yerga esa tayanch sterjenlar orqali bog'lanadi.



Bunday murakkab sistemaning erkinlik darajalari soni quyidagicha aniqlanadi. Sistemadagi disklar soni D bo'lsa, uning erkinlik darajasi soni $3D$ bo'ladi, chunki har bir disk uchta erkinlik darajasiga ega. Bu disklar bir-biri bilan SH ta oddiy sharnirlar bilan bog'langan bo'lsa, sistemaning erkinlik darajasi $2SH$ ga kamayadi, chunki har bir sharnir ikkita erkinlik darajasini yuqotadi. Sistemani yerga bog'lovchi har bir tayanch sterjen uning bitta erkinlik darajasini yuqotadi. Demak, murakkab sistemaning erkinlik darajasi soni W quyidagi ifodaga asosan to'iladi:

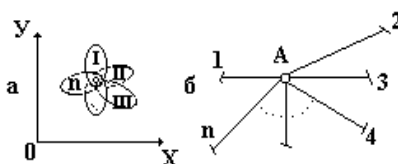
$$W = 3D - 2SH - St$$

bunda D - disklar soni, SH - diskarni o'zaro bog'hlovchi oddiy sharnirlar soni, St - tayanch sterjenlar soni.

Agar berilgan sistema uchun $W > 0$ bo'lsa, sistema geometrik o'zgaruvchandir; $W = 0$ bo'lsa, sistema geometrik o'zgarmas; $W < 0$ bo'lganda esa sistema geometrik o'zgarmas bo'lish bilan birga, o'z tarkibida ortiqcha bog'lanishlariga ega bo'ladi. Ortiqcha bog'lanishlarga ega bo'lgan sistemalar statik anikmas sistemalar deyiladi.

Agar berilgan sistemaning biror sharnirli tugunida bir necha disklar bir bilan bog'langan bo'lsa, bunday sharnir murakkab sharnir deb ataladi (5-rasm). Murakkab sharnirli sistemalarning erkinlik darajalari soni yuqoridagi formula bilan aniqlanadi; lekin murakkab sharnirlar sonini oddiy sharnirlar soni bilan almashtirish kerak.

Agar murakkab sharnirda n ta disklar bir biri bilan bog'langan



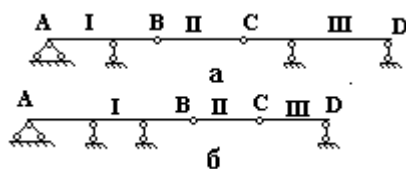
5- rasm

bo'lsa, uning oddiy sharnirlar soni bog'langan disklar sonidan bitta kam $(n-1)$ bo'ladi.

Inshootlar geometrik strukturasi analiz. Tekis sistemalarning geometrik o'zgarmas ekanligi ishonch hosil qilish uchun $W < 0$ shart bajarilishi bilan birga uning geometrik tuzilishini analiz qilish kerak.

Agar berilgan sxema uchun $W < 0$ shart bajarilgan bo'lsa, u geometrik o'zgaruvchan bo'lishi ham mumkin. Masalan, 6- rasm, a va b da ko'rsatilgan ikki sistemadagi disklar soni $D=3$, oddiy sharnirlar soni $SH = 2$ va tayanch sterjenlar soni $St = 5$ bir xildir. U holda ularning erkinlik darajasi formulaga asosan:

$$W = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 2 - 5 = 0$$

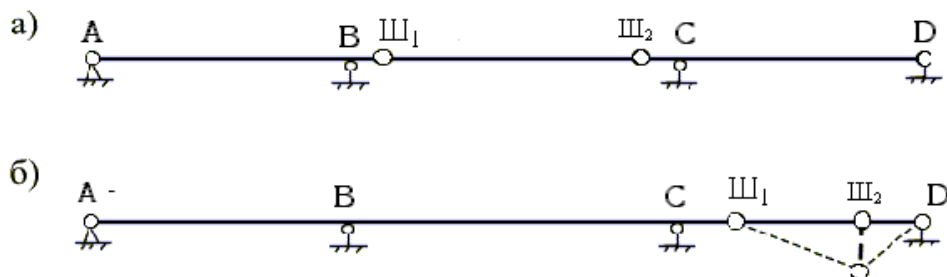


6-rasm

Birinchi sxema (6-rasm,a) geometrik o'zgarmasdir. Lekin 2-chi sxemaning 3-chi prolyotidagi C sharniri pastga yoki yuqoriga erkin ko'chishi mumkin. Demak, balkaning BCD qismi geometrik o'zgaruvchan va AB qismi esa ortiqcha tayanch bog'lovchiga ega.

Inshootlar geometrik strukturasi taxlili

Tekis sistemalarning geometrik o'zgaras ekanligiga ishonch hosil qilish uchun $W \leq 0$ shart bajarilishi bilan birga uning geometrik tuzilishini analiz qilish kerak. Masalan, 7-rasmda $W \leq 0$ sharti bajarilgan bo'lsa ham, geometrik o'zgaruvchan bo'lgan balka ko'rsatilgan.

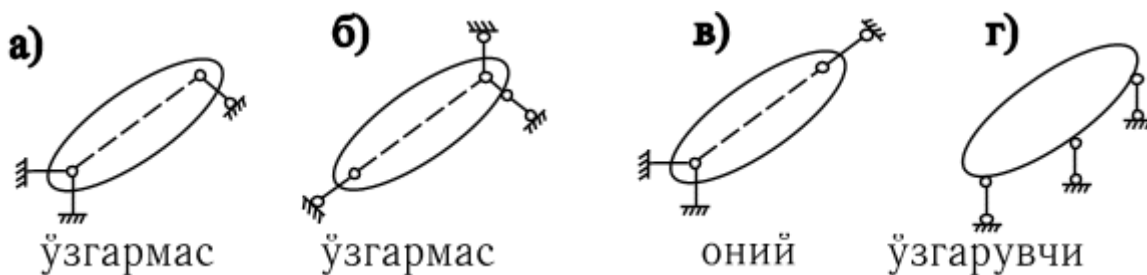


7— rasm

Erkinlik darajasi $W = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 2 - 5 = 0$.

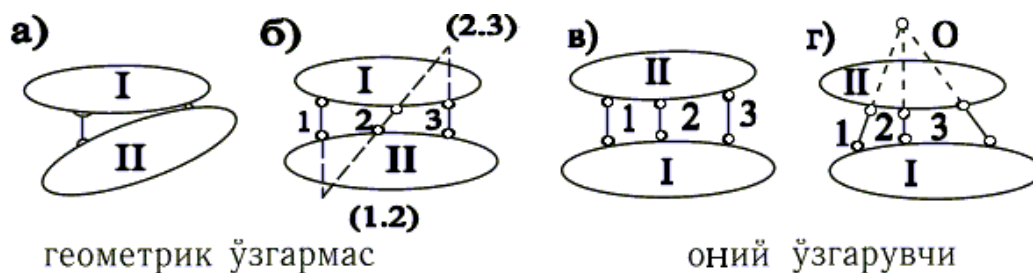
Inshootni hisoblash sxemasi geometrik o'zgarmas bo'lish uchun ular yer bilan va o'zaro quyidagi shartlarga asosan bog'langan bo'lishi kerak.

1) Bir disk va uch sterjenlardan iborat bo'lgan sistema (8 — rasm)



8 — rasm

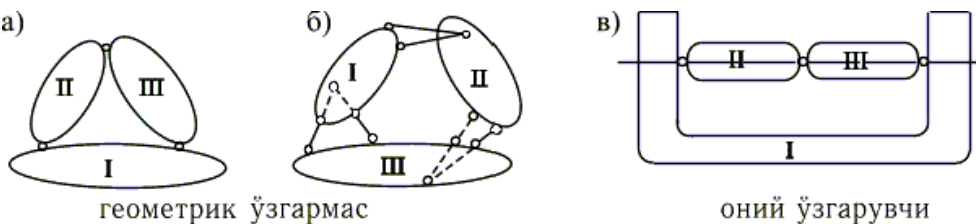
2) Ikki disk, bir sterjen' va bitta oddiy sharnirdan yoki 3ta sterjendan iborat sistema (9—rasm).



Demak, ikki disk o'zaro geometrik o'zgaras bo'lish uchun ular bitta sharnir va bitta sterjen' bilan bog'langan yoki bir nuqtada kesishmovchi 3ta sterjen' bilan bog'langan bo'lish kerak.

3) Uchta diskni geometrik o'zgaras qilib bog'lash uchun bir to'g'ri chiziqda yetmagan uchta oddiy sharnir yoki 6ta sterjen' kerak bo'ladi (10— rasm). Aks holda hosil bo'lgan a)

sistema oniy o'zgaruvchan bo'ladi.

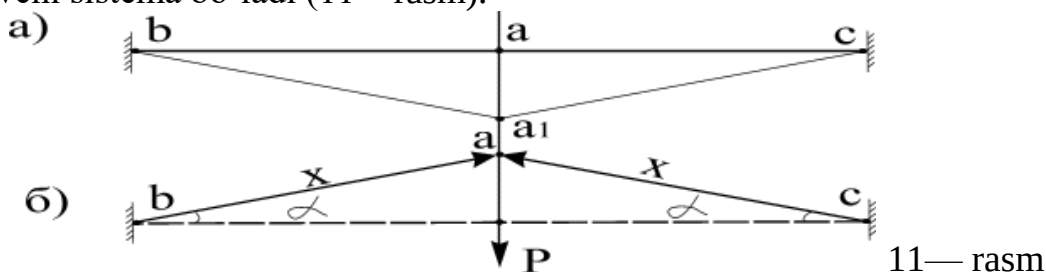


10— rasm

Demak, $W \leq 0$ shart sistemaning geometrik o'zgaras bo'lishi uchun zarur, lekin yetarli emas ekan. SHuning uchun $W \leq 0$ bo'lishidan tashqari sistemaning elementlari bir-biri bilan yuqorida keltirilgan shartlarga binoan bog'likligini tekshirish kerak.

Demak, $W \leq 0$ shart sistemaning geometrik o'zgaras bo'lishi uchun zarur, lekin yetarli emas ekan. SHuning uchun $W \leq 0$ bo'lishidan tashqari sistemaning elementlari bir-biri bilan yuqorida keltirilgan shartlarga binoan bog'likligini tekshirish kerak.

Bir to'g'ri chizig'da yotgan ikkita to'g'ri chizig'dan iborat sistema, oniy o'zgaruvchi sistema bo'ladi (11—rasm).



11— rasm

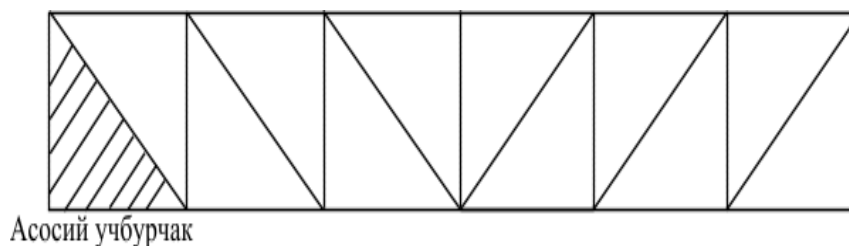
Oniy o'zgaruvchi sistemalarda tashqi yuklar ta'siridan yoki ularning ta'sirisiz cheksiz katta zo'riqishlar yoki noaniqlikka ega bo'lgan zo'riqishlar hosil bo'ladi. Bu bunday sistemalarning statik belgisi bo'ladi.. 11—rasmda ko'rsatilgan oniy o'zgaruvchi sistemaning hisoblash sxemasini (11—rasm) qaraylik:

$$\sum y=0, 2X \cdot \sin \alpha - R=0, X=R/2 \sin \alpha$$

Agar $\alpha \rightarrow 0$ bo'lsa, noma'lum kuch X katta yoki cheksiz kiymatlarga teng bo'ladi.

Bundan tashkari, oniy o'zgaruvchanlikni aniqlash uchun yuklanmagan sistemalar o'rganiladi. Agar sistema oniy o'zgaruvchi bo'lsa, u holda tayanch reaksiyalari noaniqlikka teng bo'ladi.

Ferma konstruksiyasi uch burchakdan iborat bo'lganligi sababli geometrik o'zgaras sistemalariga kiradi (12—rasm).



12—rasm

SHarnirli-sterjenli sistemalarning (femalarni) erkinlik darajasi quyidagi formula yordamida aniqlanadi.

$$W=2Y-S-S_t$$

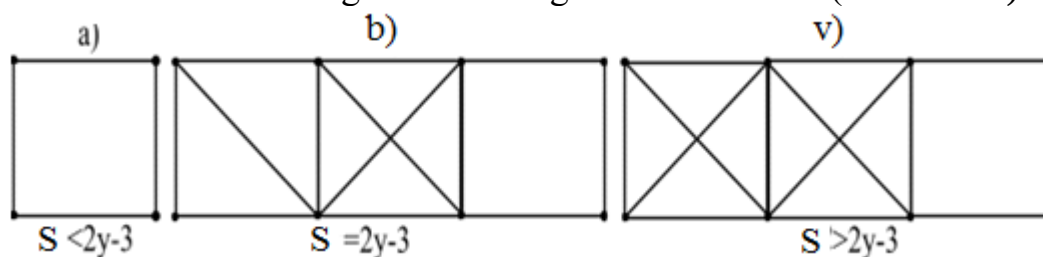
Bu yerda Y – tugunlar soni, S – sterjenlar soni, S_t – tayanch sterjenlar soni.

Tayanchlardan ajratilgan sistemalar uchun (12–rasm).

$V=W-3=2Y - S=3$ geometrik o'zgaraslik sharti $V=0$ bo'ladi yoki $2Y - S=3$ bu yerdan

$$S=2Y - 3$$

Agar $S < 2Y - 3$ bo'lsa sistema geometrik o'zgaruvchan bo'ladi (13a – rasm).



13—rasm

$S \geq 2Y-3$ sharti zaruriy bo'lsa ham, lekin yetarli emasdir (13 b, v – rasmlar).

Takrorlash uchun savollar:

1. Qurilish mexanikasi fani nimani o'rgatadi?
2. Inshootlar va ularning hisoblash sxemasi qanday tanlanadi?
3. Qanday tayanchlarni bilasiz?
4. Tashqi yuklar va ularning inshootga ta'siri haqida nimalarni bilasiz?
5. Statik aniq, statik noaniq konstruksiyalar deganda nimani tushunasiz?

22-mavzu. Oddiy va konsol balkalarda zo'riqishlarning ta'sir chiziqlari.

Harakatlanuvchi yuklar va ta'sir chiziqlari haqida tushuncha. Oddiy va konsol balkalarda zo'riqishlarning ta'sir chiziqlari.

Reja:

1. Harakatlanuvchi yuklar va ta'sir chiziqlari haqida tushuncha.
2. Tayanch reaksiyalarning ta'sir chizig'i.
3. Oddiy va konsol balkalarning biror kesimi uchun ichki zo'riqishlarning ta'sir chizigini chizish.

4. Ta'sir chiziqlari yordamida zo'riqlashlarni aniqlash.

Tayanch so'z va iboralar:

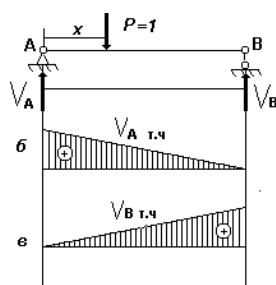
Ta'sir chiziqlari, bilik kuch, tayanch reaksiyalar uchun ta'sir chizig'i, kesimdagi ichki zo'riqlashlar uchun ta'sir chiziqlari, ta'sir chiziqlari yordamida zo'riqlashni aniqlash.

Harakatlanuvchi kuchlar sistemasi qo'yilgan balkalarni hisoblash uchun ularni avval birlik ko'chma kuch ($P=1$) ta'siriga hisoblash kerak. Balkaning tayanch reaksiyalari, eguvchi moment va ko'ndalang kuchlarning miqdorlari uning ustida harakatlanuvchi birlik kuchning vaziyatiga bog'liq (1-rasm):

$$A = f_1(x); \quad B = f_1(x); \quad M = f_3(x); \quad \text{va} \quad Q = f_2(x); \quad (1')$$

Ta'sir chizig'ini qurish uchun birlik kuch ($P=1$) balka ustidagi ma'lum nuqtalarga ketma-ket qo'yilib, bizni qiziqtirayotgan miqdorning o'zgarish qonunini ifodalovchi funksiya (1) aniqlanadi. So'ngra bu funksiyaning grafigi chiziladi.

Oddiy balka tayanch reaksiyalarining ta'sir chizig'i. Chap tayanch reaksiyasining ta'sir chizig'ini qurish uchun balka ustida harakatlanuvchi birlik yukni ($P=1$) chap tayanchdan x masofada joylashtiramiz va statikaning muvozanat tenglamasini yozamiz (1-rasm):



1-rasm

$$\sum M_B = 0, Al - P(l - x) = 0.$$

Bundan,

$$A = P \frac{l-x}{l} \quad \text{yoki} \quad A = \frac{l-x}{l} \quad (2)$$

(2) ifoda tayanch reaksiyasi A ning ta'sir chizig'i tenglamasidir. O'zgaruvchan abssissa x birinchi darajali bo'lgani uchun (2) ifoda to'g'ri chiziq tenglamasi bo'ladi.

Tayanch reaksiyasi A ning ta'sir chizig'ini chizish uchun (2) tenglamadagi abssissa x ga $0 \leq x \leq 1$ oraliqda qiymatlar beramiz ($P=1$) yuk chap va o'ng tayanchlar orasida harakatlanadi). $x=0$ da $A=1$ va $x=1$ bo'lganda $A=0$ bo'ladi.

Koordinatalar sistemasida A tayanchning tagiga biror masshtabda birga teng bo'lgan ordinatani $x=0$ da $A=1$, B tayanchning tagiga esa nolga teng bo'lgan ordinatani $x=1$ da $A=0$ qo'yib, hosil bo'lgan nuqtalarni to'g'ri chiziq bilan birlashtiramiz (2-rasm, b). Bu grafik reaksiya A ning ta'sir chizig'i bo'ladi. Uni qisqacha A t.ch. deb belgilaymiz

A ta'sir chizig'ining har bir ordinatasi harakatlanuvchi birlik kuch shu ordinataga to'g'ri kelgan kesim ustida turgan vaziyatida hosil bo'lgan A tayanch reaksiyasining qabo'l qilingan masshtabdagi miqdorini ifodalaydi.

O'ng tayanch reaksiya B ning ta'sir chizig'ini quramiz. Birlik yuk ($P=1$) ni chap tayanchdan x masofada balka ustida turgan vaziyati uchun statikaning $\sum M_A = 0$ muvozanat tenglamasini yozamiz (1-rasm):

$$-Bl + Px = 0, \quad \text{bundan} \quad B = \frac{x}{l}. \quad (3)$$

(3) tenglik B tayanch reaksiyasining ta'sir chizig'i tenglamasidir, bunda $0 \leq x \leq l$ $x=0$ da $B=0$ $x=l$ da esa $B=1$ bo'ladi.

B tayanch reaksiyasining ta'sir chizig'ini chizish uchun koordinalar sistemasida o'ng tayanch ostiga birga teng bo'lgan ordinatani, chap tayanch tagida esa nollik ordinatani qo'yib nuqtalarni to'g'ri chiziq bilan birlashtiramiz. Bu grafik (1-rasm,b) B reaksiyaning ta'sir chizig'i (V t.ch.) bo'ladi.

(3) va (3) ifodalarga ko'ra, A va B tayanch reaksiya ta'sir chiziqlarining ordinatalari musbat ishorali bo'lib, o'lchamsiz miqdordir.

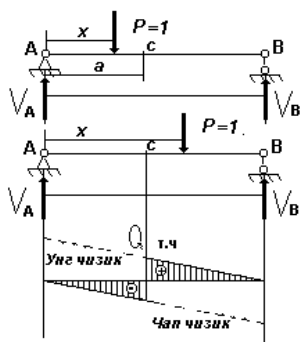
Ko'ndalang kuchning ta'sir chizig'i. Balkaning berilgan kesimi C dagi ko'ndalang kuch Q_c ning ta'sir chizig'ini qurish uchun birlik kuch ($P=1$) ning ikki vaziyatini tekshirish kerak (2-rasm).

Birinchi vaziyat. Birlik ko'chma kuch ($P=1$) C kesimdan chap tomonda harakat qiladi, ya'ni $0 \leq x \leq a$. Balka o'ng tomoning muvozanatini ko'rib Q_C^{uan} ni aniqlaymiz:

$$\sum Y = 0, \quad \text{bundan } Q_C^{uan} = -B = -\frac{x}{l}. \quad (4)$$

Ikkinchi vaziyat. Birlik ko'chma kuch C kesimdan o'ng tomonda harakat qilsin. Unda $0 \leq x \leq 1$ (2-rasm). Balka chap qismining muvozanatini tekshiramiz:

$$Q_C^{uan} = -A = -\frac{x}{l}. \quad (4')$$



2-rasm

(4) ga asosan, Q_C^{uan} chap chiziq ordinatalari chap tayanchdan C kesimgacha balkaning B tayanch reaksiyasi ta'sir chizig'ining teskari ishora bilan olingan ordinatalari qiymatiga va (4') ga asosan, Q_C^{yan} chiziq esa C kesimdan balkaning oxirigacha A reaksiyaning ta'sir chizig'iga mos keladi. Q_C ning ta'sir chizig'ini chizish uchun chap tayanch ostiga biror masshtabda musbat birlik ordinata qo'yib, uni o'ng tayanch tagidagi nollik ordinata bilan tutashtiramiz (bu o'ng chiziq deb ataladi), so'ngra o'ng tayanch ostiga manfiybirlik ordinata ko'yib, uni chap tayanch tagidagi nollik ordinata bilan tutashtiramiz (bu o'ng chiziq deb ataladi), so'ngra o'ng tayanch ostiga manfiybirlik ordinata ko'yib, uni chap tayanch tagidagi nollik ordinata bilan tutashtiramiz (chap chiziq).

O'ng va chap chiziqlar bir-biriga parallel bo'ladi. Chap chiziq balkaning chap tayanchidan C kesimgacha, o'ng chiziq esa C kesimdan o'ng tayanchgacha Q_C ning o'zgarishini ifodalaydi (2-rasmdagi shtrix chiziq). Ko'ndalang kuch ta'sir

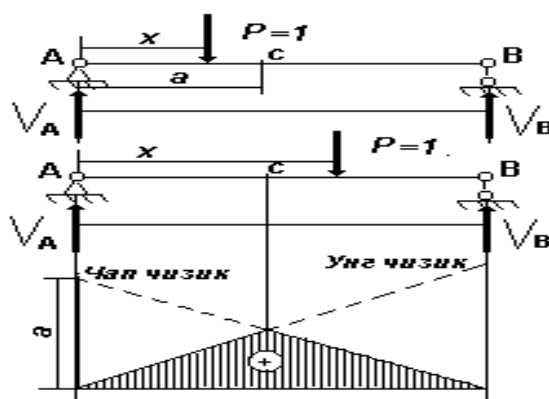
chiziqlarining ordinatalari yuqorida keltirilgan tenglamalarga asosan o'lchamsiz miqdordir.

Eguvchi momentning ta'sir chizig'i. Balkaning C kesimida hosil bo'ladigan eguvchi moment ta'sir chizig'ini qurish uchun ham birlik kuchning ikki holatini tekshiramiz (3-rasm).

Birinchi holat. ($P=1$) kuch C kesimning chap tomonida harakatlanadi ($0 \leq x \leq a$) a) deb faraz qilib (3-rasm.), M_C^{yan} eguvchi moment tenglamasini balkaning o'ng tomoni muvozanatiga asosan yozamiz:

$$M_C^{yan} = B(1-a) = x/1 \quad (5)$$

Bu tenglama $P=1$ yuk chap tayanchdan kesimgacha harakatlanganda M_C eguvchi moment qiymatining o'zgarishini ifodalaydi. Uning grafigini (chap chiziq deb ataladi) chizish uchun, o'ng tayanch ostiga $1-a$ o'zgarmas songa teng ordinata qo'yib, A tayanch ostidagi nollik ordinata bilan birlashtiramiz.



3-rasm

Ikkinchi holat $P=1$ ko'chma kuch C kesimning o'ng tomonida (3-rasm, b) harakat qiladi ($a \leq x \leq l$) deb, M_C^{yn2} ni aniqlaymiz. Balka chap tomonining muvozanatini tekshiramiz, bunda :

$$M_C^{yn2} = A \cdot a = (1-x/l) \cdot a \quad (5')$$

Demak, M_C^{yn2} chiziq bu chegarada A reaksiyaning ta'sir chizig'i ordinatalarini a o'zgarmas songa ko'paytirib chizilganiga to'g'ri keladi. Bu chiziq o'ng chiziq deyiladi (3-rasm.).

Chap chiziq bilan o'ng chiziq C kesim tagida kesishadi, chunki $X = a$ ni (5) va (5') ifodalarga qo'ysak $M_{\text{чан}}$ va $M_{\text{унг}}$ ordinatalarning tengligini ko'ramiz. M_C ta'sir chizig'ining ordinatasi $P=1$ ko'chma yuk shu ordinata ustida turganida C kesimda hosil bo'lgan eguvchi momentning miqdorini qabo'l qilingan masshtabda ifodalaydi. (5) va (5') formulalarga asosan, bu ordinataning o'lchov birligi metr bo'ladi.

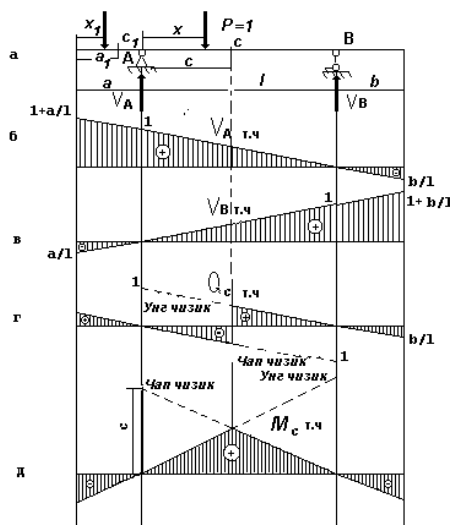
Ikki konsolli balka uchun ta'sir chizig'ini qurish. Ikki konsolli balka uchun tayanch reaksiyalari va uning biror kesimidagi Q_C hamda M_C ning ta'sir chiziqlarini chizishda oddiybalka uchun olingan formulalardan foydalaniladi. Masalan, balka chap tayanch reaksiyasi A ning ta'sir chizig'ini chizish uchun birlik yukni A tayanchdan o'ng tomonda x masofada joylashtiramiz (4-rasm,a). $\sum M_B = 0$ tenglamadan $A = l - x/l$ ni hosil qilamiz. Demak, bu ifodadagi abssissa x ga $-a \leq x \leq l+b$ oraliqda qiymatlar beramiz:

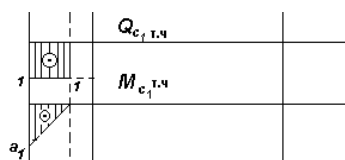
$$x=0 \text{ da } A=l, \quad x=l \text{ da } A=0, \quad x=l+b \text{ da } A=-b/l \quad x=-a \text{ da}$$

$$A = \frac{l+a}{l} = 1 + \frac{a}{l}$$

Bu ordinatalar yordamida chizilgan A ning ta'sir chizig'i 4-rasm,b da ko'rsatilgan. B tayanch reaksiyasining ta'sir chizig'i ham (3) formuladan foydalanib chiziladi (4-rasm,B):

$$B = \frac{x}{l}$$





4-rasm

Demak, konsolli balka tayanch reaksiyalarining ta'sir chiziqlari oddiybalka tayanch reaksiyalari ta'sir chiziqlar kabi chizilib, so'ngra ular konsolning uchlarigacha davom yettiriladi.

Konsolli balkaning oraliqida C kesimidagi Q_C va M_C larning ta'sir chizig'i oddiybalkalardagi ko'ndalang kuch va eguvchi momentning ta'sir chiziqlari kabi chizilib, so'ngra chap chiziqni chap tomondagi konsolning oxirigacha, o'ng chiziqni esa o'ng tomondagi konsolning oxirigacha davom yettiriladi (4-rasm, g va d). Konsolli balkaning konsol qismidagi kesimi uchun ko'ndalang kuch va eguvchi momentning ta'sir chiziqlarini quramiz. Masalan, berilgan C_1 kesim balkaning chap konsolida bo'lsin (4-rasm,a). Birlik yuk $P=1$ bu kesimdan chap tomonda harakatlenganda ($0 \leq x_1 < a$), konsol qismining muvozanatini ko'ramiz. Bunda $Q_{C_1}^{uan} = -P = -1$ bo'ladi. Demak, $Q_{C_1}^{uan}$ ning chap chizig'i konsol uchidan kesimgacha sanoq o'qiga parallel bo'ladi (4-rasm, e).

Birlik yuk $P=1$ C_1 kesimdan o'ng tomonda bo'lsin [$a_1 \leq x \leq a$] Bunda ham konsol chap qismining muvozanatini ko'ramiz: $Q_{C_1}^{yn2} = 0$ Demak o'ng chiziq nul bo'lib sanoq chizig'ining ustida yotadi (4-rasm, e)

M_{C_1} ta'sir chizig'ini qurish uchun ham birlik yukning ikki holatini tekshiramiz.

Birlik yuk C_1 kesimdan chap tomonda harakat qiladi

($0 \leq x_1 < a$), U holda $M_{C_1}^{uan} = -P(a_1 - x_1)$ va $x_1 = 0$ da $M_{C_1}^{uan} = -a$ va $x = a$ da $M = 0$ bo'ladi. Chap chiziqni chizish uchun koordinatalar sistemasida $x_1 = 0$ kesimdagi ordinata a_1 ni masshtabda ko'yib, $x = a$ kesimdagi nol ordinata bilan birlashtirish kerak (4-rasm,j). Birlik yuk C kesimdan o'ng tomonda bo'lganda esa $M_{C_1}^{uan} = 0$ bo'ladi. Demak, o'ng chiziq nolinni bo'lib, sanok chizig'i ustida yotadi. M_{C_1} ta'sir chizig'ining chap o'ng chiziqlari C kesimning tagida kesishadi.

Agar C_2 kesim balkaning o'ng konsolida bo'lsa, u holda Q_{c_2} va M_{c_2} uchun ta'sir chiziqlar yuqoridagi kabi chiziladi.

Yuk tugunlar orqali uzatilganda ta'sir chiziqlarini chizish, ta'sir chizig'i yordamida zo'riqishlarni aniqlash.

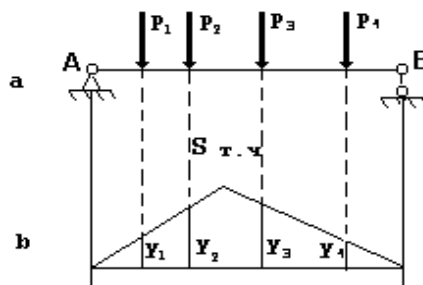
Qo'zg'almas yuklar qo'yilgan inshootning zo'riqish, ya'ni eguvchi moment, ko'ndalang kuch va tayanch reaksiyalari miqdorini ta'sir chizig'i yordamida aniqlashni ko'ramiz. Masalan, vertikal qo'zg'almas yuklar ta'sirida bo'lgan inshootning biror S zo'riqishi uchun ta'sir chizig'i qurilgan bo'lsin (5-rasm). Bu zo'riqish ta'sir chizig'ining har bir y_i ordinatasida birlik yuk $P=1$ shu ordinata ustida bo'lganida S zo'riqishning miqdorini ifodalaydi.

1. Inshootga to'plangan kuchlar sistemasi ko'yilgan bo'lsin. Agar S zo'riqish ta'sir chizig'ining y_1 ordinatasi ustiga biror P_1 kuch qo'yilgan bo'lsa, u holda zo'riqishning miqdori $P_1 \cdot y_1$; P_2 kuch ta'sirida esa S zo'riqishning miqdori $P_2 \cdot y_2$ bo'ladi; boshqa to'plangan kuchlardan ham zo'riqishning miqdori shunga o'xshash aniqlanadi (5-rasm).

Agar inshootga n ta to'plangan kuchlardan iborat yuklar sistemasi qo'yilgan bo'lsa, hosil bo'lgan to'la zo'riqishning miqdori, kuchlar ta'sirining mustaqilligi 'rinsi'ga asosan quyidagi formula yordamida aniqlanadi:

$$S = P_1 y_1 + P_2 y_2 + \dots + P_n y_n = \sum P_i y_i \quad (6)$$

bunda y_i – ta'sir chizig'idan P_i kuch ostida olingan ordinata.



5-rasm

(6) formulada ordinatalar S_3 ishoralari bilan olinadi.

Tashqi kuchlar sistemasi ta'sirida inshoot zo'riqishlarining miqdorini (6) formulaga asosan aniqlashda, uning ta'sir chizig'ining har bir to'g'ri chiziqli

uchastkasiga to'g'ri kelgan tashqi kuchlarni ularning teng ta'sir etuvchisi orqali ifodalash mumkin. Masalan, S zo'riqish ta'sir chizig'ining ab uchastkasida tashqi kuchlar sistemasi qo'yilgan bo'lsin (6-rasm). Bu kuchlar sistemasidan hosil bo'lgan S zo'riqishning miqdorini (6) formulaga asosan hisoblaymiz:

$$S = P_1 y_1 + P_2 y_2 + \dots + P_n y_n$$

Bu yerdagi $y_1, y_2, \dots, y_n$ ordinatalarni rasmga ko'ra quyidagicha ifodalaymiz:

$$y_1 = x_1 \operatorname{tg} \alpha; \dots y_n = x_n \operatorname{tg} \alpha;$$

u holda

$$S = (P_1 x_1 + P_2 x_2 + \dots + P_n x_n) \operatorname{tg} \alpha$$

qavs ichidagi yig'indi K nuqtaga nisbatan kuchlar sistemasidan olingan momentlarning yig'indisini ifodalaydi. Kuchlar sistemasi momentlarning yig'indisini ularning teng ta'sir etuvchisi momenti orqali belgilaymiz; ya'ni :

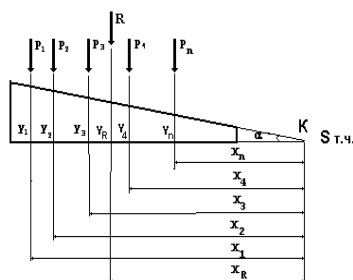
$$S = x_R \operatorname{tg} \alpha;$$

bunda R kuchlar sistemasining teng ta'sir etuvchisi ; x_R – teng ta'sir etuvchi kuchlardan K nuqtagacha bo'lgan masofa.

6-rasmdan

$$y_R = x_R \operatorname{tg} \alpha; \quad (7)$$

ekanligini e'tiborga olsak $S = R y_R$



6-rasm

(7) formulada y_R - teng ta'sir etuvchi R ga mos kelgan ordinata (6-rasm). Demak, to'g'ri chiziqli uchastkaga qo'yilgan kuchlar sistemasini ularning teng ta'sir etuvchisi R orqali almashtirish yo'li bilan hisoblanayotgan zo'riqish miqdorini (7) formulaga asosan aniqlash mumkin.

2. Inshootga taralgan yuk $q(x)$ ko'yilgan bo'lsin. S zo'riqishning to'la miqdorini aniqlash uchun taralgan yuk uzunligini elementar bo'lakchalarga

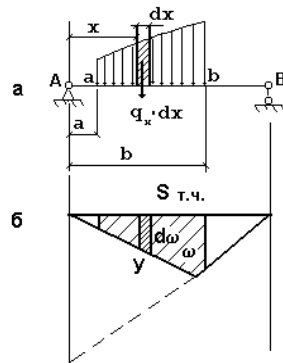
bo'lamiz (7-rasm). Biror elementar bo'lak dx ga mos kelgan taralgan yukni elementar to'plangan kuch $q(x) \cdot dx$ orqali ifodalaymiz. U holda bu elementar kuchdan hosil bo'lgan elementar zo'riqish (6) formulaga asosan aniqlanadi.

$$dS = q(x) dx y = q(x) d\omega$$

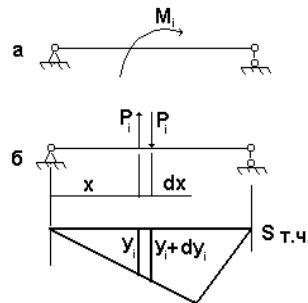
bunda $d\omega = y dx = S$ ta'sir chizig'idagi dx oraliqqa mos kelgan elementar yuza.

Hamma taralgan yukdan hosil bo'lgan zo'riqish miqdorini aniqlash uchun (a) ifodani integrallaymiz.

$$S = \int_{\epsilon}^{\omega_0} q(x) d\omega \quad (8)$$



7-rasm



8-rasm

Agar inshootga tekis taralgan yuk qo'yilgan bo'lsa, ya'ni $q(x) = q = const$ da (8) formula soddalashadi

$$S = q\omega, \quad (9)$$

bu yerda q – taralgan yuk intensivligi, ω – tekis taralgan yuk qo'yilgan oraliqqa mos keluvchi ta'sir chizig'idan olingan yuza (7-rasm,b).

Agar inshootga har xil intensivlikdagi bir necha tekis taralgan yuk qo'yilgan bo'lsa, u holda kuchlar ta'sirining mustaqillik 'rinsi'iga asosan S zo'riqishni (9) ifodadan foydalanib quyidagicha aniqlash mumkin:

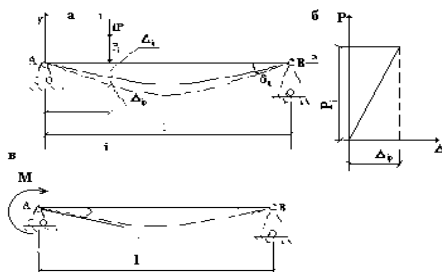
$$S = \sum_{i=1}^n q_i \omega_i \quad (9')$$

bu yerda n – har xil intensivlikdagi tekis taralgan yuklar soni.

3. Inshootga juft kuchlar qo'yilgan bo'lsin, momenti M bo'lgan juft kuchlar qo'yilgan inshootning biror zo'riqishi uchun ta'sir chizig'i chizilgan (8-rasm).

Momentdan hosil bo'lgan S zo'riqishning miqdorini uning ta'sir chizig'i yordamida aniqlash uchun momentni juft kuchlar bilan almashtiramiz (9-rasm,b):

$$M_i = P_i dx \quad \text{yoki} \quad P_i = \frac{M_i}{dx}$$

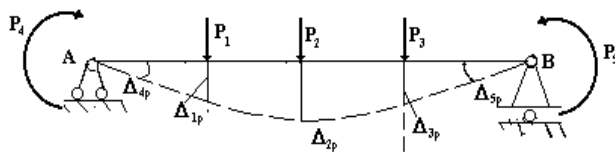


9-rasm.

Bunda φ -juft kuch qo'yilgan ko'ndalang qismining burilish burchagi.

Ish tushunchasini umumlashtirish uchun elastik sistemaga qo'yilgan har kanday faktorlarini (P, M va xokazo) umumlashtirilgan kuch deb qaraymiz. Elastik sistemaning deformasiyalangan holatini tula aniqlaydigan va o'zaro bog'liq bulmagan ko'chishlar umumlashtirilgan ko'chishlar deb ataladi.

Umumlashtirilgan ko'chishlar umumlashtirilgan ko'chishlarga mos bo'lishi kerak, ya'ni ularning kupaytmasining yarmi umumlashtirilgan kuch bajargan ishni berishi lozim. SHunga kura umumlashtirilgan kuch P_i ga umumlashtirilgan koordinata Δ_{ip} va umumlashtirilgan juft kuch momenti M_i qo'yilgan bo'lsa, unga mos kelgan umumlashtirilgan koordinata bo'ladi. Bundan keyin umumlashtirilgan kuchlarni P_i umumlashtirilgan koordinatalarni Δ_{ip} deb belgilaymiz.



10-rasm.

To'plangan kuchlar P_i dan hosil bo'lgan zo'riqishni (6) formulaga asosan aniqlaymiz:

$$S = P_i(y_i + dy_i) - P_i y_i = P_i dy_i$$

Bu formuladagi P_i kuchni moment orqali ifodalasak:

$$S = M_i \frac{dy_i}{dx} = M_i \operatorname{tg} \alpha_i$$

$$S = M_i \frac{dy_i}{dx} = M_i \operatorname{tg} \alpha_i, \quad (10)$$

bunda y_i - moment qo'yilgan nuqtada ta'sir chizig'iga o'tkazilgan urinmaning absissa o'qi bilan hosil qilgan burchagining tangensi.

Agar inshootga to'plangan kuch, tekis taralgan yuk va momentlar qo'yilgan bo'lsa, unda hosil bo'lgan zo'riqishlar miqdori ta'sir chizig'i yordamida (6), (9) va (10) formulalarga asosan umumiy holda quyidagicha aniqlanadi:

$$S = \sum P_i y_i = \sum q_i \omega_i = \sum M_i \operatorname{tg} \varphi \quad (11)$$

Bu formuladan foydalanishda quyidagi ishoralar qoidasiga rioya qilish kerak:

1. Agar to'plangan kuch P_i va taralgan yuk pastga yo'nalgan bo'lsa, ular musbat olinadi.
2. Moment M_i ning yo'nalishi soat strelkasining yo'nalishiga mos kelsa, uni musbat deb qabo'l kilinadi.
3. Ordinata y_i va yuza ω_i ning ishorasi ta'sir chizig'i ishorasi bo'yicha olinadi.
4. Agar birlik yuk ($P = 1$) tekshirilayotgan uchastkada chapdan ungga harakat qilganida ta'sir chizig'ining ordinatasi ortib borsa, $\operatorname{tg} \varphi_i = y_i$ musbat deb qabo'l kilinadi, aks holda y_i manfiy bo'ladi.

23-mavzu. Ko'p oraliqli statik aniq balkalarni qo'zg'almas va harakatlanuvchi yuklar ta'siriga hisoblash.

Reja:

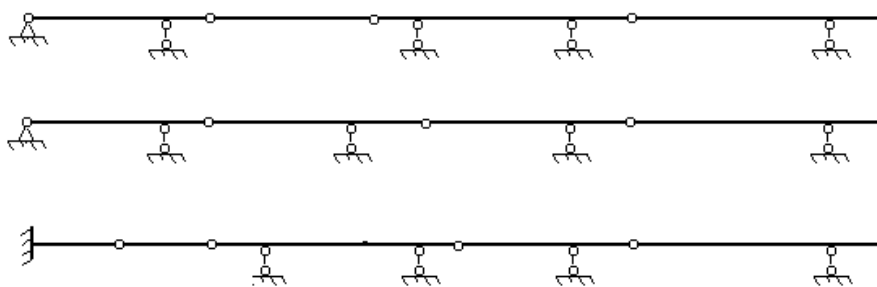
1. Qavatlar sxemasi.
2. Asosiy, ikkinchi darajali va osma balkalar.
3. Ko'p oraliqli statik aniq balkalarni hisoblash tartibi.
4. Ko'p oraliqli balkalarni ta'sir chiziqlari orqali hisoblash.
5. Harakatlanuvchi yuklarning noqulay vaziyatini aniqlash.

Tayanch so'z va iboralar:

Ko'p oraliqli statik aniq balka, qavatlar sxemasi, osma balka, ustiga qo'yilgan balka yoki ikkinchi darajali balka, eguvchi moment, ko'ndalang kuch, o'zaro ta'sir sxemasi, asosiy balka, osma balka, birlik xarakatlanuvchi kuch, ta'sir chizig'i, kesim asosiy balkada, kesim osma balkada, kesim konsolda, ta'sir chiziqlarining ordinatasi, uchburchaklar o'xshashligi, to'plama yuk, taralgan yuk, yuza, ta'sir chiziqlari ishoralari.

Bir necha oddiy balkalarni bir-biriga sharnirlar yordamida tutashtirib, ko'p prolyotli statik aniq va geometrik o'zgarmas sistema hosil qilish mumkin. Bunday balkalar ko'p prolyotli statik aniq balkalar deyiladi. qurilish praktikasida, asosan (1-rasm), a, b va v da ko'rsatilgan balkalar ko'p uchraydi.

Ko'p prolyotli statik aniq balkalarni hisoblash nazariyasi injener G.Semikolenov tomonidan 1871 yilda tavsiya etilgan. Ko'p prolyotli balka statik aniq sistema hisoblanadi, chunki muvozanat tenglamalaridan tashqari unda qancha oraliq sharnirlar bo'lsa, shuncha qo'shimcha tenglamalar tuzish mumkin bu tenglamalar balkaning oraliq sharniri markazdan o'ng yoki chap tomonda unga qo'yilgan hamma kuchlarning



1-rasm

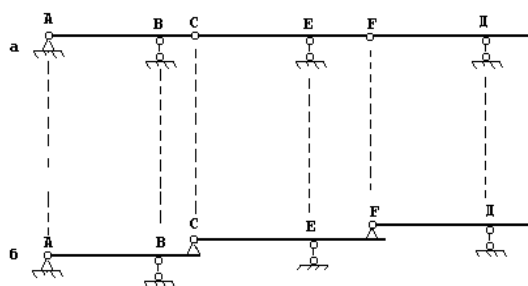
momentlar yig'indisi 0 ga tenglik shartiga asosan tuziladi.

Ko'p prolyotli statik aniq balkaning geometrik o'zgarmas ekanligini bilish hamda ishini tekshirish uchun uning elementlarining o'zaro bog'lanishi va ta'sirini ifodolovchi sxema chizish kerak. Masalan, 2-rasm, a da ko'rsatilgan balka elementlarining o'zaro bog'lanish sxemasi 2-rasm, b da ifodalangan. Undagi ABC

konsulli balka fundament bilan bir-biriga paralel bo'lmagan va bir nuqtada kesishmagan 3 ta tayanch sterjen yordamida bog'langanligi sababli geometrik o'zgarmasdir. Balka CEF fundament bilan bitta tayanch sterjen bilan geometrik o'zgarmas ABC balka bilan sharnir vositasida bog'langanligi sababli bu element ham geometrik o'zgarmasdir. SHunga o'xshash FD balka geometrik o'zgarmas. ABC balka asosiy balka deyiladi. Asosiy balka sharnir yordamida tayangan CEF va FD balkalar osma balkalar deyiladi. 3-rasmda turli tipdagi ko'p prolyotli balka elementlarining o'zaro bog'lanish o'zaro bog'lanish sxemalari ko'rsatilgan.

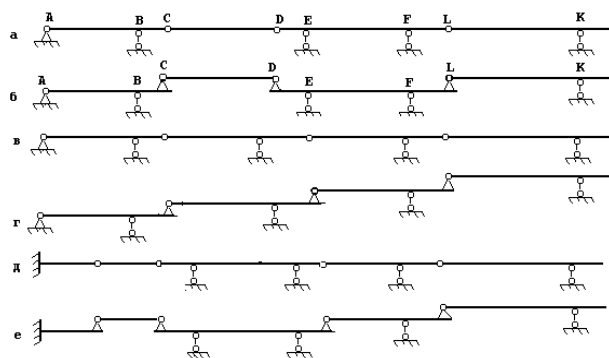
3- rasm, a da ko'rsatilgan 1 tip ko'p prolyotli balka 2 konsulli asosiy balkalar va ularning uchiga tayangan osma balkalardan iborat. Bu tipdagi balkalarning sharnirsiz prolyotidan keyin prolyotida 2 ta sharnir joylashgan bo'ladi. Bu yerda ABC va DEFL elementlar asosiy balkalar, CD va LK elementlar esa osma balkalar bo'ladi. Ikkinchi tip ko'p prolyotli balka bir-biriga sharnir yordamida tayangan konsulli balkalardan iborat. Bu tip balkaning birinchi prolyoti sharnirsiz, qolgan hamma prolyotlarida esa bittadan sharnir bo'ladi (3-rasm,v va g). 3 chi tip ko'p prolyotli balka elementlarining o'zaro bog'lanishi va ta'sir etish sxemasi 3-rasm, d va e da ko'rsatilgan.

Agar ko'p prolyotli balkada sharnirli soni to'g'ri olingan bo'lib, ularning joylanishlari yuqorida ko'rsatilgan tartibda bo'lmasa, u holda uning bir qismi statik aniqmas, 2 chi qismi esa geometrik

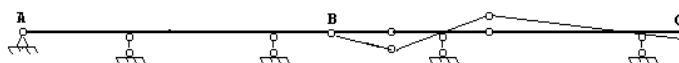


2-rasm

o'zgaruvchan bo'lishi mumkin. Masalan 4-rasmda ko'rsatilgan balkaning AB qismi statik aniqmas, BC qismi esa geometrik o'zgaruvchandir, chunki bu kesimning nuqtalari punktir chiziqlar bilan ko'rsatilgandek erkin ko'chishi mumkin.



3-rasm



4- rasm

Qo'zg'almas yuk ta'siridagi ko'p prolyotli statik aniq balkalarini hisoblash

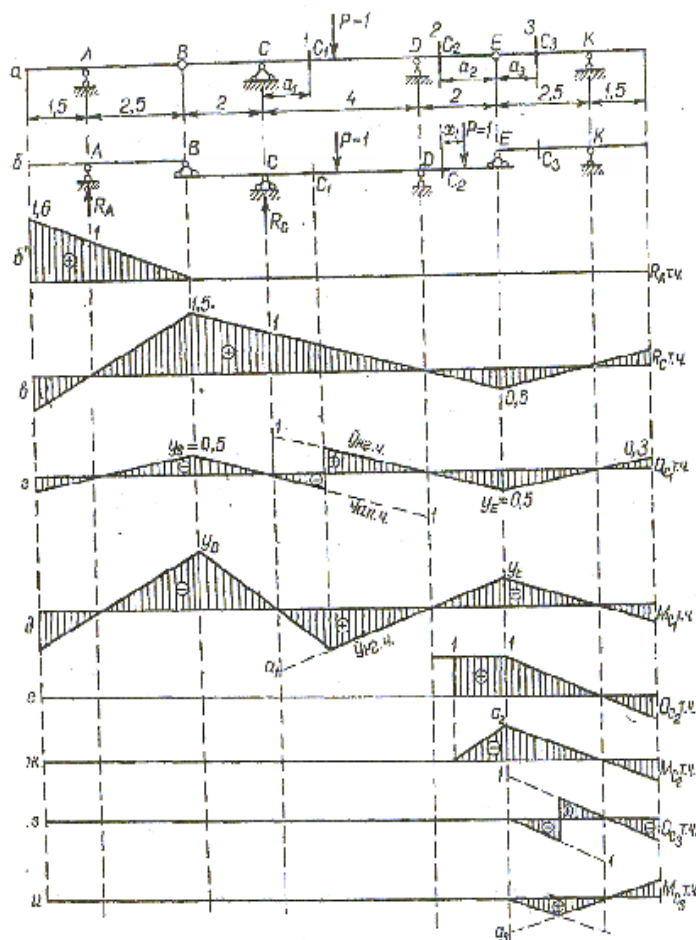
Ko'p prolyotli sharnerli balkada tashqi yuk ta'sirida hosil bo'ladigan eguvchi moment va ko'ndalang kuch epyuralarini qurishdan avval balka elementlarining o'zaro bog'lanish sxemasining chizib, asosiy va osma balkalar belgilab olinadi. Eguvchi moment va ko'ndalang kuch epyuralarini qurish osma balkalardan boshlanadi. Asosiy balkalar uchun eguvchi moment va ko'ndalang kuch epyuralarini chizishda unga quyilgan tashqi yuklar qatorida, uning uchlariga tayangan osma balkalarning tayanch reaksiyalari hamma hisobga olinadi. Asosiy va osma balkalarning eguvchi moment va ko'ndalang kuch epyuralari chizilgandan so'ng ular bir koordinatlar sistemasiga keltirilib, ko'p prolyotli balkaning $M(x)$ va $Q(x)$ epyuralari olinadi.

Ko'p prolyotli balka zo'riqishlarining ta'sir chiziqlarini qurish birlik ko'chma yuk ($P=1$) ta'siridagi oddiy va konsolli balkalarni hisoblash qoidalariga asoslangan. Ta'sir chizig'ini qurishdan oldin ko'p prolyotli balka elementlarning o'zaro bog'lanish sxemasi chizib olinadi.

Asosiy va osma (ikkinchi darajali) balkalar uchun ta'sir chizigini qurish konsolli yo'qi oddiy balkalar uchun ta'sir chizig'ini qurishdan farq qilmaydi. Asosiy balka uchun ta'sir chizig'ini qurishda avval $P=1$ ko'chma yukning shu asosiy balka ustida, so'ngra o'nga tayangan osma balkalar ustida harakatlanishi ko'rib chiqiladi. Bunda asosiy balkaga tayangan osma balkalarning ta'sirini ehtiborga olish uchun ta'sir chizig'ining ikki tugun orasidagi to'g'ri chiziq bo'yicha o'zgarish xossasidan foydalaniladi.

Osma balka zo'riqishlarining ta'sir chizig'ini chizishda ko'chma birlik yukning ($P=1$) shu balka ustida harakat qilgan holati tekshiriladi, chunki $P=1$ yuk asosiy balka ustiga o'tganida uning zo'riqishlari nolga teng bo'ladi.

Misol: Ko'p prolyotli balkaning R_A , R_C tayanch reaksiyalari va rasmda ko'rsatilgan C_1 , C_2 va C_3 ko'ndalang kesimlari uchun Q_C , M_C ta'sir chiziqlari chizilsin (5.1 a – rasm). Balka elementlarining o'zaro bog'lanish sxemasi 5.1b – rasmda ko'rsatilgan.



5.1-rasm

R_A tayanch reaksiyasining ta'sir chizig'ini chizish. AB element osma balka bo'lgani sababli, $P=1$ ko'chma yuk bu element ustida harakatlanganda A tayanchda reaksiya hosil bo'ladi. Demak, R_A ning ta'sir chizig'ini chizish bir konsolli balka uchun ta'sir chizig'ini chizishdan farq qilmaydi (5.1.b-rasm). BCDE element asosiy balka bo'lganligi uchun avval $P=1$ ko'chma yukning shu ikki konsolli balka bo'ylab harakatlanishini ko'rib chikamiz va bu hol uchun R_C reaksiyasining ta'sir chizig'ini chizamiz, so'ngra $P=1$ yukning ikkinchi darajali balkalar ustida harakatlanish holatini tekshiramiz. $P=1$ yuk AB element bo'ylab B sharnirdan chap tomonga uzoqlashsa, R_C reaksiyasining qiymati kamayib boradi va u A tayanchning ustiga keladigan R_C reaksiyasining qiymati nolga teng bo'ladi. $P=1$ ko'chma yuk AC osma balka bo'ylab harakatlansa, asosiy balkadagi zo'riqishlarning ta'sir chiziqlari to'g'ri chiziq bo'yicha o'zgarib boradi. Bu o'zgarish chap tomonidagi konsolning oxirigacha davom etadi (5.1 v – rasm).

$P=1$ ko'chma yuk ikkinchi EK osma balka bo'ylab o'ng tomonga harakatlanganda R_C reaksiyasining qiymati kamayib borib, yuk K tayanch ustida bo'lganda nolga teng bo'ladi. Demak, E sharnir bilan K tayanch orasidagi R_C reaksiyasining ta'sir chizig'i to'g'ri chiziq bo'ylab o'zgarishi sababli, bu kesimlar ostidagi ordinatalarni to'g'ri chiziq bilan birlashtirib uni konsol oxirigacha davom ettiramiz (5.1 v – rasm).

Q_{C1} ta'sir chizig'ini qurish (5.1 g – rasm). C_1 kesim asosiy balkaning ko'ndalang kesim bo'lganligi uchun, avval $P=1$ yukning asosiy balka bo'ylab harakatlanishini tekshiramiz. $P=1$ ko'chma yuk I – I kesimning chap tomonida bo'lganda $Q_{C_1}^{uan} = -RD$; o'ng tomonida bo'lganda esa $Q_{C_1}^{yhz} = -R_c$ bo'ladi. Bu chap va o'ng chiziqlarini chizamiz (5.1 ye – rasm). Endi $P=1$ yukning EK osma balka bo'ylab harakatlanishini tekshiramiz. $P=1$ yuk E sharnir ustida bo'lganda esa $Q_{C_1}^{yhz} = YE = 0,5$; K tayanch ustida bo'lganda esa $Q_{C_1}^{yhz} = 0$ bo'ladi. Bu ordinatalarni to'g'ri chiziq bilan birlashtirib, uni konsol oxiriga davom ettiramiz.

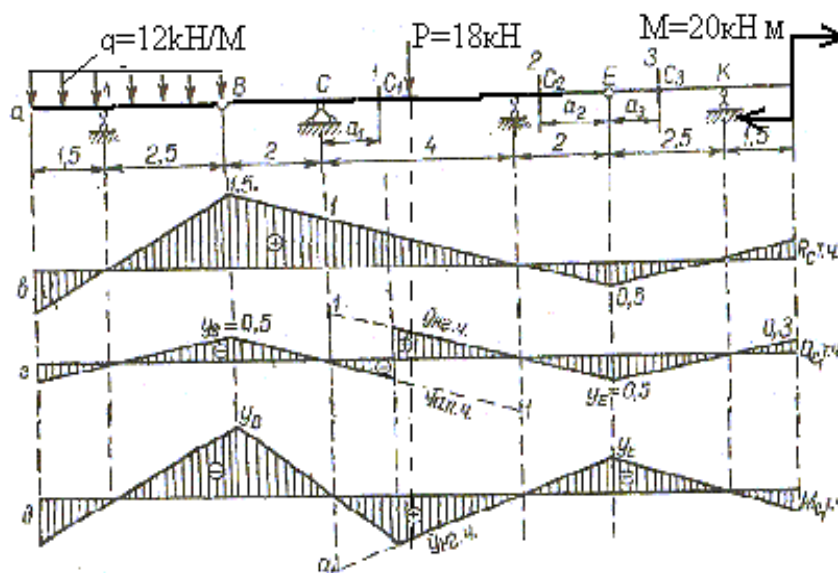
$P=1$ yuk AB osma balkaning B sharniri ustida bo'lganda $Q_{C_1}^{yhz} = YB = -0,5$.

Zo'riqishlarni hisoblash

Harakatlanuvchi yuklar ta'sirida bo'lgan ko'p oraliqli statik aniq balkalarni yuqoridagi oddiy balkalar uchun bayon etilgan usullardagi kabi hisoblanadi. Buning uchun dastlab zo'riqishlari aniqlanadigan kesimlar uchun ta'sir chiziqlari quriladi (5.1–rasm).

Misol tarikasida 5.1–rasmda berilgan balka uchun R_B reaksiyasini, M va Q zo'riqishlarni hisoblashni ko'raylik. Buning uchun ta'sir chiziqlari yordamida hisoblash formulasidan (1.6) foydalanamiz.

$$S = \sum P_i \cdot y_i + \sum q_i \cdot \varpi_i + \sum M_i \cdot tg\alpha_i :$$



$$R_c = P \cdot y + q(\varpi_2 - \varpi_1) + Mtg\alpha = 18 \cdot 0,5 + 12\left(\frac{1}{2} \cdot 1,5 \cdot 2,5 - \frac{1}{2} \cdot 0,9 \cdot 1,5\right) + 20 \cdot \frac{0,3}{1,5} =$$

$$= 9 + 14,4 + 4 = 27,4 \text{ kH}$$

$$M_{c1} = P \cdot y + q\varpi + M \cdot tg\alpha = 18 \cdot 0,6 + 12\left(\frac{1}{2} \cdot 0,94 \cdot 1,5 - \frac{1}{2} \cdot 1,4 \cdot 2,5\right) - 20 \cdot \frac{0,36}{1,5} =$$

$$= 10 + 12(0,06 - 1,75 + 4,8) = 2,16 \text{ kH} \cdot \text{m}$$

$$Q_{c1} = P \cdot y + q\varpi + M \cdot tg\alpha = 18 \cdot 0,5 + 12\left(\frac{1}{2} \cdot 0,5 \cdot 2,5 - \frac{1}{2} \cdot 0,3 \cdot 1,5\right) +$$

$$+ 20 \cdot \frac{0,3}{1,5} = 9 + 4,8 + 4 = 17,8 \text{ kH}$$

Nazorat savollari:

1. Ko'p oraliqli statik aniq balkalarda ta'sir chiziqlarini qurish nimadan boshlanadi?

2. Ko'p oraliqli balkalarda t. ch. lari dastlab qaysi balka uchun quriladi?
3. Siljuvchi kuch $P=1$ ning qanday holatida osma balkada ta'sir chizig'i nolga teng bo'ladi?
4. Kesimning qanday holatida ta'sir chiziqlari balkaning butun uzunligi bo'yicha nolga teng bo'ladi?
5. Kesimning qanday holatida asosiy balkaning bir qismida ta'sir chiziqlari nolga teng bo'ladi?
6. Ta'sir chiziqlari ishoralari qanday aniqlanadi?
7. Ta'sir chiziqlari noma'lum ordinatalari qanday topiladi?
8. Ta'sir chiziqlari orqali zo'riqishlarni hisoblash formulasini yozing.
9. Tashqi yuklar ishoralari qanday olinadi?
10. Ta'sir chiziqlardan tashqi kuchlar uchun mos qiymatlar qanday hisoblanadi?

24-mavzu. Statik aniq tekis fermalarni qo'zg'almas va harakatlanuvchi yuklar ta'siriga hisoblash. Shprengelli fermalarni hisoblash.

Reja:

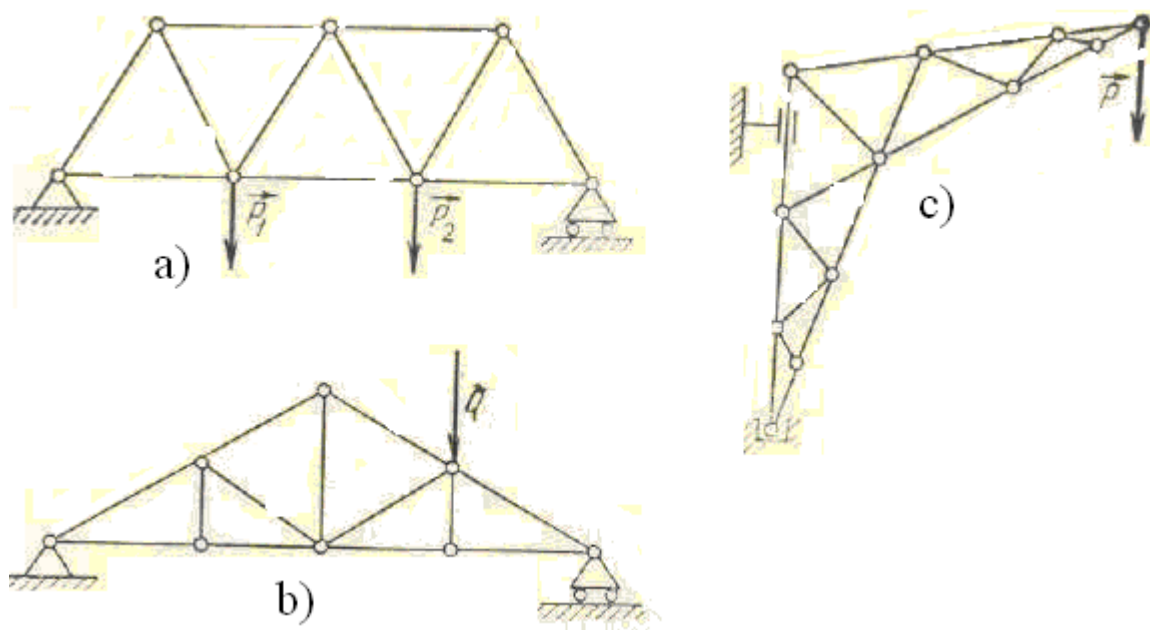
1. Fermalar haqida umumiy tushuncha.
2. Fermalarning turlari.
3. Statik aniq fermalarni qo'zg'almas yuklar ta'siriga hisoblash.
4. Ferma sterjenlarining zo'riqish kuchlarini aniqlash
5. Ferma sterjenlari uchun ta'sir chiziqlarini chizish.
6. Ta'sir chiziqlari orqali sterjenlardagi zo'riqish kuchlarini aniqlash

Tayanch so'z va iboralar:

Ferma hisob sxemasi, panel, tasmalar, xovon, tashqi kontur shakli, panjaralarning shakli, tayanchlarga qo'yilishi, qurilishda foydalanish, xarakat chegarasi, zo'riqishlar, moment nuqtasi, proektsiya, tugun kesish, almashtirish, diagramma.

Sterjenlarni sharnirlar yordamida geometrik o'zgarmas qilib birlashtirilishidan hosil bo'lgan sterjenli sistema (inshoot) ferma deb ataladi. Sterjenlarning uchlarini birlashtiruvchi sharnir tugun deyiladi.

Fermalar ishlatilishiga qarab turlicha nomlanadi. Masalan, ko'prik qurilishida foydalaniladigan ko'prik fermalari (1-rasm, a), inshootlarning tomini yopishda ishlatiladigan stropila fermalari (1-rasm, b), ko'tarish qurilmalarida foydalaniladigan kran fermalari (1-rasm, c) va h. k.



1-rasm

Odatda, ko'prik va stropila fermalarining tayachlari bir tomoni qo'zg'almas sharnirli, ikkinchi tomoni qo'zg'aluvchan sharnirli tayanchlardan iborat bo'ladi. Kran fermalari tayanch podshipnikka (podpyatnikka) tayanishi va silindrik sharnir vositasida ushlab turilishi mumkin.

Fermalar klasifikatsiyasi

1. Fermalar tashqi konturining ko'rinishiga qarab uchburchakli shaklli (1 rasm, a), parallel belbog'li (1 rasm, b) va poligonlar shaklli (1 rasm, v va g) bo'lishi mumkin. Uchburchaklik va poligonal fermalar asosan tomalarini yo'ishda ishlatiladi. parallel belbog'li va trapetsiya shaklli fermalar esa asosan Ko'prik, estakadalar va Ko'prik kranlar konstruksiyalarida ishlatiladi.

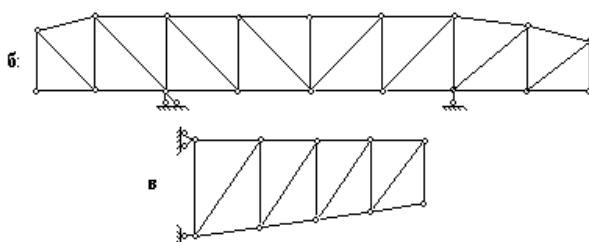
2. Fermalar panjaralarining tuzilishiga ko'ra quyidagi gruppalariga bo'linadi:

- a) Oddiy uchburchakli panjarali fermalar (2 rasm, g);
- g) Ko'p panjarali fermalar (2 rasm, d).

3. Fermalar tayanch reaksiyalarining yo'nalishiga va ularning

1 rasm

2 - rasm

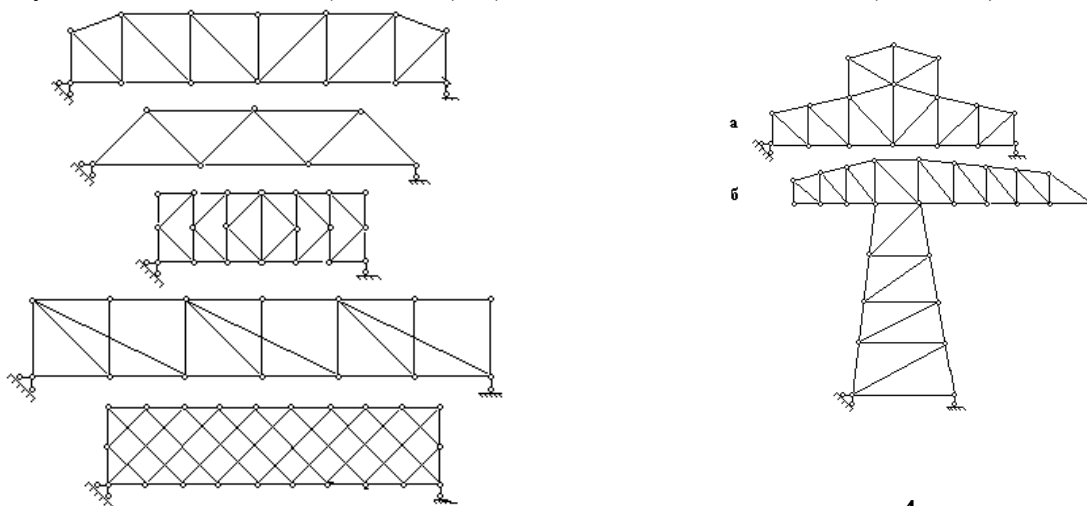


3 - rasm

3. Joylanishiga ko'ra quyidagi tiplarga bo'linadi:

- a) balkasimon fermalar (2 rasm, a va b); b) konsolli balkasimon fermalar (2 rasm, a, b);
- v) konsolli fermalar (3 rasm, v).

4. Fermalar qurilish ishlarida foydalanishiga ko'ra quyidagi turlarga bo'linadi: a) katta prolyotli tomlarni yo'ish uchun ishlatiladigan fermalar (4 rasm, a); b) Ko'prik fermalari, bu fermalarda konstruksiyalarining talabiga ko'ra harakat ularning yuqorigi yoki pastki belbog'i bo'yicha bo'lishi mumkin (1 rasm, b); v) ko'taruvchi kran fermalari (4 rasm, b).



4-rasm

Sterjenlari bir tekislikda yotuvchi ferma yassi ferma deyiladi. Yassi fermalarni hisoblashda ularga qo'yilgan aktiv kuchlar ta'sirida tayanch reaksiyalari hamda sterjenlarda hosil bo'ladigan ichki kuchlarni (zo'riqishni) aniqlash asosiy masala hisoblanadi. Bu masalani echishda:

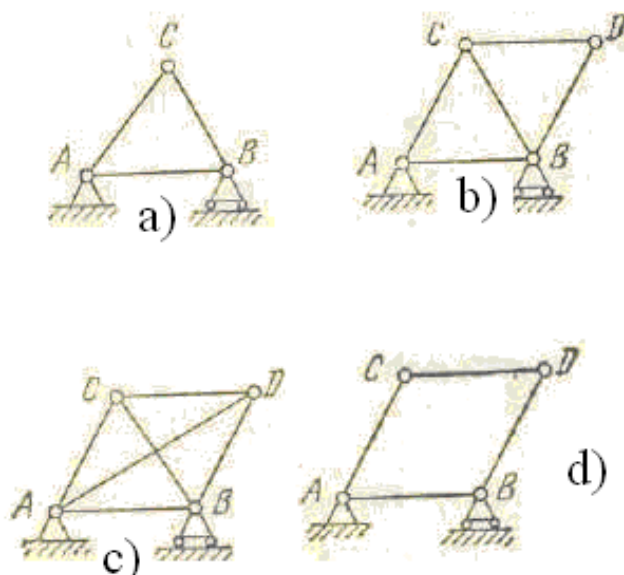
- 1) ferma sterjenlari absolyut qattiq to'g'ri chiziqli deb qaralib, ularning og'irligi e'tiborga olinmaydi;
- 2) sharnirlardagi ishqalanish hisobga olinmaydi;
- 3) yassi fermaga ta'sir etuvchi kuchlar uning tekisligida yotadi va faqat tugunlarga qo'yiladi deb faraz qilinadi.

U holda ferma sterjenlarida faqat bo'ylama (cho'zuvchi yoki siquvchi) kuchlar hosil bo'ladi.

Real fermalarning sterjenlari sharnirlar yordamida emas, balki payvandlab yoki parchin mixlar vositasida biriktiriladi. Natijada ferma sterjenlariga bo'ylama kuchlardan tashqari eguvchi kuchlar ham ta'sir etadi. Akademik E. O. Paton olib borgan tadqiqotlarga ko'ra egilishda hosil bo'ladigan zo'riqish uncha katta bo'lmay, birinchi yaqinlashishda uni e'tiborga olmaslik mumkin. Shuning uchun ferma sterjenlari faqat cho'zilish yoki siqilishga ishlaydi deb bo'ylama zo'riqish kuchlari aniqlanadi.

Shunday qilib, yuqorida qabul qilingan soddalashtirishlar natijasida ferma sterjenlaridagi zo'riqishlar birinchi yaqinlashishda aniqlanadi.

Sterjenlardagi zo'riqishlarni aniqlashga o'tishdan oldin ferma tuzilishi bilan tanishamiz. n ta tugundan tashkil topgan ferma geometrik o'zgarmas bo'lishi (ya'ni sterjenlari bir-biriga nisbatan ko'cha olmasligi) uchun bunday ferma kamida nechta sterjendan tashkil topishini ko'rib chiqamiz. Birinchi uchta tugunni geometrik o'zgarmas qilib tutashtirish uchun uchta sterjen olish kerak (2-rasm, a). Bundan uchburchakli ABC fermaga yana bitta D tugun qo'shilishi natijasida hosil bo'lgan ferma geometrik o'zgarmas bo'lishi uchun D tugunni mazkur uchburchakli fermaga kamida ikkita sterjen vositasida biriktirish kerak (2-rasm, b). Xuddi shu tarzda ABC uchburchakli fermaga qolgan $n=3$ ta tugunlarning har birini ikkitadan sterjenlar vositasida biriktirish natijasida n ta tugundan tashkil topgan ferma geometrik o'zgarmas bo'lishi uchun u kamida $N = 2(n-3) + 3 = 2n - 3$ (1) ta sterjendan tashkil topishiga ishonch hosil qilamiz.



2-rasm.

Yuqoridagi shartni qanoatlantiradigan ferma ortiqcha sterjenga ega bo'lmagan yassi ferma deyiladi (1-rasm).

Agar $N > 2n - 3$ bo'lsa, bunday ferma ortiqcha sterjenga ega bo'lgan yassi ferma deyiladi (2-rasm, c).

Agar $N < 2n - 3$ bo'lsa, bunday konstruksiya geometrik o'zgaruvchan bo'ladi va fermani ifodalamaydi (2-rasm, d), n ta tugundan tashkil topgan ortiqcha sterjenga ega bo'lmagan fermaning har bir tugunini bog'lanishdan bo'shatib, bir tekislikda yotuvchi kesishuvchi kuchlar sistemasi ta'siridagi nuqta deb qarasak, bu nuqtalarning har biri uchun ikkitadan muvozanat tenglamalari o'rinli bo'ladi. Natijada ferma uchun $2n$ ta muvozanat tenglamalarini olamiz. Bu tenglamalarga tayanch nuqtalaridagi uchta noma'lum reaksiya kuchlari ham kiradi.

Binobarin, $2n$ ta muvozanat tenglamalaridan $2n - 3$ ta sterjendagi zo'riqishlar va tayanch nuqtalaridagi uchta noma'lum reaksiya kuchlari aniqlanadi. SHu sababli ortiqcha sterjenga ega bo'lmagan ferma statik aniq ferma, ortiqcha sterjenga ega bo'lgan ferma esa statik noaniq ferma deb ham ataladi. Biz hozircha organadigan fermalar yassi, statik aniq,

tashqi kuchlar esa fermaning faqat tugunlariga qo'yilgan fermalardir. Ferma sterjenlaridagi zo'riqishlarni aniqlashni bir nechta usullari bo'lib, ulardan biri tugunlarni kesish usuli bo'lsa, ikkinchisi sterjenlarni kesish (Ritter) usulidir va h.k.

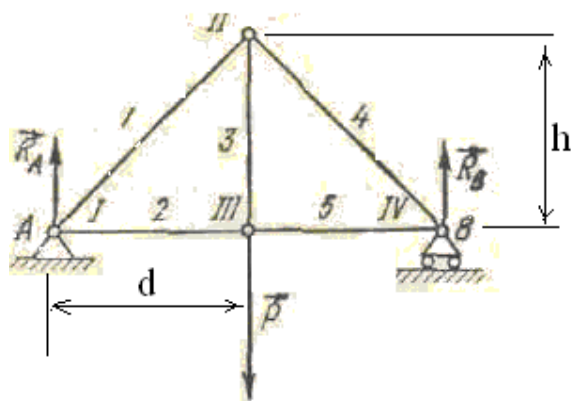
Tugunni kesish usulining mohiyati shundan iboratki, ferma tugunlarini hayolan kesib, tugunga qo'yilgan tashqi kuchlar va tugunda birlashgan sterjenlardagi ichki zo'riqish kuchlarini tugunga qo'yib, unga OXY koordinata sistemasini bog'lab tugunni muvozanatini tekshiramiz. Agar kesilgan tugun tayanch tugun bo'lsa kuchlar qatoriga reaksiya kuchlarini ham qo'yiladi.

Kesilgan tugun muvozanatda bo'lishi uchun unga qo'yilgan kuchlarga qurilgan kuch ko'pburchagi yopiq bo'lishi kerak. Har bir tugun uchun yopiq kuch ko'pburchagini yasab, ferma sterjenlaridagi reaksiya kuchlarini grafik usulda aniqlash mumkin.

Tugun kesish usulida masalani analitik echish uchun har bir tugunga qo'yilgan kuchlarning muvozanat tenglamalari $\begin{cases} \sum X = 0 \\ \sum Y = 0 \end{cases}$ ko'rinishida tuzib, bu tenglamalardan sterjendagi noma'lum so'riqish kuchlari aniqlanadi. Muvozanat tenglamasi 2 ta bo'lgani uchun undan 2 ta sterjendagi noma'lum zo'riqishni aniqlash mumkin. Shuning uchun tugunlarni kesish usulida avval 2 ta sterjen birlashgan tugunni kesishdan boshlash kerak.

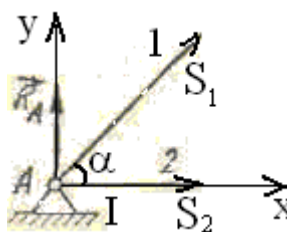
Misol tariqasida 3-rasm, a da tasvirlangan ferma sterjenlaridagi zo'riqishlarni tugunni kesish usulidan foydalanib topamiz. Ferma A nuqtada sharnirli qo'zg'almas tayanchga, B nuqtada sharnirli qo'zg'aluvchan tayanchga o'rnatilgan. Fermaga III tugunga qo'yilgan vertikal pastga yo'nalgan $\bar{P}$ kuch ta'sir etadi.

Masala echishni tayanch reaksiya kuchlarini aniqlashdan boshlaymiz. Fermaga uning o'rtasiga qo'yilgan bitta vertikal pastga yo'nalgan kuch ta'sir etadi. SHu sababli A va B nuqtalarning reaksiya kuchi vertikal yuqoriga yo'naladi va o'zaro teng bo'ladi: $R_A = R_B = \frac{P}{2}$ Sterjenlardagi zo'riqishni aniqlashdan avval berilgan ferma statik aniq ferma ekanligini tekshirib ko'ramiz. Berilgan fermaning tugunlar soni $n=4$, sterjenlar soni $N=5$. Bularni (1) formulaga qo'ysak, $5=2 \cdot 4 - 3$, ya'ni berilgan ferma statik aniq fermadir.



3-rasm

Tugunlarni rim raqamlari, sterjenlarni arab raqamlari bilan nomerlaymiz. Kesishni shunday tugundan boshlash kerakki, bu tugunda zo'riqishi aniqlanadigan sterjenlar ikkitadan ortiq bo'lmasin, chunki bir tekislikda yotuvchi kesishuvchi kuchlar sistemasining muvozanat shartlaridan foydalanib faqat ikkita noma'lum kattalikni aniqlash mumkin. Shu sababli ko'rilyotgan fermada kesishni I yoki IV tugundan boshlash kerak. I tugunni kesamiz. I tugunga ma'lum $\vec{R}_A$ kuch hamda 1 va 2 sterjenlardagi



zo'riqish kuchlari s_1 va s_2 qo'yilgan.

aniqlash uchun, kesib olingan tugunga xy koordinatalar sistemasini

bog'lab, $\begin{cases} \sum X = 0 \\ \sum Y = 0 \end{cases}$ muvozanat tenglamasini tuzamiz. Agar 1 va 2 sterjenlar

orasidagi burchakni α deb belgilasak, muvozanat tenglamasini tuzishda dastlab barcha kuchlarni y o'qiga proyeksiyalaymiz, chunki bu tenglamada faqat bitta noma'lum S_1 qatnashadi va u tenglamadan S_1 ni aniqlaymiz. So'ngra barcha kuchlarni x o'qiga proyeksiyalab S_2 zo'riqishni aniqlaymiz. I tugun uchun quyidagicha bo'ladi:

$$\sum Y = 0; \quad R_A + S_1 \cdot \sin \alpha = 0; \quad S_1 = -\frac{R_A}{\sin \alpha}.$$

$$\sum X = 0; \quad S_2 + S_1 \cos \alpha = 0; \quad S_2 = -S_1 \cos \alpha.$$

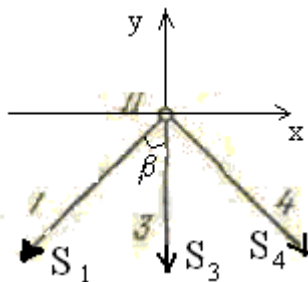
Bu formulalardagi sinus va kosinuslarning qiymatini fermadagi berilgan qiymatlardan foydalanib aniqlanadi. 3-rasmdan:

$$\sin \alpha = \frac{h}{\sqrt{h^2 + d^2}}; \quad \cos \alpha = \frac{d}{\sqrt{h^2 + d^2}}; \quad \text{qiymatlarni} \quad \text{yuqoridagi}$$

formulalarga qo'yib, noma'lum zo'riqishlar S_1, S_2 ning qiymatlari topiladi.

Bu zo'riqish kuchlarining ta'sir chiziqlari ma'lum (ular tegishli sterjen bo'ylab yo'nalgan) bo'lib, ularning miqdorlari yuqoridagidek aniqlanadi. Sterjen zo'riqishlari tugunga qarab yo'nalsa, sterjen siqiladi; aks holda, ya'ni sterjen zo'riqishi tugundan sterjen o'qi bo'ylab yo'nalgan bo'lsa, sterjen cho'ziladi.

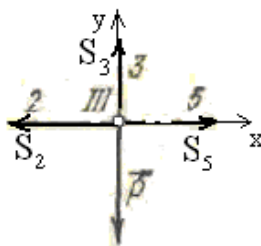
II tugunni kesamiz. Bu tugunga 1, 3 va 4 sterjenlarning zo'riqish kuchlari qo'yilgan.



II tugunga xy kooordinata sistemasini o'rnatib, yuqoridagidek

$\begin{cases} \sum X = 0 \\ \sum Y = 0 \end{cases}$ muvozanat tenglamasi tuzilib, noma'lum zo'riqishlar S_3, S_4 lar

aniqlanadi. So'ngra III tugunni kesib, Bu tugun uchun ham muvozanat tenglamasi $\sum X = 0$ ni tuzib, S_5 zo'riqish aniqlanadi.



SHunday qilib, yassi ferma N ta sterjendan iborat bo'lsa, fermaning barcha sterjenlaridagi zo'riqishlar ketma-ket yuqoridagi tartibda aniqlanadi.

Masalalar echganda uchraydigan quyidagi xususiy hollarni amalda qo'llash mumkin:

1.Fermaning ikki sterjeni bitta tugunda birlashgan bo'lib kuch ta'sir etmasa, har qaysi sterjendagi zo'riqishlar nolga teng bo'ladi.

2.Fermaning ikki sterjeni bitta tugunda birlashgan bo'lib birining o'qi bo'ylab yo'nalgan $\bar{P}$ kuch ta'sir etsa, bu sterjenning zo'riqish kuchi miqdor jihatdan ta'sir etuvchi kuchga teng, yo'nalishi unga qarama-qarshi bo'ladi:

$$S_1 = -P, \quad S_2 = 0.$$

3.Fermaning ikki sterjenli tuguniga sterjen o'qlari bo'ylab yo'nalgan $\bar{P}_1$ va

$\bar{P}_2$ kuchlar ta'sir etsa, har bir sterjenning zo'riqish kuchi miqdor jihatdan mos ravishda shu kuchga teng, yo'nalishi unga qarama-qarshi bo'ladi:

$$S_1 = P_1, \quad S_2 = -P_2.$$

4. Fermaning bitta tugunida uchta sterjen birikkan bo'lib, ikki sterjenning o'qi bir to'g'ri chiziq bo'ylab yo'nalsa va tugunga uchinchi sterjen o'qi bo'ylab kuch ta'sir etsa, uchinchi sterjendagi zo'riqish kuchi miqdor jihatdan $\bar{P}$ kuchga teng, yo'nalishi unga qarama-qarshi bo'ladi: $S_3 = -P$; qolgan ikki sterjenning zo'riqish kuchi miqdor jihatdan teng (ular nolga teng bo'lishi ham mumkin).

Ritter usuli

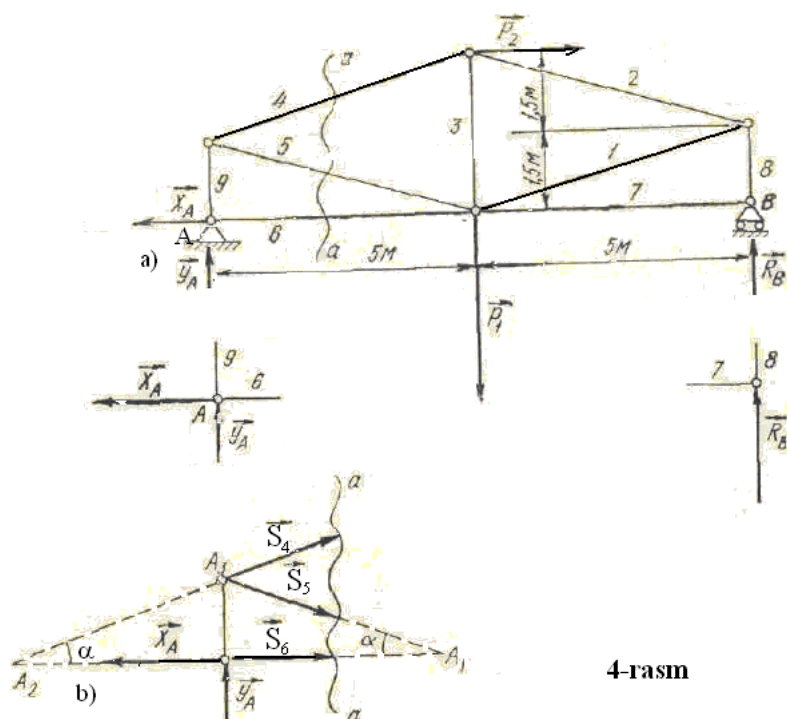
Agar yassi fermaning ayrim sterjenlaridagi zo'riqishlarni aniqlash lozim bo'lsa, u holda Ritter (1826—1906) tomonidan kashf qilingan va uning nomi bilan ataladigan analitik usuldan foydalanish maqsadga muvofiqdir. Bu usulda ham dastlab fermaning tayanch reaksiyalari aniqlanadi.

Ritter usulining mohiyati shundan iboratki, fermani sterjenlarini biror $a-a$ kesim bilan fikran qirqib ikki qismga ajratiladi va ajratilgan biror qismining muvozanati tekshiriladi. Tekislikda joylashgan kuchlar sistemasining muvozanat tenglamalari vositasida uchta noma'lum zo'riqishni aniqlash mumkin. Shu sababli fermani shunday kesim bilan kesish kerakki, sterjenlardagi noma'lum zo'riqish kuchlari soni uchtdan oshmasligi hamda bir nuqtada kesishadigan sterjenlar soni ikkitadan oshmasligi shart. Fermaning kesilgan bir qismini fikran tashlab yuborib, uning fermani ikkinchi qismiga ko'rsatadigan ta'sirini sterjenlar bo'ylab tashlab yuborilgan tomonga yo'nalgan kuchlar bilan almashtiramiz ya'ni barcha kesilgan sterjenlarni cho'ziladi deb faraz qilamiz. Masala echilganda birorta sterjenning zo'riqish kuchi manfiy ishorali chiqsa, uning yo'nalishi qabul qilingan yo'nalishga qarama-qarshi bo'lib, mazkur sterjen aslida

siqiladi. Fermaning ajratilgan qismi uchun tekislikdagi kuchlarning muvozanat tenglamalari tuzilib, sterjenlarning noma'lum reaksiya kuchlari aniqlanadi. Tenglamalar tuzishda shunga harakat qilish kerakki, imkoni bo'lsa har bir tenglamada noma'lumlar soni bittadan oshmasin. Shu nuqtai nazardan qaraganda

$$\sum M_A(\vec{F}_v) = 0, \quad \sum M_B(\vec{F}_v) = 0, \quad \sum M_C(\vec{F}_v) = 0.$$

$$\text{yoki } \sum M_A(\vec{F}_v) = 0, \quad \sum M_B(\vec{F}_v) = 0, \quad \sum X_v = 0$$



4-rasm

ko'rinishdagi muvozanat tenglamalaridan foydalanish maqsadga muvofiqdir. Birinchi xil tenglamalarni tuzishda moment markazi (nuqta) uchun ikkita noma'lum zo'riqish kuchlarining ta'sir chiziqlari kesishadigan nuqtani olish tavsiya etiladi. Bunday

nuqtalar Ritter nuqtalari deb ataladi. Agar zo'riqish kuchlari noma'lum bo'lgan sterjenlardan ikkitasi o'zaro parallel bo'lsa, ikkinchi ko'rinishdagi tenglamalardan foydalanish qulay, bunda kuchlar proeksiyalanadigan o'q uchun parallel sterjenlarga perpendikulyar o'q olinadi, moment markazlari uchun Ritter nuqtalari olinadi. Ritter usuli bilan 4-rasmda berilgan fermaning 4, 5, 6, 7, 8 va 9 sterjenlaridagi zo'riqishlarni aniqlaymiz.

Yuqorida ko'rganimizdek, $P_1 = 4 \kappa H$, $P_2 = 2 \kappa H$ kuchlar ta'sir etadi va tayanch reaksiyalari A tayanch sharnirli qo'zg'almas, B tayanch sharnirli qo'zg'aluvchan tayanch bo'lgani uchun, ularni muvozanat tenglamalari yordamida aniqlanganda $X_A = 2 \kappa H$, $Y_A = 1,4 \kappa H$, $R_B = 2,6 \kappa H$ ga teng bo'ladi.

Fermaning A va B tayanchlaridagi tugunlari qaralgan 3 va 2 xususiy hollarga mos keladi. Binobarin, $\bar{R}_9$ va $\bar{R}_8$ reaksiya kuchlari mos ravishda A va B tugunga yo'naladi, ya'ni 9 va 8 sterjenlar siqiladi hamda bu sterjenlardagi zo'riqishlar quyidagicha aniqlanadi:

$$S_9 = -R_9 = -Y_A = -1,4 \kappa H, \quad S_8 = -R_8 = -2,6 \kappa H.$$

R_6 reaksiya kuchining yo'nalishi X_A ga qarama-qarshidir, ya'ni A tugundan sterjen o'qi bo'ylab yo'nalib, 6 sterjen cho'ziladi va $S_6 = R_6 = 2 \kappa H$. 7 sterjendagi zo'riqish esa nolga teng bo'ladi: $S_7 = 0$.

4 va 5 sterjenlardagi zo'riqishni topish uchun fermaning 4, 5 va 6 sterjenlarini $a-a$ kesim bilan fikran kesamiz hamda fermaning tashlab yuboriladigan o'ng qismining ta'sirini mos sterjenlar bo'ylab yo'nalgan S_4, S_5 va $S_6 = 2 \kappa H$ zo'riqish kuchlari bilan almashtiramiz (4-rasm b).

Ritter nuqtalari A_1 va A_2 ga nisbatan momentlar tenglamasini tuzamiz:

$$\sum M_{A_1}(\vec{F}_v) = 0; \quad -Y_A \cdot 5 - S_4 \cdot 10 \cdot \sin \alpha = 0,$$

$$\sum M_{A_2}(\vec{F}_v) = 0; \quad Y_A \cdot 5 - S_5 \cdot 10 \cdot \sin \alpha = 0.$$

Bu tenglamalarda $\sin \alpha = \frac{1,5}{\sqrt{(1,5)^2 + 5^2}} = 0,2874$ ekanligini e'tiborga olsak,

$$S_4 = -\frac{Y_A \cdot 5}{10 \sin \alpha} = -2,4356 \kappa H,$$

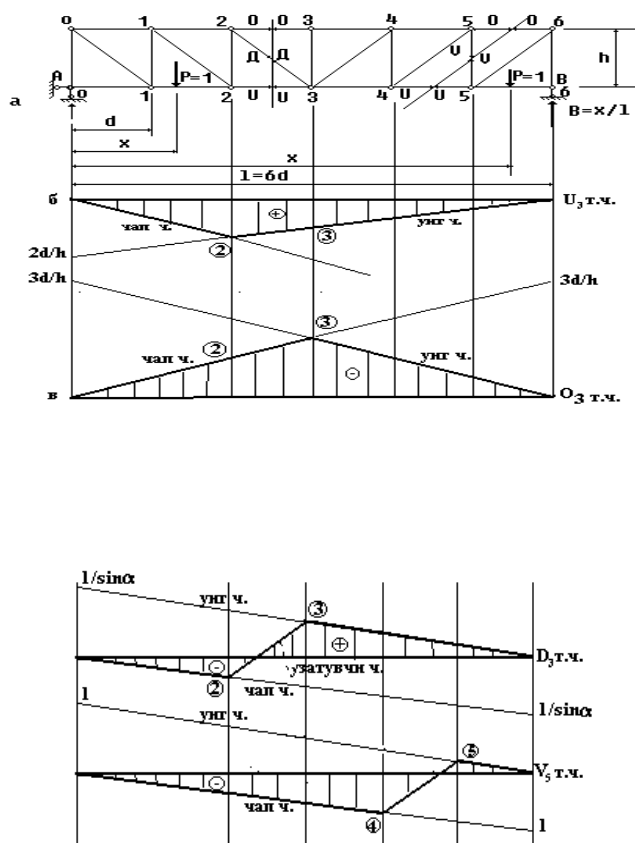
$$S_5 = \frac{Y_A \cdot 5}{10 \cdot \sin \alpha} = 3,4356 \kappa H.$$

Demak, 4 sterjen siqiladi, 5 sterjen cho'ziladi.

Fermani sterjenlaridagi zo'riqlashlarni hisoblashning yuqoridagi analitik usullari grafik usullarga nisbatan aniqroq bo'ladi.

Harakatlanuvchi yuk ta'sirida ferma elementlaridagi zo'riqlashlarni hisoblash.

Ferma elementlarida harakatlanuvchi yuklar ta'siridan hosil bo'ladigan zo'riqlash kuchlarini aniqlash uchun ta'sir chiziqlar nazariyasidan foydalaniladi. Yo'nalishi vertikal, miqdori esa birga teng ($P=1$) ko'chma yuk ferma bo'yicha harakatlanayotganda ferma elementidagi zo'riqlash qiymatining o'zgarishini ifodalovchi grafik shu zo'riqlash ta'sir chizig'i deb ataladi. Tashqi yuklar fermaning sharnirli tugunlariga qo'yilganligi sababli, uning elementlaridagi zo'riqlash ta'sir chiziqlarini qurishda yuklarni tugun orqali asosiy balkaga uzatishdagi ta'sir chizig'ini qurish qoidalarini tatbiq qilish kerak. Ta'sir chizig'ini qurish tartibini quyidagi misollarda ko'ramiz.



3.12-rasm

Parallel belbog'li ferma elementlaridagi zo'riqlashning ta'sir chiziqlarini quramiz (3.12-rasm).

Nazorat savollari:

1. Katta oraliqlarni qoplashda tekis balka nima sababdan iqtisodiy noqulay bo'ladi?
2. Ferma tuzilmalari qaysi soha va joylarda ko'p ishlaydi?
3. Ferma qanday tuzilma? Ferma sterjenlarida qanday zuriqlash xosil bo'ladi va nima sababdan?
4. Balkasimon ferma reaksiyalari qanday topiladi?
5. Ferma elementlari qanday farqlanadi?
6. Moment nuqtasi deb nimaga aytiladi? Misollar keltiring?

7. Qachon ferma elementlaridagi zo'riqlashlarni aniqlashda moment nuqtasi usulini qo'llash qulay bo'ladi?
8. Tugun kesish usuli qachon va qanday qo'llaniladi? Uning afzallik va kamchiliklari nimadan iborat?
9. Qanday sterjenlar zo'riqlashsiz (nulli) deyiladi? Misollar keltiring.
10. Qachon proektsiya usulini qo'llash qulay bo'ladi? Uning mazmuni nimadan iborat?

25-mavzu. Uch sharnirli arkalarini qo'zg'almas va harakatlanuvchi yuklar ta'siriga hisoblash.

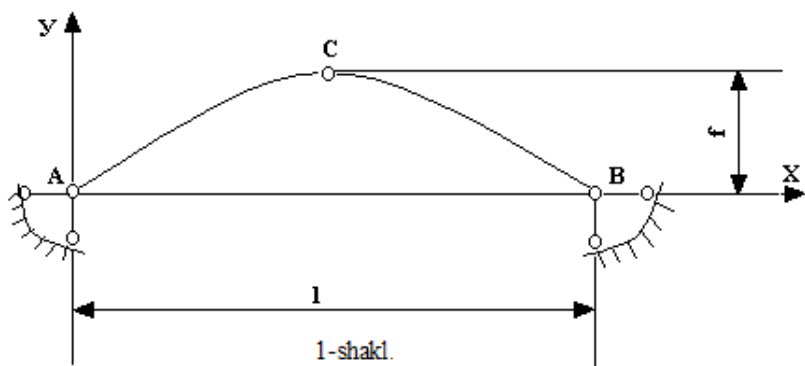
Reja:

1. Uch sharnirli sistemalar haqida tushunchalar.
2. Reaksiya kuchlarini analitik usulda aniqlash hamda ixtiyoriy kesim uchun eguvchi moment, ko'ndalang va bo'ylama kuchlarini aniqlash.
3. Ta'sir chizig'ini zo'riqlashlarni nol nuqtasi yordamida qurish va hisoblash.

Tayanch so'z va iboralar:

Uch sharnirli sistema, uch sharnirli arka, ko'tarilish cho'qqisi, xovon reaksiyasi, eguvchi moment, ko'ndalang kuch, bo'ylama kuch, kuch epyurasi, harakatlanuvchi yuk.

O'zaro bitta sharnir vositasida ulangan va fundementga ikkita qo'zgalmas sharnirli tayanchlar yordamida tiralgan ikki egri brusdan tuzilgan geometrik o'zgarmas sistema uch sharnirli arka deyiladi (shakl). Uch sharnirli arkaga kandy vertikal kuchlar ta'sir etishidan kat'iy nazar, uning tayanchlarida doim gorizontol yunalgan keruvchi reaksiya kuchlari bo'ladi. Bu gorizontol reaksiyalar xavon deyiladi.

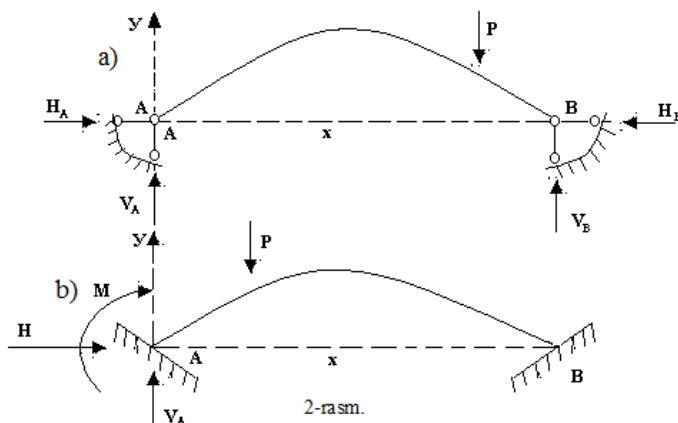


(1-

$$\sum X = 0, \sum Y = 0, \sum M = 0, \sum M_c^{chap} = 0, \text{ va } \sum M_c^{ong} = 0 \quad (1)$$

$W=3D-2SH-St$.

Uch sharnirli arkada $D=2$; $SH=1$; $St=4$. U holda erkinlik darajasi $W=3*2-2*1-4=0$ bo'ladi va uchala sharnirli bir to'g'ri chiziqdayotmagani uchun sistema ikki sharnirli arka deb ataladi (2-rasm, a). bunday arka to'rtta noma'lum tashqil etuvchi tayanch reaksiyalariga ega bo'lib, uning statik anikmaslik



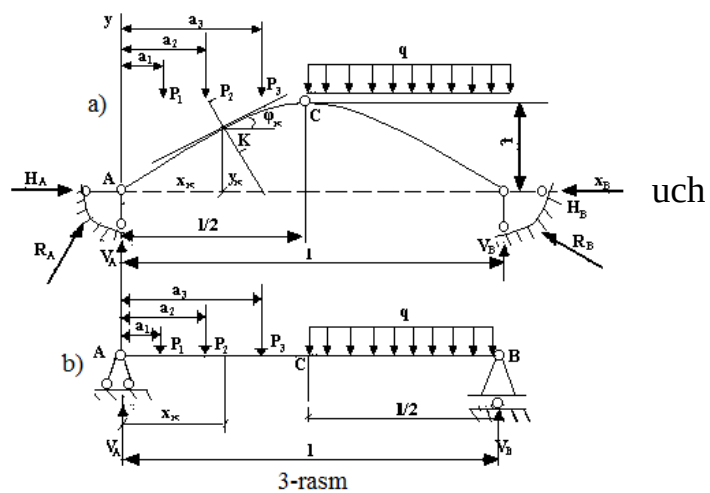
darajasi birga teng. Uchlari qistirilgan va oraliq sharnirli bulmagan arka sharnirsiz arka deb ataladi (2 -rasm, b).

SHarnirsiz arkada doim oltita noma'lum tashqil etuvchi tayanch reaksiyalari hosil bo'ladi. Bu reaksiyalarni aniqlash uchun uchta muvozanat tenglamasidan tashqari yana uchta kushimcha tenglamalar tuzish kerak. Demak, bu sistema uch marta statik anikmasdir.

Arka ko'ndalang kesmlarning ogirlik markazidan o'tuvchi ACB egri chiziq arka o'qi deyiladi. Arka o'qi parabolik, aylana, ellips va boshqa shakldagi egri chiziqlardan iborat bo'lishi mumkin. A va B tayanch sharnirlar orasidagi masofa arka prolyoti (l) deyiladi. Agar tayanchlar har xil balandlikda joylashgan bo'lsa, ular orasidagi gorizontaal masofa arka prolyoti hisoblanadi.

A va B tayanch sharnirlar tovon sharnir, oraliq C sharnir esa qulf sharnir deb ataladi. AB tayanch chizigidan arka o'qining eng yuqorigi nuqtasigacha bo'lgan masofa arkaning ko'tarilish cho'qqisi deyiladi va u f harfi bilan belgilanadi (1-shakl).

Agar tayanch sharnirlarni tortiki deb ataluvchi sterjen bilan birlashtirsak, u holda arkaning xavon reaksiyasini tortiki uziga qabul qiladi. Bunday arka tortikli sharnirli arka deyiladi. Tortikli arkada ikkiala tayanchni qo'zgalmas, ikkinchisini esa ko'zgaluvchan sharnirli tayanch bo'ladi. Tortqidagi zo'riqishni aniqlash uchun uni kesib, oraliq sharnir C ga nisbatan momentlar tenglamasini yozamiz:



$$\sum M_c^{chap} = 0 \quad \text{yoki} \quad \sum M_c^{o'ng} = 0$$

Tortikli arka tayanchlarining tuzilishiga ko'ra sistema deb hisoblanadi.

Agar egri bruslar siniq chiziqli sterjenlar bilan almashtirilsa, uch sharnirli rama hosil bo'ladi.

Uch sharnirli arkalarni qo'zgalmas yuklar ta'siridan analitik usulda hisoblash, tayanch reaksiyalarini aniqlashdan boshlanadi. Uch sharnirli arkaga vertikal yuklar ta'siri qilayotgan xol uchun tayanch reaksiyalarini aniqlaymiz (3-rasm).

Og'ma tayanch reaksiyalari R_A va R_B ni vertikal va gorizontaal tashqil etuvchilar V_A , V_B , H_A va H_B ga ajratamiz. Ularning qiymatini to'pish uchun muvozanat tenglamasi hamda qo'shimcha to'rtinchi tenglama $\sum M_c^{chap} = 0$ yoki $\sum M_c^{o'ng} = 0$ tuziladi.

Chap tayanch reaksiyaning vertikal tashqil etuvchisi V_A ni aniqlash uchun arkaning o'ng tayanchi B ga nisbatan muvozanat (momentlar) tenglamasi tuziladi:

$$\sum M_B = 0, \quad V_A l - P_1(l - a_1) - P_2(l - a_2) - P_3(l - a_3) - q \frac{l^2}{8} = 0$$

$$\text{Bundan} \quad V_A = \frac{1}{l} \left[P_1(l - a_1) + P_2(l - a_2) + P_3(l - a_3) + q \frac{l^2}{8} \right] \quad (a)$$

O'ng tayanch reaksiyaning vertikal tashkil etuvchisini aniqlash uchun tayanch A ga nisbatan muvozanat momentlar tenglamasini yozamiz:

$$\sum M_A = 0, \quad P_1 a_1 + P_2 a_2 + P_3 a_3 + q \frac{l}{2} * \frac{3}{4} l - V_B l = 0$$

bundan

$$V_B = \frac{1}{l} (P_1 a_1 + P_2 a_2 + P_3 a_3 + q \frac{l}{2} * \frac{3}{4} l^2) \quad (b)$$

(a) va (b) ifodalardan uch sharnirli arka tayanch reaksiyalarining vertikal tashkil etuvchilari xuddi shunday prolyotli va arka kabi yuklangan oddiy balkaning tayanch reaksiyalariga teng ekanligini ko'ramiz (3-rasm,b) ya'ni: $V_A = A_{balka} \quad V_B = B_{balka}$

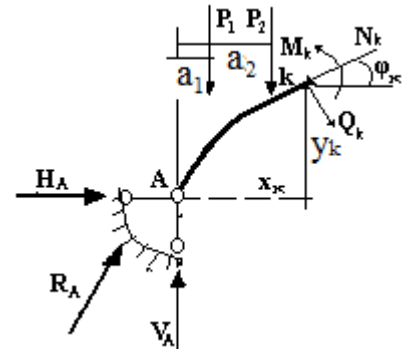
Uch sharnirli arka tayanch reaksiyalarining gorizontall tashqil etuvchilari H_A va H_B orasidagi munosabtni aniqlash uchun unga ta'sir etayotgan hamma kuchlarning gorizontall o'qqa proeksiyalari yig'indisini nolga tenglashtiramiz:

$$\sum X = 0.$$

Agar arkaga faqat vertikal yuklar qo'yilgan bo'lsa, u holda doim $H_A = H_B = H$ bo'ladi. Keruvchi reaksiya kuchi H ni aniqlash uchun, uch sharnirli arkaning oraliq sharniri C dan chap yoki o'ng tomonda ta'sir etayotgan hamma yuklar va tayanch reaksiyalaridan moment olamiz:

$$\sum M_C^{chap} = 0 \quad \text{va} \quad H = H_A = H_B = \frac{M_C^{chap}}{f} \quad \text{formulasini}$$

hosil qilamiz. Bu erda M_C^{chap} oddiy balkang C kesimga nisbatan chap tomondagi kuchlardan olingan moment.



Tayanch reaksiyalari aniqlangandan so'ng arkaning ixtiyoriy K kesimidagi hosil bo'luvchi ichki kuchlar M_K , Q_K , N_K ni aniqlash mumkin. Buning uchun kesish usulidan foydalanamiz. Arkani kesib K kesimdan chap yoki o'ng tomondagi kuchlardan kesim markaziga nisbatan moment olib M_K ni, kesimga o'tkazilgan normalga kuchlarni proyeksiyasini olib ko'ndalang kuch Q_K ni, urinmaga proyeksiyasini olib bo'ylama kuch N_K ni aniqlaymiz:

$$M_K = [V_A x_K - P_1(x_K - a_1) - P_2(x_K - a_2)] - H y_K. \quad (2)$$

bu ifodada o'rta qavs ichidagi miqdor xuddi arkaga qo'yilgan yuklar ta'sirida bo'lgan oddiy balkaning shu K kesimdagi eguvchi momenti M_K^o ning miqdoriga teng. U holda (2) ifoda quyidagi ko'rinishga keladi:

$$M_K = M_K^o - H y_K. \quad (3)$$

Demak, arkaning K kesimidagi eguvchi moment shu arkaga tegishli bo'lgan oddiy balkaning xuddi shu mos kesimidagi eguvchi moment M_K^o va keruvchi kuchdan olingan moment $H y_K$ ayirmasiga teng.

Bo'ylama kuchni hisoblash. Arkaning istalgan ko'ndalang kesimidagi bo'ylama kuch, kesimdan bir tomonda joylashgan hamma kuchlarining arka o'qining K nuqtasiga o'tkazilgan urinmaga proeksiyalarining algebraik yigindisiga teng. Agar bu kuchlar proeksiyalarining algebraik yigindisi arka kesimida siquvchi kuch hosil qilsa, bo'ylama kuchni musbat deb qabul qilamiz. Arkaning K kesimidan chap

tomonda joylashgan hamma kuchlarning shu nuqtaga o'tkazilgan urinmaga tushirilgan proeksiyalar tenglamasini tuzib, bo'ylama kuch ifodasini yozamiz:

$$N_K = (V_A - P_1 - P_2) \sin \varphi_K + H \cos \varphi_K.$$

bu formulada qavs ichidagi ifoda arkaga ta'sir qilayotgan yuklar bilan yuklangan oddiy balkaning K kesimidagi ko'ndalang kuchga teng:

$$Q_K^0 = V_A - P_1 - P_2,$$

u holda $N_K = Q_K^0 \sin \varphi_K + H \cos \varphi_K$. (4)

Ko'ndalang kuchni hisoblash. Arkaning ixtiyoriy K kesimidagi ko'ndalang kuch Q_K bu kesimdan bir tomonda joylashgan hamma kuchlarning arka o'qining shu nuqtasiga o'tkazilgan normalga tushirilgan proeksiyalarining algebraik yig'indisiga teng.

Ko'ndalang kuchning ishorasi materiallar qarshiligi kursida qabul qilingan qoida bo'yicha aniqlanadi. Yuqoridagi ta'rifga asosan:

$$Q_K = (V_A - P_1 - P_2) \cos \varphi_K - H \sin \varphi_K$$

yoki

$$Q_K = Q_K^0 \cos \varphi_K - H \sin \varphi_K \quad (5) \text{ bunda } Q_K^0 = V_A - P_1 - P_2.$$

(3), (4) va (5) formulalarga asosan M_K ; N_K ; va Q_K epyuralarni qurish mumkin.

Eguvchi momentlar epyurasini qurish

Vertikal yo'nalgan tashqi kuchlar ta'siridagi uch sharnirli arka uchun eguvchi momentlar epyurasini quramiz. (3) formulaga asosan, uch sharnirli arkaning eguvchi moment epyurasi prolyoti shu arka prolyotiga teng bo'lgan oddiy balkaning eguvchi moment epyurasi bilan $H y_K$ epyurasining ayirmasiga teng:

$$M(x) = M^0(x) - H y_K(x). \quad (6)$$

Uch sharnirli arkaning eguvchi moment epyurasini qurishda shu ifodadan foydalanish mumkin. Buning uchun arkaga qo'yilgani kabi yuklar bilan yuklangan oddiy balkaning eguvchi momenti $M^0(x)$ epyurasi bilan arkaning har bir kesim og'irligi markazi ordinatisini keruvchi kuch H ga ko'paytirib, $H y_K(x)$ epyurasini quramiz. (6) formulaga asosan, uch sharnirli arkaning har bir kesimidagi eguvchi moment ordinatasi qurilgan $M^0(x)$ va $H y_K(x)$ epyuralardan olingan tegishli ordinatalarning ayirmasiga teng bo'ladi. Masalan:

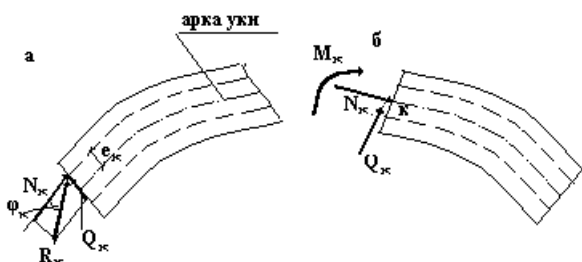
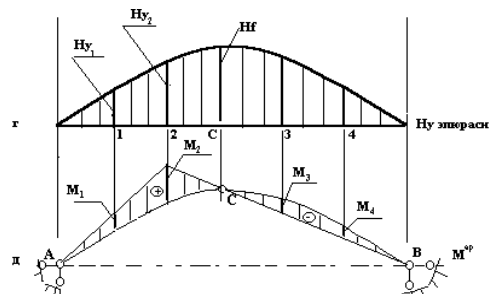
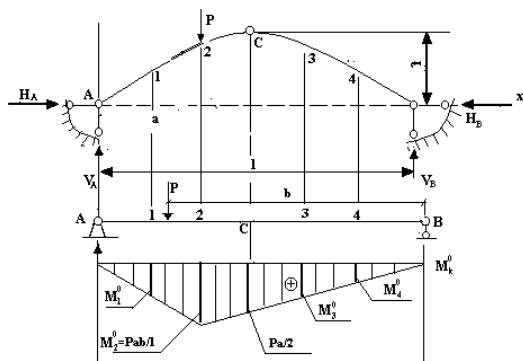
$$M_1 = M_1^0 - H y_1; M_2 = M_2^0 - H y_2; M_C = M_C^0 - H y_C = 0 \quad \text{va hokazo.}$$

Bu usul bo'yicha qurilgan arkaning eguvchi moment epyurasi rasmda shtrixlab ko'rsatilgan.

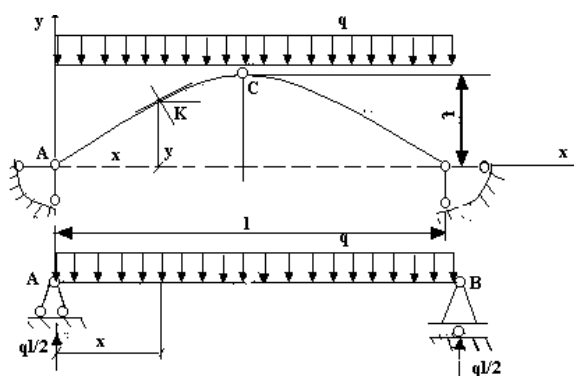
Arka eguvchi moment epyurasidagi siniq chiziq A-1-2-C-3-4-B arkaning bosim ko'burchagi deyiladi. Bosim ko'burchagining har bir tomoni (A-1,1-2,2-C,.....) arka ko'ndalang kesimidagi zo'riqishlar teng ta'sir etuvchisining yo'nalishini ko'rsatadi. Masalan, arkaning K kesimidan chap yoki o'ng tomonga joylashgan kuchlarning teng ta'sir etuvchisi R_{1-2} bo'ladi. Uni N_K va Q_K tuzuvchilarga ajratib, kesim og'irlik markaziga ko'chiramiz. U holda eguvchi moment M_K ning miqdori quyidagicha bo'ladi: $M_K = N_K e_K$ bunda e_K - bo'ylama kuchning ekstsentrisiteti.

Agar teng ta'sir etuvchi R_K arka o'qidan yuqoridan o'tsa, arkaning pastki tolalari chizilgan bo'ladi, u holda eguvchi moment musbat hisoblanadi, agar pastda o'tsa M_K manfiy bo'ladi.

Uch sharnirli arka taralgan yuklar ta'sirida bo'lganda, uning bosim ko'pburchagi o'rniga egri chiziq hosil bo'ladi. Bu egri chiziq bosim egri chizig'i deyiladi. Bosim egri chizig'i arkaning zo'riqish holatini aniq ko'rsatib beradi va u arka o'qiga qanchalik yaqinlashsa, uning ko'ndalang kesimlaridagi eguvchi moment miqdori shuncha kamayib boradi.



Arka o'qining ratsional shaklini tanlash. Agar vertikal taralgan yuklar ta'sirida bo'lgan uch sharnirli arkaning bosim chizig'i arka o'qiga mos kelsa, arkaning istalgan ko'ndalang kesimidagi eguvchi moment nolga teng bo'ladi. Bunday xususiyatga ega bo'lgan arka o'qi arkaning ratsional o'qi deyiladi. Ratsional o'qli arkalarining istalgan ko'ndalang kesimda faqat bo'ylama zo'riqish kuchi hosil bo'lib, arka siqilishga ishlaydi. Bunday arkalarining ko'ndalang kesim o'lchamlari eng ratsional ravishda aniqlangan bo'ladi.



Arka o'qining ratsional shaklini tanlash uchun misol tariqasida tekis taralgan yuklar ta'siridagi uch sharnirli arkani ko'rib chiqamiz. Bunday arkaning o'qi ratsional shaklli bo'lishi uchun uning istalgan ko'ndalang kesimidagi eguvchi moment nolga teng bo'lishi kerak:

$$M(x) = M^0(x) - Hy(x) = 0.$$

bundan $y(x) = M^0(x)/H$

ushbu ifoda arka o'qining ratsional shaklini umumiy holda ifodalovchi tenglamadir. Bunda $M(x)$ -oddiy balkaning ixtiyoriy kesimidagi eguvchi momenti.

$$M^0(x) = Ax - q \frac{x^2}{2} = \frac{q}{2}(l-x)x$$

Keruvchi reaksiya kuchi H ni aniqlaymiz:

$$H = \frac{M_c^0}{f} = \frac{1}{f} \left(q \frac{l^2}{4} - q \frac{l^2}{8} \right) = \frac{ql^2}{8f}.$$

Bu formulalardagi $M^0(x)$ va H ning qiymatini arkaning rasional o'qi tenglamasiga qo'yamiz:

$$y(x) = \frac{8f}{ql^2}(l-x)x \frac{q}{2} = \frac{4f}{l^2}(l-x)x$$

Demak,

$$y(x) = \frac{4f}{l^2}(l-x)x$$

bo'lgani uchun ushbu holda tekis taralgan yuk ta'siridagi arka o'qining rasional shakli paraboladir.

Uch sharnirli arkalarda ta'sir chiziqlar qurish.

Inshootlarni qo'zg'aluvchi yuklar ta'siriga hisoblash uchun ta'sir chiziqlari deb ataluvchi grafik chizib olinadi.

Ta'sir chiziqlari har bir tayanch reaksiyasi va har bir ichki kuch (M , N) uchun alohida ravishda quriladi.

Tayanch reaksiyalarining ta'sir chiziqlari

Chap va o'ng tayanch sharnirlariga nisbatan momentlar tenglamasini tuzamiz:

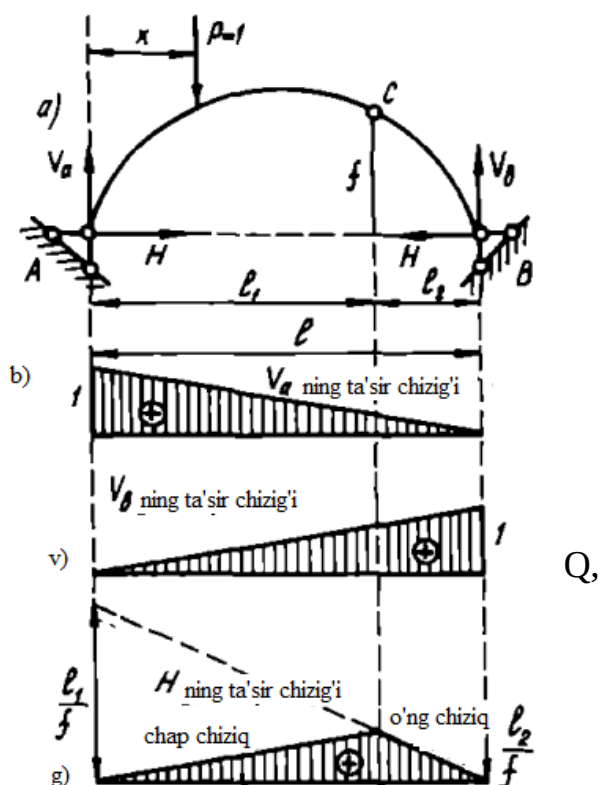
$$\sum M_b = V_a \cdot l - P(l-x) = 0;$$

$$\sum M_a = -V_b \cdot l + Px = 0.$$

Bu tenglamalardan V_a va V_b topiladi. Topilgan ifodalar balka tayanch reaksiyalarining ifodasidan farq qilmaydi. Demak, arka reaksiyalarining ta'sir chiziqlari ham balkaning ta'sir chiziqlaridan farq qilmasligi kerak (rasm, b, v).

Ma'lumki, kerki kuchi $H = \frac{M_c^0}{f}$ tenglamasi yordamida aniqlanadi. Bundan

H ning ta'sir chizig'i balka momenti M_c^0 ning ta'sir chizig'idan $1/f$ marotaba kichik ekanligi ko'rinib turibdi., SHuning uchun H ning ta'sir chizig'ini qurishda A tayanchi ostiga l_1 ning o'rniga l_1/f ni o'lchab qo'yamiz. Bu miqdorni B tayanch ostidagi nol bilan tutashtirsak, o'ng to'g'ri chiziq kelib

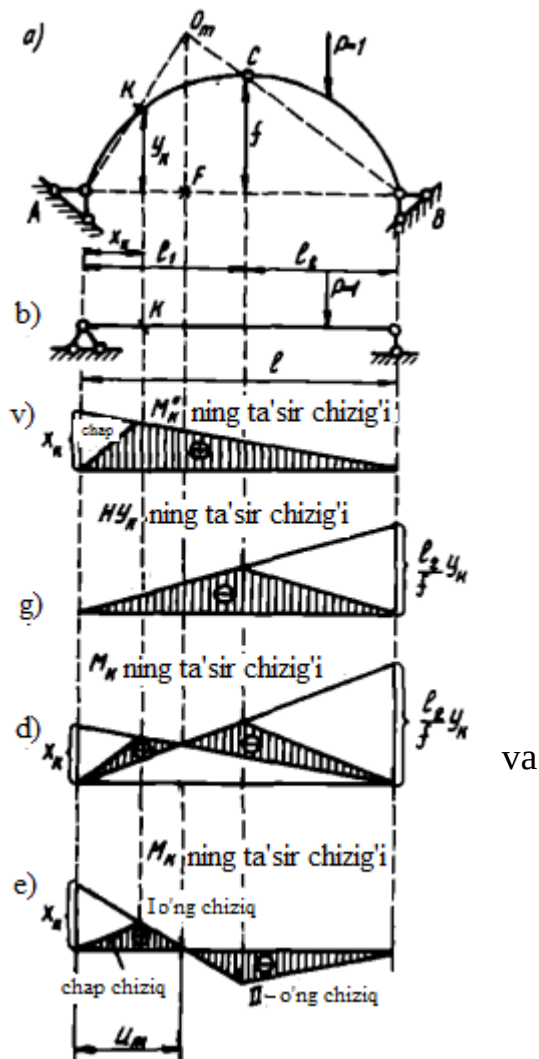


chiqadi. Chap to'g'ri chiziqni o'tkazish uchun C sharnirni o'ng to'g'ri chiziqqa proeksiyalaymiz, topilgan nuqtani A tayanchi ostidagi nol bilan tutashtiramiz. Shtrixlangan yuza kerki kuchi — gorizontall reaksiya H ning ta'sir chizig'idir. (rasm, g). Agar $l_1=l_2=l/2$ bo'lsa, C sharniri ostidagi ordinata $l/4f$ bo'ladi.

Eguvchi moment M ning ta'sir chizig'i

Arkaning istalgan kesimidagi eguvchi moment $M_k = M_k^o - Hy_k$ formulasi yordamida aniqlanishini yuqorida ko'rib o'tdik. Arkaning ixtiyoriy K kesimidagi eguvchi moment M_k ning ta'sir chizig'ini

qurishda ham shu formuladan foydalanamiz (rasm, a). Formulaga qaraganda, arkaning ta'sir chizig'i oddiy balkaning (rasm, b) K kesimidagi eguvchi moment M_k ning ta'sir chizig'i bilan y_k marta kattalashtirilgan kerki kuchi H ning ta'sir chiziqlari orasidagi farqqa teng bo'ladi. M_k va Ny_k ning ta'sir chiziklari rasm, b, g — da tasvirlangan. Har ikkala shaklni ustma-ust joylashtirish yo'li bilan izlanayotgan ta'sir chizig'ini hosil qilamiz (rasm, d). Hosil bo'lgan ta'sir chizig'ini to'g'ri o'qqa joylashtirsa ham bo'ladi (rasm, e). Rasm, g — da tasvirlangan M_k ning ta'sir chizig'ida M_k ning o'ng chizig'i bilan H_y ning chap chizig'i nol nuqtasida kesishadi. Ushbu nuqtaning holatini grafik usulda aniqlasa bo'ladi. Buning uchun BC AK chiziqlarining kesishuv nuqtasi O_m ni aniklaymiz (rasm, a). Ta'sir chizig'ining 0 nuqtasi ana shu nuqta ostida yotadi. M_k ning ta'sir chizig'ini bevosita nol nuqtasi orqali qursa ham bo'ladi. Buning uchun ixtiyoriy o'qqa X_k masofasi o'lchab qo'yiladi (rasm, e) O_m nuqtasini o'qqa proeksiyalab, nol (0) nuqtasi aniqlanadi. X_k ning uchi 0 bilan birlashtiriladi va C sharnirining proeksiyasi bilan uchrashguncha davom ettiriladi. O'tkazilgan chiziq I o'ng chiziq deb ataladi. II o'ng chiziq shaklda ko'rsatilgandek o'tkaziladi. Chap chiziq odatdagidek o'tkaziladi, ya'ni K kesimining proeksiyasi bilan A tayanchi ostidagi nol nuqta birlashtiriladi. Shtrixlangan yuza M_k ning ta'sir chizig'i bo'ladi.



Nol nuqtasining absissasi u_m AFO_m va BFO_m uchburchaklaridan topiladi:

$$FO_m = \frac{y_k}{x_k} u_m = \frac{f}{l_2} (l - u) \text{ bundan } u_m = \frac{fx_k}{y_k l_2 + fx_k} \text{ kelib chiqadi.}$$

Ko'ndalang kuch Q_k ning ta'sir chizig'i

Uch sharnirli arkaning K kesimidagi ko'ndalang kuch Q_k ning ta'sir chizig'ini qurishda quyidagi formuladan foydalanamiz (rasm,a): $Q_k = Q_k^0 \cos \varphi_k - H \sin \varphi_k$; bu erda Q_k oddiy balkaning K kesimidagi ko'ndalang kuch (rasm,b); φ_k — K kesimiga o'tkazilgan urinma bilan gorizont o'q orasidagi burchak.

Arka bo'ylab birlik kuch harakat qilganda, Q_k^0 bilan H o'zgarib boradi, $\cos \varphi_k$ bilan $\sin \varphi_k$ esa o'zgarishsiz qoladi. Bunga ko'ra Q_k ta'sir chizig'i $Q_k^0 \cos \varphi_k$ bilan $H \sin \varphi_k$ ning ta'sir chiziqlari algebraik yig'indisi sifatida qursa bo'ladi. Ana shu yig'indi rasm, v tasvirlangan, ya'ni ikki xil ta'sir chizig'i ustma-ust joylashtirilgan. Miqdorlari teng, ishorasi qarama-qarshi bo'lgan ordinatalar qisqarib ketgan, qolganlari shtrixlangan. Shtrixlangan yuza Q_k ning ta'sir chizig'idir.

Agar hosil bo'lgan shaklni gorizont ustiga joylashtirsak, Q_k ning ta'sir chizig'i rasm, g da tasvirlangan ko'rinishni oladi.

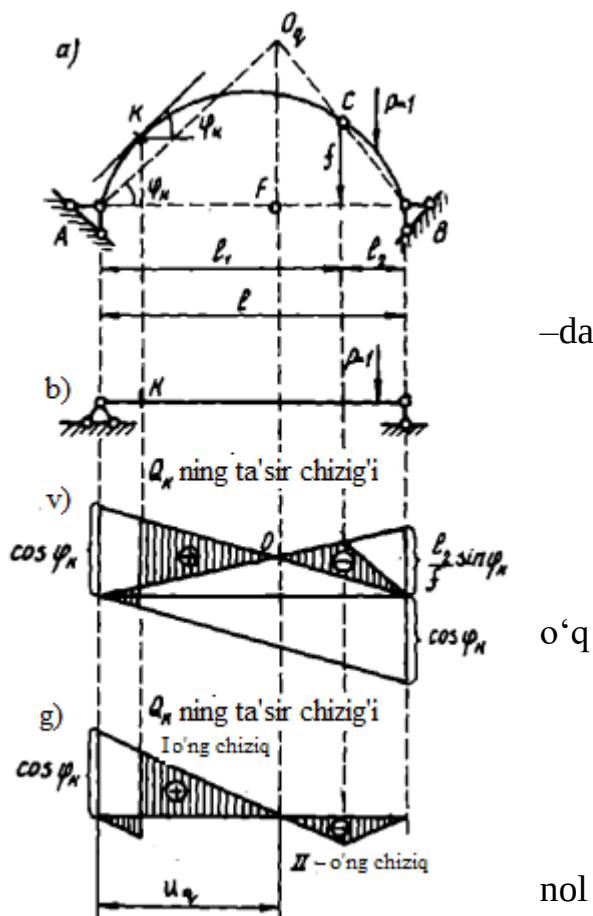
Mazkur ta'sir chizig'ini nol nuqtasi usulida, ya'ni grafik usulda qursa ham bo'ladi. Buning uchun avval nuqtaning holati aniqlab olinadi, izlanayotgan nuqta (O_q) ikki chiziqning kesishuv nuqtasi tariqasida topiladi. Ulardan biri BC chizig'i, ikkinchisi K kesimidan o'tgan urinmaga A sharniridan o'tkazilgan parallel chiziqdir (rasm,a). Shu nuqtaning gorizont o'qqa proeksiyasi (0) nol nuqta hisoblanadi.

Ixtiyoriy gorizont o'qqa $\cos \varphi_k$ masofani o'lchab qo'yamiz (rasm,g). Masofaning uchini nol nuqta bilan tutashtiramiz va uni C sharniri proeksiyasi bilan uchrashguncha davom ettiramiz. O'tkazilgan kesma I o'ng chiziq bo'ladi. II o'ng chiziq shaklda ko'rsatilgandek o'tkaziladi. Chap chiziq I o'ng chiziqqa parallel ravishda o'tkazilib K kesimining proeksiyasiga qadar davom etadi. Shtrixlangan yuza Q_k ning ta'sir chizig'i hisoblanadi.

Nol nuqtaning abssissasi AFO_q va BFO_q uchburchaklari orqali $U_q = \frac{fl}{f + l_2 \tan \varphi_k}$ formuladan topiladi.

Bo'yлама kuch N ning ta'sir chizig'i

Uch sharnirli arkaning K kesimidagi bo'yлама kuch N_k ning ta'sir chizig'ini qurishda $N_k = Q_k^0 \sin \varphi_k + H \cos \varphi_k$ formulasidan foydalanamiz (rasm,a).



Formulaga qaraganda N_k ning ta'sir chizig'ini $Q_k^0 \sin \varphi_k$ bilan $H \cos \varphi_k$ ta'sir chiziqlarining yig'indisi sifatida qursa bo'ladi. Bu ishni amalga oshirish uchun avval $Q_k^0 \sin \varphi_k$ ning ta'sir chizig'ini quramiz. So'ngra buning ustiga $H \cos \varphi_k$ ning ta'sir chizig'ini teskari ravishda joylaymiz (rasm,b). Shtrixlangan yuza N_k ning ta'sir chizig'i bo'ladi.

Ilgari ko‘rib o‘tganimizdek, N_k ning ta‘sir chizig‘ini ham nol nuqtasi usulida qurish mumkin. Buning uchun avval O_n nuqtasi topib olinadi (rasm,a). Bu nuqta ham ikkita chiziqning kesishuv nuqtasida yotadi: chiziqlardan biri BC kesmasi, ikkinchisi esa K kesimidan o‘tkazilgan urinmaga tik bo‘lgan AO_n chizig‘idir. Topilgan O_n nuqtasini gorizonta o‘qqa proeksiyalab, nol (0) nuqtasini aniqlaymiz (rasm, v) A tayanch ostiga $\sin\phi_k$ kesmasini o‘lchab qo‘yamiz. Kesmaning yuqori uchini nol nuqta bilan birlashtirib, C sharnirining proeksiyasigacha davom ettiramiz. Bu I o‘ng chiziqqa parallel ravishda o‘tkazilgan chizig‘idir.

Nol nuqtasining abssissasi AFO_n va BFO_n uchburchaklari orqali quyidagi formuladan topiladi: $u_n = \frac{fl}{l_2 \text{ctg} \varphi_k - f}$.

26-mavzu. Elastik sistemalardagi ko‘chishlarni aniqlash.

Reja:

1. Tashqi va ichki kuchlarning bajargan ishlari. Bajarilishi mumkin bo'lgan ishlar. Ishlarning va ko'chishlarning o'zaro bog'lanish teoremasi.
2. Ko'chishlarni aniqlashning umumiy formulasi.
3. Ko'chishlarni Vereshagin usuli bilan aniqlash. Ko'chishlarni Simpson formulasi yordamida aniqlash.

Tayanch soʻz va iboralar:

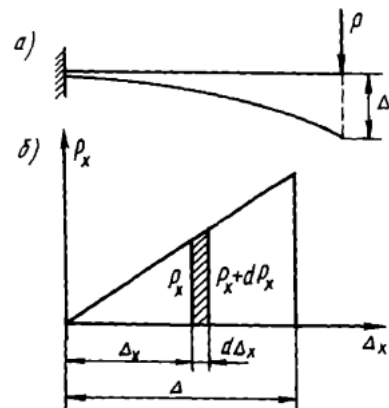
Elastik sistema, koʻchish, koʻchishda bajarilgan ish, birlik koʻchish, ishlarning va koʻchishlarning oʻzaro bogʻlanishi haqidagi teorema, Mor formulasi, Vereshchagin qoidasi.

Statik noaniq sistemalarni hisoblashda muvozanat tenglamalaridan tashqari koʻchishlar tenglamalarini tuzishga va yechishga toʻgʻri keladi. Bunday tenglamalarni tuzish uchun avvalo inshootlarning deformatsiyalarini aniqlashni bilish zarur. Koʻchishlarni aniqlash masalasi faqat statik noaniq sistemalgagina taalluqli boʻlib qolmay, balki statik aniq sistemalarga ham aloqadordir. Statik aniq sistemalardan tashkil topgan qurilish konstruksiyalarining deformatsiyasi meʼyoridan ortib ketmasligi zarur. Bu masala ham koʻchishlar orqali hal etiladi. SHunday qilib, koʻchishlarni aniqlash masalasi qurilish mexanikasining muhim masalalaridan biri hisoblanadi.

Biror nuqtaning koʻchishi deganda, inshootning deformatsiyasi jarayonida uning (nuqtaning) koordinatalarining oʻzgarishi tushuniladi. Koʻchishlarni biz Guk qonuni chegarasida aniqlaymiz, yaʼni koʻchishi aniqlanayotgan kesimning kuchlanishlari proporsionallik chegarasida yotadi, deb faraz etamiz.

Koʻchishlarni aniqlashda kuchlar taʼsirining mustaqilligi qoidasi amal qiladi. Bu qoidaga koʻra bir necha kuchlarning bir yoʻla qoʻyilgandagi natijasi har bir kuchni alohida qoʻyilgandagi natijalar yigʻindisiga teng boʻladi.

Tashqi kuchlar ishi. Koʻchishlarni aniqlashning umumiy usuli tashqi kuchlar ishi nazariyasiga asoslanadi, yaʼni ishlar orqali koʻchishlarni aniqlasa boʻladi. Elastik sistemaga asta-sekin (statik ravishda) qoʻyilgan tashqi kuch R ning bajarilgan ishini aniqlaymiz (rasm, a). Deformatsiyaning kichik miqdorlarida elastik sistemaga kuchlar taʼsirining mustaqilligi qoidasini qoʻllash mumkin,



binobarin, alohida nuqtalarning ko‘chishlari ularni vujudga keltiruvchi kuchlarga to‘g‘ri proporsional bo‘ladi. Guk qonuniga ko‘ra bu bog‘lanish quyidagicha ifodalanadi: $\Delta = \alpha P$. Bu erda Δ — ta’sir etuvchi kuch P yo‘nalishidagi ko‘chish; α -proporsionallik koeffitsienti bo‘lib, inshootning materiali, tarhi va o‘lchamlariga bog‘liq miqdordir.

P kuchining oraliq qiymatini P_x unga mos bo‘lgan ko‘chishni dP_x deb belgilaymiz, (rasm, b) P kuchini cheksiz kichik miqdor dP_x ga orttiramiz. Natijada ko‘chish ham $d\Delta_x$ masofaga ortadi. Bunda tashqi kuch quyidagi elementar ishni bajaradi: $d_A = (P_x + dP_x)d\Delta_x = P_x d\Delta_x$.

Tashqi kuch bajargan to‘liq ish bu ifodani integrallash yo‘li bilan aniqlanadi. $A = \int_0^P P_x d\Delta_x$.

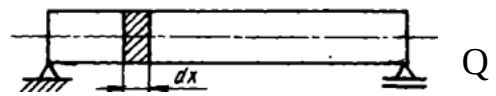
Guk qonuniga binoan $d\Delta_x = \alpha dP_x$ ekanligini hisobga olsak, $A = \int_0^P \alpha P_x dP_x = \frac{\alpha P^2}{2} = \frac{1}{2} P\Delta$ kelib chiqadi.

Demak, tashqi kuchlar (P) bajargan haqiqiy ish kuch bilan shu kuch vujudga keltirgan ko‘chishning ko‘paytmasini yarmiga teng ekan. Bu Klapeyron teoremasi deb ataladi. Agar inshootga bir necha kuchlar $P_1, P_2, \dots, P_n$ qo‘yilgan bo‘lsa, tashqi kuchlar bajargan to‘liq ish quyidagicha bo‘ladi:

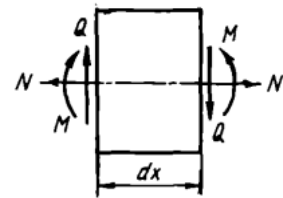
$$A = \frac{1}{2} \sum P_i \Delta_i.$$

Tashqi kuchlarning bu ishi inshootda potensial energiya tarzida to‘planadi. Garchi Klapeyron teoremasi birgina kuch misolida berilgan bo‘lsada, aslida uning qo‘llanish chegarasi juda keng. Tashqi kuch deganda birgina yig‘iq kuch emas, balki turli kuchlar sistemasi tushuniladi. Ko‘chishlar ham faqat chiziqli emas, balki burchakli bo‘lishi ham mumkin. Hulosa qilib aytganda, kuch deganda elastik sistemaga ta’sir etuvchi har qanday kuchlar majmuasi tushuniladi va «umumlashgan kuch» deb ataladi. Bu kuch ta’sirida vujudga kelgan ko‘chish «umumlashgan ko‘chish» deb yuritiladi.

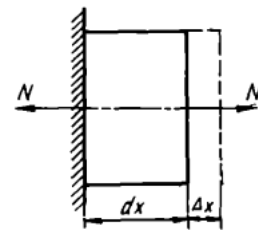
Ichki kuchlar ishi. Ko'chishlarning vujudga kelishida tashqi kuchlar bajargan ishni ichki kuchlar orqali ifoda etsa ham bo'ladi. Ichki kuchlar deganda konstruktsiya elementlarida vujudga keladigan eguvchi moment M , ko'ndalang kuch va bo'ylama kuch N tushuniladi.



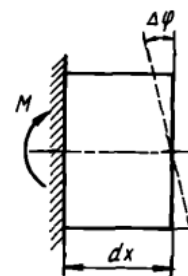
Balkadan (rasm) cheksiz kichik dx elementini ajratib olamiz (rasm). Ajratilgan elementga M , Q va N kuchlari ta'sir etadi. Bu butun sterjenga nisbatan ichki kuch, ajratilgan elementga nisbatan esa gashqi kuch deb qaraladi. Bularning xar birini dx elementiga bo'lgan ta'sirini



kuchlar



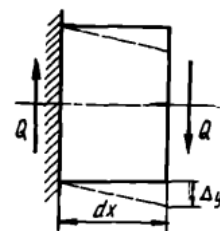
alohida ravish



da ko'rib o'tami z.

Eng avval ajratilgan elementga bo'ylama kuch N ta'siri bilan tanishamiz (rasm). Elementning chap tomondagi kesimi qo'zg'almas deb faraz etsak, bo'ylama kuch ta'sirida elementning o'ng tomondagi kesimi $\Delta x = N dx \cdot EF$ masofaga ko'chadi. Bu erda EF - sterjen ko'ndalang kesimining siqilishi yoki cho'zilishdagi bikirligidir.

$\Delta\varphi$ burchakli ko'chishning vujudga kelishida asta boruvchi eguvchi moment quyidagi miqdorda ish bajaradi (rasm): $dA_M = \frac{1}{2} M \Delta\varphi = M \frac{M dx}{2EI}$



ortib

Nihoyat ajratilgan elementga ko'ndalang kuch Q ning ta'sirini ko'rib o'tamiz (rasm). Agar elementning chap kesimini mahkamlangan deb qarasak, ko'ndalang kuch ta'sirida uning o'ng tomondagi kesimi $\Delta y = \eta Q dx / GF$ masofaga siljiydi. Bu erda GF - kesimning siljishdagi bikirligi. Δy siljishning vujudga kelishida asta ortib boruvchi ko'ndalang kuch quyidagi miqdorda ish bajaradi:

$$dA_Q = \frac{1}{2} Q \Delta y = Q \frac{Q dx}{2GF} \eta$$

Bu erda η - sterjenning ko'ndalang kesimi shakliga bog'liq koeffitsient bo'lib,

quyidagi formuladan topiladi: $\eta = \frac{F}{I^2} \int \frac{S^2}{b^2} dF$

To'g'ri to'rtburchakli kesim uchun $\eta=1,2$. Aylana uchun $\eta=10/9$.

Ajratilgan dx elementga uchala kuch (N , M , Q) bir vaqtning o'zida ta'sir etsa, to'liq ish quyidagicha topiladi:

$$dA = dA_N + dA_M + dA_Q = \frac{1}{2} \left(N \frac{N dx}{EF} + M \frac{M dx}{EI} + Q \frac{Q dx}{GF} \eta \right)$$

Sterjenlarning barcha uchastkalari bo'yicha bajarilgan to'liq ishni aniqlash uchun yuqoridagi ifodani integrallaymiz:

$$A = \frac{1}{2} \left(\sum \int_0^l M \frac{M dx}{EI} + \sum \int_0^l N \frac{N dx}{EF} + \sum \int_0^l Q \frac{Q dx}{GF} \eta \right)$$

yoki

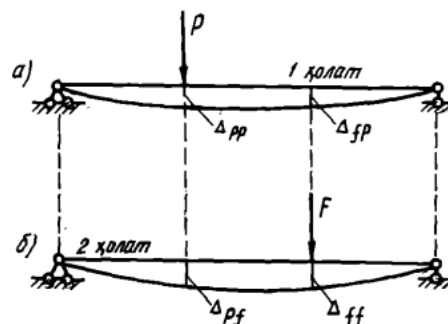
$$A = \sum \int_0^l \frac{M^2 dx}{2EI} + \sum \int_0^l \frac{N^2 dx}{2EF} + \sum \int_0^l \frac{Q^2 dx}{2GF} \eta$$

SHunday qilib, ko'chishlarning vujudga kelishida tashqi kuchlar bajargan ishni ichki kuchlar orqali ifoda etdik.

Elastik sistemalarda tashqi kuchlar bajargan ish deformatsiyaning potensial energiyasi sifatida to'planadi. Har qanday elastik jism tashqi kuchlar vujudga keltirgan energiyani o'zida jamlash xususiyatiga ega. Jismni yukdan bo'shatish jarayonida potensial energiya ish bajaradi. Mana shu ishni jismdagi ichki kuchlar (M , Q , N) bajaradi. Energiyaning saqlanish qonuniga binoan tashqi kuchlar bajargan ish sistema deformatsiyasining potensial energiyasiga (demak, ichki kuchlar bajargan ishga) teng bo'ladi.

Ishlar va ko'chishlarning o'zaro bog'lanishi haqidagi teoremlar

Ikki xil kuch ta'sirida muvozanatda bo'lgan elastik sistemaning ikki xolatini ko'rib o'tamiz. Birinchi holatda sistemaga P



kuchi, ikkinchi holatda F kuchi ta'sir etadi deylik (rasm).

Sistemaning ko'chishlarini Δ_{pf} tarzida belgilaymiz. Bunda birinchi indeks ko'chayotgan nuqta va uning yo'nalishini, ikkinchi indeks esa ko'chishni vujudga keltirayotgan sababni anglatadi. O'qilishi bunday: P kuchi qo'yilgan nuqtaning shu kuch (ya'ni P kuchi) yo'nalishida F kuchi ta'sirida vujudga kelgan ko'chish.

Δ_{pp} - P kuchi yo'nalishida shu kuch ta'sirida vujudga kelgan ko'chish deylik. Bu ko'chishning vujudga kelishida P kuchi bajargan ish A_{pp} bo'lsin. Xuddi shuningdek, Δ_{ff} ko'chishning vujudga kelishida F kuchi bajargan ishni A_{ff} deb belgilaylik. Agar xar ikkala kuch balkaga statik ta'sir etsa, bu kuchlar bajargan ish quyidagi formuladan topiladi: $A_{pp} = \frac{1}{2} P \Delta_{pp}$ va $A_{ff} = \frac{1}{2} F \Delta_{ff}$.

Agar har ikkala ishni ichki kuchlar orqali ifodalasak

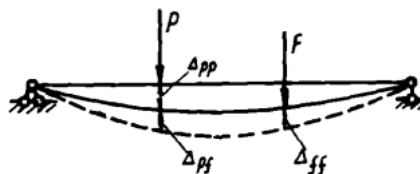
$$A_{pp} = \sum \int_0^l \frac{M_p^2 dx}{2EI} + \sum \int_0^l \frac{N_p^2 dx}{2EF} + \sum \int_0^l \frac{Q_p^2 dx}{2GF} \eta$$

$$A_{ff} = \sum \int_0^l \frac{M_f^2 dx}{2EI} + \sum \int_0^l \frac{N_f^2 dx}{2EF} + \sum \int_0^l \frac{Q_f^2 dx}{2GF} \eta$$

kelib chiqadi.

Endi o'sha (rasm) sistemaga P va F kuchlarining oldinma-keyin qo'yilish jarayonini ko'rib o'taylik.

Avval sistemaga statik ortib boruvchi P kuchi qo'yiladi, deylik (rasm). P kuchi uzining tugal qiymatiga erishganda, sistemada rasm, a-da ko'rsatilgandek vaziyat vujudga



keladi, ya'ni P kuchi ostida Δ_{pp} ko'chish hosil bo'ladi. Bu ko'chishning vujudga kelishida P kuchi $A_{pp} = P \Delta_{pp} / 2$ ga teng bo'lgan ish bajaradi. Shundan so'ng solqi sistemaga F kuchi qo'yiladi. Bu kuch ta'sirida sistema solqilanishda davom etib, rasm, b — da ko'rsatilgan vaziyat vujudga keladi. Bunda P kuchi ostida Δ_{pf} ga teng bo'lgan qo'shimcha solqilik hosil bo'ladi. F kuchining qiymati noldan o'zining tugal qiymatiga qadar ortib borganda, P kuchining qiymati

o'zgarimasdan, $A_{pf}=P\Delta_{pf}$ ga teng bo'lgan qo'shimcha ish bajaradi. F kuchining o'zi esa $A_{ff}=F\Delta_{ff}/2$ miqdorida ish bajaradi. Shunday qilib, sistemaga ketma-ket ravishda P va F kuchlari qo'yilsa, ularning bajargan to'liq ishi

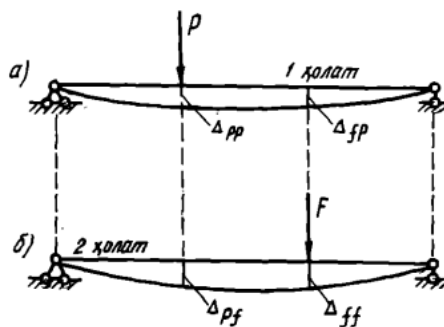
$$A = A_{pp} + A_{pf} + A_{ff} = \frac{1}{2}P\Delta_{pp} + P\Delta_{pf} + \frac{1}{2}F\Delta_{ff} \text{ ga teng bo'ladi.}$$

Agar kuchlarning qo'yilish tartibini o'zgartirsak, ya'ni avval F va so'ngra P kuchlarini qo'ysak, u holda to'liq ish quyidagi ko'rinishda ifodalanadi:

$$A = \frac{1}{2}F\Delta_{ff} + P\Delta_{fp} + \frac{1}{2}P\Delta_{pp}$$

Biroq kuchlarning qo'yilish tartibi o'zgarishi bilan bajarilgan to'liq ishning miqdori o'zgarmaydi., Shunga ko'ra yuqoridagi ifodalarni tenglashtirib, quyidagi xulosaga ega bo'lamiz: $P\Delta_{pf} = F\Delta_{fp}$.

Bu erda $P\Delta_{pf}$ birinchi holatdagi P kuchining shu yo'nalishda, ikkinchi holatdagi F kuchidan hosil bo'lgan ko'chishning vujudga kelishida bajargan ishidir. $F\Delta_{fp}$ esa ikkinchi holatdagi F kuchining shu kuch yo'nalishida, birinchi holatdagi P kuchi ta'sirida hosil bo'lgan ko'chishning vujudga kelishida bajargan ishidir (rasm).



Shunday qilib, birinchi holatdagi kuchlarning shu kuchlar yo'nalishida ikkinchi holat kuchlari ta'sirida hosil bo'lgan ko'chishlarning vujudga kelishida bajargan ishi ikkinchi holatdagi kuchlarning shu kuchlar yo'nalishida birinchi holat kuchlari ta'sirida hosil bo'lgan ko'chishlarning vujudga kelishida bajargan ishiga tengdir.

Bu xulosa ishlarning o'zaro bog'lanishi haqidagi teorema yoki uning muallifi Italiya olimi Enriko Betti (1823— 1892) teoremasi nomi bilan mashhurdir.

Endi ko'chishlarning o'zaro bog'lanishi haqidagi teorema bilan tanishib chiqamiz.

Buning uchun yana balkaning ikki holatini ko'rib o'tamiz. Birinchi holatda balkaga $P=1$ kuchi, ikkinchi holatda esa $F=1$ kuchi qo'yilgan (rasm).

Balkaga qo'yilgan kuchlarning qiymati birga bo'lganligi sababli balkaning holatini birlik holat deb aytamiz.

Birlik kuch ta'sirida hosil bo'lgan ko'chishlar xarfi bilan, birdan farqli kuchlardan hosil bo'lgan ko'chishlar esa Δ xarfi bilan belgilanadi. Shunga binoan birinchi holatdagi ko'chishni δ_{fp} , ikkinchi holatdagi ko'chishni esa δ_{pf} tarzida belgiladik. Har ikkalasi ham birlik kuchlardan hosil bo'lgan birlik ko'chishlardir.

Bu ikki holat uchun Betti teoremasi quyidagicha yoziladi: $P\delta_{pf} = F\delta_{fp}$.

Agar $P=F=1$ ekanligini e'tiborga olsak, $\delta_{pf} = \delta_{fp}$ kelib chiqadi. Bu tenglik ko'chishlarning o'zaro bog'lanishi haqidagi teorema yoki Maksvell teoremasi deb ataladi.

Mazkur tenglik $P=F \neq 1$ bo'lganda ham o'z kuchini saqlaydi va quyidagicha ifodalanadi: $\Delta_{pf} = \Delta_{fp}$.

Ko'chishlarni aniqlash uchun Mor formulasi ba Vereshchagin usuli

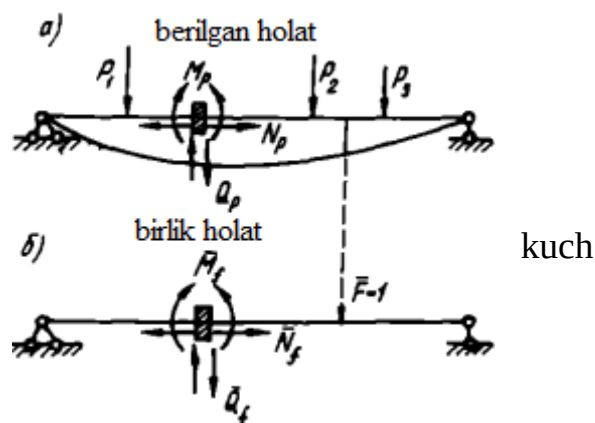
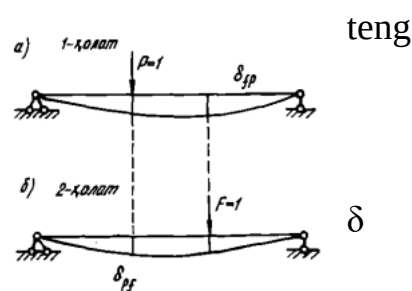
Ko'chishlarni aniqlaydigan formulani keltirib chiqarishda bevosita ishlar uchun chiqarilgan formulalardan foydalanamiz.

Biror elastik sistemaning, masalan, balkaning ikki holatini ko'rib chiqamiz.

Birinchi, ya'ni berilgan holatda balkaga istalgancha kuchlar qo'yilishi mumkin (rasm, a). Ikkinchi holatda balkaga birlik $F=1$ qo'yiladi (rasm, b).

Berilgan kuchlar ta'sirida hosil bo'lgan Δ_{fp} ko'chishning vujudga kelishida ikkinchi holatdagi $F=1$ kuchi quyidagi ishni bajaradi:

$$A_{fp} = \bar{F}\Delta_{fp} = 1 \cdot \Delta_{fp} = \Delta_{fp}.$$



A_{fp} ni ichki kuchlar orqali ifoda etsak,

$$\Delta_{fp} = A_{fp} = \sum \int_0^l \bar{M}_f \frac{M_p dx}{EI} + \sum \int_0^l \bar{N}_f \frac{N_p dx}{EF} + \sum \int_0^l \bar{Q}_f \frac{Q_p dx}{GF} \eta)$$

ko‘rinishdagi ko‘chishlarni aniqlash formulasiga, ya’ni Mor formulasiga ega bo‘lamiz.

Bu erda M_p , N_p va Q_p — berilgan kuchlardan hosil bo‘lgan, $\bar{M}_f, \bar{N}_f, \bar{Q}_f$ — birlik kuchdan hosil bo‘lgan ichki kuchlardir.

Birlik kuch odatda ko‘chishi aniqlanayotgan nuqtaga qo‘yiladi. Agar chiziqli ko‘chish (masalan, biror nuqtaning solqiligi) aniqlanadigan bo‘lsa, birlik kuch sifatida o‘lchamsiz yig‘iq kuch qabul qilinadi, agar burchakli ko‘chish (masalan, biror kesimning og‘ish burchagi) aniqlanadigan bo‘lsa, birlik kuch sifatida o‘lchamsiz yig‘iq moment qabul qilinadi. Har ikkala holda ham birlik kuch ko‘chish izlanayotgan nuqtaga qo‘yiladi.

Balka va ramalarning ko‘chishlarni aniqlashda bo‘ylama va ko‘ndalang kuchlar ta’sirini e’tiborga olmasa ham bo‘ladi: $\Delta_{fp} = \sum \int_0^l \bar{M}_f \frac{M_p dx}{EI}$

Oddiy arkalarining ko‘chishlarini aniqlashda eguvchi moment bilan bo‘ylama kuchning ta’siri e’tiborga olinsa kifoya $\Delta_{fp} = \sum \int_0^l \bar{M}_f \frac{M_p dx}{EI} + \sum \int_0^l \bar{N}_f \frac{N_p dx}{EF}$

Fermalarning ko‘chishlarini aniqlashda bo‘ylama kuchlarning ta’siri e’tiborga olinadi, xolos $\Delta_{fp} = \sum \int_0^l \bar{N}_f \frac{N_p dx}{EF}$.

Vereshchagin usuli. Ma’lumki, balka va ramalarning ko‘chishlarini aniqlashda Mor formulasining birinchi hadidan foydalaniladi:

$$\Delta_{fp} = \sum \int_0^l \bar{M}_f \frac{M_p dx}{EI}.$$

Integral chegarasida kesim o‘zgarmas bo‘lsa, egilishdagi bikiqlikni integraldan tashqariga chiqarish mumkin:

$$\Delta_{fp} = \frac{1}{EI} \int_0^l \bar{M}_f M_p dx.$$

Bu erda M_p va $\bar{M}_f$ — berilgan va birlik kuchlardan hosil bo'lgan eguvchi momentlar (rasm). Ko'pincha ikki epyuraning biri to'g'ri chiziqli bo'ladi.

Bunday hollarda

$\int_0^l \bar{M}_f M_p dx$ integrali

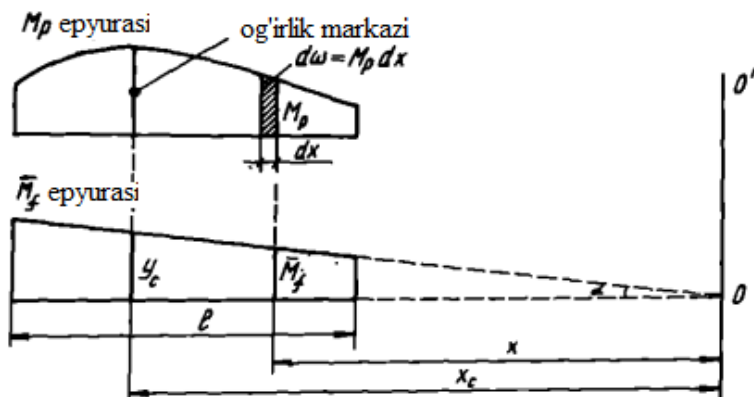
osongina echiladi;

aniqrog'i mazkur

integralni integralsiz ifoda

bilan almashtirish imkoni

tug'iladi.



Shakldan (rasm):

$\bar{M}_f = x \tan \alpha$ va $d\omega = M_p dx$ ekanligini hisobga olsak,

$$\int_0^l \bar{M}_f M_p dx = \tan \alpha \int_0^l x M_p dx = \tan \alpha \int_0^l x d\omega$$

kelib chiqadi.

I

Bu erda $\int_0^l x d\omega$ integrali M_p epyurasining yuzasi ω_p dan 0 — 0' o'qiga nisbatan

olingan statik momentdir, ya'ni $\int_0^l x d\omega = \omega_p \cdot x_c$.

O'rniga qo'yamiz $\int_0^l \bar{M}_f M_p dx = x_c \tan \alpha \cdot \omega_p$, biroq $x_c \tan \alpha = y_c$ ekanligini nazarda tutsak,

$$\int_0^l \bar{M}_f M_p dx = \omega_p y_c$$

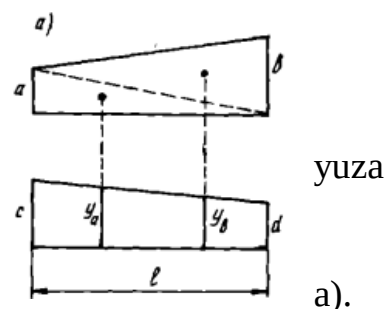
kelib chiqadi, natijada integral funksiya integralsiz ifoda bilan almashadi. Buni ko'chishni aniqlash formulasiga qo'ysak, quyidagi formula kelib chiqadi:

$$\Delta_{fp} = \frac{1}{EI} \sum \omega_p y_c$$

Bu erda ω_p — eguvchi momentlar epyurasining yuzasi; y_c — birinchi epyuraning og'irlik markaziga mos kelgan ikkinchi epyuradagi ordinata.

Ko'chishlarni aniqlashning bu usulini 1925 yilda Moskva temiryo'llar transporti muhandislari institutining tolibi A. N. Vereshchagin taklif etgan. Budan ko'rinadiki, har ikkala epyura o'qning bir tomonida joylashsa, ko'chishning ishorasi musbat, o'qning turli tomonlarida joylashsa, ishora manfiy bo'ladi. Shuni ham qayd etish lozimki, y_c ordinatasi albatta to'g'ri chiziqli epyuradan olinishi zarur. Agar har ikkala epyura to'g'ri chiziqli bo'lsa, u holda ordinatani qaysi epyuradan olinishining farqi yo'q.

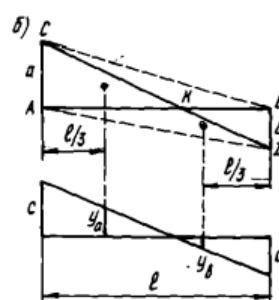
Trapetsiya shaklli ikki epyura ko'paytiriladigan bo'lsa, ulardan birining og'irlik markazini topish o'rniga trapetsiyalardan birini ikkita uchburchakka ajratgan qulay. Bunda ajratilgan uchburchaklardan olinib, trapetsiyadan shu uchburchaklarning og'irlik markazlariga mos bo'lgan ordinatalar olinadi (rasm,



Bu hol uchun tayyor formula bor: $\frac{al}{2} y_c + \frac{bl}{2} y_b = \frac{l}{6} (2ac + 2bd + ad + bc)$.

Qavs ichida quyidagi miqdorlarning yig'indisi berilgan: epyuralar chap ordinatalari ko'paytmasining ikkilangani, o'ng ordinatalar ko'paytmasining ikkilangani, birinchi epyura chap ordinatasini ikkinchi epyura o'ng ordinatasiga ko'paytmasi, shuningdek birinchi epyura o'ng ordinatasini ikkinchi epyura chap ordinatasiga ko'paytmasi.

Ko'paytiriladigan epyuralardan biri yoki har ikkalasi turli ishorali uchburchaklardan tashkil topsa, yana yuqoridagi usuldan foydalanilsa bo'ladi (rasm,b). Buning uchun epyuralardan birini ABC va ABD uchburchaklariga to'ldiramiz. Hosil bo'lgan CBK va AKD uchburchaklarining ordinatalari teng va ishoralari qarama-qarshi bo'lganligi uchun hisob natijalariga ta'sir etmaydi.

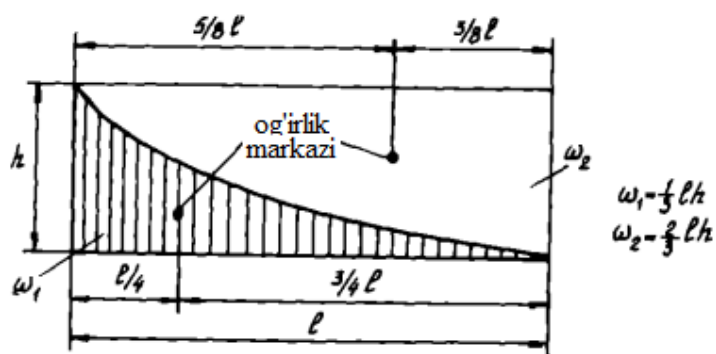


Epyuralar ko'paytmasi (rasm, b) quyidagi formuladan topiladi:

$$\frac{al}{2} y_a + (-\frac{bl}{2})(-y_b) = \frac{al}{2} y_a + \frac{bl}{2} y_b$$

Ko'chishlarni

Vereshchagin usulida aniqlaganda, turli shakllarning yuzalari va og'irlik markazlarini topishga to'g'ri keladi.



Oddiy geometrik shakllarning yuza va og'irlik markazlarini aniqlash ma'lum. Rasmda parabolik epyuraning yuzasi va og'irlik markazlari berilgan.

Vereshchagin usulini bikirligi o'zgarmas bo'lgan balka va ramalarda qo'llash maqsadga muvofiqdir. Agar bikirlik elementning uzunligi bo'ylab o'zgaruvchan bo'lsa, u holda EI ni integraldan tashqariga chiqarib bo'lmaydi, shu sababli Vereshchagin formulasidan foydalanib bo'lmaydi. Bunday hollarda ko'chishlar Mor integralini bevosita yechish yo'li bilan aniqlanadi.

27-mavzu. Statik noaniq sistemalar va ularning xususiyatlari. Statik noaniq ramalarni kuchlar usulida hisoblash.

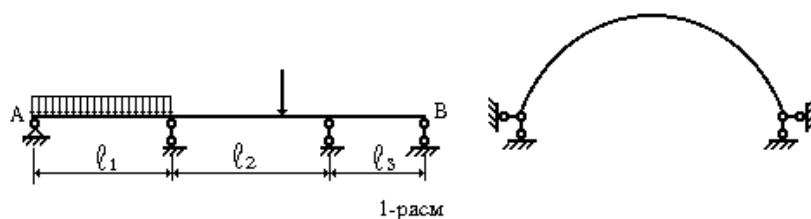
Reja:

1. Statik noaniq sistemalar va ularning hususiyatlari.
2. Kuch usulining mohiyati.
3. Ramalarni kuch usulida hisoblash. Kuch usulining kanonik tenglamalari. Kanonik tenglama koeffitsientlari va ozod hadlarini aniqlash.
4. Natijaviy eguvchi moment epyurasini chizish. Ko'ndalang Q va bo'ylama kuch N epyuralarini chizish. Epyuralarning to'g'riligini tekshirish.

Tayanch so'z va iboralar:

Statik noaniq sistemalar, statik aniqmaslik darajasi, asosiy sistema, kuch usuli, kanonik tenglama, birlik epyura, birlik ko'chish, noma'lum kuch, ichki kuchlar epyuralari.

Qurilish praktikasida statik aniq sistemalar bilan bir qatorda statik aniqmas konstruksiya va inshootlar ko'p uchraydi. Masalan: uch prolyotli balka yoki ikki sharnirli arka va h.k.



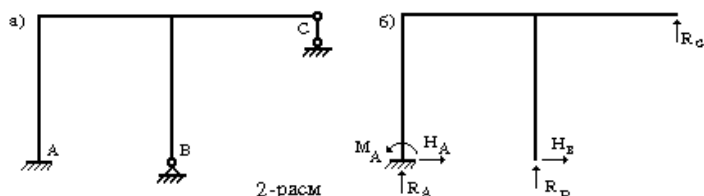
Bu tayanch bog'lovchilaridagi reaksiya kuchlarini yoki ularning zo'riqishlarini statikaning

muvozanant tenglamalari orqali aniqlash yetarli emas, shu sababli bunday sistemalarni statik aniqmas konstruksiyalar qatoriga kiritiladi. Chunki ularda ortiqcha bog'lanishlar mavjud bo'lib, har bir bog'lanishda noma'lum reaksiya kuchlari vujudga keladi. Noma'lumlarni aniqlash uchun noma'lumlar sonini tenglamalar soniga tenglashtirish uchun qo'shimcha tenglamalar tuzish talab etiladi.

Demak, elementlardagi tashqi kuchlardan hosil bo'ladigan zo'riqish va reaksiya kuchlarini faqatgina statikaning muvozanat tenglamalari yordamida aniqlab bo'lmaydigan sistemalarni **statik aniqmas sterjenli sistemalar** deyiladi.

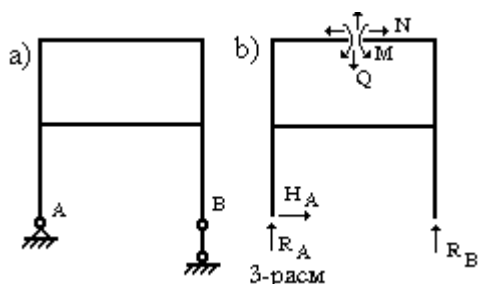
Bog'lanish deganda nuqtalar va kesimlarning o'zaro qo'zg'alishiga qarshilik ko'rsatuvchi har qanday to'siq tushuniladi. «**Ortiqcha**» bog'lanish atamasi bog'lanishlarning “keraksizligini” emas, balki “keragidan ortiqcha” ekanligini anglatadi. Agar statik aniqmas sistemadagi ortiqcha bog'lanishlar tashlab yuborilsa, u holda statik aniq, geometrik o'zgarmas sistema hosil bo'ladi.

Demak, ortiqcha bog'lanishlar soni sistemaning **statik aniqmaslik darajasi** deb ataladi.



Statik aniqmas sistemalarni shartli ravishda tashqi va ichki statik aniqmas sistemalarga ajratiladi. **Masalan:**

Berilgan aniqmas ramada oltita noma'lum tayanch reaksiya kuchlari ko'rsatilgan. Shulardan uchtasini statikaning muvozanat tenglamalaridan topilsa,



qolgan uchasi statika uchun “ortiqcha” bo’lib qoladi. Ramaning B va C tayanchlarini ortiqcha bog’lanish deb qabul qilib tashlab yuborilishi ramaning geometrik o’zgarmasligiga putur yetkazmaydi. Aksincha statik aniq sistema hosil bo’ladi. Ortiqcha bog’lanishlar o’rniga reaksiya kuchlar (H_B , R_B , R_C) ni qo’yamiz. Bu noma’lum reaksiya kuchlarni aniqlash uchun qo’shimcha tenglamalar tuzish taqozo etiladi. Xullas bu ramaning statik aniqmasligi tashqaridan ko’zga tashlanib turibdi. Xulosa qilib aytganda **tashqi statik aniqmas** sistemalarda, noma’lumlarni **tayanch reaksiya kuchlari** deb qabul qilinadi.

3-rasmdan ko’rinib turibdiki, ramaning statik aniqmasligi ko’zga yaqqol tashlanmaydi (3-rasm a.). Bir qarashda statik aniq ramaday tuyuladi. Aslida bu rama tashqi statik aniq, ichki statik aniqmas ramadir.

Geometrik o’zgarmas, statik aniq sistema hosil qilish uchun berilgan ramaning biror yeridan qirqamiz. Qirqimga tushgan kesimning qo’zg’almasligini ta’minlash uchun shu kesimda hosil bo’ladigan ichki kuchlarni tashqi reaksiya kuchlarini chizamiz. (3-rasm b) Noma’lum tayanch reaksiyalari (H_A , R_A , R_B) statika tenglamalaridan topilsa, noma’lum ichki kuchlarni qo’shimcha tenglamalardan topiladi. Xulosa qilib aytganda **ichki statik aniqmas** sistemalarda, noma’lumlarni **elementlarni o’zida yoki ichki zo’riqishlar** deb qabul qilinadi.

Statik aniqmas sistemalar haqida to’la ma’lumotga ega bo’lish uchun qanday **xossalarga** ega ekanligini bilish zarur. Yani:

1. Statik aniqmas sistemalar tarkibida ortiqcha bog’lanishlarning mavjudligi tufayli o’ziga mos statik aniq sistemaga nisbatan bikrligi yuqoriroq bo’ladi.
2. Statik aniqmas sistemalar o’ziga mos statik aniq sistemalarga nisbatan tejamliroq bo’ladi.
3. Statik aniqmas sistemalardan biror ortiqcha bog’lanishning shikastlanishi inshootning butunlay ishdan chiqishiga olib kelmaydi. Statik aniq sistemalarda birorta bog’lanish buzilsa, inshoot butunlay ishdan chiqaradi.
4. Statik aniqmas sistemalarda haroratning o’zgarishi va tayanchlarning cho’kish natijasida qo’shimcha zo’riqishlar paydo bo’ladi. Sistema

elementlarining uzunligidagi farqlari, elementlarni yig'ishda yo'l qo'lgan ba'zi aniqmasliklar ham sistemada qo'shimcha zo'riqlashlarni hosil qiladi.

5. Statik aniqmas sistema elementlarida boshlang'ich zo'riqlash kuchlari bo'lishi mumkin. Statik aniq sistemalarda esa bu zo'riqlashlar nolga teng bo'ladi.
6. Statik aniqmas sistemalarni hisoblashdan oldin, ularning elementlarining uzunliklari va ko'ndalang kesimining shakli belgilangan bo'lishi kerak. Agar bu o'lchamlar elementning mustahkamlik shartlarini qanoatlantirmasa, u holda elementlar ko'ndalang kesimlarining yangi o'lchamlarini belgilab, konstruktsiya qaytadan hisoblashga to'g'ri keladi.

Statik aniqmas sistemalarni xossalari bilan tanishganimizdan so'ng ularni hisoblash usullarini ko'rib chiqamiz.

1. **Kuchlar usuli.** Bu usulda sistemaning ortiqcha bog'lovchilarida hosil bo'ladigan zo'riqlash noma'lum zo'riqlashlar deb qabul qilinadi.
2. **Ko'chishlar usuli.** Bu usulda statik aniqmas sistema tugunlarining chiziqli va burchakli ko'chishlari noma'lum deb qabul qilinadi.
3. **Aralash usul.** Aralash usulda sistemaning bir qismida ortiqcha bog'lovchilarning zo'riqlash kuchlari, qolgan qismida esa sistema tugunlarining ko'chishlari noma'lum deb qabul qilinadi. Demak, ramaning bir qismi uchun kuchlar usuli, ikkinchi qismi uchun esa ko'chishlar usuli tatbiq qilinadi.
4. **Ketma-ket muvozanatlash usuli.** Bu usul ko'chishlar usulining takamillashtirilgan ko'rinishidir. Statik aniqmas sistemalarni hisoblashda elektron hisoblash mashinalaridan foydalanish uchun yuqoridagi usullarni matritsa formasida ifodalash kerak.

Statik aniqmas sistemalarni hisoblashni kuchlar usulidan boshlaymiz. Bu usul qadimiy va puxta ishlangan usullardan biri bo'lib, qamrovining kengligi, o'zlashuvining osonligi bilan boshqa usullardan ajralib turadi.

Statik noaniq sistemalar hisobining asosiy usuli yoki barcha usullarga asos yaratuvchisi kuch usulidir.

Kuch usulida statik noaniqlikni yo'qotish jarayonida aniqlanishi kerak bo'lgan noma'lumlar sifatida sistemaga qo'yilgan bog'lanishlar ta'siridan hosil bo'luvchi tayanch reaksiya kuchlari va ichki kuchlar olinadi. Yuqorida ta'kidlanganidek, ushbu kuchlarning statika tenglamalari sonidan ortig'i soni sistemaning noaniqlik darajasini belgilaydi. Statik noaniqlik darajasini aniqlash uchun bir qator ifodalar mavjuddir.

Hisob qilinayotgan statik noaniq sistemani berilgan sistema deb atashga kelishib olamiz. kuch yo'nalishi tashlab yuborilgan bog'lanish reaksiya kuchi bilan almashtirildi. Hosil qilingan bog'lanishlarni tashlab yuborib, tashlangan bog'lanishlar yo'nalishi bilan mos keluvchi noma'lum kuchlar qo'yilgan sistema asosiy sistema (A.S) deyiladi. Asosiy sistemani tuzishda tashlab yuborilayotgan bog'lanishlar soni sistema noaniqlik darajasiga teng bo'ladi.

Asosiy sistemaga qo'yiladigan talablar bu – statik aniqlik va geometrik shakl o'zgartirmaslikdir, ammo ba'zi hollarda bu shart bajarilmasligi mumkin. Har bir sistema uchun odatda xoxlagancha asosiy sistema tuzish mumkin. Hisoblashlar uchun olinadigan A.S ni tanlash masala shartlariga va loyihachi mahoratiga bog'liq. Tuzilayotgan qo'shimcha tenglamalardagi ko'chishlar chiziqli yoki burchakli ekanligidan qat'iy nazar Δ (delta) orqali belgilanadi. Har bir ko'chish, ko'chishi aniqlanayotgan nuqtani, ko'chish yo'nalishini, ko'chishni hosil qiluvchi kuch yoki yukni bildiruvchi 2 ta indeksiga ega bo'lishi kerak.

Kuch usuli bilan statik noaniq sistemalar hisobi quyidagi tartibda amalga oshiriladi:

1. Statik noaniqlik darajasi aniqlanadi.
2. Bir nechta variantda asosiy sistema tuzilib, ular ichidan hisob uchun bittasi tanlanadi.
3. Kanonik tenglamalar sistemasi tuziladi.
4. Asosiy sistemani birlik noma'lum kuchlar va tashqi yuk bilan yuklab, asosiy sistemadagi ichki kuchlar epyuralari quriladi: birlik kuchlarda – birlik kuch epyuralari, tashqi yukdan – yuk epyuralari.
5. Mor-Vereshchagin usuli bilan epyuralarni ko'paytirib kanonik tenglamalar sistemasiga kiruvchi ko'chishlar topiladi.
6. Kanonik tenglamalar sistemasini yechib $X_1, X_2, \dots, X_n$ noma'lumlar oldidagi koeffitsientlar aniqlanadi. Ular kuch metodining kanonik tenglamasiga qo'yib $X_1, X_2, \dots, X_n$ noma'lumlar aniqlanadi.
7. To'la yuklanishdagi asosiy sistema tuzilib, berilgan sistema uchun ichki kuchlar epyuralari quriladi.
8. Olingan natijalar tahlil qilinib, to'g'risi olinadi.

Statik aniqmaslik darajasini aniqlash. Kuchlar usulining harakterli xossaligidan biri, statik aniqmas sistemani aniqmaslik darajasini aniqlashdir. Statik aniqmaslik darajasi qancha kam bo'lsa, uni hisoblash shuncha oson bo'ladi.

Statik aniqmas sistemani ortiqcha bog'lavchilar soni n – quyidagicha aniqlanadi:

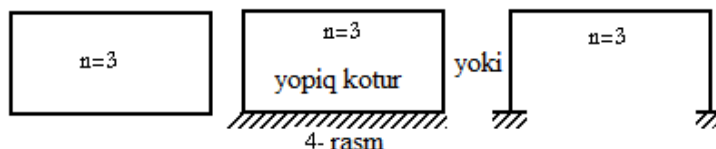
$$n = C_T + 2III + 3D, \quad (1)$$

bunda C_T – tayanch reaksiya kuchining soni, III – oddiy sharnirlar soni, D – statik aniq disklar soni.

Statik aniqlasmas sistemalarni aniqlasmaslik darajasini belgilash uchun quyidagi mulohazalarga asoslanib, uning yangi ifodasini olamiz.

Statik aniqlasmas sistemalarni aniqlasmaslik darajasini belgilash uchun quyidagi mulohazalarga asoslanib, uning yangi ifodasini olamiz.

1. To'g'ri to'rtburchakli yopiq konturli rama uchun:



Berilgan yopiq konturli ramaning aniqlasmaslik darajasi uchga teng (4-rasm). Yani;

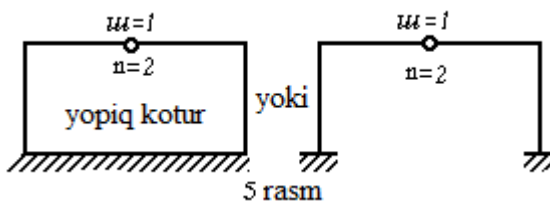
$$n = 3K = 3 \cdot 1 = 3 \quad (2)$$

bunda K - yopiq kontur soni.

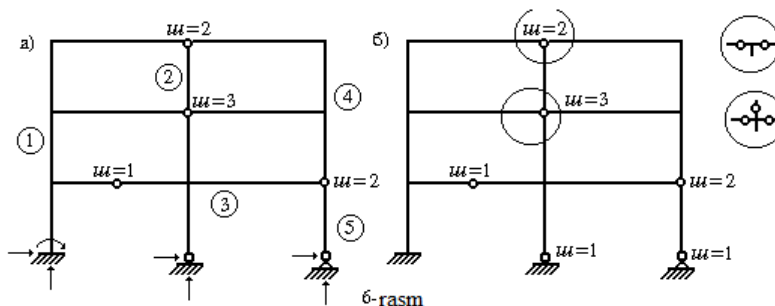
2. Agar yopiq konturli elementlaridan biriga sharnir kiritilsa, u holda ramaning statik aniqlasmaslik darajasi bittaga kamaytiriladi. Demak, xulosa qilib aytganda konturli ramalarning statik aniqlasmaslik darajasi n – quyidagicha aniqlanadi:

$$n = 3K + III \quad (3)$$

bunda K -yopiq konturlar soni, III - oddiy sharnirlar soni.



Masalan, berilgan ramaning statik aniqlasmaslik darajasini (1) va (3) formulalarga asosan aniqlasak, (1) formulaga asosan tayanch reaksiya kuchlarini soni $C_T=7$, oddiy sharnirlar soni $III=7$, disklar soni $D=5$, u holda $n = C_T + 2III + 3D = 7 + 2 \cdot 7 + 3 \cdot 5 = 28$ bo'ladi. (6-rasm a). (3) formulga asosan, berilgan ramaning statik aniqlasmaslik darajasini aniqlaymiz. Ramada yopiq konturlar soni $K=6$, oddiy sharnirlar soni $III=10$, u holda $n = 3K - III = 3 \cdot 6 - 10 = 8$ (6-rasm b). Demak, berilgan rama sakkiz marta statik aniqlasdir.



Kuchlar usulining asosiy sistemasini tanlash. Har qanday statik aniqlasmas sistemaning hisobi uning aniqlasmaslik darajasini aniqlashdan boshlanadi. SHundan so'ng **asosiy sistema** tanlanadi. Berilgan sistemaning asosiy sistemalari bir nechta bo'lishi mumkin. Hisoblash uchun shularning ichidan eng qulayi tanlab olinadi. Keyingi hisoblar ana shu tanlangan sistema ustida olib boriladi.

Xo'sh, asosiy sistemaning o'zi nima va u qanday hosil qilinadi?

Asosiy sistema statik aniq va geometrik o'zgarmas bo'lib, u berilgan sistemadagi ortiqcha bog'lanishlarni tashlab yuborish yo'li bilan hosil qilinadi.

Asosiy sistemani hosil qilishning uch xil yo'li bor.

a) ortiqcha deb qabul qilingan tayanchlar yoki tayanch reaksiya kuchlaridan birini tashlab yuborish orqali;

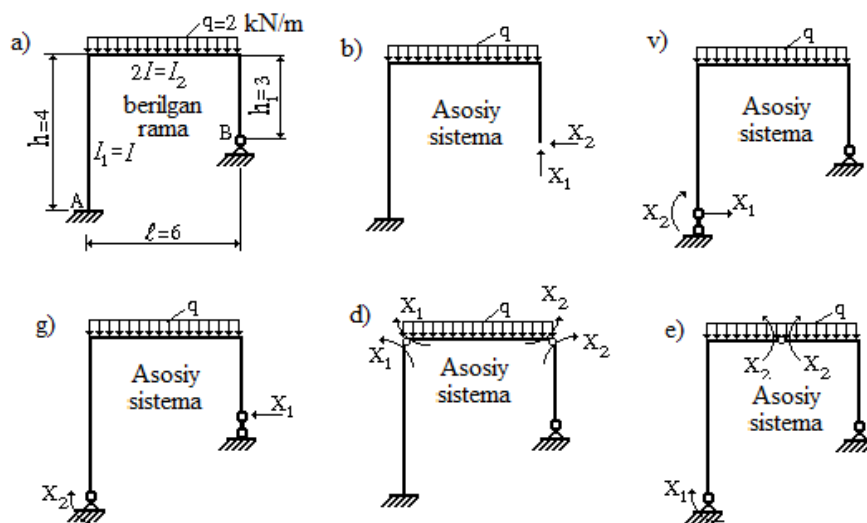
b) berilgan sistemaga sharnirlar kiritish yo'li bilan;

v) berilgan sistemani biror element kesmini qirqish yuli bilan.

Har uchala holda qam amalda ortiqcha bog'lanishlar tashlab yuborilgan deb hisoblanadi. SHundan so'ng, berilgan sistemaning dastlabki muvozanat holatini tiklash maqsadida yo'qotilgan bog'lanishlar o'rniga ularning vazifasini bajaruvchi noma'lum kuchlar X_1 , X_2 , X_3 , va hokazo qo'yiladi (7, 8-rasm).

Birinchi holda tashqi statik aniqmas rama uchun asosiy sistema variantlarini tanlashni ko'rib chiqamiz (7-rasm). Berilgan statik aniqmas rama uchun tuzilgan asosiy sistemalarga izoh beramiz. Rama ikki marta statik aniqmas, shuning uchun unga besh xil asosiy sistema tasvirlangan. 7-rasm b-da sharnirli qo'zg'almas tayanch tashlab yuborilib, uning o'rniga tayanch reaksiyalari X_1 va X_2 qo'yilgan. 7-rasm v-da chap qistirib mahkamlangan tayanch sharnirli qo'zg'aluvchi tayanch bilan almashtirilgan. Tashlab yuborilgan bog'lanishlar o'rniga reaksiya kuchlari qo'yilan. 7-rasm d-da ramaning chap va o'ng biki tugunlarga sharnirlar kiritilgan va sharnirlar tufayli yo'qotilgan bog'lanishlar o'rniga moment X_1 va X_2 qo'yilgan. 7-rasm e-da chap qistirib maxkamlangan tayanch sharnirli qo'zg'aluvchi tayanch bilan almashtirilgan va rama rigeliga sharnir kiritilgan. Tashlab yuborilgan bog'lanishlar o'rniga moment X_1 va X_2 qo'yilan.

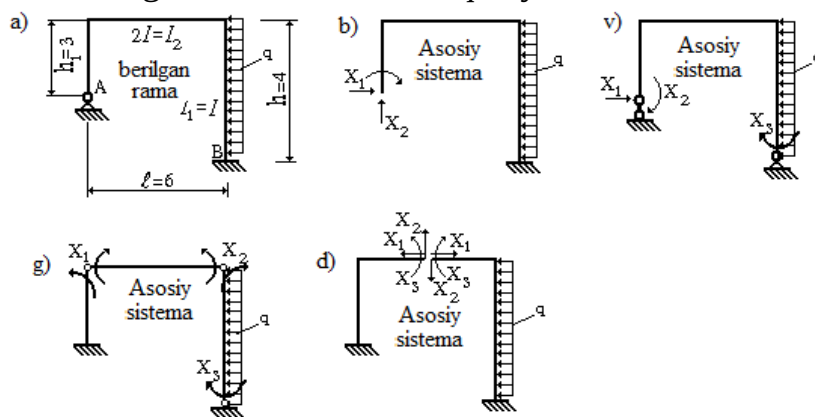
Beshta asosiy sistema ham geometrik o'zgarmas, statik aniqdir. Hisoblash ishlari uchun ular ichidan istalgan sistemani tanlab olish mumkin. Beshta holda ham hisob natijalari bir xil chiqaveradi. Biroq 7-rasm b-da tasvirlangan asosiy sistema bular ichida eng maqbulidir. Chunki bunday sistemaning M epyuralarini qurish va ko'chishlarni aniqlash boshqalariga nisbatan birmuncha qulay.



7-rasm

Ikkinchi holda uch noma'lumli ichki statik aniqmas ramaning to'rt xil asosiy sistemasi ko'rsatilgan. Bularning dastlabki uchasi avvalgi ramaga o'xshab ketadi (8-rasm b, v, g). Oxirgisi qirqish usulida hosil qilingan. Qirqilgan kesimga tashqi

kuchlar ta'sirida shu kesimda hosil bo'ladigan ichki kuchlar, bo'ylama X_1 , ko'ndalang kuch X_2 , va eguvchi moment X_3 lar qo'yilgan. Bu to'rt asosiy sistemaning birinchi va oxirigisi hisoblash uchun qulaydir.



8-rasm

Kuchlar usulining kanonik tenglamalari. Asosiy sistemalarda ortiqcha bog'lanishlar noma'lum kuchlar bilan almashtirilgandan keyin, endigi vazifamiz ana shu noma'lum kuchlarni aniqlashdan iborat bo'ladi. Buning uchun statika tenglamalariga qo'shimcha ravishda **kanonik** tenglamalar tuzamiz. Kanonik tenglamalarni tuzish tartibini 7-rasm b-da ko'rsatilgan ikki noma'lumli rama misolida ko'rib chiqamiz.

Berilgan ramada sharnirli qo'zg'almas tayanchning markazi B vertikal va gorizontaal yo'nalishlarda qo'zg'almasdir, ya'ni uning shu yo'nalishlardagi ko'chishlari nolga tengdir. Bunday shart asosiy sistemada ham saqlanib qolishi lozim, ya'ni B nuqtasining vertikal va gorizontaal ko'chishlari nolga teng bo'lishi zarur.

$$\Delta_{x_1} = 0; \quad \Delta_{x_2} = 0; \quad (4)$$

bu yerda Δ_{x_1} –sterjen uchining X_1 kuch yo'nalishidagi ko'chishi;

Δ_{x_2} –shu nuqtaning X_2 kuchi yo'nalishdagi ko'chishi.

Har ikkala ko'chish X_1 va X_2 kuchlari hamda tashqi yuklar ta'sirida vujudga keladi.

Kuchlar ta'sirining mustaqilligi qoidasidan foydalanib, (4) ni aloqida ko'chishlar yig'indisi sifatida ifodalaymiz.

$$\begin{aligned} \Delta_{x_1 x_1} + \Delta_{x_1 x_2} + \Delta_{x_1 P} &= 0; \\ \Delta_{x_2 x_1} + \Delta_{x_2 x_2} + \Delta_{x_2 P} &= 0; \end{aligned} \quad (5)$$

Bu yerda ko'chishlarga qo'yilgan birinchi indekslar ko'chishning yo'nalishini, ikkinchi indekslar esa shu ko'chishni yuzaga keltiruvchi sababni bildiradi.

Endi X_1 va X_2 kuchlarni ta'sirida hosil bo'lgan ko'chishlarni Guk qonuniga asosan birlik ko'chishlar orqali ifoda etamiz.

$$\Delta_{x_1 x_1} = x_1 \delta_{11}; \quad \Delta_{x_1 x_2} = x_2 \delta_{12}; \quad \Delta_{x_2 x_1} = x_1 \delta_{21}; \quad \Delta_{x_2 x_2} = x_2 \delta_{22};$$

Bularni (5) tenglamaga qo'ysak, ikki noma'lumli sistema uchun kuchlar usulining kanonik tenglamalari kelib chiqadi:

$$\begin{aligned} \delta_{11} X_1 + \delta_{12} X_2 + \Delta_{1P} &= 0; \\ \delta_{21} X_1 + \delta_{22} X_2 + \Delta_{2P} &= 0; \end{aligned} \quad (6)$$

tenglamalarning koeffitsenti va ozod hadlarini aniqlangandan keyin, kanonik tenglamalarni noma'lum kuchlari va momentlar aniqlanadi.

Ko'chishlar nazariyasiga asosan birlik ko'chishlar quyidagi formula asosida topiladi.

$$\delta_{ii} = \sum_{i=1}^n \int_0^l \frac{\bar{M}_i^2}{EI} dx; \quad \delta_{ik} = \delta_{ki} = \sum_{i=1}^n \int_0^l \frac{\bar{M}_i \cdot \bar{M}_k}{EI} dx; \quad \delta_{kk} = \sum_{i=1}^n \int_0^l \frac{\bar{M}_k^2}{EI} dx; \quad (8)$$

Bu yerda $\bar{M}_1$ -asosiy sistemaning istalgan kesmidagi birlik kuch $X_1=1$ dan hosil bo'ladi.gan moment;

$\bar{M}_2$ -o'sha kesimda $X_2=1$ kuchidan hosil bo'lgan moment; n – ramadagi noma'lumlar soni.

Tashqi yuklardan hosil bo'lgan ko'chishlar quyidagi farmullardan to'iladi.

$$\Delta_{ip} = \sum_{i=1}^n \int_0^l \frac{\bar{M}_i M_p}{EI} dx; \quad (9)$$

Kanonik tenglamalar sistemasidagi noma'lumlar oldidagi birlik ko'chishlar (koeffitsentlar) va ozod hadlarni aniqlash uchun Mor formulasi yoki Vereshchagin usulidan foydalanamiz.

Kanonik tenglamalar sistemasida noma'lumlar oldidagi birlik ko'chishlar (koeffisientlar) va ozod hadlar aniqlanadi.

To'g'ri yechimga ega bo'lish uchun ko'chishlar to'g'ri topilgan bo'lishi kerak. Ularni to'g'ri yoki noto'g'ri to'ilganligini tekshirishni ikki xil usuli bor: ya'ni **qatorma-qator** yoki **yal'i** tekshirish.

Tekshirish uchun birlik epyuralarni qo'shib, yig'indi epyura $\bar{M}_{12}$ quriladi 9 rasm v. **Qatorma-qator** tekshirish quyidagi formula asosida amalga oshiriladi:

$$(\delta_{11} + \delta_{12}) = \sum_{i=1}^n \int_0^l \frac{\bar{M}_1 \cdot \bar{M}_{12}}{EI} dx \quad (10)$$

ya'ni kanonik tenglamaning birinchi qatoridagi koeffitsienlar $\bar{M}_1$ va $\bar{M}_{12}$ epyuralarining Ko'paytmasiga teng chiqsa, u holda bu ko'chishlar to'g'ri to'ilgan bo'ladi. Xuddi shuningdek, tenglamani ikkinchi qatori ham tekshiriladi.

$$(\delta_{21} + \delta_{22}) = \sum_{i=1}^n \int_0^l \frac{\bar{M}_2 \cdot \bar{M}_{12}}{EI} dx \quad (11)$$

Yalpi tekshirishda barcha koeffitsentlar yig'indisi $\bar{M}_{12} \cdot \bar{M}_{12}$ Ko'paytmasiga teng bo'lishi zarur, ya'ni:

$$(\delta_{11} + \delta_{12}) + (\delta_{21} + \delta_{22}) = \sum_{i=1}^n \int_0^l \frac{\bar{M}_{12}^2}{EI} dx \quad (12)$$

Nihoyat ozod hadlarini tekshiramiz. Ya'ni ozod hadlar yig'indisi $\Delta_{1p} + \Delta_{2p}$, $\bar{M}_{12}$ epyura bilan M_p epyurasining ko'paytmasiga teng bo'lishi kerak. Bu shartning bajarilishi ozod hadlarning to'g'ri to'ilganligi anglatadi.

$$\Delta_{1p} + \Delta_{2p} = \sum_{i=1}^n \int_0^l \frac{\bar{M}_{12} M_p}{EI} dx$$

Ko'chishlar, ya'ni koeffitsentlar va ozod hadlar to'g'ri to'ilganiga ishonch hosil qilingach, ularni kanonik tenglamagalarga qo'yamiz.

Ko'chishlar, ya'ni koeffitsient va ozod hadlar to'g'ri topilganiga ishonch hosil qilingach, ularni kanonik tenglamalarga qo'yamiz. Tenglamalarni birgalikda echib, noma'lum kuchlarni aniqlaymiz.

Kanonik tenglamalardan ortiqcha noma'lumlar $X_1, X_2, \dots, X_n$ aniqlangach, ramaning natijaviy, ya'ni tugal M, Q, N epyuralari quriladi. Istalgan k kesimdagi eguvchi momentning qiymati qo'shish usulida aniqlanadi:

$$M_k = M_p + \bar{M}_1 X_1 + \bar{M}_2 X_2 + \dots + \bar{M}_n X_n$$

Bu erda M_r — statik aniq asosiy sistemada tashqi yuklardan hosil bo'lgan moment; $\bar{M}_1$ — asosiy sistemada $X_1=1$ kuchidan hosil bo'lgan moment.

X_1 kuchining haqiqiy qiymati ta'sirida hosil bo'lgan momentni topish uchun $\bar{M}_1$ momentini X_1 ga ko'paytiramiz, ya'ni X_1 ta'siridagi haqiqiy moment $X_1 \bar{M}_1$ bo'ladi. Bu qoida boshqa noma'lumlar ($X_2, X_3, \dots, X_n$) ga ham tegishlidir.

Xuddi shunday usulda Q va N epyuralar quriladi. Ular quyidagi formula yordamida quriladi:

$$Q_k = Q_p + \bar{Q}_1 X_1 + \bar{Q}_2 X_2 + \dots + \bar{Q}_n X_n$$

$$N_k = N_p + \bar{N}_1 X_1 + \bar{N}_2 X_2 + \dots + \bar{N}_n X_n$$

Qurilgan epyuralarning to'g'riligini statik va deformatsion usullarda tekshiriladi.

Statik tekshirishda rama tuguni kesib olinib bu tugunga kuchlar qo'yilib muvozanat tenglamalari tekshirib ko'riladi. Muvozanat sharti bajarilsa epyura to'g'ri qurilgan bo'ladi. Epyuralarni to'g'riligini to'la tekshirish uchun deformatsion tekshirishni o'tkazish kerak. Bu tekshirishda yakuniy epyurani birlik epyuraga ko'paytmasi nolga teng bo'lishi kerak.

28-mavzu. Simmetrik ramalarni kuchlar usulida hisoblash.

Reja:

1. Simmetrik ramalarni hisoblash.
2. Statik noaniq ramalarni tayanch cho'kishiga hisoblash.
3. Statik aniqmas sistemalarni temperatura ta'siriga hisoblash

Tayanch so'z va iboralar:

Simmetrik ramalar, sistemalarni simmetrikligidan foydalanish, statik aniqmas ramalarni hisoblashda soddalashtirish usullari.

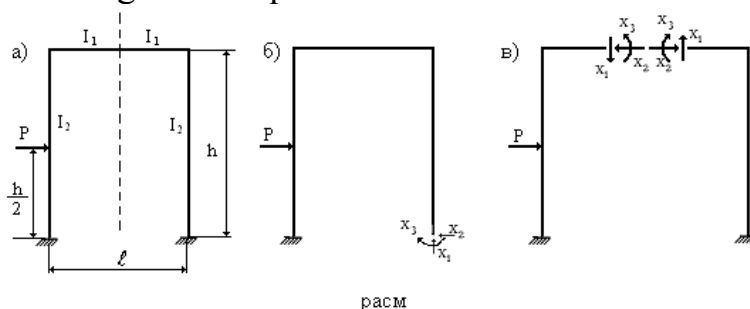
Statik aniqmas ramalarni hisoblashda soddalashtirish usullari.

Kanonik tenglamalar soni sistemadagi ortiqcha noma'lumlar soniga teng bo'lishini ilgari aytib o'tgan edik. Demak, sistemaning statik aniqmaslik darajasi ortgani sari kanonik tenglamalar soni ham ortib boradi, ularni birgalikda yechish uchun tobora ko'prok vaqt va mehnat talab etiladi. Aniq usullarga berilgan sistemadagi noma'lumlar sonini kamaytirib bo'lmaydi, biroq hisoblash ishlarini birmuncha osonlashtirish imkonini beradigan soddalashtirish usullari mavjuddir. Quyida ana shu usullarning ba'zilar bilan tanishib chiqamiz.

Sistlarning simmetrikligidan foydalanish.

Simmetrik ramalar faqat geometrik shakliga ko'ra emas, balki tayanchlari va bikrlilari bo'yicha ham simmetrik bo'lishi lozim. SHunda ularning simmetrikligidan foydalanib ba'zi soddalashtirishlarga erishish mumkin. rasm, a-da simmetrik statik aniqmas rama tasvirlangan. Rama bitta vertikal simmetriya o'qiga ega. Ramaning chap va o'ng tayanchlari bir xil. Ramaning har ikkala ustuni, shuningdek rigelning chap va o'ng qismlari bir xil inertsia momentiga ega, bu har ikkala ustun bir xil bikrlikka o'zaro teng demakdir.

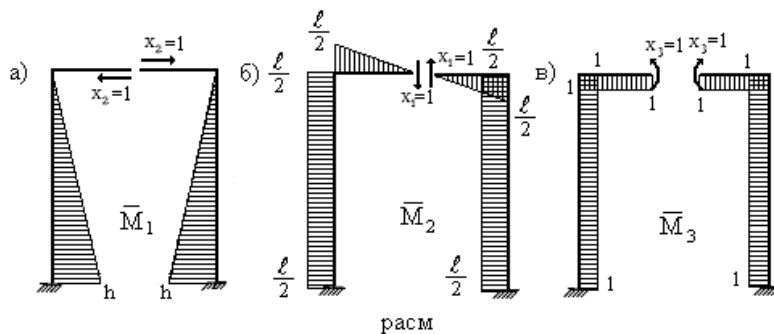
Agar ramaning asosiy sistemasini rasm, b-da ko'rsatilgandek olsak, hisob jarayonida hech qanday soddalashuvga erishmaymiz, uch noma'lumli uchta kanonik tenglamalar sistemasi o'zgarishsiz qolaveradi:



$$\begin{aligned}\delta_{11}X_1 + \delta_{12}X_2 + \delta_{13}X_3 + \Delta_{1P} &= 0; \\ \delta_{21}X_1 + \delta_{22}X_2 + \delta_{23}X_3 + \Delta_{2P} &= 0; \\ \delta_{31}X_1 + \delta_{32}X_2 + \delta_{33}X_3 + \Delta_{3P} &= 0;\end{aligned}\quad (1)$$

Agar ramaning asosiy sistemasini rasm, v-dagi ko'rinishda olsak, kanonik tenglamalar sistemasi ancha ixchamlashadi. Ramaning asosiy sistemasini hosil qilishda uni simmetriya o'qi o'tgan kesimdan qirqdik. Bu asosiy sistemaning birlik epyuralarini qursak, simmetrik (M_1, M_3) va teskari simmetrik (M_2) epyuralar hosil bo'ladi. (rasm).

To'g'ri va teskari simmetrik epyuralarning ko'paytmasi nolga teng bo'ladi.. Bu qoida kanonik tenglama koeffi-sientlarini aniqlashda juda qo'l keladi. CHunonchi, δ_{12} koeffisientini aniqlashda M_1 va M_2 epyuralar



Vereshchagin formulasi bo'yicha o'zaro ko'paytirilishi kerak. Biroq epyuralarning biri simmetrik, ikkinchisi teskari simmetrik bo'lgani uchun ko'paytma nol chiqishini oldindan bilamiz. SHunday qilib, $\delta_{12} = \delta_{21} = 0$. $\bar{M}_2$ va $\bar{M}_3$ epyuralarining ko'paytmasidan $\delta_{23} = \delta_{32} = 0$ kelib chiqadi.

Buning oqibatida kanonik tenglamalar sistemasi quyidagi ko'rinishga keladi:

$$\begin{aligned}\delta_{11}X_1 + \delta_{13}X_3 + \Delta_{1P} &= 0; \\ \delta_{22}X_2 + \Delta_{2P} &= 0; \\ \delta_{31}X_1 + \delta_{33}X_3 + \Delta_{3P} &= 0;\end{aligned}$$

ya'ni yaxlit tenglamalar sistemasi (1) ikkita mustaqil tenglamalar sistemasiga ajralib ketdi: bulardan biri

$$\begin{aligned}\delta_{11}X_1 + \delta_{13}X_3 + \Delta_{1P} &= 0; \\ \delta_{31}X_1 + \delta_{33}X_3 + \Delta_{3P} &= 0;\end{aligned}\quad (2)$$

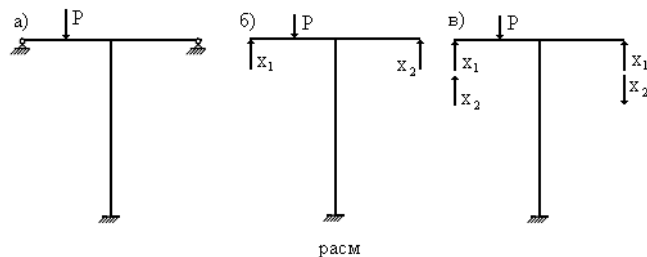
ikkinchisi $\delta_{22}X_2 + \Delta_{2P} = 0$;

SHunday qilib, asosiy sistema tanlash jarayonida ramaning simmetriklik xususiyatlaridan foydalanib, uch noma'lumli yaxlit tenglamalar sistemasini ikkita mustaqil tenglamalar sistemasiga ajratdik, bularning biri ikki noma'lumli ikkita tenglama, ikkinchisi bir noma'lumli bitta tenglama. Natijada hisob ishlarini ancha qisqartirish imkoniyatiga ega bo'ldik.

Noma'lumlarni guruhlash.

Ko'p oraliqli simmetrik ramalarni hisoblashda to'g'ri va teskari simmetrik bo'lgan epyuralar hosil qilish uchun noma'lumlar sifatida alohida kuchlar emas, balki kuchlar guruhi qabul qilinadi. Ikki noma'lumli rama misolida usulning mohiyatini bayon etamiz (rasm, a).

Berilgan rama ikki oraliqli bo'lib, sharnirli qo'zg'aluvchan tayanchlar ustunga nisbatan simmetrik joylashgan. Ramaning asosiy sistemasini tayanchlarni tashlab yuborish yo'li bilan hosil qilamiz. Yo'qotilgan bog'lanishlar o'rniga noma'lum reaksiya kuchlarini qo'yamiz (rasm, b). Biroq asosiy sistemani bunday olinishi hisob ishlarini soddalashtirishga olib kelmaydi. Kanonik tenglamalar sistemasi yaxlitligicha qolaveradi.



$$\delta_{11}X_1 + \delta_{12}X_2 + \Delta_{1P} = 0;$$

$$\delta_{21}X_1 + \delta_{22}X_2 + \Delta_{2P} = 0;$$

Hisob jarayonida ma'lum darajada soddalashuvga erishish maqsadida Z_1 reaksiyasini X_1 va X_2 noma'lumlarining yig'indisi bilan, Z_2 reaksiya kuchini esa X_1 va X_2 noma'lumlarining ayirmasi bilan almashtiramiz (rasm, v). Natijada yakka kuchlar kuchlar guruhi bilan almashadi. Buning oqibatida to'g'ri (M_1) va teskari (M_2) simmetrik epyuralarga ega bo'ladi. (rasm, a).

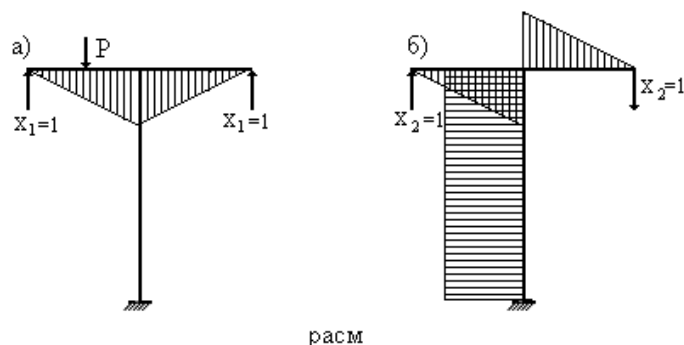
Ma'lumki bunday epyuralar Ko'paytmasi nolga teng bo'ladi, shunga ko'ra $\delta_{12} = 0$. Kanonik tenglamalar sistemasi esa alohida ikkita mustaqil tenglamalarga ajralib ketadi.

$$\delta_{11}X_1 + \Delta_{1P} = 0;$$

$$\delta_{22}X_2 + \Delta_{2P} = 0;$$

Mazkur tenglamalardan X_1 va

nomalumlari aniqlanadi, so'ngra yakunlovchi M epyurasi ko'riladi.



X_2

29-mavzu. Statik noaniq arkalarini hisoblash. Statik noaniq fermalarni hisoblash.

Reja:

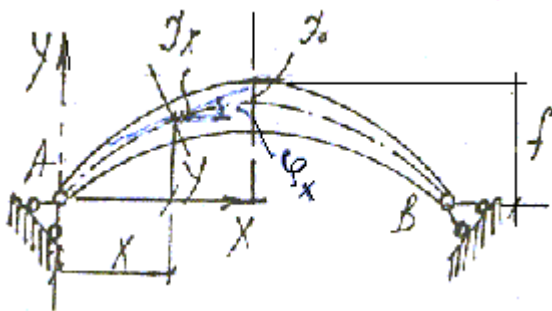
1. Ikki sharnirli statik aniqmas arka hisobi.
2. Statik noaniq arkalarini hisoblash.
3. Bir sharnirli statik aniqmas arka hisobi

Tayanch so'z va iboralar:

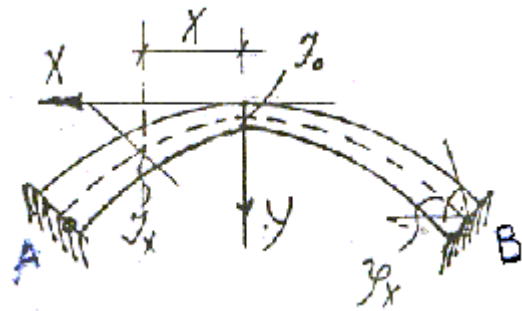
Ikki sharnirli arka, sharnirsiz arka, kuch usuli, asosiy sistema, elastik markaz, biki konsol.

Statik aniqmas arkalar ikki sharnirli va sharnirsiz bo'lishi mumkin.

Ikki sharnirli arkalar (1 – rasm) bir marta statik aniqmas, sharnirsiz arka (2 – rasm) uch marta statik aniqmas sistemadir.



1 – rasm



2 – rasm

Statik aniqmas arkalarini hisoblash kuchlar usuli yordamida bajariladi.

Ikki sharnirli arka ko'ndalang kesim inertsia momentining o'zgarish qonuni quyidagi formula orqali ifodalandi.

$$I_x = I_0 \cdot \cos \varphi_x, \quad (1)$$

Bunda I_0 – arka qulfidagi kesimning inertsia momenti;

φ_x – arka o'qiga o'tkazilgan urinma bilan gorizont chiziq orasidagi burchak.

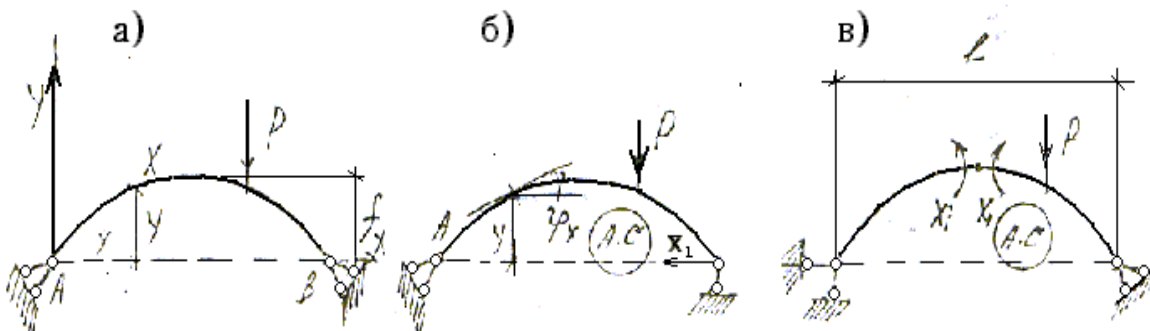
(1) ga ko'ra, arkaning ko'ndalang kesim balandligi tayanch kesimidan markaziy kesimgacha kattalashib boradi.

Sharnirsiz arka uchun

$$I_x = \frac{I_0}{\cos \varphi_x} \quad (2)$$

Bu qonun bo'yicha arkaning ko'ndalang kesim balandligi tayanch kesimdan boshlab markaziy kesimga tomon kamayib boradi.

Ikki sharnirli arkalarini doimiy yuklar ta'siriga hisoblash.



3 – rasm

Ikki sharnirli arka (3 – rasm) bir marta statik aniqlanmas bo'lganligi tufayli, asosiy sistema tanlashning variantlari (3 b, v – rasmlar)ni tanlaymiz.

Kuch usulining kanonik tenglamasini yozamiz:

$$\delta_{11}X_1 + \Delta_{iR} = 0 \quad (3)$$

Δ_{iR} va δ_{11} ko'chishlar Mor formulasidan topiladi.

$$\Delta_{ip} = \sum_0^s \int \frac{\overline{M}_1 M_p ds}{EI_x} + \sum_0^s \int \frac{\overline{N}_1 N_p ds}{EF_x}, \quad \delta_{11} = \sum_0^s \int \frac{\overline{M}_1^2 ds}{EI_x} + \sum_0^s \int \frac{\overline{N}_1^2 ds}{EF_x}, \quad (4)$$

Asosiy sistema uchun (3b,v – rasm):

$$M_p = M^0(x); \quad N_p = Q^0(x) \cdot \sin \varphi_x;$$

$$\overline{M}_1 = -1 \cdot y; \quad \overline{N}_1 = 1 \cdot \cos \varphi_x$$

Agar arka $\frac{f}{l} \leq \frac{1}{6}$ bo'lsa, $\sin \varphi_x$ juda kichik miqdorga ega bo'lganligi sababli (4)

formuladan N_R ni hisobga ham olmasa bo'ladi. U holda

$$\Delta_{ip} = - \sum_0^s \int \frac{y \cdot M_p ds}{EI_x} \quad \delta_{11} = \int_0^s \frac{y^2 ds}{EI_x} + \int_0^s \frac{\cos^2 \varphi ds}{EF_x}, \quad (5)$$

bu yerda $ds = \frac{dx}{\cos \varphi_x}$; s – arka o'qining uzunligi.

Noma'lum kuch X_1 (3) tenglamadan aniqlangandan so'ng, arkaning ixtiyoriy K kesimida xosil bo'lgan zo'riqishlar quyidagi formulalarga asosan aniqlanadi.

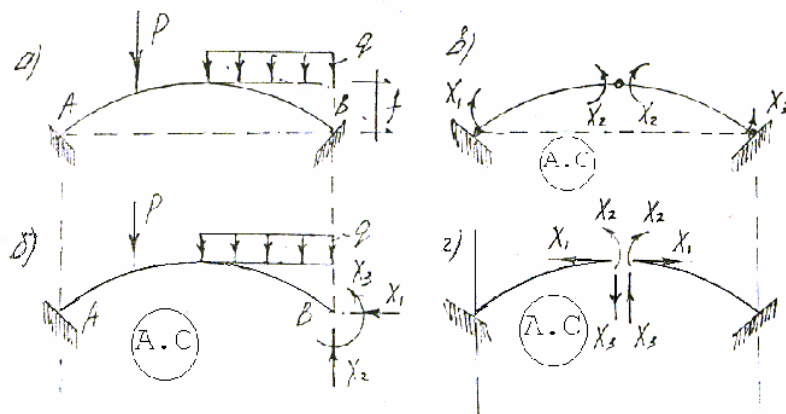
$$\left. \begin{aligned} M_k &= M_k^0 - X_1 \cdot y_k \\ N_k &= Q_k^0 \sin \varphi_k + X_1 \cos \varphi_k \\ Q_k &= Q_k^0 \cos \varphi_k - X_1 \sin \varphi_k \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

M_k^0 va Q_k^0 - oddiy balkaning K kesimida tashqi yuklardan xosil bo'lgan eguvchi moment va ko'ndalang kuch;

y_k – arka o'qining ordinatasi.

SHarnirsiz arkalarni hisoblash. Elastik markaz usuli.

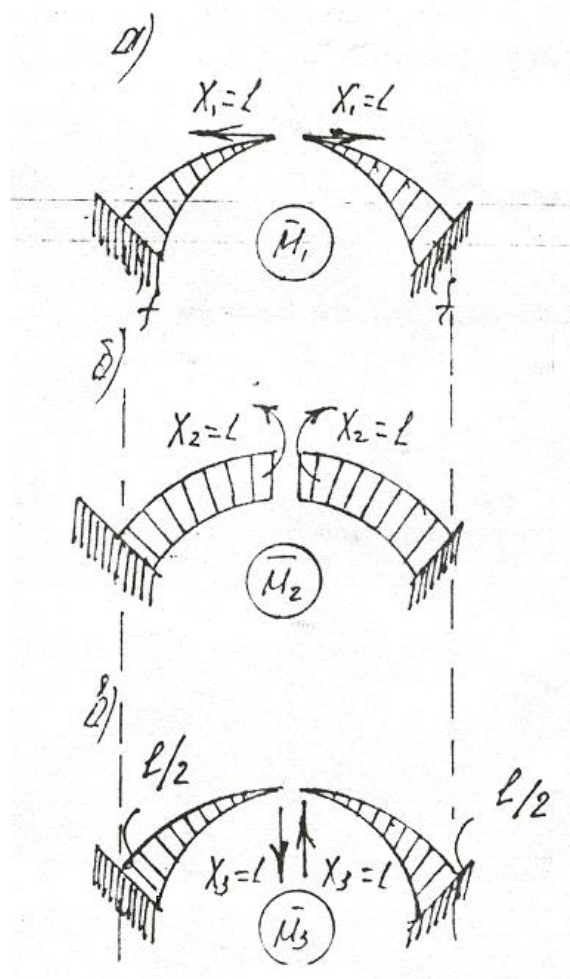
SHarnirsiz arka (4a-rasm) uch marta statik aniqlanmas sistemadir.



4 – rasm

Asosiy sistemani bir necha varianti 4 rasm b, v, g da tasvirlangan. Kuchlar metodining kanonik tenglamalar sistemasini yozamiz.

$$\left. \begin{aligned} \delta_{11}X_1 + \delta_{12}X_2 + \delta_{13}X_3 + \Delta_{1p} &= 0, \\ \delta_{21}X_1 + \delta_{22}X_2 + \delta_{23}X_3 + \Delta_{2p} &= 0, \\ \delta_{31}X_1 + \delta_{32}X_2 + \delta_{33}X_3 + \Delta_{3p} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$



5 rasm

Agar asosiy sistema simmetrik tanlansa (4g-rasm) asosiy sistema uchun chizilgan birlik epyuralar simmetrik va nosimmetrik bo'ladi (5–rasm) va ayrim yordamchi ko'chishlar nolga teng bo'ladi, ya'ni:

$$\delta_{13} = \delta_{31} = 0 \quad \delta_{23} = \delta_{32} = 0.$$

U holda kuchlar metodining kanonik tenglamalar sistemasi ikki mustaqil gruppalariga ajraladi:

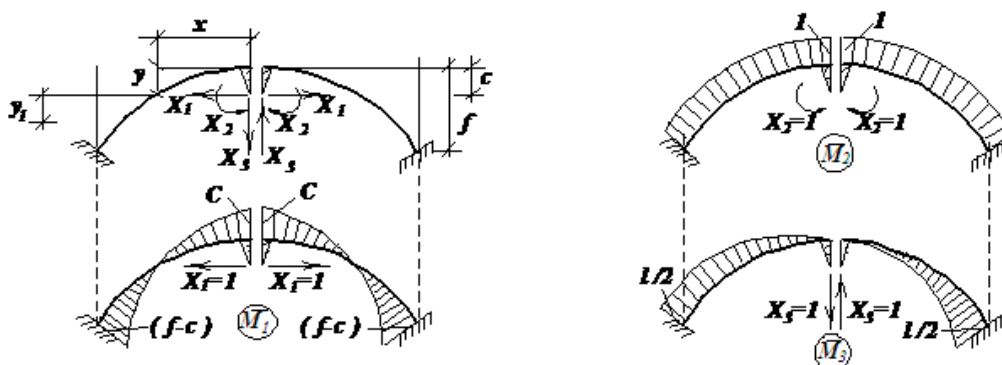
$$\left. \begin{aligned} \delta_{11}X_1 + \delta_{12}X_2 + \Delta_{1p} &= 0; \\ \delta_{21}X_1 + \delta_{22}X_2 + \Delta_{2p} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (a)$$

$$\delta_{33}X_3 + \Delta_{3R} = 0. \quad (b)$$

Kanonik tenglamalarning birinchi gruppasi (a) da faqat simmetrik noma'lumlar X_1, X_2 , ikkinchi gruppasi (b) da esa faqat teskari simmetrik noma'lum X_3 ishtirok etadi.

Birlik ko'chishlar 5 rasmdan foydalanib Mor formulasiga asosan aniqlanadi.

Agar asosiy sistemalar biki konsol kiritish orqali tanlansa, kanonik tenglamalarning barcha yordamchi koeffitsientlari nolga teng bo'ladi va tenglamalar uchta mustaqil gruppaga ajraladi (6-rasm).



6– rasm

Asosiy sistema ixtiyoriy kesimidagi zo'riqishlar tenglamasini yozamiz.

$$\bar{M}_1 = -1(c-y), \quad \bar{M}_2 = 1; \quad \bar{M}_3 = 1 \cdot x, \quad \bar{N}_1 = -1 \cdot \cos \varphi, \quad \bar{N}_3 = 1 \cdot \sin \varphi_k,$$

$$\bar{Q}_1 = -1 \cdot \sin \varphi_k, \quad \bar{Q}_3 = 1 \cdot \cos \varphi_k \quad \text{Mor formulasiga asosan,}$$

$$\delta_{12} = \int_0^s \frac{\bar{M}_1 \bar{M}_2 ds}{EI} = - \int_0^s (c-y) \frac{ds}{EI} = 0, \quad (8)$$

S-arka o'qining uzunligi. Arkaning simmetrikligiga asosan $c \int_0^{s/2} \frac{ds}{EI} - \int_0^{s/2} y \frac{ds}{EI} = 0,$

bundan

$$c = \frac{\int_0^{\frac{s}{2}} y \frac{ds}{EI}}{\int_0^{\frac{s}{2}} \frac{ds}{EI}}. \quad (9)$$

Kuchlar metodining kanonik tenglamalari:

$$\left. \begin{aligned} \delta_{11}X_1 + \Delta_{1p} &= 0, \\ \delta_{22}X_2 + \Delta_{2p} &= 0, \\ \delta_{33}X_3 + \Delta_{3p} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

(10) tenglamalardagi ko'chishlarni Mor formulasiga asosan aniqlaymiz:

$$\delta_{11} = 2 \int_0^{\frac{s}{2}} \overline{M}_1^2 \frac{ds}{EI} + 2 \int_0^{\frac{s}{2}} \overline{N}_1^2 \frac{ds}{EF} = 2 \int_0^{\frac{s}{2}} y_1^2 \frac{ds}{EI} + 2 \int_0^{\frac{s}{2}} \cos^2 \varphi \frac{ds}{EF}; \quad (11)$$

$$\delta_{22} = 2 \int_0^{\frac{s}{2}} \frac{ds}{EI}; \quad \delta_{33} = 2 \int_0^{\frac{s}{2}} x^2 \frac{ds}{EI}; \quad (12)$$

$$\Delta_{1p} = - \int_0^s M_p y_1 \frac{ds}{EI}; \quad \Delta_{2p} = \int_0^s M_p \cdot 1 \frac{ds}{EI}; \quad \Delta_{3p} = \int_0^s M_p \cdot x \cdot \frac{ds}{EI}. \quad (13)$$

$\overline{Q}_1, \overline{Q}_3$ va N_R, Q_R lardan hosil bo'lgan ko'chishlar M_r dan hosil bo'lgan ko'chishga nisbatan juda kichik bo'lgani sababli, ularning qiymatini hisobga olmasak ham bo'ladi.

SHarnirsiz arkaning ixtiyoriy ko'ndalang kesimidagi eguvchi moment, bo'ylama va ko'ndalang kuchlar quyidagicha aniqlanadi:

$$\begin{aligned} M_k &= M_k^0 - X_1(c - y_k) + X_2 + X_3 \cdot x_k; \\ Q_k &= Q_k^0 - X_1 \sin \varphi_k + X_3 \cos \varphi_k; \\ N_k &= N_k^0 + X_1 \cos \varphi_k + X_3 \sin \varphi_k, \end{aligned} \quad (14)$$

bu yerda M_k^0, Q_k^0 va N_k^0 asosiy sistema K kesimida tashqi yukdan hosil bo'lgan eguvchi moment, ko'ndalang va bo'ylama kuchlar.

Mustaqil ishlash va nazorat savollari:

1. Statik noaniq arkalarini amalda qo'llanish sohalarini ayting?
2. Statik noaniq arkalar kesimlarining o'zgarishi uning qanday xususiyatiga bog'liq?
3. Ikki sharnirli va sharnirsiz arkalar ko'ndalang kesim inertsia momentlarining o'zgarishi qanday formulalar orqali ifodalanadi?
4. Ikki sharnirli va sharnirsiz arkalar statik noaniqlik darajasini hisoblang.
5. Qanday arkalarini kuch usulida hisoblashda murakkablik mavjud?
6. Kanonik tenglamalar sistemasining koeffisient va ozod hadlari qanday aniqlanadi?
7. Statik noaniq arkalarini hisoblashni soddalashtirish usullarini ayting.

8. Qaysi holatda kanonik tenglamalar sistemasining barcha yordamchi koeffitsientlari nolga teng bo'ladi?
9. Birk konsol uchi koordinatalari qanday aniqlanadi?
10. Ichki zo'riqlashlardan qaysi biri eng katta qiymatlarga ega bo'lishi mumkin?

30-mavzu: Uzluksiz balkalarni hisoblash. Uzluksiz balkalar to'g'risida umumiy tushunchalar. Uzluksiz balkalar hisobiga kuchlar usulining tadbir'i. Asosiy sistemani tanlash. Uch moment tenglamasi.

Reja:

1. Umumiy tushunchalar. Qo'zg'almas yuklar ta'siridagi uzluksiz balkalarni hisoblash.
2. Asosiy sxemani tanlash. Uch moment tenglamasi.
3. Uzluksiz balkalardagi eguvchi moment, ko'ndalang kuch va tayanch reaksiyalarni aniqlash

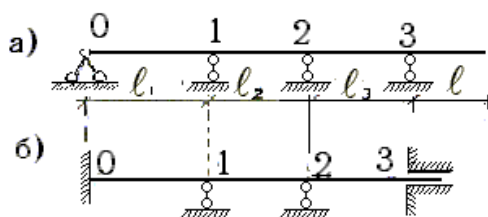
Tayanch so'z va iboralar:

Tutash balkalar, statik aniqlaslik darajasi, asosiy sistema, birlik epyuralar, tashqi yukdan epyura, koeffitsientlar, ozod hadlar, uch moment tenglamalari, fiktiv reaksiya, birklik, keltirilgan oraliq, natijaviy ichki kuch epyuralari.

Bir necha prolyotni (oraliqni) qoplaydigan, qator tayanchlar bilan yerga bog'langan balka tutash balkalar deyiladi. (1 – rasm).

Tutash balkalarning statik aniqlaslik darajasini quyidagi formulalarga asosan aniqlash mumkin:

$$n=2SH+Ct-3D \text{ yoki } n=Ct-3 \quad (1)$$



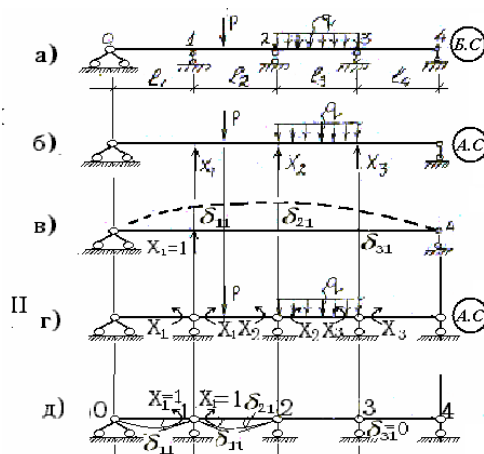
1– rasm.

Uzluksiz balkalarni doimiy yuk ta'sirida hisoblash.

Asosiy sistema tanlash. Uch moment tenglamasining tatbiqi 2a–rasmda ko'rsatilgan uzluksiz balka berilgan bo'lsin. Tutash balkaning ortiqcha bog'lanishlardan ozod etib, asosiy sistemaning bir necha variantini tanlaymiz. (2b, g–rasm).

Balkaning statik noaniqlik darajasi $n=C-3=6-3=3$ ga teng.

Tutash balka bilan asosiy sistema orasidagi farqni yo'qotish uchun kuchlar usulining kanonik tenglamalari sistemasini yozamiz:



2- rasm

$$\left. \begin{aligned} \delta_{11}X_1 + \delta_{12}X_2 + \delta_{13}X_3 + \Delta_{1p} &= 0 \\ \delta_{21}X_1 + \delta_{22}X_2 + \delta_{23}X_3 + \Delta_{2p} &= 0 \\ \delta_{31}X_1 + \delta_{32}X_2 + \delta_{33}X_3 + \Delta_{3p} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2.)$$

Birinchi variantda ko'rsatilgan asosiy sistema uchun kanonik tenglamalardagi yordamchi ko'chishlarning birortasi ham nolga teng bo'lmaydi (2v-rasm).

Ikkinchi variantda esa (2g -rasm) bahzi yordamchi koeffisientlar nolga teng bo'ladi.

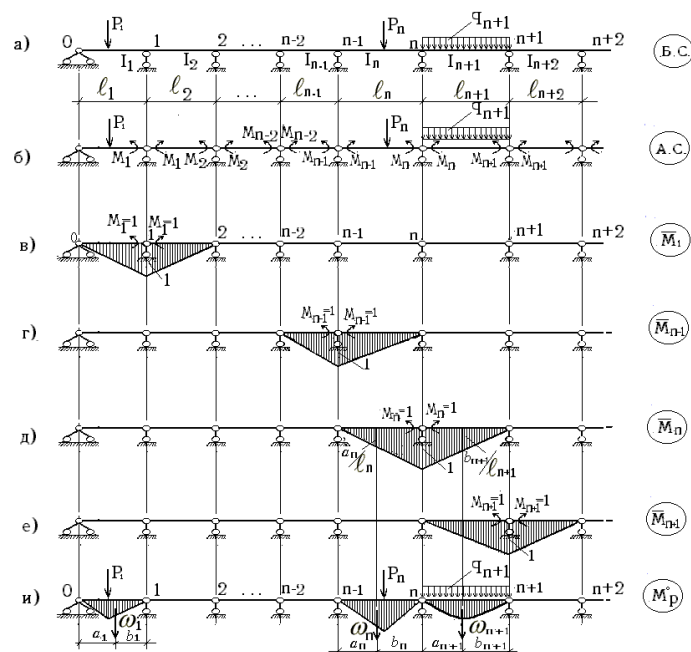
Demak, tutash balkalarni hisoblashni osonlashtirish uchun ortiqcha noma'lumlar sifatida tayanch momentlarni qabul qilish qulaydir.

Uch momentlar tenglamasi. Bizga 3a -rasmda ko'rsatilgan tutash balka berilgan bo'lsin. Asosiy sistema uchun (3b-rasm) ikkinchi variantni qabul qilamiz.

Ortiqcha noma'lumlar bo'lib, tayanch momentlar xizmat qiladi: $M_1, M_2, \dots, M_{n-1}, M_n, M_{n+1}$. Bu holda asosiy sistema oddiy balkalardan iborat bo'ladi.

Asosiy sistemaning sharnir qo'yilgan har bir tayanchi uchun ikki qo'shni kesimning o'zaro burilish burchaklari yig'indisi nolga tengligini ifodalaydigan kuchlar metodining tenglamasini yozamiz. Masalan, n - tayanch uchun yozilgan tenglamani ko'raylik:

$$\delta_{n1}M_1 + \delta_{n2}M_2 + \dots + \delta_{n,n-1}M_{n-1} + \delta_{nn}M_n + \delta_{n,n+1}M_{n+1} + \dots + \Delta_{nr} = 0 \quad (3)$$



3-rasm

Asosiy sistema uchun qurilgan birlik eguvchi moment epyuralariga asosan koeffisientlar:

$$\delta_{n1}=0, \delta_{n2}=0, \dots, \delta_{n,n-2}=0, \delta_{n,n+2}=0, \delta_{n,n+2}=0, \dots$$

u holda (4.3) tenglama quyidagi ko'rinishga keladi:

$$\delta_{n,n-1}M_{n-1} + \delta_{nn}M_n + \delta_{n,n+1}M_{n+1} + \Delta_{nr} = 0 \quad (3')$$

Bu tenglama koeffisientlari va ozod hadlarini epyuralarni ko'paytirish usulida topamiz:

$$\begin{aligned} \delta_{n,n-1} &= (\overline{M}_n) \cdot (\overline{M}_{n-1}) = \frac{1}{EI_n} \cdot \frac{1 \cdot l_n}{2} \cdot \frac{1}{3}; & \delta_{n,n} &= \frac{1}{EI_n} \cdot \frac{1 \cdot l_n}{2} \cdot \frac{2}{3} + \frac{1}{EI_{n+1}} \cdot \frac{1 \cdot l_{n+1}}{2} \cdot \frac{2}{3}; \\ \delta_{n,n+1} &= (\overline{M}_n) \cdot (\overline{M}_{n+1}) = \frac{1}{EI_{n+1}} \cdot \frac{1 \cdot l_{n+1}}{2} \cdot \frac{1}{3}; & \Delta_{np} &= (\overline{M}_n) \cdot (M_p) = \frac{1}{EI_n} \cdot \frac{\omega_n \cdot a_n}{l_n} + \\ &+ \frac{1}{EI_{n+1}} \cdot \frac{\omega_{n+1} \cdot b_{n+1}}{l_{n+1}}; \end{aligned}$$

Ko'chishlarni (3') tenglamaga qo'yib, umumiy maxrajga keltirilgandan so'ng u quyidagi ko'rinishni oladi:

$$M_{n-1} \cdot \frac{l_n}{6EI_n} + 2M_n \left(\frac{l_n}{6EI_n} + \frac{l_{n+1}}{6EI_{n+1}} \right) + M_{n+1} \frac{l_{n+1}}{6EI_{n+1}} = -\frac{\omega_n a_n}{EI_n \cdot l_n} - \frac{\omega_{n+1} b_{n+1}}{EI_{n+1} \cdot l_{n+1}}$$

Bu tenglama o'ng va chap qismini $6EI_c$ ga ko'paytirib va prolyotlar (oraliqlar) keltirilgan uzunliklarini kiritib quyidagi tenglamani olamiz:

$$M_{n-1}l'_n + 2M_n(l'_n + l'_{n+1}) + M_{n+1}l'_{n+1} = -6 \left(\frac{I_c}{I_n} B_n^\phi + \frac{I_c}{I_{n+1}} A_{n+1}^\phi \right) \quad (4)$$

bu yerda $l'_n = l_n \frac{I_c}{I_n}$; $l'_{n+1} = l_{n+1} \frac{I_c}{I_{n+1}}$ – keltirilgan (oraliqlar) prolyotlar; I_c – ixtiyoriy oraliq inertsia momenti;

$$B_n^\phi = \frac{\omega_n a_n}{l_n}, \quad A_{n+1}^\phi = \frac{\omega_{n+1} b_{n+1}}{l_{n+1}} - \text{o'ng va chap fiktiv reaksiyalari.} \quad (4)$$

umumiy holatdagi uch momentlar tenglamasi deyiladi.

Agar tutash balka doimiy kesimga ega bo'lsa, u xolda

$$I_1 = I_2 = \dots = I_n = I_{n+1} = I_C; \quad I'_n = I_n \quad l'_{n+1} = l_{n+1}$$

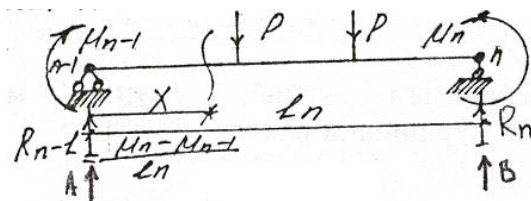
bo'ladi va uch momentlar tenglamasi quyidagi ko'rinishga keladi:

$$M_{n-1}I_n + 2M_n(I_n + I_{n+1}) + M_{n+1}I_{n+1} = -6 \left(B_n^\phi + A_{n+1}^\phi \right) \quad (5)$$

Tutash balkada qancha oraliq tayanchlar bo'lsa, shuncha uch momentlar tenglamalari tuziladi. Ular birgalikda yechilib, noma'lum tayanch momentlari aniqlangandan so'ng tutash balka uchun eguvchi momenti va ko'ndalang kuchlar epyuralari chiziladi.

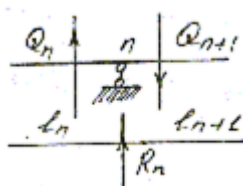
Tutash balkalardagi eguvchi moment, ko'ndalang kuch va tayanch reaksiyalarini aniqlash.

Tayanch momentlar aniqlangandan so'ng tutash balkaning har bir prolyotini berilgan tashqi yuk va shu tayanch momentlari ta'siridagi oddiy balka deb qarash mumkin (4 – rasm).



4 – rasm

Ixtiyoriy kesimdagi eguvchi moment M va kesuvchi kuch Q materiallar qarshiligi kursidagi kabi quyidagicha topiladi:



5-rasm

$$M = M_x^o + M_{n-1} + \frac{M_n - M_{n-1}}{l_n} \cdot x, \quad (6)$$

$$Q = Q_x^o + \frac{M_n}{l_n} - \frac{M_{n-1}}{l_n}, \quad (7)$$

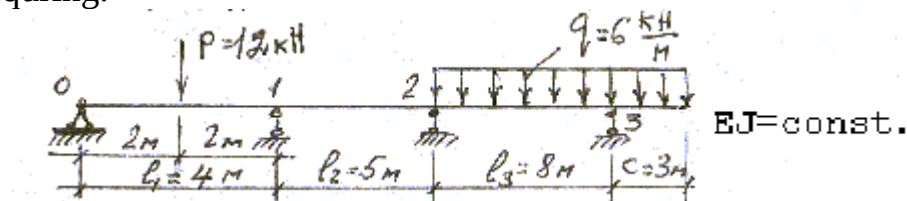
bu yerda M_x^o va Q_x^o - oddiy balkadagi tashqi yukdan xosil bo'lgan eguvchi moment va kesuvchi kuch.

Tayanch reaksiya R_n n tayanchidagi chap va o'ng kesuvchi kuchlarining farqidan topiladi (5 – rasm):

$$R_n = Q_{n+1} - Q_n \quad (8)$$

Mustaqil ishlash va nazorat savollari:

1. Tutash balkalarni hisoblashda uch moment tenglamalarini qo'llash qanday afzallikka ega?
2. Uzlüksiz balkalarni hisoblashda ko'chish usulini qo'llash mumkinmi?
3. Besh noma'lumli uzlüksiz balkalarni hisoblashda uch moment tenglamalari sistemasini texnika vositalarini qo'llamay yechish mumkinmi?
4. Quyidagi uzlüksiz balka uchun uch moment tenglamalarini qo'llab, M va Q epyuralarini quring.



5. Keltirilgan oraliqlar nima va ular qanday hisoblanadi?
6. Fiktiv reaksiyalar qanday hisoblanadi?
7. Agar tutash balka doimiy kesimga ega bo'lsa, uch moment tenglamasi qanday ko'rinishga keladi?
8. Bunday balkalar uchun natijaviy eguvchi moment epyurasi qanday qo'llaniladi?
9. Natijaviy moment epyurasi qanday tekshiriladi?
10. Tutash balkalarda tayanch reaksiyalari qanday topiladi?
11. Tayanch reaksiyalarning to'g'ri topilganligi qanday tekshiriladi?

1.2. Amaliy mashg'ulot materiallari

Mavzu: Vektorlar ustida amallar. To'g'ri chiziqda yotuvchi kuchlar muvozanat shartiga oid masalalar. Kesishuvchi kuchlar sistemasining geometrik va analitik muvozanat shartiga oid masalalar

Tekislikda kesishuvchi kuchlar sistemasining muvozanatiga oid masalalarni quyidagi tartibda yechish tavsiya etiladi.

1. Muvozanati tekshirilayotgan qattiq jismni ajratib, unga ta'sir etuvchi aktiv kuchlar shaklda tasvirlab olinishi kerak.

2. Qaralayotgan qattiq jism erkin bo'lmasa bog'lanish aksiomasidan foydalanib, unga qo'yilgan bog'lanish reaksiyalarini ham tasvirlab olish zarur (albatta, bog'lanish turiga e'tibor berish talab etiladi).

3. Masalani geometrik usulda yechish uchun qattiq jismga ta'sir etuvchi kuchlar sistemasiga mos kuch ko'pburchagi yasaliy keyin bu ko'pburchakdan no'malum miqdor topiladi.

4. Masalani analitik usulda yechish uchun mos koordinatalar sistemasini tanlash kerak (ko'p hollarda koordinatalar sistemasining boshi sifatida kuch markazi olinadi).

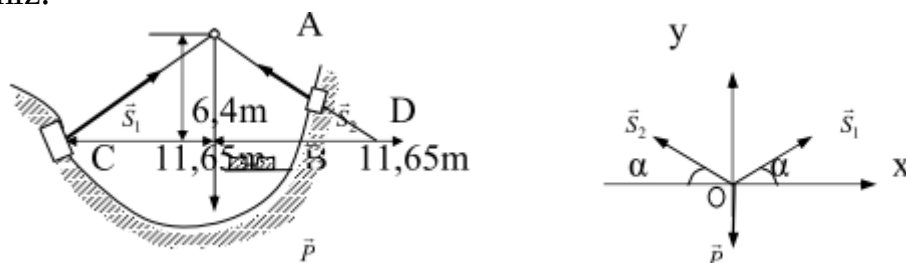
5. Tanlangan koordinatalar sistemasiga nisbatan muvozanat tenglamalar sistemasi tuziladi.

6. Tuzilgan tenglamalar sistemasi birgalikda yechilib, izlanayotgan no'malum miqdorlar topiladi.

Ushbu uslubiy tavsiyalar asosida quyida mavzuga doir ayrim masalalarni yechib ko'rsatamiz.

1-masala. Tog'larda qurilgan temir yo'lda, yo'lning dara ichidagi bir qismi shaklda ko'rsatilgandek osilgan. AB osmaga $P=500\text{kN}$ kuch ta'sir qiladi, deb hisoblab, AC va AD sterjenlardagi zo'riqishlar aniqlansin.

Yechish. Masalani avval analitik usul bilan yechamiz. Buning uchun tegishli koordinatalar sistemasini tanlaymiz. Koordinatalar sistemasining boshi sifatida A nuqtani olamiz.



Muvozanat tenglamalarini tuzamiz:

$$\sum_{i=1}^3 F_{ix} = S_1 \cos \alpha - S_2 \cos \alpha = 0,$$

$$\sum_{i=1}^3 F_{iy} = S_1 \sin \alpha + S_2 \sin \alpha - P = 0.$$

$\sin \alpha$ va $\cos \alpha$ larni topamiz

$$\tan \alpha = \frac{6,4}{11,65} \approx 0,549; \quad \sin \alpha = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{1 + \tan^2 \alpha}} = 0,47,$$

$$\cos \alpha = \frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2 \alpha}} \approx 0,88.$$

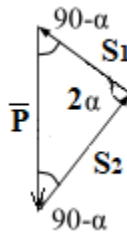
Topilganlarni (a) tenglamalarga qo'yamiz

$$\begin{cases} S_1 = S_2, \\ 0,48S_1 + 0,48S_1 = P. \end{cases}$$

Bulardan

$$S_1 = S_2 = 532\text{kN}.$$

Javob: AC va AD sterjenlarning har biri 532kNga teng kuch bilan siqilar ekan. Endi masalani kuch uchburchagidan foydalanib yechaylik. Kuchlarning o'z-o'ziga parallel ko'chirib uchburchak yasaymiz



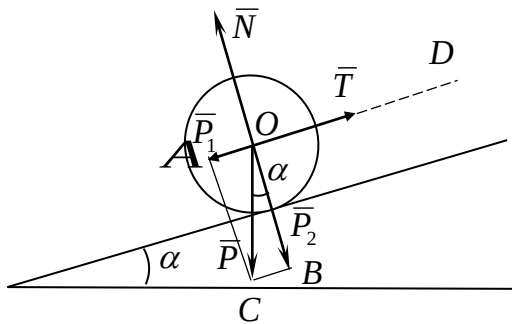
Sinuslar teoremasiga asosan

$$\frac{P}{\sin 2\alpha} = \frac{S_1}{\cos \alpha} = \frac{S_2}{\cos \alpha}.$$

Bundan

$$S_1 = S_2 = \frac{P}{\sin \alpha} \approx 532 \text{ kN}.$$

2-masala. Gorizont bilan α burchak tashkil qilgan silliq qiya tekislikda og'irligi P bo'lgan jism qiya tekislikka parallel bo'lgan OD ip yordamida muvozanatda tortib turibdi. Ipning taranglik T kuchi va jismning qiya tekislikka bo'lgan bosimi aniqlansin.



Yechish: Berilgan P kuchni qiya tekislikka parallel va unga perpendikulyar bo'lgan yo'nalishlar bo'yicha P_1 va P_2 tashkil etuvchilarga ajratamiz. Buning uchun diagonali P kuchiga teng bo'lgan, OA va OB tomonlari tanlab olingan yo'nalishlarga parallel bo'lgan OABC parallelogrammni quramiz. To'g'ri

burchakli OBC uchburchakdan quyidagilarni aniqlaymiz:

$$P_1 = P \sin \alpha, \quad P_2 = P \cos \alpha$$

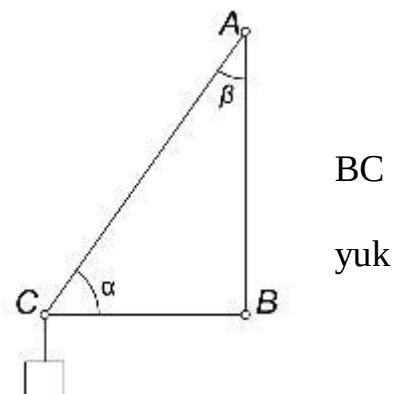
OD ip bo'ylab yo'nalgan P_1 tashkil etuvchi ip reaksiya kuchi bilan muvozanatlashadi, ya'ni

$$T = P_1 = P \sin \alpha$$

Shuning uchun, tayanchga bo'lgan bosimni aniqlasak, unga teng bo'lgan tayanch reaksiya kuchini aniqlagan bo'lamiz.

3-masala. Og'irliklari e'tiborga olinmaydigan AC va sterjenlar bir biri va vertikal devor bilan sharnirlar vositasida biriktirilgan. Sharnirli C boltga $Q=1000 \text{ N}$ osilgan, $\alpha=60^\circ$, $\beta=30^\circ$. Sterjenlardagi zo'riqishlar aniqlansin.

Yechish: C sharnirni moddiy nuqta deb qarab, uning muvozanatini o'rganamiz. C nuqtaga $Q=1000 \text{ N}$ bo'lgan vertikal pastga yo'nalgan kuch qo'yilgan. Masalada C nuqta uchun AC va BC sterjenlar bog'lanishlar hisoblanadi. Ularning reaksiya kuchlari sterjenlar bo'ylab yo'naladi va zo'riqishlar deyiladi. AC sterjendagi zo'riqishni $\vec{S}_1$, BC sterjendagi zo'riqishni esa $\vec{S}_2$ orqali

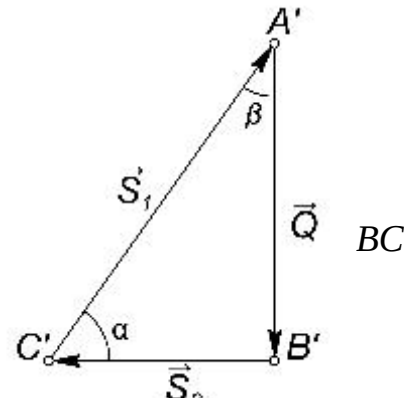


belgilaymiz. Natijada $\vec{Q}$, $\vec{S}_1$, $\vec{S}_2$ kuchlar C nuqtaga qo'yilgan kesishuvchi kuchlar sistemasini tashkil etadi.

$\vec{S}_1$ va $\vec{S}_2$ larni aniqlash uchun kesishuvchi kuchlar sistemi muvozanatining geometrik shartidan foydalanamiz. $\vec{Q}$, $\vec{S}_1$, $\vec{S}_2$ kuchlar ta'sirida bo'lgan C nuqta muvozanatda bo'lishi uchun, ularning geometrik yig'indisi nolga teng bo'lishi kerak:

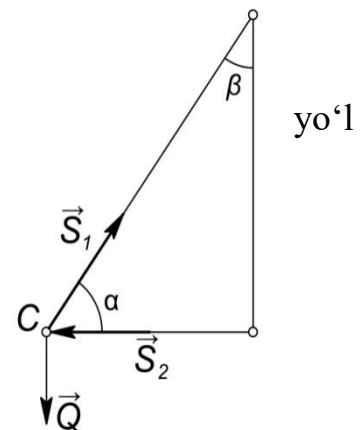
$\vec{Q} + \vec{S}_1 + \vec{S}_2 = 0$, ya'ni $\vec{Q}$, $\vec{S}_1$, $\vec{S}_2$ kuchlardan chizilgan kuchlar uchburchagi yopiq bo'lishi lozim. Kuchlar uchburchagini chizish uchun masshtab tanlab, yo'nalishi va miqdori ma'lum bo'lgan $\vec{Q}$ kuchni A' nuqtaga o'ziga parallel ravishda ko'chiramiz.

$\vec{Q}$ kuchning boshi A' va uchi B' nuqtalardan AC va sterjenlarga parallel chiziqlar o'tkazamiz. Bu chiziqlarning kesishgan nuqtasini C' bilan belgilasak, hosil bo'lgan $A'B'C'$ uchburchak izlanayotgan yopiq



kuchlar uchburchagini ifodalaydi. Bunda $\vec{A'C'}$ va $\vec{B'C'}$ vektorlar $\vec{S}_1$ va $\vec{S}_2$ reaksiya kuchlarini ifodalaydi. Reaksiya kuchlarining modullarini trigonometrik yo'l bilan aniqlash mumkin. Bunda hosil bo'lgan kuchlar uchburchagining burchaklarini bilgan holda, reaksiya kuchlarining modullarini trigonometrik formulalar asosida aniqlash mumkin.

ABC va $A'B'C'$ uchburchaklarda $AB//A'B'$, $AC//A'C'$ bo'lgani uchun $\angle C'A'B' = \beta = 30^\circ$, $\angle B'C'A' = \alpha = 60^\circ$. $A'B'C'$ to'g'ri burchakli uchburchakdan:



$$\frac{Q}{S_1} = \sin \alpha ; \text{ bundan } S_1 = \frac{Q}{\sin \alpha} = \frac{1000n}{\frac{\sqrt{3}}{2}} = 1154 \text{ N.}$$

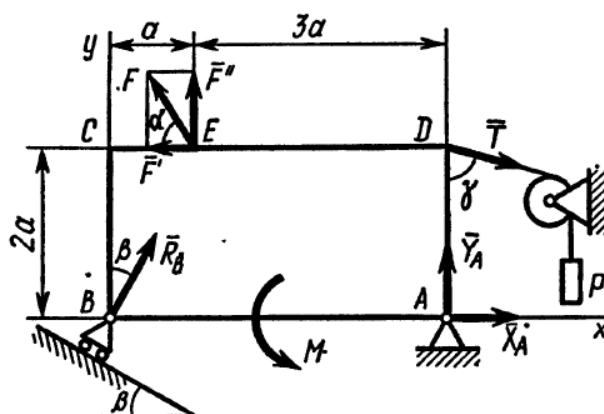
$$\frac{S_2}{Q} = \operatorname{tg} \beta ; \text{ bundan } S_2 = Q \operatorname{tg} \beta = 1000 \text{ N} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} = 577 \text{ N.}$$

Aniqlangan reaksiya kuchlarini C nuqtaga qo'ysak, quyilgan kuchlar ta'sirida AC sterjenni cho'zilishi, BC sterjenni esa siqilishi ma'lum bo'ladi.

Mavzu: Tekislikda va fazoda ixtiyoriy joylashgan kuchlar sistemasining muvozanatiga oid masalalar

1-Masala. ABCD

o'zgarmas plastinka A nuqtada qo'zg'almas sharnirli tayanchga, B nuqtada esa g'ildirakli sharnir



tayanchga mahkamlangan. Unga ta'sir etayotgan barcha kuchlar hamda masofalar shaklda ko'rsatilgan.

Berilgan: $F = 25 \text{ kN}, \alpha = 60^\circ, P = 18 \text{ kN}, \gamma = 75^\circ, M = 50 \text{ kN} \cdot \text{m}, \beta = 30^\circ, a = 0,5 \text{ m}$

Qo'yilgan kuchlar ta'siri natijada A va B nuqtalardagi tayanchlarda hosil bo'lgan reaksiya kuchlari aniqlansin.

Yechish:

1. Plastinkaning muvozanat holatini tekshiramiz. Koordinata o'qlarini o'tkazamiz va plastinkaga ta'sir etayotgan $\vec{F}$ kuchni, momenti M bo'lgan juft kuchni, sim arqonning taranglik kuchi $\vec{T}$ ni (miqdor jihatidan $T=P$) va $\vec{X}_A, \vec{Y}_A, \vec{R}_B$ tayanch reaksiya kuchlarini (A-qo'zg'almas sharnirli tayanchning reaksiya kuchini ikkita tashkil etuvchiga ajratdik, qo'zg'aluvchan sharnirli B tayanch reaksiya kuchi tayanch turgan tekislikka perpendikulyar yo'nalgan) shaklda tasvirlaymiz.

2. Hosil bo'lgan tekislikda ixtiyoriy joylashgan kuchlar sistemasi uchun uchta muvozanat tenglamasini tuzamiz. $\vec{F}$ kuchni A nuqtaga nisbatan momentini hisoblashda uni $\vec{F}'$ va $\vec{F}''$ tashkil etuvchilarga ajratib,

$$(F' = F \cos \alpha, F'' = F \sin \alpha) \quad m_A(\vec{F}) = m_A(\vec{F}') + m_A(\vec{F}'')$$

ifodadan foydalanamiz. Quyidagini hosil qilamiz:

$$\sum F_{kx} = 0, \quad X_A + R_B \sin \beta - F \cos \alpha + T \sin \gamma = 0; \quad (1)$$

$$\sum F_{ky} = 0, \quad Y_A + R_B \cos \beta + F \sin \alpha - T \cos \gamma = 0; \quad (2)$$

$$\sum m_A(\vec{F}_k) = 0, \quad M - R_B \cos \beta \cdot 4a + F \cos \alpha \cdot 2a -$$

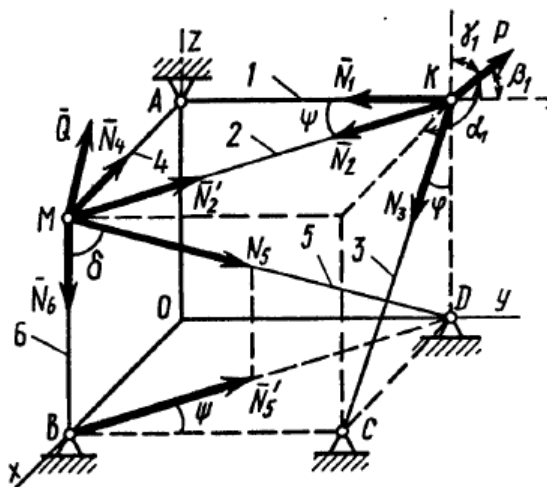
$$-F \sin \alpha \cdot 3a - T \sin \gamma \cdot 2a = 0 \quad (3)$$

Tuzilgan tenglamalar sistemasiga berilgan kattaliklarning miqdorlarini qo'yib, hosil bo'lgan tenglamalardan noma'lum tayanch reaksiya kuchlarini aniqlaymiz.

Javob: $X_A = -8,5 \text{ kN}; Y_A = -23,3 \text{ kN}; R_B = 7,3 \text{ kN};$

X_A, Y_A ifodalar oldidagi minus ishora $\overrightarrow{X_A}, \overrightarrow{Y_A}$ kuchlarning haqiqiy yo'nalishi S1 shaklda ko'rsatilganiga qarama-qarshi yo'nalganligini bildiradi.

2-Masala. Og'irliklari hisobga olinmaydigan 1, 2, ... 6 sterjenlar bir - birlari bilan K va M tugunlarda va qo'zg'almas A, B, C, D tayanchlarda sharnirlar yordamida biriktirilgan. K va M tugunlarga $\vec{P}$ va $\vec{Q}$ kuchlar qo'yilgan bo'lib, ular x, y, z koordinata o'qlari bilan mos ravishda $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1$ va $\alpha_2, \beta_2, \gamma_2$ burchaklar hosil qiladi (shaklda faqat $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1$ burchaklar ko'rsatilgan).



Berilgan: $P = 100 \text{ N}$, $\alpha_1 = 60^\circ$, $\beta_1 = 60^\circ$, $\gamma_1 = 45^\circ$, $Q = 50 \text{ N}$,

$\alpha_2 = 45^\circ$, $\beta_2 = 60^\circ$, $\gamma_2 = 60^\circ$, $\psi = 30^\circ$, $\delta = 74^\circ$.

Masaladagi 1-6 sterjenlardagi zo'riqish kuchlari aniqlansin.

Yechish: Masaladagi 1, 2, 3 sterjenlar kesishgan K tugun muvozanatini tekshiramiz.

Bu tugunga $\vec{P}$ kuch ta'sir etadi va sterjenlarni cho'zilgan deb olsak, u holda ularning zo'riqishini tugundan yo'naltirilgan $\overrightarrow{N_1}$, $\overrightarrow{N_2}$, $\overrightarrow{N_3}$ kuchlar bilan almashtiramiz.

Hosil bo'lgan fazoviy kesishuvchi kuchlar sistemasi uchun uchta muvozanat tenglamalarini tuzamiz:

$$\sum F_{kx} = 0, \quad P \cos \alpha_1 + N_2 \sin \psi + N_3 \sin \varphi = 0 \quad (1)$$

$$\sum F_{ky} = 0, \quad P \cos \beta_1 - N_1 - N_2 \cos \psi = 0 \quad (2)$$

$$\sum F_{kz} = 0, \quad P \cos \gamma_1 - N_3 \cos \varphi = 0 \quad (3)$$

$\vec{P}$ kuch miqdori va burchaklar qiymatlarini (1), (2), (3) tenglamalarga qo'yib noma'lum zo'riqishlarni topamiz: $N_1 = 349 \text{ N}$, $N_2 = -345 \text{ N}$, $N_3 = 141 \text{ N}$.

1. Endi M tugunga qo'yilgan kuchlar sistemasi muvozanatini tekshiramiz. Bu tugunga $\vec{Q}$ kuch va sterjenlarning $\vec{N}_2'$, $\vec{N}_4$, $\vec{N}_5$, $\vec{N}_6$ zo'riqish kuchlari ta'sir qiladi. Ta'sirga aks ta'sir qonuniga ko'ra $\vec{N}_2'$ kuch $\vec{N}_2$ kuchga qarama-qarshi yo'nalgan, miqdorlari esa o'zaro teng: $\vec{N}_2' = -\vec{N}_2$, $N_2' = N_2$

Muvozanat tenglamalarini tuzamiz:

$$\sum F_{kx} = 0, \quad Q \cos \alpha_2 - N_2 \sin \psi - N_4 - N_5 \sin \delta \sin \psi = 0 \quad (4)$$

$$\sum F_{ky} = 0, \quad Q \cos \beta_2 + N_2 \cos \psi + N_5 \sin \delta \cos \psi = 0 \quad (5)$$

$$\sum F_{kz} = 0, \quad Q \cos \gamma_2 - N_5 \cos \delta - N_6 = 0 \quad (6)$$

(4) va (5) tenglamalarda qatnashayotgan $\vec{N}_5$ kuchning x va y o'qlaridagi proyeksiyalarini hisoblashda, avvalo uni xOy tekisligiga proyeksiyalab (miqdori $N_5' = N_5 \sin \delta$) so'ngra bu proyeksiyani x va y o'qlariga proyeksiyasini olish qulayroq bo'ladi. (4) va (5), (6) tenglamalar sistemasini $N_2' = N_2 = -345 N$ ekanligini hisobga olgan holda yechib, N_4 , N_5 , N_6 zo'riqishlarni aniqlaymiz.

Javob: $N_1 = 349 N$, $N_2 = -345 N$, $N_3 = 141 N$, $N_4 = 50 N$,

$N_5 = 329 N$, $N_6 = -66 N$.

Ishoralardan ma'lum bo'ladiki 2 va 6 sterjenlar siqilgan, boshqalari esa cho'zilishga ishlayapti.

Mavzu: Parallel kuchlar markazi, qattiq jismning og'irlik markazini aniqlashga masalalar.

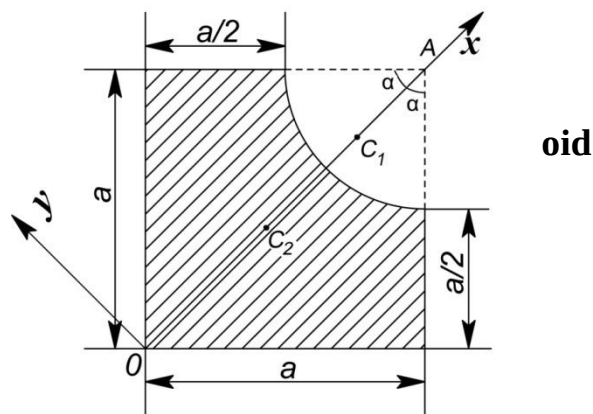
1-masala. Rasmda tasvirlangan jism yuzasining og'irlik markazining koordinatalari topilsin.

Yechish. Masalada jism yuzasining bir qismi qirqib tashlangan. Bunday jism yuzasining og'irlik markazi manfiy yuzani qo'shish usuli bilan aniqlanadi. Jismni qirqilmagan to'g'ri burchakli to'rtburchak va undan qirqib olingan doira sektoridan iborat deb qarash lozim. Bunda qirqilgan bo'lak yuzasi shartli ravishda manfiy ishora bilan olinadi. Buni e'tiborga olsak

$$x_1 = OA - x_{c1} = a\sqrt{2} - \frac{2}{3}R \frac{\sin \alpha}{\alpha} = a\sqrt{2}\left(1 - \frac{2}{3\pi}\right).$$

Bu ifodada: R -doiraviy sektor radiusi, 2α -markaziy burchak, $\alpha = \pi/4 = 45^\circ$.

To'g'ri burchakli to'rtburchak og'irlik markazining koordinatasi quyidagiga teng bo'ladi:



$$x_{c2} = \frac{OA}{2} = \frac{a\sqrt{2}}{2};$$

Ox o'qi doiraviy sektor va to'g'ri burchakli to'rtburchak simmetriya o'qi bo'lganligi uchun $y_1=0$, $y_2=0$.

Shuning uchun jism yuzasi og'irlik markazining koordinatasi quyidagi formula asosida aniqlanadi.

$$x_2 = \frac{S_2 x_2 - S_1 x_1}{S_2 - S_1}.$$

Agar $S_2 = a^2$, $S_1 = \frac{\pi a^2}{16}$ ekanligini e'tiborga olsak,

$$x_c = \frac{a^3 \sqrt{2} - \pi a^3 \sqrt{2} \left(1 - \frac{2}{3\pi}\right) / 16}{-\pi a^2 / 16 + a^2} = 0,61a.$$

2-masala. Stul ko'rinishidagi jism og'irlik markazining koordinatalari topilsin. Bu jism bir xil uzunlik va bir xil og'irlikdagi sterjenlardan tuzilgan. Sterjenlarning uzunligi 44 sm.

Yechish. Agar $\ell_1 = \ell_2 = \dots \ell_{11} = \ell$ ekanligini e'tiborga olsak, stul ko'rinishidagi jism og'irlik markazining koordinatalari quyidagi formulalar asosida topiladi:

$$x_c = \frac{\sum \ell_i \cdot x_i}{\sum \ell_i} = \frac{\ell \sum x_i}{11 \cdot \ell} = \frac{1}{11} \sum x_i, \quad (1)$$

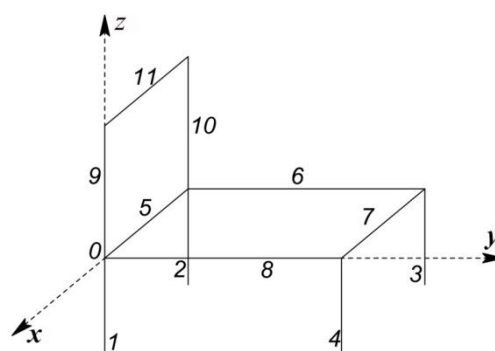
$$y_c = \frac{\sum \ell_i \cdot y_i}{\sum \ell_i} = \frac{\ell \sum y_i}{11 \cdot \ell} = \frac{1}{11} \sum y_i, \quad (2)$$

$$z_c = \frac{\sum \ell_i \cdot z_i}{\sum \ell_i} = \frac{\ell \sum z_i}{11 \cdot \ell} = \frac{1}{11} \sum z_i. \quad (3)$$

Bu ifodalarda x_i, y_i, z_i — lar i sterjen og'irlik markazining koordinatalari.

Koordinata o'qlarini rasmdagidek o'tkazib, sterjenlar og'irlik markazining koordinatalarini aniqlaymiz va quyidagi jadvalni to'ldiramiz:

T.r.	Sterjenlarning uzunligi, ℓ_i (sm)	Sterjenlar og'irlik markazi koordinatalari (sm)		
1	44	$x_1 = 0$	$y_1 = 0$	$z_1 = -22$
2	44	$x_2 = -44$	$y_2 = 0$	$z_2 = -22$
3	44	$x_3 = -44$	$y_3 = 44$	$z_3 = -22$
4	44	$x_4 = 0$	$y_4 = 44$	$z_4 = -22$
5	44	$x_5 = -22$	$y_5 = 0$	$z_5 = 0$
6	44	$x_6 = -44$	$y_6 = 22$	$z_6 = 0$
7	44	$x_7 = -22$	$y_7 = 44$	$z_7 = 0$



8	44	$x_8 = 0$	$y_8 = 22$	$z_8 = 0$
9	44	$x_9 = 0$	$y_9 = 0$	$z_9 = 22$
10	44	$x_{10} = -44$	$y_{10} = 0$	$z_{10} = 22$
11	44	$x_{11} = -22$	$y_{11} = 0$	$z_{11} = 44$
Ja'mi		-242	176	0

Jadval va (1), (2), (3) formulalardan foydalanib, stul ko'rinishidagi jism og'irlik markazining koordinatalarini aniqlaymiz:

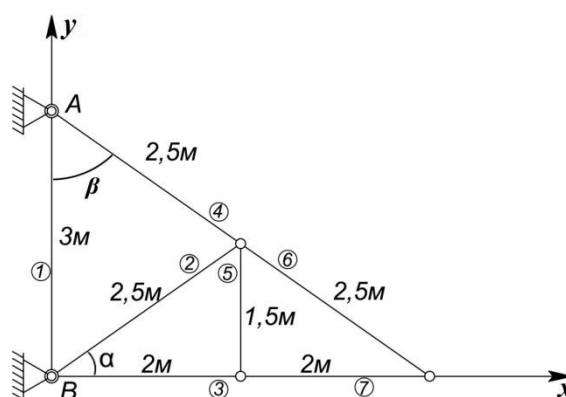
$$x_c = \frac{1}{11} \sum x_i = \frac{-242}{11} = -22 \text{ sm},$$

$$y_c = \frac{1}{11} \sum y_i = \frac{176}{11} = 16 \text{ sm},$$

$$z_c = \frac{1}{11} \sum z_i = \frac{0}{11} = 0.$$

3-masala. Tekis ferma og'irlik markazining koordinatalari topilsin: ferma ettita sterjendan tuzilgan bo'lib, ularning uzunliklari rasmda ko'rsatilgan. Hamma sterjenlar har bir metrining og'irligi bir xil.

Yechish. Tekis ferma og'irlik markazining koordinatalari quyidagi formulalar asosida aniqlanadi:



$$x_c = \frac{\sum \ell_i \cdot x_i}{\sum \ell_i}; \quad (1)$$

$$y_c = \frac{\sum \ell_i \cdot y_i}{\sum \ell_i}; \quad (2)$$

bunda ℓ_i ferma i sterjenining uzunligi, x_i , y_i lar esa uning og'irlik markazining koordinatalari.

Koordinata o'qlarini rasmdagidek o'tkazib, ferma sterjenlarining og'irlik markazining koordinatalarini aniqlaymiz va quyidagi jadvalni to'ldiramiz:

T.r	Sterjenlar uzunligi ℓ_i (m)	x_i (m)	y_i (m)	$\ell_i x_i$	$\ell_i y_i$
1	3,0	0	1,5	0	4,5
2	2,5	$1,25 \cdot \cos \alpha = 1$	$1,25 \cdot \sin \alpha = 0,75$	2,5	18,8
3	2,0	1	0	2,0	0
4	2,5	$1,25 \cdot \sin \beta = 1$	$3 - 1,25 \cos \beta = 2,25$	2,5	5,63
5	1,5	2,0	0,75	3	1,13
6	2,5	$4 - 1,25 \cos \alpha = 3$	$1,25 \cdot \sin \alpha = 0,75$	7,5	1,88
7	2,0	3	0	6	0
	16			23,5	15,02

Jadvaldan foydalanib tekis ferma og'irlik markazining koordinatalarini aniqlaymiz:

$$x_c = \frac{\sum \ell_i \cdot x_i}{\sum \ell_i} = \frac{23,5}{16} = 1,47 \text{ m},$$

$$y_c = \frac{\sum \ell_i \cdot y_i}{\sum \ell_i} = \frac{15,02}{16} = 0,94 \text{ m}.$$

Mavzu: Berilgan harakat tenglamalari bo'yicha nuqtaning trayektoriyasi, tezlik va tezlanishini topish.

1-masala. Nuqtaning tekislikdagi harakat qonuni berilgan:

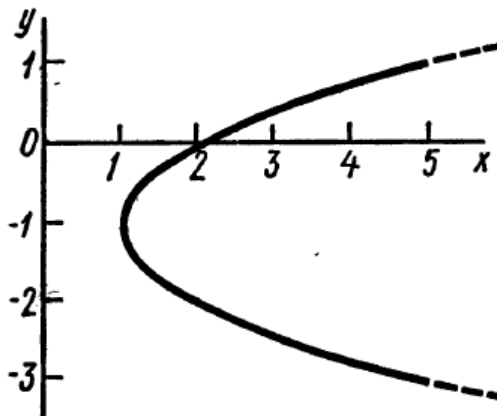
$$x = -2 \cos\left(\frac{\pi}{4}t\right) + 3, \quad y = 2 \sin\left(\frac{\pi}{8}t\right) - 1$$

(x va y – santimetrlarda, t – sekundda berilgan). Nuqtaning trayektoriya tenglamasini, $t_1=1s$ vaqtdagi tezligi va tezlanishini, hamda urinma va normal tezlanishlarini, trayektoriyaning egrilik radiusi aniqlansin.

Yechish: 1. Nuqta

trayektoriyasining tenglamasini aniqlash uchun berilgan harakat tenglamalaridan t vaqtni chiqaramiz.

Misolimizda t trigonometrik funksiya argumentiga kirganligi va bir argument ikkinchisiga nisbatan ikki barobar ortiq bo'lgani uchun quyidagi formuladan foydalanamiz:



$$\cos 2\alpha = 1 - 2\sin^2\alpha \quad \text{yoki} \quad \cos\left(\frac{\pi}{4}t\right) = 1 - 2\sin^2\left(\frac{\pi}{8}t\right) \quad (1)$$

Harakat tenglamasidan mos ifodalarni topib (1) tenglikka qo'yamiz.

$$\cos\left(\frac{\pi}{4}t\right) = \frac{3-x}{2}, \quad \sin\left(\frac{\pi}{8}t\right) = \frac{y+1}{2} \quad \text{demak,} \quad \frac{3-x}{2} = 1 - 2\frac{(y+1)^2}{4}$$

Bu yerdan nuqtaning trayektoriya tenglamasini hosil qilamiz (parabola, *KI a* shakl).

$$x = (y + 1)^2 + 1 \quad (2)$$

2. Nuqta tezligini uning koordinata o'qlaridagi proyeksiyalari orqali topamiz:

$$v_x = \frac{dx}{dt} = \frac{\pi}{2} \sin\left(\frac{\pi}{4}t\right);$$

$$v_y = \frac{dy}{dt} = \frac{\pi}{4} \cos\left(\frac{\pi}{8}t\right); \quad v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \quad t_1 = 1 \text{ s} \quad \text{vaqtda}$$

$$v_{1x} = 1,11 \text{ sm/s}, \quad v_{1y} = 0,73 \text{ sm/s}, \quad v = 1,33 \text{ sm/s}, \quad (3)$$

3. Huddi shu usulda nuqta tezlanishini topiladi:

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{\pi^2}{8} \cos\left(\frac{\pi}{4}t\right);$$

$$a_y = \frac{dv_y}{dt} = -\frac{\pi^2}{32} \sin\left(\frac{\pi}{8}t\right); \quad a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} \quad t = 1 \text{ s} \quad \text{vaqtda}$$

$$a_{1x} = 0,87 \text{ sm/s}^2, \quad a_{1y} = -0,12 \text{ sm/s}^2, \quad a_1 = 0,88 \text{ sm/s}^2 \quad (4)$$

4. Urinma tezlanish $v^2 = v_x^2 + v_y^2$ tenglikni differensiallab topiladi:

$$2v \frac{dv}{dt} = 2v_x \frac{dv_x}{dt} + 2v_y \frac{dv_y}{dt} \quad \text{yoki} \quad a_\tau = \frac{dv}{dt} = \frac{v_x a_x + v_y a_y}{v} \quad (5)$$

(5) tenglikning o'ng tomoniga kiruvchi barcha kattaliklar (3) va (4) tengliklardan topiladi.

$$\text{Natijada } t_1 = 1 \text{ s} \text{ da} \quad a_{1\tau} = 0,66 \text{ sm/s}^2$$

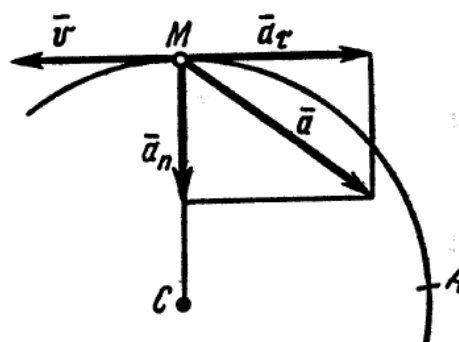
5. Nuqtaning normal tezlanishini $a_n = \sqrt{a^2 - a_\tau^2}$ formuladan topiladi. Bu yerga a_1 va $a_{1\tau}$ larning qiymatlarini qo'yib $a_{1n} = 0,58 \text{ sm/s}^2$ ni aniqlaymiz.

6. Nuqtaning egrilik radiusi $\rho = \frac{v^2}{a_n}$. Bu tenglikka v_1 va a_{1n} larning miqdorlarini qo'ysak, $t=1 \text{ s}$ vaqt uchun $\rho_1 = 3,05 \text{ sm}$ bo'ladi.

Javob:

$$v_1 =$$

$$1,33 \text{ sm/s}, \quad a_1 = 0,88 \text{ sm/s}^2 \quad a_{1\tau} =$$



$$0,66 \text{ sm/s}^2$$

$$a_{1n} = 0,58 \text{ sm/s}^2 \quad \rho_1 = 3,05 \text{ sm}.$$

2-masala. Nuqta radiusi $R = 2 \text{ m}$ bo'lgan aylana yoyi bo'ylab $s = 2 \sin\left(\frac{\pi}{4}t\right)$ qonun bo'yicha harakatlanmoqda (s - metrda, t - sekundda), bu yerda $s = \widehat{BM}$. Nuqtaning $t_1 = 1 \text{ s}$ vaqtdagi tezligi va tezlanishini toping.

Yechish: Nuqta tezligini topamiz:

$$v = \frac{ds}{dt} = \frac{\pi}{2} \cos\left(\frac{\pi}{4}t\right); \quad t_1 = 1 \text{ s} \quad \text{vaqtda} \quad v_1 = \pi\sqrt{2/4} = 1,11 \text{ m/s};$$

Tezlanishni uning urinma va normal tashkil etuvchilari orqali topamiz:

$$a_\tau = \frac{dv}{dt} = -\frac{\pi^2}{8} \sin\left(\frac{\pi}{4}t\right), \quad a_n = \frac{v^2}{\rho} = \frac{v^2}{R} \quad t_1 = 1 \text{ s} \quad \text{va} \quad R = 2 \text{ m}$$

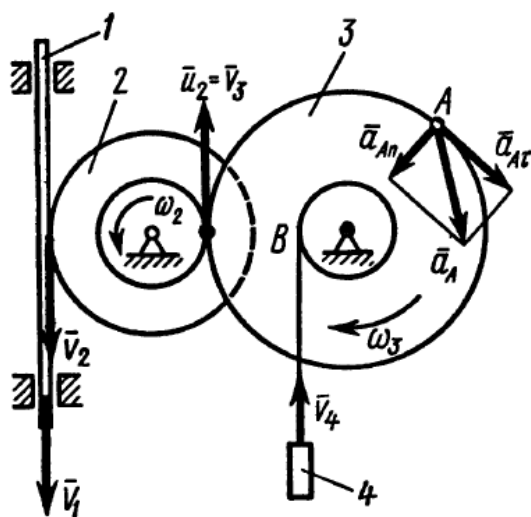
ekanini hisobga olsak,

$a_{1\tau} = -\pi^2\sqrt{2}/16 = 0,87 \text{ m/s}^2$, $a_n = v_1^2/2 = \pi^2/16 = 0,62 \text{ m/s}^2$ u holda nuqtaning $t_1 = 1 \text{ s}$ vaqtdagi tezlanishi $a_1 = \sqrt{a_{1\tau}^2 + a_{1n}^2} = \pi^2\sqrt{3}/16 = 1,07 \text{ m/s}^2$ ga teng bo'ladi. Shaklda nuqta B nuqtadan harakatini boshlanishini hisobga olib, $\vec{v}_1$ va $\vec{a}_1$ tezlanishlarni ishorasiga qarab qo'yamiz.

Mavzu: Qattiq jismning qo'zg'almas o'q atrifida aylanishi va aylanma harakatdagi jism nuqtasining tezlik va tezlanishini topishga oid masalalar.

1-masala. 1-tishli reyka, radiuslari r_2 va R_2 bo'lgan 2-pog'onali g'ildirak, radiusi r_3 bo'lgan val bilan qo'zg'almas qilib biriktirilgan radiusi R_3 bo'lgan g'ildiraklar bir-birlari bilan tishlashgan. Valga o'ralgan ipga 4 - yuk osilgan. Tishli reyka $s_1 = f(t)$ qonun bo'yicha harakat qiladi.

Berilgan: $R_2 = 6 \text{ sm}$, $r_2 = 4 \text{ sm}$, $R_3 = 8 \text{ sm}$, $r_3 = 3 \text{ sm}$, $s_1 = 3t^3$ (s -santimetrlarda, t -sekundda), $t_1 = 3 \text{ s}$, A nuqta 3-g'ildirak to'g'rida joylashgan.



Topish kerak: $\omega_3, v_4, \varepsilon_3, a_2$ kattaliklarning $t = t_1$ vaqtdagi qiymatini.

Yechish: G'ildiraklarning tashqi pog'onalarining to'g'ridagi (radiusi R_i) nuqtalarning tezligini v_i ichki pog'onalarining to'g'ridagi (radiusi r_i) nuqtalarning tezligini u_i bilan belgilaymiz.

1. Barcha g'ildiraklarning burchak tezliklarini t vaqtning funksiyasi sifatida aniqlaymiz, 1 reykaning harakat qonuni berilgani uchun, uning tezligini topamiz:

$$v_1 = \frac{ds_1}{dt} = 9t^2 \quad (1)$$

Reyka bilan 2-g'ildirak tishlashgani uchun $v_2 = v_1$ yoki $v_1 = \omega_2 R_2$ Ikkinchi tomondan 2 va 3-g'ildiraklar ham tishlashganligi uchun $u_2 = v_3$ yoki $\omega_2 r_2 = \omega_3 R_3$. Bu tengliklardan quyidagilarni topamiz:

$$\omega_2 = \frac{v_1}{R_2} = \frac{3}{2}t^2, \quad \omega_3 = \frac{r_2}{R_3}\omega_2 = \frac{3}{4}t^2 \quad (2) \quad t_1 = 3s \quad \text{vaqt uchun} \quad \omega_3 = 6,75 s^{-1}$$

hosil qilamiz.

2. v_4 ni aniqlaymiz. $v_4 = v_B = \omega_3 r_3$ bo'lgani uchun $t = 3s$ da $v_4 = 20,25 \frac{m}{s}$.

3. ε_3 ni aniqlaymiz. (2) tenglamadan foydalanib ε_3 ni topamiz:

$$\varepsilon_3 = \frac{d\omega_3}{dt} = 1,5t, \quad t_1 = 3s \text{ da } \varepsilon_3 = 4,5 s^{-2}.$$

4. a_A ni aniqlash. A nuqta aylanma harakatda bo'lgani uchun

$\vec{a}_A = \vec{a}_{A\tau} + \vec{a}_{An}$ bu yerda $a_{A\tau} = R_3 \varepsilon_3$, $a_{An} = R_3 \omega_3^2$ u holda $t = 3s$ vaqt uchun:

$$a_{A\tau} = 36 sm/s^2; a_{An} = 364,5 sm/s^2; a_A = \sqrt{a_{A\tau}^2 + a_{An}^2} = 366,3 sm/s^2$$

Shaklda barcha nuqtalarning tezlik va tezlanishlari hamda g'ildiraklarning burchak tezliklarining yo'nalishi ko'rsatilgan.

Javob: $\omega_3 = 6,75 s^{-1}$; $v_4 = 20,25 sm/s$; $\varepsilon_3 = 4,5 s^{-2}$; $a_A = 366,3 sm/s^2$;

2-masala. Tekis aylanma harakatda bo'lgan shkivning burchak tezligi $n = 1200 \text{ayl/min}$, uning radiusi $R = 0,3m$. Shkivning burchak tezligi ω va gardishida yotgan M nuqtasining tezligi va tezlanishi aniqlansin.

Yechish: Tekis aylanma harakat burchak tezligi n va jismning burchak tezligi ω lar quyidagi formula orqali o'zaro bog'langan

$$\omega = \frac{\pi n}{30}. \quad (2.1)$$

Shuning uchun, $\omega = \frac{3,14 \cdot 1200}{30} = 125,6 \text{ rad/s}$.

Shkiv gardishidagi M nuqtaning chiziqli tezligi quyidagi formula asosida aniqlanadi:

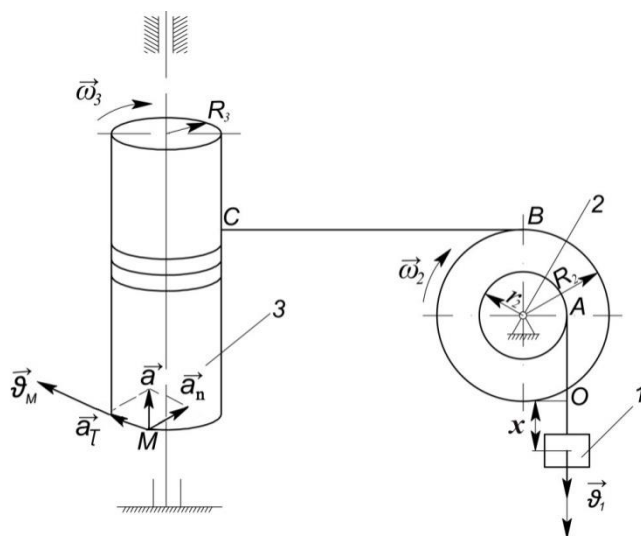
$$v = R \cdot \omega = 0,3 \cdot 125,6 = 37,7 \text{ m/s.} \quad (2.2)$$

jism

Tekis aylanma harakatda nuqtasining urinma tezlanishi $a_\tau = 0$ bo'lgani uchun, nuqtaning to'la tezlanishi quyidagiga teng bo'ladi:

$$a = a_n = R \cdot \omega^2 = 0,3 \cdot (125,6)^2 = 4732,6 \text{ m/s}^2.$$

3-Masala. 1-jismning harakat tenglamasi $x = 10 + 30t^2$ ga ko'ra, uning vertikal o'q bo'ylab, $s = 0,3\text{m}$ yo'lni o'tgan momentida, 3 jism M nuqtasining tezligi, urinma, normal va to'la tezlanishi topilsin.



vaqt

Shkiv va tsilindr o'lchamlari quyidagicha: $R_2 = 30 \text{ sm}$, $r_2 = 20 \text{ sm}$, $R_3 = 30 \text{ sm}$.

Yechish: Birinchi jismning $s = 0,3\text{m} = 30 \text{ sm}$ yo'lni o'tish vaqti τ ni topamiz:

$$s = x_{t=\tau} - x_{t=0} = 10 + 30\tau^2 - -10 = 30\tau^2. \quad (2.3)$$

Bundan,

$$\tau = \sqrt{s/30} = \sqrt{30/30} = 1 \text{ s.}$$

Birinchi jism tezligini aniqlash uchun uning harakat tenglamasidan vaqt bo'yicha birinchi tartibli hosila hisoblaymiz:

$$v_1 = \frac{dx}{dt} = (10 + 30t^2)' = 60t.$$

Agar birinchi jism osilgan, hamda 2- va 3- jismlarni biriktiruvchi tasmalarni cho'zilmaydi deb olsak, $\vec{v}_A = \vec{v}_1$ bo'ladi. U vaqtda

2- jismning burchak tezligi

$$\omega_2 = \frac{v_A}{r_2} = \frac{v_1}{r_2} = \frac{60t}{20} = 3t \text{ bo'ladi.} \quad (2.4)$$

Bu jism B nuqtasining tezligi:

$$v_B = \omega_2 \cdot R_2 = 3t \cdot 30 = 90t.$$

BC tasmani ham cho'zilmaydi, deb olsak,

$$v_B = v_C = 90t \text{ bo'ladi.}$$

Bu holatda 3-jismning burchak tezligi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\omega_3 = \frac{v_C}{R_3} = \frac{90t}{30} = 3t \frac{1}{s}. \quad (2.5)$$

3-jismning burchak tezlanishi esa uning burchak tezligidan vaqt bo'yicha hisoblangan birinchi tartibli hosilaga teng:

$$\varepsilon_3 = \frac{d\omega_3}{dt} = (3t)' = 3 \frac{1}{s^2} \quad (2.6)$$

M va C nuqtalar tsilindrning sirtida, ya'ni aylanish o'qidan bir xil masofada yotganligi uchun, ularning tezliklari, urinma, normal va to'la tezlanishlari o'zaro teng bo'ladi. Shuning uchun:

$$v_M = v_C = \omega_3 \cdot R_3 = 3t \cdot 30 = 90t,$$

$$a_\tau = \varepsilon_3 R_3 = 3 \cdot 30 = 90,$$

$$v_n = \omega_3^2 \cdot R_3 = 9t^2 \cdot 30 = 270t^2,$$

$$a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2} = \sqrt{90^2 + (270t^2)^2} = \sqrt{8100 + 72900t^4}.$$

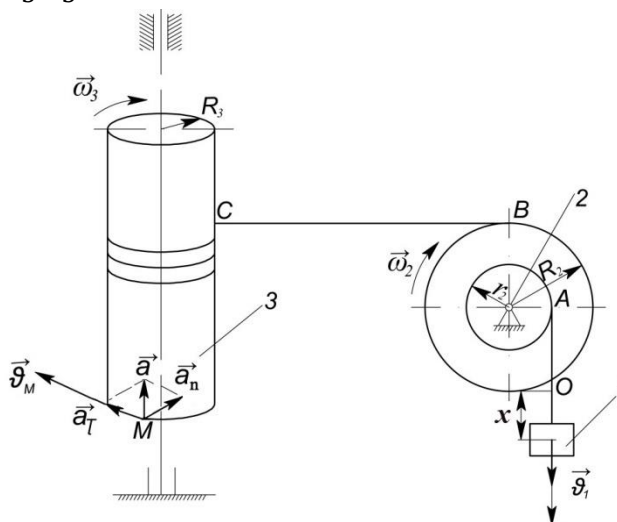
$t = \tau = 1$ sekunda:

$$v_M = 90 \cdot 1 = 90 \text{ sm/s},$$

$$a_\tau = 90 \text{ sm/s}^2,$$

$$a_n = 270 \cdot 1 = 270 \text{ sm/s},$$

$$a = \sqrt{8100 + 72900} = 284,6 \text{ sm/s}^2.$$

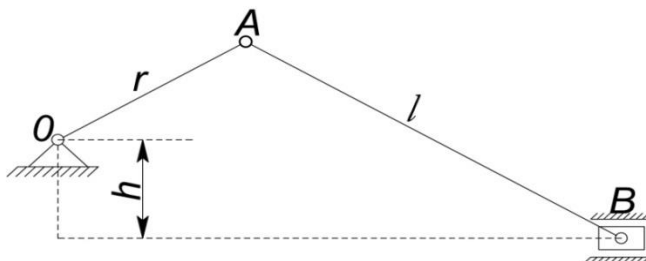


M nuqtaning tezligi, urinma, normal va to'la tezlanishi (rasmda ko'rsatilgan).

Mavzu: Qattiq jismning tekis parallel harakatiga oid masalalar

1-masala. O val atrofida $\omega = 1,5 \text{ rad/s}$ burchak tezlik bilan aylanuvchi krivoshipning ikkita gorizontaal va ikkita vertikal holatida, markaziy bo'lmagan krivoship mexanizmi B polzuni tezligining qancha bo'lishi topilsin; $OA = 40 \text{ sm}$, $AB = 200 \text{ sm}$

Yechish:

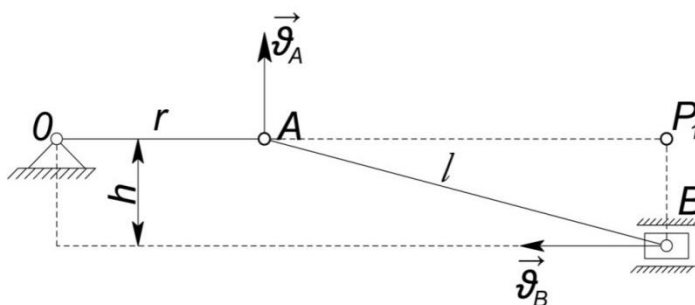


1. Krivoshipning birinchi gorizontaal holatida B polzunning tezligini qancha bo'lishini aniqlaymiz.

Krivoship

A

nuqtasining tezligi:



$\vec{v}_A = \omega \cdot OA = 1,5 \cdot 40 = 60 \text{ sm/s}$; $\vec{v}_A \perp OA$ polzun tezligini aniqlash uchun, AB shatun nuqtalari tezliklarining oniy markazini aniqlaymiz. Buning uchun $\vec{v}_A$ va $\vec{v}_B$ yo'nalishlariga perpendikulyar chiziqlar o'tkazib, ularning kesishish nuqtasi P_1 ni topamiz. P_1 nuqta AB shatun nuqtalari tezliklarining oniy markazini ifodalaydi. P_1 nuqta qutb sifatida qabul qilinsa, krivoship A nuqtasining tezligi quyidagicha yoziladi:

$$v_A = \omega_{AB} \cdot AP_1.$$

Bundan,

$$\omega_{AB} = \frac{v_A}{AP_1}.$$

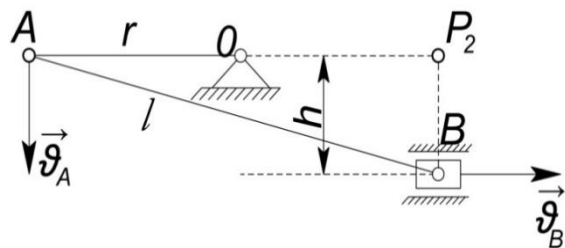
Bunday holda,

$$v_B = \omega_{AB} \cdot BP_1.$$

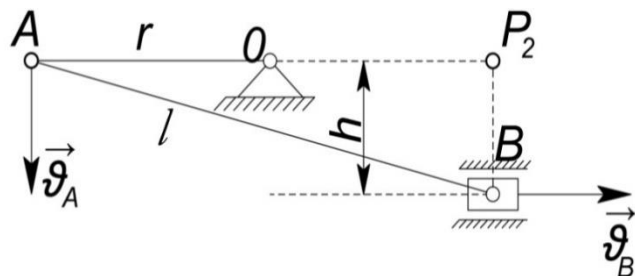
Agar $BP_1 = h$ ekanligini e'tiborga olsak:

$$v_{B_1} = \frac{v_A}{AP_1} \cdot h = \frac{60}{\sqrt{\ell^2 - n^2}} \cdot h = 6,03 \text{ sm/s}.$$

2. Xuddi shunday mulohazalar asosida, krivoshipning ikkinchi gorizontol holatida B polzunning tezligini aniqlaymiz. Rasmdan ko'rinib turibdiki, krivoshipning ikkinchi gorizontol holatida polzun tezligining miqdori gorizontol holatidagi tezligiga teng bo'lar ekan:



ham B
1



$$v_{B_2} = v_{B_1} = 6,03 \text{ sm/s}.$$

3. Yuqorida keltirilgan mulohazalar asosida, krivoshipning birinchi vertikal holatida B polzun tezligining miqdorini aniqlaymiz.

Krivoshipning bunday vertikal holatida B polzun tezligining miqdori krivoship A nuqtasining tezligiga teng

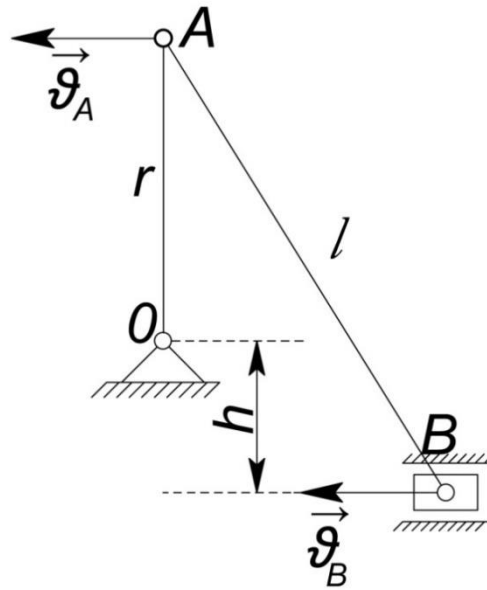
$$\vec{v}_{B_3} = \vec{v}_A = 60 \text{ sm/s}.$$

Chunki krivoshipning bunday holatida AB polzun oniy ilgarilanma harakatda bo'ladi:

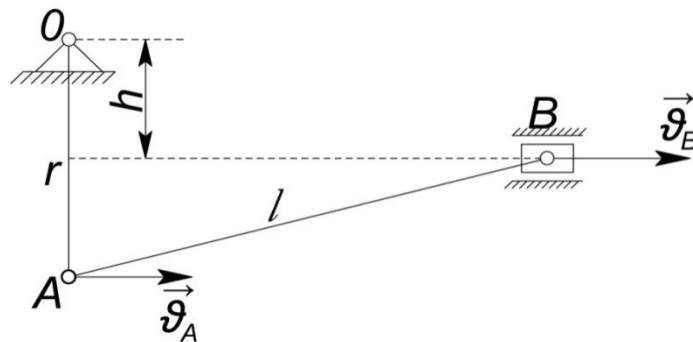
$$AP_3 = \infty, \quad \omega_{AB} = \frac{v_A}{AP_3} = 0.$$

1.Xuddi shunday hol krivoshipning ikkinchi vertikal holatida ham yuzaga keladi.

Shuning uchun bu holatda ham:



bo'ladi:



$$AP_3 = \infty, \quad \omega_{AB} = 0, \quad v_{B_4} = v_{B_3} = 60 \text{ sm/s}.$$

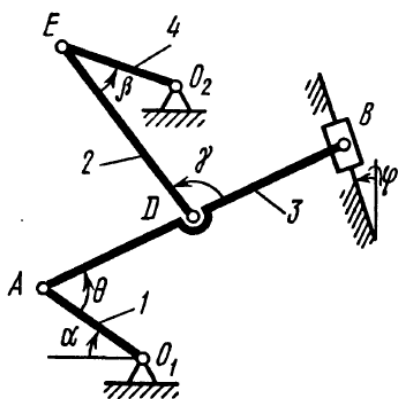
2-masala. Mexanizm (a shakl) 1,2,3,4-sterjenlardan va B polzundan iborat bo'lib, ular bir-birlari va qo'zg'almas O_1 va O_2 tayanchlar bilan sharnirlar yordamida tutashtirilgan.

Berilgan: $\alpha = 60^\circ$, $\beta = 150^\circ$, $\gamma = 90^\circ$, $\varphi = 30^\circ$, $\theta = 30^\circ$,

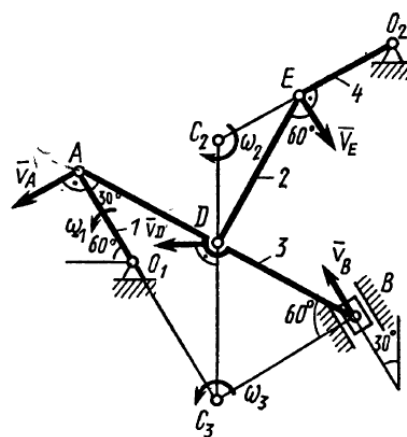
$AD = DB$, $l_1 = 0,4 \text{ m}$, $l_2 = 1,2 \text{ m}$, $l_3 = 1,4 \text{ m}$, $\omega_1 = 2 \text{ s}^{-1}$, $\varepsilon_1 = 7 \text{ s}^{-2}$.

(ω_1 va ε_1 yo'nalishi soat strelkasiga teskari yo'nalishda)

Topish kerak: v_B , v_E , ω_2 , a_B , ε_3



a shakl



b shakl

Yechish:

1. Mexanizm holatini berilgan burchaklar asosida quramiz (b shakl, shu shaklda barcha tezlik vektorlarini tasvirlaymiz).
2. v_B ni aniqlash. B nuqta AB sterjenga tegishli. B nuqtaning v_B tezligini topish uchun sterjen biror nuqtasining tezligi va $\vec{v}_B$ ning yo'nalishini bilishimiz kerak. Masala shartlariga ko'ra, ω_1 yo'nalishini hisobga olgan holda $\vec{v}_A$ ning miqdori va yo'nalishini topish mumkin:

$$v_A = \omega_1 l_1 = 0,8 \text{ m/s} \quad \vec{v}_A \perp O_1A \quad (1)$$

$\vec{v}_B$ tezlik yo'nalishini B nuqta bir paytni o'zida ilgarilanma harakat qiluvchi polzunga ham tegishli ekanini hisobga olib topamiz.

$\vec{v}_A$ va $\vec{v}_B$ tezliklarning yo'nalishini topib, endi ikki nuqta tezliklarini (AB sterjen) shu nuqtalarni tutashtiruvchi to'g'ri chiziqqa (AB chiziqqa) proyeksiyalarining tengligi haqidagi teoremani qo'llaymiz. Oldin bu teoremadan foydalanib $\vec{v}_B$ tezlik yo'nalishini topamiz. (tezliklarning proyeksiyalari bir xil ishoraga ega bo'lishi kerak). So'ngra bu proyeksiyalarni hisoblasak:

$$v_B \cos 30^\circ = v_A \cos 60^\circ \quad \text{va} \quad v_B = 0,46 \text{ m/s} \quad (2)$$

3. $\vec{v}_E$ ni aniqlash. E nuqta DE sterjenga tegishli. Demak, oldingiga o'xshash, $\vec{v}_E$ ni aniqlash uchun oldin ham AB sterjenga, ham DE sterjenga tegishli D nuqta tezligini topishimiz kerak. Buning uchun $\vec{v}_A$ va $\vec{v}_B$ ni bilgan holda AB sterjenning tezliklar oniy markazi C_3 ni aniqlaymiz, bu nuqta $\vec{v}_A$ va $\vec{v}_B$ tezliklarga o'tkazilgan perpendikulyarlar kesishgan nuqtadir. Tezlik vektorining yo'nalishiga ko'ra AB

sterjenning C_3 tezliklari oniy markazi atrofida aylanish yo'nalishini topamiz. $\vec{v}_D$ vektor C_3 va D nuqtalarni tutashtiruvchi to'g'ri chiziqqa perpendikulyar bo'lib, sterjen aylanishi tomonga yo'nalgan, miqdorini quyidagi mutanosiblikdan aniqlaymiz:

$$\frac{v_D}{C_3D} = \frac{v_B}{C_3B} \quad (3)$$

C_3D va C_3B masofalarni topish uchun ΔAC_3B –to'g'ri burchakli uchburchakdan foydalanamiz:

$C_3B = AB \sin 30^\circ = 0,5 AB = BD$ u holda ΔBC_3D teng tomonli uchburchak bo'ladi va $C_3B = C_3D$. Natijada (3) tenglikdan

$$v_D = v_B = 0,46 \text{ m/s}, \quad \vec{v}_D \perp C_3D \quad (4)$$

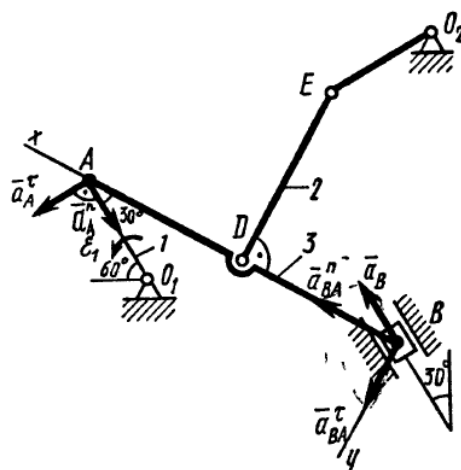
hosil bo'ladi.

E nuqta bir paytning o'zida O_2 nuqta atrofida aylanuvchi O_2E sterjenga tegishli bo'lgani uchun $\vec{v}_E \perp O_2E$. U holda D va E nuqtalardan $\vec{v}_D$ va $\vec{v}_E$ tezlik vektorlariga perpendikulyarlar o'tkazib, DE sterjenning C_2 tezliklar oniy markazini topamiz. $\vec{v}_D$ tezlik yo'nalishiga ko'ra DE sterjenning S_2 markaz atrofida aylanish yo'nalishini aniqlaymiz. $\vec{v}_E$ vektor shu sterjen aylanish yo'nalishida bo'ladi. $K3b$ shakldan $\angle C_2ED = \angle C_2DE = 30^\circ$, bu yerda $C_2E = C_2D$. Yana proporsiya tuzib, v_E ni topamiz.

$$\frac{v_E}{C_2E} = \frac{v_D}{C_2D}, \quad v_E = v_D = 0,46 \text{ m/s} \quad (5)$$

4. ω_2 ni aniqlash. A sterjenning tezliklar oniy markazi C_2 nuqtaning ma'lumligidan va $C_2D = l_2 / (2 \cos 30^\circ) = 0,69 \text{ m}$ bo'lgani uchun,

$$\omega_2 = \frac{v_D}{C_2D} = 0,67 \text{ s}^{-1} \quad (6)$$



c shakl

5. $\vec{a}_B$ ni aniqlash. (c shakl, bu shaklda barcha tezlanish vektorlarini tasvirlaymiz). B nuqta AB sterjenga tegishli. $\vec{a}_B$ ni topish uchun AB sterjen biror nuqtasining tezlanishini va B nuqta tezlanishi yo'nalishini bilishimiz kerak. Masala shartiga ko'ra $\vec{a}_A$ ni topa olamiz:

$$\vec{a}_A = \vec{a}_A^\tau + \vec{a}_A^n;$$

bu yerda miqdor jihatidan

$$a_A^\tau = \varepsilon_1 l_1 = 2,8 \text{ m/s}^2; \quad a_A^n = \omega_1^2 l_1 = 1,6 \text{ m/s}^2; \quad (7)$$

$\vec{a}_A^n$ vektor AO_1 bo'ylab, $\vec{a}_A^\tau$ esa AO_1 ga perpendikulyar yo'nalgan, bu vektorlarni shaklda ko'rsatamiz (c shakl). B nuqta bir paytning o'zida polzunga ham tegishli bo'lgani uchun, $\vec{a}_B$ vektor yo'nalishi shu polzun harakati yo'nalishida bo'ladi. $\vec{a}_B$ vektorni shaklda $\vec{v}_B$ yo'nalishida deb faraz qilib yo'naltiramiz. $\vec{a}_B$ ni aniqlash uchun quyidagi vektor tenglikdan foydalanamiz:

$$\vec{a}_B = \vec{a}_A^\tau + \vec{a}_A^n + \vec{a}_{BA}^\tau + \vec{a}_{BA}^n \quad (8)$$

Shaklda $\vec{a}_{BA}^n$ (B dan A ga qarab BA bo'ylab yo'nalgan) va $\vec{a}_{BA}^\tau$ (BA ga perpendikulyar qilib ixtiyoriy tomonga) vektorlarni tasvirlaymiz. Miqdor hatidan $a_{BA}^n = \omega_3^2 l_3$ ga teng. 3 sterjen tezliklar oniy markazi C_3 orqali uning ω_3 burchak tezligini topamiz:

$$\omega_3 = \frac{v_A}{C_3 A} = \frac{v_A}{l_3 \cos 30^\circ} = 0,66 \text{ s}^{-1} \quad \text{va} \quad a_{BA}^n = 0,61 \text{ m/s}^2 \quad (9)$$

Shunday qilib, (8) vektor tenglikka kirgan kattaliklardan faqat a_B va a_{BA}^τ nigina miqdori noaniq qoldi, ularning miqdorini (8) tenglikni ikkita o'qqa proyeksiyalab topish mumkin.

a_B ni topish uchun (8) tenglikni ikkita tomoni noma'lum $\vec{a}_{BA}^\tau$ vektor yo'nalishiga perpendikulyar bo'lgan BA yo'nalishga (x o'qiga) proyeksiyalaymiz:

$$a_B \cos 30^\circ = a_A^\tau \cos 60^\circ - a_A^n \cos 30^\circ + a_{BA}^n \quad (10)$$

Bu tenglikka ma'lum miqdorlarni qo'yib, a_B ni aniqlaymiz:

$$a_B = 0,72 \text{ m/s}^2 \quad (11)$$

Bizda $a_B > 0$ bo'lgani uchun, c shaklda ko'rsatilgan $\vec{a}_B$ vektor yo'nalishi haqiqiy yo'nalish ekan.

6. ε_3 ni aniqlash. ε_3 ni aniqlash uchun a_{BA}^τ ni topamiz. Buning uchun (8) vektor tenglikni AB yo'nalishga perpendikulyar yo'nalishga (y o'qqa) proyeksiyalaymiz:

$$-a_B \sin 30^\circ = a_A^\tau \sin 60^\circ + a_A^n \sin 30^\circ + a_{BA}^\tau \quad (12)$$

(12) tenglikka ma'lum miqdorlarni qo'yib a_{BA}^τ ni topamiz: $a_{BA}^\tau = -3,58 \text{ m/s}^2$. Minus ishora $\vec{a}_{BA}^\tau$ vektor $K3c$ shaklda ko'rsatilganiga qarama-qarshi yo'nalishini bildiriladi.

Endi $a_{BA}^\tau = \varepsilon_3 l_3$ tenglikdan $\varepsilon_3 = \frac{|a_{BA}^\tau|}{l_3} = 2,56 \text{ s}^{-2}$

Javob: $v_B = 0,46 \text{ m/s}; \quad v_E = 0,46 \text{ m/s};$

$$\omega_2 = 0,67 \text{ s}^{-1}; \quad a_B = 0,72 \text{ m/s}^2; \quad \varepsilon_3 = 2,56 \text{ s}^{-2};$$

Eslatma: Agar, tezlanishi topilishi kerak bo'lgan B nuqta to'g'ri chiziqli harakat qilmayotgan bo'lsa (masalan $K3.0 - K3.4$ shakllarda B nuqta O_2B radiusli aylana bo'ylab harakatlanadi), u holda $\vec{a}_B$ vektorning yo'nalishi oldindan noma'lum bo'ladi. Bu holda $\vec{a}_B$ vektor ikkita tashkil etuvchiga ajratiladi. ($\vec{a}_B = \vec{a}_B^\tau + \vec{a}_B^n$) va (8) vektor tenglik quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\vec{a}_B^\tau + \vec{a}_B^n = \vec{a}_A^\tau + \vec{a}_A^n + \vec{a}_{BA}^\tau + \vec{a}_{BA}^n \quad (13)$$

$\vec{a}_B^n$ vektor BO_2 bo'ylab yo'nalgan, $\vec{a}_B^\tau$ vektor esa BO_2 ga perpendikulyar (ixtiyoriy tomonga) yo'nalgan bo'ladi. a_A^τ , a_A^n , a_{BA}^n kattaliklarning miqdorlari keltirilgan

misoldagi kabi aniqlanadi (xususiyl holda agar A nuqta ilgarilanma harakat qilayotgan bo'lsa, masala shartiga ko'ra $a_A^T = 0$ yoki $a_A^n = 0$ bo'lishi mumkin).

a_B^n miqdori $a_B^n = v_B^2/\rho = v_B^2/l$ ga teng bo'lib, bu yerda $l = O_2B$ aylananing radiusi. Shundan keyin (13) tenglikda faqat a_B^T va a_{BA}^T noma'lumlar qoladi holos.

Ular keltirilgan misoldagi kabi (13) vektor tenglikni ikkita o'qqa proyeksiyalab topiladi. a_B^T ni topib, $a_B = \sqrt{(a_B^T)^2 + (a_B^n)^2}$ formuladan a_B miqdorni aniqlash mumkin. a_{BA}^T miqdor ε_{AB} ni topish uchun ishlaydi (keltirilgan misoldagi kabi).

Mavzu: Dinamikaning birinchi va ikkinchi masalasiga oid masalalar

1-masala. Erkin m massali moddiy nuqta F kuch ta'sirida harakatlanadi. Boshlang'ich tezlik v_0 ga teng bo'lib kuchning yo'nalishi bilan bir xil yo'nalgan. Nuqtaning harakat qonunini aniqlang.

Yechish:

1. Harakatning differensial tenglamasini tuzamiz:

2. Dekart koordinata sistemasini tanlaymiz va dinamikaning asosiy tenglamasini OX o'qiga proeksiyalaymiz: $m\bar{a} = \sum \bar{F}_i = \bar{F} = \overline{const}$.

$$\text{yoki } ma_x = F_x = F.$$

3. Hosilani tartibini pasaytiramiz: $m \frac{dv_x}{dt} = F$.

4. O'zgaruvchilarni ajratamiz: $dv_x = \frac{F}{m} dt$.

5. Bu tenglikni har ikkala tomonidan integral olamiz:

$$\int dv_x = \int \frac{F}{m} dt. \quad \Rightarrow \quad \boxed{v_x = \frac{F}{m} t + C_1.}$$

6. Tezlik proeksiyasini koordinatadan vaqt bo'yicha olingan birinchi tartibli hosila orqali ifodalaymiz:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{F}{m} t + C_1.$$

7. O'zgaruvchilarga ajratamiz:

$$dx = \left(\frac{F}{m} t + C_1 \right) dt.$$

8. Har ikkala tomonini integrallaymiz:

$$\int dx = \int \left(\frac{F}{m} t + C_1 \right) dt. \quad \Rightarrow \quad \boxed{x = \frac{F}{m} \frac{t^2}{2} + C_1 t + C_2.}$$

9. C_1 va C_2 koeffitsientlarni hisoblashda boshlang'ich shartlardan foydalanamiz

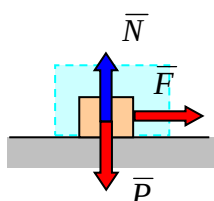
$t = 0, v_x = v_0, x = x_0 :$

$$x|_{t=0} = \frac{F}{m} \frac{0^2}{2} + C_1 \cdot 0 + C_2 = x_0. \quad v_x|_{t=0} = \frac{F}{m} \cdot 0 + C_1 = v_0. \quad \Rightarrow \quad \boxed{C_1 = v_0; \quad C_2 = x_0.}$$

Natijada tekis o'zgaruvchili harakatning harakat qonunini hosil qilamiz:

$$\boxed{x = \frac{F}{m} \frac{t^2}{2} + v_0 t + x_0.}$$

2-Masala. Kuch $F = kt$. ko'rinishda vaqtga bog'liq. Og'irligi P bo'lgan jism tekis silliq tekislik ustida F kuch ta'sirida harakat qiladi. t vaqt ichida jismni bosib o'tgan masofasini aniqlang.



1. Sanoq sistemasini tanlaymiz:

2. Qaralayotgan jismni moddiy nuqta deb qaraymiz:

3. Dinamikaning asosiy tenglamasini tuzamiz:

$$m\bar{a} = \sum \bar{F}_i = \bar{F} + \bar{P} + \bar{N}.$$

4. Dinamikaning asosiy tenglamasini OX o'qiga proeksiyalaymiz (harakat bir o'lchamli): $(x): ma_x = F = kt$ yoki

5. Hosilani tartibini pasaytiramiz:

$$m \frac{dv_x}{dt} = kt.$$

$$dv_x = \frac{k}{m} t dt.$$

6. O'zgaruvchilarga ajratamiz:

7. Ikkala tomonini integrallaymiz:

$$\Rightarrow \int dv_x = \int \frac{k}{m} t dt. \quad \Rightarrow \quad \boxed{v_x = \frac{k}{m} \frac{t^2}{2} + C_1.}$$

8. Integral doimiysi C_1 ni boshlang'ich shartdan aniqlaymiz:

$$t = 0, v_x = v_0 = 0 \quad \Rightarrow \quad v_x|_{t=0} = \frac{k}{m} \cdot \frac{0^2}{2} + C_1 = v_0 = 0. \quad \Rightarrow \quad \boxed{C_1 = 0.}$$

9. Tezlikni proeksiyasini x koordinatadan vaqt bo'yicha olingan birinchi tartibli hosila ko'rinishida ifodalaymiz:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{k}{m} \frac{t^2}{2}.$$

10. O'zgaruvchilarni ajratamiz:

11. Integrallaymiz:

$$\int dx = \int \frac{k}{m} \frac{t^2}{2} dt. \quad \boxed{x = \frac{k}{m} \frac{t^3}{6} + C_2.}$$

12. $t = 0, x = x_0 = 0$ boshlang'ich shartdan integral doimisi C_2 ni aniqlaymiz:

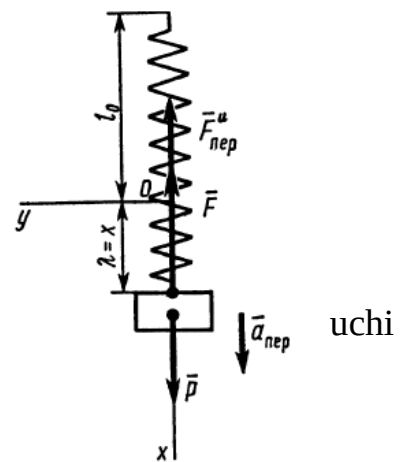
$$x|_{t=0} = \frac{k}{m} \frac{0^3}{6} + C_2 = x_0 = 0. \quad \Rightarrow \quad \boxed{C_2 = 0.}$$

Natijada harakat qonuni aniqlanadi.

$$x = S = \frac{k}{m} \frac{t^3}{6} = \frac{kg}{P} \frac{t^3}{6}.$$

Mavzu: Nuqtaning erkin va so'nuvchi tebranma harakatiga oid masalalar.

Masala. Vertikal tebranishlarini o'lchovchi asbobda (shakl) bikrlilik koeffitsiyenti c bo'lgan prujinaga massasi m bo'lgan yuk osilgan prujinaning ikkinchi $z = A \sin(\omega t)$ (z qo'zg'almas o'q vertikal pastga yo'nalgan) qonun bo'yicha harakatlanuvchi asbob qobig'iga ulangan. Prujinaning boshlang'ich cho'zilishi λ_0 ga, yukning asbobga nisbatan boshlang'ich tezligi (vertikal pastga yo'nalgan) v_0 ga teng.



Berilgan:

$$m = 0,4 \text{ kg}, c = 40 \text{ N/m}, \lambda_0 = 0,05 \text{ m}, v_0 = 0,5 \text{ m/s}, A = 0,03 \text{ m}, \omega = 20 \frac{1}{s}$$

Yukning asbob qobig'iga nisbatan harakat qonuni $x = f(t)$ ni toping.

Yechish:

1. Asbob qobig'i bilan qo'zg'aluvchi sanoq sistemasini bog'laymiz. O sanoq boshini cho'zilmagan prujina oxiridan boshlaymiz (uning l_0 uzunligi shaklda ko'rsatilgan), x o'qini esa prujinaning cho'zilish tomoniga yo'naltiramiz (shakl). Yukni prujina cho'zilgan holatida tasvirlaymiz. Unga og'irlik kuchi $\vec{P}$ va elastiklik kuchi $\vec{F}$ ta'sir qiladi. Nisbiy harakat tenglamasini tuzish uchun bu kuchlar qatoriga $\vec{F}_{ko'rch}^u = -m\vec{a}_{ko'rch}$ kuchni - ko'chirma inersiya kuchini qo'shamiz, bu yerda ko'chirma

harakat ilgarilanma harakatdan iborat bo'lgani uchun harakat tenglamasining vektor ko'rinishini yozamiz:

$$m\vec{a}_{nis} = \vec{P} + \vec{F} + \vec{F}_{ko'ch}^u$$

Tenglamaning ikkala tomonini x o'qiga proyeksiyalaymiz.

$$m\ddot{x} = P_x + F_x + F_{ko'chx}^u \quad (1)$$

Bu yerda $P_x = P$, $F_x = -c\lambda = -cx$ (bu yerda $\lambda = x$ prujinaning cho'zilishi).

$$F_{ko'chx}^u = -ma_{ko'chx}$$

x va z o'qlari bir xil yo'nalganligini e'tiborga olsak

$$a_{ko'chx} = a_{ko'chz} = \ddot{z} = -A\omega^2 \sin(\omega t) \quad F_{ko'chx}^u = mA\omega^2 \sin(\omega t)$$

Barcha kuchlarning topilgan proyeksiyalarini (1) tenglamaga qo'ysak,

$$m\ddot{x} = P - cx + mA\omega^2 \sin(\omega t) \quad (2)$$

Endi (2) differensial tenglamani quyidagicha yozamiz:

$$\ddot{x} + \kappa^2 x = b_1 + b_2 \sin(\omega t) \quad (3)$$

Bu yerda $\kappa^2 = \frac{c}{m} = 100 \text{ s}^{-2}$, $b_1 = g = 10 \frac{m}{s^2}$, $b_2 = A\omega^2 = 12 \frac{m}{s^2}$ (4)

2. Yukning harakat tenglamasini topish uchun (3) tenglamani integrallash kerak.

Uning umumiy yechimi differensial tenglamalar nazariyasidan:

$$x = x_1 + x_2 \quad (5) \text{ ga teng bo'ladi.}$$

Bu yerda x_1 , $\ddot{x} + k^2 x = 0$ bir jinsli tenglamaning yechimi, ya'ni

$$x_1 = c_1 \sin(kt) + c_2 \cos(kt) \quad (6)$$

x_2 esa (3) tenglamaning xususiy yechimi. Tenglamaning chap va o'ng qismida turgan ifodalarlarini e'tiborga olib x_2 yechimini

$$x_2 = B + D \sin(\omega t) \quad (7)$$

ko'rinishda izlaymiz.

B va D o'zgarmaslarni topish uchun $\ddot{x}_2 = -D\omega^2 \sin(\omega t)$ ni topib, (3) tenglamaga $\ddot{x}_2$ va x_2 larni qo'yamiz, so'ngra tenglamaning ikkala tomonida erkin hadlar va $\sin(\omega t)$ oldidagi ifodalarni tenglaymiz, natijada (4) ni hisobga olib quyidagini hosil qolamiz:

$$B = \frac{b_1}{k^2} = 0,1 \text{ m}, \quad D = \frac{b_2}{k^2 - \omega^2} = -0,04 \text{ m}$$

U holda, (5)-(7) tengliklarni va $\kappa = 10 \text{ s}^{-1}$, $\omega = 20 \text{ s}^{-1}$ ekanini hisobga olib (3) tenglamaning umumiy yechimini aniqlaymiz:

$$x = c_1 \sin(10 t) + c_2 \cos(10 t) - 0,04 \sin(20 t) + 0,1 \quad (8)$$

Integral o'zgarmaslari c_1 va c_2 ni topish uchun $v_x = \dot{x}$ ni aniqlaymiz.

$$v_x = 10c_1 \cos(10 t) - 10c_2 \sin(10 t) - 0,8 \cos(20 t) \quad (9)$$

Masala shartiga ko'ra $t = 0$ da $v_x = v_o = 0,5 \text{ m/s}$; $x_o = \lambda_o = 0,05 \text{ m}$

Bu boshlang'ich shartlarni (8) va (9) tenglamalarga qo'yib ulardan $c_1 = 0,13$, $c_2 = -0,05$ ni topamiz. Natijada (8) tenglama quyidagi ko'rinishga keladi:

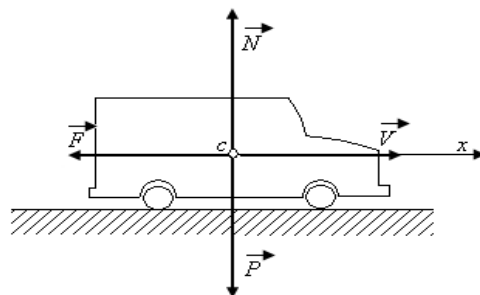
$$x = 0,13 \sin(10 t) - 0,05 \cos(10 t) - 0,04 \sin(20 t) + 0,1 \quad (10)$$

Bu tenglama yukning nisbiy harakat qonuni, ya'ni tebranma harakat tenglamasidan iborat.

Mavzu. Moddiy nuqta harakat miqdori va kinetik energiyasi o'zgarishi haqida teoremlarga oid masalalar.

1-масала. Оғирлиги P бўлган автомобилни t с вақт ичида тезлигини v_0 дан v м/с гача камайтириш учун қандай куч билан тормозлаш керак?

Ечиш. Автомобиль тўғри чизиqli ҳаракатда деб қараймиз. Автомобилга унинг оғирлик кучи $\vec{P}$, нормал реакция кучи $\vec{N}$, тормозлаш кучи $\vec{F}$ қўйилган бўлиб, барча кучлар йўналиш ва миқдор жиҳатдан ўзгармасдир.



Ҳаракат миқдорининг ўзгариши ҳақидаги теоремани x ўққа ($m v_x - m v_{ox} = S_x$) нисбатан қўйидагича ёзиш мумкин:

$$m(v - v_0) = -F \cdot t \quad \Rightarrow \quad F = \frac{P}{g} \frac{v_0 - v}{t} H.$$

2-масала. e электр зарядига эга бўлган m массали заррача $E = A \sin kt$ кучланишли (A ва k — ўзгармас миқдорлар) бир жинсли электр майдонида ҳаракат қилади. Агар электр майдонида заррачага $\vec{E}$ кучланиш томонига йўналган $\vec{F} = e\vec{E}$ куч таъсир қилиши маълум бўлса, заррачанинг t вақтдан кейинги ҳаракат тезлиги аниқлансин. Оғирлик кучининг таъсири ҳисобга олинмасин. Заррачанинг бошланғич тезлиги нолга тенг.

Ечиш. Агар Ox ўқни $\vec{r}$ кучланиш бўйича йўналтирсак, заррачага вақтнинг функциясида иборат ва x ўқ ($m v_x - m v_{ox} = S_x$) бўйича йўналган куч $F = eE = eA \sin kt$ таъсир этади. $v_0 = 0$ эканлигини эътиборга олиб, керакли тезликни топамиз:

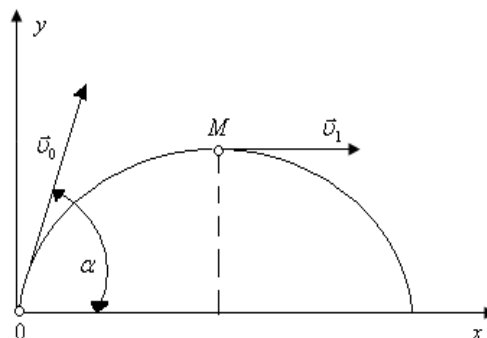
$$v = v_x = \frac{1}{m} \int_0^t F dt = \frac{eA}{m} \int_0^t \sin kt dt = -\frac{eA}{km} (\cos kt - 1)$$

3-масала. Снаряд бошланғич O ҳолатдан энг баланд M ҳолатга ўтганга қадар кетган вақт ичида унга таъсир қиладиган барча кучлар тенг таъсир этувчисининг импульси топилсин.

Берилган: $v_0 = 500 \text{ м/с}$, $\alpha_1 = 60^\circ$,

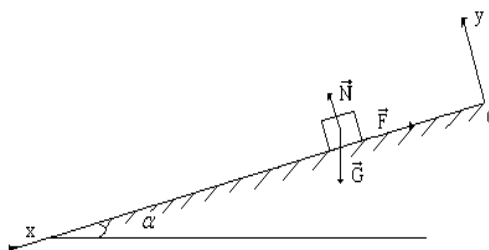
$v = 200 \text{ м/с}$ снаряднинг массаси

$m = 100 \text{ кг}$



Ечиш. $m v_x - m v_{ox} = S_x$, $m v_y - m v_{oy} = S_y$

дан фойдаланиб, барча кучлар тенг таъсир этувчиси импульсининг координата ўқларидаги проекцияларини аниқлаймиз;



$$S_x = m(v_x - v_{ox}) = 100(200 - 500 \cos 60^\circ) = -5000 \text{ Н} \cdot \text{с}.$$

$$S_y = m(v_y - v_{oy}) = 100(-500 \sin 60^\circ) = -43300 \text{ Н} \cdot \text{с}.$$

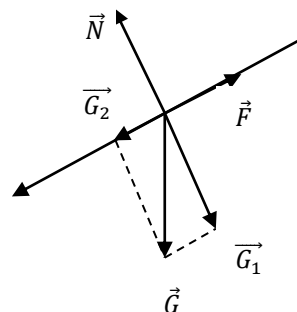
4-Masala.

Gorizont bilan 30° burchak hosil qilgan qiya tekislikda og'ir jism boshlang'ich tezliksiz pastga tushmoqda. Ishqalanish koeffisienti 0,1 ga teng. Harakat boshlangandan keyin jism $L=2 \text{ м}$ yo'l o'tgach, qanday tezlikka ega bo'ladi?

Берилган: $\alpha = 30^\circ$, $f = 0,1$, $v_0 = 0$, $l = 2 \text{ м}$

Topish kerak: $v=?$

Yechish: Moddiy nuqta kinetik energiyasining o'zgarishi haqidagi teoremdan foydalanamiz.



$$\frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} = \sum A_i$$

$$v_0 = 0 \text{ bo'lgani uchun: } \frac{mv^2}{2} = G \cdot \sin \alpha \cdot l - F \cdot l, \quad F = f \cdot N = FG \cos \alpha = fmg \cos \alpha$$

$$\frac{mv^2}{2} = mgl \sin \alpha - fmg \cos \alpha$$

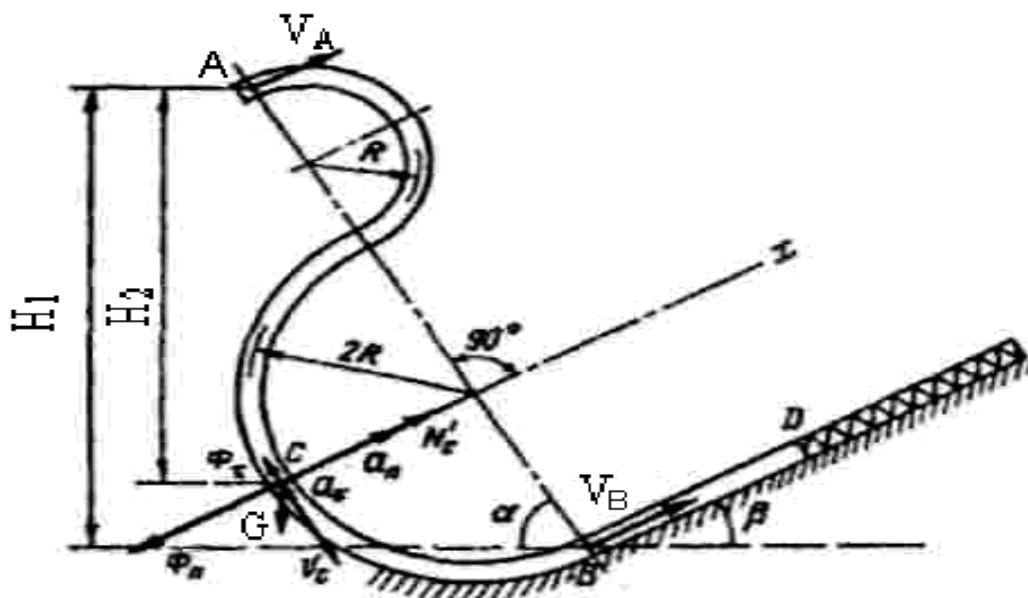
$$\frac{mv^2}{2} = mgl(\sin \alpha - f \cos \alpha)$$

$$v^2 = 2gl(\sin \alpha - f \cos \alpha)$$

$$v = \sqrt{2gl(\sin \alpha - f \cos \alpha)} = \sqrt{2 \cdot 9.8 \cdot 2(0.5 - 0.1 \cdot 0.866)} = 4.02 \text{ m/c}$$

Javob : $v=4.02 \text{ m/c}$

5-masala.



Berilgan:

$$m=0,5 \text{ kT} \quad v_A=8 \text{ m/c} \quad \tau=0,1 \text{ c}; \text{ (BD qismda harakatlanish vaqti)}$$

$$R=0,2 \text{ m} \quad f=0,1 \quad \alpha=60^\circ \quad \beta=30^\circ \quad h_0=0 \quad c=1000 \text{ N/cm}$$

Topish kerak: V_B, V_C, N_C, N_D, h

Yechish:

V_B va V_C aniqlash uchun moddiy nuqta kinetik energiyasining o'zgarishi haqidagi teoremani qo'llaymiz. Sharchani traektoriyaning AC va AB qismlaridagi harakati og'irlik kuchi G ta'siri ostida ro'y beradi (egri chiziqli qismlardagi ishqalanish kuchini hisobga olmaymiz)

$$\frac{mv_B^2}{2} - \frac{mv_A^2}{2} = \sum A_i = GH_i = mgAB \sin \alpha = 6mgR \sin \alpha,$$

$$v_B^2 - v_A^2 = 12gR \sin \alpha,$$

$$v_B = 4,59 \text{ m/s}$$

$$\frac{mv_C^2}{2} - \frac{mv_A^2}{2} = \sum A_i = GH_2 = mg(4R \sin \alpha + 2R \cos \alpha),$$

$$v_C = \sqrt{v_A^2 + 4gR(2 \sin \alpha + \cos \alpha)}$$

yoki $v_C = 4,26 \text{ m/s}$

Sharchaning kanal devoriga bosimini uning C vaziyatda aniqlaymiz.

Moddiy nuqta uchun D'alamber prinsipiga asosan nuqtaga qo'yilgan kuchlarning va bu nuqta inersiya kuchining geometrik yig'indisi nolga teng:

$$\vec{G} + \vec{N}'_c + \vec{\Phi} = 0$$

Moddiy nuqtaning inersiya kuchini normal va urinma tashkil etuvchilarga ajratish mumkin:

$$\vec{\Phi} = \vec{\Phi}_n + \vec{\Phi}_\tau$$

$\vec{G}$, $\vec{N}'_c$ va $\vec{\Phi}$ kuchlarning x o'qiga proeksiyalarining yig'indisi nolga teng bo'lishi kerak:

$$N'_c - G \cos 60^\circ - \Phi_n = 0$$

Bu yerdan

$$N'_c = G \cos 60^\circ + \Phi_n = mg \cos 60^\circ + \frac{mv_c^2}{2R}$$

Yoki

$$N'_c = 25,2 \text{ N}$$

N'_c reaksiyani shuningdek tabiiy harakat tenglamalari yordamida ham aniqlash mumkin:

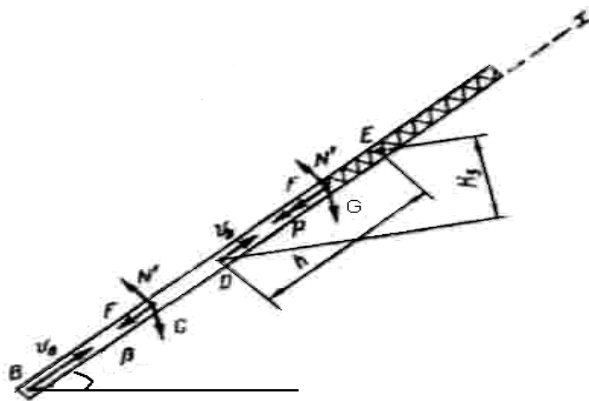
$$\frac{mv_c^2}{2R} = \sum P_i \cos(\vec{P}_i, \vec{n}) = N'_c - G \cos 60^\circ$$

Bu yerdan

$$N_c^I = G \cos 60^\circ + \frac{mv_c^2}{2R}$$

Sharchaning naycha devoriga bosimi N_c con qiymati jihatdan topilgan. N_c^I reaksiyaga teng va qarama-qarshi tomonga yo'nalgan.

Sharchaning D vaziyatdagi tezligini moddiy nuqta harakat miqdorini o'zgarishi haqidagi teoremani BD qismi uchun tadbqiq etib topamiz.



$$mv_{Dx} - mv_B = \sum S_x$$

Nuqtaga og'irlik kuchi G , naycha devorining reaksiyasi N va ishqalanish kuchi A qo'yilgan.

$$F = fN = fG \cos \beta$$

$$v_{Dx} = v_D$$

$$v_{Bx} = v_B$$

$$\sum S_x = -G \sin \beta t - Ft = -mg \sin \beta t - fmg \cos \beta t$$

bo'lgani uchun

$$mv_{Dx} - mv_B = -mg \sin \beta t - fmg \cos \beta t$$

$$\text{Bu yerdan } v_B = 4.01 \text{ m/s}$$

Prujining maksimal siqilishi h ni topish uchun DE qismda moddiy nuqta kinetik energiyasining o'zgarishi haqidagi teoremdan foydalanamiz.

$$\frac{mv_E^2}{2} + \frac{mv_D^2}{2} = \sum A_i = \frac{-ch^2}{2} - GH_3 - Fh$$

$v_E = 0$ va $H_3 = h \sin \beta$ ekanligini hisobga olib, quyidagi tenglamani hosil qilamiz:

$$\frac{-ch^2}{2} + G(\sin \beta + f \cos \beta)h - \frac{mv_D^2}{2} = 0$$

yoki

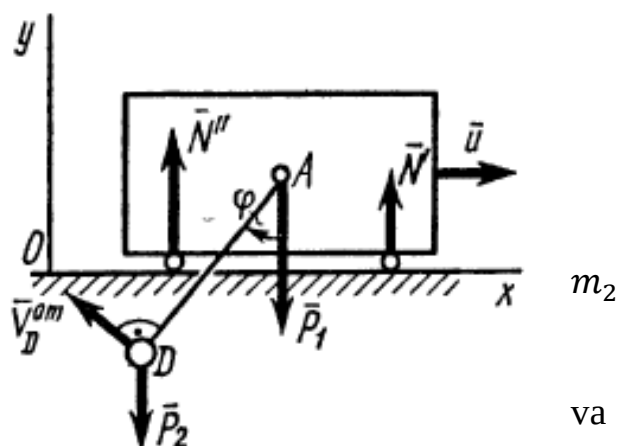
$$h^2 + 2Gh(\sin \beta + f \cos \beta)/c - \frac{mv_D^2}{c} = 0$$

Olingan kvadrat tenglamani h ga nisbatan yechamiz:

$$h = 0,003 \pm 0,090 = 0,087 \text{ m}$$

Mavzu: Moddiy sistema harakat miqdori va harakat miqdori bosh momentining o'zgarishi haqidagi teoremlar haqidagi masalalar.

1-masala. Silliqlik gorizontali tekislikda harakatlanayotgan m_1 massali aravachaning A og'irlik markaziga uzunligi l bo'lgan, og'irligi hisobga olinmaydigan AD sterjen mahkamlangan, sterjen uchiga massasi bo'lgan D yuk osilgan (shakl). $t = 0$ vaqtda aravacha tezligi $u = u_0$ ga teng AD sterjen A nuqtadan o'tuvchi shakl



tekisligiga perpendikulyar o'q atrofida $\varphi = \varphi(t)$ qonun bo'yicha aylana boshlaydi. Berilgan:

$$m_1 = 24 \text{ kg}, m_2 = 12 \text{ kg}, u_0 = 0,5 \text{ m/s}, l = 0,6 \text{ m}, \varphi = \frac{\pi}{3}(1 + 2t^3) \text{ rad}.$$

Aravacha tezligining o'zgarish qonuni $u = f(t)$ aniqlansin.

Yechish:

Aravacha va D yukdan iborat mexanik sistemani ixtiyoriy holatda tasvirlaymiz. Sistemaga $\vec{P}_1, \vec{P}_2$ - og'irlik kuchlari va $\vec{N}', \vec{N}''$ tekislikning reaksiya kuchlaridan iborat tashqi kuchlar ta'sir etadi. x o'qini gorizontali yo'naltirib, Oxy koordinatalar sistemasini o'tkazamiz.

u ni topish uchun sistemaning $\vec{Q}$ harakat miqdorining o'zgarishi haqidagi teoremaning x o'qidagi proyeksiyasidan foydalanamiz.

Sistemaga ta'sir etayotgan barcha kuchlar vertikal bo'lgani uchun ($D4$ -shakl), $\sum F_{kx}^e = 0$ bo'ladi va teoremlar ko'ra

$$\frac{dQ_x}{dt} = \sum F_{kx}^e = 0 \text{ bu yerdan } Q_x = c_1 \quad (1)$$

Ko'rilayotgan mexanik sistema uchun

$$\vec{Q} = \vec{Q}^{ap} + \vec{Q}^D \text{ bu yerda } \vec{Q}^{ap} = m_1 \vec{u} \text{ va } \vec{Q}^D = m_2 \vec{v}_D$$

aravacha va D yukning harakat miqdorlari mos ravishda ($\vec{u}$ – aravachning tezligi, $\vec{v}_D$ - yukning Oxy sistemaga nisbatan tezligi).

U holda, (1) tenglama quyidagi ko'rinishga keladi:

$$Q_x^{ap} + Q_x^D = c_1 \quad \text{yoki} \quad m_1 u_x + m_2 v_{Dx} = c_1 \quad (2)$$

v_{Dx} ni aniqlaymiz. D yuk murakkab harakat qilmoqda, uning aravachaga nisbatan harakati nisbiy (bu harakat AD sterjenning A nuqtadan o'tuvchi o'q atrofidagi aylanma harakatidan iborat). Aravachaning yuk bilan harakati esa ko'chirma harakatdan iborat, u holda

$$\vec{v}_D = \vec{v}_D^{nis} + \vec{v}_D^{ko'ch} \quad \text{va} \quad v_{Dx} = v_{Dx}^{nis} + v_{Dx}^{ko'ch} \quad (3)$$

Bizda $v_D^{ko'ch} = u$ bo'lgani uchun $v_{Dx}^{ko'ch} = u_x$ ga teng. $\vec{v}_D^{nis}$ ning vektor tezligi sterjenga perpendikulyar yo'nalgan, miqdori esa

$$v_D^{nis} = l \cdot \omega_{AD} = l \cdot \dot{\varphi} = 2l\pi t^2$$

ga teng. Bu vektorni $\dot{\varphi}$ ishorasini e'tiborga olib $D4$ shaklda tasvirlasak, $v_{Dx}^{nis} = -v_D^{nis} \cos \varphi$ ni hosil qilamiz.

Demak, (3) tenglama yakunda quyidagi ko'rinishda yozilishi mumkin:

$$v_{Dx} = u_x - v_D^{nis} \cos \varphi = u_x - 2l\pi t^2 \cos\left(\frac{\pi}{3} + \frac{2\pi}{3} t^3\right) \quad (4)$$

(Bu masalada v_{Dx} ning miqdorini boshqa usulda ham topish mumkin. Buning uchun D yuk x_D absissasini $D4$ shakldan topamiz: $x_D = x_A - l \sin \varphi$, u holda, $v_{Dx} = \dot{x}_D = \dot{x}_A - l \dot{\varphi} \cos \varphi$ bu yerda $x_A = u_x$ va $\dot{\varphi} = 2\pi t^2$).

$u_x = u$ ekanini hisobga olsak va v_{Dx} - ni topilgan qiymatini (2) tenglikka qo'ysak, quyidagi ifoda hosil bo'ladi:

$$m_1 u + m_2 u - m_2 2l\pi t^2 \cos\left(\frac{\pi}{3} + \frac{2\pi}{3} t^3\right) = c_1 \quad (5).$$

Integral doimiysi c_1 ni boshlang'ich shartlardan foydalanib topamiz: $t = 0$ va $u = u_0$. Bu miqdorlarni (5) tenglikka qo'yib $c_1 = (m_1 + m_2)u_0$ ni olamiz, buni (5) tenglamaga qo'ysak, (5) quyidagi ko'rinishga keladi:

$$(m_1 + m_2)u - 2m_2 l\pi t^2 \cos\left(\frac{\pi}{3} + \frac{2\pi}{3} t^3\right) = (m_1 + m_2)u_0$$

Bu yerdan aravacha tezligi u ning vaqtga bog'lanish qonunini topamiz:

$$u = u_0 + \frac{2l\pi m_2}{m_1 + m_2} t^2 \cos\left(\frac{\pi}{3} + \frac{2\pi}{3} t^3\right) \quad (6).$$

(6) tenglamada berilgan kattaliklarning qiymatini qo'yib, u ning t ga bog'lanish qonunini aniqlanadi.

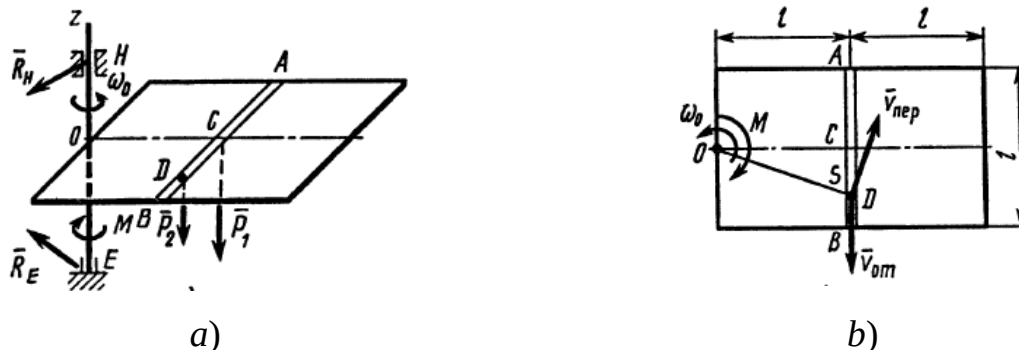
Javob: $u = 0,5 + 0,4 \pi t^2 \cos\left(\frac{\pi}{3} + \frac{2\pi}{3} t^3\right) \text{ m/s}.$

2-masala. Massasi m_1 bo'lgan bir jinsli (tomonlari $2l$ va l bo'lgan to'g'ri to'rtburchak shakldagi) gorizont platforma vertikal valga mahkamlangan va u bilan birga z o'qi atrofida ω_0 burchak tezligi bilan aylanadi (a shakl). $t_0 = 0$ vaqtda valga M burovchi moment ta'sir eta boshlaydi, uning yo'nalishi ω_0 ga teskari. Shu vaqtning o'zidan boshlab massasi m_2 bo'lgan D yuk AB novda C nuqtadan (ichki kuchlar ta'sirida) $C = CD = F(t)$ qonun bo'yicha harakatga keladi.

Berilgan:

$$m_1 = 16 \text{ kg}, \quad m_2 = 10 \text{ kg}, \quad l = 0,5 \text{ m}, \quad \omega_0 = 2 \text{ s}^{-1}, \quad s = 0,4 t^2$$

(s - metrda, t - sekundda o'lchanadi), $M = kt$ bu yerda $k = 6 \text{ H} \cdot \text{m/s}$. Platforma burchak tezligining o'zgarish qonuni $\omega = f(t)$ ni toping.



Yechish: platforma va D yukdan iborat sistemani ko'ramiz. ω ni topish uchun sistemani z o'qiga nisbatan kinetik momentning o'zgarishi haqidagi teoremani qo'llaymiz:

$$\frac{dK_z}{dt} = \sum m_z (\vec{F}_k^e) \quad (1)$$

Sistemaga ta'sir etuvchi $\vec{P}_1$ va $\vec{P}_2$ og'irlik kuchlari, $\vec{R}_E$, $\vec{R}_H$ –reaksiya kuchlari va M burovchi momentni shaklda tasvirlaymiz. $\vec{P}_1$ va $\vec{P}_2$ kuchlar z o'qiga parallel va $\vec{R}_E$, $\vec{R}_H$ –kuchlar bu o'qni kesib o'tgani uchun ularning z o'qiga nisbatan

momentlari nolga teng. U holda, ω_0 yo'nalishni (ya'ni soat strelkasi yo'nalishiga teskari yo'nalishni) musbat hisoblab, $\sum m_z(\vec{F}_K^e) = -M = -kt$ ni hosil qilamiz.

U holda, (1) tenglama

$$\frac{d K_z}{dt} = -kt \quad (2)$$

ko'rinishga keladi. Bu tenglamani ikkala tomonini dt ga ko'paytirib integrallaymiz:

$$K_z = -\frac{k}{2}t^2 + c_1 \quad (3).$$

Ko'rilayotgan mexanik sistema uchun:

$$K_z = K_z^{pl} + K_z^D \quad (4),$$

bu yerda K_z^{pl} va K_z^D - platforma va D yukning kinetik momentlari.

Platforma z o'qi atrofida aylanma harakat qilayotgani uchun $K_z^{pl} = I_z \omega \cdot I_z$ ning miqdorini Gyuygens teoremasidan foydalanib topamiz:

$$I_z = I_{cz'} + m_1(OC)^2 = I_{cz'} + m_1 l^2$$

($I_{cz'}$ - platformaning C markazdan o'tuvchi, z o'qiga parallel bo'lgan z' o'qiga nisbatan inersiya momenti)

Ma'lumki, $I_{cz'} = m_1[(2l)^2 + l^2]/12 = 5 m_1 l^2/12$.

U holda $I_z = 5m_1 \frac{l^2}{12} + m_1 l^2 = 17 m_1 l^2/12$.

Demak, $K_z^{pl} = (17 m_1 l^2/12)\omega \quad (5)$

K_z^D ni aniqlash uchun $D5$ shakldan foydalanamiz. D yuk murakkab harakat qilmoqda, uning platforma bo'ylab harakati nisbiy, platforma bilan birga z o'qi atrofida aylanishi ko'chirma harakatdir. U holda, yukning absolyut tezligi $\vec{v} = \vec{v}_{nis} + \vec{v}_{ko'ch}$ ga teng bo'ladi. D yuk $s = CD = 0,4 t^2$ qonunga ko'ra harakatlanayotgani uchun $v_{nis} = \frac{ds}{dt} = 0,8 t$. $D5b$ - shaklda $\vec{v}_{nis}$ vektorini $\frac{ds}{dt}$ ishorasiga qarab tasvirlaymiz. (agar $\frac{ds}{dt} < 0$ bo'lsa, $\vec{v}_{nis}$ qarama-qarshi yo'nalishiga ega). So'ngra, ω yo'nalishini hisobga olib $\vec{v}_{ko'ch}$ ($\vec{v}_{ko'ch}$ ga OD tik yo'nalgan) vektorni tasvirlaymiz, miqdori $v_{ko'ch} = \omega \cdot OD$.

U holda Varin'on teoremasiga ko'ra

$$K_z^D = m_z(m_2 \vec{v}) = m_z(m_2 \vec{v}_{nis}) + m_z(m_2 \vec{v}_{ko'ch}) =$$

$$-m_2 v_{nis} \cdot OC + m_2 v_{ko'ch} \cdot OD = -m_2 \cdot 0,8 t l + m_2 \omega (OD)^2 \quad (6)$$

D5.b shakldan $OD^2 = l^2 + s^2 = l^2 + 0,16 t^4$ ni topamiz va uni hamda (6) va (5) dan K_z^D , K_z^{pl} qiymatlarini (4) tenglikka qo'yamiz:

$$K_z = \frac{17}{12} m_1 l^2 \omega + m_2 \omega (l^2 + 0,16 t^4) - m_2 (0,8 t) l =$$

$$= (8,17 + 1,6 t^4) \omega - 4 t \quad (7)$$

U holda (3) tenglama, $k = 6$ ekanini hisobga olsak

$$(8,17 + 1,6 t^4) \omega - 4 t = -3t^2 + c_1 \quad (8)$$

ko'rinishga keladi. Integral o'zgarmasini boshlangich shartlardan topamiz: $t = 0$ da $\omega = \omega_0$ ekanligidan $c_1 = 8,17 \omega_0 = 16,34$. c_1 ni qiymatini (8) tenglamaga qo'yib, ω ning t vaqtga bog'liqligi qonunini topamiz.

Javob: $\omega = (16,34 + 4t - 3t^2) / (8,17 + 1,6 t^4)$; bu yerda t – sekunda, ω – s^{-1} da o'lchanadi.

Mavzu. Nosimmetrik kesimlarning og'irlik markazini va o'q inersiya momentlarini holatini aniqlash

1-masala. Murakkab tekis kesim o'qlarga nisbatan statik momenti aniqlansin.

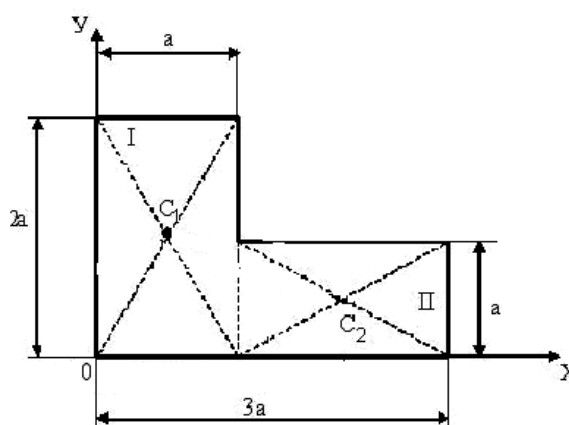
1. Murakkab tekis kesimni I va II to'g'ri to'rtburchakdan iborat ikkita bo'lakka ajratamiz.

2. Ajratilgan bo'laklarning va murakkab tekis kesimning umumiy yuzalarini aniqlaymiz.

$$F^I = a \cdot 2a = 2a^2$$

$$F^{II} = a \cdot 2a = 2a^2$$

$$F = F^I + F^{II} = 4a^2$$



3. Oxy koordinata sistemasini o'tkazib I va II to'rtburchaklar og'irlik markazlarining koordinatalarini, statik momentlarini hamda murakkab tekis kesimning statik momentlarini aniqlaymiz:

$$x_{cI} = 0,5a, \quad y_{cI} = a,$$

$$x_{cII} = 2a \quad y_{cII} = 0,5a.$$

$$S_x^I = F^I \cdot y_{cI} = 2a^2 \cdot a = 2a^3$$

$$S_y^I = F^I \cdot x_{cI} = 2a^2 \cdot 0,5a = a^3$$

$$S_x^{II} = F^{II} \cdot y_{cII} = 2a^2 \cdot 0,5a = a^3$$

$$S_y^{II} = F^{II} \cdot x_{cII} = 2a^2 \cdot 2a = 4a^3$$

$$S_x = S_x^I + S_x^{II} = 2a^3 + a^3 = 3a^3$$

$$S_y = S_y^I + S_y^{II} = a^3 + 4a^3 = 5a^3$$

2-masala.

I shaklda tasvirlangan 90x90x9 mm li teng yoqli burchaklik (GOST 8509-72) ning markaziy o'qlarga nisbatan markazdan qochma inersiya momentlari hisoblansin. Sortament jadvalidan quyidagi ma'lumotlar olingan: $J_{\max} = J_{X_0} = 186 \text{ sm}^4$, $J_{\min} = J_{Y_0} = 48,6 \text{ sm}^4$.

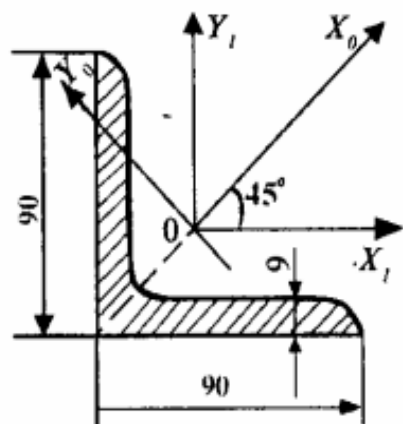
Yechish:

Quyidagi formula yordamida burchaklikning X_1 va Y_1 o'qlariga nisbatan markazdan qochma inersiya momentlarini aniqlaymiz:

$$J_{X_1 Y_1} = \frac{1}{2} (J_{X_0} - J_{Y_0}) \sin 2\alpha_0 + J_{X_0 Y_0} \cos 2\alpha_0.$$

X_0 shaklning simmetriya o'qi hamda X_0 va Y_0 lar markaziy bosh o'qlar bo'lganligi uchun $J_{X_0 Y_0} = 0$ ga teng. $X_0 = 45^\circ$, chunki markazdan qochma inersiya momenti aniqlanishi kerak bo'lgan X va Y o'qlar markaziy bosh o'qlarga nisbatan soat strekasi harakati bo'yicha burilgan.

$$\text{Shunday qilib, } J_{X_1 Y_1} = \frac{186 - 48,6}{2} \cdot (-1) = -68,7 \text{ sm}^4.$$



I shakl

Mavzu. Bosh o'qlar vaziyati va bosh inersiya momentlarini aniqlash.

I masala

To'g'ri burchakli to'rtburchak (20 x 2,75 sm) va burchaklikdan № 12,5/8 (125 x 8012) iborat kesim berilgan (II shakl). Kesimning bosh inersiya momenti (I_x ; I_y) va bosh o'qlarning yo'nalishi aniqlansin.

Yechish:

Sortament jadvalidan burchaklikning geometrik xarakteristikalarini aniqlaymiz:

$$A_2 = 23,36 \text{ sm}^2; X_0 = 2 \text{ sm}; Y_0 = 4,22 \text{ sm};$$

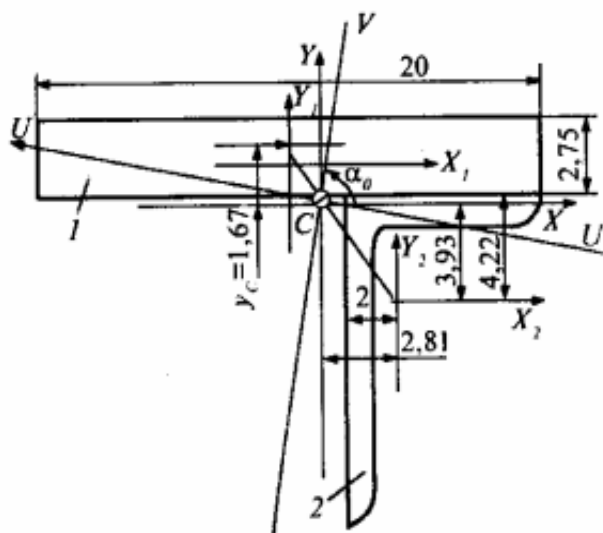
$$I_{X_2} = 364,79 \text{ sm}^4; I_{Y_2} = 116,84 \text{ sm}^4;$$

$$I_{X_2 Y_2} = 118 \text{ sm}^4.$$

X_1 va Y_1 o'qlarga nisbatan butun kesimning og'irlik markazini aniqlaymiz:

$$X_c = \frac{\sum A_i \cdot x_i}{\sum A_i} = \frac{A_1 \cdot x_1 + A_2 \cdot x_2}{A_1 + A_2};$$

$$Y_c = \frac{\sum A_i \cdot Y_i}{\sum A_i} = \frac{A_1 \cdot Y_1 + A_2 \cdot Y_2}{A_1 + A_2}.$$



II shakl

Bu formulalarda X_1 va Y_1 lar nolga teng, chunki X_1 va Y_1 o'qlar to'g'ri burchakli to'rt-burchakning og'irlik markazidan o'tadi. Unda:

$$x_c = \frac{23,36 \cdot \left(\frac{20}{2} - 8 + 2\right)}{78,36} = 1,19 \text{ sm}; \quad y_c = \frac{-23,36 \cdot \left(\frac{275}{2} + 4,22\right)}{78,36} = -1,67 \text{ sm}.$$

Topilgan qiymatlarni shaklga qo'yib butun kesim uchun og'irlik markazni C nuqta orqali ifodalaymiz. C nuqtadan X va Y koordinata o'qlarini o'tkazamiz va ularga nisbatan inersiya momentlarini aniqlaymiz:

$$I_x = \frac{20 \cdot (2,75)^3}{12} + 1,67^2 \cdot 55 + 364,79 + 3,93^2 \cdot 23,36 = 913 \text{ sm}^4;$$

$$I_y = \frac{2,75 \cdot 20^3}{12} + 1,19^2 \cdot 55 + 116,84 + 2,81^2 \cdot 23,36 = 2213 \text{ sm}^4;$$

$$I_{xy} = 0 + (-1,19) \cdot 1,67 \cdot 55 + 118 + 2,81 \cdot (-3,93) \cdot 23,36 = -249 \text{ sm}^4.$$

Bosh inersiya momentlarini aniqlaymiz:

$$I_{\omega} = \frac{I_x + I_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{I_x - I_y}{2}\right)^2 + I_{xy}^2} = \frac{913 + 2213}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{913 - 2213}{2}\right)^2 + (-249)^2} = 1563 \pm 696 \text{ sm}^4.$$

Bu yerdan, $I_u = 2259 \text{ sm}^4$; $I_v = 867 \text{ sm}^4$.

Bosh o'qlarning yo'nalishini quyidagi formula yordamida aniqlaymiz:

$$\operatorname{tg} \alpha_0 = -\frac{I_{xy}}{I_x - I_y} = -\frac{(-249)}{2259 - 2213} = 5,41;$$

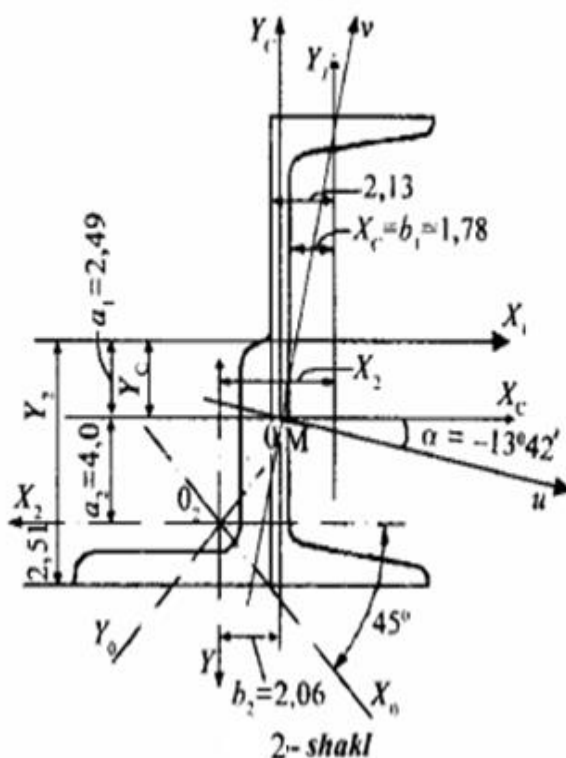
$$\alpha_0 = 79,5^\circ.$$

α_0 burchak X o'qining musbat yo'nalishidan boshlab hisoblanadi. $\alpha_0 > 0$ bo'lganda, burchak shaklda soat strelkasi harakatiga teskari yo'nalishda, $\alpha_0 < 0$ bo'lganda esa, soat strelkasi harakati yo'nalishi bo'yicha olinadi.

2- masala

2- shaklda ko'rsatilgan 18a nomerli shveller hamda $90 \times 90 \times 8$ o'lchamli teng yonli burchaklikdan iborat kesim uchun quyidagilar topilsin:

1) og'irlik markazi:



- 2) og'irlik markazidan o'tuvchi ixtiyoriy o'qlar sistemasi (X_c, Y_c) ga nisbatan inersiya momentlari va markazdan qochirma inersiya momenti;
- 3) markaziy bosh inersiya o'qlarining yo'nalishi;
- 4) bosh inersiya momentlari.

Yechish:

GOST 8240-56 dan shvellerga tegishli, GOST 8509-57 dan teng yonli burchaklikka tegishli qiymatlarni ko'chirib yozamiz:

18a nomerli shveller o'lchamlari

$$\begin{aligned} h_1 &= 180 \text{ mm} \\ b_1 &= 74 \text{ mm} \\ d_1 &= 5,1 \text{ mm} \\ A_1 &= 22,2 \text{ sm}^2 \\ J_{x_1} &= 1190 \text{ sm}^4 \\ J_{y_1} &= 132 \text{ sm}^4 \\ z_0 &= 2,13 \text{ sm} \end{aligned}$$

90x90x8 o'lchamli burchaklik

$$\begin{aligned} b_2 &= 74 \text{ mm} \\ d_2 &= 8 \text{ mm} \\ A_2 &= 13,9 \text{ sm}^2 \\ J_{x_2} &= J_{y_2} = 106 \text{ sm}^4 \\ J_{x_0} &= J_{\max} = 168 \text{ sm}^4 \\ J_{y_0} &= J_{\min} = 43,8 \text{ sm}^4 \\ z_0 &= 2,51 \text{ sm} \end{aligned}$$

1. Yordamchi o'qlarga nisbatan (yordamchi o'qlar sifatida shvellerning X_1 va Y_1 o'qlari tanlangan) murakkab shaklning og'irlik markazini topamiz:

$$Y_c = \frac{\sum S x_i}{\sum A} = \frac{A_1 \cdot Y_1 + A_2 \cdot Y_2}{A_1 + A_2} = \frac{0 + 13,9 \cdot [-(9 - 2,51)]}{22,2 + 14} = -2,49 \text{ sm};$$

$$X_c = \frac{\sum S y_i}{\sum A} = \frac{A_1 \cdot X_1 + A_2 \cdot X_2}{A_1 + A_2} = \frac{0 + 13,9 \cdot [-(2,13 + 2,51)]}{22,2 + 14} = -1,78 \text{ sm}.$$

Qabul qilingan masshtabda X_c va Y_c larni IV.14- shaklga qo'yib chiqamiz va murakkab shaklning og'irlik markazi 0 ni topamiz. U O_1 va O_2 nuqtalarini birlashtiruvchi to'g'ri chiziq ustida yotadi.

2. Topilgan markaziy o'qlarga nisbatan murakkab shaklning inersiya momentlari hamda markazdan qochirma inersiya momentini formulaga ko'ra hisoblaymiz:

$$J_{x_c} = J_{x_1} + A_1 \cdot a_1^2 + J_{x_2} + A_2 \cdot a_2^2 = 1190 + 22,2 \cdot 2,49^2 + 106 + 13,9 \cdot 4^2 = 1656,5 \text{ sm}^4;$$

$$J_{y_c} = J_{y_1} + A_1 \cdot b_1^2 + J_{y_2} + A_2 \cdot b_2^2 = 132 + 22,2 \cdot 1,78^2 + 106 + 13,9 \cdot 2,86^2 = 422,3 \text{ sm}^4.$$

Ko'p hollarda teng yonli burchaklikning markazdan qochirma inersiya momentini topishda xatolikka yo'l qo'yiladi. Murakkab shaklning X_c, Y_c o'qlariga nisbatan markazdan qochirma inersiya momenti $J_{x_c y_c}$ ni topish uchun, avvalo, burchaklikning X_1 va Y_1 ga parallel bo'lgan markaziy o'qlari X_2, Y_2 ga nisbatan markazdan qochirma inersiya momentini topish zarur.

Burchakning X_2, Y_2 o'qlarga nisbatan markazdan qochirma inersiya momenti quyidagicha topiladi:

$$J_{X_2Y_2} = \frac{J_{X_0} - J_{Y_0}}{2} \sin 2\alpha + J_{X_0Y_0} \cos 2\alpha.$$

X_0, Y_0 burchaklikning bosh inersiya o'qlari bo'lganidan, X_0, Y_0 o'qlari bilan X_2, Y_2 o'qlari orasidagi burchak $\alpha = 45^\circ$.

$$J_{X_2Y_2} = \frac{168 - 43,6}{2} \sin(2 \cdot 45^\circ) = 62,2 \text{ sm}^4.$$

$$\begin{aligned} J_{X_cY_c} &= J_{X_IY_I} + A_1 \cdot a_1 \cdot b_1 + J_{X_2Y_2} + A_2 \cdot a_2 \cdot b_2 = \\ &= 0 + 22,2 \cdot (+1,78) \cdot (+2,49) + 62,2 + 13,9 \cdot (-2,86) \cdot (-4) = 319,7 \text{ sm}^4. \end{aligned}$$

Murakkab shakl bosh inersiya o'qlarining markaziy o'qlarga nisbatan og'ish burchagi α ni quyidagicha topamiz:

$$\operatorname{tg} 2\alpha = -\frac{2J_{X_cY_c}}{J_{X_c} - J_{Y_c}} = -\frac{2 \cdot 319,7}{1656,5 - 422,3} = -0,518; \quad 2\alpha = -27^\circ 24', \quad \alpha = -13^\circ 42'.$$

Bosh inersiya momentlarini topamiz:

$$\begin{aligned} J_u &= J_{X_c} \cos^2 \alpha + J_{Y_c} \sin^2 \alpha - J_{X_cY_c} \sin 2\alpha = \\ &= 1656,5 \cdot (\cos(-13^\circ 42'))^2 + 422,3 \cdot (\sin(-13^\circ 42'))^2 - 319,7 \cdot \sin(-27^\circ 24') = 1735,7 \text{ sm}^4; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} J_v &= J_{X_c} \sin^2 \alpha + J_{Y_c} \cos^2 \alpha - J_{X_cY_c} \sin 2\alpha = \\ &= 1656,5 \cdot (\sin(-13^\circ 42'))^2 + 422,3 \cdot (\cos(-13^\circ 42'))^2 - 319,7 \cdot \sin(-27^\circ 24') = 345,7 \text{ sm}^4. \end{aligned}$$

Tekshirish:

$$J_{X_c} + J_{Y_c} = 1656,5 + 422,3 = 2078,8 \text{ sm}^4; \quad J_u + J_v = 1735,7 + 345,7 = 2081,4 \text{ sm}^4.$$

Farqi $(J_u + J_v) - (J_{X_c} + J_{Y_c}) = 2,6 \text{ sm}$. Chiqqan xato ruxsat etiladigan chegarada.

$$\begin{aligned} J_{uv} &= \frac{J_{X_c} - J_{Y_c}}{2} \sin 2\alpha + J_{X_cY_c} \cos 2\alpha = \\ &= \frac{1656,5 - 422,3}{2} (-0,4602) + 319,7 \cdot 0,8879 = -284 + 284 = 0. \end{aligned}$$

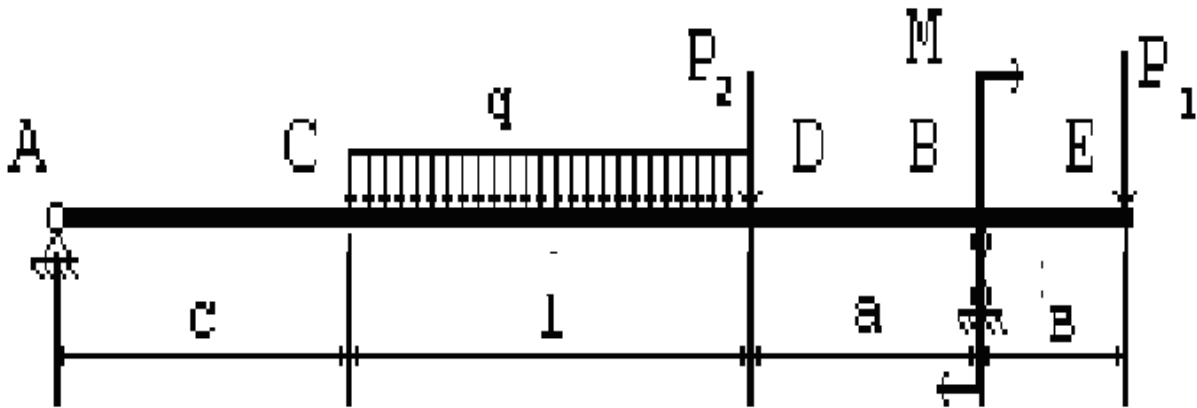
Bosh inersiya momentlarini quyidagi formuladan hisoblasa ham bo'ladi:

$$\begin{aligned} J_{\frac{u}{v}} &= J_{\frac{\max}{\min}} = \frac{J_{X_c} + J_{Y_c}}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(J_{X_c} - J_{Y_c})^2 + 4J_{X_cY_c}^2} = \\ &= \frac{1656,5 + 422,3}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(1656,5 - 422,3)^2 + 4 \cdot 319,7^2} = 1039,4 \pm 695. \end{aligned}$$

Mavzu. Kesish usuli. Balka, rama va egri bruslar uchun ichki kuchlarni aniqlash

1-masala: Ko'ndalang kesimi qo'shtavrdan iborat bo'lgan statik aniq balkaning kesimlarida hosil bo'luvchi ichki kuchlar epyurasi qurilsin va mustahkamlikka tekshirilsin.

Berilgan: $q = 5 \frac{kN}{m}$, $M = 10 kN \cdot m$, $P_1 = 30 kN$, $P_2 = 15 kN$
 $a = 2 m$, $c = 1,5 m$, $b = 1,2 m$, $l = 6 m$



Yechish : Berilgan balkani tayanchlarni A va B harflari bilan, hamda ularda hosil bo'ladigan tayanch reaksiya kuchlarini V_B va V_A lar bilan belgilab, noma'lum tayanch reaksiya kuchlarini topamiz. Noma'lum tayanch reaksiya kuchlarini topish uchun (1) formuladan foydalanamiz.

$$\sum M_A = 0$$

$$q \cdot l \cdot \left(\frac{l}{2} + c \right) + P_2 \cdot (l + c) + M + P_1(c + l + a + b) - V_B \cdot (c + l + a) = 0$$

$$V_B = \frac{q \cdot l \cdot (l/2 + c) + P_2 \cdot (l + c) + M + P_1(c + l + a + b)}{c + l + a} =$$

$$\frac{5 \cdot 6 \cdot (3 + 1,5) + 15 \cdot (6 + 1,5) + 10 + 30 \cdot (1,5 + 6 + 2 + 1,2)}{2 + 6 + 1,5} =$$

$$= 60,9 \text{ kN}$$

$$V_B = 60,9 \text{ kN}$$

$$\sum M_B = 0$$

$$V_A \cdot (c + l + a) - q \cdot l \cdot (l/2 + a) - P_2 \cdot a + M + P_1 \cdot b = 0$$

$$V_A = \frac{q \cdot l \cdot (l/2 + a) + P_2 \cdot a - M - P_1 \cdot b}{c + l + a} = \frac{5 \cdot 6 \cdot (3 + 2) + 15 \cdot 2 - 10 - 30 \cdot 1,2}{1,5 + 6 + 2} = 14,1 \text{ kN}$$

$$V_A = 14,1 \cdot 10^4 \text{ H}$$

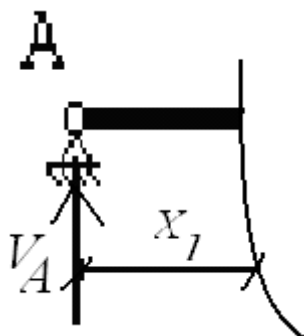
Topilgan reaksiya kuchlarning to'g'ri topilganligini tekshirib ko'ramiz.

$$\sum Y_{np} = V_A + V_B - q \cdot l - P_1 - P_2 = 0$$

$$60,9 + 14,1 - 30 - 15 = 0$$

So`nggi ayniyat tayanch reaksiyalarining to`g`ri topilganidan dalolat beradi. Endi eguvchi moment va kesuvchi kuch qiymatlarini uchastkalar bo`yicha aniqlaymiz.

1. AC uchastkada. $0 \leq x_1 \leq 1,5m$;



$$M_x = V_A \cdot x_1;$$

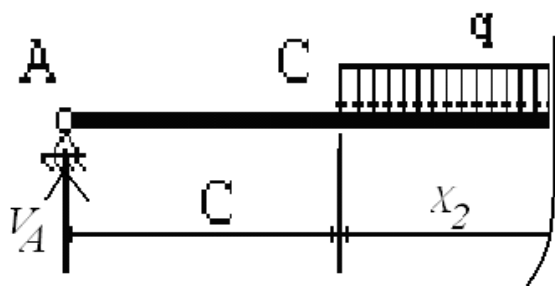
$$x_1 = 0; \quad M_1 = 14,1 \cdot 0 = 0;$$

$$x_1 = 1,5m; \quad M_1 = 14,1 \cdot 1,5 = 21,15 \text{ kN} \cdot m$$

$$Q_x = V_A = 14,1 \text{ kN}$$

2. CD uchastkada.

$0 \leq x_2 \leq 6m$



$$M_{x_2} = V_A \cdot (c + x_2) - \frac{q \cdot x_2^2}{2};$$

$$x_2 = 0; \quad M_{x_2} = V_A \cdot c = 14,1 \cdot 1,5 = 21,15 \text{ kN} \cdot m$$

$$x_2 = 3m; \quad M_x = 14,1 \cdot (1,5 + 3) - \frac{5 \cdot 3^2}{2} = 63,45 - 22,5 = 40,95 \text{ kN} \cdot m$$

$$x_2 = 6m \quad M_x = 14,1 \cdot (1,5 + 6) - \frac{5 \cdot 6^2}{2} = 105,8 - 90 = 15,8 \text{ kN} \cdot m$$

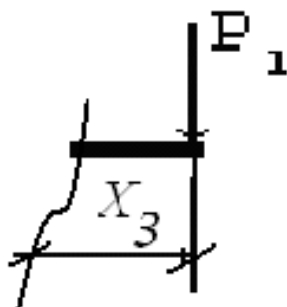
$$Q_x = V_A - q \cdot x_2$$

$$x_2 = 0; \quad Q_x = V_A = 14,1 \text{ kN}$$

$$x_2 = 3m; \quad Q_x = V_A - q \cdot x_2 = 14,1 - 5 \cdot 3 = -0,9 \text{ kN}$$

$$x_2 = 6m \quad Q_x = V_A - q \cdot x_2 = 14,1 - 5 \cdot 6 = -15,9 \text{ kN}$$

3. EB uchastkada. $0 \leq x \leq 1,2m$



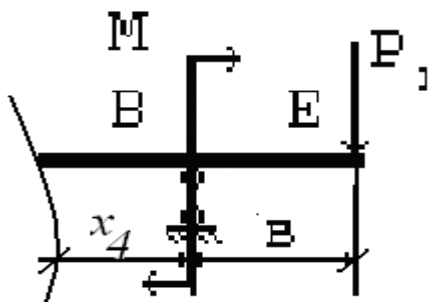
$$M_{x_3} = -P_1 \cdot x_3;$$

$$x_3 = 0 \quad M_{x_3} = 0$$

$$x_3 = 1,2m; \quad M_{x_3} = -30 \cdot 1,2 = -36 \text{ kN} \cdot m$$

$$Q_{x_3} = P_1 = 30 \text{ kN}$$

4. BD uchastkada. $0 \leq x_4 \leq 2m$



$$M_{x_4} = V_B \cdot x_4 - M - P \cdot (b + x_4);$$

$$x_4 = 0$$

$$M_{x_4} = V_B \cdot x_4 - M - P \cdot (b + x_4) = 60,9 \cdot 0 - 10 - 30 \cdot 1,2 = -46 \text{ kN} \cdot m$$

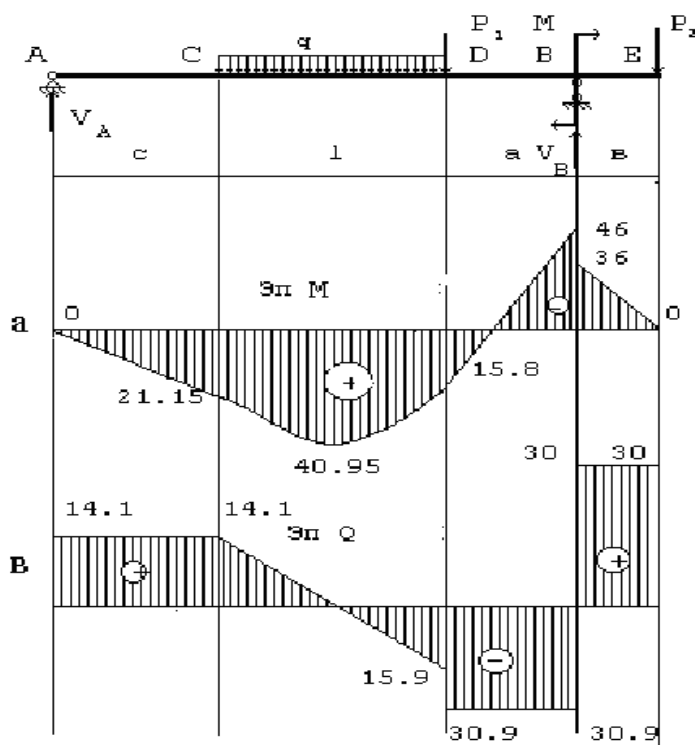
$$x_4 = 2m$$

$$M_{x_4} = V_B \cdot x_4 - M - P \cdot (b + x_4) = 60,9 \cdot 2 - 10 - 30 \cdot 3,2 = 121,8 - 106 = 15,8 \text{ kN} \cdot m$$

$$Q = P_1 - V_B$$

$$Q_{x_4} = 30 - 60,9 = -30,9 \text{ kN}$$

Topilgan qiymatlar bo'yicha uchastkalardagi eguvchi moment(M) va kesuvchi kuch(Q) epyuralarini qurib chiqamiz (a,b- rasm).



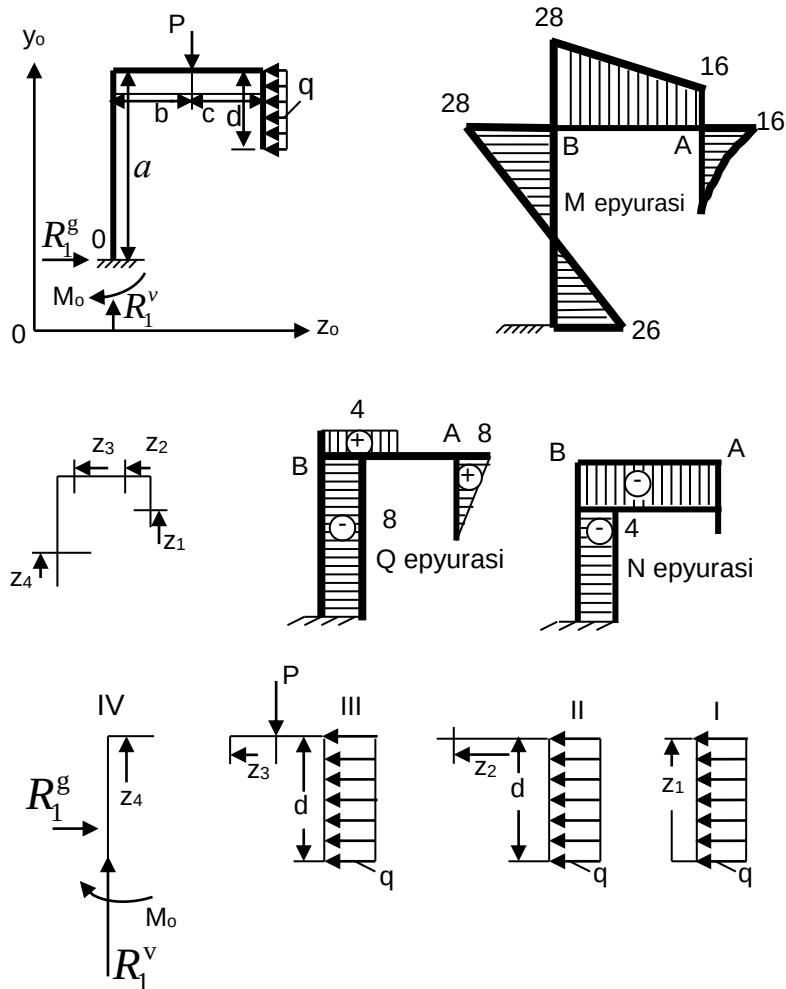
2-masala. Bir nechta sterjendan tashkil topgan (1-rasm) sterjenli sistema uchun ichki kuchlarning epyurasi qurilsin. $P = 4 \text{ tk}$, $q = 2 \text{ tk/m}$, $a = 6 \text{ m}$, $b = 3 \text{ m}$, $c = 2 \text{ m}$, $d = 4 \text{ m}$.

Qo'zg'almas Y_0 , Z_0 sanoq sistemasidan foydalanib tayanch reaksiyalarini aniqlaymiz:

$$\sum Z_0 = R_1^g - q \cdot d = 0, \quad R_1^g = qd = 2 \cdot 4 = 8 \text{ tk};$$

$$\sum Y_0 = R_1^v - P = 0, \quad R_1^v = P = 4 \text{ tk};$$

$$\sum M_0 = -M_0 - Pb + qd \left(a - \frac{d}{2} \right) = 0, \quad M_0 = -Pb + qd \left(a - \frac{d}{2} \right) = -4 \cdot 3 + 2 \cdot 4 \cdot \left(6 - \frac{4}{2} \right) = 20 \text{ tk} \cdot \text{m}.$$



1-rasm. Turli xil kuchlar bilan yuklangan siniq chiziqli sterjenlar uchun ichki kuch epyuralarini qurish.

Bu sistema 4 ta uchastkadan iborat.

Sistemaning har bir uchastkasida hosil bo'ladigan ichki kuchlarni aniqlash uchun uchastkalarga ajratib kesish usulidan foydalanamiz.

Birinchi uchastkada – I:

$$\left. \begin{aligned} M_1 &= -\frac{qz_1^2}{2} \\ Q_1 &= qz_1 \\ N_1 &= 0 \end{aligned} \right\}, \quad (0 \leq z_1 \leq d).$$

Bundan, $z_1 = 0$ da, $M_1 = 0$, $Q_1 = 0$, $N_1 = 0$;

$z_1 = 2\text{m}$ da, $M_1 = -4 \text{ tk}\cdot\text{m}$, $Q_1 = 4 \text{ tk}$, $N_1 = 0$;

$z_1 = 4\text{m}$ da, $M_1 = -16 \text{ tk}\cdot\text{m}$, $Q_1 = 8 \text{ tk}$, $N_1 = 0$.

Ikkinchi uchastkada – II:

$$\left. \begin{aligned} M_2 &= -q \cdot d \cdot \frac{d}{2} \\ Q_2 &= 0 \\ N_2 &= -qd \end{aligned} \right\}, \quad (0 \leq z_2 \leq c)$$

Bundan, $z_2 = 0$ da, $M_2 = -16 \text{ tk}\cdot\text{m}$, $Q_2 = 0$, $N_2 = -8 \text{ tk}$;

$z_2 = 2\text{m}$, $M_2 = -16 \text{ tk}\cdot\text{m}$, $Q_2 = 0$, $N_2 = -8 \text{ tk}$.

Uchinchi uchastkada – III:

$$\left. \begin{aligned} M_3 &= -qd \frac{d}{2} - Pz_3 \\ Q_3 &= P \\ N_3 &= -qd \end{aligned} \right\}, \quad (0 \leq z_3 \leq b)$$

Bundan, $z_3 = 0$ da, $M_3 = -16 \text{ tk}\cdot\text{m}$, $Q_3 = 4 \text{ tk}$, $N_3 = -8 \text{ tk}$;

$z_3 = 3\text{m}$ da, $M_3 = -28 \text{ tk}\cdot\text{m}$, $Q_3 = 4 \text{ tk}$, $N_3 = -8 \text{ tk}$.

To'rtinchi uchastkada – IV:

$$\left. \begin{aligned} M_4 &= M_o - R_1^g z_4 \\ Q_4 &= -R_1^g \\ N_4 &= -R_1^v \end{aligned} \right\}, \quad (0 \leq z_4 \leq a)$$

Bundan, $z_4 = 0$ da, $M_4 = 20 \text{ tk}\cdot\text{m}$, $Q_4 = -8 \text{ tk}$, $N_4 = -4 \text{ tk}$;

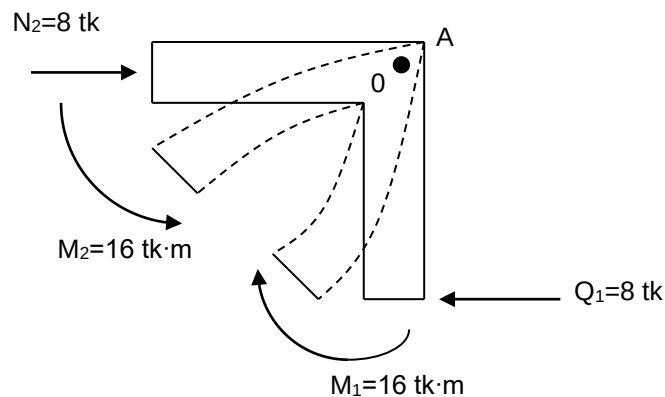
$z_2 = 6\text{m}$ da, $M_3 = -28 \text{ tk}\cdot\text{m}$, $Q_4 = -8 \text{ tk}$, $N_4 = -4 \text{ tk}$.

Olingan natijalar bo'yicha M , Q , N ichki kuchlarning epyurasini quramiz (1-rasm).

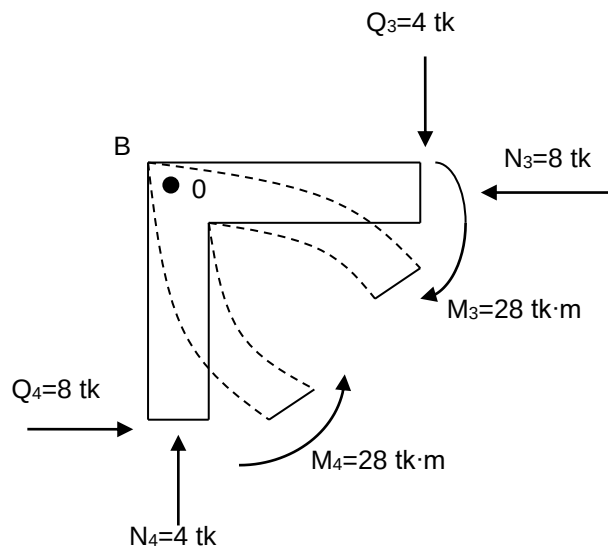
Siniq chiziqli sterjenlar uchun qurilgan ichki kuchlar epyurasini qurishda, sterjen tugunlarining muvozanatini ham tekshirib ko'rish kerak bo'ladi.

Buning uchun tugun yaqinidan o'tkazilgan 2 ta kesim orqali sterjendan bu tugun ajratib olinib, unga kesimlardagi ichki kuchlar va tugunga ta'sir etuvchi tashqi kuchlar qo'yiladi (2a,b-rasm).

Bu holda ichki kuch Q , N , M larning ishoralari quyidagi tartibda olinadi. Agarda Q kesib olingan tugunni soat strelkasi bo'yicha aylantirsa musbat (+) N kuchi esa sterjenni cho'zsa musbat (+) deb olinadi. Agarda M epyurasi sterjenning cho'ziluvchi tolalar tomoniga qurilgan bo'lsa, u ham musbat (+) ishorali bo'ladi. Bu qoidalarni tugunlarga qo'llab, ularning muvozanatini tekshiramiz.



2a-rasm. A tugunga ta'sir qiluvchi ichki kuchlar.



2 b-rasm. B tugunga ta'sir qiluvchi ichki kuchlar.

A-tugun (o'ng tomondagi tugun):

Bu tugunning vertikal sterjeniga M_1 shunday qo'yilganki, u tashqi tomondagi tolalarni cho'zib, soat strelkasi bo'yicha aylanadi. Gorizontaal sterjenda esa M_2

yuqoridagi tolalarni cho‘zib, soat strelkasiga qarshi aylanadi. Q_1 kuchi vertikal sterjenga qo‘yilgan bo‘lib, u tugunni soat strelkasi bo‘ylab aylantiradi, ya’ni musbat ishorali. N_2 kuchi epyura bo‘yicha manfiy ishorali bo‘lib, gorizonta sterjenni siqadi (2a-rasm). Shunga asosan

$$\sum M_0 = M_1 - M_2 = 16 - 16 = 0;$$

$$\sum Z = N_2 - Q_1 = 8 - 8 = 0 \text{ bo‘ladi.}$$

B-tugun (chap tomondagi tugun): xuddi shunday (2b-rasm).

$$\sum M_0 = M_3 - M_4 = 28 - 28 = 0;$$

$$\sum Z = Q_4 - N_3 = 8 - 8 = 0;$$

$$\sum Y = N_4 - N_3 = 4 - 4 = 0.$$

Demak, tugunlar muvozanatda turibdi, qurilgan epyuralar to‘g‘ri ekan.

3-misol. Quyidagi (3-rasm) sterjenli sistema uchun ichki kuchlarning epyurasi qurilsin:

$$q = 2 \text{ tk/m}, \quad P = 5 \text{ tk}, \quad a = 10 \text{ m}, \quad c = 1 \text{ m}, \quad d = 1 \text{ m}, \quad b = 5 \text{ m}.$$

Tayanch reaksiyalarini aniqlaymiz:

$$\sum Z_0 = -R_1^g - P + q \cdot a = 0,$$

$$R_1^g = -P + q \cdot a = -5 + 2 \cdot 10 = 15 \text{ tk};$$

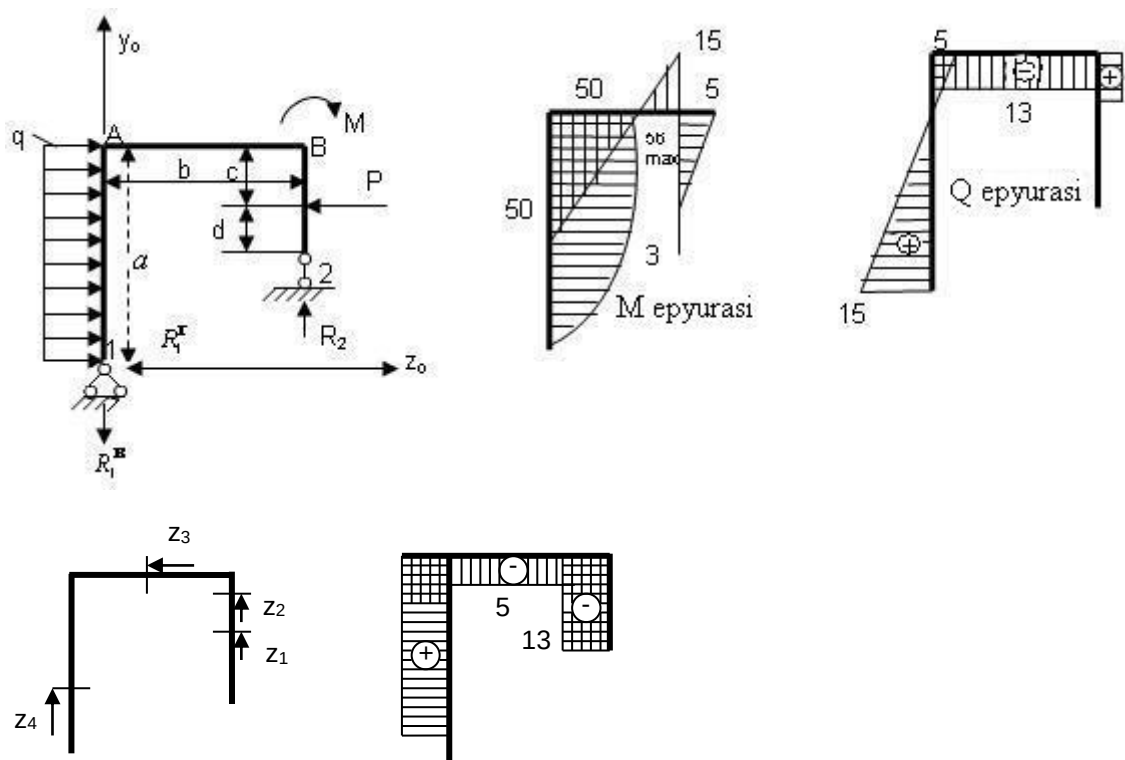
$$\sum M_1 = R_2 \cdot b + P(a - d) - M - q \cdot a \frac{a}{2} = 0,$$

$$R_2 = \frac{-P(a - d) + M + q \frac{a^2}{2}}{b} = \frac{-5(10 - 1) + 10 + 2 \frac{10^2}{2}}{5} = 13 \text{ tk};$$

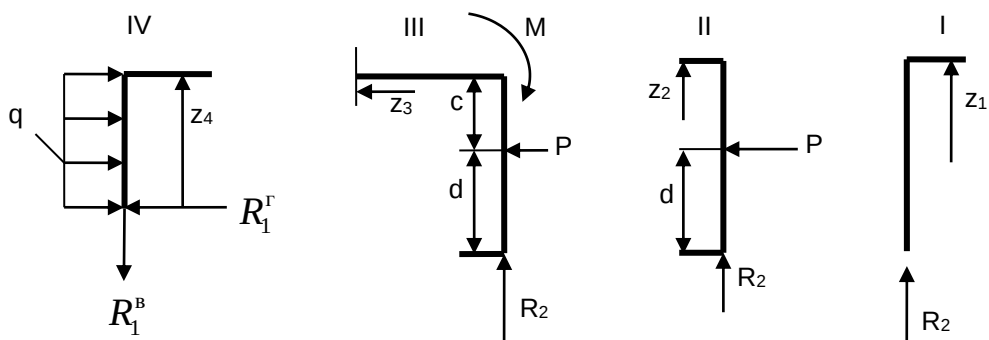
$$\sum M_2 = R_1^v \cdot b - R_1^g(a - (\tilde{n} + d)) + q \cdot a \left(\frac{a}{2} - (c + d) \right) - M + P \cdot d = 0,$$

$$R_1^v = \frac{-R_1^g \cdot (a - (c + d)) + q \cdot a \left(\frac{a}{2} - (c + d) \right) - M + P \cdot d}{-b} =$$

$$= \frac{-15(10 - (1 + 1)) + 2 \cdot 10 \left(\frac{10}{2} - (1 + 1) \right) - 10 + 5 \cdot 1}{-5} = 13 \text{ tk}.$$

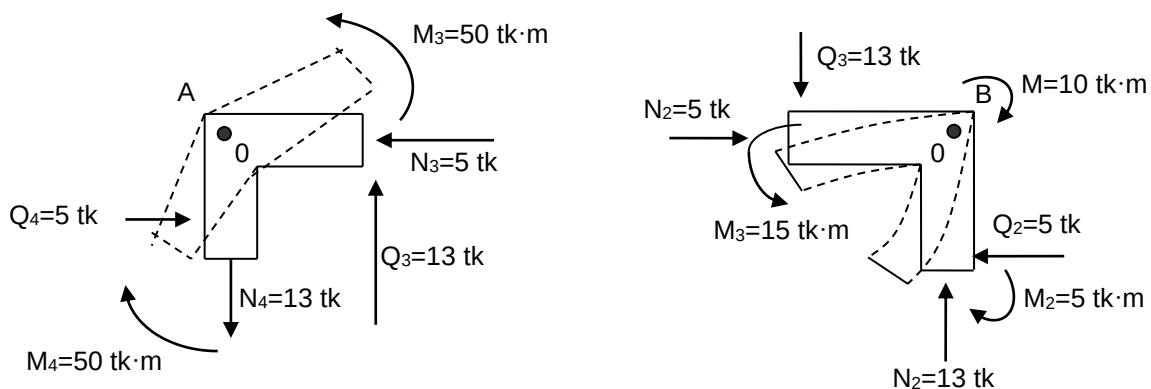


a)



b)

d)



3-rasm. Tugunga ta'sir qiluvchi ichki kuchlar:

a) sterjen uchastkalari va ichki kuch epyuralari; b) A tugunga ta'sir etuvchi ichki kuchlar; d) B tugunga ta'sir etuvchi ichki kuchlar.

Tayanch reaksiyalarini to'g'ri topilganligini tekshiramiz:

$$\sum Y_o = -R_1^v + R_2 = -13 + 13 = 0$$

Bu sterjenli sistemani 4 uchastkadan iborat deb qarash mumkin.

Birinchi uchastkada

$$\left. \begin{aligned} M_1 &= 0 \\ Q_1 &= 0 \\ N_1 &= -R_2 = -13 \text{ tk} \end{aligned} \right\}, (0 \leq z_1 \leq d).$$

Ikkinchi uchastkada

$$\left. \begin{aligned} M_2 &= -Pz_2 \\ Q_2 &= P \\ N_2 &= -R_2 \end{aligned} \right\}, (0 \leq z_2 \leq c).$$

Bundan,

$$z_2 = 0 \text{ da, } M_2 = 0, \quad Q_2 = 5 \text{ tk, } \quad N_2 = -13 \text{ tk;}$$

$$z_2 = 1 \text{ m da, } M_2 = -5 \text{ tk} \cdot \text{m, } \quad Q_2 = 5 \text{ tk, } \quad N_2 = -13 \text{ tk ga teng bo'ladi.}$$

Uchinchi uchastkada

$$\left. \begin{aligned} M_3 &= R_2 z_3 - Pc - M \\ Q_3 &= -R_2 \\ N_3 &= -P \end{aligned} \right\}, (0 \leq z_3 \leq b).$$

Bundan,

$$z_3 = 0 \text{ da, } M_3 = -15 \text{ tk} \cdot \text{m, } \quad Q_3 = -13 \text{ tk, } \quad N_3 = -5 \text{ tk;}$$

$$z_3 = 5 \text{ m da, } M_3 = 50 \text{ tk} \cdot \text{m, } \quad Q_3 = -13 \text{ tk, } \quad N_3 = -5 \text{ tk ga teng bo'ladi.}$$

To'rtinchi uchastkada

$$\left. \begin{aligned} M_4 &= R_1^g z_4 - q \cdot z_4 \frac{z_4}{2} \\ Q_4 &= R_1^g - q \cdot z_4 \\ N_4 &= R_1^v \end{aligned} \right\}, (0 \leq z_4 \leq a).$$

Bundan,

$$z_4 = 0 \text{ da, } M_4 = 0, \quad Q_4 = 15 \text{ tk, } \quad N_4 = 13 \text{ tk;}$$

$$z_4 = 10 \text{ m da}, \quad M_4 = 50 \text{ tk} \cdot \text{m}, \quad Q_4 = -5 \text{ tk}, \quad N_4 = 13 \text{ tk}.$$

M ning eng katta qiymati $Q = 0$ bo'lgan kesimda paydo bo'lib, u quyidagicha topilishi mumkin:

$$Q_4 = R_1^g - q \cdot z_4 = 15 - 2z_4 = 0, \text{ bundan } z_4 = \frac{15}{2} = 7,5 \text{ m da}$$

$M_{\max}$ qiymatga erishadi, ya'ni:

$$M_{\max} = R_1^g \cdot z_4 - q \cdot z_4 \frac{z_4}{2} = 15 \cdot 7,5 - 2 \cdot 7,5 \frac{7,5}{2} = 5 \text{ tk} \cdot \text{m}.$$

Topilgan M , Q , N ning qiymatlari bo'yicha epyura qursak, u 3a-rasmdagi ko'rinishga ega bo'ladi. Epyuralarni to'g'ri qurilganligini tekshirish uchun tugunlar muvozanatini tekshiramiz:

Chap tomondagi A tugun (3b-rasmdan):

$$\sum Z_0 = Q_4 - N_3 = 5 - 5 = 0;$$

$$\sum Y_0 = Q_3 - N_4 = +13 - 13 = 0,$$

$$\sum M_0 = M_4 - M_3 = 50 - 50 = 0;$$

O'ng tomondagi B tugun (3d-rasmdan):

$$\sum Z_0 = N_3 - Q_2 = 5 - 5 = 0,$$

$$\sum Y_0 = N_2 - Q_3 = 13 - 13 = 0,$$

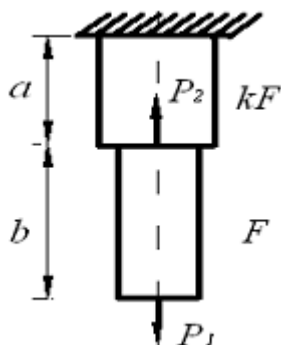
$$\sum M_0 = -M_3 + M + M_2 = -15 + 10 + 5 = 0.$$

Demak, rama tugunlarining muvozanatda ekanligi epyuraning to'g'ri qurilganligini isbotlaydi.

Mavzu. To'g'ri sterjenni cho'zilish (siqilish)ida kuchlanish va deformatsiyani aniqlash. Sterjenli sistemalarni mustahkamlikka va bikrlikka hisoblash

1-masala. Pog'onali sterjenlarga oid misol ko'ramiz. Berilgan:

$$\begin{aligned} P_1 &= 10 \text{ kH}, \\ P &= 15 \text{ kH}, \\ F &= 100 \text{ cm}^2, \\ \kappa &= 1.2, \\ a &= 2 \text{ m}, \quad b = 3 \text{ m}, \\ E &= 2 \times 10^8 \text{ kH/m}^2. \end{aligned}$$



Aniqlansin: N , σ -?

Yechish: chizmadan ko‘rinib turibdiki, sterjen ikki pog‘onadan iborat, shuning uchun sterjen ikki uchastkaga ajratib ko‘riladi.

I uchastka: z_1 0 dan b gacha o‘zgaradi:

$$(0 \leq z_1 \leq b); \quad N_I - P_1 = 0; \quad N_I = P_1 = 10 \text{ kH};$$

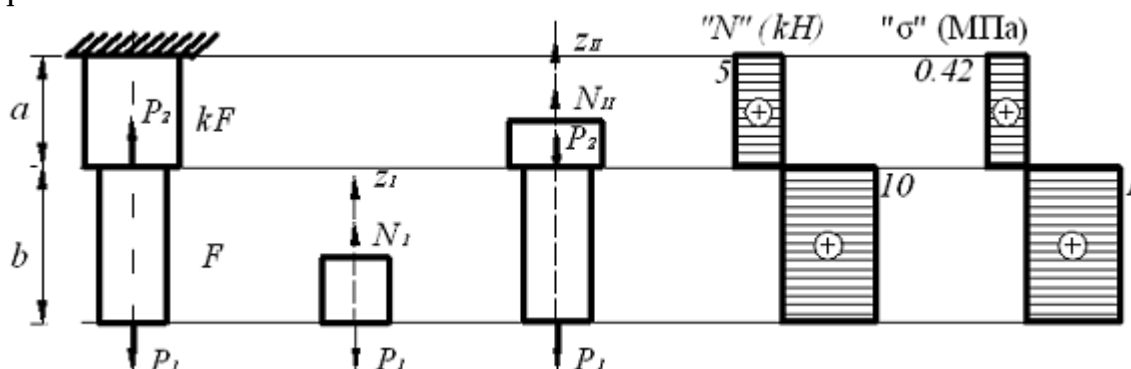
$$\sigma_I = \frac{N_I}{F} = \frac{10 \text{ kH}}{0.01 \text{ m}^2} = 1000 \text{ kH/m}^2 = 1 \text{ MPa}.$$

II uchastka: z_2 b dan $a+b$ gacha o‘zgaradi:

$$(b \leq z_2 \leq a+b); \quad N_{II} + P_2 - P_1 = 0; \quad N_{II} = P_1 - P_2 = -5 \text{ kH};$$

$$\sigma_{II} = \frac{N_{II}}{kF} = \frac{-5 \text{ kH}}{1.2 \cdot 0.01 \text{ m}^2} = -4.17 \cdot 10^{-2} \text{ kH/m}^2 = -0.42 \text{ MPa}.$$

Topilgan N_i va σ_i qiymatlaridan foydalanib, sterjen uchastkalarida epyuralar quriladi:



Har bir uchastka uchun Guk qonunidan foydalanib, absolyut deformatsiya topiladi:

$$\Delta l_I = \frac{N_I b}{EF} = \frac{10 \cdot 3}{2 \cdot 10^8 \cdot 0.01} = 1.5 \cdot 10^{-5} \text{ m} = 1.5 \cdot 10^{-3} \text{ cm} = 1.5 \cdot 10^{-2} \text{ mm} = 0.015 \text{ mm},$$

$$\Delta l_{II} = \frac{N_{II} a}{EkF} = -\frac{5 \cdot 2}{2 \cdot 10^8 \cdot 1.2 \cdot 0.01} = -4.17 \cdot 10^{-6} \text{ m} = -4.2 \cdot 10^{-3} \text{ mm} = -0.0042 \text{ mm},$$

$$\Delta l = \Delta l_I + \Delta l_{II} = 0.015 \text{ mm} - 0.0042 \text{ mm} = 0.0108 \text{ mm}.$$

2-masala. Po‘lat sterjen bo‘ylama o‘qi bo‘ylab 10 kN yuk osilgan, 3-nav po‘lat uchun ruxsat etilgan kuchlanish $[\sigma] = 1600 \text{ kg/sm}^2$ bo‘lsa, sterjen ko‘ndalang kesim yuzasini toping.

Yechish: Kuchlanish birligini SI tizim (sistema)siga keltirib olish mumkin:

$$[\sigma] = 1600 \text{ kg/cm}^2 = 1.6 \cdot 10^5 \text{ kH/m}^2 = 160 \text{ MPa}.$$

Mustaxkamlikka hisoblash shartidan foydalanib, ko‘ndalang kesim yuzasi tanlanadi:

$$\sigma \leq [\sigma] \rightarrow \frac{N}{F} \leq [\sigma], \quad F \geq \frac{N}{[\sigma]} = \frac{10 \text{ kH}}{1.6 \cdot 10^5 \text{ kH/m}^2} = 0.625 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 0.625 \text{ cm}^2$$

Sterjen ko‘ndalang kesim yuzasi uchun topilgan qiymat yaxlitlanadi:

$$F = 0.7 \text{ cm}^2.$$

3-masala: Berilgan qiymatlar $P_1 = 80 \text{ kH}$, $P_2 = 70 \text{ kH}$, $P_3 = 250 \text{ kH}$, $P_4 = 50 \text{ kH}$, $l_1 = 1.5 \text{ m}$,

$$l_2 = 2.5 \text{ m}, \quad l_4 = 2.5 \text{ m}, \quad l_5 = 2.7 \text{ m}, \quad F_1 = 25 \text{ cm}^2, \quad F_2 = 30 \text{ cm}^2, \quad F_3 = 35 \text{ cm}^2$$

Qo‘zg‘almas tayanchga tayanib turuvchi pog‘onali brusni o‘qi bo‘ylab rasmda ko‘rsatilganidek kuchlar ta’sir etadi.

Quyidagilar talab etiladi:

1. Brusning ko'ndalang kesimidagi bo'ylama kuchlar topilsin
2. Brusning ko'ndalang kesimidagi normal kuchlanish topilsin.
3. Brusning har bir qismidagi absolyut bo'ylama deformatsiya topilsin.
4. Brusni har bir kesimini ko'chishi aniqlansin.
5. Brusni ko'ndalang kesimidagi bo'ylama kuch, normal kuchlanish va ko'chishini o'q bo'ylab tarqalish epyurasi qurilsin.

Brus materiali st.3 markali po'latdan, elastiklik moduli $E = 2 \cdot 10^6 \text{ kg/sm}^2$. Brusning shakllari 5-rasm, a, b, v dan olinsin, kerakli qiymatlar 1-jadvaldan olinsin. (Hisoblashlar bruslarning xususiy og'irligini hisobga olmay bajarilsin).

Brusni erkin uchidan boshlab 2-rasmda ko'rsatilganidek parallel tekisliklar yordamida kesamiz. Brusning kesilgan yuqori qismi uchun muvozanat tenglamasini tuzamiz. Bo'ylama kuchni har bir qism uchun aniqlaymiz.

1-qism uchun $x=0$ $P = N_1 = 0$ $N_1 = -P_1 = -80 \text{ kH}$ (siquvchi) bundan,

2-qism uchun $N_2 = -P_1 - P_2 = -150 \text{ kH}$ (siquvchi)

3-qism uchun bo'ylama kuch $N_3 = N_2 = -150 \text{ kH}$ (siquvchi)

4-qism uchun $N_4 = -P_1 - P_2 + P_3 = 100 \text{ kH}$ (cho'zuvchi)

5-qism uchun $N_5 = -P_1 - P_2 + P_3 - P_4 = 50 \text{ kH}$ (cho'zuvchi)

2. Xuddi shuningdek har bir qism uchun normal kuchlanishlarni aniqlaymiz.

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{F_1} = -\frac{80}{25} = -3,2 \text{ kN/sm}^2 = -320 \text{ kg/sm}^2$$

$$\sigma_2 = \frac{N_2}{F_2} = -\frac{150}{25} = -6 \text{ kN/sm}^2 = -600 \text{ kg/sm}^2$$

$$\sigma_3 = \frac{N_3}{F_3} = -\frac{150}{30} = -5 \text{ kN/sm}^2 = -500 \text{ kg/sm}^2$$

$$\sigma_4 = \frac{N_4}{F_4} = \frac{100}{30} = 3,3 \text{ kN/sm}^2 = -330 \text{ kg/sm}^2$$

$$\sigma_5 = \frac{N_5}{F_5} = \frac{50}{35} = 1,42 \text{ kN/sm}^2 = -142 \text{ kg/sm}^2$$

3. Brus har bir qismning absolyut cho'zilishi yoki siqilishini Guk qonuniga ko'ra

$$\Delta l = \frac{Nl}{EF} \text{ orqali aniqlaymiz.}$$

$$\text{AB qism deformatsiyasi } \Delta l_{AB} = \Delta l_1 = \frac{N_1 l_1}{EF_1} = -\frac{80 \cdot 10^2 \cdot 1,5 \cdot 10^2}{2 \cdot 10^6 \cdot 250} = -0,024 \text{ sm}$$

$$\text{BC qism deformatsiyasi } \Delta l_{BC} = \Delta l_2 = \frac{N_2 l_2}{EF_1} = -\frac{150 \cdot 10^2 \cdot 2,5 \cdot 10^2}{2 \cdot 10^6 \cdot 250} = -0,075 \text{ sm}$$

$$\text{CD qism deformatsiyasi } \Delta l_{CD} = \Delta l_3 = \frac{N_3 l_3}{EF_2} = -\frac{150 \cdot 10^2 \cdot 2 \cdot 10^2}{2 \cdot 10^6 \cdot 300} = -0,05 \text{ sm}$$

$$\text{DE qism deformatsiyasi } \Delta l_{DE} = \Delta l_5 = \frac{N_5 l_5}{EF_3} = -\frac{100 \cdot 10^2 \cdot 2,5 \cdot 10^2}{2 \cdot 10^6 \cdot 300} = 0,047 \text{ sm}$$

$$\text{EF qism deformatsiyasi } \Delta l_{EF} = \Delta l_5 = \frac{N_5 l_5}{EF_3} = \frac{50 \cdot 10^2 \cdot 2,7 \cdot 10^2}{2 \cdot 10^6 \cdot 350} = 0,019 \text{ sm}$$

4. Brusning ko'chishini mahkamlangan qismidan boshlab hisoblaymiz.

F – nuqtaning ko'chishi nolga tengligi ma'lum

$$\delta_F = 0$$

E – nuqtaning ko'chishi Δl_{EF} ga teng

$$\delta_E = \Delta l_{EF} = 0,019 \text{ sm}$$

D – nuqtaning ko'chishi

$$\delta_D = \delta_E + \Delta l_{DE} = 0,019 + 0,047 = 0,066 \text{ sm}$$

C – nuqtaning ko'chishi

$$\delta_C = \delta_D + \Delta l_{CD} = 0,066 - 0,05 = 0,016 \text{ sm}$$

B – nuqtaning ko'chishi

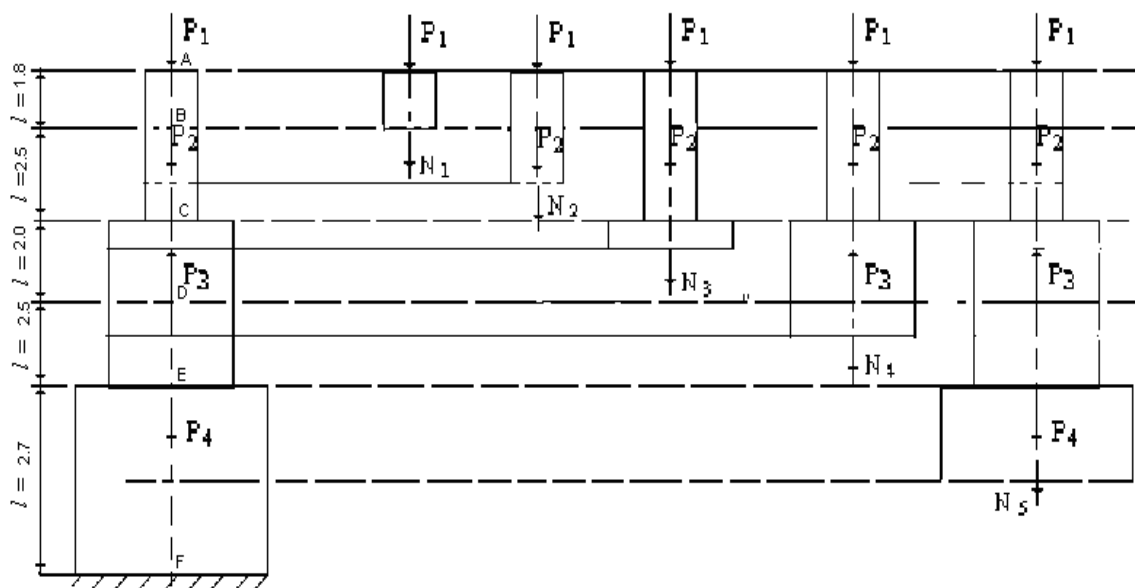
$$\delta_B = \delta_C + \Delta l_2 = 0,016 - 0,075 = -0,059 \text{ sm}$$

A – nuqtaning ko'chishi

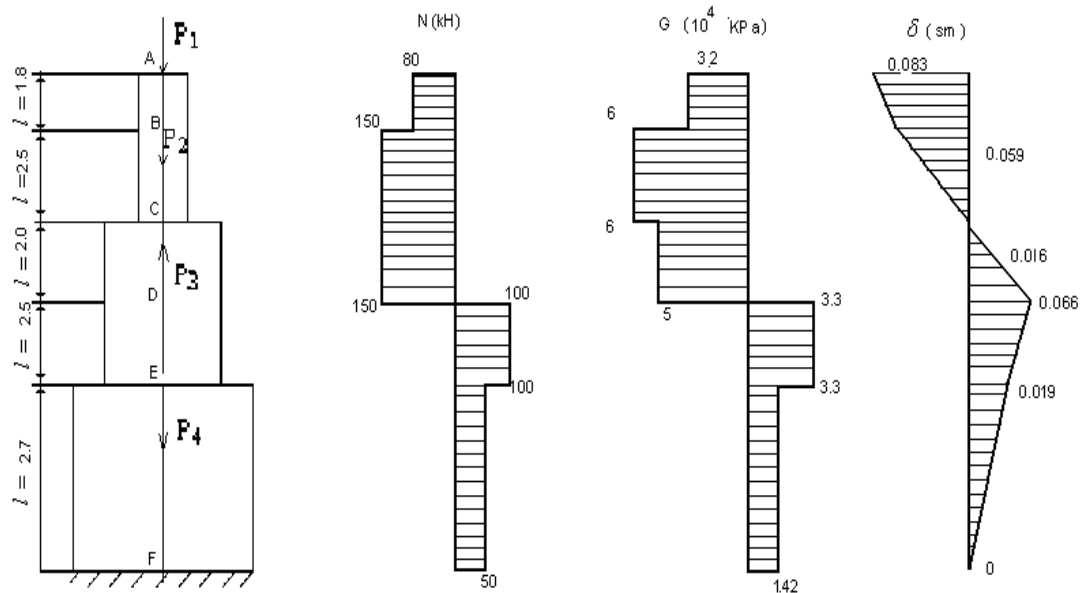
$$\delta_A = \delta_B + \Delta l_{AB} = -0,059 - 0,024 = -0,083 \text{ sm}$$

Brusning to'liq ko'chishi ya'ni qisqarishi $\delta = \delta_A = -0,083 \text{ sm}$ ga teng.

5. Brus ko'ndalang kesimidagi bo'ylama kuch, normal kuchlanish va ko'chish epyuralarini topilgan qiymatlar bo'yicha quramiz (4-rasm).



3 - rasm

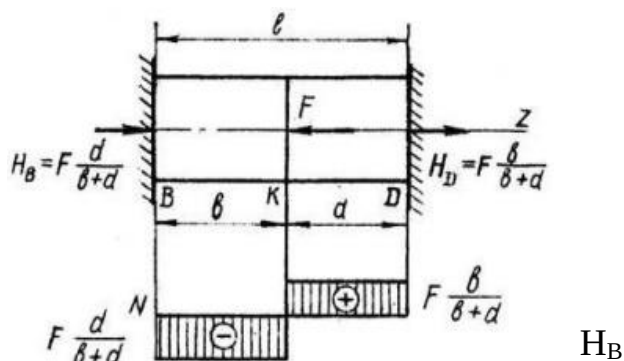


4 – rasm

Mavzu. Cho‘zilish(siqilish) deformatsiyasida uchraydigan statik noaniq masalalar.

1-masala. Ikki tomoni qistirib mahkamlangan sterjenni o‘qi bo‘ylab F kuch ta’sir qilayapti. Shu sterjenda hosil bo‘ladigan zo‘riqish aniqlansin va epyurasi qurilsin.

Yechish: F kuch sterjen o‘qi bo‘ylab yo‘nalganligi uchun sistema tayanchlarida faqat sterjen o‘qi bo‘ylab yo‘nalgan gorizontal reaksiya kuchlari va H_D hosil bo‘ladi. Bir to‘g‘ri chiziq bo‘ylab yo‘nalgan kuchlar sistemasi uchun faqat bitta muvozanat tenglamasini tuzish mumkin. Shuning uchun statik aniqlaslik darajasi



$$S = \sum R - n = 2 - 1 = 1$$

ga teng ya’ni sistema bir marta statik aniqlas sistemadir.

Sistemaga statikaning muvozanat tenglamasini tuzamiz:

$$\sum Z = 0; H_B - F + H_D = 0$$

Sterjenning uchlari qistirib mahkamlangan bo‘lgani uchun uning umumiy uzunligi o‘zgarmay qoladi. Shuning uchun sterjenning absolyut deformatsiyasi nolga teng bo‘ladi. U holda deformatsiyaning birgalikdagi tenglamasi

$$\Delta l = 0$$

yoki kengaytirilgan holda

$$\Delta l = \Delta l_b + \Delta l_d = 0$$

ko'rinishda bo'ladi.

Guk qonunidan foydalanib bo'ylama deformatsiyani cho'zilish-siqilishdagi ichki zo'riqish kuchi orqali ifodalaymiz:

$$\Delta l = \frac{N_{BK} b}{EA} + \frac{N_{DK} d}{EA} = 0$$

Kesish usulidan foydalanib b va d oraliqdagi bo'ylama kuchni tayanch reaksiyalari orqali ifodalaymiz:

$$N_{BK} = -H_B, \quad N_{DK} = H_D.$$

Bularni yuqoridagi tenglamaga qo'ysak

$$\Delta l = -\frac{H_B b}{EA} + \frac{H_D d}{EA} = 0$$

EA ga qisqartirsak

$$H_B b = H_D d.$$

Bu tenglamani muvozanat tenglamasi bilan birgalikda yechsak

$$H_B = F \frac{d}{b+d}, \quad H_D = F \frac{b}{b+d}$$

hosil bo'ladi.

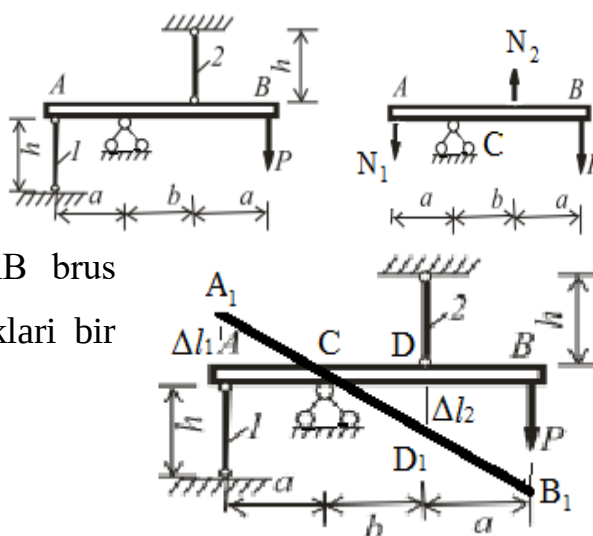
Bu olingan ifodalar yordamida bo'ylama kuch epyurasi qurilgan va u yuqoridagi chizmada tasvirlangan.

2-masala. Chizmada ko'rsatilgan sistemaning 1 va 2 sterjenlarida hosil

bo'ladigan zo'riqishlar aniqlansin. AB brus absolyut qattiq brus. Sterjenlar bikrliliklari bir hil bo'lsin.

$a=3\text{m}$, $b=2\text{m}$, $h=2\text{m}$, $P=20\text{kn}$.

Yechish.



Bundy masalalarni yechishda 1 va 2 sterjenlarni kesib, ularni o'rniga noma'lum zo'riqish kuchlari N_1 va N_2 ni qo'yib olamiz. Shundan so'ng AB brus muvozanatini tekshiramiz.

Bu masala uchun 1 ta muvozanat tenglamasini tuzamiz, lekin noma'lumlar soni 2 ta N_1 va N_2 . Shuning uchun masala 1 marta statik aniqmas masaladir.

Tayanch nuqtaga nisbatan moment olib muvozanat tenglamasini tuzamiz. Tayanch nuqtaga nisbatan moment olsak tayanch reaksiya kuchlari muvozanat tenglamasiga kirmaydi. Tayanch, sharnirli qo'zg'almas tayanch bo'lgani sababli undagi reaksiya kuchini ham vertikal ham gorizontaal tashkil etuvchisi bo'ladi.

$$\sum M_c(\vec{F}_v) = 0, \quad N_1 \cdot a + N_2 \cdot b - P \cdot (b + a) = 0$$

Ikkinchi tenglama sifatida sterjenlarning deformatsiyalangan holatidan foydalanamiz. P kuch ta'sirida deformatsiyalangan holatini chizmada tasvirlaymiz va hosil bo'lgan shakldan foydalanib tenglama tuzamiz. 1 va 2 sterjenlar P kuch ta'sirida deformatsiyalanganda brus AB holatdan A_1B_1 holatni egallaydi. Bu yerda ikkita A_1AC va CDD_1 to'g'ri burchakli uchburchaklar hosil bo'ladi. Ularni o'xshashligidan foydalanib tomonlari orasidagi munosabatni tuzamiz:

$$\frac{\Delta l_1}{a} = \frac{\Delta l_2}{b}$$

Guk qonuniga asosan Δl_1 va Δl_2 larni quyidagicha yozamiz:

$$\Delta l_1 = \frac{N_1 h}{EF}, \quad \Delta l_2 = \frac{N_2 h}{EF}$$

bu formulada F-sterjen ko'ndalang kesim yuzasi, E-elastiklik moduli.

Ushbu formulalarni yuqoridagi Δl_1 va Δl_2 larni o'rniga qo'ysak deformatsiyaning birgalikdagi tenglamasini hosil qilamiz:

$$\frac{N_1 h}{EFa} = \frac{N_2 h}{EFb}$$

Bu tenglamadan N_1 ni qiymatini aniqlaymiz:

$$N_1 = N_2 \frac{a}{b}$$

N_1 ning qiymatini muvozanat tenglamasi

$$N_1 \cdot a + N_2 \cdot b - P \cdot (b + a) = 0$$

ga qo'yamiz va N_2 ga nisbatan quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$N_2 = \frac{Pb(a+b)}{a^2 + b^2}$$

Formulaga son qiymatlarni qo'ysak:

$$N_2 = \frac{Pb(a+b)}{a^2 + b^2} = \frac{20 \cdot 2(3+2)}{3^2 + 2^2} = 15,4 \text{ kn};$$

Bu qiymatni N_1 ni aniqlash formulasiga qo'ysak

$$N_1 = N_2 \frac{a}{b} = 15,4 \cdot \frac{3}{2} = 23,1 \text{ kn}.$$

Shunday qilib sterjenlarda hosil bo'ladigan bo'ylama kuchni qiymati aniqlandi.

Mavzu. Siljishga ishlaydigan birikmalarni mustahkamlikka hisoblash

Elastik sterjendan ma'lum qiyalikdagi tekisliklar yordamida ajratib olingan elementar kubning tomonlariga faqat urinma kuchlanishlar ta'sir qilsa, u holda kubning bunday tekis kuchlanish holatiga sof siljish deyiladi.

Faqat urinma kuchlanishlar paydo bo'ladigan yuzalar sof siljish yuzalari deyiladi. Siljishdagi Guk qonuni quyidagiga teng:

$$\tau = G \cdot \gamma; \quad (1)$$

bu yerda, τ – urinma kuchlanish;

G – siljishdagi elastiklik moduli va u quyidagicha ifodalanadi:

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

γ – nisbiy siljish burchagi va u quyidagicha ifodalanadi:

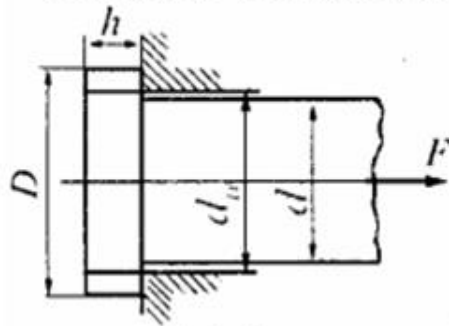
$$\gamma = \frac{\delta}{a}; \quad (3)$$

bu yerda, δ – absolut siljish;

a – elementning balandligi.

1- masala

Cho'zuvchi F kuch bilan yuklangan bolt qalpog'ining diametri D va balandligi h ni aniqlang (1- shakl). Quyidagi joiz kuchlanishlar ma'lum:



1- shakl

$$\sigma_{adm} = 140 \text{ MPa (cho'zilishdagi);}$$

$$\tau_{adm} = 140 \text{ MPa (kesilishdagi);}$$

$$\sigma'_{con} = 250 \text{ MPa (ezilishdagi);}$$

$$d_0 = 3,4 \cdot 10^{-2} \text{ m; } d = 3,2 \cdot 10^{-2} \text{ m.}$$

Material cho'zilish, kesilish va ezilishlarga bir xil qarshilik ko'rsatishi inobatda olingan holda, hisoblash olib borilsin.

Yechish:

Chizmadan ko'rinish turibdiki, boltning sterjen qismi cho'zilishga, bosh qismi kesilishga, devorga tegib turgan tayanch yuzasi esa ezilishga qarshilik ko'rsatadi.

a) sterjenning cho'zilishdagi mustahkamlik shartidan joiz kuchni aniqlaymiz:

$$F_{adm} = \sigma_{adm} \frac{\pi d^2}{4} = 140 \cdot 10^3 \frac{3,14(3,2 \cdot 10^{-2})^2}{4} = 112,6 \text{ kN .}$$

b) ezilishdagi mustahkamlik shartidan tayanch yuzaning diametrini aniqlaymiz:

$$\frac{F}{A_{ez}} \leq \sigma'_{con} ;$$

bu yerda, $A_{ez} = \frac{\pi(D^2 - d_0^2)}{4}$; $F = F_{adm}$ (masalaning shartiga ko'ra) .

$$\text{Bundan, } D \geq \sqrt{\frac{4F_{adm}}{\pi\sigma'_{con}} + d_0^2} = \sqrt{\frac{4 \cdot 112,6}{3,14 \cdot 250 \cdot 10^3} + (3,14 \cdot 10^{-2})^2} = 4,17 \cdot 10^{-2} \text{ m ;}$$

$D = 4,2 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ deb qabul qilamiz.

→ d) kesilishga mustahkamlik shartini yozamiz: $\frac{F}{A_{kes}} \leq \tau_{adm}$;

bu yerda, $A_{kes} = \pi d_0 \cdot h$; $F = F_{adm}$ (masalaning shartiga asosan).

$$\text{Demak, } h \geq \frac{F_{adm}}{\pi d_0 \tau_{adm}} = \frac{112,6}{3,14 \cdot 3,4 \cdot 10^{-2} \cdot 100 \cdot 10^3} = 1,055 \cdot 10^{-2} \text{ m ; } h = 1,1 \cdot 10^{-2} \text{ m deb qabul}$$

qilinadi.

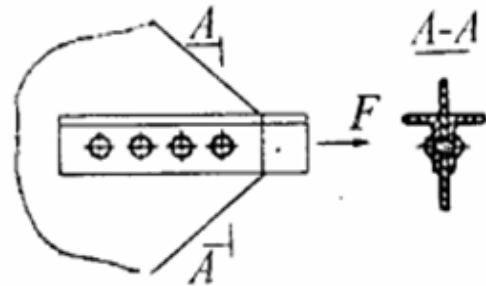
2 - masala

Ikkita $90 \times 56 \times 8$ li burchaklikdan iborat ferma raskosini $\delta = 1,2 \cdot 10^{-2}$ m qalinlikdagi kosinkaga biriktirish uchun diametri $d = 2,3 \cdot 10^{-2}$ m li parchin mixdan nechta zarur (2-shakl)? Raskosdagi cho'zuvchi kuch $F = 300$ kN bo'lib, uning materiali uchun $\sigma'_{\text{con}} = 280$ MPa, $\tau_{\text{adm}} = 100$ MPa ga teng.

Yechish:

Birikmada ikki kesilishli parchin mix ishlatilganligi sababli, uning kesilmaslik sharti

$$\tau_{\text{kes}} = \frac{F}{2n \cdot \frac{\pi d^2}{4}} \leq \tau_{\text{adm}} \quad \text{ko'rinishda yoziladi.}$$



2-shakl

$$\text{Bunda, } n \geq \frac{N}{2 \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot \tau_{\text{adm}}} = \frac{300 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot \frac{3,14 (2,3 \cdot 10^{-2})^2}{4} \cdot 100} = 3,6.$$

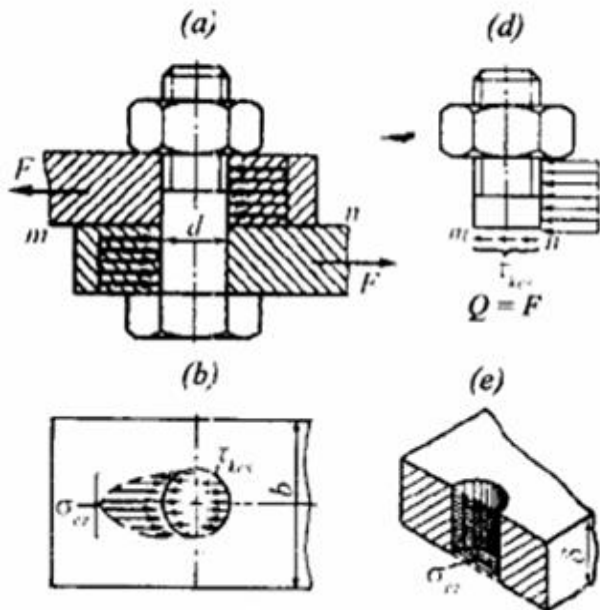
$$\text{Ezilmaslik sharti esa quyidagicha: } \sigma_{\text{ez}} = \frac{F}{n \cdot \delta d} \leq \sigma'_{\text{con}}.$$

$$\text{Bunda, } n \geq \frac{F}{\delta d \sigma'_{\text{con}}} = \frac{300 \cdot 10^{-3}}{1,2 \cdot 2,3 \cdot 10^{-2} \cdot 280} = 3,9.$$

Demak, birikmaga $n = 4$ ta parchin mix yetarli ekan.

3 - masala

3-shaklda tasvirlangan birikmadagi boltning diametrini aniqlash talab etiladi. List (polosa)ning qalinligi $\delta = 2 \cdot 10^{-2}$ m bo'lib, uni cho'zuvchi kuch $F = 200$ kN ga teng. Bolt materiali uchun joiz kuchlanishlar ma'lum: $[\sigma]_{\text{ez}} = 200$ MPa, $[\tau]_{\text{kes}} = 80$ MPa.



3-shakl

Yechish:

Bolt bir kesilishli bo'lganligi sababli kesilishdagi mustahkamlik shartini

$$\frac{F}{\frac{\pi d^2}{4}} \leq [\tau]_{\text{kes}}$$

ko'rinishida yozib, undan boltning diametrini topamiz:

$$d \geq \sqrt{\frac{4F}{\pi \cdot [\tau]_{\text{kes}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 200 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 80 \cdot 10^6}} = 5,6 \cdot 10^{-2} \text{ m} \approx 6 \cdot 10^{-2} \text{ m}.$$

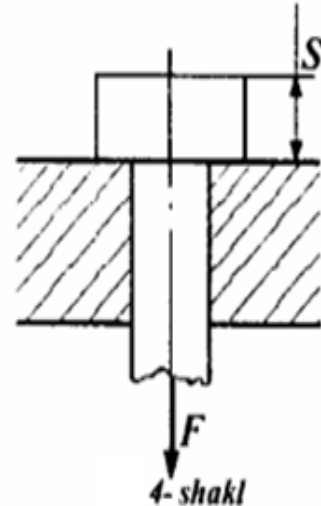
Ezilishdagi mustahkamlik sharti $\frac{F}{\delta d} \leq [\sigma]_{ez}$ dan diametрни aniqlaymiz (3- shakl,e):

$$d \geq \frac{F}{\delta \cdot [\sigma]_{ez}} = \frac{200 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^{-2} \cdot 200 \cdot 10^6} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ m.}$$

Shunday qilib, $d = 6 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ qabul qilinadi.

4 - masala

Cho'zuvchi kuch $F = 40 \text{ kN}$ bo'lganda tortqining qalpog'ida hosil bo'luvchi kesuvchi kuchlanishning qiymatini aniqlang. Boltning diametri $d = 2 \cdot 10^{-2} \text{ m}$, qalpog'ning qalinligi esa $S = 2,4 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ ga teng (4- shakl).



Yechish:

Shartli kesilish yuzasini hisoblaymiz:

$$A_{kes} = \pi ds = 3,14 \cdot 2,4 \cdot 10^{-4} = 15,072 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2.$$

Tortqining qalpog'idagi ezuvchi kuchlanish quyidagiga teng:

$$\sigma_{kes} = \frac{F}{A_{kes}} = \frac{40}{15,072 \cdot 10^{-4}} = 0,26 \cdot 10^3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 0,26 \text{ MPa.}$$

Mavzu. Doira kesimli sterjenning buralishi

1-masala. Val $M_b=250 \text{ kgm}$ moment bilan buraladi. Agar ruxsat etilgan kuchlanish $[\tau] = 600 \text{ kg/cm}^2$ bo'lsa valning diametri topilsin.

Yechish: Val ko'ndalang kesimining qarshilik momentini topamiz:

$$W_p \geq \frac{M_b}{[\tau]} = \frac{25000}{600} = 41,67 \text{ sm}^3$$

Ikkinchi tomondan doiraviy kesimli val uchun

$$W_p = \frac{\pi d^3}{16} \text{ bo'ladi.}$$

Bo'larning ung tomonini tenglashtirib quyidagini topamiz

$$\frac{\pi d^3}{16} = 41,67; \text{ bundan } d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 41,67}{3,14}} = 5,966 \approx 6,0 \text{ sm}$$

2-masala. Diametri $d=7,5 \text{ sm}$ bo'lgan po'lat valning quvvati $N=300$ ot kuchi bulib, uning minutiga aylanishi $n=320 \text{ ayl/min}$ ga teng. Valning mustahkamligi tekshirilsin.

Yechish:

Burovchi momentning qiymatini topamiz

$$M_b = 71620 \frac{N}{n} = 71620 \frac{300}{320} = 67143,75 \text{ kg} \cdot \text{sm}$$

Doiraviy kesim qarshilik momenti

$$W_{\rho} = \frac{\pi d^3}{16} = 0,2d^3 = 0,2 \cdot 7,5^3 = 84,375 \text{ sm}^3 \text{ bo'ladi.}$$

Eng katta urinma kuchlanishni topamiz

$$\tau_{\max} = \frac{M_{\phi}}{W_{\rho}} = \frac{67143,75}{84,375} = 795,78 \text{ kg/sm}^2$$

Ruxsat etilgan kuchlanishni quyidagicha olamiz

$$[\tau] = (0,5 - 0,6)[\sigma] = (0,5 - 0,6) \cdot 1600 = (800 - 960) \text{ kg/sm}^2$$

Demak valning mustahkamligi ta'minlanar ekan.

3-masala. Kovak val $M_{\phi} = 600 \text{ kgM}$ moment bilan buraladi. Agar ruxsat etilgan kuchlanish $[\tau] = 600 \text{ kg/sm}^2$ va ichki diametrning tashqisiga nisbati $\alpha = d_k / D_k = 0,8$ bo'lsa, kesimning o'lchamlari aniqlansin. Agar valning kesimi yaxlit bo'lsa, shu mustahkamlikda valning og'irligini qanchaga kamaytirish mumkin.

Yechish: Kovak kesim uchun qarshilik momentini hisobga olib, valning tashqi diametrini topamiz:

$$D_k = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_{\phi}}{\pi(1 - \alpha^4)[\tau]}} = 1,72 \sqrt[3]{\frac{M_{\phi}}{(1 - \alpha^4)[\tau]}} = 1,72 \sqrt[3]{\frac{60000}{(1 - 0,8^4)600}} = 9,5 \text{ sm}$$

Valning ichki diametri $d_k = \alpha D_k = 0,8 \cdot 9,5 = 7,6 \text{ sm}$

Agar valning kesimi yaxlit bo'lsa, yaxlit doiraviy kesim uchun qarshilik momentini hisobga olib, valning diametrini topamiz:

$$d_{\text{я}} \geq 1,72 \sqrt[3]{\frac{M_{\phi}}{[\tau]}} = 1,72 \sqrt[3]{\frac{60000}{600}} = 7,998 \text{ sm} \approx 8,0 \text{ sm}$$

Kovak va yaxlit vallarning og'irliklarining nisbati, ular ko'ndalang kesim yuzalarining nisbatiga teng.

Kovak valning ko'ndalang kesim yuzi

$$A_k = \frac{\pi}{4}(D_k^2 - d_k^2) = \frac{3,14}{4}(9,5^2 - 7,6^2) = 25,5 \text{ sm}^2$$

Yaxlit valning ko'ndalang kesim yuzi

$$A_{\text{я}} = \frac{\pi}{4}d_{\text{я}}^2 = \frac{3,14}{4} \cdot 8^2 = 50,24 \text{ sm}^2$$

$$\frac{A_k}{A_{\text{я}}} = \frac{25,5}{50,24} = 0,5075$$

Demak bir xil mustahkamlikdagi kovak val yaxlit valga nisbatan 49,25% kam og'irlikda bo'lar ekan.

4-masala. 1,5 m uzunlikka to'g'ri keladigan buralish burchagi $\varphi^{\bullet} = 0,5^{\circ}$ bo'lgan valning dvigatelga beradigan quvvati topilsin. Valning diametri $d = 10 \text{ sm}$, minutiga aylanish soni $n = 500 \text{ ayl/min}$, materialining elastiklik moduli $G = 8 \cdot 10^5 \text{ kg/sm}^2$

Yechish: Buralish burchagi formulasidan quyidagiga ega bo'lamiz: $M_{\phi} = \frac{GJ_{\rho}}{\ell} \phi$ buni burovchi moment formulasiga qo'yib, quyidagi ifodani hosil qilamiz:

$$\frac{GJ_{\rho}}{\ell} \phi = 71620 \frac{N}{n} \quad \text{бундан} \quad N = \frac{GJ_{\rho} n}{71620 \ell} \cdot \phi$$

Valning buralish burchagining radiandagi qiymati

$$\phi = \frac{\phi^{\circ} \cdot \pi}{180} = \frac{0,5 \cdot 3,14}{180} \quad \text{bo'ladi}$$

$$N = \frac{8 \cdot 10^5 \cdot 3,14 \cdot 10^4 \cdot 500 \cdot 0,5 \cdot 3,14}{32 \cdot 71620 \cdot 180 \cdot 150} \cong 320 \text{ ot kuchi}$$

$$N = 320 \text{ ot kuchi}$$

5-masala. Diametri $d=1,4\text{sm}$ va uzunligi $\ell = 50\text{sm}$ bo'lgan po'lat sterjen $M_b = 250\text{kg} \cdot \text{sm}$ moment bilan buralganda to'plangan potensial energiya topilsin.

Sterjen materiali uchun $G = 8 \cdot 10^5 \text{kg} / \text{sm}^2$ bo'ladi.

Yechish: berilgan qiymatlardan foydalanib potensial energiyani topamiz:

$$U = \frac{M_{\phi}^2 \cdot \ell}{2GJ_{\rho}} = \frac{(250)^2 \cdot 50}{2 \cdot 8 \cdot 10^5 \cdot \frac{3,14 \cdot (1,4)^4}{32}} = 5,18\text{kg} \cdot \text{sm}$$

6-masala. Uzunligi $\ell = 5\text{m}$ ko'ndalang kesimi to'g'ri burchakli tomonlari $a = 20\text{sm}$ va $b = 10\text{sm}$ bo'lgan po'lat sterjen $M_b = 300000 \text{kg} \cdot \text{sm}$ moment bilan buralayapdi. Sterjen materiali uchun $G = 8 \cdot 10^5 \text{kg} / \text{sm}^2$. Eng katta kuchlanish, buralish burchagi va kichik tomon o'rtasidagi kuchlanish τ_1 topilsin.

Yechish: Eng katta kuchlanish kesimning katta tomonining o'rtasida hosil bo'ladi va u quyidagicha topiladi.

$$\tau_{\max} = \frac{M_{\phi}}{W_{\phi}} = \frac{M_{\phi}}{\beta a b^2} = \frac{300000}{0,246 \cdot 20 \cdot 10^2} = 609,75\text{kg} / \text{sm}^2$$

bunda $\beta = 0.246$ ni 1-jadvaldan oldik.

$$\text{Kuchlanishni topamiz } \tau_{\max} = \frac{M_{\phi}}{a \cdot b^2} \left(3 + 1,8 \frac{b}{a} \right) = \frac{300000}{20 \cdot 10^2} \left(3 + 1,8 \frac{10}{20} \right) = 55\text{kg} / \text{sm}^2 \text{ bo'lar}$$

orasidagi farq juda kam ekan.

Buralish burchagini topamiz:

$$\phi = \frac{M_{\phi} \cdot \ell}{G \cdot J_{\rho}} = \frac{M_{\phi} \cdot \ell}{G \alpha a b^3} = \frac{300000 \cdot 500}{8 \cdot 10^5 \cdot 0,229 \cdot 20 \cdot 10^3} = 0,0409\text{rad}.$$

$$\text{eki } \phi = \frac{10}{\pi} \cdot 0,0409 = 2,34^{\circ}$$

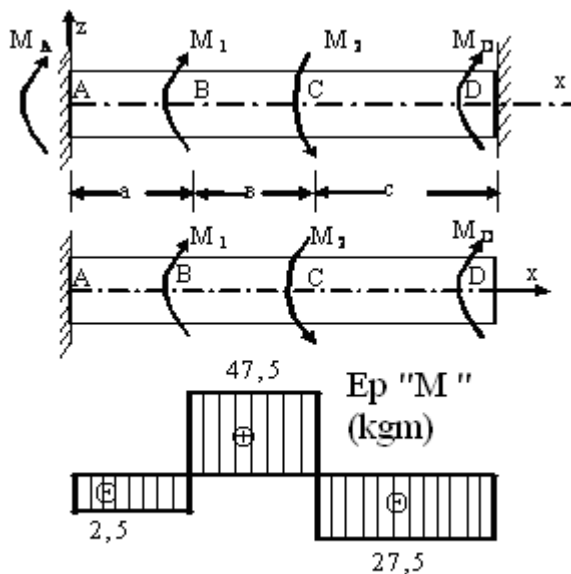
Kichik tomon o'rtasidagi eng katta kuchlanishni topamiz:

$$\tau_1 = \gamma \tau_{\max} = 0,795 \cdot 609,75 = 484,75\text{kg} / \text{sm}^2 \text{ bunda } \gamma = 0,795 \text{ ni jadvaldan } \frac{b}{a} = 2,0 \text{ qiymatdan oldik.}$$

7-masala. 1-shaklda ko'rsatilgan sterjenga $M_1=50 \text{ kg} \cdot \text{m}$ va $M_2=75 \text{ kg} \cdot \text{m}$ momentlar ta'sir etayapdi. Uning mustahkamlik va bikrlilik shartidan foydalanib kerakli diametri tanlansin.

$$[\tau] = 400 \text{ kg} / \text{sm}^2 \quad [\varphi] = 0,3 \text{ grad} / \text{m};$$

$$G = 8 \cdot 10^5 \text{ kg} / \text{sm}^2; \quad a = 1,0 \text{ m}; \quad \epsilon = 1,5 \text{ m}; \quad c = 2,5 \text{ m}.$$



1 - shakl

Yechish: Masala uchun lozim bo'lgan statikaning muvozanat tenglamasini tuzamiz:

$$\sum X = M_A + M_1 - M_2 + M_D = 0 \quad (1)$$

Bundan ko'rinadiki, masala bir marta statik aniqmas ekan, chunki tenglamalar conidan noma'lumlar soni bitta ko'p ekan. Bu masalani yechish uchun bitta qo'shimcha tenglama tuzamiz. Qushimcha tenglama tuzish uchun D tayanchni tashlab yuborib, uning ta'sirini M_D moment bilan almashtiramiz. Bu kesim qo'zg'almasligi, ya'ni uning buralish burchagi $\varphi_D = 0$ bo'ladi.

$$\varphi_D = \frac{M_1 \cdot a}{GJ_\rho} - \frac{M_2 \cdot (a + \epsilon)}{GJ_\rho} + \frac{M_D \cdot (a + \epsilon + c)}{GJ_\rho} = 0 \quad (2)$$

$$\text{bundan } M_D = \frac{-M_1 \cdot a + M_2 \cdot (a + \epsilon)}{a + \epsilon + c} = \frac{-50 \cdot 1,0 + 75(1,0 + 1,5)}{1,0 + 1,5 + 2,5} = 27,5 \text{ kg} \cdot \text{m}.$$

$$\text{tenglamadan } M_A = -M_1 + M_2 - M_D = -50 + 75 - 27,5 = -2,5 \text{ kg} \cdot \text{m}.$$

Burovchi moment epyurasini ko'ramiz:

$$\text{DC uchastkada } M_{DC}(x) = -M_D = -27,5 \text{ kg} \cdot \text{m}.$$

$$\text{BC uchastkada } M_{BC}(x) = -M_D + M_2 = -27,5 + 75 = 47,5 \text{ kg} \cdot \text{m}.$$

$$\text{AB uchastkada } M_{AB}(x) = -M_D + M_2 - M_1 = -27,5 + 75 - 50 = -2,5 \text{ kg} \cdot \text{m}.$$

Epyuradan eng katta buruvchi momentni ($M_{\max}=47,5 \text{ kgm}$) topib mustahkamlik va bikrlilik shartlaridan sterjenning diametrini topamiz:

$$\text{Mustahkamlik shartidan: } d \geq \sqrt[3]{\frac{M_{\max}}{0,2[\tau]}} = \sqrt[3]{\frac{47,5 \cdot 10^2}{0,2 \cdot 400}} = 3,9 \text{ sm}$$

$$\text{Bikrlilik shartidan: } d \geq \sqrt[4]{\frac{180^\circ \cdot M_{\max} \cdot 100}{G[\tau] \cdot \pi \cdot 0,1}} = \sqrt[4]{\frac{180^\circ \cdot 47,5 \cdot 10^2 \cdot 100}{8 \cdot 10^5 \cdot 0,3 \cdot 3,14 \cdot 0,1}} = 6,32 \text{ sm}$$

Topilgan qiymatlarni eng kattasini qabul qilamiz va yaxlitlaymiz:
 $d=63 \text{ mm}$.

8-masala. Doiraviy va kvadrat kesimli simdan tayyorlangan bir xil D o'rtacha diametrli ikki silindrik vinsimon prujinaning K -koeffitsienti ikkalasi uchun bir xil deb og'irligi va uzayishi taqqoslab qurilsin.

Yechish: Ikkala prujinada ham bir xil qiymatli $\tau_{\max}$ hosil bo'ladi. Prujinalar og'irliklari simlarning ko'ndalang kesim o'lchamiga proporsional bo'lishidan simlarning ko'ndalang kesim yuzalarini aniqlaymiz.

Doiraviy kesimli simdan yasalgan prujina uchun

$$\tau_{\max} = K \frac{8FD}{\pi d^3}$$

Kvadrat kesimli simdan yasalgan prujina uchun

$$\tau_{\max} = K \frac{F \cdot D}{2\rho\epsilon^3} = K \frac{F \cdot D}{2 \cdot 0,208 \cdot \epsilon^3} \text{ larni, bunda } \beta = 0,208 \text{ ni kvadrat uchun jadvaldan oldik.}$$

Bu ikkala tenglamalarning chap tomonlarining tengligidan foydalanib, quyidagini yozamiz:

$$\frac{\pi d^3}{8} = 2 \cdot 0,208 \epsilon^3 \text{ bundan } \epsilon = d \sqrt[3]{\frac{\pi}{16 \cdot 0,208}} = 0,98d$$

$$\text{Kesim yuzalarining nisbati } \frac{A_o}{A_k} = \frac{\frac{\pi d^2}{4}}{\epsilon^2} = \frac{\pi d^2}{4 \cdot (0,98)^2 d^2} = 0,817$$

Demak kvadrat kesimli simdan yasalgan prujina doiraviy kesimli simdan tayyorlangan prujinadan 18,3% ga og'ir bo'lar ekan.

Endi prujinalarning uzayishini topamiz.

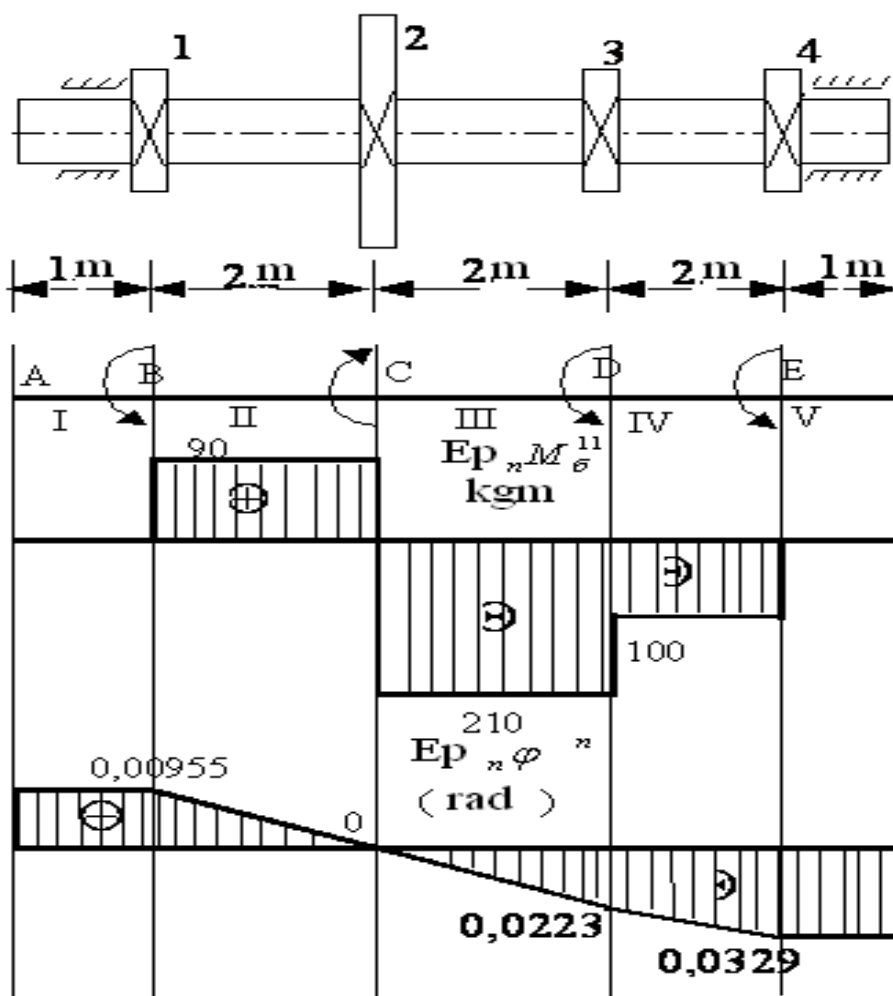
$$\text{Doiraviy kesimli } \lambda_o = \frac{8 \cdot FD^3 n}{Gd^4}$$

$$\text{Kvadrat kesimli } \lambda_k = \frac{FD^3 \pi n}{4G\alpha\epsilon^4}$$

Prujinalar uzayishining nisbati

$$\frac{\lambda_o}{\lambda_k} = \frac{\frac{8FD^3 n}{Gd^4}}{\frac{FD^3 \pi n}{4G\alpha\epsilon^4}} = \frac{32\alpha\epsilon^4}{\pi d^4} = \frac{32 \cdot 0,141\epsilon^4}{3,14d^4} = \frac{32 \cdot 0,141(0,98)^4 d^4}{3,14 \cdot d^4} = 1,325.$$

Bu erda $\alpha = 0,141$ qiymatni ($\frac{a}{\epsilon} = 1$) ya'ni kvadrat kesim uchun jadvaldan oldik.



2-shakl

9-masala. O'zgarmas ko'ndalang kesimli po'lat valga (2-shakl, a) da ko'rsatilgandek to'rtta shkiqlar o'rnatilgan. Ulardan ikkinchisi yetaklovchi bulib qolganlari yetaklanuvchidir. Ruksat etilgan kuchlanish $[\tau] = 400 \text{ kg/sm}^2$, $G = 8 \cdot 10^5 \text{ kg/sm}^2$. $[\varphi'] = 0,5 \text{ grad/m}$.

Quyidagilar talab qilinadi:

- 1) Burovchi moment epyurasi qurilsin;
- 2) mustahkamlik va bikrlilik shartlaridan valning diametri aniqlansin;
- 3) buralish burchagining epyurasi qurilsin.

Yechish: 1) Valni beshta uchastkaga ajratib, har bir uchastka uchun burovchi moment qiymatlarini topamiz:

$$\sum M(x) = M_{\delta}^I = 0; M_{\delta}^I = 0;$$

$$\sum M(x) = M_{\delta}^{II} - M_1 = 0;$$

$$M_{\delta}^{II} = M_1 = 90 \text{ kNm};$$

$$\sum M(x) = M_{\delta}^{III} - M_1 + M_2 = 0;$$

$$M_{\delta}^{III} = M_1 - M_2 = 90 - 300 = -210 \text{ kNm};$$

$$\sum M(x) = M_{\delta}^{VI} - M_1 + M_2 - M_3 = 0;$$

$$M_{\delta}^{IV} = 90 - 300 + 110 = -100 \text{ kNm};$$

$$\sum M(x) = M_{\delta}^V - M_1 + M_2 - M_3 - M_4 = 0;$$

$$M_{\delta}^V = 90 - 300 + 110 + 100 = 0$$

2. Valning diametrini aniqlaymiz.

$$\text{Mustahkamlik shartidan: } d \geq \sqrt[3]{\frac{M_{\max}}{0,2[\tau]}} = \sqrt[3]{\frac{210 \cdot 10^2}{0,2 \cdot 400}} = 6,4 \text{ sm}$$

$$\text{Bikrlik shartidan: } d \geq \sqrt[4]{\frac{180^\circ \cdot M_{\max} \cdot 100}{G[\varphi^\circ] \cdot \pi \cdot 0,1}} = \sqrt[4]{\frac{180^\circ \cdot 210 \cdot 10^2 \cdot 100}{8 \cdot 10^5 \cdot 0,5 \cdot 3,14 \cdot 0,1}} = 7,4 \text{ sm}$$

Topilgan qiymatlardan kattasini, ya'ni bikrlik shartidan topilgan qiymatni qabul qilamiz va uni yaxlitlab $d=70 \text{ mm}$ deb qabul qilamiz.

3) yetakchi shkivni qo'zg'almas kesim deb, ya'ni buralish burchagini shu kesimdan boshlab hisoblaymiz

$$\varphi_{BC} = \frac{M_{\delta}'' \cdot \ell_{BC}}{GJ_{\rho}} = \frac{90 \cdot 10^2 \cdot 200 \cdot 32}{8 \cdot 10^5 \cdot 3,14 \cdot 7^4} = 0,00955 \text{ rad}.$$

DC uchastkada D kesimning C kesimga nisbatan buralish burchagi

$$\varphi_{DC} = \frac{M_{\delta}'' \cdot \ell_{DC}}{GJ_{\rho}} = -\frac{210 \cdot 10^2 \cdot 200 \cdot 32}{8 \cdot 10^5 \cdot 3,14 \cdot 7^4} = -0,0223 \text{ rad}$$

ED uchastkada E kesimning D kesimga nisbatan buralish burchagi

$$\varphi_{ED} = \frac{M_{\delta}^{IV} \cdot \ell_{ED}}{GJ_{\rho}} = -\frac{100 \cdot 10^2 \cdot 200 \cdot 32}{8 \cdot 10^5 \cdot 3,14 \cdot 7^4} = -0,0106 \text{ rad}$$

Yetakchi shkiv joylashgan kesim C ni qo'zg'almas deb olganimiz uchun valning har bir shkiv o'rnatilgan kesimining buralish burchagi quyidagicha topiladi:

$$\varphi_C = 0; \varphi_B = \varphi_{BC} = 0,00955 \text{ rad};$$

$$\varphi_D = \varphi_{DC} = -0,0223 \text{ rad};$$

$$\varphi_E = \varphi_{DC} + \varphi_{DE} = -0,0223 - 0,0106 = -0,0329 \text{ rad};$$

$$\varphi_F = \varphi_E = -0,0329 \text{ rad}; \varphi_A = \varphi_{BC} = 0,00955 \text{ rad}.$$

Mavzu. Egilishda balka kesimlaridagi ichki kuchlarni aniqlash. Balkaning mustahkamligini to'la tekshirish

Masala. Berilgan balka uchun quyidagilarni topish talab qilinadi:

Balkaning tayanch reaksiyalari topilsin.

Berilgan balka uchun eguvchi moment (M) va kesuvchi kuch (Q) epyuralari qurilsin.

Qurilgan epyuradan havfli kesim bo'yicha mustahkamlik shartidan qo'shtavr kesim tanlansin.

Qo'shtavr kesimning xarakterli nuqtalari uchun normal kuchlanishlar hisoblansin va epyuralari qurilsin.

Qo'shtavr kesimning xarakterli nuqtalari uchun urinma kuchlanishlar hisoblansin va epyuralari qurilsin.

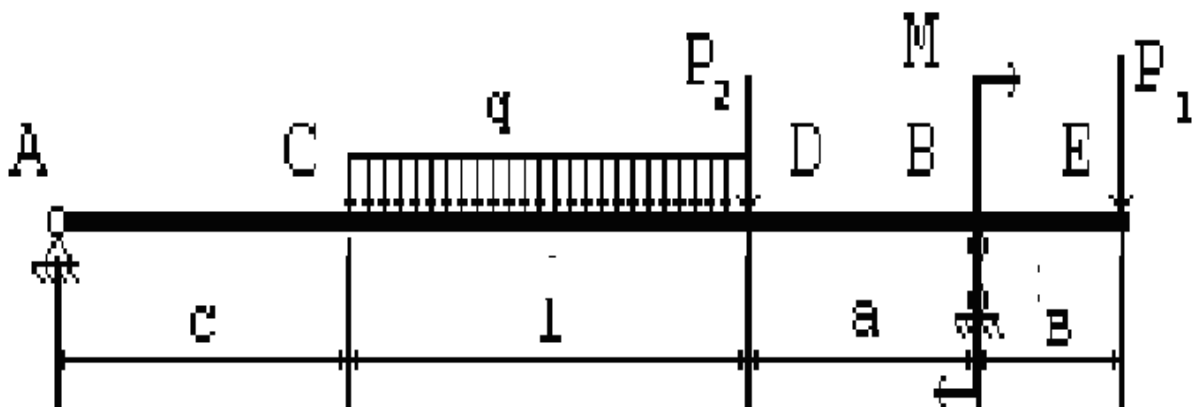
Qo'shtavr kesimning xarakterli nuqtalari uchun bosh normal kuchlanishlar hisoblansin va epyuralari qurilsin.

Qo'shtavr kesimning xarakterli nuqtalari uchun bosh urinma kuchlanishlar hisoblansin va epyuralari qurilsin.

Berilgan:

$$q = 5 \frac{kN}{m}, \quad M = 10 kN \cdot m, \quad P_1 = 30 kN, \quad P_2 = 15 kN$$

$$a = 2 m, \quad c = 1,5 m, \quad b = 1,2 m, \quad l = 6 m$$



Yechish : Berilgan balkani tayanchlarni A va B harflari bilan, hamda ularda hosil bo'ladigan tayanch reaksiya kuchlarini V_B va V_A lar bilan belgilab, noma'lum tayanch reaksiya kuchlarini topamiz. Noma'lum tayanch reaksiya kuchlarini topish uchun (1) formuladan foydalanamiz.

$$\sum M_A = 0$$

$$q \cdot l \cdot \left(\frac{l}{2} + c \right) + P_2 \cdot (l + c) + M + P_1(c + l + a + b) - V_B \cdot (c + l + a) = 0$$

$$V_B = \frac{q \cdot l \cdot (l/2 + c) + P_2 \cdot (l + c) + M + P_1(c + l + a + b)}{c + l + a} =$$

$$\frac{5 \cdot 6 \cdot (3 + 1,5) + 15 \cdot (6 + 1,5) + 10 + 30 \cdot (1,5 + 6 + 2 + 1,2)}{2 + 6 + 1,5} =$$

$$= 60,9 \text{ kN}$$

$$V_B = 60,9 \text{ kN}$$

$$\sum M_B = 0$$

$$V_A \cdot (c + l + a) - q \cdot l \cdot (l/2 + a) - P_2 \cdot a + M + P_1 \cdot b = 0$$

$$V_A = \frac{q \cdot l \cdot (l/2 + a) + P_2 \cdot a - M - P_1 \cdot b}{c + l + a} = \frac{5 \cdot 6 \cdot (3 + 2) + 15 \cdot 2 - 10 - 30 \cdot 1,2}{1,5 + 6 + 2} = 14,1 \text{ kN}$$

$$V_A = 14,1 \cdot 10^4 \text{ H}$$

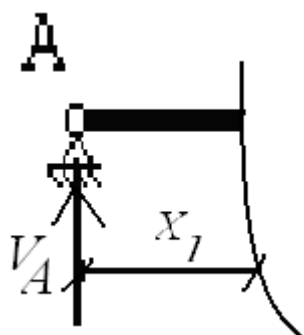
Topilgan reaksiya kuchlarning to'g'ri topilganligini tekshirib ko'ramiz.

$$\sum Y_{np} = V_A + V_B - q \cdot l - P_1 - P_2 = 0$$

$$60,9 + 14,1 - 30 - 15 = 0$$

So'nggi ayniyat tayanch reaksiyalarining to'g'ri topilganidan dalolat beradi. Endi eguvchi moment va kesuvchi kuch qiymatlarini uchastkalar bo'yicha aniqlaymiz.

AS uchastkada. $0 \leq x_1 \leq 1,5 \text{ m}$;



$$M_x = V_A \cdot x_1;$$

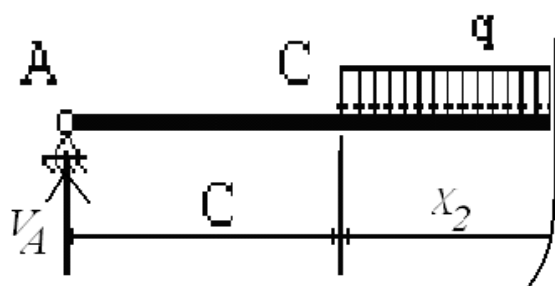
$$x_1 = 0; \quad M_1 = 14,1 \cdot 0 = 0; \quad \square \square \square \square$$

$$\square x_1 = 1,5 \text{ m}; \quad \square \square \square \square \quad M_1 = 14,1 \cdot 1,5 = 21,15 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$Q_x = V_A = 14,1 \text{ kN}$$

2. CD uchastkada.

$$0 \leq x_2 \leq 6 \text{ m}$$



$$M_{x_2} = V_A \cdot (c + x_2) - \frac{q \cdot x_2^2}{2};$$

$$x_2 = 0;$$

$$M_{x_2} = V_A \cdot c = 14,1 \cdot 1,5 = 21,15 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$x_2 = 3 \text{ m}; \quad M_x = 14,1 \cdot (1,5 + 3) - \frac{5 \cdot 3^2}{2} = 63,45 - 22,5 = 40,95 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

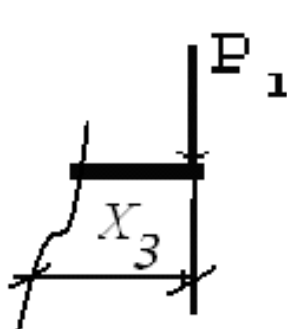
$$x_2 = 6 \text{ m} \quad M_x = 14,1 \cdot (1,5 + 6) - \frac{5 \cdot 6^2}{2} = 105,8 - 90 = 15,8 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$Q_x = V_A - q \cdot x_2$$

$$x_2 = 0; \quad Q_x = V_A = 14,1 \text{ kN}$$

$$x_2 = 3m; \quad Q_x = V_A - q \cdot x_2 = 14,1 - 5 \cdot 3 = -0,9 \text{ kN}$$

$$x_2 = 6m \quad Q_x = V_A - q \cdot x_2 = 14,1 - 5 \cdot 6 = -15,9 \text{ kN}$$



3. EB uchastkada. $0 \leq x \leq 1,2m$

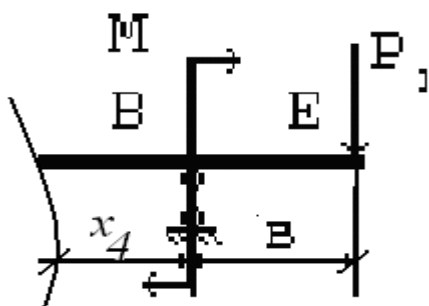
$$M_{x_3} = -P_1 \cdot x_3;$$

$$x_3 = 0 \quad M_{x_3} = 0$$

$$x_3 = 1,2m; \quad M_{x_3} = -30 \cdot 1,2 = -36 \text{ kN} \cdot m$$

$$Q_{x_3} = P_1 = 30 \text{ kN}$$

4. BD uchastkada. $0 \leq x_4 \leq 2m$



$$M_{x_4} = V_B \cdot x_4 - M - P \cdot (b + x_4);$$

$$x_4 = 0$$

$$M_{x_4} = V_B \cdot x_4 - M - P \cdot (b + x_4) = 60,9 \cdot 0 - 10 - 30 \cdot 1,2 = -46 \text{ kN} \cdot m$$

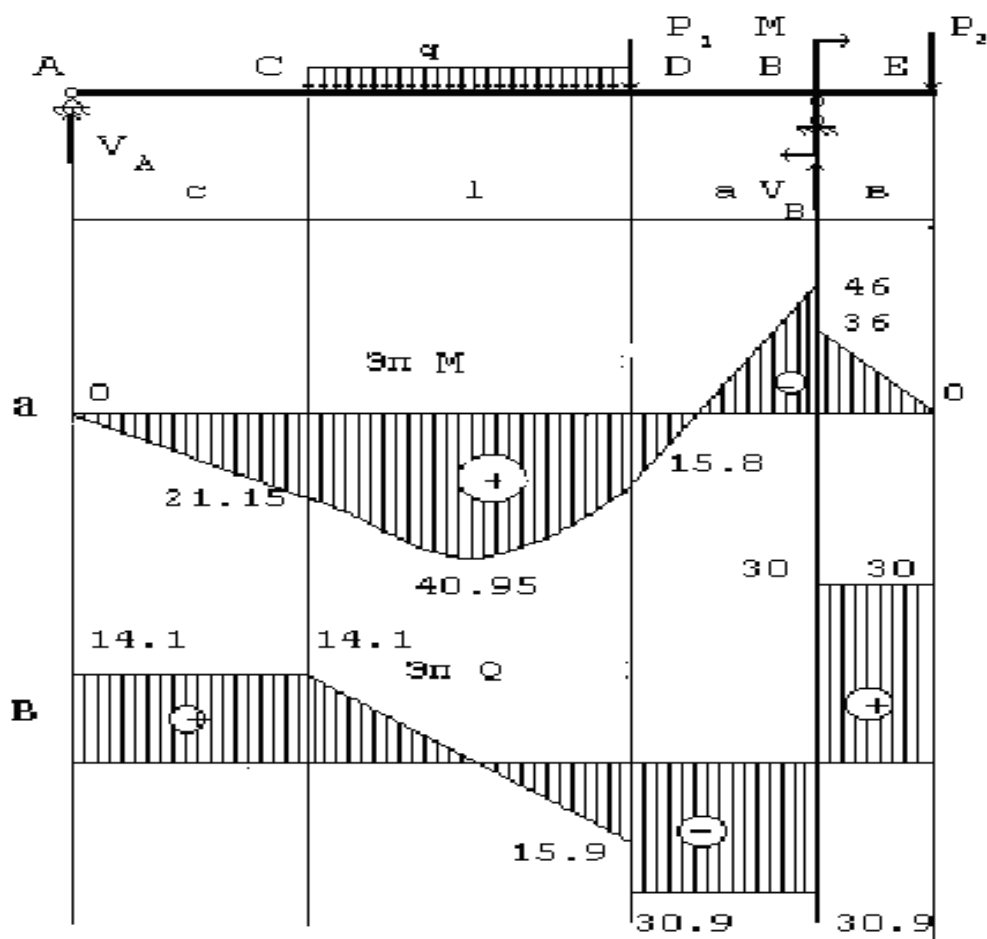
$$x_4 = 2m$$

$$M_{x_4} = V_B \cdot x_4 - M - P \cdot (b + x_4) = 60,9 \cdot 2 - 10 - 30 \cdot 3,2 = 121,8 - 106 = 15,8 \text{ kN} \cdot m$$

$$Q = P_1 - V_B$$

$$Q_{x_4} = 30 - 60,9 = -30,9 \text{ kN}$$

Topilgan qiymatlar bo'yicha uchastkalardagi eguvchi moment va kesuvchi kuch epyuralarini qurib chiqamiz (Rasm 1 a, v.)



1 rasm

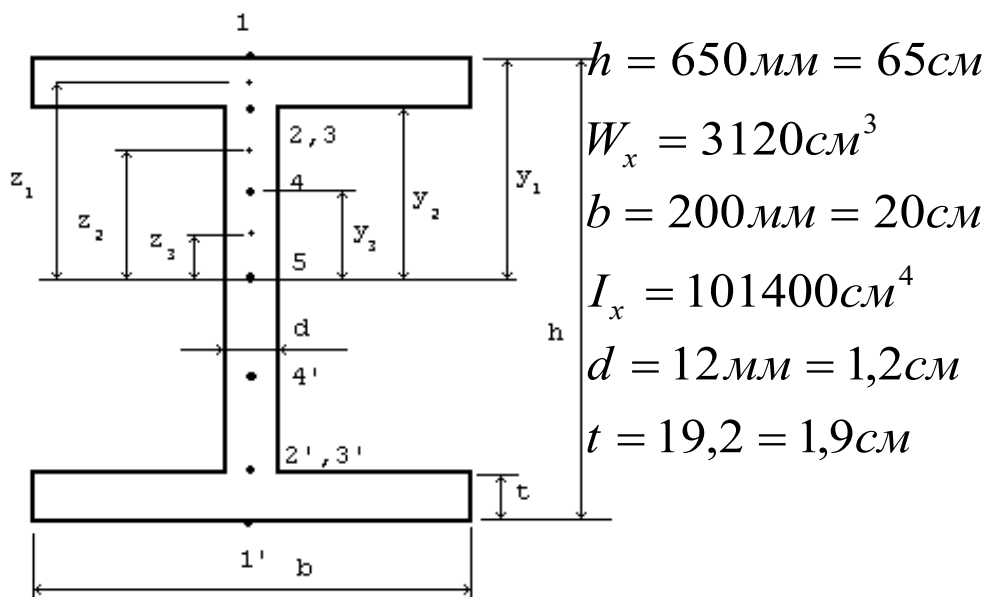
Eguvchi moment va kesuvchi kuch epyuralaridan ko`rinadiki, xavfli kesim  $x \approx 9,5$  m bo`lgan kesimda, ya`ni balkaning V tayanchida hosil bo`ladi.

Bu kesimda $M_{\max} = -46 \text{ kN}$ va $Q_{\max} = -30,9 \text{ kN}$ ekanligi epyuradan ravshan ko`rinib turibdi.

Balkaning ko`shtavrli ko`ndalang kesimi uchun normal kuchlanish bo`yicha mustaxkamlik shartini (3) formula bo`yicha aniqlaymiz.

$$W_x = \frac{M_{\max}}{[\sigma]} = \frac{46 \cdot 10^4}{1600} = 288 \text{ sm}^3$$

Balkaning qarshilik momenti bo`yicha GOST 8239-56 dan tartib raqami 65 bo`lgan qo`shtavrni olamiz. Bu qo`shtavrning geometrik xarakteristiklari quyidagicha:



Tanlangan qo'shtavrli balkaning normal kuchlanish bo'yicha mustaxkamligini tekshiramiz:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_x} = \frac{4600}{3,12} = 1474 \frac{\text{kg}}{\text{sm}^2} \leq 1600 \frac{\text{kg}}{\text{sm}^2}$$

Demak, tanlangan qo'shtavrli balkaning normal kuchlanish bo'yicha mustahkamligi ta'minlangan.

Endi tanlangan qo'shtavrli balkaning xarakterli kesimlari uchun normal kuchlanishini hisoblaymiz. Avvalo kesimda qayd qilingan nuqtalar uchun normal kuchlanishlarni (5) formuladan aniqlaymiz.

$$y_1 = \frac{h}{2} = 32,5 \text{ sm}$$

$$\sigma_1 = \frac{M_{\max}}{I_x} \cdot \dot{O}_1 = \frac{46 \cdot 10^4 \cdot 32,5}{101400} = 1471 \text{ kg / sm}^2$$

$$y_{2,3} = \frac{h}{2} - t = 30,6 \text{ sm}$$

$$\sigma_2 = \sigma_3 = \frac{\dot{I}_{\max}}{I_x} \cdot \dot{O}_2 = \frac{46 \cdot 10^4 \cdot 30,6}{101400} = 1388 \text{ kg / sm}^2$$

$$y_4 = \frac{\frac{h}{2} - t}{2} = 15,3 \text{ sm}$$

$$\sigma_4 = \frac{M_{\max}}{I_x} \cdot O_4 = \frac{46 \cdot 10^4 \cdot 15,3}{101400} = 694 \text{ kg / sm}^2$$

$$y_5 = 0$$

$$\sigma_5 = \frac{M_{\max}}{I_x} \cdot y_5 = \frac{46 \cdot 10^4 \cdot 0}{101400} = 0$$

$$\text{Simmetrik shartga ko'ra } \sigma_4 = -\sigma_6, \quad \sigma_{2,3} = -\sigma_{7,8}, \quad \sigma_1 = -\sigma_9$$

Manfiy qiymatlarni vertikal o'qdan chap tomonga qo'yamiz, musbati-ni esa o'ng tomonga qo'yamiz, natijada (2 rasm a) da ko'rsatilgan epyura olinadi.

Endi tanlangan qo'shtavrli balkaning urinma kuchlanish bo'yicha mustahkamligini tekshiramiz:

Urinma kuchlanish bo'yicha mustahkamlikka tekshirishdan oldin, urinma kuchlanishlarni aniqlash uchun qayd qilingan xarakterli nuqtalardan o'tkazilgan tekislikdan yuqorida qolgan qism kesim yuzining og'irlik markazidan uning neytral o'qiga nisbatan statik momentlarni hisoblaymiz:

Balkaning urinma kuchlanish bo'yicha mustahkamlik shartiga ko'ra, tanlangan qo'shtavrli balkaning mustahkamligi ta'minlandi. Kesimda qayd qilingan nuqtalar uchun urinma kuchlanishlarni (7) formuladan foydalanib hisoblaymiz:

Birinchi nuqtadan yuqorida yuza bo'lmaganligi sababli

$$S_1 = 0 \quad \tau_1 = \frac{Q_{\max} \cdot S_1}{b \cdot I_x} = 0$$

$$S_{2,3} = S_1 + b \cdot t \cdot \left(\frac{h}{2} - \frac{t}{2} \right) = 0 + 1,9 \cdot 20 \cdot 31,55 = 1198,9 \text{ sm}^3$$

$$\tau_2 = \frac{Q_{\max} \cdot S_{2,3}}{b \cdot I_x} = \frac{30,9 \cdot 10^2 \cdot 1198,9}{20 \cdot 101400} = \frac{37046,01}{2028000} = 18,4 \text{ kg / sm}^2$$

$$\tau_3 = \frac{Q_{\max} \cdot S_3}{d \cdot I_x} = \frac{30,9 \cdot 10^2 \cdot 1198,9}{1,2 \cdot 101400} = \frac{37046,01}{121680} = 304,5 \text{ kg / sm}^2$$

$$S_4 = S_3 + d \cdot \left(\frac{\frac{h}{2} - t}{2} \right) \cdot \frac{3}{2} \cdot \left(\frac{\frac{h}{2} - t}{2} \right) = 1198,9 + 1,2 \cdot 15,3 \cdot 1,5 \cdot 15,3 =$$

$$= 1198,9 + 421,36 = 1620,26 \text{ sm}^3$$

$$\tau_4 = \frac{Q_{\max} \cdot S_4}{d \cdot I_x} = \frac{30,9 \cdot 10^2 \cdot 1620,26}{1,2 \cdot 101400} = \frac{50066,03}{121680} = 411,5 \frac{kg}{sm^2}$$

Hurmatli talaba shuni e'tiborga olish kerakki, 2 nuqta qo'shtavr tokchasi tegishli, 3 nuqta esa qo'shtavr devoriga. Shuning uchun 3 nuqtani urinma kuchlanishini aniqlashda (7) - formuladagi "b" ni o'rniga "d" yoziladi.

$$S_5 = S_4 + d \cdot \left(\frac{\frac{h}{2} - t}{2}\right) \cdot \frac{3}{4} \cdot \left(\frac{\frac{h}{2} - t}{2}\right) = 1620,26 + 1,2 \cdot 15,3 \cdot 7,65 =$$

$$= 1620,26 + 140,5 = 1760,71 \text{ sm}^3$$

$$\tau_5 = \frac{Q_{\max} \cdot S_5}{d \cdot I_x} = \frac{30,9 \cdot 10^2 \cdot 1760,71}{1,2 \cdot 101400} = \frac{54405,94}{121680} = 447,1 \frac{kg}{sm^2}$$

Simmetrik shartga ko'ra

$$\tau_4 = -\tau_6, \quad \tau_3 = -\tau_7, \quad \tau_2 = -\tau_8, \quad \tau_1 = -\tau_9$$

Manfiy qiymatlarni vertikal o'qdan chap tomonga qo'yamiz, musbatini esa o'ng tomonga qo'yamiz, natijada (2 rasm v) da ko'rsatilgan epyura olinadi.

Olingan qiymatlar bo'yicha normal kuchlanish σ , urinma kuchlanish τ , maksimal normal kuchlanish $\sigma_{\max}$, maksimal urinma kuchlanish $\tau_{\max}$ lar epyuralarini quramiz,

Endi tanlangan qo'shtavrli balkaning bosh normal kuchlanishlarni (10) formuladan hisoblanadi.

1 - nuqta tokchaga tegishli bo'lsa

$$\sigma_{1\frac{\max}{\min}} = \frac{\sigma_1}{2} \pm \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\sigma_1^2 + 4 \cdot \tau_1^2} = \frac{1474}{2} \pm \frac{1}{2} \cdot \sqrt{1474^2 + 4 \cdot 0_2^2} = 1474 \frac{kg}{sm^2}$$

$$\sigma_{1\frac{\max}{\min}} = \frac{1474}{2} + \frac{1}{2} \cdot \sqrt{1474^2 + 4 \cdot 0_2^2} = 1474 \frac{kg}{sm^2}$$

$$\sigma_{1\frac{\min}{\max}} = \frac{1474}{2} - \frac{1}{2} \cdot \sqrt{1474^2 + 4 \cdot 0_2^2} = 0$$

2 - nuqta tokchaga tegishli bo'lsa

$$\sigma_{2\frac{\max}{\min}} = \frac{\sigma_2}{2} \pm \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\sigma_2^2 + 4 \cdot \tau_2^2} = \frac{1388}{2} \pm \frac{1}{2} \cdot \sqrt{1388_1^2 + 4 \cdot 18,4^2} = 1388,24 \frac{kg}{sm^2}$$

$$\sigma_{2\max} = \frac{1388}{2} + \frac{1}{2} \cdot \sqrt{1388^2 + 4 \cdot 18,4^2} = 1388,24 \frac{kg}{sm^2}$$

$$\sigma_{2\min} = \frac{1388}{2} - \frac{1}{2} \cdot \sqrt{1388^2 + 4 \cdot 18,4^2} = -0,24 \frac{kg}{sm^2}$$

3 - nuqta devorga tegishli bo'lsa

$$\sigma_{3\max} = \frac{\sigma_3}{2} \pm \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\sigma_3^2 + 4 \cdot \tau_3^2} = \frac{1388}{2} \pm \frac{1}{2} \cdot \sqrt{1388_1^2 + 4 \cdot 304,5^2} = 1451,87 \frac{kg}{sm^2}$$

$$\sigma_{3\max} = \frac{1388}{2} + \frac{1}{2} \cdot \sqrt{1388^2 + 4 \cdot 304,5^2} = 1451,87 \frac{kg}{sm^2}$$

$$\sigma_{3\min} = \frac{1388}{2} - \frac{1}{2} \cdot \sqrt{1388_1^2 + 4 \cdot 304,5^2} = -68,87 \frac{kg}{sm^2}$$

4 - nuqta devorga tegishli bo'lsa

$$\sigma_{4\max} = \frac{\sigma_4}{2} \pm \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\sigma_4^2 + 4 \cdot \tau_4^2} = \frac{694}{2} \pm \frac{1}{2} \cdot \sqrt{694^2 + 4 \cdot 411,5^2} = 885,28 \frac{kg}{sm^2}$$

$$\sigma_{4\max} = \frac{694}{2} + \frac{1}{2} \cdot \sqrt{694^2 + 4 \cdot 411,5^2} = 885,28 \frac{kg}{sm^2}$$

$$\sigma_{4\min} = \frac{694}{2} - \frac{1}{2} \cdot \sqrt{694^2 + 4 \cdot 411,5^2} = -191,28 \frac{kg}{sm^2}$$

5- nuqta devorga tegishli bo'lsa

$$\sigma_{5\max} = \frac{\sigma_5}{2} \pm \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\sigma_5^2 + 4 \cdot \tau_5^2} = \frac{0}{2} \pm \frac{1}{2} \cdot \sqrt{0^2 + 4 \cdot 441,1^2} = 447,1 \frac{kg}{sm^2}$$

$$\sigma_{5\max} = \frac{0}{2} + \frac{1}{2} \cdot \sqrt{0^2 + 4 \cdot 441,1^2} = 447,1 \frac{kg}{sm^2}$$

$$\sigma_{5\min} = \frac{0}{2} - \frac{1}{2} \cdot \sqrt{0^2 + 4 \cdot 441,1^2} = -447,1 \frac{kg}{sm^2}$$

Ikkinchi bosh kuchlanish $\sigma_{\max}$ ning qiymati yuqoridagi miqdorlarning manfiy

qiymatiga teng bo'lib, faqat pastdan tepaga qarab o'sadi. Bosh kunlanishning hisoblangan ordinatalari (2 -rasmning d)da aks ettirilgan.

Maksimal urinma kuchlanishlarni (10) formulagacha asosan hisoblaymiz.

1- nuqta tokchaga tegishli bo'lsa

$$\tau_{1\frac{\max}{\min}} = \pm \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\sigma_1^2 + 4 \cdot \tau_1^2} = \pm \frac{1}{2} \cdot \sqrt{1474^2 + 4 \cdot 0^2} = \pm 737,1 \frac{kg}{sm^2}$$

$$\tau_{1\frac{\max}{\min}} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{1474^2 + 4 \cdot 0^2} = 737,1 \frac{kg}{sm^2}$$

$$\tau_{1\frac{\min}{\min}} = -\frac{1}{2} \cdot \sqrt{1474^2 + 4 \cdot 0^2} = -737,1 \frac{kg}{sm^2}$$

2- nuqta tokchaga tegishli bo`lsa

$$\tau_{2\frac{\max}{\min}} = \pm \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\sigma_2^2 + 4 \cdot \tau_2^2} = \pm \frac{1}{2} \cdot \sqrt{1338^2 + 4 \cdot 18,4^2} = \pm 694,24 \frac{kg}{sm^2}$$

$$\tau_{2\frac{\max}{\min}} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{1338^2 + 4 \cdot 18,4^2} = 694,24 \frac{kg}{sm^2}$$

$$\tau_{2\frac{\min}{\min}} = -\frac{1}{2} \cdot \sqrt{1338^2 + 4 \cdot 18,4^2} = -694,24 \frac{kg}{sm^2}$$

3- nuqta devoriga tegishli bo`lsa

$$\tau_{3\frac{\max}{\min}} = \pm \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\sigma_3^2 + 4 \cdot \tau_3^2} = \pm \frac{1}{2} \cdot \sqrt{1338^2 + 4 \cdot 305,5^2} = \pm 758,27 \frac{kg}{sm^2}$$

$$\tau_{3\frac{\max}{\min}} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{1338^2 + 4 \cdot 305,5^2} = 758,27 \frac{kg}{sm^2}$$

$$\tau_{3\frac{\min}{\min}} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{1338^2 + 4 \cdot 305,5^2} = -758,27 \frac{kg}{sm^2}$$

4 - nuqta tokchaga tegishli bo`lsa

$$\tau_{4\frac{\max}{\min}} = \pm \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\sigma_4^2 + 4 \cdot \tau_4^2} = \pm \frac{1}{2} \cdot \sqrt{694^2 + 4 \cdot (411,5)^2} = \pm 538,27 \frac{kg}{sm^2}$$

$$\tau_{4\frac{\max}{\min}} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{694^2 + 4 \cdot (411,5)^2} = 538,27 \frac{kg}{sm^2}$$

$$\tau_{4\frac{\min}{\min}} = -\frac{1}{2} \cdot \sqrt{694^2 + 4 \cdot (411,5)^2} = -538,27 \frac{kg}{sm^2}$$

5- nuqta tokchaga tegishli bo`lsa

$$\tau_{5\frac{\max}{\min}} = \pm \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\sigma_5^2 + 4 \cdot \tau_5^2} = \pm \frac{1}{2} \cdot \sqrt{0^2 + 4 \cdot (447,12)^2} = \pm 447,12 \frac{kg}{sm^2}$$

$$\tau_{5\max} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{0^2 + 4 \cdot (447,12)^2} = 447,12 \frac{kg}{sm^2}$$

$$\tau_{5\min} = -\frac{1}{2} \cdot \sqrt{0^2 + 4 \cdot (447,12)^2} = -447,12 \frac{kg}{sm^2}$$

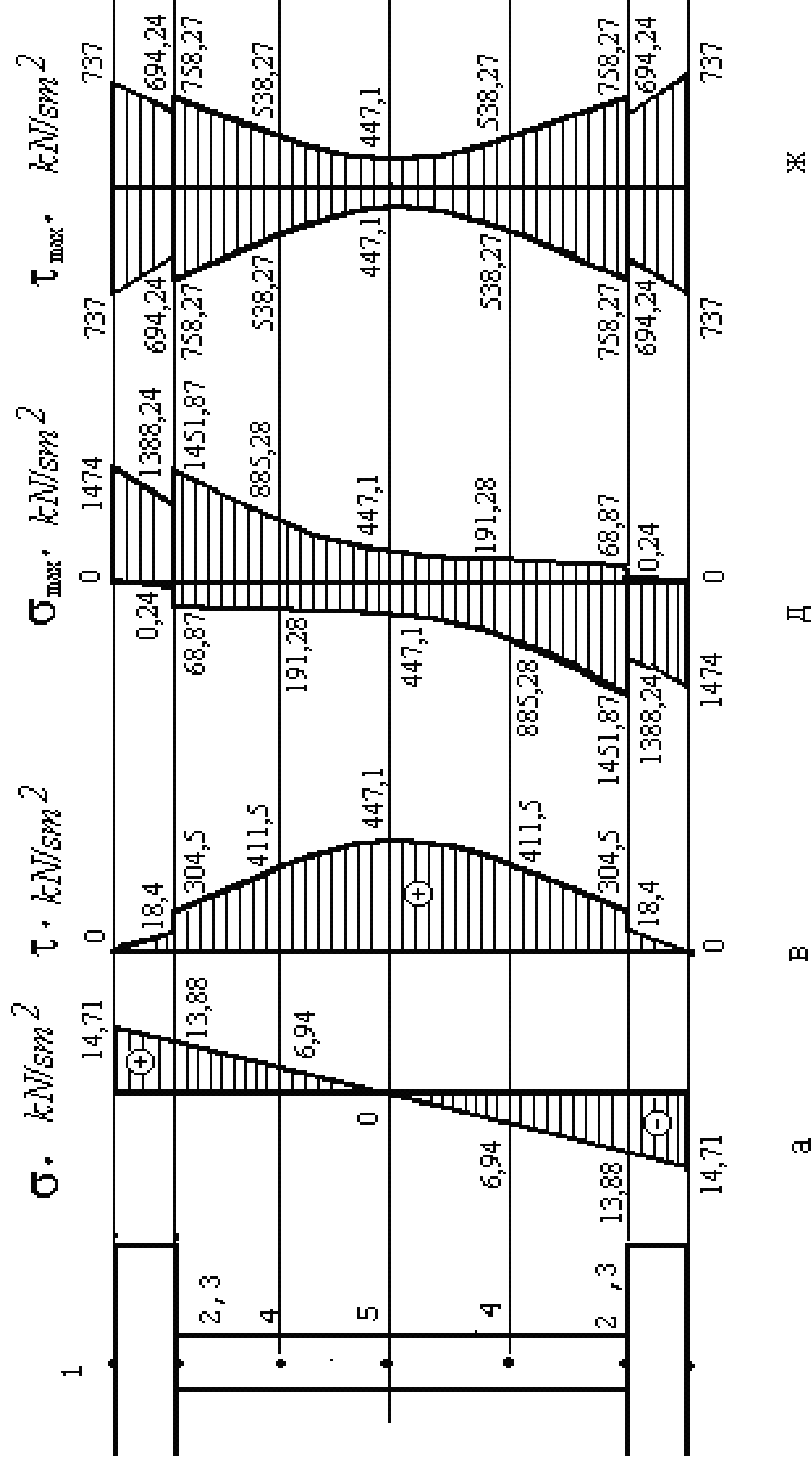
Manfiy qiymatlarni vertikal o`qdan chap tomonga qo`yamiz, musbatini esa o`ng tomonga qo`yamiz, natijada (2 rasm j) da ko`rsatilgan epyura olinadi.

Tanlangan qo`shtavrli balka materialining mustaxkamligini III mustaxkamlik nazariyasi bo`yicha tekshiramiz. 3 nuqtada normal urinma kuchlanishlar eng katta qiymatlariga yaqin turadi, binobarin, shu nuqtadagi normal va urinma kuchlanishlarni hisoblaymiz.

$$\begin{aligned} \sqrt{\left(\sigma_3'\right)^2 + 4\left(\tau_3'\right)^2} &= 10^5 \cdot \sqrt{1388^2 + 4 \cdot (304,5)^2} = 10^5 \cdot \sqrt{1926544 + 370881} = \\ &= 10^5 \cdot \sqrt{2297425} = 1515,72 \frac{kg}{sm^2} \end{aligned}$$

Bu kuchlanish tanlangan qo`shtavrli kesimni to`g`ri tanlanganidan dalolat beradi.

$$\frac{1600 - 1515,72}{1600} \cdot 100 = 5,2\%$$



Mavzu. Qiyshiq egilishda balka kesimlarida normal kuchlanish va deformatsiyalarni aniqlash

Markaziy bo'lmagan cho'zilish yoki siqilishda normal kuchlanish quyidagicha aniqlanadi:

$$\sigma_z = \frac{N}{A} + \frac{M_y}{J_y} \cdot x + \frac{M_x}{J_x} \cdot y. \quad (3)$$

Neytral o'qning bosh o'qlaridan ajratgan kesmalari quyidagicha aniqlanadi:

$$a_x = -\frac{i_y^2}{X_F}; \quad (4)$$

$$a_y = -\frac{i_x^2}{Y_F}; \quad (5)$$

bu yerda, X_F va Y_F lar – kuch qo'yilgan nuqtadan bosh markaziy o'qlargacha olingan masofa.

Markaziy bo'lmagan cho'zilish yoki siqilishda qarshilik markazi atrofida shunday yopiq soha mavjudki, agar kuch shu sohaning ichkarisiga yoki uning konturiga qo'yilsa, kesimda faqat bir xil ishorali kuchlanish paydo bo'ladi. Bu yopiq sohaga kesim yadrosi deyiladi.

1- masala

Kesimi to'g'ri to'rtburchakli kalta (qisqa) yog'och ustunning $K(X_F; Y_F)$ nuqtasiga siquvchi bo'ylama kuch F qo'yilgan (IX.4- shakl). Bu masala uchun:

- kesim yadrosi qurilsin;
- xolis o'qning holati aniqlansin;
- kesimning eng chetki nuqtalaridagi kuchlanishlar topilsin;
- kesimning tomonlari bo'yicha normal kuchlanish epyuralari qurilsin.

Hisoblashlar uchun ushbu ma'lumotlar ma'lum: $F = 120$ kN; $X_F = 0,04$ m; $Y_F = 0,06$ m; $b = 0,2$ m; $h = 0,25$ m.

Yechish:

Ustun nomarkaziy siqilishga qarshilik ko'rsatmoqda. Uning ko'ndalang kesimida quyidagi ichki kuchlar paydo bo'ladi:

$N_z = -120$ kN – bo'ylama kuch;

$M_x = -120 \cdot Y_F = -7,2$ kN·m – eguvchi moment;

$M_y = 120 \cdot X_F = 4,8$ kN·m – eguvchi moment.

(Eslatma: qisqa ustunlar uchun bu ichki zo'riqishlar uning uzunligi bo'yicha o'zgarmasdan qoladi.)

Ko'ndalang kesimning geometrik xarakteristikalarini hisoblaymiz:

$$I_x = \frac{bh^3}{12} = 2,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4; \quad I_y = \frac{hb^3}{12} = 1,667 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4.$$

Kesim yuza $A = bh = 0,05$ m² bo'lganligi uchun inersiya radiuslarining kvadratlari:

$$i_X^2 = \frac{I_X}{A} = 5,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2; \quad i_Y^2 = \frac{I_Y}{A} = 3,334 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

ga teng bo'ladi.

a) (4), (5) formulalardan foydalanib, neytral o'qning bosh o'qlardan ajratgan kesmalarini aniqlaymiz:

$$a_X = -\frac{i_Y^2}{(-X_F)} = \frac{3,334 \cdot 10^{-3}}{0,04} = 8,335 \cdot 10^{-2} \text{ m}; \quad a_Y = -\frac{i_X^2}{Y_F} = -\frac{5,2 \cdot 10^{-3}}{0,06} = 8,667 \cdot 10^{-2} \text{ m}.$$

Bu kesmalarni bosh inersiya o'qlari ustiga masshtab bilan qo'yib, hosil bo'lgan nuqtalar tutashtirilsa, neytral o'qning holati aniqlanadi (4- shakl, b):

b) (3) formulaga binoan, kesimning istalgan nuqtasidagi kuchlanishni aniqlash mumkin:

$$\sigma_z = -\frac{F}{A} \left(1 - \frac{X_F}{i_Y^2} \cdot X + \frac{Y_F}{i_X^2} \cdot Y \right) \text{ yoki } \sigma_z = -\frac{120 \cdot 10^3}{0,05} \left(1 - \frac{0,04}{3,334 \cdot 10^{-3}} \cdot X + \frac{0,06}{5,2 \cdot 10^{-3}} \cdot Y \right) =$$

$$= -2,4 \cdot 10^6 (1 - 11,9976 \cdot X + 11,5385 \cdot Y) = -2,4(1 - 11,9976 \cdot X + 11,5385 \cdot Y) \text{ (MPa)}.$$

So'ralayotgan nuqtalardagi kuchlanishlarni hisoblaymiz:

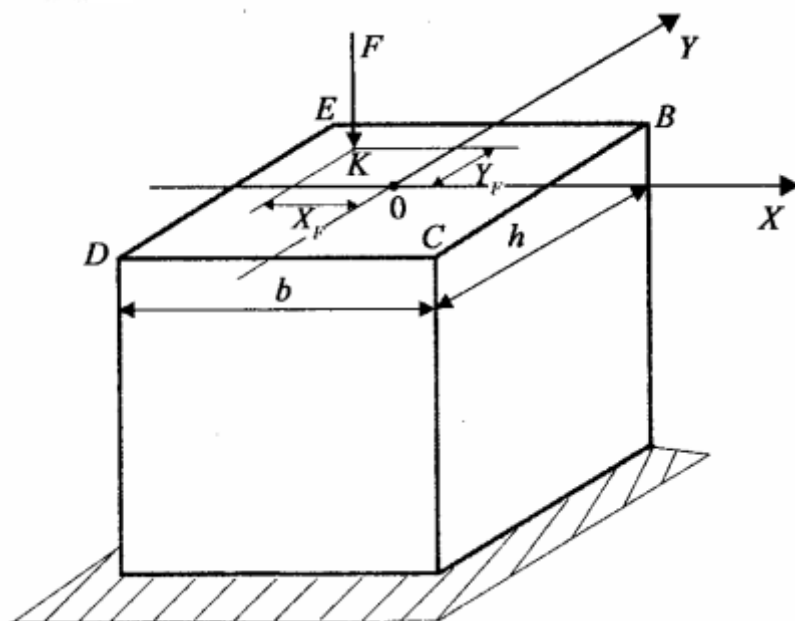
$$\sigma_B = -2,4 \left(1 - 11,9976 \cdot \frac{0,2}{2} + 11,5385 \cdot \frac{0,25}{2} \right) = -2,982 \text{ MPa};$$

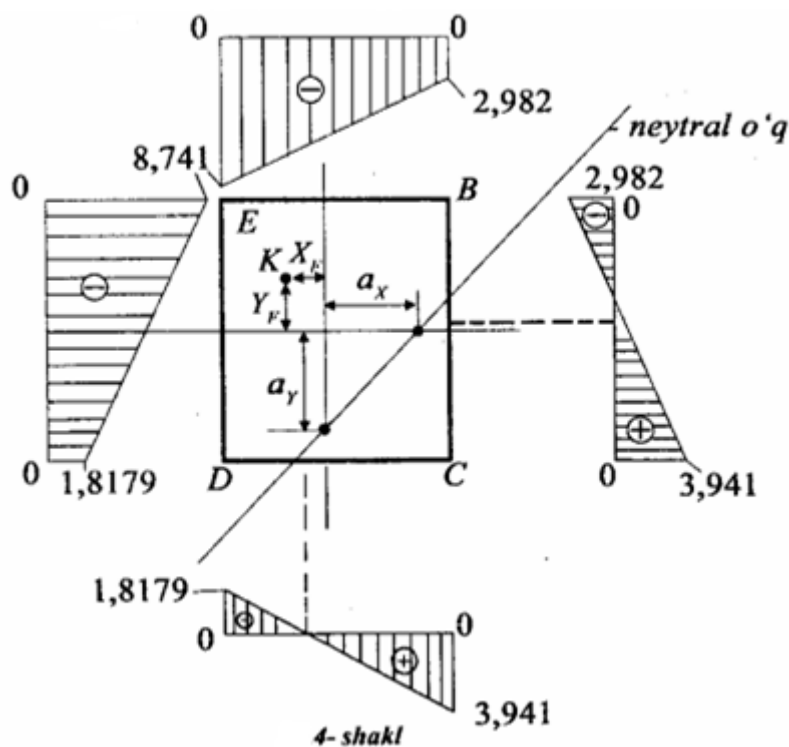
$$\sigma_C = -2,4 \left(1 - 11,9976 \cdot \frac{0,2}{2} - 11,5385 \cdot \frac{0,25}{2} \right) = 3,941 \text{ MPa};$$

$$\sigma_D = -2,4 \left(1 + 11,9976 \cdot \frac{0,2}{2} - 11,5385 \cdot \frac{0,25}{2} \right) = -1,8179 \text{ MPa};$$

$$\sigma_E = -2,4 \left(1 + 11,9976 \cdot \frac{0,2}{2} + 11,5385 \cdot \frac{0,25}{2} \right) = -8,741 \text{ MPa}.$$

d) Topilgan qiymatlar yordamida aniq masshtab bilan normal kuchlanishlarning epyuralari quriladi (4- shakl, b).





Mavzu. Siqilgan sterjenning ustivorligi masalasi

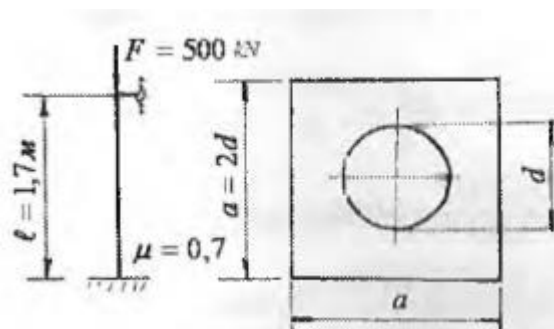
Masala. Po'latdan tayyorlangan sterjen kuch bilan siqilayapti:

1) $[\sigma] = 160 \text{ mPa}$ kuchlanishdan foydalanib sterjen ko'ndalang kesimining

geometrik o'lchamlarini toping;

2) kritik kuch aniqlansin.

Yechish: Sterjen ko'ndalang kesimining yuzasi:



$$A = a \cdot a - \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 2d \cdot 2d - \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 3,215d^2$$

Minimal inersiya moment

$$I_{\min} = I = \frac{a^4}{12} - \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{(2d)^4}{12} - \frac{\pi \cdot d^4}{64} = 5,27d^4$$

va inersiya radiusi

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{5,27d^4}{3,215d^2}} = \sqrt{\frac{5,27(0,044)^2}{3,215}} = 0,0564 \text{ m}$$

1-hisoblash

$$(\varphi = 0,5): A \geq \frac{P}{\varphi[\sigma]} = \frac{500}{0,5 \cdot 160 \cdot 10^3} = 0,00625 \text{ m}^2$$

bo'ladi, unda $d = \sqrt{\frac{0,00625}{3,215}} = \sqrt{0,001944} = 0,0441m$, sterjenning egiluvchanligi

$$\lambda = 0,7 \frac{1,7}{0,0564} = 21,1$$

jadvaldan po'lat material uchun:

$$\lambda = 20 \quad \varphi = 0,96$$

$\lambda = 30 \quad \varphi = 0,94$ topamiz. Interpolyatsiya usuli bilan $\lambda = 21,1$ egiluvchanlik uchun φ - ning qiymatini topamiz.

$$\varphi_1 = 0,96 - \frac{0,96 - 0,94}{10} \cdot 1,1 = 0,9578; \quad \varphi_1 = 0,9518$$

birinchi marotaba qabul qilingan $\varphi=0,5$ dan farq qiladi.

2- hisoblash

$$\varphi_2 = \frac{\varphi + \varphi_1}{2} = \frac{0,5 + 0,9578}{2} = 0,7289$$

$$A \geq \frac{P}{\varphi_2 [\sigma]} = \frac{500}{0,7289 \cdot 160 \cdot 10^3} = 0,042872 m^2$$

$$d = \sqrt{\frac{F_1}{3,215}} = \sqrt{\frac{0,0042872}{3,215}} \approx 0,036m;$$

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{5,27 d^3}{3,215 d^2}} = \sqrt{\frac{5,27 \cdot 0,001296}{3,215}} = 0,046.m$$

Sterjenning egiluvchanligi

$$\lambda = 0,7 \frac{1,7}{0,046} = 25,87$$

Jadvaldan steijenning materialiga va egiluvchanligiga qarab

$$\lambda = 20 \quad \varphi = 0,96$$

$$\lambda = 30 \quad \varphi = 0,94$$

ni topamiz.

$$\varphi_3 = 0,96 - \frac{0,96 - 0,94}{10} \cdot 5,87 = 0,94826, \text{ topilgan } A = 0,0042872 m^2$$

kesim yuzasi va $\varphi_3=0,94826$ qiymatda ustuvorlikni ta'minlashi kerak bo'lgan ruxsat etilgan kuchlanishni topamiz:

$$\sigma_y = \frac{P}{\varphi_3 \cdot F} = \frac{500}{0,948 \cdot 0,0043} = 122,6 \cdot 10^3 \frac{KN}{m^2} < [\sigma]$$

Demak, steijen tashqi siquvchi kuch bilan to'liq yuklanmagan φ -ni yangi qiymatini topamiz:

3-hisoblash: Sterjen o'lchami $d=0,003m$ qabul qilamiz.

Unda $A=3,215d^2=3,215(0,03)^2=0,00289m^2$ va

kesimning inersiya radiusi:

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{5,27 d^3}{3,215}} = \sqrt{\frac{5,27 \cdot (0,03)^3}{3,215}} = 0,0384m$$

Sterjenning egiluvchanligi

$$\lambda = 0,7 \frac{1,7}{0,0384} = 30,98$$

jadvaldan po'lat steijen uchun

$$\lambda = 30 \text{ da} \quad \varphi_4 = 0,94 \quad \text{va} \quad \lambda = 40 \text{ da} \quad \varphi_4^* = 0,92$$

Interpolyatsiya usuli bilan

$$\varphi_4 = 0,94 - \frac{0,94 - 0,92}{10} \cdot 0,98 = 0,938$$

4-hisoblash

$$\varphi_5 = \frac{\varphi_3 + \varphi_4}{2} = \frac{0,9482 + 0,938}{2} = 0,943$$

Ustuvorlik shartidan sterjenning ko'ndalang kesim yuzasi

$$A = \frac{P}{\varphi_5 [\sigma]} = \frac{500}{0,943 \cdot 160 \cdot 10^3} = 0,00331 \text{ m}^2 \quad \text{va} \quad \text{o'lchami}$$

$$d = \sqrt{\frac{A}{3,215}} = \sqrt{\frac{0,00331}{3,215}} = 0,032 \text{ m},$$

ko'ndalang kesimning inersiya radiusi

$$i = \sqrt{\frac{5,27 d^2}{3,215}} = \sqrt{\frac{5,27 (0,032)^2}{3,215}} = 0,0411 \text{ m}$$

sterjenning egiluvchanligi

$$\lambda = 0,7 \frac{1,7}{0,0411} = 29,02$$

$$\lambda = 20 \text{ da} \quad \varphi_6 = 0,96 \quad \text{va} \quad \lambda = 30 \text{ da} \quad \varphi_6^* = 0,94$$

interpolyatsiya usuli bilan

$$\varphi_6 = 0,96 - \frac{0,96 - 0,92}{10} \cdot 9,02 = 0,942$$

topamiz. $\varphi_6 = 0,942$ qiymatda ustuvorlikka ruxsat etilgan kuchlanish

$$[\sigma]_y = \varphi_6 [\sigma] = 0,942 \cdot 160 = 150,72 \text{ mPa} \quad \text{bo'lib},$$

$$\sigma_y = \frac{F}{\varphi_6 \cdot A} = \frac{500}{0,942 \cdot 0,00331} = 160,358 \text{ mPa},$$

tenglashadi: σ_y -ni qiymati oddiy cho'zilish va siqishga ruxsat etilgan kuchlanishidan 0,22 % katta bo'lib. $[\sigma]_y$ dan esa 9,638 mPa farq qiladi. Shuning uchun sterjenning o'lchami $d = 0,033 \text{ m}$ olib ko'ramiz.

5-hisoblash

$$d = 0,033 \text{ m} \quad \text{va} \quad A = 3,215 d^2 = 3,215 (0,033)^2 = 0,0035 \text{ m}^2$$

Sterjen kesimining inersiya radiusi

$$i = \sqrt{\frac{5,27 d^2}{3,215}} = \sqrt{\frac{5,27 (0,033)^2}{3,215}} = 0,04225 \text{ m}$$

va egiluvchanligi

$$\lambda = 0,7 \frac{1,7}{0,04225} = 28,16$$

qiymatida jadvaldan φ -ni yangi qiymatini topamiz:

$$\varphi_7 = 0,96 - \frac{0,96 - 0,94}{10} \cdot 8,16 = 0,9437$$

ustuvorlikka ruxsat etilgan kuchlanish

$$[\sigma]_y = \varphi_7 [\sigma] = 0,9437 \cdot 160 = 151 \text{ mPa}$$

$$\sigma_y = \frac{F}{\varphi_7 \cdot A} = \frac{500}{0,9437 \cdot 0,0035} = 151,379 \text{ mPa} < 160 \text{ mPa}$$

po'lat material uchun egiluvchanlik ($\lambda_{\text{cheg}}=100$) dan kichik bo'lsa, kritik kuchni topish uchun empirik formuladan foydalanamiz:

$$F_{kp} = A(a - b\lambda) = 0,0035(310 \cdot 10^3 - 1,14 \cdot 10^3 \cdot 28,18) = 972,65 \text{ kN}$$

ustuvorlik koeffitsienti

$$n_y = \frac{F_{kp}}{F} = \frac{972,65}{500} = 1,95$$

sterjenga qo'yilishi mumkin bo'lgan kuchni ruxsat etilgan qiymati

$$[F] = \varphi A[\sigma] = 0,9437 \cdot 0,0035 \cdot 160 \cdot 10^3 = 528,472 \text{ kN}.$$

Mavzu. Ko'p oraliqli statik aniq balkalarni qo'zg'almas yuklar ta'siriga hisoblash. Oddiy va konsol balkalarda zo'riqlashlarning ta'sir chiziqlarini statik usulda chizish

1-Masala. Ko'p oraliqli statik aniq balka uchun eguvchi moment va ko'ndalang kuch epyuralari chizilsin.

Balka elementlarining o'zaro bog'lanish sxemasi berilgan. Bu xildagi ko'p prolyotli balkani hisoblash eng oxirgi LG osma balkadan boshlanadi. Uning tayanch reaksiyalarini aniqlaymiz.

$$\Sigma M_L = q \cdot 4 \cdot 2 + P \cdot 4 \cdot 6 - R_G \cdot 4 = 0, \quad \text{bundan } R_G = 8t.$$

$$\Sigma M_G = R_L \cdot 4 - q \cdot 4 \cdot 2 + P \cdot 4 \cdot 2 = 0, \quad \text{bundan } R_L = 0$$

$$\text{Tekshirish: } \Sigma Y = R_L - q \cdot 4 - P + R_G = 0, \quad 0 - 1 \cdot 4 - 4 + 8 = 0$$

Demak, tayanch reaksiyalar to'g'ri aniqlangan. Balkani oraliqlarga bo'lib, $M(x)$ va $Q(x)$ uchun tenglamalar yozamiz.

Birinchi oraliq ($0 \leq x_1 \leq 4m$);

$$M(x) = R_L \cdot x_1 - \frac{qx^2}{2}; \quad M(0) = 0; \quad M(4) = -8T \cdot m; \quad M(2) = -2T \cdot m;$$

$$Q(x) = R_L - qx_1; \quad Q(0) = 0; \quad Q(4) = -4$$

Ikkinchi oraliq ($0 \leq x_2 \leq 2m$):

$$M(x) = -P_4 \cdot x_2; \quad M(0) = 0; \quad M(2) = -8 \text{ t} \cdot m; \quad Q(x) = P_4 = 4t.$$

Bu ordinatalar asosida $M(x)$ va $Q(x)$ ning epyuralari chiziladi (rasm, b).

Ikkinchi EKL osma balkani hisoblaymiz (rasm, g). Bu balkaga L sharnirda tayangan LG osma balkaning ta'sirini R_L ($R_L = 0$) reaksiya orqali almashtirib, uning $M(x)$ va $Q(x)$ epyuralarini chizamiz.

R_K va R_E tayanch reaksiyalarini hisoblaymiz:

$$\Sigma M_E = P_2 \cdot 2 - R_K \cdot 5 + P_3 \cdot 7 = 0. \quad \text{Bundan } R_K = 11t$$

$$\Sigma M_K = R_E \cdot 5 - P_2 \cdot 3 + P_3 \cdot 2 = 0. \quad \text{Bundan } R_E = 4t.$$

$$\text{Tekshirish: } \Sigma Y = 0; \quad R_E - P_2 + R_K - P_3 = 0; \quad 4 - 10 + 11 - 5 = 0.$$

Birinchi prolyot ($0 \leq x_1 \leq 2m$) uchun $M(x)$ va $Q(x)$ tenglamalarni yozib, ularning ordinatalarini aniqlaymiz:

$$M(x_1) = R_E x_1; \quad M(0) = 0; \quad M(2) = 8 \text{ t} \cdot m; \quad Q(x_1) = R_E = 4t.$$

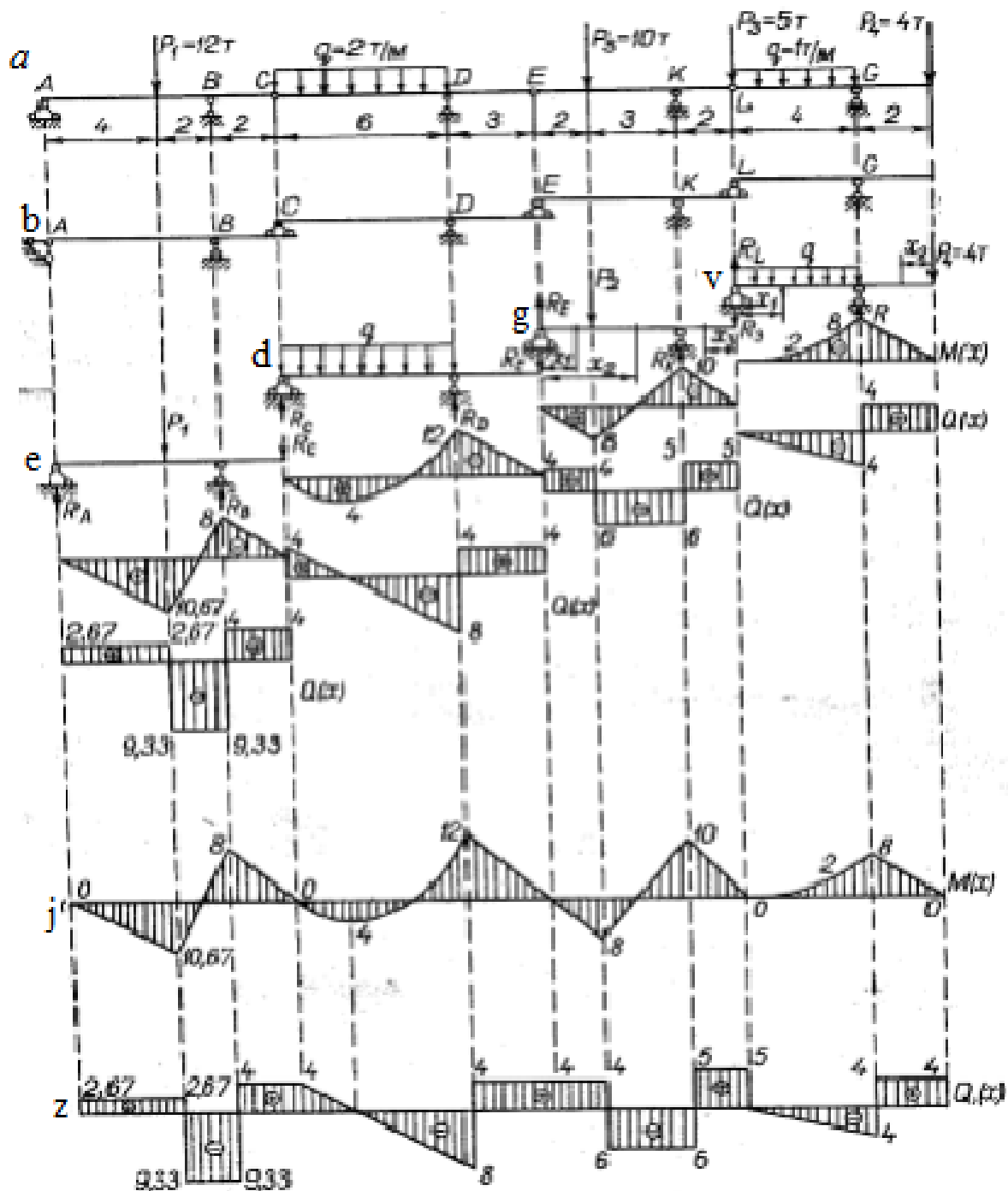
Ikkinchi oraliq ($2m \leq x_2 \leq 5m$):

$$M(x_2) = R_E \cdot x_2 - R_2 \cdot (x_2 - 2); \quad M(2) = 8 \text{ t} \cdot m; \quad M(5) = -10 \text{ t} \cdot m.$$

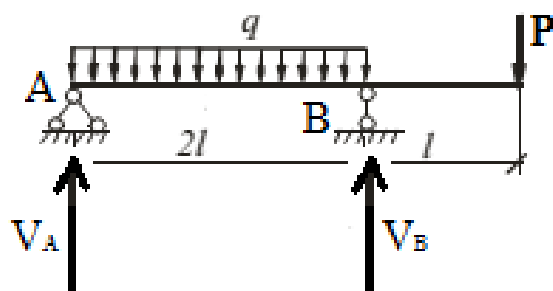
$$Q(x_2) = R_E - R_2 = 4 - 10 = -6t.$$

Uchinchi oraliq ($0 \leq x_3 \leq 2m$).

$M(x)$ va $Q(x)$ epyuralari rasm, g da ko`rsatilgan. CE va ABC balkalar uchun ham  $M(x)$  va  $Q(x)$  epyuralar yuqorida ko`rsatilgan osma balkalar uchun chizilgan epyuralar kabi chiziladi. Bu balkalar uchun (rasm, d va e) da $M(x)$ va $Q(x)$ epyuralar ifodalangan. Chizilgan hamma epyuralarni tegishlicha bir koordinatalar sistemasiga keltirib, ko`p oraliqli balkaning eguvchi moment va ko`ndalang kuch epyuralarini chizamiz.

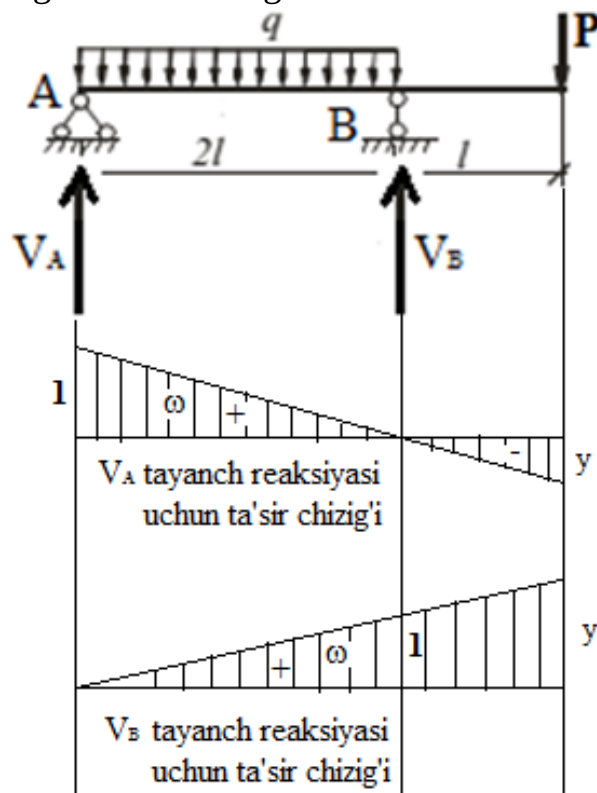


2-masala. Berilgan oddiy balkaning tayanch reaksiyalari va M, Q uchun ta'sir chiziqlari qurilsin va ta'sir chiziqlari yordamida so'riqishlar aniqlansin. $q=2\text{kN}$, $P=4\text{kN}$, $l=2\text{m}$.



Yechish. Tayanch reaksiyalari uchun ta'sir chizig'ini qurish uchun $P=1$ ga teng bo'lgan yuk balka ustida chapdan o'gga qarab harakatlenganda tayanch reaksiyalarining o'zgarishini ifodalovchi funksiya tuziladi va uni grafigi quriladi. Shu qurilgan grafik ta'sir chizig'i deyiladi. Funktsiyani tuzish uchun muvozanat tenglamasidan foydalaniladi.

Odatda amaliyotda qaysi tayanch reaksiya kuchi uchun ta'sir chizig'i qurilsa shu tayanch tagidan 1 birlik ajratib ikkinchi tayanch tagidan 0 ordinata ajratiladi. Shu ikkita nuqta tutashtirilsa ta'sir chizig'i hosil bo'ladi. Agar balkaning konsol qismi mavjud bo'lsa ta'sir chizig'i konsol oxirigacha davom ettiriladi.



Ko'ndalang kuchning ta'sir chizig'i. Balkaning berilgan kesimi C dagi ko'ndalang kuch Q_c ning ta'sir chizig'ini qurish uchun birlik kuch ($P=1$) ning ikki vaziyatini tekshirish kerak (rasm).

Birinchi vaziyat. Birlik ko'chma kuch ($P=1$) C kesimdan chap tomonda harakat qiladi, ya'ni $0 \leq x \leq a$. Balka o'ng tomoning muvozanatini ko'rib Q_c^{yan} ni aniqlaymiz:

$$\sum Y = 0, \quad \text{bundan } Q_C^{chap} = -V_B = -\frac{x}{l}.$$

Ikkinchi vaziyat. Birlik ko'chma kuch kesimdan o'ng tomonda harakat qilsin. Unda $a \leq x \leq l$ (rasm). Balka chap qismining

muvozanatini tekshiramiz: $Q_C^{o'n} = V_A = \frac{l-x}{l}.$

Yuqoridagi formulalarga asosan, Q_C^{chap} chap chiziq ordinalari chap tayanchdan C kesimgacha balkaning B tayanch reaksiyasi ta'sir chizig'ining teskari ishora bilan olingan

ordinalari qiymatiga va $Q_C^{o'n}$ chiziq esa C kesimdan balkaning oxirigacha A

reaksiyaning ta'sir chizig'iga mos keladi. Q_C ning ta'sir chizig'ini chizish uchun chap tayanch ostiga biror masshtabda musbat birlik ordinata qo'yib, uni o'ng tayanch tagidagi nollik ordinata bilan tutashtiramiz (bu o'ng chiziq deb ataladi), so'ngra o'ng tayanch ostiga manfiy birlik ordinata qo'yib, uni chap tayanch tagidagi nollik ordinata bilan tutashtiramiz (bu o'ng chiziq deb ataladi), so'ngra o'ng tayanch ostiga manfiy birlik ordinata qo'yib, uni chap tayanch tagidagi nollik ordinata bilan tutashtiramiz (chap chiziq).

O'ng va chap chiziqlar bir-biriga parallel bo'ladi. Chap chiziq balkaning chap tayanchidan C kesimgacha, o'ng chiziq esa C kesimdan o'ng tayanchgacha Q_C ning o'zgarishini ifodalaydi (rasmdagi shtrix chiziq). Ko'ndalang kuch ta'sir chiziqlarining ordinalari yuqorida keltirilgan tenglamalarga asosan o'lchamsiz miqdordir.

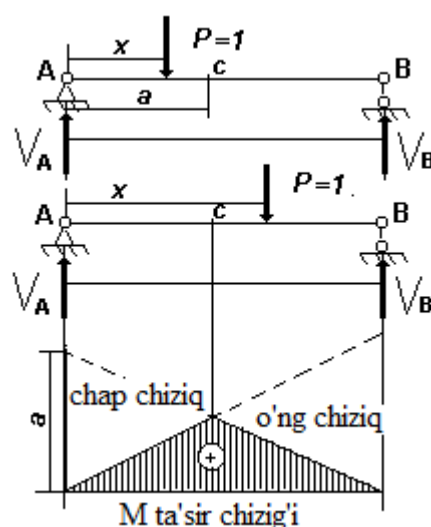
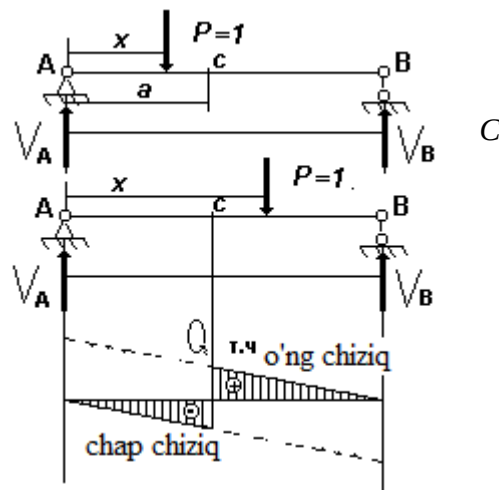
Eguvchi momentning ta'sir chizig'i. Balkaning C kesimida hosil bo'ladigan eguvchi moment ta'sir chizig'ini qurish uchun ham birlik kuchning ikki holatini tekshiramiz (rasm).

Birinchi xolat. ($P=1$) kuch C kesimning chap tomonida harakatlanadi

($0 \leq x \leq a$) deb faraz qilib (rasm), M_C^{uan} eguvchi moment tenglamasini balkaning o'ng tomoni muvozanatiga asosan yozamiz:

$$M_C^{chap} = B(l-a) = \frac{x}{l}(l-a)$$

Bu tenglama $P=1$ yuk chap tayanchdan kesimgacha harakatlanganda M_C eguvchi moment qiymatining o'zgarishini ifodalaydi. Uning grafisini (chap chiziq deb ataladi) chizish uchun, o'ng tayanch ostiga $l-a$ o'zgarimas songa teng ordinata qo'yib, A tayanch ostidagi nollik ordinata bilan birlashtiramiz.



Ikkinchi holat $P=1$ ko'chma kuch C kesimning o'ng tomonida (rasm) harakat qiladi ($a \leq x \leq l$) deb, $M_C^{o'n}$ ni aniqlaymiz. Balka chap tomonining muvozanatini tekshiramiz, bunda :

$$M_C^{o'n} = A \cdot a = \frac{l-x}{l} \cdot a$$

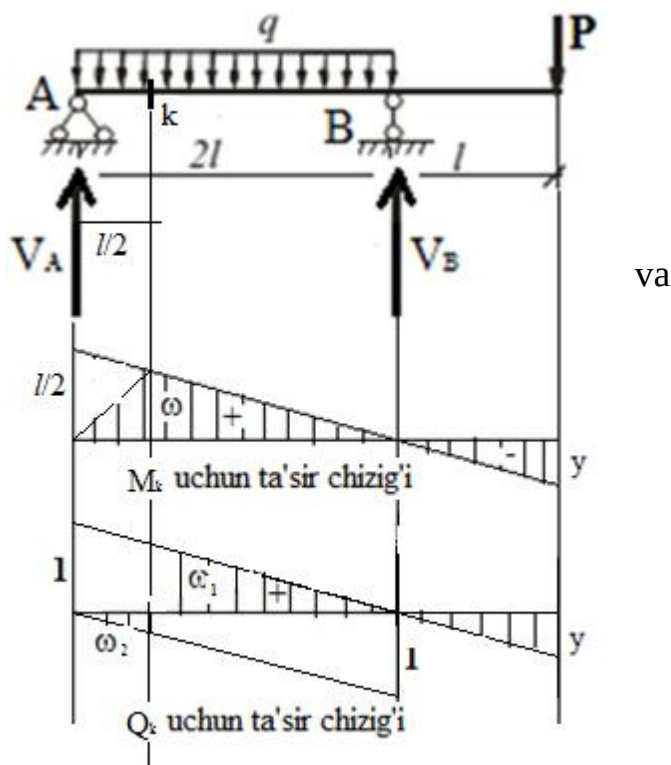
Demak, $M_C^{o'n}$ chiziq bu chegarada A reaksiyaning ta'sir chizig'i ordinatalarini a o'zgarmas songa ko'paytirib chizilganiga to'g'ri keladi. Bu chiziq o'ng chiziq deyiladi (rasm).

CHap chiziq bilan o'ng chiziq C kesim tagida kesishadi, chunki $X=a$ ni ifodalarga qo'ysak M^{chap} va $M^{o'n}$ ordinatalarning tengligini ko'ramiz. M_C ta'sir chizig'ining ordinatasi $P=1$ ko'chma yuk shu ordinata ustida turganida C kesimda hosil bo'lgan eguvchi momentning miqdorini qabul qilingan masshtabda ifodalaydi.

Agar konsolli balka bo'lsa ta'sir chizig'ini konsol oxirigacha davom ettiriladi. Berilgan k kesim uchun M_k va Q_k ta'sir chiziqlarini qurish uchun yuqoridagi usuldan foydalaniladi. Ta'sir chiziqlari shaklda tasvirlangan holatda chiziladi. Chizilgan ta'sir chizig'idan foydalanib k kesimdagi M_k va Q_k lar quyidagi formuladan aniqlanadi:

$M_k = q \cdot \omega + P \cdot y$ va $Q_k = q \cdot \omega_1 + P \cdot y$. Bu yerda y va ω lar ta'sir chizig'idan uchburchaklarni o'xshashligidan foydalanib aniqlanadi.

Ko'p prolyotli balka zo'riqishlarining ta'sir chiziqlarini qurish birlik ko'chma yuk ($P=1$) ta'siridagi oddiy konsolli balkalarni hisoblash qoidalariga asoslangan. Ta'sir chizig'ini qurishdan oldin ko'p prolyotli balka elementlarning o'zaro bog'lanish sxemasi chizib olinadi.



Mavzu. Ta'sir chiziqlari yordamida

zo'riqishlarni aniqlash. Ko'p oraliqli statik aniq balkalarni harakatlanuvchi yuklar ta'siriga hisoblash.

Masala: Ko'p prolyotli balkaning R_A , R_C tayanch reaksiyalari va rasmda ko'rsatilgan C_1 , C_2 va C_3 ko'ndalang kesimlari uchun Q_C , M_C ta'sir chiziqlari chizilsin (a – rasm). Balka elementlarining o'zaro bog'lanish sxemasi b – rasmda ko'rsatilgan.

R_A tayanch reaksiyasining ta'sir chizig'ini chizish.

element osma balka bo'lgani sababli, $P=1$ ko'chma yuk bu element ustida harakatlenganda A tayanchda reaksiya hosil bo'ladi. Demak, R_A ning ta'sir chizig'ini chizish bir konsolli balka uchun ta'sir chizig'ini chizishdan farq qilmaydi rasm).

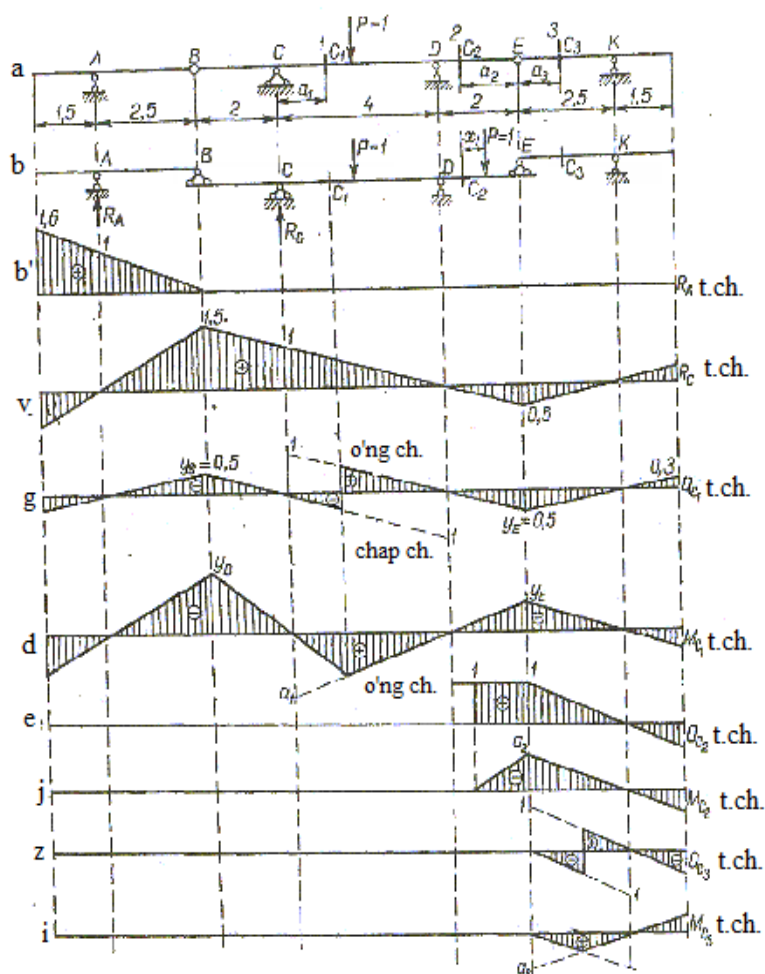
BCDE element asosiy balka bo'lganligi uchun avval $P=1$ ko'chma yukning shu ikki konsolli balka bo'ylab harakatlanishini ko'rib chiqamiz va bu hol uchun reaksiyasining ta'sir chizig'ini chizamiz, so'ngra $P=1$ yukning ikkinchi darajali balkalar ustida harakatlanish

holatini tekshiramiz. $P=1$ yuk AB element bo'ylab B sharnirdan chap tomonga uzoqlashsa, R_C reaksiyasining qiymati kamayib boradi va u A tayanchning ustiga keladigan R_C reaksiyasining qiymati nolga teng bo'ladi. $P=1$ ko'chma yuk AC osma balka bo'ylab harakatlansa, asosiy balkadagi zo'riqlashlarning ta'sir chiziqlari to'g'ri chiziq bo'yicha o'zgarib boradi. Bu o'zgarish chap tomonidagi konsolning oxirigacha davom etadi (v – rasm).

$P=1$ ko'chma yuk ikkinchi EK osma balka bo'ylab o'ng tomonga harakatlenganda R_C reaksiyasining qiymati kamayib borib, yuk K tayanch ustida bo'lganda nolga teng bo'ladi. Demak, E sharnir bilan K tayanch orasidagi R_C reaksiyasining ta'sir chizig'i to'g'ri chiziq bo'ylab o'zgarishi sababli, bu kesimlar ostidagi ordinalarni to'g'ri chiziq bilan birlashtirib uni konsol oxirigacha davom ettiramiz (v – rasm).

Q_{C1} ta'sir chizig'ini qurish (g – rasm). C_1 kesim asosiy balkaning ko'ndalang kesim bo'lganligi uchun, avval $P=1$ yukning asosiy balka bo'ylab harakatlanishini tekshiramiz. $P=1$ ko'chma yuk I – I kesimning chap tomonida bo'lganda

$Q_{C1}^{chap} = -R_D$; o'ng tomonida bo'lganda esa $Q_{C1}^{ong} = -R_C$ bo'ladi. Bu chap va o'ng chiziqlarini chizamiz (g–rasm). Endi $P=1$ yukning EK osma balka bo'ylab harakatlanishini tekshiramiz. $P=1$ yuk E sharnir ustida bo'lganda esa



AB

(b-

R_C

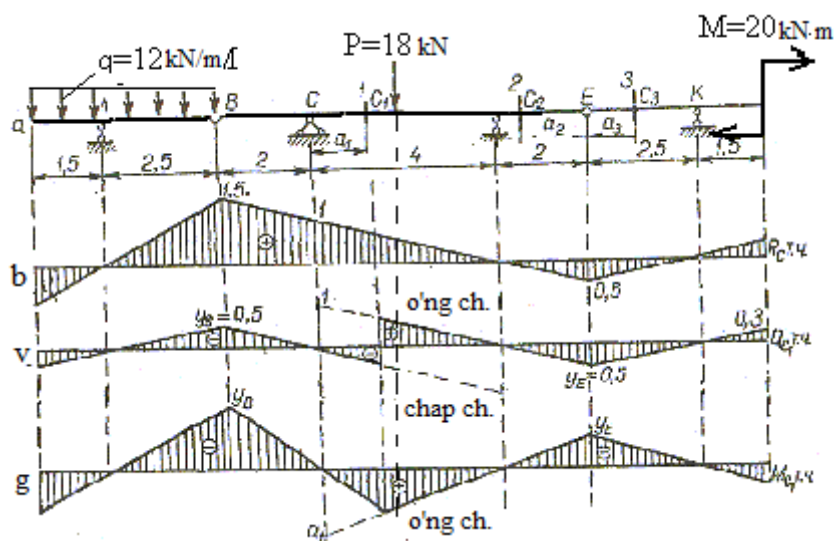
$Q_{C_1}^{o'ng} = Y_E = 0,5$; K tayanch ustida bo'lganda esa $Q_{C_1}^{o'ng} = 0$ bo'ladi. Bu ordinatalarni to'g'ri chiziq bilan birlashtirib, uni konsol oxiriga davom ettiramiz.

$P=1$ yuk AB osma balkaning B sharniri ustida bo'lganda $Q_{C_1}^{o'ng} = Y_B = -0,5$.

Harakatlanuvchi yuklar ta'sirida bo'lgan ko'p oraliqli statik aniq balkalarni yuqoridagi oddiy balkalar uchun bayon etilgan usullardagi kabi hisoblanadi.

Buning uchun dastlab zo'riqlashlari aniqlanadigan kesimlar uchun ta'sir chiziqlari quriladi (rasm).

Misol tariqasida rasmda berilgan balka uchun R_B reaksiyasini, M va Q zo'riqlashlarni hisoblashni ko'raylik. Buning uchun ta'sir chiziqlari yordamida hisoblash formulasi $S = \sum P_i \cdot y_i + \sum q_i \cdot \varpi_i + \sum M_i \cdot tg\alpha_i$ dan foydalanamiz.



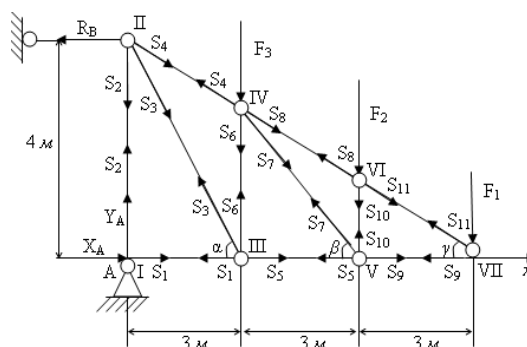
$$R_c = P \cdot y + q(\varpi_2 - \varpi_1) + Mtg\alpha = 18 \cdot 0,5 + 12\left(\frac{1}{2} \cdot 1,5 \cdot 2,5 - \frac{1}{2} \cdot 0,9 \cdot 1,5\right) + 20 \cdot \frac{0,3}{1,5} = 9 + 14,4 + 4 = 27,4 \text{ kN}$$

$$M_{C_1} = P \cdot y + q\varpi + M \cdot tg\alpha = 18 \cdot 0,6 + 12\left(\frac{1}{2} \cdot 0,94 \cdot 1,5 - \frac{1}{2} \cdot 1,4 \cdot 2,5\right) - 20 \cdot \frac{0,36}{1,5} = 10 + 12(0,06 - 1,75 + 4,8) = 2,16 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$Q_{C_1} = P \cdot y + q\varpi + M \cdot tg\alpha = 18 \cdot 0,5 + 12\left(\frac{1}{2} \cdot 0,5 \cdot 2,5 - \frac{1}{2} \cdot 0,3 \cdot 1,5\right) + 20 \cdot \frac{0,3}{1,5} = 9 + 4,8 + 4 = 17,8 \text{ kN}$$

Mavzu. Statik aniq tekis fermalarni qo'zg'almas va harakatlanuvchi yuklar ta'siriga hisoblash

1-masala. Shaklda tasvirlangan fermaning tayanch reaksiyalari va sterjenlardagi zo'riqishlar aniqlansin. Fermaga parallel kuchlar ta'sir qiladi: $F_1=1\text{kN}$, $F_2=2\text{kN}$, $F_3=3\text{kN}$. Koordinata sistemasi AXY ni olamiz, tayanch reaksiya kuchlari bilan



almashamiz. Bu fermaning statik aniq ekanligini oydinlashtiramiz. Fermada $n=7$ tugun va $m=11$ sterjenlar mavjud. Bu holda $m=2n-3$ tenglama o'rinli ekanligini osonlikcha ko'rish mumkin. B nuqtadagi reaksiya kuchi R_B BC sterjen bo'ylab yo'nalgan. Tayanch A dagi reaksiya kuchi miqdor va yo'nalish jihatidan noma'lum bo'lganligi uchun, uni koordinata o'qlari bo'ylab yo'nalgan X_A , Y_A tashkil etuvchilari orqali tasvirlash qulaydir. Reaksiya kuchlarini aniqlash uchun uchta muvozanat tenglamalarini tuzamiz

- 1) $\sum F_{kx} = 0$; $X_A - R_B = 0$
- 2) $\sum F_{ky} = 0$; $Y_A - F_1 - F_2 - F_3 = 0$ bundan $Y_A = 5 \text{ kN}$
- 3) $\sum m_A(\bar{F}_k) = 0$; $4R_B - 9F_1 - 6F_2 - 3F_3 = 0$ bundan $R_B = 6,75 \text{ kN}$

U holda $X_A=R_B=6,75 \text{ kN}$.

Ferma tugunlarini rim raqamlari bilan, sterjenlarni esa arab raqamlari bilan belgilaymiz. Noma'lum zo'riqishlarni, sterjen bo'ylab tugundan ketgan deb qaraladi, ya'ni cho'zuvchi zo'riqishdir. Agar zo'riqishlar manfiy bo'lib qolsa, mos sterjenlar siqiladi. Fermani hisoblashni, ikkita noma'lum S_1 va S_2 ishtirok etgan I tugundan boshlanadi.

Muvozanat tenglamasini tuzamiz.

$$\sum F_{kx} = 0 \quad X_A + S_1 = 0 \quad \text{bundan} \quad S_1 = -X_A = -6,75 \text{ kN}$$

$$\sum F_{ky} = 0 \quad Y_A + S_2 = 0 \quad \text{bundan} \quad S_2 = -Y_A = -5 \text{ kN}$$

S_2 zo'riqishni bilib, II tugunga o'tamiz, bunda noma'lumlar S_3 va S_4 lardir. II tugun uchun muvozanat tenglamalarini tuzamiz.

$$\sum F_{kx} = 0 \quad -R_B + S_3 \cdot \cos \alpha + S_4 \cdot \cos \gamma = 0$$

$$\sum F_{ky} = 0 \quad -S_2 - S_3 \cdot \sin \alpha - S_4 \cdot \sin \gamma = 0$$

Berilgan o'lchovlardan sterjenlar uzunliklarini aniqlaymiz:

$$l_3 = 5 \text{ m}, l_4 = l_8 = l_{11} = 3,3 \text{ m}$$

$$l_2 = \frac{8}{3} \text{ m}, l_7 = 4 \text{ m}, l_{10} = \frac{4}{3} \text{ m}$$

U holda $\cos\alpha=0,6$ $\sin\alpha=0,8$ $\cos\beta=0,75$ $\sin\beta=0,6675$ $\cos\gamma=0,909$
 $\sin\gamma=0,404$

Muvozanat tenglamasi quyidagi ko'rinishni oladi:

$$-6,75 + 0,6S_3 + 0,909S_4 = 0$$

$$5 - 0,8S_3 - 0,404S_4 = 0$$

Bu tenglamalardan $S_3 = 3,75 \text{ kN}$; $S_4 = 4,95 \text{ kN}$ kelib chiqadi.

III tugun uchun muvozanat tenglamalarini tuzamiz:

$$\sum F_{kx} = 0; \quad S_5 - S_1 - S_3 \cos \alpha = 0$$

$$\sum F_{ky} = 0; \quad S_6 + S_3 \sin \alpha = 0$$

Bundan quyidagilarni topamiz: $S_5 = -4,505 \text{ kN}$, $S_6 = -2,993 \text{ kN}$.

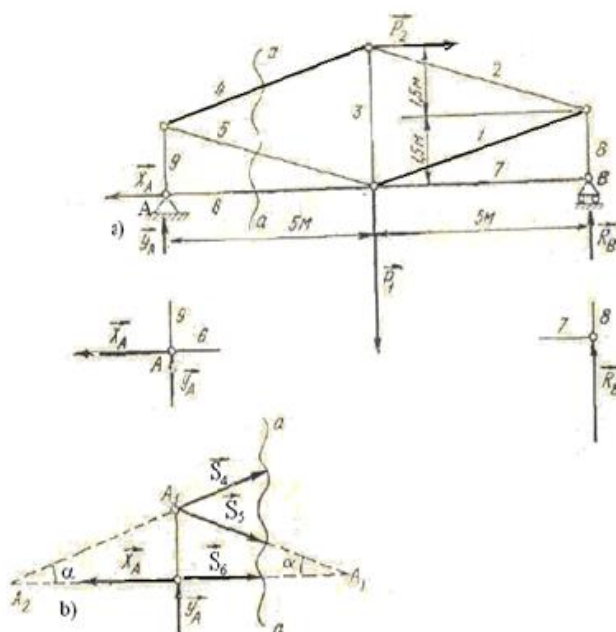
Keyin, ketma-ket IV, V va VII tugunlarning muvozanatini tekshirib, qolgan sterjenlardagi quyidagi zo'riqlashlarni aniqlaymiz: $S_7 = 2,197 \text{ kN}$, $S_8 = 6,598 \text{ kN}$, $S_9 = -6,153 \text{ kN}$, $S_{10} = 1,465 \text{ kN}$, $S_{11} = 2,475 \text{ kN}$.

Olingan natijalardan quyidagi xulosalarni chiqaramiz: 3, 4, 8, 10, 11 sterjenlar cho'ziladi, 1, 2, 5, 6, 7, 9 sterjenlar siqiladi.

2-masala. Ritter usuli bilan rasmda berilgan fermaning 4, 5, 6, 7, 8 va 9 sterjenlaridagi zo'riqlashlarni aniqlansin.

Yuqorida ko'rganimizdek,

$P_1 = 4 \text{ kH}$, $P_2 = 2 \text{ kH}$ kuchlar ta'sir etadi va tayanch reaksiyalari A tayanch sharnirli qo'zg'almas, B tayanch sharnirli qo'zg'aluvchan tayanch bo'lgani uchun, ularni muvozanat tenglamalari yordamida aniqlanganda



$X_A = 2 \kappa H$, $Y_A = 1,4 \kappa H$, $R_B = 2,6 \kappa H$ ga teng bo'ladi.

Fermaning A va B tayanchlaridagi tugunlari qaralgan 3 va 2 xususiy hollarga mos keladi. Binobarin, $\vec{R}_9$ va $\vec{R}_8$ reaksiya kuchlari mos ravishda A va B tugunga yo'naladi, ya'ni 9 va 8 sterjenlar siqiladi hamda bu sterjenlardagi zo'riqishlar quyidagicha aniqlanadi:

$$S_9 = -R_9 = -Y_A = -1,4 \kappa H, \quad S_8 = -R_8 = -2,6 \kappa H.$$

R_6 reaksiya kuchining yo'nalishi X_A ga qarama-qarshidir, ya'ni A tugundan sterjen o'qi bo'ylab yo'nalib, 6 sterjen cho'ziladi va $S_6 = R_6 = 2 \kappa H$. 7 sterjendagi zo'riqish esa nolga teng bo'ladi: $S_7 = 0$.

4 va 5 sterjenlardagi zo'riqishni topish uchun fermaning 4, 5 va 6 sterjenlarini $a-a$ kesim bilan fikran kesamiz hamda fermaning tashlab yuboriladigan o'ng qismining ta'sirini mos sterjenlar bo'ylab yo'nalgan S_4, S_5 va $S_6 = 2 \kappa H$ zo'riqish kuchlari bilan almashtiramiz (rasm b).

Ritter nuqtalari A_1 va A_2 ga nisbatan momentlar tenglamasini tuzamiz:

$$\sum M_{A_1}(\vec{F}_v) = 0; \quad -Y_A \cdot 5 - S_4 \cdot 10 \cdot \sin \alpha = 0,$$

$$\sum M_{A_2}(\vec{F}_v) = 0; \quad Y_A \cdot 5 - S_5 \cdot 10 \cdot \sin \alpha = 0.$$

Bu tenglamalarda $\sin \alpha = \frac{1,5}{\sqrt{(1,5)^2 + 5^2}} = 0,2874$ ekanligini e'tiborga olsak,

$$S_4 = -\frac{Y_A \cdot 5}{10 \sin \alpha} = -2,4356 \kappa H,$$

$$S_5 = \frac{Y_A \cdot 5}{10 \cdot \sin \alpha} = 3,4356 \kappa H.$$

Demak, 4 sterjen siqiladi, 5 sterjen cho'ziladi.

Fermani sterjenlaridagi zo'riqishlarni hisoblashning yuqoridagi analitik usullari grafik usullarga nisbatan aniqroq bo'ladi.

Mavzu. Uch sharnirli arkani qo'zg'almas yuklar ta'siriga hisoblash.

Harakatlanuvchi yuklar ta'sirida bo'lgan uch sharnirli arka zo'riqishlarini ta'sir chiziqlari yordamida aniqlash

1. Misol. Parabola bo'yicha chizilgan uch sharnirli arka quyidagi; $P = 8kH, q = 4k \frac{H}{M}$,

$\alpha = 0,35, \beta = 0,33, \frac{f}{\ell} = 0,3, \ell = 24M$ yuklar va o'lchovlarga ega. SHu arka uchun, yuqorida bayon qilingan barcha shartlar bajarilsin.

Echish: Analitik hisob. $f = 0,3\ell = 7,2M, x_k = 7,92$

$$\sum M_A = P \cdot 4,2 + q \cdot 15,6 \cdot 16,2 - V_B \cdot 24 = 0;$$

$$V_B = \frac{8 \cdot 4,2 + 4 \cdot 15,6 \cdot 16,2}{24} = \frac{1044,48}{24} = 43,52kH$$

$$\sum M_B = V_A \cdot 24 - P \cdot 19,8 - q \cdot 15,6 \frac{15,6}{2} = 0;$$

$$V_A = \frac{8 \cdot 19,8 + 486,72}{24} = 26,88kH;$$

Tekshiramiz; $\sum Y = V_A V_B - 8 - 15,6 \cdot 4 = 70,4 - 70,4 = 0;$

$$\sum M_c = V_A \cdot 12 - P(4,2 + 3,6) - q \cdot 3,6 \cdot 1,8 - H_A \cdot f = 0. \quad \sum X = H_A - H_B = 0;$$

$$N_A = H_V.$$

Tekshiramiz:

$$\sum M_c = 4 \cdot 12 \cdot 6 - 43,52 \cdot 12 + 32,5333 \cdot 7,2 = 522,2239 - 522,24 \approx 0$$

Demak V_A, V_B va $H_A = H_B = H$ - lar to'g'ri aniqlangan. endi x va y - ni, ular orqali $y^1 = tg \varphi; \sin \varphi, \cos \varphi; Q^o, M^o, M, Q, N$ larni $x = 0; 3; 4,2; 8,4; 12; 15; 18; 21; 24$ - nuqtalarda hisoblaymiz va jadvalga kiritamiz.

$$y = \frac{4f}{\ell^2}(\ell - x)x; \quad y(0) = 0; \quad y(3) = 3,15; \quad y(4,2) = 4,158; y(6) = 5,4; \quad y_{\kappa}(7,92) = 6,3677$$

$$y(8,4) = 6,552; \quad y(9) = 6,75; \quad y(12) = 7,2; \quad y(15) = 6,75; \quad y(18) = 5,4; \quad y(21) = 3,15; \\ y(24) = 0$$

$$y^1 = tg \varphi = \frac{4f}{\ell^2}(\ell - 2x); \quad y^1(0) = -y^1(24) = 1,2; \quad y^1(3) = -y^1(21) = 0,9;$$

$$y^1(6) = -y^1(18) = 0,6;$$

$$y_{\kappa}^1(7,92) = 0,408; \quad y^1(9) = -y^1(15) = 0,3; \quad y^1(12) = 0; \quad y^1(4,2) = 0,78, \quad y^1(8,4) = 0,36$$

$$\sin \varphi = \frac{y^1}{\sqrt{1 + y^{12}}}; \quad \sin(0) = -\sin(24) = 0,7682; \quad \sin(3) = -\sin(21) = 0,6689; \quad \sin(6) = -\sin(18) = 0,51$$

$$\sin(8,4) = 0,9409; \quad \sin(9) = -\sin(15) = 0,2873; \quad \sin(12) = 0; \quad \sin(7,92) = 0,3777; \\ \sin(4,2) = 0,615$$

$$\cos \varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + y^{12}}}; \quad \cos(0) = \cos(24) = 0,6402; \quad \cos(3) = \cos(21) = 0,7433; \quad \cos(6) = \cos(18) = 0,85'$$

$$\cos(8,4) = 0,9409; \quad \cos(9) = \cos(15) = 0,9578; \quad \cos(12) = 1; \quad \cos(7,92) = 0,9259; \quad \cos(4,2) = 0,7885$$

Oddiy balkadagi $M^0(x)$ va $Q^0(x)$ -ni kerakli nuqtalarda qiymatlarni aniqlaymiz.

$$0 \leq x \leq 4,2; \quad M^0(x) = V_A \cdot x; \quad Q^0(x) = V_A \equiv 26,88kH; \quad M^0(0) = 0; \quad M^0(3) = 80,64kHm$$

$$M^0(4,2) = 112,896kNm; \quad Q^0(4,2) = 26,88kH.$$

$$4,2 \leq x \leq 8,4; \quad M^0(x) = V_A \cdot x - P(x - 4,2); \quad Q^0(x) = V_A - P \equiv 26,88 - 8 = 18,88kH.$$

$$M^0(6) = 146,88kH \cdot m; \quad M^0(7,92) = 183,1296kH \cdot m; \quad M^0(8,4) = 192,192;$$

$$8,4 \leq x \leq 24; \quad M^0(x) = V_A \cdot x - P(x - 4,2) - \frac{q(x - 8,4)^2}{2}; \quad Q^0(x) = V_A - P - q(x - 8,4)$$

$$M^0(8,4) = 192,192kHm; \quad M^0(9) = 202,8kHm. \quad M^0(12) = 234,24kHm.$$

$$M^0(15) = 229,68kHm; \quad M^0(18) = 189,12kHm; \quad M^0(21) = 31,92kHm; \quad M^0(24) = 0.$$

$$Q^0(8,4) = 18,88kH; \quad Q^0(9) = 16,48kH; \quad Q^0(12) = 4,48kH; \quad Q^0(15) = -7,52; \quad Q^0(18) = -79,52kH.$$

$$Q^0(21) = -31,52; \quad Q^0(24) = -43,52kH.$$

$M(x)$ -ni, $M(x) = M^0(x) - H \cdot y(x)$ formula yordamida hisoblaymiz.

$$M(0) = 0; \quad M(3) = -21,834kH \cdot m; \quad M(4,2) = -22,3775kH \cdot m; \quad M(6) = -28,7998kH \cdot m$$

$$M(8,4) = -20,9662kH \cdot m; \quad M(9) = -16,7998kH \cdot m; \quad M(12) = 0,0002kH \cdot m = 0.$$

$$M(15) = 10,0802kN \cdot m; \quad M(18) = 13,4402kH \cdot m; \quad M(21) = -69,9466kH \cdot m; \quad M(24) = 0$$

$Q(x)$ -ni, $Q(x) = Q^0(x) \cdot \cos \varphi_x - H \cdot \sin \varphi_x$ formula yordamida hisoblaymiz.

$$Q(0) = -7,78kH; \quad Q(3) = -1,7815kH; \quad Q(4,2) = 1,1868kH; \quad Q(6) = -0,5488kH.$$

$$Q(8,4) = 6,7452kH; \quad Q_k(7,92) = 5,1932kH. \quad Q(9) = 6,4377kH;$$

$$Q(12) = 4,48kH; \quad Q(15) = 2,1442kH; \quad Q(18) = 0; \quad Q(21) = -3,2433kH. \quad Q(24) = -2,8694kH.$$

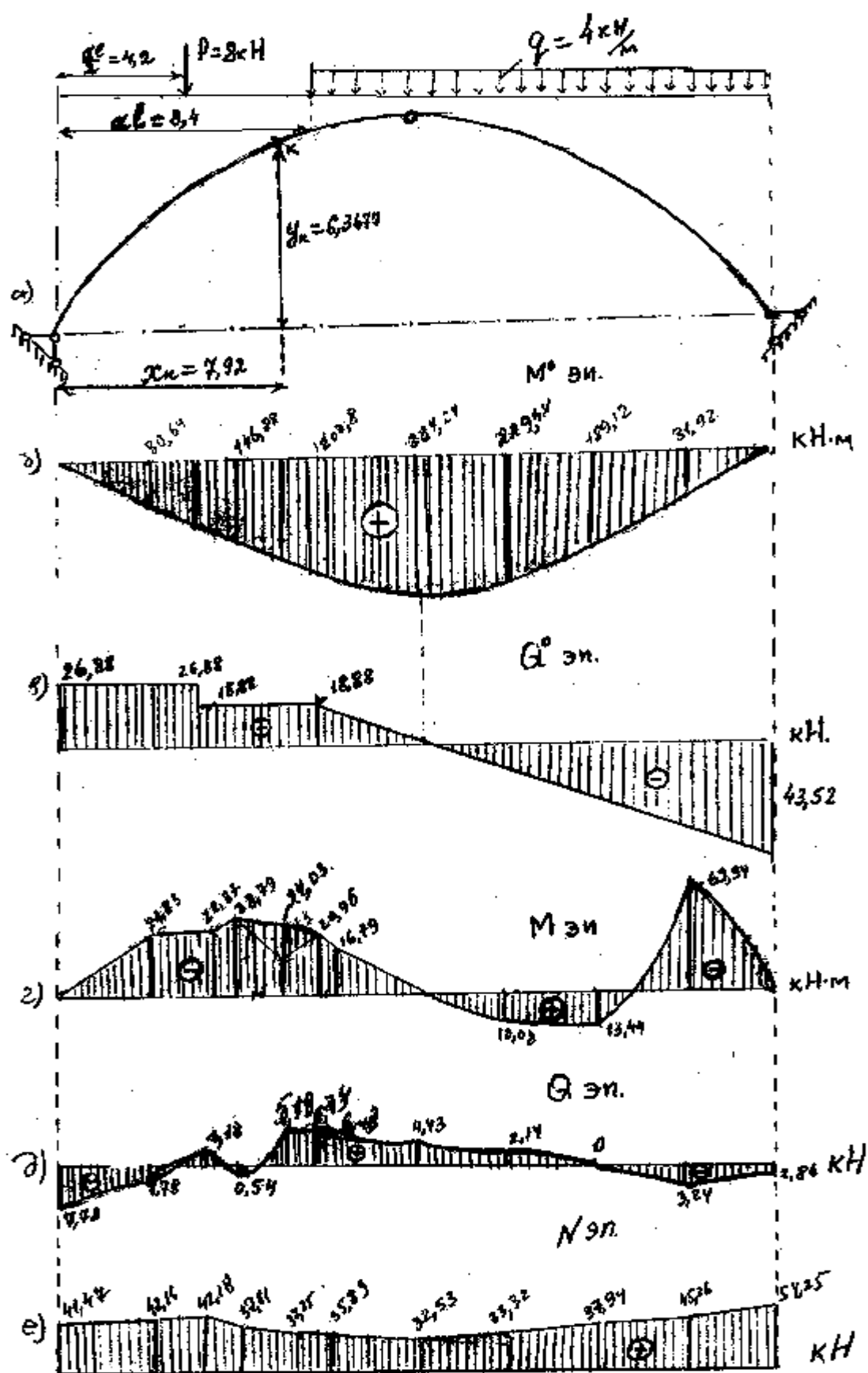
$N(x)$ -ni $N(x) = Q^0(x) \cdot \sin \varphi_k + H \cos \varphi_x$ formulaga ko'ra hisoblaymiz.

$$N(0) = 41,477kH; \quad N(3) = 42,162kH; \quad N(4,2) = 42,1837kH; \quad N(6) = 37,611kH$$

$$N_k(7,92) = 37,2534kH; \quad N(8,4) = 37,0052kH; \quad N(9) = 35,8951kH; \quad N(12) = 32,5333kH.$$

$$N(15) = 33,3208kH; \quad N(18) = 37,9403kH; \quad N(21) = 45,2657kH; \quad N(24) = 33,432$$

x	y(x)	$y'(x) = \operatorname{tg} \varphi$	$\operatorname{Sm} \varphi_v$	$\operatorname{Cos} \varphi_x$	$M^0(x)$	$Q^0(x)$	M(x)	Q(x)	N(x)
0	0	1,2	0,7682	0,6402	0	26,88	0	- 7,7835	41,477
3	3,15	0,9	0,6689	0,7433	80,64	26,88	-21,834	- 1,7815	42,162
4,2	4,158	0,78	0,615	0,7885	112,896	26,88	- 22,3775	1,1868	42,1837
6	5,4	0,6	0,5145	0,8575	146,88	18,88	- 28,7998	- 0,5488	37,611
7,92	6,3677	0,408	0,3777	0,9259	183,1296	18,88	- 24,0326	5,1932	37,2534
8,4	6,552	0,36	0,3387	0,9409	192,192	18,88	- 20,9668	6,7452	37,0052
9	6,75	0,3	0,2873	0,9578	202,8	16,48	- 16,7998	6,4377	35,8951
12	7,2	0-	0	1	234,24	4,48	0	4,48	32,5333
15	6,75	0,3	- 0,2873	0,9578	229,68	-7,52	10,0802	2,1442	33,3208
18	5,4	-0,6	- 0,5145	0,8575	189,12	- 19,52	13,4402	0	37,9403
21	3,15	-0,9	- 0,6689	0,7433	31,92	- 31,52	- 69,9466	- 3,2433	45,2657
24	0	-1,2	- 0,7682	0,6402	0	- 43,52	0	- 2,8694	54,2598



Mavzu. Statik aniq oddiy sistemalarda ko'chishlarni aniqlash. Statik noaniq ramalarni kuchlar usulida hisoblash

1- masala. Balkaning m kesimidagi chiziqli ko'chish va n kesimidagi burchakli ko'chish Mor formulasi yordamida aniqlansin (rasm, a).

Yechish. Ko'chishlar Mor formulasi yordamida quyidagi tartibda aniqlanadi:

1. Eng avval istalgan kesim uchun eguvchi momentlar tenglamasini tuzamiz:

$$M_p = -2ql^2 + 2qlx - \frac{qx^2}{2}.$$

2. Balkaning m kesimidagi vertikal ko'chishni aniqlash uchun uni berilgan yuklardan ozod qilib, o'rniga izlanayotgan yo'nalishda birlik $P_m=1$ kuch qo'yamiz va uning ta'sirida eguvchi momentlar ifodasini tuzamiz (rasm, b):

$$\bar{M}_m = -P_m l + x = -l + x.$$

3. Burchakli ko'chishni aniqlash uchun balkaning n kesimiga birlik $P_n=1$ moment qo'yamiz hamda eguvchi momentlar ifodasini tuzamiz (rasm, v);

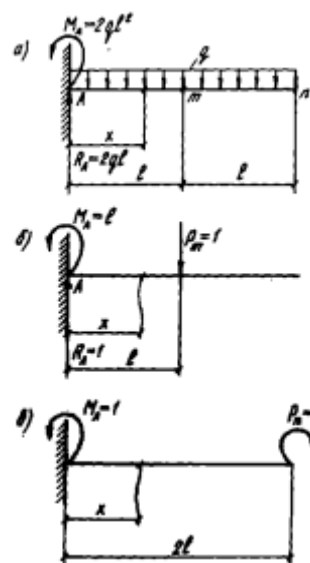
$$\bar{M}_n = -1.$$

4. Mor formulasi yordamida «m» kesimining vertikal Δ_{mp} ko'chishini aniqlaymiz:

$$\begin{aligned} \Delta_{mp} &= \int_0^l \frac{M_p \bar{M}_m dx}{EI} = \int_0^l \frac{(-2ql^2 + 2qlx - \frac{qx^2}{2})(-l + x) dx}{EI} = \\ &= \frac{1}{EI} \int_0^l (2ql^3 - 2ql^2x + \frac{qex^2}{2} - 2qe^2x + 2qlx^2 - \frac{qx^3}{2}) dx = \\ &= \frac{1}{EI} (2ql^3x \Big|_0^l - ql^2x^2 \Big|_0^l + \frac{qlx^3}{6} \Big|_0^l - ql^2x \Big|_0^l + \\ &\quad + \frac{2qlx^3}{3} \Big|_0^l - \frac{qx^4}{4} \Big|_0^l) = \\ &= \frac{1}{EI} (2ql^4 - ql^4 + \frac{ql^4}{6} - ql^4 + \frac{2ql^4}{3} - \frac{ql^4}{8}) = \frac{17}{24} \cdot \frac{ql^4}{EI}. \end{aligned}$$

5. Mop formulasi yordamida «n» kesimning burchakli ko'chishini aniqlaymiz:

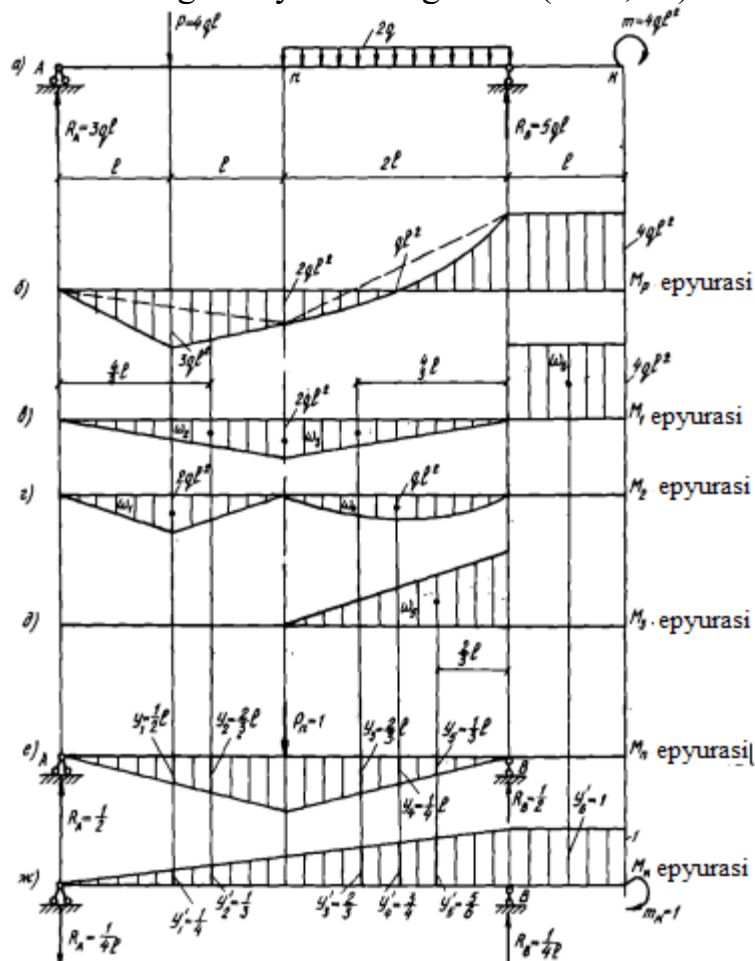
$$\Delta_{np} = \int_0^{2l} \frac{M_p M_n dx}{EI} = \int_0^{2l} \frac{(-2ql^2 + 2qlx - \frac{qx^2}{2})(-1) dx}{EI} =$$



$$= \frac{1}{EI} \left(2ql^2 x \Big|_0^{2l} - 2ql \frac{x^2}{2} \Big|_0^{2l} + \frac{qx^3}{6} \Big|_0^{2l} \right) =$$

$$= \frac{1}{EI} \left(4ql^3 - 4ql^3 + \frac{8ql^3}{6} \right) = \frac{4}{3} \frac{ql^3}{EI}.$$

2- masala. Berilgan yuklar ta'sirida balkaning n kesimining vertikal kuchishi va «K» kesimining burchakli ko'chishi Vereshchagin usulida aniqlansin. Balkaning bikirligi uning butun uzunligi bo'yicha o'zgarmas (rasm, a).



Yechish. 1. Berilgan yuklar ta'sirida balkaning eguvchi momentlar epyurasi M_p ni quramiz (rasm, b). M_p epyurasini og'irlik markazi aniq bo'lgan va yuzalarini hisoblash oson bo'lgan oddiy epyuralar (M_{12} , M_{23} , M_3) ga ajratamiz (rasm, v, g, d).

2. Yuklanmagan balkalarning biriga vertikal yo'nalishda birlik kuch ($P_n=1$), ikkinchisiga birlik moment ($m_k=1$) qo'yamiz hamda M_n va M_k epyuralarini quramiz. M_n va M_k epyuralarining epyurasidagi oddiy yuzalarning og'irlik markazlariga mos keladigan ($y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6$ va $y'_1, y'_2, y'_3, y'_4, y'_5, y'_6$) ordinatalarni aniqlaymiz (rasm e, j).

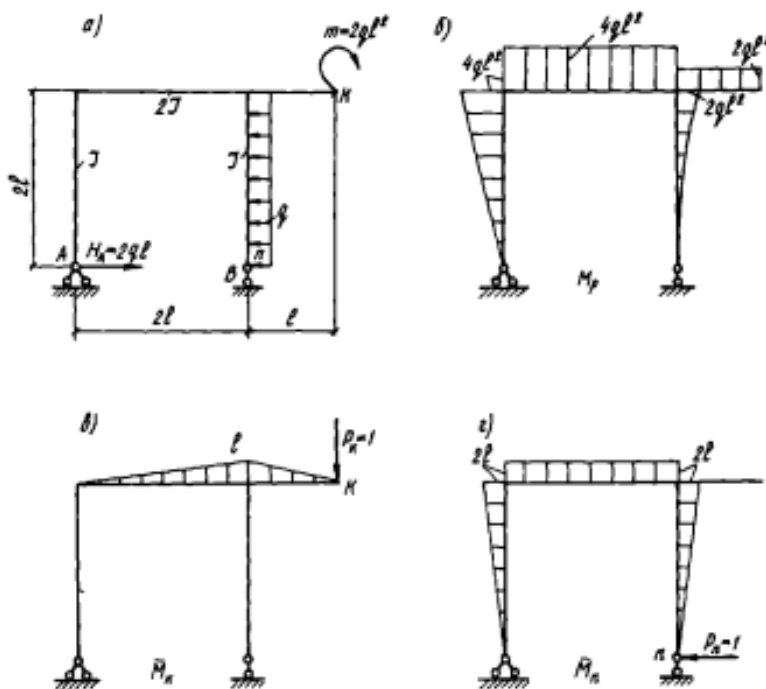
3. Vereshchagin qoidasiga amal qilib, ko'chishlarni aniqlaymiz. Balkaning n kesimidagi vertikal ko'chish

$$\Delta_{np} = \sum \int \frac{M_p \bar{M}_n}{EI} dx = \frac{1}{EI} \sum \omega y_i = \frac{1}{EI} \left(\frac{1}{2} 2ql^2 \cdot 2l \cdot \frac{1}{2}l + \right. \\ \left. + \frac{1}{2} 2ql^2 \cdot 2l \cdot \frac{q}{3}l + \frac{1}{2} 2ql^2 \cdot 2l \cdot \frac{1}{3}l + \frac{2}{3} ql^2 2l \cdot \frac{1}{2}l - \right. \\ \left. - \frac{1}{2} 4ql^2 \cdot 2l \cdot \frac{1}{3}l \right) = \frac{ql^4}{EI} \left(1 + \frac{4}{3} + \frac{4}{3} + \frac{2}{3} - \frac{4}{3} \right) = \frac{3ql^4}{EI};$$

Balkaning K kesimidagi burchakli ko'chish

$$\Delta_{kp} = \sum \int \frac{M_p \bar{M}_k}{EI} dx = \frac{1}{EI} \sum \omega y'_i = \\ = \frac{1}{EI} \left(-\frac{1}{2} 2ql^2 \cdot 2l \cdot \frac{1}{4} - \frac{1}{2} 2ql^2 \cdot 2l \cdot \frac{1}{3} - \frac{1}{2} 2ql^2 \cdot 2l \cdot \frac{2}{3} - \right. \\ \left. - \frac{2}{3} ql^2 \cdot 2l \cdot \frac{3}{4} + \frac{1}{2} 4ql^2 \cdot 2l \cdot \frac{5}{6} + 4ql^2 \cdot l \cdot 1 \right) = \frac{ql^3}{EI} \left(-\frac{1}{2} - \frac{2}{3} - \right. \\ \left. - \frac{4}{3} - 1 + \frac{10}{3} + 4 \right) = \frac{23}{6} \frac{ql^3}{EI}.$$

3- masala. Ramaning K nuqtasining vertikal ko'chishi va n nuqtasining gorizontal ko'chishi Vereshchagin usulida aniqlansin (rasm, a).



Yechish. Berilgan yuklardan eguvchi momentlar epyurasi M_p ni quramiz (rasm, b). Izlanayotgan yo'nalishlarda birlik kuchlar (P_K , P_n) qo'yib, birlik eguvchi moment epyuralari M_k va M_n ni quramiz (rasm, v, g).

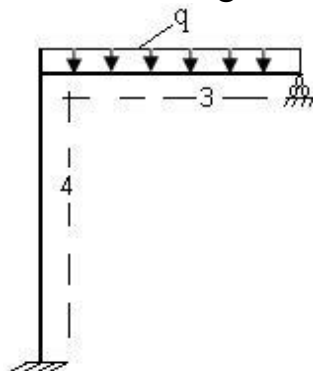
M_p epyurasini alohida ravishda M_k va M_n epyuralariga ko'paytirib, izlanayotgan ko'chishlarni aniqlaymiz. Vertikal ko'chish

$$\Delta_{pk} = \sum \int \frac{M_p \bar{M}_k}{EI} dx = \frac{1}{EI} \sum \omega y_i = \frac{1}{2EI} 4ql^2 \cdot 2l \cdot \frac{1}{2}l + \\ + \frac{1}{2EI} 2ql^2 \cdot l \cdot \frac{1}{2}l = \frac{2ql^4}{EI} + \frac{ql^4}{2EI} = \frac{5}{2} \frac{ql^4}{EI}.$$

Gorizontal ko'chish

$$\begin{aligned}\Delta_{np} &= \sum \int \frac{M_p \bar{M}_n}{EI} dx = \frac{1}{EI} \sum \omega y_i = \frac{1}{EI} \frac{1}{2} 4ql^2 \cdot 2l \frac{2}{3} 2l + \\ &+ \frac{1}{2EI} 4ql^2 \cdot 2l \cdot 2l + \frac{1}{EI} \frac{2}{3} \cdot 2ql^2 \cdot 2l \frac{3}{4} 2l = \\ &= \frac{16}{3} \frac{ql^4}{EI} + \frac{8ql^4}{EI} + \frac{4ql^4}{EI} = \frac{52}{3} \frac{ql^4}{EI}.\end{aligned}$$

4-masala. Rasmda berilgan rama uchun M,Q,N epyuralari qurilsin va tekshirilsin. $q=2\text{kN/m}$, $h=4\text{m}$, $l=3\text{m}$, birliliklar o'zgarmas.



Egilishga ishlovchi statik noaniq rama.

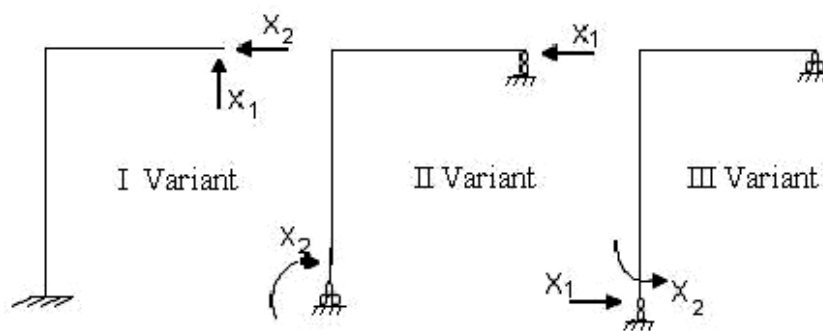
Rama barcha sterjenlarini egilishdagi birligi o'zgarmas. Ramani yuqoridagi keltirilgan ketma-ketlikda hisoblaymiz.

1. Statik noaniqlik darajasini topamiz.

$$n = 2Sh + St - 3D = 5 - 3 \cdot 1 = 2$$

Berilgan rama tashqi tomondan statik noaniqligi 2 ga teng, chunki bu holda tayanch reaksiyalari qo'shimcha noma'lum hisoblanadi.

Ikkala tayanch reaksiyalarini tashlab yuborib, ularni X_1 X_2 noma'lum kuchlar bilan almashtiramiz va asosiy sistemaning bir nechta variantlarini tuzamiz. Hisoblash uchun rasmda keltirilgan rama variantlarini ixtiyoriysini olish mumkin, ammo birinchi variant epyuralarini qurish, hisoblash hajmini kamaytirishi qulay.

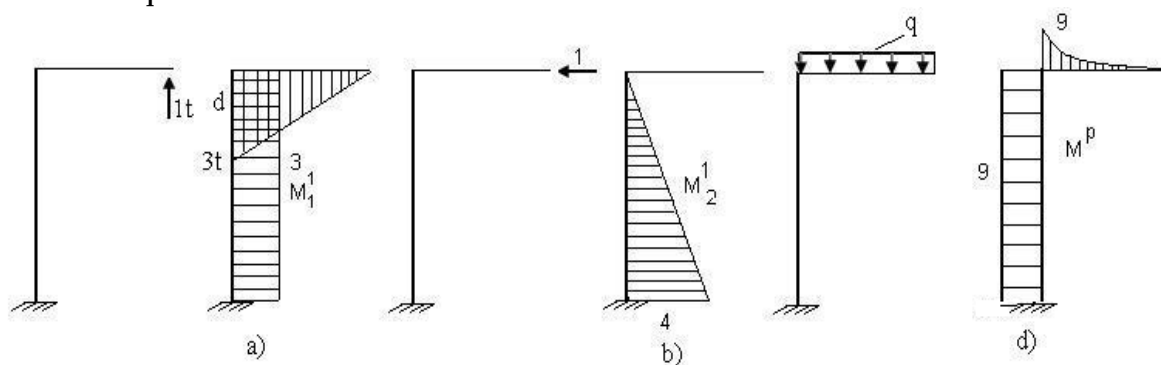


Asosiy sistema variantlari.

3. Kanonik tenglamalar sistemasini tuzamiz.

$$\left. \begin{aligned}X_1 \delta_{11} + X_2 \delta_{12} + \Delta_{1p} &= 0 \\ X_1 \delta_{21} + X_2 \delta_{22} + \Delta_{2p} &= 0\end{aligned} \right\}$$

4. Asosiy sistemani birlik noma'lum kuchlar bilan yuklab, birlik moment epyuralarini quramiz.



Eguvchi moment epyuralari:

a) vertikal birlik kuch epyurasi; b) gorizonta1 birlik kuch epyurasi; d) tashqi kuch epyurasi.

5. Birlik kuch va yuk epyurasini ko'paytirib, kanonik tenglamalar sistemasiga kiruvchi ko'chishlarni aniqlaymiz.

δ_{11} ni aniqlash uchun birinchi kuch epyurasini o'zini-o'ziga ko'paytiramiz.

$$\delta_{11} = \frac{3 \cdot 3 \cdot 3}{3 \cdot EI} + \frac{3 \cdot 4 \cdot 3}{EI} = \frac{45}{EI}$$

δ_{12} ni aniqlash uchun birinchi kuch epyurasini ikkinchi kuch epyurasiga ko'paytiramiz.

$$\delta_{12} = 0 + \frac{3 \cdot 4 \cdot 4}{2EI} = \frac{24}{EI}$$

δ_{21} ni aniqlash uchun ikkinchi kuch epyurasini birinchi kuch epyurasiga ko'paytiramiz, mos ravishda $\delta_{12} = \delta_{21} = 24/EI$

δ_{22} ni aniqlash uchun ikkinchi kuch epyurasini o'zini-o'ziga ko'paytiramiz.

$$\delta_{22} = 0 + \frac{4 \cdot 4 \cdot 4}{3EI} = \frac{21,6}{EI}$$

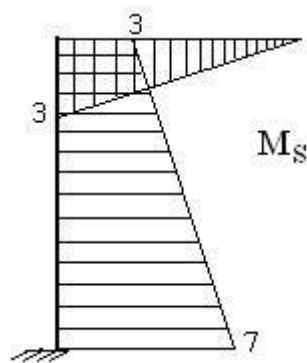
δ_{11}, δ_{22} va hokazolarni aniqlashda epyuralar o'zini-o'ziga ko'paytirilgani sababli, natija doimo musbat chiqadi.

Δ_{1p}, Δ_{2p} ko'chishlarni topish uchun birlik kuch va tashqi yuk epyuralarini ko'paytiramiz.

$$\Delta_{1p} = -\frac{9 \cdot 3 \cdot 3}{4 \cdot EI} - \frac{9 \cdot 4 \cdot 3}{EI} = -\frac{128,2}{EI}; \quad \Delta_{2p} = 0 - \frac{9 \cdot 4 \cdot 4}{2EI} = -\frac{72}{EI}$$

Ko'rinib turibdiki, ko'chishlarni aniqlash katta hajmdagi hisoblashlarni amalga oshirish orqali kechmoqda, murakkab sistemalarni hisoblashlarda ular yanada ko'payib ketadi. Bu holat hisoblash keyingi bosqichiga o'tishdan oldin olingan natijalarni to'g'riligini tekshirib olish zaruriyatini tug'diradi.

Kanonik tenglamalar sistemasiga kiruvchi ko'chishlarni to'g'ri topilganini tekshirish uchun birlik kuchlar yig'indisi epyurasi (M_s) quriladi. Buni qurish uchun birlik kuchlar epyuralari qo'shiladi.



Birlik kuchlarning yig'indi epyurasi.

Birlik kuchlar epyuralari M_s epyura bilan ketma-ket ko'paytiriladi. M_s epyuraning birligi birlik epyura bilan ko'paytirish natijasi kanonik tenglamalar birinchi qatoriga kiruvchi birlik kuchlar ko'chishlari yig'indisiga, M_s ni ikkinchi birlik kuch epyurasi bilan ko'paytmasi – ikkinchi qatordagi birlik kuch ko'chishlari yig'indisiga teng bo'lishi kerak va hokazo.

M_s epyurani yuk epyurasi bilan ko'paytirish natijasi kanonik tenglamalardagi yuk ko'chishlari yig'indisiga teng bo'lishi kerak.

Xuddi shu usulda M_s ni yuk epyurasi bilan ko'paytirish natijasi kanonik tenglama ozod hadlari yig'indisiga teng bo'lishini aytish mumkin.

Bizning misolimizda

$$\delta_{1s} = \frac{3 \cdot 3 \cdot 3}{3EI} + \frac{4 \cdot 3(3+7)}{2EI} = \frac{69}{EI}; \quad \delta_{11} + \delta_{12} = \frac{45}{EI} + \frac{24}{EI} = \frac{69}{EI}$$

$$\delta_{2s} = 0 + \frac{4 \cdot 4}{6EI} (2 \cdot 7 + 3) = \frac{45,4}{EI}; \quad \delta_{21} + \delta_{22} = \frac{24}{EI} + \frac{21,5}{EI} = \frac{45,6}{EI} \approx \frac{45,4}{EI}$$

$$\Delta_{sp} = -\frac{3 \cdot 3 \cdot 9}{4 \cdot EI} - \frac{9 \cdot 4(3+7)}{2EI} = -\frac{200,2}{EI}; \quad \Delta_{1p} + \Delta_{2p} = -\frac{128,2}{EI} - \frac{72}{EI} = -\frac{200,2}{EI}$$

Tekshirishlar shuni ko'rsatmoqdaki, kanonik tenglamaga kiruvchi ifodalar to'g'ri topilgan.

6. Ko'chishlar olingan qiymatlarini kanonik tenglamalar sistemasiga qo'ysak

$$\frac{45X_1}{EI} + \frac{24X_2}{EI} - \frac{128,2}{EI} = 0$$

$$\frac{24X_1}{EI} + \frac{21,6X_2}{EI} - \frac{72}{EI} = 0$$

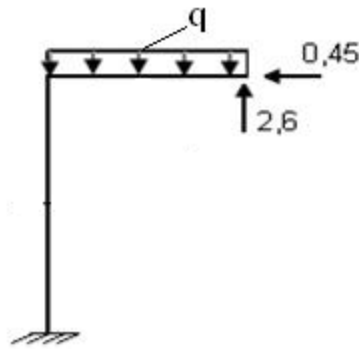
$$\frac{1}{EI}$$

Sistemani $\frac{1}{EI}$ ga qisqartirib olib, yechamiz. Agar sistema 2–3 ta tenglamadan iborat bo'lsa o'rniga qo'yish usulidan foydalanish qulay. Agar sistema 3 tadan ortiq tenglamalardan iborat bo'lsa, u holda chiziqli tenglamalar sistemasini yechishning maxsus usullari qo'llaniladi.

Gauss usulidan foydalanilsa:

$$X_1 = \frac{128,2}{45} - \frac{24X_2}{45} = 2,86 - 0,53X_2$$

$$6,86 - 12,8X_2 + 21,6X_2 - 72 = 0 \quad X_2 = 0,45, \quad X_1 = 2,86 - 0,515 \cdot 0,45 = 2,68 \approx 2,6$$



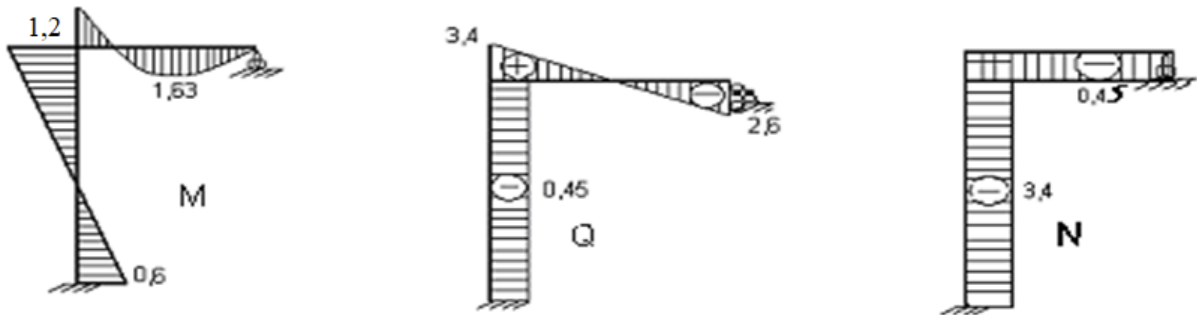
Reaksiya kuchlari aniqlangan.

Olingan natijalar to'g'riligini tekshirish uchun, ularni birinchi tenglamaga qo'yamiz.

$$45 \cdot 2,61 + 24 \cdot 0,45 - 128,2 = 127,8 - 128,2 = -0,4 \approx 0$$

X_1 va X_2 koeffitsientlari oldidagi (+) ishora tashlab yuborilgan reaksiyalar yo'nalishi olingan birlik kuch yo'nalishiga mos ekanligini bildiradi.

7. To'la yuklanishdagi asosiy sistemani tuzamiz va M , Q , N yakuniy epyuralar quramiz.



Rama uchun qurilgan ichki kuch epyuralari.

$$M_1 = 2,6z_1 - qz_1^2 / 2 \quad z_1 = 0 \text{ da } M = 0 \quad Q = -2,6t$$

$$Q_1 = -2,6 + qz_1$$

$$N_1 = -0,45 \quad z_1 = 3 \text{ da } M = -1,2, \quad Q = -3,4t$$

$M_{\max}$ ga $Q = 0$ da erishadi $-2,6 + 2z = 0 \quad z = 1,3$

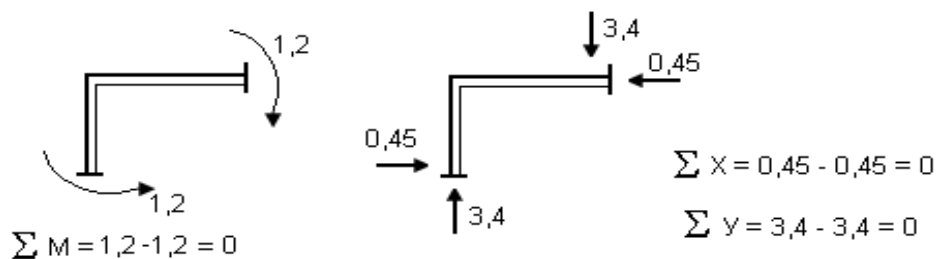
$$M_{\max} = 2,6 \cdot 1,3 - \frac{2 \cdot 1,3^2}{2} = 1,69 \text{ tm}$$

$$M_2 = 2,6 \cdot 3 - \frac{2 \cdot 3^2}{2} + 0,45z_2 \quad z_2 = 0 \text{ da } M = -1,2$$

$$Q_1 = 0,45$$

$$N_2 = 2,6 - 2 \cdot 3 = -3,4 \quad z_2 = 4 \text{ da } M = 0,6$$

Rama tugunlari muvozanatini tekshiramiz.



Tugunni statik tekshirish.

Rama tugunlarining muvozanatda bo'lishi to'la yuklanishdagi asosiy sistema ichki kuchlar epyuralarini to'g'ri qurilganini tasdiqlaydi, ammo M , Q , N epyuralari berilgan sistema epyuralari ekanligi kafolatini bermaydi. Buning uchun to'la yuklanishdagi asosiy sistema deformatsiyalari berilgan sistema deformatsiyalariga mosligini, ya'ni deformatsion tekshirish deb ataluvchi tekshirishni o'tkazish lozim.

2. Mustaqil ta'lim mashg'ulotlari

Qurilish mexanikasi fanidan talabalar quyidagi mavzular bo'yicha mustaqil ta'lim oladilar:

1. Sirpanishdagi ishqalanish qonunlari. Ishqalanish burchagi. Ishqalanish konusi. Jismlarning ishqalanish kuchi hisobga olinganidagi muvozanati.
2. Statik aniq va statik aniqmas masalalar. Bir nechta jismdan tashkil topgan sistemaning muvozanati.
3. Fazodagi kuchlar sistemasini invariantlari.
4. Tekis shakl nuqtalari tezlanishlarining oniy markazi
5. Moddiy nuqtaning majburiy tebranishiga muxit qarshiligining ta'siri.
6. Ko'chirma va Koriolis inersiya kuchlari. Koriolis inersiya kuchining er ustidagi jismlarga ta'siri.
7. Jismning parallel o'klarga nisbatan inersiya momentlarini hisoblash. Markazdan qochma inersiya momentlari. Jismning berilgan nuqtasidan o'tuvchi ixtiyoriy o'qqa nisbatan inersiya momentlari.
8. Qo'zg'almas o'q atrofida aylanuvchi qattiq jismning aylanish o'qiga ko'rsatadigan dinamik bosimini Dalamber prinsipi yordamida aniqlash
9. Mumkin bo'lgan ko'chish prinsipini bog'lanish reaksiyalarini aniqlashga tadbiqu.
10. Tayanchlar va ularning turlari
11. Teng qarshilikli sterjenlar.
12. Sterjenlarni chekli yuk ko'tara olish qobiliyati bo'yicha hisoblash.
13. Teng qarshilikli balkalar.
14. O'zgaruvchan kesimli sterjenlarning ustivorligi masalasi.
15. Vaqt bo'yicha davriy o'zgaruvchan kuchlanishlarda materiallar mustahkamligi.
16. Inshootga ta'sir etuvchi yuklar va ularning turlari.
17. Ta'sir chiziqlarini chizishning kinematik usuli.
18. Murakkab fermalarning geometrik o'zgarmasligini tadqiq etish.
19. Fermalarning ratsional shakllarini tanlash.
20. Arka o'qining ratsional shakli.
21. Uch sharnirli arkasimon fermalarni harakatlanuvchi yuklar ta'siriga hisoblash.

22. Statik noaniq sistemalarni temperatura ta'siriga hisoblash.
23. Statik noaniq sistemalarni tayanchlar cho'kishiga hisoblash.
24. Statik noaniq sistemalarni kuchlar usuli bilan matritsalar yordamida hisoblash.
25. Statik noaniq sistemalarni chekli elementlar usuli yordamida hisoblash.

Qurilish mexanikasida masalalar yecha olish katta ahamiyatga ega. Ayrim mavzularni chuqur o'rganish va masala yechishning asosiy yo'li darslik va o'quv qo'llanmalar bilan mustaqil ishlay olishdir. Kitob bilan mustaqil ishlay bilish nafaqat muhandis tayyorlash, balki uning hamma faoliyatining asosi hisoblanadi. Undan tashqari, talabalarga o'tilgan mavzularni mustaqil o'zlashtirishlari uchun ma'ruza matnlaridan foydalanish ham tavsiya etiladi. Talabalarning mavzularni mustaqil o'zlashtirishi alohida baholanmaydi, ular joriy, oraliq va yakuniy baholashda o'z aksini topadi.

Mustaqil ta'lim talabalar uchun majburiy o'quv mashg'uloti hisoblanadi va u rejabiy xarakterga ega. Mustaqil ish mavzulari mustaqil o'zlashtirish uchun rejalashtirilgan ma'ruza va amaliy mashg'ulotlar mavzularidan iboratdir. Mustaqil ta'lim talabalarning nazariy bilimlarini mustahkamlaydi va mavzularni yaxshi o'zlashtirishga yordam beradi.

Mustaqil o'zlashtiriladigan mavzular bo'yicha talabalar tomonidan konspekt qilish, prezentatsiya tayyorlash, referatlar tayyorlash va uni taqdimot qilish tavsiya etiladi.

Keyslar banki

1-Mavzu:

Kirish

Keys stadi №1

Muammoning qo'yilishi: Hisob sxemasi tanlashda inshoot elementlarining keraksiz qismlarini tashlab yuboriladi va qalinliklar etiborga olinmaydi. Buni boisi nimada?

“Muammoli vaziyat” jadvalini to'ldiring

Vaziyatagi muammo turi	Muammoli vaziyatning kelib chiqish sabablari	Vaziyatdan chiqib ketish harakatlari
1.Hisob sxemasi tanlashda inshoot elementlarining keraksiz qismlarini tashlab yuboriladi va qalinliklar etiborga olinmaydi. Buni boisi nimada?		

Vazifa: Yuqoridagi muammolarni oddiy so'zlar bilan ifodalab bering. Fikringizni ilmiy asoslang.

2-Mavzu: Kirish (davomi)

Keys stadi №2

Muammoning qo'yilishi: Konstruktsiya elementlari yuzalaridagi hosil bo'ladigan kuchlanishlarning miqdori tashqi kuchlarga bog'liq. Sizningcha bu miqdor yana nimalarga bog'liq bo'lishi mumkin?

“Muammoli vaziyat” jadvalini to'ldiring

Vaziyatagi muammo turi	Muammoli vaziyatning kelib chiqish sabablari	Vaziyatdan chiqib ketish harakatlari
1.Konstruktsiya elementlari yuzalaridagi hosil bo'ladigan kuchlanishlarning miqdori tashqi kuchlarga bog'liq. 2.Sizningcha bu miqdor yana nimalarga bog'liq bo'lishi mumkin?		

Vazifa: Yuqoridagi muammolarni oddiy so'zlar bilan ifodalab bering. Fikringizni ilmiy asoslang.

Oddiy deformatsiyalarda IKF ni aniqlash va ularning epyuralarini qurish

Keys stadi №3

Muammoning qo'yilishi: 3.1 shaklda ko'rsatilgan brus material 2 xil variantda po'lat va cho'yandan tayorlangan bo'lsa qaysi birida (3.1 d- shakl) zo'riqishning qiymati katta bo'ladi

3.2 ichki kuch faktorlari epyuralarini qurishdan maqsad nima?

“Muammoli vaziyat” jadvalini to'ldiring

Vaziyatagi muammo turi	Muammoli vaziyatning kelib chiqish sabablari	Vaziyatdan chiqib ketish harakatlari
1. Shaklda ko'rsatilgan brus material 2 xil variantda po'lat va cho'yandan tayorlangan bo'lsa qaysi birida (3.1 d- shakl) zo'riqishning qiymati katta bo'ladi 2. Ichki kuch faktorlari e'yuralarini qurishdan maqsad nima?		

Vazifa: Yuqoridagi muammolarni oddiy so'zlar bilan ifodalab bering. Fikringizni ilmiy asoslang.

Eguvchi moment, ko'ndalang kuch va taqsimlangan yuk orasidagi differentsial bog'lanishlar. Egilishdagi IKF epyuralarini qurish

Keys stadi №4

Muammoning qo'yilishi: Eguvchi moment, ko'ndalang kuch va taqsimlangan yuk intensivligi orasidagi differentsial bog'lanishlarning ichki kuchlar (M va Q) epyuralarini qurishda ahamiyati katta. Bunga sabab nima?

“Muammoli vaziyat” jadvalini to'ldiring

Vaziyatagi muammo turi	Muammoli vaziyatning kelib chiqish sabablari	Vaziyatdan chiqib ketish harakatlari
1. Eguvchi moment, ko'ndalang kuch va taqsimlangan yuk intensivligi orasidagi differentsial bog'lanishlarning ichki kuchlar (M va Q) epyuralarini qurishda ahamiyati katta. Bunga sabab nima?		

Vazifa: Yuqoridagi muammolarni oddiy so'zlar bilan ifodalab bering. Fikringizni ilmiy asoslang.

To'g'ri sterjenning cho'zilishi va siqilishi

Keys stadi №5

Muammoning qo'yilishi: 1. Ma'lumki, deformatsiyalanuvchi elastik jism energiya manbaiga aylanadi. Bunda deformatsiyaning 'otentsial energiyasi nima 'isobiga to'lanadi?

2. $\sigma = \frac{N}{F}$. ifodani kuch qo'yilgan nuqtalarga yaqin kesimlarga qo'llash mumkinmi?

3. energiyani saqlanish qonuni $A = U$ formuladan foydalanib elastik sistemalarda ko'chishlarni aniqlasa bo'ladimi?

Vaziyatagi muammo turi	Muammoli vaziyatning kelib chiqish sabablari	Vaziyatdan chiqib ketish harakatlari
1. Ma'lumki, deformatsiyalanuvchi elastik jism energiya manbaiga aylanadi. Bunda deformatsiyaning 'otentsial energiyasi nima 'isobiga to'lanadi?		

2. $\sigma = \frac{N}{F}$. ifodani kuch qo'yilgan nuqtalarga yaqin kesimlarga qo'llash mumkinmi? 3. Energiyani saqlanish qonuni $A = U$ formuladan foydalanib elastik sistemalarda ko'chishlarni aniqlasa bo'ladimi?		

Vazifa: Yuqoridagi muammolarni oddiy so'zlar bilan ifodalab bering. Fikringizni ilmiy asoslang.

Materiallarning xossalarini sinab o'rganish

Keys stadi №6

Muammoning qo'yilishi: Materiallarni cho'zilishga va siqilishga sinalganda ayrimlarida oqish davri kuzatiladi va ayrimlarida umuman kuzatilmaydi, buning sababi nima?

Vaziyatagi muammo turi	Muammoli vaziyatning kelib chiqish sabablari	Vaziyatdan chiqib ketish harakatlari
Materiallarni cho'zilishga va siqilishga sinalganda ayrimlarida oqish davri kuzatiladi va ayrimlarida umuman kuzatilmaydi, buning sababi nima?		

Vazifa: Yuqoridagi muammolarni oddiy so'zlar bilan ifodalab bering. Fikringizni ilmiy asoslang.

Cho'zilish va siqilishda mustahkamlik va bikrlikka hisoblar

Keys stadi №7

Muammoning qo'yilishi:

Vazifa: Mustahkamlik va bikrlikka hisoblarning iqtisodiy ahamiyati nimada? (nazariy savollar olib tashlash). Mustahkamlik va bikrlilik sharoitlaridan foydalanish bilan konstruktsiyalarni loyihalashda iqtisodiy samaradorlikka erishish mumkinmi?

Vaziyatagi muammo turi	Muammoli vaziyatning kelib chiqish sabablari	Vaziyatdan chiqib ketish harakatlari
1. Mustahkamlik va bikrlikka hisoblarning		

iqtisodiy ahamiyati nimada? (nazariy savollar olib tashlash). 2. Mustahkamlik va bikrlilik sharoitlaridan foydalanish bilan konstruktsiyalarni loyihalashda iqtisodiy samaradorlikka erishish mumkinmi?		

CHo'zilish - siqilishdagi statik aniqmas masalalar

Keys stadi №8

Muammoning qo'yilishi: Texnikada statik aniq va aniqmas sistema ishlatiladi. Statik aniqmas sistemalar ko'proq uchraydi. Buning sababi nima?

Vaziyatagi muammo turi	Muammoli vaziyatning kelib chiqish sabablari	Vaziyatdan chiqib ketish harakatlari
Texnikada statik aniq va aniqmas sistema ishlatiladi. Statik aniqmas sistemalar ko'proq uchraydi. Buning sababi nima?		

Vazifa: Yuqoridagi muammolarni oddiy so'zlar bilan ifodalab bering. Fikringizni ilmiy asoslang.

CHo'zilish va siqilishdagi kuchlanganlik va deformatsiyalanganlik holatlarining tahlili

Keys stadi №9

Muammoning qo'yilishi: Mo'rt materiallardan yasalgan konst-ruktsiya elementlari cho'zilish-siqilishda nima sababdan 45 gradusli kesimlar bo'yicha yemiriladilar? Uchta finen doimiylarning bog'liq-ligini ifodalovchi 9.9 - ifoda barcha materiallar uchun tasdiqlanadimi?

Vaziyatagi muammo turi	Muammoli vaziyatning kelib chiqish sabablari	Vaziyatdan chiqib ketish harakatlari
1. Mo'rt materiallardan yasalgan konst-ruktsiya elementlari cho'zilish- siqilishda nima		

sababdan 45 gradusli kesimlar bo'yicha yemiriladilar?		
2. Uchta finen doimiylarning bog'ligini ifodalovchi 9.9 - ifoda barcha materiallar uchun tasdiqlanadimi?		

Vazifa: Yuqoridagi muammolarni oddiy so'zlar bilan ifodalab bering. Fikringizni ilmiy asoslang.

Kuchlanganlik va deformatsiya holati nazariyalari

Keys stadi №10

Muammoning qo'yilishi: Inshoot elementlari, detal yoki uning qismlarining loyihalashda bosh kuchlanishlar traektoriyalarini bilish nima uchun zarur?

Vazifa: Yuqoridagi muammolarni oddiy so'zlar bilan ifodalab bering. Fikringizni ilmiy asoslang.

Vaziyatagi muammo turi	Muammoli vaziyatning kelib chiqish sabablari	Vaziyatdan chiqib ketish harakatlari
Inshoot elementlari, detal yoki uning qismlarining loyihalashda bosh kuchlanishlar traektoriyalarini bilish nima uchun zarur?		

Bosh yuzalar va bosh kuchlanishlarni aniqlash. Morni doirasi, kuchlanishlar doirasi yordamida kuchlanganlik holatini grafik usulda aniqlash

Keys stadi №11

Muammoning qo'yilishi: Kuchlanganlik holatini grafik ravishda Mor doirasi yordamida ifodalashning avzalligi nimada?

Vaziyatagi muammo turi	Muammoli vaziyatning kelib chiqish sabablari	Vaziyatdan chiqib ketish harakatlari
1. Kuchlanganlik holatini grafik ravishda Mor doirasi yordamida ifodalashning avzalligi nimada?		

Vazifa: Yuqoridagi muammolarni oddiy soʻzlar bilan ifodalab bering. Fikringizni ilmiy asoslang.

Mustaqil ta'lim mavzulari

Talaba mustaqil ishni tayyorlashda muayyan fanning xususiyatlarini hisobga olgan holda quyidagi shakllardan foydalanish tavsiya etiladi:

- darslik va o'quv qo'llanmalar bo'yicha fan boblari va mavzularini o'rganish;
- tarqatma materiallar bo'yicha maruzalar qismini o'zlashtirish;
- maxsus adabiyotlar bo'yicha fan bo'limlari va mavzulari ustida ishlash;
- faol va muammoli o'qitish usulidan foydalaniladigan o'quv mashg'ulotlari;
- masofaviy ta'lim

Ta'lim yo'nalishi uchun juda zarur bo'lgan mavzularga tegishli masalalar o'qituvchi rahbarligida o'quv xonasida bajariladigan mustaqil ishlar tarkibiga kiritilishi tavsiya etiladi. Bunda mustaqil ishlar mavzusi tahsilgoh taklifiga ko'ra belgilanadi va mutaxassis tayyorlovchi maxsus tahsilgoh tomonidan tasdiqlanadi.

Tavsiya etilayotgan mustaqil ishlarining mavzulari

1. Juft kuch va uning momenti.
2. Juft kuchning muvozanat sharti.
3. Kuchning parallel ko'chirish teoremasi.
4. Tekis kuchlar sistemasini markazga keltirish teoremasi.
5. Varinon teoremasi.
6. Statik noaniq masalalar.
7. Og'irlik markazini aniqlash
8. Yangi materiallarning mexanik xususiyatlarini tajribada o'rganish. Mexanik xususiyatlarga turli omillarning (xarorat, radioaktiv nurlanish, namlik va x.k.) ta'siri
9. Sterjenlarni mustahkamlikka tekshirishda xavfli yuklar, chegaraviy holatlar usuli
10. Bosh kuchlanishlar, ekstremal urinma kuchlanishlar va oktaedrik kuchlanishlar
11. Bosh deformatsiyalar nuqtadagi kuchlanganlik va deformatsiyalangan holatlarning o'xshashligi
12. Buralish deformatsiyasi. To'g'ri to'rtburchak sterjenlarning buralishi. Yupqa devorli sterjenlarning erkin va erkin bo'lmagan buralishi. Buralishda kuchlanganlik va deformatsiya holatlarining tahlili
13. CHO'zilish va siqilishda elastiklik modullari turli bo'lgan bal-kalar xisobi.
14. Teng qarshilik ko'rsatuvchi balkalar yaxlit elastik zaminda yotuvchi balkalarni hisoblash.
15. Harakatlanuvchi yuklarning noqulay vaziyatini aniqlash.
16. Ko'p oraliqli statik aniq balkalarni hosil qilish.

17. Qo'zg'almas yuklardan hosil bo'ladigan zo'riqlashlarni ta'sir chiziqlari yordamida hisoblash.
 18. Uch sharnirli ramalarni ta'sir chiziqlar orqali hisoblash.
 19. Ko'chishlarni elastik sistemalarda aniqlash usullari.
 20. Rama va balkalarda ko'chishlarni aniqlashda soddalashtirilgan usullar
 21. Kuch usulida simmetrik ramalarni hisoblash va tashqi kuchlarni gruppash usullari
- **Eslatma:** *Mavzu bo'yicha konspekt qilish, test savollari tuzish va prezentatsiyalar tayyorlash*

Ushbu o'quv fani bo'yicha talabaning mustaqil ishi ma'ruzalar matni va tavsiya etilgan adabiyotlar bilan ishlashni, laboratoriya ishlarini o'tashga tayyorgarlik ko'rishni, hisob-grafik ishini, kurs loyihasini mustaqil bajarishni o'z ichiga oladi. O'quv rejasida har bir yo'nalishlar bo'yicha «Nazariy mexanika» faniga ajratilgan soatlarning ma'lum bir qismini mustaqil ish tashkil etadi. Talabalar bilimlarini inustahkamlash uchun mustaqil ishlar asosiy rol o'ynaydi. Chunki o'tilgan mavzular va amaliy mashg'ulotlardan olgan bilimlarini adabiyotlar, internet tarmog'idan olgan ma'lumotlar bo'yicha mustahkamlaydilar. Talabalar ko'pincha ma'ruza matnlaridan foydalanish bilan chegaralanadilar. Talaba bu bilan fanni to'liq o'zlashtira olmaydi. Bu esa fan haqida ma'lumot doirasini chegaralaydi. Fanning afzalligini to'liq o'zlashtirish va uning qo'llanish sohalarini chuqur o'rganish uchun mustaqil ish bajariladi. Talaba mustaqil ishlarni bajarishda darslik, o'quv qo'llanmalar, tarqatma materiallar, elektron adabiyotlardan foydalanadi. Har bir mutaxassislik uchun mustaqil ishlar mavzulari kafedra tomonidan belgilanadi.

3. GLOSSARIY

ASOSIY SHARTLI BELGILAR

W -	erkinlik darajasi soni, ichki kuchlarning haqiqiy bajargan ishi.
D -	disklar soni
Sh -	oddiy sharnirli soni.
S _t -	tayanch sterjenlari soni
n -	ferma tugunlar soni.
N -	ferma sterjenlar soni.
K -	sharnirsiz yopiq konturlar soni.
L -	ortiqcha bog'lanishlar soni.
q -	chiziqli tekis taralgan yuk.
P -	to'planma kuch.
M -	eguvchi moment
Q -	kesuvchi kuch.
N -	bo'ylama kuch
$\bar{M}_1, \bar{Q}_1, \bar{N}_{1i}$ -	birlik yukdan eguvchi moment, kesuvchi va bo'ylama kuchlar.
M_p, Q_p, N_p -	tashqi yukdan eguvchi moment, kesuvchi va bo'ylama kuchlar.
E -	Elastik moduli.
G -	Siljish moduli.
μ -	kesimning shakliga bog'liq bo'lgan, ko'ndalang kesimda urinma kuchlanishlarni notekis taqsimlanish koeffitsenti.
ℓ -	prolyot uzunligi.
h -	ko'ndalang kesim balandligi.
b -	ko'ndalang kesim eni.
A yoki F-	ko'ndalang kesim maydoni, tashqi kuchlarning mumkin bo'lgan ishi.
A _b -	vertikal sterjenining ko'ndalang kesim maydoni.
A _r -	gorizontal (osma) sterjenning ko'ndalang kesim maydoni.
A _{ur} -	ichki kuchlardan mumkin bo'lgan ish.
I -	ko'ndalang kesimning inertsia momenti.
I _B -	vertikal sterjen' ko'ndalang kesimining inertsia momenti.
I _R -	gorizontal (osma)sterjen' ko'ndalang kesimining inertsia momenti.
V _A , V _B , V _C ... -	A,B,C tayanchlarda paydo bo'ladigan reaksiyalarning, vertikal tashkil etuvchilari. Yuqoriga yo'nalgan reaksiyalar, musbat qabul qilinadi.
N _A , N _B , N _C ... -	A,B,C... tayanchlarda paydo bo'ladigan reaksiyalarning gorizontal tashkil etuvchilari. O'ng tomonga yo'nalgan reaksiyalar musbat qabul qilinadi.
N, (N _t) -	keruvchi reaksiya (tortqidagi zo'riqish). CHo'zuvchi zo'riqish musbat qabul qilinadi.
U -	potensial energiya.

Ω -	epyrular maydoni.
ω -	ta'sir chiziqlari maydoni
R -	aylana radiusi.
f -	arkaning ko'tarilish balandligi.
M_k^0, Q_k^0 -	arka prolyotiga teng, oddiy balka K kesimidagi eguvchi moment va kesuvchi kuch.
$\bar{P} = 1 -$	birlik yuk.
F_k yoki P_k -	kritik yuk (kritik kuch).
q_{ekv} -	chizikli tekis taralgan ekvivalent yuk.
$X_k (X_k)$ -	K nuqtaning gorizonta ko'chishi. O'ng tomonga ko'chish musbat qabul qilinadi.
$y_k (y_k)$ -	k nuqtaning vertikal ko'chish. Yuqoriga ko'chish musbat qabul qilinadi.
Δ_k -	K nuqtaning to'liq ko'chishi, quydagi formuladan to'iladi. $\Delta_k = \sqrt{X_k^2 + y_k^2}$
φ_k -	k nutada kesimning buralish burchagi. Kesimining soat strelkasi bo'yicha buralishi musbat qabul qilinadi.
$X_{KN} (X_{KN})$ -	K va N nuqtalari o'zaro gorizonta yaqinlashishi (musbat) yoki uzoqlashishi (manfiy).
$y_{KN} (y_{KN})$ -	K va N nuqtalarini o'zaro vertikal yaqinlashishi (musbat) yoki uzoqlashishi (manfiy).
Δ_{KN} -	KN to'g'ri chizig'i bo'ylab o'zaro yaqinlashishi (musbat) yoki o'zaro uzoqlashishi (manfiy).
φ_{KN} -	K va N nuqtalarida kesimning o'zaro buralish burchagi.

Asosiy tushunchalar.

Moddiy nuqta -Harakati yoki muvozanatini tekshirishda o'lchamlari va shaklining ahamiyati bo'lmagan, massasi bir nuqtaga joylashgan jism

Kuch -Jismlarning bir-biriga ko'rsatgan o'zaro tahsirlarining miqdor va yohnalishi jixatdan belgilovchi kattalikka aytiladi.

Juft kuchlar -Miqdori teng, yo'nalishi qarama qarshi, ta'sir chiziqlari bir to'g'ri chiziqda yotmaydigan va parallel ikki kuch

Kuchning tahsir chizig'i -Kuch vektori yotgan to'g'ri chiziq

Juft kuchning momenti - Juftni tashkil etuvchilaridan birini juft yelkasiga ko'paytmasi juft kuchning momenti deyiladi.

Absolyut qattiq jism -Tashqi kuch ta'sirida jism ikki nuqtasi orasidagi masofa o'zgarmay qolsa

Bog'lanish -Jism harakatini cheklovchi sabab

Bog'lanishning reaktsiya kuchi -Harakatni cheklovchi sababni ta'sirini beruvchi kuch

Ekvivalent kuchlar sistemasi -Jismga qo'yilgan biror kuchlar sistemasi ta'sirini boshqa kuchlar sistemasi bera olsa

Mexanik harakat -Vaqt o'tishi bilan moddiy jismlarning bir-birlariga nisbatan fazoda ko'chishi

Teng tahsir etuvchi kuch -Kuchlar sistemasining jismga ta'sirini yolg'iz bir kuch bersa

Kuchning o'qdagi proeksiyasi -Kuchning o'qdagi 'roeksiyasi skalyar miqdor bo'lib, kuchning moduli xamda kuchning shu o'q musbat yo'nalishi bilan tashkil qilgan burchagi kosinusining ko'paytmasiga teng

Erkin jism -Jism fazoda ixtiyoriy tomonga harakatlana olsa

Qattiq jismning ilgarilanma harakati-Qattiq jismda olingan ixtiyoriy kesma harakat davomida o'zi parallel qolsa

Kuchning nuqtaga nisbatan momenti-Kuchning nuqtaga nisbatan momenti deb, kuch modulini uning yelkasiga ko'aytmasiga teng.

Moment markazi- Kuch momenti qaysi nuqtaga nisbatan olinsa, shu nuqtaga ataladi.

Kuchning yelkasi- Moment markazidan kuchning tahsir chizig'igacha bo'lgan eng qisqa oraliq masofa

Bir nuqtada kesuvchi kuchlar sistemasining muvozanati sharti-Kuchlar sistemasiga qurilgan kuch kop burchagining yo'qligi.

Qattiq jismning qanday harakatiga sferik harakat - Agar jismning harakati davomida bitta nuqtasi qo'zg'almay qolsa.

Kuchning jismga tahsiri - Qo'yilish nuqtasi, yo'nalishi, miqdori.

Kuchning nuqtaga nisbatan momenti vektori-Moment markaziga ko'yilgan bo'lib, bu markaz va kuchning tahsir chizig'i orqali o'tgan tekislikka perpendikulyar yo'naladi va uning uchidan qaraganda kuch jismni soat strelkasining aylanishiga teskari yo'nalishida aylantirishga intiladi.

Moddiy nuqtaning nisbiy harakati - Nuqtaning qo'zg'aluvchan koordinatalar sistemasiga nisbatan harakatiga.

Mexanik sistema harakat miqdorining saqlanish qonuni qachon o'rinli- Agar tashqi kuchlar bosh vektori nolga teng bo'lsa.

Mexanik sistemaga tahsir Etuvchi kuchlar-Tashki va ichki kuchlar

parallelogram aksiomasi-Absolyut qattiq jismning bir nuqtasiga qo'yilgan ikki kuch teng tahsir etuvchisining kattaligi shu kuchlarga qurilgan parallelogramning diagonaliga teng bo'lib, diagonal bo'ylab yo'naladi.

Sistemaning erkinlik darajasi - Bo'shatmaydigan golonom bog'lanishlar qo'yilgan mexanik sistema harakatini aniqlovchi bir-biriga bog'liq bo'lmagan umumlashgan koordinatalarga

Teng tahsir etuvchi kuch - Kuchlar sistemasining jismga tahsirini yolg'iz bir kuch bersa

Umumlashlashgan koordinatalar - Sistemaning fazodagi xolatini bir qiymatli aniqlaydigan bir-biriga bog'liq bo'lmagan koordinatalar

Uch kuch haqidagi teorema - Bir tekislikda yotuvchi va o'zaro parallel bo'lmagan uch kuch muvozanatlashsa, ularning tahsir chiziqlari bir nuqtada kesishadi

Ekvivalent kuchlar sistemasi - Jismga qo'yilgan biror kuchlar sistemasi tahsirini boshqa kuchlar sistemasi bera olsa

Tashqi kuchlar- Sistema tarkibiga kirmaydigan jismlarning berilgan sistemaga tahsir kuchlariga

Ichki kuchlar - Sistema tarkibiga kiruvchi jismlarning bir-biriga o'zaro tahsir kuchlariga

Ferma- Sharnirlar vositasida geometrik o'zgarmas qilib tutashtirilgan sterjenlardan xosil bo'lgan konstruktsiya

Kuchlar sistemasi- Agar jismga bir nechta kuchlar tahsir etsa bu kuchlar to'lam

Kuchning yo'nalishi- Tinch xolatda turgan erkin jismning mazkur kuch tahsiridan olgan harakat yo'nalishi

Sirpanishdagi ishqalanish - Bir jismni ikkinchi jism ustida sirpanishi natijasida xosil bo'ladigan ishqalanishga

Taranglik kuchlari- Iplarda xosil bo'ladigan reaksiya kuchlariga

Tezliklar oniy markazi- Tekis shaklning xar onda tezligi nolga teng bo'lgan nuqtasi

Moddiy nuqta inertsia kuchining miqdori - Moddiy nuqta massasi bilan tezlanishning kopaytmasiga

Harakat qonuni- Harakat tenglamasining vaqtning funktsiyasi sifatida berilishi

Sanoq sistemalari- Inertsial sanoq sistemasi

Traektoriya-Vaqt o'tishi bilan nuqtaning fazoda qoldirgan iziga

Plastinka, plita va qobiqlardan tashkil to'gan inshootlar – bir o'lchami qolgan ikki o'lchamiga nisbatan ancha kichik bo'lgan inshootlar plita yoki plastina deyiladi. O'rta tekisligi egri sirtidan iborat plastina qobiq deb ataladi.

Tugun-bir necha stejenlarni birikkan nuqtasi tushiniladi.

Kinematik belgisiga ko'ra:-geometrik o'zgaruvchan, geometrik o'zgarmas statik aniq, geometrik o'zgarmas statik aniqmas.

Geometrik o'zgaruvchan -etarli bog'lanishga ega bo'lmagan sistemalar.

Statik aniq geometrik o'zgarmas - yetarli bog'lanishga ega bo'lgan sistemalar.

Geometrik o'zgarmas statik aniqmas-ortqcha bog'lanishga ega bo'lgan sistemalar.

Inshootlar elementlarining o'zaro bog'lanishlariga ko'ra qo'yidagicha bo'linadi: SHarnirli bog'lanishli inshootlar, Birk bog'lanishli inshootlar, Kombinatsiyali bog'lanishli inshootlar.

Inshoot elementlarining joylashishiga ko'ra:yassi sistemalar, fazoviy sistemalar.

Yassi sistemalar-Inshoot va unga qo'yiladigan yuklar bir tekislikda joylashgan sistemaga aytiladi.

Fazoviy sistemalar-inshootlar elementlari turli tekisliklarda joylashgan sistemaga aytiladi.

Inshootlar tayanch reaksiyalarining yo'nalishiga ko'ra havonli va havonsiz sistemaga bo'linadi.

Vertikal yuklar ta'sirida bo'lgan inshootlarning tayanchlarida vertikal va gorizonta yo'nalishlarda reaksiya kuchlari hosil bo'lsa, u **haponli** sistema deyiladi.

Vertikal yuklar ta'sirida bo'lgan inshootlarning tayanchlarida faqat vertikal yo'nalishda reaksiya kuchlari hosil bo'lsa, u **havonsiz** sistema deyiladi.

Ta'sir qilish vaqtiga ko'ra tashqi yuklar **doimiy** va **vaqtinchalik** yuklarga bo'linadi.

Doimiy yuklar inshootga doim ta'sir qilib turuvchi yuklardir. Masalan, temir yo'l ko'prigining o'z og'irligi doimiy yuk, uning ustidan o'tayotgan 'oezdning og'irligi vaqtinchalik yuk bo'ladi. Vaktinchalik yuklar ham o'z navtida ikkiga bo'linadi.

Qo'zg'almas va harakatdagi yuklar Qo'zg'almas yuklarga inshootga qo'yilgan

asbob- uskunaning og'irligi, harakatdagi yuklarga esa trans'ort vositalarining ta'siri misol bo'ladi.

Inshootlarning og'irligi. Inshootlarni hisoblayotganda foydali yuklar qatorida **uning o'z og'irligini** hisobga olish shart. Chunki inshootning yuqori qismidagi konstruksiyalarining og'irligi pastdagi konstruksiyalarga ta'sir qiladi. Inshootning og'irligi uning 'oydevoriga tashqi yuk sifatida uzatiladi.

Atmosfera yuklari. Bu yuklarga **qor, shamol, haroratning issiq, yoki sovuqligi** va boshqalar kiradi. Ushbu yuklar mamlakatimizning tabiiy xududi sharoitini va inshoot shaklini g'isobga oluvchi qurilish qoidasi va me'yorlarida berilgan bo'ladi.

Inshootga ta'sir etuvchi barcha yuklar **sirtki va xajmiy yuklarga** bo'linadi. Inshoot sirtining bir qismiga yoki hammasiga ta'sir qilayotgan yuklar **sirtqi yuklar**, inshootning barcha ichki qismlariga ta'sir qilayotgan kuchlar **xajmiy yuklar** deb ataladi. Xajmiy yuklarga inshootning o'z og'irligi misol bo'ladi.

Tashqi yuklar qo'yilishiga, ta'sir etish vaqtiga, ta'sir qilish harakteriga, vazifasiga va boshqa belgilariga qarab bir necha turlarga bo'linadi. Yuklar **to'plangan va yoyilgan, doimiy va vaqtinchalik, kuzg'aluvchan va ko'zg'almas, statik va dinamik** kuchlarga ajraladi.

Tashqi yuklar qo'yilishiga ko'ra **to'plangan va yoyilgan** yuklarga bo'linadi. Inshootning o'z o'lchamlariga nisbatan juda kichik sirtiga ta'sir qiluvchi kuchlar **to'plangan yuklar** deb ataladi. To'plangan yuklar birliklar tizimini SI sistemasi buyicha N (Nyuton)da o'lchanadi. $1\text{ kgs}=9.81\text{ N}\approx 10\text{ N}$. Inshoot sirtining biror qismiga yoki uzunligi buyicha ta'sir qilgan kuchlar **yoyilgan yuklar** deb ataladi. Yoyilgan yuklar intensivlik bilan o'lchanadi. Intensivlik deganda inshootning 1 m^2 yuzasi yoki 1 m uzunligiga to'g'ri kelgan yuk miqdori tushuniladi. Uzunlik buylab yoyilgan yuk N/m bilan, sirt buylab yoyilgan yuk esa N/m^2 bilan o'lchanadi.

Inshootga ta'sir etuvchi barcha yuklar tabiati (harakteri)ga ko'ra tashqi yuklar **statik va dinamik** yuklarga bo'linadi. Agar yuk inshootga asta-sekin qo'yilib, o'z qiymatiga yetkazilsa u **statik yuk** deyiladi. **Dinamik yuk** ta'siridan inshootda tezlanishlar hosil bo'ladi va natijada inertsia kuchlari vujudga keladi. Inertsia kuchlari vaqtning hosilasi hisoblanadi. Statik yuk ta'siridan inshootda hech qanday inertsia kuchi hosil bo'lmaydi.

Birlik kuch – chiziqli ko'chishni to'ishda ko'chish yo'nalishida kesimga qo'yilgan moduli birga teng bo'lgan o'lchamsiz $P=1$ kuch.

Birlik moment – Burchakli ko'chishni to'ishda shu ko'chish yo'nalishida kesimga qo'yilgan o'lchamsiz $M=1$ moment.

Birlik epyura – Birlik kuchdan yoki birlik momentdan qurilgan M_i eguvchi moment epyurasi.

Bikrlik – konstruksiyalar (qurilmalar)ning deformasiyaga qarshilik qila olish tushuniladi

Bo'ylama kuch – cho'zilgan (siqilgan) sterjinning ko'ndalang kesimlarida (ichki kuch)- N_x – bo'ylama kuch xosil bo'ladi. Bo'ylama kuch ko'ndalang kesimdan bir tomonda qolgan tashqi kuchlarning algebraik yig'indisiga teng.

$$N_x = \sum (F_i)X.$$

Agar kuch kesimdan tashqari tomonga qarab yo'nalsa, unda (musbat) cho'zuvchi, agar kesimga tomon qarab yo'nalsa (manfiy) siquvchi bo'ladi.

Deformasiya - tashqi kuchlar ta'sirida jism o'lchamlari va shaklining o'zgarishi deformasiya deb ataladi. Deformasiyalar chizikli va burchakli bo'ladi.

Dinamik kuchlar – amalda foydalanish sharoitida qurilmalarning Ko'p qismlariga dinamik kuchlar ta'sir qiladi. Bularga inertsia kuchlari, oniy va zarbiy kuchlar kiradi.

Doimiy kuchlar - konstruksiyaga doimiy ta'sir qiluvchi kuchlar, masalan konstruksiyani o'z og'irligi.

Eguvchi moment M_x , kesuvchi kuch Q_u va yoyilgan kuch orasidagi bog'lanishlar. Kesuvchi kuchdan abtsissa o'qi bo'yicha olingan birinchi hosila yoyilgan kuch jaddaligiga teng.

$$\frac{\partial Q_y}{\partial x} = q$$

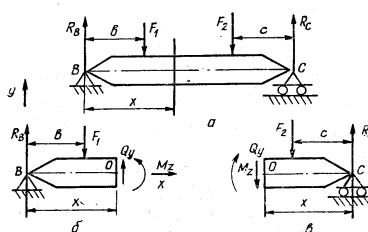
Eguvchi momentdan abtsissa o'qi bo'yicha olingan birinchi hosila kesuvchi kuchga teng.

$$\frac{dM_x}{dx} = Q$$

Egilish – deb, bo'ylama o'qqa 'er'endikulyar yo'nalgan yoki shu o'q orqali o'tuvchi kuchlar jufti ta'sirida deformasiylanishiga aytiladi. Egilishni umumiy holatlarida to'sinning ko'ndalang kesimlarida ichki kuchlardan, M_z - eguvchi moment, Q_z -kesuvchi kuch hosil bo'ladi.

Eguvchi moment - (M_z) to'sin kesimini og'irlik markaziga nisbatan kesimning bir tomonida joylashgan barcha tashqi kuchlar momentlarini algebraik yig'indisiga teng (7-rasm)

$$M_z = \sum m_0(F_i)$$



7-rasm

Agar to'sinning qabariq tomoni pastga qarasa, bunday eguvchi moment musbat hisoblanadi, aks holda manfiy hisoblanadi.

Epyura - sterjen, val va balkalarni ichki kuchlarini bir kesimidan keyingi kesimlarigacha ularning o'qlari bo'yicha o'zgarish grafigiga aytiladi. Demak, sterjenni, valni va balkani mustahkamligini ta'minlashda xavfli kesimni to'ish zarur, buning uchun N-bo'ylama, Q-kesuvchi kuch, M –eguvchi va T –burovchi moment

epyruralari chiziladi. Hisoblar natijasida hamda normal kuchlanish σ va ko'chishlar δ epyuralari yasaladi

Ichki kuchlar – tashqi kuchlar ta'siridan to'sin (sterjeng') deformasiyalanadi va uning kesimlarida ichki kuchlar hosil bo'ladi. Deformasiya natijasida to'sinning kesimidagi zarrachalar bir-biridan qochishga o'zaro yaqinlashishga intiladi, ana shu jarayonda hosil bo'lgan reaksiya kuchlari zarrachalar muvozanatini saqlaydi. Zarrachalar muvozanatini saqlovchi reatssiya kuchlari ichki kuchlar yoki zo'riqish kuchlari deyiladi.

Kansol balka – bir tomoni bo'sh, ikkinchi tomoni maxkam qistirilgan to'sin.

Ko'p qulochli to'sin bir necha tayanchda yotgan statik aniqmas to'sin. Bunday to'sinning tayanchlardan biri qo'zg'almas yoki qisilgan, boshqa tayanchlari sharnirli qo'zg'aluvchan bo'lib, bir sathda joylashgan. To'sinning bikrligi butun uzunligi bo'yicha o'zgarmas.

Kanonik tenglama – kuchlar ta'sirining bir – biriga halal bermaslik shartidan foydalanib bosh ko'chishlar Δ va yordamchi ko'chishlar δ ni ma'lum qonun asosida tuzilgan tenglamaga aytiladi.

Kesish usuli – materiallar qarshiligida ichki kuchlarni aniqlash uchun qo'llaniladi. Uni tartibi quyidagicha: a) muvozanatda turgan jism bir tekislik bilan xayolan ikki qismga bo'linadi; b) qismlardan biri shartli ravishda tashlab yuboriladi; d) tashlab yuborilgan qismning qolgan qismga ta'sirini ichki kuchlar bilan almashtiriladi; e) qolgan qism uchun tuzilgan statik tenglamalarning biridan ichki kuchlar to'iladi.

Kuch usuli – statik aniqmas sistemalarni umumiy yechish usuli. Bu usul bo'yicha berilgan statik aniqmas sistema “ortiqcha” noma'lumlarni tashlash yo'li bilan statik aniq sistemaga aylantiriladi va ularni ta'siri ortiqcha noma'lum kuchlar va momentlar bilan almashtiriladi.

Statik aniqmas sistemalarda, xususan ramalarni hisoblaganda ortiqcha noma'lumlarni to'ish uchun qo'shimcha tenglamalar sifatida kuch usulining kanonik tenglamalari yoziladi.

$$\delta_{11}x_1 + \delta_{12}x_2 + \delta_{13}x_3 + \Delta_{1p} = 0$$

$$\delta_{21}x_1 + \delta_{22}x_2 + \delta_{23}x_3 + \Delta_{2p} = 0$$

$$\delta_{31}x_1 + \delta_{32}x_2 + \delta_{33}x_3 + \Delta_{3p} = 0$$

Bu tenglamalarning koeffisienti va ozod sonlari Vereshagin formulasidan aniqlanadi.

Ko'chishlar – jism deformasiyalanganda uning qismlari va nuqtalari o'zining joyini o'zgartirib tekislik yoki fazoda ko'chadilar. Ko'chishlar chiziqli δ va burchakli θ bo'ladi.

Ko'ndalang (kesuvchi) kuch – to'sinning qoldirilgan qismini tashlab yuborilgan qismiga nisbatan kesuvchi kuch, ko'ndalang kuch (Q_y) deb ataladi. Ko'ndalang kuch Q_y kesimdan bir tomonda qolgan barcha tashqi kuchlarning to'sin o'qiga normal proeksiyalari yig'indisiga teng.

$$Q_y = \sum (F_i)_y.$$

Agar to'sinning chap qismi o'ng qismiga nisbatan yuqoriga surilsa yoki to'sinning o'ng qismi chap qismiga nisbatan pastga surilsa, ko'ndalang kuch musbat, aks holda manfiy hisoblanadi.

Ko'chishlarning o'zaro aloqadorlik teoremasi – Maksvel teoremasi.

$$\delta_{12} = \delta_{21}.$$

Ikkinchi birlik kuch ta'siridan birinchi birlik kuch yo'nalishida hosil bo'lgan ko'chish, birinchi birlik kuch ta'siridan ikkinchi birlik kuch yo'nalishida hosil bo'lgan ko'chishga tengdir.

O.Mor integrali. O.Mor mashhur nemis olimi bo'lgan.

$$\Delta = \sum \int_0^l \frac{M_i \cdot M_{\kappa}}{EI_z} dx$$

Bu Mor formulasi bo'lib, har qanday elastik (chiziqli deformatsiyalangan) sistemaning istalgan nuqtasidagi umumlashgan ko'chishlarini aniqlaydi.

Mustahkamlik – konstruksiya qismlarining yemirilmasdan turishiga qarshilik ko'rsata olish qobiliyati.

Mustahkamlik nazariyalari – materialni xavfli holatini aniqlovchi asosiy omil.

Ortiqcha noma'lum reaksiya kuchlari – berilgan elastik sistema ortiqcha bog'lanishdan ozod qilinadi. Yo'qotilgan bog'lanishlar ortiqcha noma'lum reaksiya kuchlari bilan almashtiriladi.

Statik kuchlar - Jismga asta- sekin qo'yiladigan, jismni tebratmagan holda noldan eng katta qiymatigacha o'sib borib, keyin o'zgarmay qoladigan kuchlar

Statik aniq sistemalar - noma'lum reaksiya kuchlarini statik tenglamalaridan to'ildigan sistemalar.

Statik aniqmas sistemalar - zo'riqish yoki reaksiya kuchlarini yolg'iz statikaning muvozanat tenglamalari yordamida to'ib bo'lmaydigan sistemalar.

Statik moment- ma'lum o'qqa nisbatan shakl yuzasining statik momenti deb elementar yuzachalardan shu o'qqacha masofa Ko'paytmalari yig'indisiga aytiladi.

$$S_y = \int_A z \cdot dA$$

$$S_z = \int_A y \cdot dA$$

To'sin salqiligi – kesim og'irlik markazining to'sin o'qiga 'er'endikulyar yo'nalishidagi ko'chishi.

Tayanch reaksiyalari - tayanchlarni tashlab ularni reaksiyalar bilan almashtirilgan kuchlar.

To'plangan kuch – konstruksiyaning juda kichik yuzasiga ya'ni nuqtaga ta'sir qiladigan kuchlar. Ular n'yutonlarda (N) da o'lchanadi.

To'plangan moment – kuchlarni sxemalashtirganda to'plangan momentlar, kuchlar jufti m 'aydo bo'ladi, ular metr ga ng'yutonlarda(N.M) da o'lchanadi.

Ustivorlik – deformatsiyalanadigan jism yuk ostida o'zini dastlabki muvozanatdagi shaklini saqlash xususiyatiga ustivorlik (turg'un) deb ataladi.

Uch moment tenglamasi – yordamida Ko'p tayanchli statik aniqmas sistemalarni 'isoblashda ishlatiladi:

$$M_{n-1} \cdot l_n + 2 M_n (l_n + l_{n+1}) + M_{n+1} l_{n+1} = -6EJ(\theta_{cn} + \theta_{Bn+1})$$

Uch moment tenglamalar soni qirqilmagan to'sinning statik aniqmaslik darajasiga bog'liq va uning oraliq tayanchlari soniga teng. Tenglamalar sistemasini yechib, noma'lum tayanch momentlarini to'amiz. So'ngra har qaysi qulochni berilgan yuk va tayanch momentlari bilan yuklab, ularni alohida-alohida hisoblaymiz.

Vereshchagin usuli – «epyuralarni Ko'paytirish usuli» yoki Vereshchagin usuli deb ataladigan grafoanalitik usulidan foydalanilganda Mor integralini hisoblash ancha soddalashadi

$$\Delta = \sum \frac{\varpi_k \cdot M_c^0}{E \cdot I_z}$$

bunda: ϖ - har bir uchastkaga to'g'ri kelgan tashqi kuch ta'siridan hosil bo'lgan eguvchi moment epyurasining yuzi.

M_c^0 - birlik kuch epyurasining tashqi kuchlardan hosil bo'lgan eguvchi moment epyurasi og'irlik markaziga to'g'ri kelgan ordinatasi.

SHarnirli qo'zg'almas tayanch – bunday tayanchlar balka uchining hech qanday chiziqli ko'chishiga yo'l qo'ymaydi, faqat to'sining tiralgan nuqtasiga xos kesimning burilishiga imkon beradi.

SHarnirli qo'zg'aluvchan tayanch – bunday tayanchlar to'sin uchining gorizontal ko'chishiga va to'sin ko'ndalang kesimining burilishiga qarshilik ko'rsatmaydi.

Hisoblash tarhi- inshootning soddalashtirilgan tasviri bo'lib, unda yuk ta'siridagi inshootning asosiy ko'rsatkichlari mujassamlashtirilgan bo'ladi. Ularda sterjenlar-o'qlar bilan, 'lastinkalar o'rta sirtlar bilan, real tayanchlar ideal tayanchlar bilan almashtiriladi.

Sterjen-ko'ngdalang kesim o'lchamlari uzunligiga nisbatan ancha kichik bo'lgan elementga aytiladi.

Tayanch-inshootning poydevor yoki zamin bilan birikkan qismiga aytiladi.

Intensivlik- uzunlik birligiga to'g'ri keladigan yuk miqdori tushuniladi va u kN/m bilan o'lchanadi.

Sterjenli sistemalar- alohida sterjenlarning tugunlarda o'zaro biriktirish yo'li bilan hosil qilingan qurilmalarga aytiladi.

Geometrik o'zgarmas sterjenlar-o'zining geometrik shaklini alohida sterjenlarning deformasiyalanishii hisobiga o'zgartiradigan sistemalariga aytiladi. Uchburchak sistema eng oddiy geometrik o'zgarmas sistema hisoblanadi.

Oniy o'zgaruvchan sistemalar- bir o'q ustida yotuvchi ikki sterjeng' va uch sharnirdan tashkil to'gan sistemalariga aytiladi.

Erkinlik darajasi- Nuqta yoki sistemaning holatini belgilovchi geometrik parametrlar soni erkinlik darajasi deyiladi. Sterjenli sistemaning erkinlik darajasini aniqlaydigan formula quyidagicha ifodalanadi: $W = 3D - 2III - C$

Bog'lanish- Disk yoki sterjenning erkinlik darajasiga chek qo'yadigan har qanday qurilmaga aytiladi. SHarnirlar va tayanch sterjenlari bog'lanish hisoblanadi.

Umumlashgan epyura-Zo'riqishlarni aniqlangan qiymatlarini yagona masshtabda bir o'q ustiga joylashtiriladi va tutash chiziq bilan biriktirilishidan hosil bo'lgan tasvirdir.

Ta'sir chiziqlar- Inshoot bo'ylab birlik kuch ($P=1$) harakatlenganda, inshoot qismlarida kuch omillarining o'zgarishini ifodalovchi grafik. Ta'sir chiziqlarni chizishning statik va kinematik usullari mavjud.

Ko'p oraliqli statik aniq balkalar- bir oraliqli konsolli balkalarni sharnirlar vositasida biriktirish yo'li bilan hosil qilinadi. Ko'p oraliqli sharnirli balkalar yondosh oraliqlarni yo'lishda qo'llaniladi.

Ferma-bikr tugunlarni sharnirlar bilan almashtirilganda, o'zining geometrik o'zgarmasligini saqlab qoluvchi sterjenli sistemalariga aytiladi. Fermalar balkalarning takomillashgan bir ko'rinishi bo'lib, balkalar o'taydigan vazifani bajaradi.

Yassi fermalar- fermaning barcha sterjenlari yoki ularning o'zlari bir tekislikda joylashsa, teiks yoki yassi fermalar deb, bir tekislikda joylashmasa fazoviy fermalar deyiladi.

Uch sharnirli sistema-uch diskni uch sharnir yordamida biriktirish tufayli hosil bo'lgan sistemaga aytiladi. Bunda uchinchi disk sifanida yer qabul qilinadi.

Kerkili sistema-uch sharnirli sistema tayanchlarida vujudga keladigan gorizontaal bosim va unga qarshi reaksiya kerki nomi bilan yuritiladi. Sistemaning o'zi esa kerkili sistema deyiladi.

Maqbul o'qli arka- eguvchi momentlari nolga teng bo'lgan arka o'qi maqbul o'q deyiladi. Arkaning o'zi esa maqbul o'qli arka deyiladi.

Klapeyron teoremasi- Tashqi kuchlar bajargan haqiqiy ish kuch bilan shu kuch vujudga keltirgan ko'chishning Ko'paytmasining yarmiga teng.

$$A = \frac{1}{2} \sum P_i \Delta_i$$

Asosiy sistema-statik aniq va geometrik o'zgarmas bo'lib, u berilgan sistemadagi ortiqcha bog'lanishlarni tashlab yuborish yo'li bilan hosil qilinadi. Har qanday statik aniqmas sistemani yechishda asosiy sistema tanlab olinadi.

Bosh ko'chishlar- bir xil indeksli birlik ko'chishlar (δ_{11}, δ_{22}) ning ishoralari hamisha musbat bo'ladi. SHu sababli ular g'ech qachon nolga aylanmaydi va hamma vaqt tenglamada ishtirok etadi.

Ikkinchi darajali ko'chishlar-turli indeksli ko'chishlar (δ_{12}, δ_{21}) esa musbat va manfiy ishoralarga ega bo'lishi va demak, nol bo'lishi ham mumkin. SHuning uchun ular ikkinchi darajali ko'chishlar deyiladi.

Deformatsion tekshirish- ortiqcha noma'lumlarni aniqlashda yo'l qo'yilgan xatolarni 'ayqash imkonini beradi. Hisob natijalarini deformatsion tekshirishda asosiy sistemalariga qurilgan birlik epyuralar ramaning tugal M epyurasi bilan navbatma-navbat ko'paytiriladi. Agar ortiqcha noma'lumlar to'g'ri aniqlanib, epyura to'g'ri qurilgan bo'lsa, bunday ko'paytma nolga teng bo'ladi.

Uzluksiz balka- bir necha oraliqlardan tashkil to'gan va chekka tayanchlardan biri sharnirli qo'zg'almas yoki bikr bo'lgan balkaga aytiladi. Bunday balkalarning statik aniqmaslik darajasi quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$n = 2III + C - 3D$$

Qurilish mexanikasi- konstruksiya va inshootlarning mustahkamligi, bikrligi va ustivorligini g'isoblash tamoyillari hamda metodlari to'g'risidagi fandır.

Tekshirish hisobi- Agar inshoot elementlarining materiali va o'lchamlari ma'lum bo'lsa, aniqlangan ichki zo'riqish kuchlari va deformatsiyalar miqdoriga ko'ra har bir element va butun inshootning mustahkamligi, bikrligi va ustivorligini tekshirish mumkin. Bunday hisoblash usuli tekshirish hisobi deyiladi.

Loyihalash hisobi- Agar inshoot elementlarining o'lchamlari noma'lum bo'lsa, aniqlangan ichki zo'riqish kuchlari va deformatsiyalar miqdoriga ko'ra har bir element va butun inshootning mustahkamligi, bikrligi va ustivorligini tekshirish mumkin. Bunday hisoblash usuli loyihalash hisobi deyiladi

Massiv- Massivning uzunligi va ko'ngdalang kesim o'lchamlari bir xil bo'ladi. Massiv inshootlar jumlasiga to'g'onlar, tirgak devorlar kiradi.

Rama- bir-biriga biktir qilib biktirtilgan sterjenlardan tashkil to'gan sistemaga aytiladi.

Kombinatsiyalashgan inshootlar- bir –biri bilan g'ikr va sharnirli birikma orqali bog'langan elementlardan tuzilgan inshootga aytiladi.

Qistirib mahkamlangan tayanch-bunday tayanchlar kinematik nuqtai nazardan chiziqli va burchakli ko'chishlarga qarshilik ko'rsatadi. Qistirib mahkamlangan tayanchlarda statik jihatdan vertikal va gorizontal tuzuvchilarga ajraluvchi reaksiya kuchi bilan reaktiv moment hosil bo'ladi.

Ekvivalent yuk- Inshoot ustidagi harakatlanuvchi kuchlar sistemasi noqulay vaziyatda turgan vaqtidagi ekstremal zo'riqishga yetng bo'lgan zo'riqish hosil qiluvchi tekis taralgan yuk ekvivalent yuk deyiladi.

Shprengelli fermalar- agar ferma belbog'lari tugunlarining orasidagi masofa katta bo'lsa, belbog'ning har bir sterjenini mustaqil fermachalar bilan almashtirish mumkin. Bunday fermalar Shprengelli fermalar deyiladi.

Statik aniqmas sterjenli sistemalar- elemenlarida tashqi kuchlardan hosil bo'ladigan zo'riqish va reaksiya kuchlarini faqatgina statikaning muvozanat tenglamalari yordamida aniqlab bo'lmaydigan sistemalariga aytiladi. Statik aniqmas sistemaning ortiqcha bog'loqchilar soni shu sistemaning aniqmaslik darajasi deyiladi.

Tutash balkalarning statik aniqmaslik darajasi quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$C_A = 2III + C_T - 3D, \quad C_A = n - 1, \quad S_A = S_T - 3$$

Erkin ramalar- Tugunlari burchakli va chiziqli ko'chishlarga ega bo'lgan ramalar

Statik noaniq sistemalar quyidagi xossalarga ega: Bunday sistemalar o'ziga xos statik aniq sistemalariga nisbatan tejamkor bo'ladi.

Bunay sistemalarda biror ortiqcha bog'lanishning shikastlanishi inshootning butunlay ishdan chiqishiga olib kelmaydi. Bunday sistemalar statik aniq sistemalariga nisbatan bikrligi yuqoriroq bo'ladi. Bunday sistemalarda hororatni o'zgarishi natijasida qo'shimcha zo'riqishlar 'aydo bo'ladi.

Moment fokusi-tutash balkaning yuklanmagan prolyotlaridagi tayanch momentlarining miqdori yuklangan prolyotdan boshlab kamayib boradi va moment chizig'i har bir prolyotni ma'lum nuqtada kesib o'tadi hamda bu nuqtada eguvchi moment nolga teng bo'ladi. Yuklanmagan prolyot dagi eguvchi moment $M(x)$ nolga teng bo'lgan nuqta moment fokusi deyiladi.

Ikki sharnirli arka-ikki uchi sharnir vositasida tayanchlarga tiralgan egri brus bo'lib, ubir marta statik aniqmas sistemadir. Statik aniqmas arkalar temir yo'llar va oddiy Ko'priklarning konstruksiyalari sifatida qo'llaniladi.

Erkinmas ramalar- Bunday ramalar tugunlarining chiziqli ko'chishi nolga teng bo'ladi ($n_\delta = 0$). Erkinmas ramalarning kinematik aniqmaslik darajasi ular tugunlarining burchakli ko'chishlari soniga teng bo'ladi.

Ko'chishlar usulining kanonik tenglamasi-

$$r_{11}Z_1 + r_{12}Z_2 + r_{13}Z_3 + R_{1p} = 0;$$

$$r_{21}Z_1 + r_{22}Z_2 + r_{23}Z_3 + R_{2p} = 0;$$

$$r_{31}Z_1 + r_{32}Z_2 + r_{33}Z_3 + R_{3p} = 0;$$

Ekvivalent sistema – asosiy sistemaga tashqi yuklarni va olib tashlangan ortiqcha bog'g'lanishlarda hosil bo'lgan zo'riqish kuchlarini qo'yib hosil qilingan sistemaga aytiladi.

Ekstsensitet – kuch qo'yilgan nuqta qutbdan kesimning og'irlik markazigacha bo'lgan masofa.

Ichki kuchlarni ishi – jism deformasiyalanish jarayonida ichki elastik kuchlar ish bajaradi. Ichki kuchlarni ishlarini ishorasi manfiy, chunki ular ko'chishlarga teskari yo'nalgan. Bo'ylama kuch N doimiy, elastiklik moduli E, ko'ndalang kesim yuzasi A bo'lsa, ichki kuchlarning ishi

$$W_f = \frac{N^2 \cdot l}{2EA} - \text{ga teng.}$$

Ishlarni o'zaro aloqadorlik teoremasi (Betti). Birinchi holatdagi kuchlarning ikkinchi holatdagi ko'chishlarga sarflangan ishi ikkinchi holatdagi kuchlarning birinchi holatdagi ko'chishlarga sarflangan ishiga tengdir.

$$F_1 \cdot \Delta_{12} = F_2 \cdot \Delta_{21}$$

Fazoviy fermalar- geometrik o'zgaras bo'lganda bitta jismni tashkil qilgan uchun u bir-biriga bog'liqmas holda o'zgara oladigan 6 ta geometrik parametrga (uchta kooordinatalar o'qi atrofida burilish va shu o'qlar yo'nalishida ko'chish) imkoni ega bo'ladi. Bunda fazoviy fermaning erkinlik darajalar soni 6 ga tengdir.

Statik aniqmas sistemalarni statik tekshirish- Ramadan tugunlar qirqib olinib, qolgan qismining unga ta'siri tegishli zo'riqishlar M, Q, N bilan almashtiriladi-da. Muvozanat tenglamasi tuziladi.

$$\sum X = 0, \quad \sum Y = 0, \quad \sum M = 0$$

Balka-ikki tomonitayanchlar bilan mahkamlangan sterjenga aytiladi.

Murakkab sharnir- Ikki diskni birlashtiruvchi sharnir oddiy, ikkilan ortiq diskni birlashtiruvchi sharnir esa murakkab sharnir deyiladi. Murakkab sharnirda sharnirlar soni disklar sonidan bitta kam bo'ladi.

$$SH=D-1$$

prolyot- ikki tayanch orasidagi masofa.

Burchakli bog'lanishlar-rama tugunlarining burchakli ko'chishlariga qarshilik ko'rsatuvchi bog'lanishlarga aytiladi.

CHiziqli bog'lanishlar-rama tugunlarini ko'chishlariga qarshilik ko'rsatuvchi bog'lanishlarga aytiladi.

Foydali yuklar- inshoot qabul qilishi lozim bo'lgan yuklar. Bularga misol qilib odamlar, asbob-uskunalar, avtomobillar, stanoklarni kiritish mumkin.

4. Ilovalar

4.1. Fan dasturi

ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ
ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ
ТОШКЕНТ АРХИТЕКТУРА ҚУРИЛИШ ИНСТИТУТИ

“ТАСДИҚЛАЙМАН”


 Р. Ҳакимов
 2020 йил “26” 09

“КЕЛИШИЛДИ”



ҚУРИЛИШ МЕХАНИКАСИ
ФАН ДАСТУРИ

Билим соҳаси:	300000	- Ишлаб чиқариш – техник соҳа
	600000	- Хизматлар соҳаси
Таълим соҳаси:	310000	- Мухандислик иши
	320000	- Ишлаб чиқариш технологиялари
	340000	- Архитектура ва қурилиш
	630000	- Атроф-муҳит муҳофазаси
Таълим йўналишлари:	5310900	- Метрология, стандартлаштириш ва маҳсулот сифати менежменти (қурилиш)
	5320100	- Материалшунослик ва янги материаллар технологияси (қурилиш)
	5340100	- Архитектура (турлари бўйича)
	5340200	- Бино ва иншоотлар қурилиши (саноат ва фуқаро бинолари)
	5340201	- Бино ва иншоотлар қурилиши (нефть-газни қайта ишлаш саноати объектилари)
	5340300	- Шаҳар қурилиши ҳамда коммунал инфратузилмани ташкил этиш ва бошқариш
	5340400	- Мухандислик коммуникациялари қурилиши ва монтажи (турлари бўйича)
	5340500	- Қурилиш материаллари, бўюмлари ва конструкцияларини ишлаб чиқариш
	5340700	- Гидротехника қурилиши (дарё иншоотлари ва гидроэлектростанциялар қурилиши)
	5340900	- Қиймат инжиниринги ва кўчмас мулк экспертизаси
	5341200	- Сув таъминоти ва канализация тизимларини лойihalаштириш ва эксплуатацияси
	5341700	- Архитектура ёдгорликлари реконструкцияси ва реставрацияси
	5341800	- Деворбон ва пардозбон қурилиш материаллари технологияси
	5630100	- Экология ва атроф-муҳит муҳофазаси (қурилиш)

Тошкент-2020

Фан дастури Олий ва ўрта махсус, касб-хунар таълими йўналишлари бўйича Ўқув-услубий бирлашмалар фаолиятини Мувофиқлаштирувчи Кенгашнинг 2020 йил “30” 10 даги 6 -сонли баённомаси билан маъқулланган.

Ўзбекистон Республикаси Олий ва ўрта махсус таълим вазирлигининг 2020 йил “7” 12 даги 648 -сонли буйруғи билан маъқулланган фан дастурларини таянч олий таълим муассасаси томонидан тасдиқлашга розилик берилган.

Фан/модуль учун маъсуллар:

Шадманова З.С. – ТАҚИ, “Қурилиш механикаси ва иншоотлар зилзилабардошлиги” кафедраси мудири, т.ф.н., доцент.

Раҳманов Б.К. – ТАҚИ, “Қурилиш механикаси ва иншоотлар зилзилабардошлиги” кафедраси катта ўқитувчиси.

Такризчилар:

Ювмитов А.С. – ЎзР ФА “Механика ва иншоотлар сейсмик мустаҳкамлиги” институти катта илмий ходими, PhD (ИТМ).

Исмаилов К. – СамДАҚИ, “Қурилиш механикаси ва материаллар қаршилиги” кафедраси профессори, т.ф.д. (турдош ОТМ)

I. Fanning mazmuni

Fanning o'qitilishidan maqsad - talabalarga inshoot elementlarida, konstruksiyalarida hosil bo'ladigan zo'riqishlar va deformatsiyalarni aniqlash usullarini, hamda mustahkamlikka, bikrlikka va ustivorlikka mazkur konstruksiyalarni hisoblash usullari bo'yicha mos bilim, ko'nikma va malaka shakllantirishdir.

Fanning vazifasi - talabalarda inshootlarni loyihalash jarayonida asosiy masalalardan biri hisoblangan loyiha-konstruktorlik hisoblari bo'yicha boshlang'ich ko'nikmalar hosil qilishdan iborat.

II. ASOSIY NAZARIY QISM (Ma'ruza mashg'ulotlari)

1-mavzu. Nazariy mexanika faniga kirish.

Statikaning asosiy tushunchalari. Statika aksiomalari. Bog'lanishlar va bog'lanish reaksiya kuchlari.

2-mavzu. Kesishuvchi kuchlar sistemasi.

Kesishuvchi kuchlar sistemasi teng ta'sir etuvchisini geometrik va analitik usulda aniqlash. Kesishuvchi kuchlar sistemasi muvozanati shartlarining geometrik va analitik usulda ifodalanishi.

3-mavzu. Kuchning nuqtaga nisbatan momenti. Juft kuch.

Kuchning nuqtaga nisbatan momenti. Juft kuch va juft kuch momenti. Bir tekislikda joylashgan juftlarni qo'shish. Juftlar sistemasining muvozanat shartlari.

4-mavzu. Tekislikda ixtiyoriy joylashgan kuchlar sistemasi.

Kuchni o'ziga parallel ko'chirish masalasi. Tekislikdagi kuchlar sistemasini bir markazga keltirish (qo'shish). Tekislikdagi kuchlar sistemasining bosh vektori va bosh momenti. Tekislikdagi kuchlar sistemasining muvozanat shartlari.

5-mavzu. Fazoda ixtiyoriy joylashgan kuchlar sistemasi.

Kuchning nuqtaga nisbatan moment vektori. Kuchning o'qqa nisbatan momenti Fazoviy kuchlar sistemasini bir markazga keltirish. Fazoda ixtiyoriy joylashgan kuchlar sistemasi muvozanat shartlari.

6-mavzu. Parallel kuchlar markazi. Qattiq jismning og'irlik markazi.

Parallel kuchlar markazi va uning radius vektori hamda kordinatalarini aniqlash. Qattiq jismning og'irlik markazi. Jismning og'irlik markazi holatini aniqlash usullari.

7-mavzu. Kinematikaga kirish. Nuqta kinematikasi

Kinematikaning asosiy tushunchalari, moddiy nuqta harakatining berilish usullari. Harakati vektor usulida berilgan nuqtaning tezlik va tezlanishi. Harakati koordinatalar usulida berilgan nuqtaning tezlik va tezlanishi

8-mavzu. Qattiq jismning eng sodda harakatlari

Qattiq jismning ilgarilama qo'zg'almas o'q atrofida aylanma harakati. Jismning burchak tezligi va burchak tezlanishi hamda ularni vektor tarzida ifodalash. Qo'zg'almas o'q atrofida aylanuvchi jism nuqtasining tezligi va tezlanishi.

9-mavzu. Qattiq jismning tekis parallel harakati

Tekis parallel harakat tenglamasi. Tezliklar oniy markazi va undan foydalanib tekish shakl nuqtasining tezligini aniqlash. Tekis shakl nuqtasining tezlanishi. Tezlanishlar oniy markazi.

10-mavzu. Nuqtaning murakkab harakati

Nuqtaning nisbiy, ko'chirma va absoyut harakatlari. Nuqtaning murakkab harakatida tezliklarni qo'shish teoremasi. Murakkab harakatdagi nuqtaning tezlanishlarini qo'shish teoremasi. Koriolis tezlanishi.

11-mavzu. Dinamikaga kirish. Dinamikaning asosiy qonunlari

Dinamikaning asosiy qonunlari. Moddiy nuqta harakatining differensial tenglamalari. Moddiy nuqta dinamikasining ikki asosiy masalasi.

12-mavzu. Moddiy nuqtaning to'g'ri chiziqli tebranma harakati

Moddiy nuqtaning erkin tebranma harakati. Moddiy nuqtaning tezligiga proporsional bo'lgan qarshilik kuchi ta'sirida nuqtaning erkin tebranma harakati. Moddiy nuqtaning majburiy tebranma harakati.

13-mavzu. Nuqta dinamikasining umumiy teoremlari

Moddiy nuqta harakat miqdori o'zgarishi haqida teoremlar. Moddiy nuqta harakat miqdori momentining o'zgarishi haqida teoremlar.

Kuchning ishi, quvvat va moddiy nuqta kinetik energiyasi.

14-mavzu. Mexanik sistema dinamikasiga kirish.

Mexanik sistemaga ta'sir etuvchi kuchlarni tasnifi. Mexanik sistemaning massalar markazi va uning koordinatalari. Mexanik sistema inersiya momentlari. Ba'zi oddiy shaklli jismlarning inersiya momentlarini hisoblash.

15-mavzu. Mexanik sistema dinamikasining umumiy teoremlari.

Mexanik sistema massalar markazining harakati haqida teorema. Sistema massalar markazi harakatining saqlanish qonuni. Mexanik sistema harakat mikdorining o'zgarishi haqidagi teorema.

16-mavzu. Materiallar qarshiligi faniga kirish.

Asosiy tushunchalar. Fanning maqsad va vazifalari. Fan tekshiradigan masalalar. Fanning rivojlanish tarixi va boshqa fanlar bilan uzviy bog'liqligi. Inshoot elementlarining modellari. Materiallar qarshiligida qabul qilingan asosiy gipoteza va cheklanishlar.

17-mavzu. Tekis kesim yuzalarining inersiya momentlari.

Tekis kesim yuzalarining statik momentlari. Tekis kesimning og'irlik markazi. Tekis kesim yuzasining qutb inersiya momenti. Tekis kesimning o'q va markazdan qochma inersiya momentlari. Oddiy kesimlarning inersiya momentlari.

18-mavzu. Bosh inersiya o'qlari va bosh inersiya momentlari.

Tekis kesim yuzining markaziy o'qqa parallel o'qqa nisbatan inersiya momenti. Koordinata o'qlari burilganda inersiya momentlarining o'zgarishi. Bosh inersiya o'qlari va bosh inersiya momentlari. Tekis kesim yuzalarining inersiya radiuslari.

19-mavzu. Ichki kuchlarni aniqlash.

Kesish usuli. Ichki kuchlar. Kuchlanishlar. Normal, urinma va to'la kuchlanishlar. Oddiy deformatsiya turlari.

20-mavzu. Cho'zilish yoki siqilishda kuchlanish va deformatsiya.

Sterjenning ko'ndalang kesimida vujudga keladigan zo'riqish kuchlari. Bo'ylama kuchlarni aniqlash va ularning epyuralarini chizish. Sterjenning ko'ndalang kesimidagi kuchlanishlar. Bo'ylama deformatsiya. Guk qonuni.

21-mavzu. Ko'ndalang deformatsiya.

Sterjen ko'ndalang kesimining ko'ndalang deformatsiyasi. Puasson koefitsiyenti. Cho'zilish yoki siqilishda potensial energiya.

22-mavzu. Materiallarning mexanik xususiyatlarini tajribada o'rganish.

Materiallar va ularni sinash uslubi. Materiallarni cho'zilishga sinash. Cho'zilish diagrammasi. Materiallarni siqilishga sinash.

23-mavzu. Cho'zilish yoki siqilishga ishlaydigan sistemalarni mustahkamlikka va bikrlikka hisoblash.

Ruxsat etilgan kuchlanish. Ehtiyot koefitsiyenti. Sterjenning cho'zilish yoki siqilishdagi mustahkamlik sharti. Sterjenning cho'zilish yoki siqilishdagi bikrlilik sharti.

24-mavzu. Cho'zilish yoki siqilishda sterjenning xususiy og'irligini hisobga olish.

Cho'zilgan yoki siqilgan sterjenlarning xususiy og'irligini hisobga olish. Pog'onali sterjenlar hisobi.

25-mavzu. Cho'zilish yoki siqilishda uchraydigan statik noaniq masalalar.

Statik noaniqlik darajasi. Statik noaniq sistemalarni hisoblash tartibi. Statik noaniq sistemalarda ichki kuchlarni aniqlash.

26-mavzu. Sterjenning qiya kesimlaridagi kuchlanishlarni aniqlash.

Oddiy cho'zilish yoki siqilishda sterjenlarning qiya kesimlarida vujudga keladigan kuchlanishlar. Kuchlanganlik holatlarining turlari. Chiziqli, tekis va hajmiy kuchlanganlik holatlari.

27-mavzu. Bosh kuchlanishlar va yuzalar.

Tekis kuchlanganlik holatida sterjenlarning qiya kesimlarida vujudga keladigan kuchlanishlar. Bosh kuchlanishlar va bosh yuzalarning yo'nalishini aniqlash. Mor doirasi.

28-mavzu. Hajmiy kuchlanganlik holati

Hajmiy kuchlanganlik holati va uning turlari. Hajmiy kuchlanganlik holatida deformatsiya. Hajmiy kuchlanish holatida deformatsiyaning potensial energiyasi. Kuchlanishlar konsentratsiyasi. Mustahkamlik nazariyalari.

29-mavzu. Siljishda kuchlanish va deformatsiya.

Sof siljish. Kuchlanish va deformatsiya. Sof siljishdagi Guk qonuni. Elastik doimiylari G , E va μ orasidagi munosabat. Siljishdagi potensial energiya.

30-mavzu. Siljishga ishlaydigan birikmalarni mustahkamlikka hisoblash.

Siljishda mustahkamlik sharti. Siljishga ishlaydigan konstruktsiya qismlarining hisobi. Parchin mixli birikmalar. Payvand birikmalar hisobi.

31-mavzu. Buralishda kuchlanish va deformatsiya.

Buralish. Asosiy tushunchalar. Doiraviy kesimli sterjenning buralishi. Burovchi moment. Burovchi momentni quvvat orqali ifodalash. Doiraviy kesimli sterjenning buralishidan hosil bo'lgan kuchlanish. Doiraviy kesimli sterjenning buralishidagi deformatsiyasi.

32-mavzu. Doira kesimli sterjenni mustahkamlik va bikrlikka hisoblash.

Doira kesimli sterjenning buralishdagi mustahkamlik sharti. Buralgan sterjenlarning bikrlilik sharti. Buralish burchagining epyurasini chizish. Buralish deformatsiyasining potensial energiyasi.

33-mavzu. Buralishda statik noaniq masalalar

Buralishda statik noaniq masalalar. Kesimi doiraviy bo'lmagan sterjenlarning buralishi. Ochiq profilli kesimlar. Yupqa profilli sterjenlar. Yopiq kesim profilli sterjenlar. Doiraviy kesimli sterjenlarni chekli yuk ko'tara olish qobiliyati bo'yicha hisoblash.

34-mavzu. To'g'ri sterjenning tekis egilishi.

Umumiy tushunchalar. Balka kesimlaridagi ichki kuchlarni aniqlash. Ichki kuchlarning epyuralarni chizish. Eguvchi moment, ko'ndalang kuch va yoyilgan kuch orasidagi differensial munosabatlar.

35-mavzu. Egilishda balka ko'ndalang kesimidagi normal kuchlanishlarni aniqlash.

Sof egilish. Normal kuchlanishlarni aniqlash. Tekis shakllarning qarshilik momenti. Balkalarning normal kuchlanish bo'yicha mustahkamligini tekshirish.

36-mavzu. Egilishda balka ko'ndalang kesimidagi urinma kuchlanishlarni aniqlash.

Ko'ndalang egilish. Egilishdagi urinma kuchlanishlarni aniqlash. Balkalarning mustahkamligini urinma kuchlanishlar bo'yicha tekshirish.

37-mavzu. Balkalarning mustahkamligini bosh kuchlanishlar bo'yicha tekshirish.

Egilishdagi bosh normal va eng katta urinma kuchlanishlar. Balka mustahkamligini to'la tekshirish. Bosh kuchlanishlarning traektoriyasi. Sof egilgan balkalarni chekli yuk ko'tara olish qobiliyati bo'yicha hisoblash.

38-mavzu. Balkaning egilishdagi deformatsiyalarini aniqlash.

Balkalarning salqiligi va kesimlarning aylanish burchagi. Egilgan o'qning differensial tenglamasi. Balka egilgan o'qining taqribiy differensial tenglamasi va uning integrallari.

39-mavzu. Universal formula.

Egilgan o'qning boshlang'ich parametrlar orqali ifodalangan tenglamasi. Balkalarning bikrlilik sharti. Ratsional kesimlar. Teng qarshilikli balkalar.

40-mavzu. Qiyshiq egilishda kuchlanish va deformatsiya.

Brus murakkab deformatsiyasining ko'rinishlari. Ichki kuchlarni aniqlash. Qiyshiq egilishda balka kesimlaridagi normal kuchlanishlarni aniqlash. Qiyshiq egilishda balkaning deformatsiyasini aniqlash. Qiyshiq egilishda balkaning mustahkamlik va bikrlilik shartlari.

41-mavzu. Cho'zilish va egilishning birgalikdagi ta'siri.

Ichki kuchlarni aniqlash. Cho‘zilish va egilishning birgalikdagi ta’siridan sterjen kesimlaridagi kuchlanishlarni aniqlash. Cho‘zilish va egilishning birgalikdagi ta’sirida sterjenning mustahkamlik sharti.

42-mavzu. Nomarkaziy cho‘zilish yoki siqilish.

Sterjenga bo‘ylama kuchning nomarkaziy ta’siri. Nomarkaziy siqilishda normal kuchlanishlarni aniqlash. Neytral o‘q holati. Kesim yadrosi

43-mavzu. Buralish bilan egilishning birgalikdagi ta’siri.

Sterjenning egilib buralishi. Ichki kuchlarni aniqlash. Sterjen egilib buralishida kuchlanishlarni aniqlash. Sterjenning egilib buralishida mustahkamlik sharti.

44-mavzu. Siqilgan sterjenlarning ustivorligi masalasi.

Umumiy tushunchalar. Ustivorlik holatlarining turlari. Kritik kuchni aniqlash. Eyler formulasi. Sterjenning egiluvchanligi, keltirilgan uzunligi. Sterjen uchlarining mahkamlanish usulini kritik kuch formulasiga ta’siri. Kritik kuchlanish. Eyler formulasining qo‘llanish chegarasi.

45-mavzu. Siqilgan sterjenlarni hisoblash usullari.

Siqilgan sterjenlarni amalda hisoblash usullari (kesim tanlashning ketma-ket yaqinlashish, sterjenlarni yuk ko‘tara olish qobiliyati bo‘yicha hisoblash. Siqilgan sterjenning ustivorlik sharti. Siqilgan sterjen kesimlarining qulay shakllarini tanlash.

46-mavzu. Qurilish mexanikasi faniga kirish.

Qurilish mexanikasi fanining mohiyati va usullari. Qurilish mexanikasi fanining qisqacha rivojlanish tarixi va boshqa fanlar bilan uzviy bog‘liqligi.

47-mavzu. Inshootlar hisoblash sxemalari va ularning turlari.

Inshootlar hisoblash sxemalarini tanlash. Inshootlar klassifikatsiyasi. Inshootlarga ta’sir etuvchi yuklar va ularning klassifikatsiyasi.

48-mavzu. Inshootlar hisoblash sxemalarining kinematik analizi.

Tayanchlar va ularning turlari. Geometrik o‘zgarmas, o‘zgaruvchan va oniy o‘zgaruvchan sistemalar. Sistemalarning erkinlik darajasi. Sterjenli sistemalarning geometrik o‘zgarmasligining zaruriy sharti.

49-mavzu. Oddiy va konsol balkalarda zo‘riqishlarning ta’sir chiziqlari

Harakatlanuvchi yuklar va ta’sir chiziqlari haqida tushuncha. Oddiy va konsol balkalarda zo‘riqishlarning ta’sir chiziqlari. Ta’sir chiziqlari yordamida zo‘riqishlarni aniqlash.

50-mavzu. Ko‘p oraliqli statik aniq balkalarni qo‘zg‘almas yuklar ta’siriga hisoblash.

Umumiy tushunchalar. Ko‘p oraliqli statik aniq balkalar uchun qavatlararo sxemalarini chizish. Ko‘p oraliqli balkalar uchun eguvchi moment va ko‘ndalang kuchlar epyuralarini chizish.

51-mavzu. Ko‘p oraliqli statik aniq balkalarni harakatlanuvchi yuklar ta’siriga hisoblash.

Ko‘p oraliqli balka zo‘riqishlarining ta’sir chiziqlarini chizish. Ko‘p oraliqli balka zo‘riqishlarini ta’sir chiziqlari yordamida aniqlash.

52-mavzu. Statik aniq tekis fermalarni qo‘zg‘almas yuklar ta’siriga hisoblash

Fermalar haqida umumiy tushuncha. Fermalarning turlari. Fermalarni hisoblash usullari. Tugun ajratish, moment nuqta va proyeksiyalash usullari. Ferma sterjenlaridagi zo'riqishlarni aniqlash.

53-mavzu. Statik aniq tekis fermalarni harakatlanuvchi yuklar ta'siriga hisoblash.

Ferma sterjenlari zo'riqishlari uchun ta'sir chiziqlarini chizish. Ta'sir chiziqlari orqali sterjenlardagi zo'riqish kuchlarini aniqlash.

54-mavzu. Shprengelli fermalarni hisoblash.

SHprengelli fermalar to'g'risida tushunchalar. Shprengelli ferma sterjenlarini toifalari. SHprengelli fermalarni harakatlanuvchi yuklar ta'siriga hisoblash.

55-mavzu. Uch sharnirli arkalarni qo'zg'almas va harakatlanuvchi yuklar ta'siriga hisoblash.

Uch sharnirli sistemalar to'g'risida umumiy tushunchalar. Uch sharnirli arkalarni qo'zg'almas yuklar ta'siriga hisoblash. Uch sharnirli arka zo'riqish kuchlarining ta'sir chiziqlari.

56-mavzu. Elastik sistemalardagi ko'chishlarni aniqlash.

Elastik sistemalardagi ko'chishlar. Qurilish mexanikasining ba'zi asosiy teoremlari. Ko'chishlarni aniqlash formulalari.

57-mavzu. Statik noaniq sistemalar va ularning xususiyatlari.

Statik noaniq sistemalar to'g'risida umumiy tushunchalar. Statik noaniq sistemalarning xususiyatlari. Statik noaniq sistemalarni hisoblash usullari. Statik noaniqlik darajasi.

58-mavzu. Statik noaniq ramalarni kuchlar usulida hisoblash.

Kuchlar usulining mohiyati va noma'lumlari. Kuchlar usulining asosiy sistemasi. Kuchlar usulining kanonik tenglamalari. Kuchlar usulining kanonik tenglama koeffitsientlari va ozod hadlarini aniqlash. Kuchlar usulining kanonik tenglama koeffitsientlari va ozod hadlarini tekshirish. Natijaviy eguvchi moment, ko'ndalang va bo'ylama kuchlarni aniqlash.

59-mavzu. Simmetrik ramalarni kuchlar usulida hisoblash.

Umumiy tushunchalar. Statik noaniq simmetrik ramalarni simmetrikligidan foydalanish. Simmetrik rama noma'lumlarini guruhlash usuli. Simmetrik ramaga qo'yilgan tashqi yuklarni simmetrik va nosimmetrik yuklarga ajratish usuli.

60-mavzu. Statik noaniq arkalarni hisoblash.

Umumiy tushunchalar. Ikki sharnirli arkalarni kuchlar usulida hisoblash. Sharnirsiz arkalarni kuchlar usulida hisoblash.

61-mavzu. Statik noaniq fermalarni hisoblash.

Statik noaniq fermalar to'g'risida umumiy tushunchalar. Statik noaniq fermalarni hisoblash usullari.

62-mavzu. Uzlüksiz balkalarni hisoblash.

Uzlüksiz balkalar to'g'risida umumiy tushunchalar. Uzlüksiz balkalar hisobiga kuchlar usulining tadbig'i. Asosiy sistemani tanlash. Uch moment tenglamasi. Uzlüksiz balkalardagi eguvchi moment, ko'ndalang kuch va tayanch reaksiyalarini aniqlash. Uzlüksiz balkalarni hisoblashning moment fokuslari usuli haqida tushuncha. Chap va o'ng fokuslar nisbatlarini aniqlash. Uzlüksiz balka yuklangan

oralig'ining tayanch momentlarini aniqlash. Fokus nisbatlaridan foydalanib tayanch momentlarini aniqlash.

63-mavzu. Statik noaniq ramalarni ko'chishlar usulida hisoblash.

Ko'chishlar usulining mohiyati va noma'lumlari. Kinematik noaniqlik darajasi. Ko'chishlar usulining asosiy sistemasi. Ko'chishlar usulining kanonik tenglamalari. Ko'chishlar usulining kanonik tenglama koeffitsiyentlarini va ozod hadlarini aniqlash. Ko'chishlar usulining kanonik tenglamalari. Kuchlar usulining kanonik tenglama koeffitsiyentlarini va ozod hadlarini tekshirish. Ko'ndalang va bo'ylama kuchlar epyuralarini chizish.

64-mavzu. Statik noaniq ramalarni aralash usulda hisoblash.

Kuchlar va ko'chishlar usullarining o'xshashliklari va farqlari. Statik noaniq ramani hisoblashning hisoblashning aralash usuli.

III. Amaliy mashg'ulotlar bo'yicha ko'rsatma va tavsiyalar

1. Vektorlar ustida amallar. To'g'ri chiziqda yotuvchi kuchlar muvozanat shartiga oid masalalar.
2. Kesishuvchi kuchlar sistemasining geometrik muvozanat shartiga oid masalalar.
3. Kesishuvchi kuchlar sistemasining analitik muvozanat shartiga oid masalalar
4. Tekislikda ixtiyoriy joylashgan kuchlar sistemasining muvozanatiga oid masalalar.
5. Fazodagi kuchlar sistemasining muvozanatiga oid masalalar.
6. Parallel kuchlar markazi, qattiq jismning og'irlik markazini aniqlashga oid masalalar.
7. Berilgan harakat tenglamalari bo'yicha nuqtaning traektoriyasi, tezlik va tezlanishini topish.
8. Qattiq jismning qo'zg'almas o'q atrofida aylanishi va aylanma harakatdagi jism nuqtasining tezlik va tezlanishni topishga oid masalalar.
9. Qattiq jismning tekis parallel harakatiga oid masalalar.
10. Tekis parallel harakatdagi jism nuqtalarining tezlik va tezlanishlarini topishga oid masalalar.
11. Dinamikaning birinchi va ikkinchi masalasiga oid masalalar.
12. Nuqtaning erkin va so'nuvchi tebranma harakatiga oid masalalar.
13. Nuqtaning majburiy tebranma harakatiga oid masalalar.
14. Moddiy nuqta harakat miqdori va kinetik energiyasi o'zgarishi haqida teoremlarga oid masalalar.
15. Moddiy sistema harakat miqdori va harakat miqdori bosh momentining o'zgarishi haqidagi teoremlarga doir masalalar.
16. Nosimmetrik kesimlarning og'irlik markazi holatini aniqlash.
17. Nosimmetrik kesimlarning o'q inersiya momentlarini aniqlash.
18. Bosh o'qlar vaziyati va bosh inersiya momentlarini aniqlash.
19. Kesish usuli. Balka, rama va egri bruslar uchun ichki kuchlarni aniqlash.
20. To'g'ri sterjenni cho'zilish (siqilish) ida kuchlanish va deformatsiyani aniqlash.
21. Sterjenli sistemalarni mustahkamlikka va bikrlikka hisoblash.

22. Cho‘zilish(siqilish) deformatsiyalarida xususiy og‘irlikni hisobga olish.
23. Cho‘zilish(siqilish) deformatsiyasida uchraydigan statik noaniq masalalar.
24. Murakkab kuchlanish holatida kuchlanishlarni aniqlash.
25. Siljishga ishlaydigan birikmalarni mustahkamlikka hisoblash.
26. Doira kesimli sterjenning buralishi.
27. Doira kesimli sterjenni mustahkamlikka va bikrlikka hisoblash.
28. Egilishda balka kesimlaridagi ichki kuchlarni aniqlash.
29. Egilishda balka ko‘ndalang kesimidagi normal kuchlanishlarni aniqlash.
30. Egilishda balka ko‘ndalang kesimidagi urinma kuchlanishlarni aniqlash.
31. Balkaning mustahkamligini to‘la tekshirish.
32. Egilishda balka deformatsiyalarini aniqlash.
33. Qiyshiq egilishda balka kesimlarida normal kuchlanish va deformatsiyalarni aniqlash.
34. Nomarkaziy siqilishda normal kuchlanishlarni aniqlash.
35. Neytral o‘q holatini aniqlash va kesim yadrosini chizish.
36. Siqilgan sterjenning ustivorligi masalasi.
37. Bo‘ylama egilishda sterjenning ustivorligi va mustahkamligini tekshirish.
38. Statik aniq balkalarda ichki kuchlarni matritsalar nazariyasini qo‘llab aniqlash.
39. Inshootlar hisoblash sxemalarining kinematik analizi.
40. Ko‘p oraliqli statik aniq balkalarni qo‘zg‘almas yuklar ta’siriga hisoblash.
41. Oddiy va konsol balkalarda zo‘riqlashlarning ta’sir chiziqlarini statik usulda chizish.
42. Ta’sir chiziqlari yordamida zo‘riqlashlarni aniqlash.
43. Ko‘p oraliqli statik aniq balkalarni harakatlanuvchi yuklar ta’siriga hisoblash.
44. Statik aniq tekis fermalarni qo‘zg‘almas yuklar ta’siriga hisoblash.
45. Statik aniq tekis fermalarni harakatlanuvchi yuklar ta’siriga hisoblash.
46. Bir pog‘onali shprengelli fermalarni hisoblash.
47. Ikki pog‘onali shprengelli fermalarni hisoblash.
48. Uch sharnirli arkani qo‘zg‘almas yuklar ta’siriga hisoblash.
49. Harakatlanuvchi yuklar ta’sirida bo‘lgan uch sharnirli arka zo‘riqlashlarini ta’sir chiziqlari yordamida aniqlash.
50. Statik aniq oddiy sistemalarda ko‘chishlarni aniqlash.
51. Statik noaniq ramalarni kuchlar usulida hisoblash. Kuchlar usulining asosiy sistemasini tanlash va kanonik tenglamalarini yozish. Kanonik tenglama koeffitsientlari va ozod xadlarini aniqlash. Kanonik tenglama koeffitsientlari va ozod xadlarini tekshirish. Natijaviy eguvchi moment, ko‘ndalang va bo‘ylama kuchlarni aniqlash.
52. Simmetrik ramalarni kuchlar usulida hisoblash.
53. Uzluksiz balkalarni qo‘zg‘almas yuklar ta’siriga hisoblash.
54. Uzluksiz balkalarni fokuslar usuli bilan bilan hisoblash.
55. Statik noaniq ramalarni ko‘chishlar usulida hisoblash. Ko‘chishlar usulining asosiy sistemasini tanlash va kanonik tenglamalarini yozish. Kanonik tenglama koeffitsientlari va ozod xadlarini aniqlash. Natijaviy eguvchi moment, ko‘ndalang va bo‘ylama kuchlarni aniqlash.

Laboratoriya ishlarini tashkil etish bo'yicha ko'rsatmalar

Laboratoriya ishlarida talabalar bino va inshootlar elementlari va konstruksiyalarini tashkil etuvchi qurilish materiallarining mexanik xarakteristikalarini, inshoot elementlari va konstruksiyalarida tashqi kuchlar ta'siridan hosil bo'ladigan deformatsiyalarni aniqlash bo'yicha amaliy ko'nikma va malaka hosil qiladilar.

Laboratoriya ishlarining tavsiya etiladigan mavzulari:

1. Po'lat namunani cho'zilishga sinash. Po'latning mexanik xarakteristikalarini aniqlash. Cho'zilish diagrammasini chizish.
2. Po'lat materiali uchun elastiklik moduli aniqlash.
3. Turli materiallarni siqilish deformatsiyasiga sinash. Mustahkamlik chegaralarini aniqlash.
4. Po'lat materialini kesilishga, yog'och materialini yorilishga sinash. Mustahkamlik chegaralarini aniqlash.
5. Doira kesimli sterjenni buralishga sinash (virtual).
6. Yog'och balkaning egilishdagi mustahkamligini aniqlash.
7. Egilishda balkaning deformatsiyalarini aniqlash
8. Konsol balkaning qiya egilishdagi deformatsiyalarini aniqlash.

Hisob – grafik ishlarini tashkil etish bo'yicha ko'rsatmalar

Hisob-grafik ishlarni bajarishning asosiy maqsadi - talabalarning olgan nazariy bilimlarini amalda qo'llash bo'yicha ko'nikmalar hosil qilishi va ularning mustaqil ishlashini shakllantirishdir.

Fan bo'yicha har bir talaba individual topshiriq asosida hisob-grafik ishlari bajariladi. Ularni bajarishda kafedrada mazkur hisob-grafik ishlarini bajarish bo'yicha ishlab chiqilgan uslubiy ko'rsatmalardan va mustaqil ishlash uchun tayyorlangan masalalardan foydalanish tavsiya etiladi.

Hisob-grafik ishlarining mavzulari:

1. Qo'shma konstruksiyaning tayanch reaksiyalarini aniqlash.
2. Jism og'irlik markazini aniqlash.
3. Tekis mexanizmning kinematik tahlili.
4. Moddiy nuqtaning tebranma harakatini o'rganish
5. Nosimmetrik kesimlarning inersiya momentlari
6. Balka, rama va egri bruslar uchun ichki kuchlar epyuralarini chizish.
7. Sterjenli sistemalarni cho'zilish yoki siqilishga hisoblash.
8. Balkani mustahkamlikka va bikrlikka hisoblash.
9. Bikrligi cheksiz ustunni nomarkaziy siqilishga hisoblash.
10. Qo'shma metall ustunni ustuvorlikka hisoblash.
11. Ko'p oraliqli statik aniq balka hisobi.
12. Statik aniq oddiy ferma hisobi.
13. Uch sharnirli arka hisobi.
14. Statik noaniq ramani kuchlar usulida hisoblash.
15. Uzluksiz balka hisobi.
16. Statik noaniq ramani ko'chishlar usulida hisoblash.

IV. Mustaqil ta'lim va mustaqil ishlar

1. Sirpanishdagi ishqalanish qonunlari. Ishqalanish burchagi. Ishqalanish konusi. Jismlarning ishqalanish kuchi hisobga olinganidagi muvozanati.
2. Statik aniq va statik aniqmas masalalar. Bir nechta jismdan tashkil topgan sistemaning muvozanati.
3. Fazodagi kuchlar sistemasini invariantlari.
4. Tekis shakl nuqtalari tezlanishlarining oniy markazi
5. Moddiy nuqtaning majburiy tebranishiga muxit qarshiligining ta'siri.
6. Ko'chirma va Koriolis inersiya kuchlari. Koriolis inersiya kuchining er ustidagi jismlarga ta'siri.
7. Jismning parallel o'klarga nisbatan inersiya momentlarini hisoblash. Markazdan qochma inersiya momentlari. Jismning berilgan nuqtasidan o'tuvchi ixtiyoriy o'qqa nisbatan inersiya momentlari.
8. Qo'zg'almas o'q atrofida aylanuvchi qattiq jismning aylanish o'qiga ko'rsatadigan dinamik bosimini Dalamber prinsipi yordamida aniqlash
9. Mumkin bo'lgan ko'chish prinsipini bog'lanish reaksiyalarini aniqlashga tadbiqu.
10. Tayanchlar va ularning turlari
11. Teng qarshilikli sterjenlar.
12. Sterjenlarni chekli yuk ko'tara olish qobiliyati bo'yicha hisoblash.
13. Teng qarshilikli balkalar.
14. O'zgaruvchan kesimli sterjenlarning ustivorligi masalasi.
15. Vaqt bo'yicha davriy o'zgaruvchan kuchlanishlarda materiallar mustahkamligi.
16. Inshootga ta'sir etuvchi yuklar va ularning turlari.
17. Ta'sir chiziqlarini chizishning kinematik usuli.
18. Murakkab fermalarning geometrik o'zgarmasligini tadqiq etish.
19. Fermalarning ratsional shakllarini tanlash.
20. Arka o'qining ratsional shakli.
21. Uch sharnirli arkasimon fermalarni harakatlanuvchi yuklar ta'siriga hisoblash.
22. Statik noaniq sistemalarni temperatura ta'siriga hisoblash.
23. Statik noaniq sistemalarni tayanchlar cho'kishiga hisoblash.
24. Statik noaniq sistemalarni kuchlar usuli bilan matritsalar yordamida hisoblash.
25. Statik noaniq sistemalarni chekli elementlar usuli yordamida hisoblash.

Qurilish mexanikasida masalalar yecha olish katta ahamiyatga ega. Ayrim mavzularni chuqur o'rganish va masala yechishning asosiy yo'li darslik va o'quv qo'llanmalar bilan mustaqil ishlay olishdir. Kitob bilan mustaqil ishlay bilish nafaqat muhandis tayyorlash, balki uning hamma faoliyatining asosi hisoblanadi. Undan tashqari, talabalarga o'tilgan mavzularni mustaqil o'zlashtirishlari uchun ma'ruza matnlaridan foydalanish ham tavsiya etiladi. Talabalarning mavzularni mustaqil o'zlashtirishi alohida baholanmaydi, ular joriy, oraliq va yakuniy baholashda o'z aksini topadi.

Mustaqil ta'lim talabalar uchun majburiy o'quv mashg'uloti hisoblanadi va u rejaviy xarakterga ega. Mustaqil ish mavzulari mustaqil o'zlashtirish uchun rejalashtirilgan ma'ruza va amaliy mashg'ulotlar mavzularidan iboratdir. Mustaqil

ta'lim talabalarining nazariy bilimlarini mustahkamlaydi va mavzularni yaxshi o'zlashtirishga yordam beradi.

Mustaqil o'zlashtiriladigan mavzular bo'yicha talabalar tomonidan konspekt qilish, prezentatsiya tayyorlash, referatlar tayyorlash va uni taqdimot qilish tavsiya etiladi.

V. Fan o'qitilishining natijalari (shakllanadigan kompetensiyalar)

Fanni o'zlashtirish natijasida talaba:

- turli xil, tekislikda va fazoda ixtiyoriy joylashgan kuchlar sistemalari ta'siridagi qattiq jismning muvozanat shartlari, qattiq jismning og'irlik markazini topish usullari; mexanik harakatdagi qattiq jismning harakat shakllari, atrof-muhitda sodir bo'layotgan o'zgarishlarni hisobga olgan holda mexanik harakatning qonuniyatlari; dinamikaning asosiy qonun va tamoyillari, mexanik sistemalarni harakatining differensial tenglamalari, qattiq jism dinamikasining umumiy teoremlari; inshoot elementlarida vujudga keladigan ichki kuchlar, oddiy deformatsiya turlarida vujudga

keladigan kuchlanish va deformatsiyalar, bino va inshootlarning hisoblash sxemasi va ularning kinematik analizi; ta'sir chiziqlar nazariyasi, elastik sistemalarda vujudga keladigan ko'chishlar, statik aniq va noaniq sistemalarni hisoblash usullari tasavvur va bilimga

ega bo'lishi;

- fanning nazariy asoslari va amaliy masalalarni yechishda fanning hisoblash formulalarini; inshoot konstruksiyalarining hisobiy modellarini to'g'ri tanlash; inshoot elementlarida ichki kuchlar va deformatsiyalarni aniqlash; bino va inshootlarning hisoblash sxemasini tanlash va ularning kinematik analizi; ta'sir chiziqlar nazariyasi; statik aniq va noaniq sistemalarni qo'zg'almas va harakatlanuvchi yuklar ta'siriga hisoblash ko'nikmalariga ega bo'lishi;

- qurilish mexanikasi fanidan olgan bilimni muhandislik va maxsus fanlarni o'tish jarayonida qo'llash va tatbiq etish; bino va inshootlar elementlarining hisobiy modellarini tanlash, bino va inshootlar hisoblash sxemalarini tanlash va ularni kinematik analiz qilish; inshootlarda zo'riqishlar va ko'chishlarni aniqlash; statik aniq

va noaniq sistemalarni hisoblash malakasiga ega bo'lishi kerak.

VI. Asosiy va qo'shimcha o'quv adabiyotlar hamda axborot manbaalari

Asosiy adabiyotlar

1. Никитин Н.Н. Курс теоретической механики. Учебник. Изд-во "ЛаньП", 2020. -720 с.
2. К.Исмайилов, У.Мустафаев, А.Т.Кулдашев. Назарий механика. Олий ўқув юртлари учун дарслик. Тошкент, Машхур-Пресс, 2017. -384 б.

3. Usmonkulov A.Q., Ismayilov K., Odilov O.K., Yaxshiboev Sh.R. Materiallar qarshiligi, O'quv qo'llanma. I,II -qism. Toshkent "Mashhurpress", 2019. –320 b.
4. Жуков В.Г. Механика. Сопротивление материалов. Учебное пособие. Изд-во "Лань-П", 2020. -416 с.
5. Саидий С.А. Қурилиш механикаси. Дарслик. -Т.: "Фан ва технология", 2019, 272 б.
6. Ступишин Д.Ю. Строительная механика плоских стержневых систем: Учебное пособие / Д.Ю. Ступишин, С.И. Трушин. - [б. м.] : ИНФРА-М, 2019: ИНФРА-М, 2016. - 278 с.

Qo'shimcha adabiyotlar

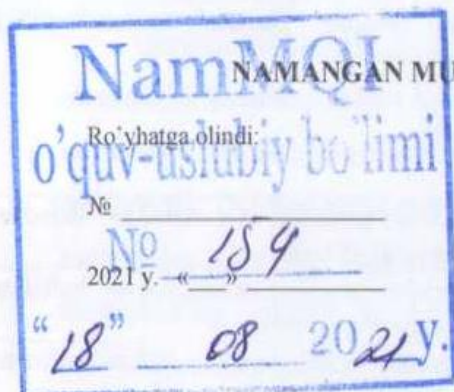
7. Mirziyoyev Sh.M. Buyuk kelajagimizni mard va olijanob xalqimiz bilan birga quramiz. – Toshkent: "O'zbekiston", 2017. – 488 b.
8. Стрелков С.П. Механика. Учебник. 6-изд. Изд-во "Лань", 2019. - 560с.
9. Z.S.Shadmanova. Materiallar qarshiligi. O'quv qo'llanma.T.: 2018. - 169 b.
10. K. Ismoilov, S.K.Toshev, O.I.Eshniyazov, S.S.Amanov. Materiallar qarshiligi. O'quv qo'llanma. Toshkent, Mashxur-Press, 2017. -272 b.
- 11.Hobilov B.A, Nazarova M.K., Umarova Z.S. Qurilish mexanikasidan misol va masalalar. O'quv qo'llanma. 1,2-qismlar. T.: TAQI - 2016. - 148 b.
- 12.Hobilov B.A. Qurilish mexanikasi. Darslik. 1,2-qism. T.: TAQI - 2014. -168 b.
- R.C.Hibbeler. Structural analysis. Ninth edition. Published by Pearson Prentice Hall. Pearson Education, Inc. USA, 2015. 725 p. 16
- 13.Kenjayevev K. "Moddiy nuqtaning tebranma harakati". (Nazariy mexanikadan masalalar yechish uchun uslubiy qo'llanma). TAQI, 2015.
- 14.Kenjayevev K. Moddiy nuqta dinamikasining umumiy teoremlari va dalamber prinsipining nuqta harakatini o'rganishga tatbiqi. TAQI, 2015.

Axborot manbaalari

15. www.ziyonet.uz
16. <http://www.mysopramat.ru>
17. http://www.stroy_meh.ru
18. www.moodle.taqi.uz

4.2. Ishchi fan dasturi

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



**“QURILISH MEXANIKASI” fanining
ISHCHI O'QUV DASTURI**

Bilim sohasi: 300000 - Ishlab chiqarish texnik soha
600000-Xizmatlar sohasi

Ta'lim sohasi: 310000 - Muhandislik ishi
340000 - Arxitektura va qurilish

Ta'lim yo'nalishi: 5340400 – Muhandislik kommunikatsiyalari
qurilishi va montaji.

Semestr	Fan tarkibi						Nazorat turi	Ja'mi o'quv soati
	Ma'ruza	Amaliy mashg'ulot	Laboratoriya ishlari	Seminar mashg'uloti	Mustaqil ta'lim	HGI		
Kunduzgi bo'lim								
III	30	30/90	-	-	60	106	+	286
IV	30	20/60	10/30	-	60	106	+	286
jami	60	50/150	10/30	-	120	212	+	572

Namangan – 2021

Fanning ishchi o'quv dasturi OO'MTV ning № БД-5340200-2.03 -sonli buyrug'i bilan tasdiqlangan va ro'yxatga olingan "Qurilish mexanikasi" fanining namunaviy o'quv dasturiga muvofiq ishlab chiqildi.

Tuzuvchilar:

Yo. K. Tillaboyev -	NamMQI, «Materiallar qarshiligi va mexanika» kafedrası mudiri, dotsent
I. B. Najmidinov -	NamMQI, «Materiallar qarshiligi va mexanika» kafedrası katta o'qituvchisi.
Q. S. A'zamov -	NamMQI, «Materiallar qarshiligi va mexanika» kafedrası katta o'qituvchisi.
M. B. Boytemirov -	NamMQI, «Materiallar qarshiligi va mexanika» kafedrası o'qituvchisi.

Taqrizchilar:

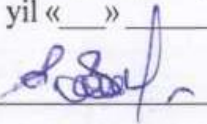
Sh. S. Yuldashev - «Materiallar qarshiligi va mexanika» kafedrası professori.

Z. S. Mahmudov - «Materiallar qarshiligi va mexanika» kafedrası dotsenti, t.f.n.

Fanning ishchi o'quv dasturi Materiallar qarshiligi va mexanika kafedrasining 2021 yil «__» __dagi «__» -son yig'ilishida muhokamadan o'tgan va fakultet kengashida muhokama qilish uchun tavsiya etilgan

Kafedra mudiri:  Yo. Tillaboyev

Fanning ishchi o'quv dasturi Qurilish fakultetining kengashida muhokamadan o'tgan va foydalanishga tavsiya etilgan. (2021 yil «__» __dagi «__» -sonli bayonnoma).

Fakultet dekani:  B. Jamalov

KELISHILDI:

Mutaxassislik kafedralari:

Кафедра номи	Имзо	Кафедра муdiri И.Ф.Ш
Кафедра номи	Имзо	Кафедра муdiri И.Ф.Ш

O'quv-uslubiy bo'lim boshlig'i:



dots. T.Jo'rayev

Namangan muhandislik-qurilish instituti o'quv-uslubiy kengashida ko'rib chiqilgan va tavsiya qilingan. «__» __2021 y.dagi __ sonli majlis bayoni. (__ - son bilan ro'yhatga olingan).

I. O‘quv fanining dolzarbligi va oliy kasbiy ta’limdagi o‘rni

Qurilish mexanikasi fani Nazariy mexanika, Materiallar qarshiligi va Qurilish mexanikasi fanlaridan tashkil topgan bo‘lib, “Muhandislik kommunikatsiyalari qurilishi va montaji” sohasida tahsil olayotgan talabalar uchun asosiy umumkasbiy fanlardan biri hisoblanadi. Qurilish mexanikasi – absolyut qattiq jismlar muvozanati va mexanik harakatning umumiy qonunlari, konstruksiya va inshootlar elementlarining mustahkamligi, bikrligi va ustivorligi hamda inshootlarni mustahkamligi, bikrligi, ustivorligini hisoblash usullarini o‘rgatuvchi fandır.

II. O‘quv fanining maqsadi va vazifasi

Fanning o‘qitilishidan maqsad - talabalarga inshoot elementlarida, konstruksiyalarida hosil bo‘ladigan zo‘riqishlar va deformatsiyalarni aniqlash usullarini, hamda mustahkamlikka, bikrlikka va ustivorlikka mazkur konstruksiyalarni hisoblash usullari bo‘yicha mos bilim, ko‘nikma va malaka shakllantirishdir.

Fanning vazifasi - talabalarda inshootlarni loyihalash jarayonida asosiy masalalardan biri hisoblangan loyiha-konstruktorlik hisoblari bo‘yicha boshlang‘ich ko‘nikmalar hosil qilishdan iborat.

Fan bo‘yicha talabalarning bilim, ko‘nikma va malakalariga quyidagi talablar quyiladi. Talaba: turli xil, tekislikda va fazoda ixtiyoriy joylashgan kuchlar sistemalari ta’siridagi qattiq jismning muvozanat shartlari, qattiq jismning og‘irlik markazining topish usullari; mexanik harakatdagi qattiq jismning harakat shakllari, atrof-muxitda sodir bo‘layotgan o‘zgarishlarni hisobga olgan holda mexanik harakatning qonuniyatlari; dinamikaning asosiy qonun va tamoyillari, mexanik sistemalarni harakatining differensial tenglamalari, qattiq jism dinamikasining umumiy teoremlari; inshoot elementlarida vujudga keladigan ichki kuchlar, oddiy deformatsiya turlarida vujudga keladigan kuchlanish va deformatsiyalar, bino va inshootlarning hisoblash sxemasi va ularning kinematik analizi; ta’sir chiziqlar nazariyasi, elastik sistemalarda vujudga keladigan ko‘chishlar, statik aniq va noaniq sistemalarni hisoblash usullari haqida tasavvurga ega bo‘lishi;

fanning nazariy asoslari va amaliy masalalarni yechishda fanning hisoblash formulalarini; inshoot konstruksiyalarining hisobiy modellarini to'g'ri tanlash; inshoot elementlarida ichki kuchlar va deformatsiyalarni aniqlash; inshootlarning hisoblash sxemasini tanlash va ularning kinematik analizi; ta'sir chiziqlar nazariyasi; statik aniq va noaniq sistemalarni qo'zg'almas va harakatlanuvchi yuklar ta'siriga hisoblashni bilishi va ulardan foydalana olishi;

qurilish mexanikasi fanidan olgan bilimini muhandislik va maxsus fanlarni o'tish jarayonida qo'llash va tatbiq etish; konsruktsiya va inshootlar elementlarining hisobiy modellarini tanlash, inshootlar hisoblash sxemalarini tanlash va ularni kinematik analiz qilish; inshoot elementlarida ichki kuchlar va ko'chishlarni aniqlash; statik aniq va noaniq sistemalarni qo'zg'almas va qo'zg'aluvchi yuklar ta'siriga hisoblash; statik noaniq sistemalarni hisoblashda zamonaviy kompyuter texnologiyalaridan foydalanish bo'yicha amaliy ko'nikmalarga ega bo'lishi kerak.

Fanning o'quv rejasidagi boshqa fanlar bilan o'zaro bog'liqligi va uslubiy jihatdan uzviyligi

«Qurilish mexanikasi» fani oliy texnika o'quv yurtlarida o'qitiladigan asosiy fundamental fanlardan biridir. Dasturni amalga oshirish o'quv rejasida rejalashtirilgan tabiiy fanlar (oliy matematika, fizika, informatika, chizma geometriya) fanlaridan yetarli bilim va ko'nikmalarga ega bo'lishni talab etadi. O'z navbatida esa moddiy jismlarning o'zaro ta'siri va mexanik harakati o'rganiladigan bir qator fanlar mexanika nomi bilan bog'liqdir. Ishchi organlarning harakati o'rganiladigan mashina va mexanizmlar nazariyasi, amaliy mexanika, suyuqliklar va ularga botirilgan jismlarning harakati o'rganiladigan gidromexanika, gazsimon jismlarning harakati va qattiq jismlarning gazsimon muhitdagi harakati o'rganiladigan aeromexanika, tirik organizmlarning mexanik xossalari va ularda sodir bo'ladigan mexanik hodisalar o'rganiladigan biomexanika kabi fanlar shular jumlasidan. Turli inshootlar, mashina va mexanizm qismlarini tatqiq qilish hamda loyihalashning umumiy usullari o'rganiladigan texnika fanlari materiallar

qarshiligi va mashina detallari ham mexanikaga taalluqlidir. Ishlab chiqarish jarayonlarining mexanizatsiyalashtirilishi va avtomatlashtirilishi, hamda turli xil inshootlarni loyihalash ishlari umumtexnika fanlarining asosi bo'lgan texnik mexanikani puxta o'rganishni talab qiladi.

Fanning ishlab chiqarishdagi o'rni

Mexanika sohasidagi izlanishlar matematikaning rivojlanishiga katta hissa qo'shgan va qo'shib bormoqda. Klassik mexanika ilmiy–texnik rivojlanishining poydevoridir. Mexanika fanidan tushunchaga ega bo'lmay, texnik fanlarni o'rganish mushkuldir. Mexanika fani texnikaning barcha sohalaridagi nazariy va amaliy hisoblashlarning va loyihalashlarning asosidir. Mexanika qonunlaridan qurilishning barcha sohalariga mansub bo'lgan inshootlarni loyihalashda foydalaniladi.

Mexanika yer haqidagi fanning asosini tashkil qiladi. Bularga matematik metrologiya, okean to'lqinlarini va daryo oqimlarini o'rganish, seysmologiya kiradi. Mexanika qonunlariga hayvonlarning ko'chishi, qushlarning uchishi, baliqlar harakati va qon tomirlaridagi qon harakati bo'ysunadi. Plazma harakati, zaryadlangan zarrachalarning magnit va elektr maydonidagi harakati ham mexanika qonunlariga bo'ysunadi.

Mexanika samolyotsozlik, raketa harakati nazariyalari uchun ham asosdir. Raketa va aviatsiya texnikasining rivojlanishi nazariy mexanikaning o'zgaruvchan massalar mexanikasi, nisbiy harakat mexanikasi, giroskop nazariyasi va harakatlarning ustivorligi, kichik tebranishlar nazariyasi, mexanikaning variatsion masalalari va optimallashtirish masalalari kabi bo'limlarining rivojlanishi bilan chambarchas bog'liqdir.

Yuqorida keltirilgan misollarga asosan ta'kidlash mumkinki, «Qurilish mexanikasi» fani barcha texnika fanlarining rivojlanishi uchun asosiy poydevordir.

Fanni o'qitishda zamonaviy axborot va pedagogik texnologiyalar

Fundamental fanlarning tarkibiy qismlaridan bo'lgan «Qurilish mexanikasi» fanini talabalar tomonidan chuqur o'zlashtirilishi uchun o'quv jarayonining ilg'or va zamonaviy usullaridan foydalanish, yangi informatsion va pedagogik texnologiyalarni tatbiq qilish muhim ahamiyatga egadir. Fanni o'zlashtirishda darslik, o'quv va uslubiy qo'llanmalar, ma'ruza matnlari, multimediya usullari, elektron o'quv qo'llanmalari, bannerlar, ko'rgazma qurollari, plakatlar, o'quv mashg'ulotlarini bajarish imkoniyatini beradigan zamonaviy kompyuter texnikasidan unumli foydalanish yaxshi samaralar beradi. Talabalarga ma'ruza va amaliy mashg'ulotlarni o'tishda, hisoblash - grafik ishlarini bajarishda va himoya qilishda o'quv mashg'ulotlarini bajarish imkoniyatini beradigan zamonaviy kompyuter texnikasidan, har bir mavzuni virtual tasavvur orqali o'qitilishini ta'minlovchi demonstratsion uskunalari va o'quv ko'rgazmali qurollar to'plamidan foydalaniladi.

“Qurilish mexanikasi” kursini loyihalashtirishda quyidagi asosiy kontse'tual yondoshuvlardan foydalaniladi:

Shaxsga yo'naltirilgan ta'lim. Bu ta'lim o'z mohiyatiga ko'ra ta'lim jarayonining barcha ishtirokchilarini to'laqonli rivojlanishlarini ko'zda tutadi. Bu esa ta'limni loyihalashtirilayotganda, albatta, ma'lum bir ta'lim oluvchining shaxsini emas, avvalo, kelgusidagi mutaxassislik faoliyati bilan bog'liq o'qish maqsadlaridan kelib chiqqan holda yondoshilishni nazarda tutadi.

Tizimli yondoshuv. Ta'lim texnologiyasi tizimning barcha belgilarini o'zida mujassam etmog'i lozim: jarayonning mantiqiyligi, uning barcha bo'g'inlarini o'zaro bog'langanligi, yaxlitligi.

Faoliyatga yo'naltirilgan yondoshuv. Shaxsning jarayonli sifatlarini shakllantirishga, ta'lim oluvchining faoliyatni aktivlashtirish va intensivlashtirish, o'quv jarayonida uning barcha qobiliyati va imkoniyatlari, tashabbuskorligini ochishga yo'naltirilgan ta'limni ifodalaydi.

Dialogik yondoshuv. Bu yondoshuv o'quv munosabatlarini yaratish zaruriyatini bildiradi. Uning natijasida shaxsning o'z-o'zini faollashtirishi va o'z-o'zini ko'rsata olishi kabi ijodiy faoliyati kuchayadi.

Hamkorlikdagi ta`limni tashkil etish. Demokratik, tenglik, ta`lim beruvchi va ta`lim oluvchi faoliyat mazmunini shakllantirishda va erishilgan natijalarni baholashda birgalikda ishlashni joriy etishga e`tiborni qaratish zarurligini bildiradi.

Muammoli ta`lim. Ta`lim mazmunini muammoli tarzda taqdim qilish orqali ta`lim oluvchi faoliyatini aktivlashtirish usullaridan biri. Bunda ilmiy bilimni ob`ektiv qarama-qarshiligi va uni hal etish usullarini, dialektik mushohadani shakllantirish va rivojlantirishni, amaliy faoliyatga ularni ijodiy tarzda qo`llashni mustaqil ijodiy faoliyati ta`minlanadi.

Axborotni taqdim qilishning zamonaviy vositalari va usullarini qo`llash - yangi kom'yuter va axborot texnologiyalarini o`quv jarayoniga qo`llash.

O`qitishning usullari va texnikasi. Ma`ruza (kirish, mavzuga oid, vizuallash), muammoli ta`lim, keys-stadi, pinbord, paradoks va loyihalash usullari, amaliy ishlar.

O`qitishni tashkil etish shakllari: dialog, polilog, muloqot hamkorlik va o`zaro o`rganishga asoslangan frontal, kollektiv va guruh.

O`qitish vositalari: o`qitishning an`anaviy shakllari (darslik, ma`ruza matni) bilan bir qatorda - kom'yuter va axborot texnologiyalari.

Kommunikatsiya usullari: tinglovchilar bilan operativ teskari aloqaga asoslangan bevosita o`zaro munosabatlar.

Teskari aloqa usullari va vositalari: kuzatish, blits-so`rov, oraliq va joriy va yakunlovchi nazorat natijalarini tahlili asosida o`qitish diagnostikasi.

Boshqarish usullari va vositalari: o`quv mashg`uloti bosqichlarini belgilab beruvchi texnologik karta ko`rinishidagi o`quv mashg`ulotlarini rejalashtirish, qo`yilgan maqsadga erishishda o`qituvchi va tinglovchining birgalikdagi harakati, nafaqat auditoriya mashg`ulotlari, balki auditoriyadan tashqari mustaqil ishlarning nazorati.

Monitoring va baholash: o`quv mashg`ulotida ham butun kurs davomida ham o`qitishning natijalarini rejali tarzda kuzatib borish. Kurs oxirida test to`shiriqlari yoki yozma ish variantlari yordamida tinglovchilarning bilimlari baholanadi.

“Qurilish mexanikasi” fanini o`qitish jarayonida kom'yuter texnologiyasidan, “Excel” elektron jadvallar dasturlaridan foydalaniladi. Ayrim mavzular bo`yicha

talabalar bilimini baholash test asosida va kom'yuter yordamida bajariladi. "Internet" tarmog'idagi rasmiy iqtisodiy ko'rsatkichlaridan foydalaniladi, tarqatma materiallar tayyorlanadi, test tizimi hamda tayanch so'z va iboralar asosida oraliq va yakuniy nazoratlar o'tkaziladi.

III. ASOSIY NAZARIY QISM (Ma'ruza mashg'ulotlari)

1-mavzu. Nazariy mexanika faniga kirish.

Statikaning asosiy tushunchalari. Statika aksiomalari. Bog'lanishlar va bog'lanish reaksiya kuchlari.

2-mavzu. Kesishuvchi kuchlar sistemasi.

Kesishuvchi kuchlar sistemasi teng ta'sir etuvchisini geometrik va analitik usulda aniqlash. Kesishuvchi kuchlar sistemasi muvozanati shartlarining geometrik va analitik usulda ifodalanishi.

3-mavzu. Kuchning nuqtaga nisbatan momenti. Juft kuch.

Kuchning nuqtaga nisbatan momenti. Juft kuch va juft kuch momenti. Bir tekislikda joylashgan juftlarni qo'shish. Juftlar sistemasining muvozanat shartlari.

4-mavzu. Tekislikda ixtiyoriy joylashgan kuchlar sistemasi.

Kuchni o'ziga parallel ko'chirish masalasi. Tekislikdagi kuchlar sistemasini bir markazga keltirish (qo'shish). Tekislikdagi kuchlar sistemasining bosh vektori va bosh momenti. Tekislikdagi kuchlar sistemasining muvozanat shartlari.

5-mavzu. Fazoda ixtiyoriy joylashgan kuchlar sistemasi.

Kuchning nuqtaga nisbatan moment vektori. Kuchning o'qqa nisbatan momenti Fazoviy kuchlar sistemasini bir markazga keltirish. Fazoda ixtiyoriy joylashgan kuchlar sistemasi muvozanat shartlari.

6-mavzu. Parallel kuchlar markazi. Qattiq jismning og'irlik markazi.

Parallel kuchlar markazi va uning radius vektori hamda kordinatalarini aniqlash. Qattiq jismning og'irlik markazi. Jismning og'irlik markazi holatini aniqlash usullari.

7-mavzu. Kinematikaga kirish. Nuqta kinematikasi

Kinematikaning asosiy tushunchalari, moddiy nuqta harakatining berilish usullari. Harakati vektor usulida berilgan nuqtaning tezlik va tezlanishi. Harakati koordinatalar usulida berilgan nuqtaning tezlik va tezlanishi

8-mavzu. Qattiq jismning eng sodda harakatlari

Qattiq jismning ilgarilama qo'zg'almas o'q atrofida aylanma harakati. Jismning burchak tezligi va burchak tezlanishi hamda ularni vektor tarzida ifodalash. Qo'zg'almas o'q atrofida aylanuvchi jism nuqtasining tezligi va tezlanishi.

9-mavzu. Qattiq jismning tekis parallel harakati

Tekis parallel harakat tenglamasi. Tezliklar oniy markazi va undan foydalanib tekish shakl nuqtasining tezligini aniqlash. Tekis shakl nuqtasining tezlanishi. Tezlanishlar oniy markazi.

10-mavzu. Nuqtaning murakkab harakati

Nuqtaning nisbiy, ko'chirma va absoyut harakatlari. Nuqtaning murakkab harakatida tezliklarni qo'shish teoremasi. Murakkab harakatdagi nuqtaning tezlanishlarini qo'shish teoremasi. Koriolis tezlanishi.

11-mavzu. Dinamikaga kirish. Dinamikaning asosiy qonunlari

Dinamikaning asosiy qonunlari. Moddiy nuqta harakatining differensial tenglamalari. Moddiy nuqta dinamikasining ikki asosiy masalasi.

12-mavzu. Moddiy nuqtaning to'g'ri chiziqli tebranma harakati

Moddiy nuqtaning erkin tebranma harakati. Moddiy nuqtaning tezligiga proporsional bo'lgan qarshilik kuchi ta'sirida nuqtaning erkin tebranma harakati. Moddiy nuqtaning majburiy tebranma harakati.

13-mavzu. Nuqta dinamikasining umumiy teoremlari

Moddiy nuqta harakat miqdori o'zgarishi haqida teoremlar. Moddiy nuqta harakat miqdori momentining o'zgarishi haqida teoremlar.

Kuchning ishi, quvvat va moddiy nuqta kinetik energiyasi.

14-mavzu. Mexanik sistema dinamikasiga kirish.

Mexanik sistemaga ta'sir etuvchi kuchlarni tasnifi. Mexanik sistemaning massalar markazi va uning koordinatalari. Mexanik sistema inersiya momentlari. Ba'zi oddiy shaklli jismlarning inersiya momentlarini hisoblash.

15-mavzu. Mexanik sistema dinamikasining umumiy teoremlari.

Mexanik sistema massalar markazining harakati haqida teorema. Sistema massalar markazi harakatining saqlanish qonuni. Mexanik sistema harakat miqdorining o'zgarishi haqidagi teorema.

16-mavzu. Materiallar qarshiligi faniga kirish.

Asosiy tushunchalar. Fanning maqsad va vazifalari. Fan tekshiradigan masalalar. Fanning rivojlanish tarixi va boshqa fanlar bilan uzviy bog'liqligi. Inshoot elementlarining modellari. Materiallar qarshiligida qabul qilingan asosiy gipoteza va cheklanishlar.

17-mavzu. Tekis kesim yuzalarining inersiya momentlari.

Tekis kesim yuzalarining statik momentlari. Tekis kesimning og'irlik markazi. Tekis kesim yuzasining qutb inersiya momenti. Tekis kesimning o'q va markazdan qochma inersiya momentlari. Oddiy kesimlarning inersiya momentlari.

18-mavzu. Bosh inersiya o'qlari va bosh inersiya momentlari.

Tekis kesim yuzining markaziy o'qqa parallel o'qqa nisbatan inersiya momenti. Koordinata o'qlari burilganda inersiya momentlarining o'zgarishi. Bosh inersiya o'qlari va bosh inersiya momentlari. Tekis kesim yuzalarining inersiya radiuslari.

19-mavzu. Ichki kuchlarni aniqlash.

Kesish usuli. Ichki kuchlar. Kuchlanishlar. Normal, urinma va to'la kuchlanishlar. Oddiy deformatsiya turlari.

20-mavzu. Cho'zilish yoki siqilishda kuchlanish va deformatsiya.

Sterjenning ko'ndalang kesimida vujudga keladigan zo'riqish kuchlari. Bo'ylama kuchlarni aniqlash va ularning epyuralarini chizish. Sterjenning ko'ndalang kesimidagi kuchlanishlar. Bo'ylama deformatsiya. Guk qonuni.

21-mavzu. Ko'ndalang deformatsiya.

Sterjen ko'ndalang kesimining ko'ndalang deformatsiyasi. Puasson koeffitsiyenti. Cho'zilish yoki siqilishda potensial energiya.

22-mavzu. Materiallarning mexanik xususiyatlarini tajribada o'rganish.

Materiallar va ularni sinash uslubi. Materiallarni cho'zilishga sinash. Cho'zilish diagrammasi. Materiallarni siqilishga sinash.

23-mavzu. Cho'zilish yoki siqilishga ishlaydigan sistemalarni mustahkamlikka va bikrlikka hisoblash.

Ruxsat etilgan kuchlanish. Ehtiyot koeffitsiyenti. Sterjenning cho'zilish yoki siqilishdagi mustahkamlik sharti. Sterjenning cho'zilish yoki siqilishdagi bikrlilik sharti.

24-mavzu. Cho'zilish yoki siqilishda sterjenning xususiy og'irligini hisobga olish.

Cho'zilgan yoki siqilgan sterjenlarning xususiy og'irligini hisobga olish. Pog'onali sterjenlar hisobi.

25-mavzu. Cho'zilish yoki siqilishda uchraydigan statik noaniq masalalar.

Statik noaniqlik darajasi. Statik noaniq sistemalarni hisoblash tartibi. Statik noaniq sistemalarda ichki kuchlarni aniqlash.

26-mavzu. Sterjenning qiya kesimlaridagi kuchlanishlarni aniqlash.

Oddiy cho'zilish yoki siqilishda sterjenlarning qiya kesimlarida vujudga keladigan kuchlanishlar. Kuchlanganlik holatlarining turlari. Chiziqli, tekis va hajmiy kuchlanganlik holatlari.

27-mavzu. Bosh kuchlanishlar va yuzalar.

Tekis kuchlanganlik holatida sterjenlarning qiya kesimlarida vujudga keladigan kuchlanishlar. Bosh kuchlanishlar va bosh yuzalarning yo'nalishini aniqlash. Mor doirasi.

28-mavzu. Hajmiy kuchlanganlik holati

Hajmiy kuchlanganlik holati va uning turlari. Hajmiy kuchlanganlik holatida deformatsiya. Hajmiy kuchlanish holatida deformatsiyaning potensial energiyasi. Kuchlanishlar konsentratsiyasi. Mustahkamlik nazariyalari.

29-mavzu. Siljishda kuchlanish va deformatsiya.

Sof siljish. Kuchlanish va deformatsiya. Sof siljishdagi Guk qonuni. Elastik doimiylari G , E va μ orasidagi munosabat. Siljishdagi potensial energiya.

30-mavzu. Siljishga ishlaydigan birikmalarni mustahkamlikka hisoblash.

Siljishda mustahkamlik sharti. Siljishga ishlaydigan konstruksiya qismlarining hisobi. Parchin mixli birikmalar. Payvand birikmalar hisobi.

31-mavzu. Buralishda kuchlanish va deformatsiya.

Buralish. Asosiy tushunchalar. Doiraviy kesimli sterjenning buralishi. Burovchi moment. Burovchi momentni quvvat orqali ifodalash. Doiraviy kesimli sterjenning buralishidan hosil bo'lgan kuchlanish. Doiraviy kesimli sterjenning buralishidagi deformatsiyasi.

32-mavzu. Doira kesimli sterjenni mustahkamlik va bikrlikka hisoblash.

Doira kesimli sterjenning buralishdagi mustahkamlik sharti. Buralgan sterjenlarning bikrlilik sharti. Buralish burchagining epyurasini chizish. Buralish deformatsiyasining potensial energiyasi.

33-mavzu. Buralishda statik noaniq masalalar

Buralishda statik noaniq masalalar. Kesimi doiraviy bo'lmagan sterjenlarning buralishi. Ochiq profilli kesimlar. Yupqa profilli sterjenlar. Yopiq kesim profilli sterjenlar. Doiraviy kesimli sterjenlarni chekli yuk ko'tara olish qobiliyati bo'yicha hisoblash.

34-mavzu. To'g'ri sterjenning tekis egilishi.

Umumiy tushunchalar. Balka kesimlaridagi ichki kuchlarni aniqlash. Ichki kuchlarning epyuralarni chizish. Eguvchi moment, ko'ndalang kuch va yoyilgan kuch orasidagi differensial munosabatlar.

35-mavzu. Egilishda balka ko'ndalang kesimidagi normal kuchlanishlarni aniqlash.

Sof egilish. Normal kuchlanishlarni aniqlash. Tekis shakllarning qarshilik momenti. Balkalarning normal kuchlanish bo'yicha mustahkamligini tekshirish.

36-mavzu. Egilishda balka ko'ndalang kesimidagi urinma kuchlanishlarni aniqlash.

Ko'ndalang egilish. Egilishdagi urinma kuchlanishlarni aniqlash. Balkalarning mustahkamligini urinma kuchlanishlar bo'yicha tekshirish.

37-mavzu. Balkalarning mustahkamligini bosh kuchlanishlar bo'yicha tekshirish.

Egilishdagi bosh normal va eng katta urinma kuchlanishlar. Balka mustahkamligini to'la tekshirish. Bosh kuchlanishlarning traektoriyasi. Sof egilgan balkalarni chekli yuk ko'tara olish qobiliyati bo'yicha hisoblash.

38-mavzu. Balkaning egilishdagi deformatsiyalarini aniqlash.

Balkalarning salqiligi va kesimlarning aylanish burchagi. Egilgan o'qning differensial tenglamasi. Balka egilgan o'qining taqribiy differensial tenglamasi va uning integrallari.

39-mavzu. Universal formula.

Egilgan o'qning boshlang'ich parametrlar orqali ifodalangan tenglamasi. Balkalarning bikrlilik sharti. Ratsional kesimlar. Teng qarshilikli balkalar.

40-mavzu. Qiyshiq egilishda kuchlanish va deformatsiya.

Brus murakkab deformatsiyasining ko'rinishlari. Ichki kuchlarni aniqlash. Qiyshiq egilishda balka kesimlaridagi normal kuchlanishlarni aniqlash. Qiyshiq egilishda balkaning deformatsiyasini aniqlash. Qiyshiq egilishda balkaning mustahkamlik va bikrlilik shartlari.

41-mavzu. Cho'zilish va egilishning birgalikdagi ta'siri.

Ichki kuchlarni aniqlash. Cho'zilish va egilishning birgalikdagi ta'siridan sterjen kesimlaridagi kuchlanishlarni aniqlash. Cho'zilish va egilishning birgalikdagi ta'sirida sterjenning mustahkamlik sharti.

42-mavzu. Nomarkaziy cho'zilish yoki siqilish.

Sterjenga bo'ylama kuchning nomarkaziy ta'siri. Nomarkaziy siqilishda normal kuchlanishlarni aniqlash. Neytral o'q holati. Kesim yadrosi

43-mavzu. Buralish bilan egilishning birgalikdagi ta'siri.

Sterjenning egilib buralishi. Ichki kuchlarni aniqlash. Sterjen egilib buralishida kuchlanishlarni aniqlash. Sterjenning egilib buralishida mustahkamlik sharti.

44-mavzu. Siqilgan sterjenlarning ustivorligi masalasi.

Umumiy tushunchalar. Ustivorlik holatlarining turlari. Kritik kuchni aniqlash. Eyler formulasi. Sterjenning egiluvchanligi, keltirilgan uzunligi. Sterjen uchlarining mahkamlanish usulini kritik kuch formulasiga ta'siri. Kritik kuchlanish. Eyler formulasining qo'llanish chegarasi.

45-mavzu. Siqilgan sterjenlarni hisoblash usullari.

Siqilgan sterjenlarni amalda hisoblash usullari (kesim tanlashning ketma-ket yaqinlashish, sterjenlarni yuk ko'tara olish qobiliyati bo'yicha hisoblash. Siqilgan sterjenning ustivorlik sharti. Siqilgan sterjen kesimlarining qulay shakllarini tanlash.

46-mavzu. Qurilish mexanikasi faniga kirish.

Qurilish mexanikasi fanining mohiyati va usullari. Qurilish mexanikasi fanining qisqacha rivojlanish tarixi va boshqa fanlar bilan uzviy bog'liqligi.

47-mavzu. Inshootlar hisoblash sxemalari va ularning turlari.

Inshootlar hisoblash sxemalarini tanlash. Inshootlar klassifikatsiyasi. Inshootlarga ta'sir etuvchi yuklar va ularning klassifikatsiyasi.

48-mavzu. Inshootlar hisoblash sxemalarining kinematik analizi.

Tayanchlar va ularning turlari. Geometrik o'zgarma, o'zgaruvchan va oniy o'zgaruvchan sistemalar. Sistemalarning erkinlik darajasi. Sterjenli sistemalarning geometrik o'zgarmaqligining zaruriy sharti.

49-mavzu. Oddiy va konsol balkalarda zo'riqishlarning ta'sir chiziqlari

Harakatlanuvchi yuklar va ta'sir chiziqlari haqida tushuncha. Oddiy va konsol balkalarda zo'riqishlarning ta'sir chiziqlari. Ta'sir chiziqlari yordamida zo'riqishlarni aniqlash.

50-mavzu. Ko'p oraliqli statik aniq balkalarni qo'zg'almas yuklar ta'siriga hisoblash.

Umumiy tushunchalar. Ko'p oraliqli statik aniq balkalar uchun qavatlararo sxemalarini chizish. Ko'p oraliqli balkalar uchun eguvchi moment va ko'ndalang kuchlar epyuralarini chizish.

51-mavzu. Ko'p oraliqli statik aniq balkalarni harakatlanuvchi yuklar ta'siriga hisoblash.

Ko'p oraliqli balka zo'riqishlarining ta'sir chiziqlarini chizish. Ko'p oraliqli balka zo'riqishlarini ta'sir chiziqlari yordamida aniqlash.

52-mavzu. Statik aniq tekis fermalarni qo'zg'almas yuklar ta'siriga hisoblash

Fermalar haqida umumiy tushuncha. Fermalarning turlari. Fermalarni hisoblash usullari. Tugun ajratish, moment nuqta va proyeksiyalash usullari. Ferma sterjenlaridagi zo'riqishlarni aniqlash.

53-mavzu. Statik aniq tekis fermalarni harakatlanuvchi yuklar ta'siriga hisoblash.

Ferma sterjenlari zo'riqishlari uchun ta'sir chiziqlarini chizish. Ta'sir chiziqlari orqali sterjenlardagi zo'riqish kuchlarini aniqlash.

54-mavzu. Shprengelli fermalarni hisoblash.

SHprengelli fermalar to'g'risida tushunchalar. Shprengelli ferma sterjenlarini toifalari. SHprengelli fermalarni harakatlanuvchi yuklar ta'siriga hisoblash.

55-mavzu. Uch sharnirli arkalarini qo'zg'almas va harakatlanuvchi yuklar ta'siriga hisoblash.

Uch sharnirli sistemalar to'g'risida umumiy tushunchalar. Uch sharnirli arkalarini qo'zg'almas yuklar ta'siriga hisoblash. Uch sharnirli arka zo'riqish kuchlarining ta'sir chiziqlari.

56-mavzu. Elastik sistemalardagi ko'chishlarni aniqlash.

Elastik sistemalardagi ko'chishlar. Qurilish mexanikasining ba'zi asosiy teoremlari. Ko'chishlarni aniqlash formulalari.

57-mavzu. Statik noaniq sistemalar va ularning xususiyatlari.

Statik noaniq sistemalar to'g'risida umumiy tushunchalar. Statik noaniq sistemalarning xususiyatlari. Statik noaniq sistemalarni hisoblash usullari. Statik noaniqlik darajasi.

58-mavzu. Statik noaniq ramalarni kuchlar usulida hisoblash.

Kuchlar usulining mohiyati va noma'lumlari. Kuchlar usulining asosiy sistemasi. Kuchlar usulining kanonik tenglamalari. Kuchlar usulining kanonik tenglama koeffitsientlari va ozod hadlarini aniqlash. Kuchlar usulining kanonik tenglama koeffitsientlari va ozod hadlarini tekshirish. Natijaviy eguvchi moment, ko'ndalang va bo'ylama kuchlarni aniqlash.

59-mavzu. Simmetrik ramalarni kuchlar usulida hisoblash.

Umumiy tushunchalar. Statik noaniq simmetrik ramalarni simmetrikligidan foydalanish. Simmetrik rama noma'lumlarini guruhlash usuli. Simmetrik ramaga qo'yilgan tashqi yuklarni simmetrik va nosimmetrik yuklarga ajratish usuli.

60-mavzu. Statik noaniq arkalarini hisoblash.

Umumiy tushunchalar. Ikki sharnirli arkalarini kuchlar usulida hisoblash. Sharnirsiz arkalarini kuchlar usulida hisoblash.

61-mavzu. Statik noaniq fermalarni hisoblash.

Statik noaniq fermalar to'g'risida umumiy tushunchalar. Statik noaniq fermalarni hisoblash usullari.

62-mavzu. Uzlüksiz balkalarni hisoblash.

Uzlüksiz balkalar to'g'risida umumiy tushunchalar. Uzlüksiz balkalar hisobiga kuchlar usulining tadbig'i. Asosiy sistemani tanlash. Uch moment tenglamasi. Uzlüksiz balkalardagi eguvchi moment, ko'ndalang kuch va tayanch reaksiyalarini aniqlash. Uzlüksiz balkalarni hisoblashning moment fokuslari usuli haqida tushuncha. Chap va o'ng fokuslar nisbatlarini aniqlash. Uzlüksiz balka yuklangan oralig'ining tayanch momentlarini aniqlash. Fokus nisbatlaridan foydalanib tayanch momentlarini aniqlash.

63-mavzu. Statik noaniq ramalarni ko'chishlar usulida hisoblash.

Ko'chishlar usulining mohiyati va noma'lumlari. Kinematik noaniqlik darajasi. Ko'chishlar usulining asosiy sistemasi. Ko'chishlar usulining kanonik tenglamalari. Ko'chishlar usulining kanonik tenglama koeffitsiyentlarini va ozod hadlarini aniqlash. Ko'chishlar usulining kanonik tenglamalari. Kuchlar usulining kanonik

tenglama koeffitsiyentlarini va ozod hadlarini tekshirish. Ko'ndalang va bo'ylama kuchlar epyuralarini chizish.

64-mavzu. Statik noaniq ramalarni aralash usulda hisoblash.

Kuchlar va ko'chishlar usullarining o'xshashliklari va farqlari. Statik noaniq ramani hisoblashning hisoblashning aralash usuli.

“Qurilish mexanikasi” fani bo'yicha ma'ruza mashg'ulotining tematik rejasi 3-semestr. 30 soat.

No	Ma'ruza mavzulari	Soat
1	Nazariy mexanika faniga kirish. Statikaning asosiy tushunchalari. Statika aksiomalari. Bog'lanishlar va bog'lanish reaksiya kuchlari. Kesishuvchi kuchlar sistemasi.	2
2	Kuchning nuqtaga nisbatan momenti. Juft kuch. Kuchning nuqtaga nisbatan momenti. Juft kuch va juft kuch momenti. Bir tekislikda joylashgan juftlarni qo'shish. Juftlar sistemasining muvozanat shartlari.	2
3	Tekislikda va fazoda ixtiyoriy joylashgan kuchlar sistemasi. Kuchni o'ziga parallel ko'chirish. Tekislikda va fazoda kuchlar sistemasini bir markazga keltirish. Tekislikda va fazoda kuchlar sistemasining muvozanat shartlari.	2
4	Parallel kuchlar markazi. Qattiq jismning og'irlik markazi.	2
5	Kinematikaga kirish. Nuqta kinematikasi. Kinematikaning asosiy tushunchalari, moddiy nuqta harakatining berilish usullari. Moddiy nuqta harakatining tezlik va tezlanishi.	2
6	Qattiq jismning eng sodda harakatlari. Qattiq jismning ilgarilama va qo'zg'almas o'q atrofida aylanma harakati. Tezlik va tezlanishlarni aniqlash.	2
7	Qattiq jismning tekis parallel harakati. Nuqtaning murakkab harakati.	2
8	Dinamikaga kirish. Dinamikaning asosiy qonunlari. Moddiy nuqta dinamikasining ikki asosiy masalasi.	2
9	Moddiy nuqtaning to'g'ri chiziqli tebranma harakati.	2
10	Moddiy nuqta va mexanik sistema dinamikasining umumiy teoremlari. Kuchning ishi, quvvat va kinetik energiya.	2
11	Materiallar qarshiligi faniga kirish. Asosiy tushunchalar. Fanning maqsad va vazifalari. Materiallar qarshiligida qabul qilingan asosiy gipoteza va cheklanishlar.	2
12	Tekis kesim yuzalarining inersiya momentlari. Bosh inersiya o'qlari va bosh inersiya momentlari.	2
13	Ichki kuchlarni aniqlash. Kesish usuli. Ichki kuchlar. Kuchlanishlar. Normal, urinma va to'la kuchlanishlar. Oddiy deformatsiya turlari. Cho'zilish yoki siqilishda kuchlanish va deformatsiya. Ko'ndalang deformatsiya.	2
14	Materiallarning mexanik xususiyatlarini tajribada o'rganish.	2

	Cho'zilish diagrammasi.	
15	Cho'zilish yoki siqilishda uchraydigan statik noaniq masalalar. Statik noaniqlik darajasi. Statik noaniq sistemalarni hisoblash tartibi. Statik noaniq sistemalarda ichki kuchlarni aniqlash.	2
	Jami	30

**“Qurilish mexanikasi” fani bo'yicha ma'ruza mashg'ulotining
tematik rejasi**

4-semestr. 30 soat.

No	Ma'ruza mavzulari	Soat
1	Sterjenning qiya kesimlaridagi kuchlanishlarni aniqlash. Bosh kuchlanishlar va bosh yuzalar. Hajmiy kuchlanganlik holati.	2
2	Siljishda va buralishda kuchlanish va deformatsiya. Buralishda doira kesimli sterjenni mustahkamlik va bikrlikka hisoblash. Buralishda statik noaniq masalalar.	2
3	To'g'ri sterjenning tekis egilishi. Egilishda balka ko'ndalang kesimidagi normal va urinma kuchlanishlarni aniqlash. Balkalarning mustahkamligini bosh kuchlanishlar bo'yicha tekshirish. Balkaning egilishdagi deformatsiyalarini aniqlash. Universal formula.	2
4	Qiyshiq egilishda kuchlanish va deformatsiya. Cho'zilish va egilishning birgalikdagi ta'siri. Nomarkaziy cho'zilish yoki siqilish.	2
5	Siqilgan sterjenlarning ustivorligi masalasi. Siqilgan sterjenlarni hisoblash usullari.	2
6	Qurilish mexanikasi faniga kirish. Inshootlar hisoblash sxemalari va ularning turlari. Inshootlar hisoblash sxemalarining kinematik analizi.	2
7	Oddiy va konsol balkalarda zo'riqlashlarning ta'sir chiziqlari. Harakatlanuvchi yuklar va ta'sir chiziqlari haqida tushuncha. Oddiy va konsol balkalarda zo'riqlashlarning ta'sir chiziqlari.	2
8	Ko'p oraliqli statik aniq balkalarni qo'zg'almas va harakatlanuvchi yuklar ta'siriga hisoblash.	2
9	Statik aniq tekis fermalarni qo'zg'almas va harakatlanuvchi yuklar ta'siriga hisoblash. Shprengelli fermalarni hisoblash.	2
10	Uch sharnirli arkalarini qo'zg'almas va harakatlanuvchi yuklar ta'siriga hisoblash.	2
11	Elastik sistemalardagi ko'chishlarni aniqlash. Elastik sistemalardagi ko'chishlar. Qurilish mexanikasining ba'zi asosiy teoremlari. Ko'chishlarni aniqlash formulalari.	2
12	Statik noaniq sistemalar va ularning xususiyatlari. Statik noaniq ramalarni kuchlar usulida hisoblash.	2
13	Simmetrik ramalarni kuchlar usulida hisoblash.	2

14	Statik noaniq arkalarni hisoblash. Statik noaniq fermalarni hisoblash.	2
15	Uzluksiz balkalarni hisoblash. Uzluksiz balkalar to'g'risida umumiy tushunchalar. Uzluksiz balkalar hisobiga kuchlar usulining tadbiri. Asosiy sistemani tanlash. Uch moment tenglamasi.	2
	Jami:	30

IV. Amaliy mashg'ulotlar bo'yicha ko'rsatma va tavsiyalar

1. Vektorlar ustida amallar. To'g'ri chiziqda yotuvchi kuchlar muvozanat shartiga oid masalalar.
2. Kesishuvchi kuchlar sistemasining geometrik muvozanat shartiga oid masalalar.
3. Kesishuvchi kuchlar sistemasining analitik muvozanat shartiga oid masalalar.
4. Tekislikda ixtiyoriy joylashgan kuchlar sistemasining muvozanatiga oid masalalar.
5. Fazodagi kuchlar sistemasining muvozanatiga oid masalalar.
6. Parallel kuchlar markazi, qattiq jismning og'irlik markazini aniqlashga oid masalalar.
7. Berilgan harakat tenglamalari bo'yicha nuqtaning traektoriyasi, tezlik va tezlanishini topish.
8. Qattiq jismning qo'zg'almas o'q atrofida aylanishi va aylanma harakatdagi jism nuqtasining tezlik va tezlanishni topishga oid masalalar.
9. Qattiq jismning tekis parallel harakatiga oid masalalar.
10. Tekis parallel harakatdagi jism nuqtalarining tezlik va tezlanishlarini topishga oid masalalar.
11. Dinamikaning birinchi va ikkinchi masalasiga oid masalalar.
12. Nuqtaning erkin va so'nuvchi tebranma harakatiga oid masalalar.
13. Nuqtaning majburiy tebranma harakatiga oid masalalar.
14. Moddiy nuqta harakat miqdori va kinetik energiyasi o'zgarishi haqida teoremlarga oid masalalar.
15. Moddiy sistema harakat miqdori va harakat miqdori bosh momentining o'zgarishi haqidagi teoremlarga doir masalalar.
16. Nosimmetrik kesimlarning og'irlik markazi holatini aniqlash.
17. Nosimmetrik kesimlarning o'q inersiya momentlarini aniqlash.
18. Bosh o'qlar vaziyati va bosh inersiya momentlarini aniqlash.
19. Kesish usuli. Balka, rama va egri bruslar uchun ichki kuchlarni aniqlash.
20. To'g'ri sterjenni cho'zilish (siqilish) da kuchlanish va deformatsiyani aniqlash.
21. Sterjenli sistemalarni mustahkamlikka va bikrlikka hisoblash.
22. Cho'zilish(siqilish) deformatsiyalarida xususiy og'irlikni hisobga olish.
23. Cho'zilish(siqilish) deformatsiyasida uchraydigan statik noaniq masalalar.
24. Murakkab kuchlanish holatida kuchlanishlarni aniqlash.
25. Siljishga ishlaydigan birikmalarni mustahkamlikka hisoblash.
26. Doira kesimli sterjenning buralishi.
27. Doira kesimli sterjenni mustahkamlikka va bikrlikka hisoblash.

28. Egilishda balka kesimlaridagi ichki kuchlarni aniqlash.
29. Egilishda balka ko'ndalang kesimidagi normal kuchlanishlarni aniqlash.
30. Egilishda balka ko'ndalang kesimidagi urinma kuchlanishlarni aniqlash.
31. Balkaning mustahkamligini to'la tekshirish.
32. Egilishda balka deformatsiyalarini aniqlash.
33. Qiyshiq egilishda balka kesimlarida normal kuchlanish va deformatsiyalarni aniqlash.
34. Nomarkaziy siqilishda normal kuchlanishlarni aniqlash.
35. Neytral o'q holatini aniqlash va kesim yadrosini chizish.
36. Siqilgan sterjenning ustivorligi masalasi.
37. Bo'yлама egilishda sterjenning ustivorligi va mustahkamligini tekshirish.
38. Statik aniq balkalarda ichki kuchlarni matrilsalar nazariyasini qo'llab aniqlash.
39. Inshootlar hisoblash sxemalarining kinematik analizi.
40. Ko'p oraliqli statik aniq balkalarni qo'zg'almas yuklar ta'siriga hisoblash.
41. Oddiy va konsol balkalarda zo'riqlarning ta'sir chiziqlarini statik usulda chizish.
42. Ta'sir chiziqlari yordamida zo'riqlarni aniqlash.
43. Ko'p oraliqli statik aniq balkalarni harakatlanuvchi yuklar ta'siriga hisoblash.
44. Statik aniq tekis fermalarni qo'zg'almas yuklar ta'siriga hisoblash.
45. Statik aniq tekis fermalarni harakatlanuvchi yuklar ta'siriga hisoblash.
46. Bir pog'onali shprengelli fermalarni hisoblash.
47. Ikki pog'onali shprengelli fermalarni hisoblash.
48. Uch sharnirli arkani qo'zg'almas yuklar ta'siriga hisoblash.
49. Harakatlanuvchi yuklar ta'sirida bo'lgan uch sharnirli arka zo'riqlarini ta'sir chiziqlari yordamida aniqlash.
50. Statik aniq oddiy sistemalarda ko'chishlarni aniqlash.
51. Statik noaniq ramalarni kuchlar usulida hisoblash. Kuchlar usulining asosiy sistemasini tanlash va kanonik tenglamalarini yozish. Kanonik tenglama koefitsientlari va ozod xadlarini aniqlash. Kanonik tenglama koefitsientlari va ozod xadlarini tekshirish. Natijaviy eguvchi moment, ko'ndalang va bo'yлама kuchlarni aniqlash.
52. Simmetrik ramalarni kuchlar usulida hisoblash.
53. Uzluksiz balkalarni qo'zg'almas yuklar ta'siriga hisoblash.
54. Uzluksiz balkalarni fokuslar usuli bilan bilan hisoblash.
55. Statik noaniq ramalarni ko'chishlar usulida hisoblash. Ko'chishlar usulining asosiy sistemasini tanlash va kanonik tenglamalarini yozish. Kanonik tenglama koefitsientlari va ozod xadlarini aniqlash. Natijaviy eguvchi moment, ko'ndalang va bo'yлама kuchlarni aniqlash.

**“Qurilish mexanikasi” fani bo'yicha amaliy mashg'ulotlarning
tematik rejasi 3-semestr 30 soat**

№	Amaliy mashg'ulotlar mavzulari	Soat
1	Vektorlar ustida amallar. To'g'ri chiziqda yotuvchi kuchlar	2

	muvozanat shartiga oid masalalar. Kesishuvchi kuchlar sistemasining geometrik va analitik muvozanat shartiga oid masalalar.	
2	Tekislikda va fazoda ixtiyoriy joylashgan kuchlar sistemasining muvozanatiga oid masalalar.	2
3	Parallel kuchlar markazi, qattiq jismning og'irlik markazini aniqlashga oid masalalar.	2
4	Berilgan harakat tenglamalari bo'yicha nuqtaning trayektoriyasi, tezlik va tezlanishini topish.	2
5	Qattiq jismning qo'zg'almas o'q atrifida aylanishi va aylanma harakatdagi jism nuqtasining tezlik va tezlanishini topishga oid masalalar.	2
6	Qattiq jismning tekis parallel harakatiga oid masalalar.	2
7	Dinamikaning birinchi va ikkinchi masalasiga oid masalalar.	2
8	Nuqtaning erkin va so'nuvchi tebranma harakatiga oid masalalar.	2
9	Moddiy nuqta harakat miqdori va kinetik energiyasio'zgarishi haqida teoremlarga oid masalalar.	2
10	Moddiy sistema harakat miqdori va harakat miqdori bosh momentining o'zgarishi haqidagi teoremlarga doir masalalar.	2
11	Nosimmetrik kesimlarning og'irlik markazini va o'q inersiya momentlarini holatini aniqlash.	2
12	Bosh o'qlar vaziyati va bosh inersiya momentlarini aniqlash.	2
13	Kesish usuli. Balka, rama va egri bruslar uchun ichki kuchlarni aniqlash.	2
14	To'g'ri sterjenni cho'zilish (siqilish)ida kuchlanish va deformatsiyani aniqlash. Sterjenli sistemalarni mustahkamlikka va bikrlikka hisoblash.	2
15	Cho'zilish(siqilish) deformatsiyasida uchraydigan statik noaniq masalalar.	2
	Jami	30

**“Qurilish mexanikasi” fani bo'yicha amaliy mashg'ulotlarning
tematik rejasi 4-semestr 20 soat**

No	Amaliy mashg'ulotlar mavzulari	Soat
1	Siljishga ishlaydigan birikmalarni mustahkamlikka hisoblash.	2
2	Doira kesimli sterjenning buralishi.	2
3	Egilishda balka kesimlaridagi ichki kuchlarni aniqlash. Balkaning mustahkamligini to'la tekshirish.	2
4	Qiyshiq egilishda balka kesimlarida normal kuchlanish va deformatsiyalarni aniqlash.	2
5	Siqilgan sterjenning ustivorligi masalasi.	2
6	Ko'p oraliqli statik aniq balkalarni qo'zg'almas yuklar ta'siriga	2

	hisoblash. Oddiy va konsol balkalarda zo‘riqlashlarning ta’sir chiziqlarini statik usulda chizish.	
7	Ta’sir chiziqlari yordamida zo‘riqlashlarni aniqlash. Ko‘p oraliqli statik aniq balkalarni harakatlanuvchi yuklar ta’siriga hisoblash.	2
8	Statik aniq tekis fermalarni qo‘zg‘almas va harakatlanuvchi yuklar ta’siriga hisoblash.	2
9	Uch sharnirli arkani qo‘zg‘almas yuklar ta’siriga hisoblash. Harakatlanuvchi yuklar ta’sirida bo‘lgan uch sharnirli arka zo‘riqlashlarini ta’sir chiziqlari yordamida aniqlash.	2
10	Statik aniq oddiy sistemalarda ko‘chishlarni aniqlash. Statik noaniq ramalarni kuchlar usulida hisoblash.	2
	Jami	20

V. Laboratoriya ishlarini tashkil etish bo‘yicha ko‘rsatmalar

Laboratoriya ishlarida talabalar bino va inshootlar elementlari va konstruksiyalarini tashkil etuvchi qurilish materiallarining mexanik xarakteristikalarini, inshoot elementlari va konstruksiyalarida tashqi kuchlar ta’siridan hosil bo‘ladigan deformatsiyalarni aniqlash bo‘yicha amaliy ko‘nikma va malaka hosil qiladilar.

Laboratoriya ishlarining tavsiya etiladigan mavzulari:

- Po‘lat namunani cho‘zilishga sinash. Po‘latning mexanik xarakteristikalarini aniqlash. Cho‘zilish diagrammasini chizish.
- Po‘lat materiali uchun elastiklik moduli aniqlash.
- Turli materiallarni siqilish deformatsiyasiga sinash. Mustahkamlik chegaralarini aniqlash.
- Po‘lat materialini kesilishga, yog‘och materialini yorilishga sinash. Mustahkamlik chegaralarini aniqlash.
- Doira kesimli sterjenni buralishga sinash (virtual).
- Yog‘och balkaning egilishdagi mustahkamligini aniqlash.
- Egilishda balkaning deformatsiyalarini aniqlash
- Konsol balkaning qiya egilishdagi deformatsiyalarini aniqlash.

“Materiallar qarshiligi” fani bo‘yicha tajriba mashg‘ulotlarning tematik rejası 4-semestr 10 soat

№	Laboratoriya ishlari mavzulari	Soat
1	Po‘lat namunani cho‘zilishga sinash. Po‘latning mexanik xarakteristikalarini aniqlash. Cho‘zilish diagrammasini chizish.	2
2	Turli materiallarni siqilish deformatsiyasiga sinash. Mustahkamlik chegaralarini aniqlash.	2

3	Po'lat materialini kesilishga, yog'och materialini yorilishga sinash. Mustahkamlik chegaralarini aniqlash.	2
4	Yog'och balkaning egilishdagi mustahkamligini aniqlash.	2
5	Egilishda balkaning deformatsiyalarini aniqlash	2
	jami	10

VI. Hisob – grafik ishlarini tashkil etish bo'yicha ko'rsatmalar

Hisob-grafik ishlarni bajarishning asosiy maqsadi - talabalarning olgan nazariy bilimlarini amalda qo'llash bo'yicha ko'nikmalar hosil qilishi va ularning mustaqil ishlashini shakllantirishdir.

Fan bo'yicha har bir talaba individual topshiriq asosida hisob-grafik ishlari bajariladi. Ularni bajarishda kafedrada mazkur hisob-grafik ishlarini bajarish bo'yicha ishlab chiqilgan uslubiy ko'rsatmalardan va mustaqil ishlash uchun tayyorlangan masalalardan foydalanish tavsiya etiladi.

Hisob-grafik ishlarining mavzulari:

1. Qo'shma konstruksiyaning tayanch reaksiyalarini aniqlash.
2. Jism og'irlik markazini aniqlash.
3. Tekis mexanizmning kinematik tahlili.
4. Moddiy nuqtaning tebranma harakatini o'rganish
5. Nosimmetrik kesimlarning inersiya momentlari
6. Balka, rama va egri bruslar uchun ichki kuchlar epyuralarini chizish.
7. Sterjenli sistemalarni cho'zilish yoki siqilishga hisoblash.
8. Balkani mustahkamlikka va bikrlikka hisoblash.
9. Bikrligi cheksiz ustunni nomarkaziy siqilishga hisoblash.
10. Qo'shma metall ustunni ustuvorlikka hisoblash.
11. Ko'p oraliqli statik aniq balka hisobi.
12. Statik aniq oddiy ferma hisobi.
13. Uch sharnirli arka hisobi.
14. Statik noaniq ramani kuchlar usulida hisoblash.
15. Uzlaksiz balka hisobi.
16. Statik noaniq ramani ko'chishlar usulida hisoblash.

3-semestr uchun hisob-grafik ishlarining mavzulari:

1. Qo'shma konstruksiyaning tayanch reaksiyalarini aniqlash.
2. Nosimmetrik kesimlarning inersiya momentlari.
3. Sterjenli sistemalarni cho'zilish yoki siqilishga hisoblash.

4-semestr uchun hisob-grafik ishlarining mavzulari:

1. Balkani mustahkamlikka va bikrlikka hisoblash.
2. Statik aniq oddiy ferma hisobi.
3. Statik noaniq ramani kuchlar usulida hisoblash.

VII. Mustaqil ta'lim va mustaqil ishlar

1. Sirpanishdagi ishqalanish qonunlari. Ishqalanish burchagi. Ishqalanish konusi. Jismlarning ishqalanish kuchi hisobga olinganidagi muvozanati.
2. Statik aniq va statik aniqmas masalalar. Bir nechta jismdan tashkil topgan sistemaning muvozanati.
3. Fazodagi kuchlar sistemasini invariantlari.
4. Tekis shakl nuqtalari tezlanishlarining oniy markazi
5. Moddiy nuqtaning majburiy tebranishiga muxit qarshiligining ta'siri.
6. Ko'chirma va Koriolis inersiya kuchlari. Koriolis inersiya kuchining er ustidagi jismlarga ta'siri.
7. Jismning parallel o'klarga nisbatan inersiya momentlarini hisoblash. Markazdan qochma inersiya momentlari. Jismning berilgan nuqtasidan o'tuvchi ixtiyoriy o'qqa nisbatan inersiya momentlari.
8. Qo'zg'almas o'q atrofida aylanuvchi qattiq jismning aylanish o'qiga ko'rsatadigan dinamik bosimini Dalamber prinsipi yordamida aniqlash
9. Mumkin bo'lgan ko'chish prinsipini bog'lanish reaksiyalarini aniqlashga tadbiqu.
10. Tayanchlar va ularning turlari
11. Teng qarshilikli sterjenlar.
12. Sterjenlarni chekli yuk ko'tara olish qobiliyati bo'yicha hisoblash.
13. Teng qarshilikli balkalar.
14. O'zgaruvchan kesimli sterjenlarning ustivorligi masalasi.
15. Vaqt bo'yicha davriy o'zgaruvchan kuchlanishlarda materiallar mustahkamligi.
16. Inshootga ta'sir etuvchi yuklar va ularning turlari.
17. Ta'sir chiziqlarini chizishning kinematik usuli.
18. Murakkab fermalarning geometrik o'zgarmasligini tadqiq etish.
19. Fermalarning ratsional shakllarini tanlash.
20. Arka o'qining ratsional shakli.
21. Uch sharnirli arkasimon fermalarni harakatlanuvchi yuklar ta'siriga hisoblash.
22. Statik noaniq sistemalarni temperatura ta'siriga hisoblash.
23. Statik noaniq sistemalarni tayanchlar cho'kishiga hisoblash.
24. Statik noaniq sistemalarni kuchlar usuli bilan matrilsalar yordamida hisoblash.
25. Statik noaniq sistemalarni chekli elementlar usuli yordamida hisoblash.

Qurilish mexanikasida masalalar yecha olish katta ahamiyatga ega. Ayrim mavzularni chuqur o'rganish va masala yechishning asosiy yo'li darslik va o'quv qo'llanmalar bilan mustaqil ishlay olishdir. Kitob bilan mustaqil ishlay bilish nafaqat muhandis tayyorlash, balki uning hamma faoliyatining asosi hisoblanadi. Undan tashqari, talabalarga o'tilgan mavzularni mustaqil o'zlashtirishlari uchun ma'ruza matnlaridan foydalanish ham tavsiya etiladi. Talabalarning mavzularni mustaqil

o'zlashtirishi alohida baholanmaydi, ular joriy, oraliq va yakuniy baholashda o'z aksini topadi.

Mustaqil ta'lim talabalar uchun majburiy o'quv mashg'uloti hisoblanadi va u rejaviy xarakterga ega. Mustaqil ish mavzulari mustaqil o'zlashtirish uchun rejalashtirilgan ma'ruza va amaliy mashg'ulotlar mavzularidan iboratdir. Mustaqil ta'lim talabalarning nazariy bilimlarini mustahkamlaydi va mavzularni yaxshi o'zlashtirishga yordam beradi.

Mustaqil o'zlashtiriladigan mavzular bo'yicha talabalar tomonidan konspekt qilish, prezentatsiya tayyorlash, referatlar tayyorlash va uni taqdimot qilish tavsiya etiladi.

Dasturning informatsion-uslubiy ta'minoti

Mazkur fanni o'qitish jarayonida ta'limning zamonaviy ilg'or interfaol usullaridan, pedagogik va axborot-kommunikatsiya texnologiyalarining prezentatsiya (taqdimot), multimedia va elektron-didaktik texnologiyalardan foydalaniladi. Amaliy mashg'ulotlarda aqliy xujum, klaster, blits-so'rov, guruh bilan ishlash, insert, taqdimot, keys stadi kabi usul va texnikalardan keng foydalaniladi.

VIII. Fan o'qitilishining natijalari (shakllanadigan kompetensiyalar)

Fanni o'zlashtirish natijasida talaba:

- turli xil, tekislikda va fazoda ixtiyoriy joylashgan kuchlar sistemalari ta'siridagi qattiq jismning muvozanat shartlari, qattiq jismning og'irlik markazini topish usullari; mexanik harakatdagi qattiq jismning harakat shakllari, atrof-muhitda sodir bo'layotgan o'zgarishlarni hisobga olgan holda mexanik harakatning qonuniyatlari; dinamikaning asosiy qonun va tamoyillari, mexanik sistemalarni harakatining differensial tenglamalari, qattiq jism dinamikasining umumiy teoremlari; inshoot elementlarida vujudga keladigan ichki kuchlar, oddiy deformatsiya turlarida vujudga keladigan kuchlanish va deformatsiyalar, bino va inshootlarning hisoblash sxemasi va ularning kinematik analizi; ta'sir chiziqlar nazariyasi, elastik sistemalarda vujudga keladigan ko'chishlar, statik aniq va noaniq sistemalarni hisoblash usullari tasavvur va bilimga ega bo'lishi;
- fanning nazariy asoslari va amaliy masalalarni yechishda fanning hisoblash formulalarini; inshoot konstruksiyalarining hisobiy modellarini to'g'ri tanlash; inshoot elementlarida ichki kuchlar va deformatsiyalarni aniqlash; bino va inshootlarning hisoblash sxemasini tanlash va ularning kinematik analizi; ta'sir chiziqlar nazariyasi; statik aniq va noaniq sistemalarni qo'zg'almas va harakatlanuvchi yuklar ta'siriga hisoblash ko'nikmalariga ega bo'lishi;
- qurilish mexanikasi fanidan olgan bilimni muhandislik va maxsus fanlarni o'tish jarayonida qo'llash va tatbiq etish; bino va inshootlar elementlarining

hisobiy modellarini tanlash, bino va inshootlar hisoblash sxemalarini tanlash va ularni kinematik analiz qilish; inshootlarda zo'riqishlar va ko'chishlarni aniqlash; statik aniq va noaniq sistemalarni hisoblash malakasiga ega bo'lishi kerak.

IX. Qurilish mexanikasi fanidan talabalar bilimini baholash mezonlari

Qurilish mexanikasi fanidan talabalarni baholashda, ma'ruza, amaliy, tajriba mashg'ulotlariga qatnashishi va unda olgan baholarini inobatga olinadi.

1. Oraliq nazorati ma'ruza, amaliy mashg'ulotlaridagi mavzularni qamrab oladi. Talaba amaliy va tajriba darslarida "3", "4" yoki "5" baho olgandagina oraliq nazoratiga kiritiladi.
2. Semester uchun ajratilgan ma'ruza mashg'uloti 18 soat bo'lgan yo'nalishlar uchun bitta oraliq nazorati, ma'ruza mashg'uloti 36 soat bo'lgan yo'nalishlar uchun ikkita oraliq nazorati o'tkaziladi.
3. Birinchi oraliqda talaba ma'ruza darslarining birinchi yarmida o'tilgan mavzular bo'yicha savollarga javob berishi, oraliq nazoratini topshirish uchun amaliy hamda tajriba darslarining birinchi yarmidagi mashg'ulotlarda bo'limlar bo'yicha "3", "4" yoki "5" baho olgan bo'lishi kerak.
4. Ikkinchi oraliqda talaba ma'ruza darslarining ikkinchi yarmida o'tilgan mavzular bo'yicha savollarga javob berishi, oraliq nazoratini topshirish uchun amaliy hamda tajriba darslarining ikkinchi yarmidagi mashg'ulotlarda bo'limlar bo'yicha "3", "4" yoki "5" baho olgan bo'lishi kerak.

Yakuniy nazorat yozma yoki test shaklida bo'lib bunda beriladigan savollar ma'ruza, tajriba va amaliy darslaridagi barcha mavzular bo'yicha tuziladi. Oraliq nazoratida "2" baho olgan talaba yakuniy nazoratga kiritilmaydi.

Yakuniy nazoratdagi baho talabaning fanni tegishli semestrini o'zlashtirish ko'rsatkichi hisoblanadi.

Talaba:

5 (a'lo) baho - talaba mustaqil xulosa va qaror qabul qiladi, ijodiy fikrlay oladi, mustaqil mushoxada yuritadi, olgan bilimni amalda qo'llay oladi, fanning (mavzuning) mohiyatini tushunadi, biladi, ifodalay oladi, aytib beradi hamda fan (mavzu) bo'yicha tasavvurga ega deb topilganda qo'yiladi.

4 (yaxshi) baho - talaba mustaqil mushoxada yuritadi, olgan bilimni amalda qo'llay oladi, fanning (mavzuning) mohiyatni tushunadi, biladi, ifodalay oladi, aytib beradi hamda fan (mavzu) bo'yicha tasavvurga ega deb topilganda qo'yiladi

3 (qoniqarli) baho - talaba olgan bilimni amalda qo'llay oladi, fanning (mavzuning) mohiyatni tushunadi, biladi, ifodalay oladi, aytib beradi hamda fan (mavzu) bo'yicha tasavvurga ega deb topilganda qo'yiladi.

talaba fan dasturini o'zlashgirmagan, fanning (mavzuning) mohiyatini tushunmaydi hamda fan (mavzu) bo'yicha tasavvurga ega emas deb topilganda - 2 (qoniqarsiz) baho bilan baholanadi.

Ushbu Texnik mexanika fanidan baholash nizomini tuzishda talabani darslarda faol ishtirok etishini va barcha turdagi dars mashg'ulotlarida oladigan baholari inobatga olingan.

Joriy nazorat

Joriy nazorat topshiriqlariga har bir talaba amaliy mashg'ulotlarni hisobotlarini topshirish jarayonidagi muloqot paytida og'zaki ko'rinishda javob berishi mumkin.

Oraliq nazorat

Oraliq nazorat topshiriqlari yozma yoki test shakllarida bajarish ko'zda tutiladi. Oraliq nazorat uchun belgilangan mustaqil ta'lim topshiriqlari oraliq nazorat uchun belgilangan shaklda amalga oshiriladi. Shu bilan birga oraliq nazoratda talabaning mashg'ulotlarga ishtiroki, faolligi, ijodiy fikrlashiga, qaror qabul qilishiga, xulosa chiqara olishi inobatga olinadi.

Oraliq nazorat (3– semester uchun)

1-ON	1-8 mavzular	3,4,5 baho
2-ON	9-15 mavzular	3,4,5 baho

Oraliq nazorat (4- semester uchun)

1-ON	1-8 mavzular	3,4,5 baho
2-ON	9-15 mavzular	3,4,5 baho

Yakuniy nazorat

Yakuniy nazorat uchun 3,4,5 baho ajratilgan bo'lib, mavzular bo'yicha yozma yoki test shaklida o'tkaziladi. Mavzular bo'yicha yozma shaklda mavzular bo'yicha har bir variantda 5 tadan savoldan iborat bo'lib, har biri 3,4,5 baho bilan baholanadi.

X. Asosiy va qo'shimcha o'quv adabiyotlar hamda axborot manbaalari

Asosiy adabiyotlar

1. Никитин Н.Н. Курс теоретической механики. Учебник. Изд-во “ЛаньП”, 2020. -720 с.
2. К.Исмайилов, У.Мустафаев, А.Т.Кулдашев. Назарий механика. Олий ўқув юртлари учун дарслик. Тошкент, Машхур-Пресс, 2017. -384 б.
3. Usmonkulov A.Q., Ismayilov K., Odilov O.K., Yaxshiboev Sh.R. Materiallar qarshiligi, O'quv qo'llanma. I,II -qism. Toshkent "Mashhurpress", 2019. –320 b.

4. Жуков В.Г. Механика. Сопротивление материалов. Учебное пособие. Изд-во “Лань-П”, 2020. -416 с.
5. Саидий С.А. Курилиш механикаси. Дарслик. -Т.: “Фан ва технология”, 2019, 272 б.
6. Ступишин Д.Ю. Строительная механика плоских стержневых систем: Учебное пособие / Д.Ю. Ступишин, С.И. Трушин. - [б. м.] : ИНФРА-М, 2019: ИНФРА-М, 2016. - 278 с.

Qo‘shimcha adabiyotlar

7. Mirziyoyev Sh.M. Buyuk kelajagimizni mard va olijanob xalqimiz bilan birga quramiz. – Tooshkent: “O‘zbekiston”, 2017. – 488 b.
8. Стрелков С.П. Механика. Учебник. 6-изд. Изд-во “Лань”, 2019. - 560с.
9. Z.S.Shadmanova. Materiallar qarshiligi. O‘quv qo‘llanma.T.: 2018. - 169 b.
10. K. Ismoilov, S.K.Toshev, O.I.Eshniyazov, S.S.Amanov. Materiallar qarshiligi. O‘quv qo‘llanma. Toshkent, Mashxur-Press, 2017. -272 b.
- 11.Hobilov B.A, Nazarova M.K., Umarova Z.S. Qurilish mexanikasidan misol va masalalar. O‘quv qo‘llanma. 1,2-qismlar. T.: TAQI - 2016. - 148 b.
- 12.Hobilov B.A. Qurilish mexanikasi. Darslik. 1,2-qism. T.: TAQI - 2014. -168 b.
- R.C.Hibbeler. Structural analysis. Ninth edition. Published by Pearson Prentice Hall. Pearson Education, Inc. USA, 2015. 725 p. 16
- 13.Kenjayevev K. “Moddiy nuqtaning tebranma harakati”. (Nazariy mexanikadan masalalar yechish uchun uslubiy qo‘llanma). TAQI, 2015.
- 14.Kenjayevev K. Moddiy nuqta dinamikasining umumiy teoremlari va dalamber prinsipining nuqta harakatini o‘rganishga tatbiqi. TAQI, 2015.

Axborot manbaalari

15. www.ziyounet.uz
16. <http://www.mysopramat.ru>
17. http://www.stroy_meh.ru
18. www.moodle.taqi.uz

Modulni o‘qitishda foydalaniladigan interfaol ta’lim metodlari

Qurilish mexanikasi fanini o‘qitishda yangi pedagogik texnologiyalarni qo‘llash natijasida talabalarni o‘z ustida mustaqil ishlashini yanada kuchaytirish va takomillashtirishdan iborat. Darsni tashkil etishda semestr boshlanishida har bir talabaga mavzular, o‘quv moduli birliklari, aniqlashtirilgan o‘quv maqsadlari, tayanch so‘z va iboralar, testlar, muammoli (situatsion) masalalar hamda baxolash mezonlari oldindan berib, yangi pedagogik texnologiyalarga (O‘qitishning interfaol metodlariga) asoslangan mashg‘ulotlar o‘tkazishga aloxida e’tibor berish lozim.

“Qurilish mexanikasi” kursini loyihalashtirishda quyidagi asosiy kontseptual yondoshuvlardan foydalaniladi:

SHaxsga yo'naltirilgan ta'lim. Bu ta'lim o'z mohiyatiga ko'ra ta'lim jarayonining barcha ishtirokchilarini to'laqonli rivojlanishlarini ko'zda tutadi. Bu esa ta'limni loyihalashtirilayotganda, albatta, ma'lum bir ta'lim oluvchining shaxsini emas, avvalo, kelgusidagi mutaxassislik faoliyati bilan bog'liq o'qish maqsadlaridan kelib chiqqan holda yondoshilishni nazarda tutadi.

Tizimli yondoshuv. Ta'lim texnologiyasi tizimning barcha belgilarini o'zida mujassam etmog'i lozim: jarayonning mantiqiyliigi, uning barcha bo'g'inlarini o'zaro bog'langanligi, yaxlitligi.

Faoliyatga yo'naltirilgan yondoshuv. SHaxsning jarayonli sifatlarini shakllantirishga, ta'lim oluvchining faoliyatni aktivlashtirish va intensivlashtirish, o'quv jarayonida uning barcha qobiliyati va imkoniyatlari, tashabbuskorligini oshishiga yo'naltirilgan ta'limni ifodalaydi.

Dialogik yondoshuv. Bu yondoshuv o'quv munosabatlarini yaratish zaruriyatini bildiradi. Uning natijasida shaxsning o'z-o'zini faollashtirishi va o'z-o'zini ko'rsata olishi kabi ijodiy faoliyati kuchayadi.

Hamkorlikdagi ta'limni tashkil etish. Demokratik, tenglik, ta'lim beruvchi va ta'lim oluvchi faoliyat mazmunini shakllantirishda va erishilgan natijalarni baholashda birgalikda ishlashni joriy etishga e'tiborni qaratish zarurligini bildiradi.

Muammoli ta'lim. Ta'lim mazmunini muammoli tarzda taqdim qilish orqali ta'lim oluvchi faoliyatini aktivlashtirish usullaridan biri. Bunda ilmiy bilimni ob'ektiv qarama-qarshiligi va uni hal etish usullarini, dialektik mushohadani shakllantirish va rivojlantirishni, amaliy faoliyatga ularni ijodiy tarzda qo'llashni mustaqil ijodiy faoliyati ta'minlanadi.

Axborotni taqdim qilishning zamonaviy vositalari va usullarini qo'llash - yangi kompyuter va axborot texnologiyalarini o'quv jarayoniga qo'llash.

O'qitishning usullari va texnikasi. Ma'ruza (kirish, mavzuga oid, vizuallashtirish), muammoli ta'lim, keys-stadi, pinbord, paradoks va loyihalash usullari, amaliy ishlar.

O'qitishni tashkil etish shakllari: dialog, polilog, muloqot hamkorlik va o'zaro o'rganishga asoslangan frontal, kollektiv va guruh.

O'qitish vositalari: o'qitishning an'anaviy shakllari (darslik, ma'ruza matni) bilan bir qatorda - kompyuter va axborot texnologiyalari.

Kommunikatsiya usullari: tinglovchilar bilan operativ teskari aloqaga asoslangan bevosita o'zaro munosabatlar.

Teskari aloqa usullari va vositalari: kuzatish, blits-so'rov, oraliq va joriy va yakunlovchi nazorat natijalarini tahlili asosida o'qitish diagnostikasi.

Boshqarish usullari va vositalari: o'quv mashg'uloti bosqichlarini belgilab beruvchi texnologik karta ko'rinishidagi o'quv mashg'ulotlarini rejalashtirish, qo'yilgan maqsadga erishishda o'qituvchi va tinglovchining birgalikdagi harakati, nafaqat auditoriya mashg'ulotlari, balki auditoriyadan tashqari mustaqil ishlarning nazorati.

Monitoring va baholash: o'quv mashg'ulotida ham butun kurs davomida ham o'qitishning natijalarini rejali tarzda kuzatib borish. Kurs oxirida test topshiriqlari yoki yozma ish variantlari yordamida talabalarning bilimlari baholanadi.

Ayrim mavzular bo'yicha talabalar bilimni baholash test asosida va kompyuter yordamida bajariladi. "Internet" tarmog'idagi ma'lumotlardan foydalaniladi, tarqatma materiallar tayyorlanadi, test tizimi hamda tayanch so'z va iboralar asosida oraliq va yakuniy nazoratlar o'tkaziladi.

Ayrim metodlarni quyida keltirib o'tamiz:

"Insert" metodi

Metodning maqsadi: Mazkur metod talabalarda yangi axborotlar tizimini qabul qilish va bilimlarni o'zlashtirilishini yengillashtirish maqsadida qo'llaniladi, shuningdek, bu metod talabalar uchun xotira mashqi vazifasini ham o'taydi.

Metodni amalga oshirish tartibi:

- o'qituvchi mashg'ulotga qadar mavzuning asosiy tushunchalari mazmuni yoritilgan input-matnni tarqatma yoki taqdimot ko'rinishida tayyorlaydi;
- yangi mavzu mohiyatini yorituvchi matn ta'lim oluvchilarga tarqatiladi yoki taqdimot ko'rinishida namoyish etiladi;
- ta'lim oluvchilar individual tarzda matn bilan tanishib chiqib, o'z shaxsiy qarashlarini maxsus belgilar orqali ifodalaydilar. Matn bilan ishlashda talabalarga quyidagi maxsus belgilardan foydalanish tavsiya etiladi:

«V» - tanish ma'lumot, «?» - mazkur ma'lumotni tushunmadim, izoh kerak, «+» bu ma'lumot men uchun yangilik, «- » bu fikr yoki mazkur ma'lumotga qarshiman?. Belgilangan vaqt yakunlangach, ta'lim oluvchilar uchun notanish va tushunarsiz bo'lgan ma'lumotlar o'qituvchi tomonidan tahlil qilinib, izohlanadi va ularning mohiyati to'liq yoritiladi. Savollarga javob berilib mashg'ulot yakunlanadi.

"Xulosalash" (Rezyume, Veer) metodi

Metodning maqsadi: Bu metod murakkab, ko'p tarmoqli, mumkin qadar, muammoli xarakteridagi mavzularni o'rganishga qaratilgan. Metodning mohiyati shundan iboratki, bunda mavzuning turli tarmoqlari bo'yicha bir xil axborot beriladi va ayni paytda, ularning har biri alohida aspektlarda muhokama etiladi. Masalan, muammo ijobiy va salbiy tomonlari, afzallik, fazilat va kamchiliklari, foyda va zararlari bo'yicha o'rganiladi. Bu interfaol metod tanqidiy, tahliliy, aniq mantiqiy fikrlashni muvaffaqiyatli rivojlantirishga hamda o'quvchilarning mustaqil g'oyalari, fikrlarini yozma va og'zaki shaklda tizimli bayon etish, himoya qilishga imkoniyat yaratadi. «Xulosalash» metodidan ma'ruza mashg'ulotlarida individual va juftliklardagi ish shaklida, amaliy va seminar mashg'ulotlarida kichik guruhlardagi ish shaklida mavzu yuzasidan bilimlarni mustahkamlash, tahlili qilish va taqqoslash maqsadida foydalanish mumkin.

"Keys-stadi" metodi

«Keys-stadi» - inglizcha so'z bo'lib, («case» - aniq vaziyat, hodisa, «stadi» - o'rganmoq, tahlil qilmoq) aniq vaziyatlarni o'rganish, tahlil qilish asosida o'qitishni amalga oshirishga qaratilgan metod hisoblanadi. Mazkur metod dastlab 1921 yil

Garvard universitetida amaliy vaziyatlardan iqtisodiy boshqaruv fanlarini o'rganishda foydalanish tartibida qo'llanilgan. Keysda ochiq axborotlardan yoki aniq voqea-hodisadan vaziyat sifatida tahlil uchun foydalanish mumkin. Keys harakatlari o'z ichiga quyidagilarni qamrab oladi: Kim (Who), Qachon (When), Qaerda (Where), Nima uchun (Why), Qanday, Qanaqa (How), Nima-natija (What).

Venn Diagrammasi metodi

Metodning maqsadi: Bu metod grafik tasvir orqali o'qitishni tashkil etish shakli bo'lib, u ikkita o'zaro kesishgan aylana tasviri orqali ifodalanadi. Mazkur metod turli tushunchalar, asoslar, tasavvurlarning analiz va sintezini ikki aspekt orqali ko'rib chiqish, ularning umumiy va farqlovchi jihatlarini aniqlash, taqqoslash imkonini beradi.

Metodni amalga oshirish tartibi:

- ishtirokchilar ikki kishidan iborat juftliklarga birlashtiriladilar va ularga ko'rib chiqilayotgan tushuncha yoki asosning o'ziga xos, farqli jihatlarini (yoki aksi) doiralar ichiga yozib chiqish taklif etiladi;

- navbatdagi bosqichda ishtirokchilar to'rt kishidan iborat kichik guruhlariga birlashtiriladi va har bir juftlik o'z tahlili bilan guruh a'zolarini tanishtiradilar;

- juftliklarning tahlili eshitilgach, ular birgalashib, ko'rib chiqilayotgan muammo yohud tushunchalarning umumiy jihatlarini (yoki farqli) izlab topadilar, umumlashtiradilar va doirachalarning kesishgan qismiga yozadilar.

“Blits-o'yin” metodi

Metodning maqsadi: tinglovchilarda tezlik, olgan bilimlar tizimini tahlil qilish, rejalashtirish, prognozlash ko'nikmalarini shakllantirishdan iborat. Mazkur metodni baholash va mustahkamlash maqsadida qo'llash samarali natijalarni beradi.

Metodni amalga oshirish bosqichlari:

1. Dastlab ishtirokchilarga belgilangan mavzu yuzasidan tayyorlangan topshiriq, ya'ni tarqatma materiallarni alohida-alohida beriladi va ulardan materialni sinchiklab o'rganish talab etiladi. SHundan so'ng, ishtirokchilarga to'g'ri javoblar tarqatmadagi «yakka baho» kolonkasiga belgilash kerakligi tushuntiriladi. Bu bosqichda vazifa yakka tartibda bajariladi.

2. Navbatdagi bosqichda trener-o'qituvchi ishtirokchilarga uch kishidan iborat kichik guruhlariga birlashtiradi va guruh a'zolarini o'z fikrlari bilan guruhdoshlarini tanishtirib, bahslashib, bir-biriga ta'sir o'tkazib, o'z fikrlariga ishontirish, kelishgan holda bir to'xtamga kelib, javoblarini «guruh bahosi» bo'limiga raqamlar bilan belgilab chiqishni topshiradi. Bu vazifa uchun 15 daqiqa vaqt beriladi.

3. Barcha kichik guruhlar o'z ishlarini tugatgach, to'g'ri harakatlar ketma-ketligi trener-o'qituvchi tomonidan o'qib eshittiriladi, va o'quvchilardan bu javoblarni «to'g'ri javob» bo'limiga yozish so'raladi.

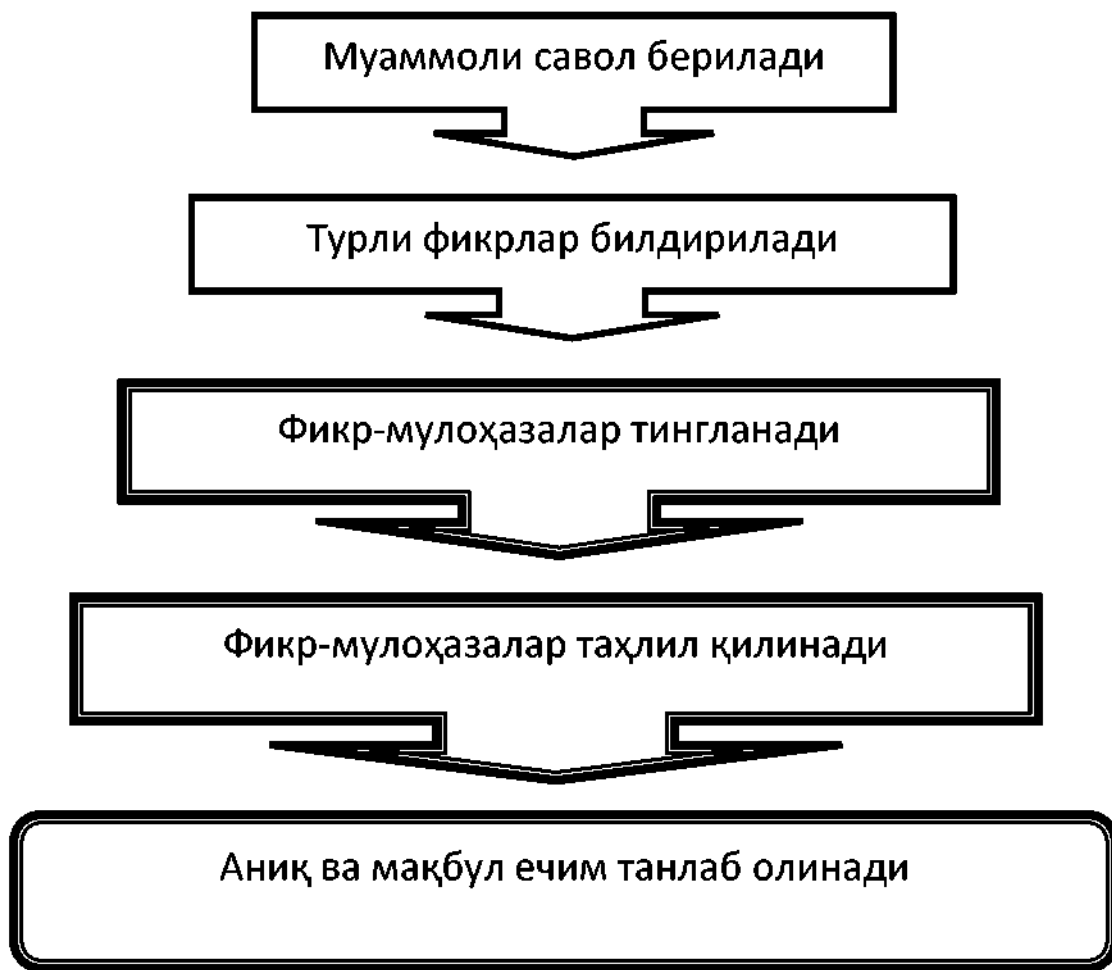
4.«To'g'ri javob» bo'limida berilgan raqamlardan «yakka baho» bo'limida berilgan raqamlar taqqoslanib, farq bulsa «0», mos kelsa «1» ball qo'yish so'raladi. SHundan so'ng «yakka xato» bo'limidagi farqlar yuqoridan pastga qarab qo'shib chiqilib, umumiy yig'indi hisoblanadi.

5. Xuddi shu tartibda «to'g'ri javob» va «guruh bahosi» o'rtasidagi farq chiqariladi va ballar «guruh xatosi» bo'limiga yozib, yuqoridan pastga qarab qo'shiladi va umumiy yig'indi keltirib chiqariladi.

6. Trener-o'qituvchi yakka va guruh xatolarini to'plangan umumiy yig'indi bo'yicha alohida-alohida sharhlab beradi.

7. Ishtirokchilarga olgan baqolariga qarab, ularning mavzu bo'yicha o'zlashtirish darajalari aniqlanadi.

«BAHS-MUNOZARA» metodining tuzilmasi



“Tushunchalar tahlili” metodi

Metodning maqsadi: mazkur metod talabalar yoki qatnashchilarni mavzu buyicha tayanch tushunchalarni o'zlashtirish darajasini aniqlash, o'z bilimlarini mustaqil ravishda tekshirish, baholash, shuningdek, yangi mavzu buyicha dastlabki bilimlar darajasini tashhis qilish maqsadida qo'llaniladi. Metodni amalga oshirish tartibi:

- ishtirokchilar mashg'ulot qoidalarini bilan tanishtiriladi;
- o'quvchilarga mavzuga yoki bobga tegishli bo'lgan so'zlar, tushunchalar nomi tushirilgan tarqatmalar beriladi (individual yoki guruhli tartibda);
- o'quvchilar mazkur tushunchalar qanday ma'no anglatishi, qachon, qanday holatlarda qo'llanilishi haqida yozma ma'lumot beradilar;
- belgilangan vaqt yakuniga yetgach o'qituvchi berilgan tushunchalarning tugri va tulli izohini uqib eshittiradi yoki slayd orqali namoyish etadi;
- har bir ishtirokchi berilgan tugri javoblar bilan uzining shaxsiy munosabatini taqqoslaydi, farqlarini aniqlaydi va o'z bilim darajasini tekshirib, baholaydi.

Guruh bilan ishlash qoidalarini

Guruh a'zolarining har biri:

- o'z sheriklarining fikrlarini hurmat qilishlari lozim ;
- berilgan topshiriqlar bo'yicha faol, hamkorlikda va ma'suliyat bilan ishlashlari lozim ;
- o'zlariga yordam kerak bo'lganda so'rashlari mumkin ;
- yordam so'raganlarga ko'mak berishlari lozim;
- guruhni baholash jarayonida ishtirok etishlari lozim;
- "Biz bir kemadamiz , birga cho'kamiz yoki birga qutilamiz" qoidasini yaxshi bilishlari lozim.

"Insert usuli"

Insert – samarali o'qish va fikrlash uchun belgilash ning interfaol tizimi hisoblanib,mustaqil o'qib-o'rganishda yordam beradi .Bunda ma'ruza mavzulari,kitob va boshqa materiallar oldindan talabaga vazifa qilib beriladi . Uni o'qib chiqib , «V; +; -; ?» belgilar orqali o'z fikrini ifodalaydi.

Matnni belgilash tizimi:

- (v) – men bilgan narsani tasdiqlaydi .
- (+) – yangi ma'lumot.
- (-) – men bilgan narsaga zid.
- (?) – meni o'ylantirdi. Bu borada menga qo'dhimcha ma'lumot zarur.

Insert jadvali

Tushunchalar	V	+	-	?
Nisbiylik				
Nisbiylik printsiplari				
Nisbiy muvozanat holati				
Inertsia				
Inertsial sanoq sistemasi				
Koriolis tezlanishi				
Koriolis inertsia kuchi				
Vertikal pastga tushayotgan jismga Er aylanishining ta'siri				

Muammoli vaziyat

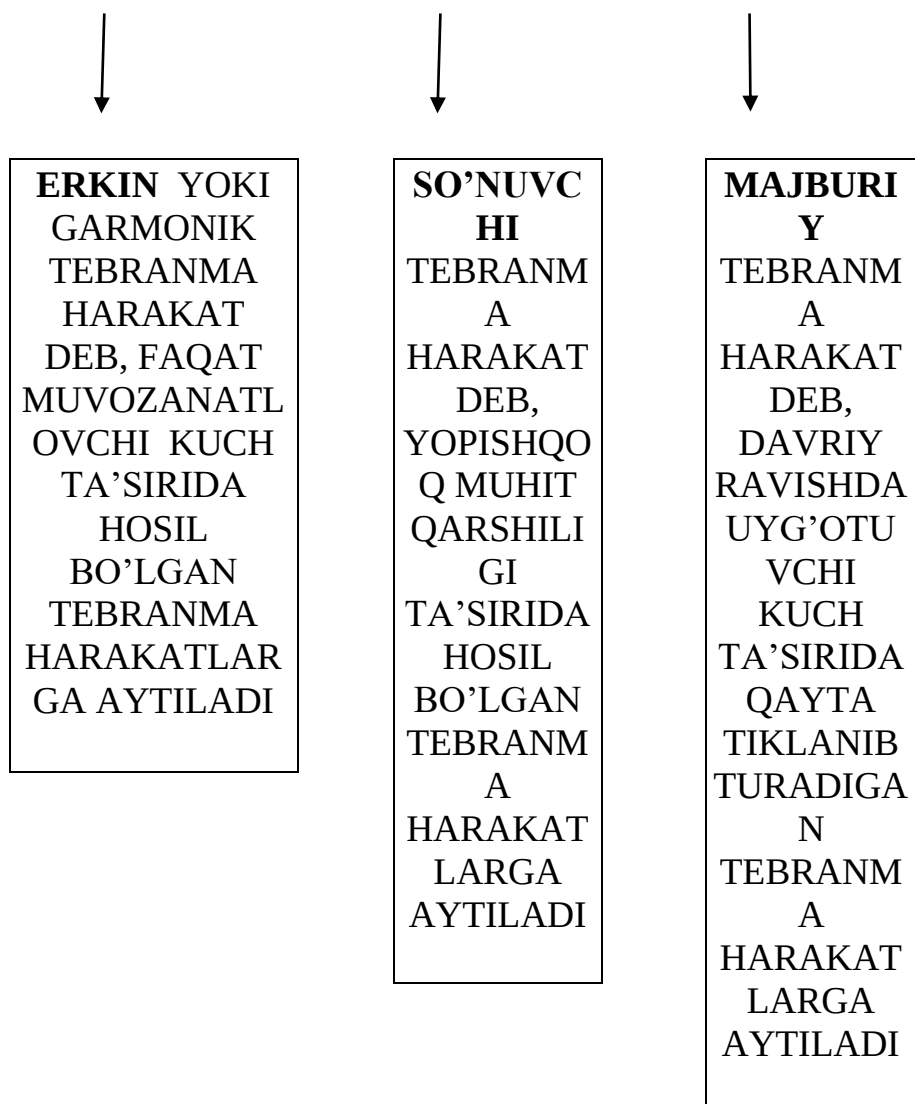
1. Muhit qarshiligisiz erkin tebranma harakat

Muammo:. Moddiy nuqtaning eng ko‘p uchraydigan harakatlaridan biri, uning to‘g‘ri chiziq bo‘ylab tebranma harakati hisoblanadi. Lekin shu tebranma harakatlarning asosiy parametrlari, ya‘ni tebranish chastotasi, tebranish amplitudasi, tebranish davri kabilar nimalarga bog‘liq ravishda o‘zgarishi, kerak bo‘lgan hollarda tegishli chastota va amplitudaga ega bo‘lgan tebranishlarni yaratish mumkinmi degan muhim savollarga quyida aniq javoblar olamiz.

“Muammoli vaziyat” jadvalini to‘ldiring

Vaziyatagi muammo turi	Muammoli vaziyatning kelib chiqish sabablari	Vaziyatdan chiqib ketish harakatlari
1.Tebanma harakat deganda nimani tushunasiz ? 2.Tebanma harakat texnikada qaerlarda ishlatiladi ? 3.Nima uchun biz tebranma harakatni o‘rganamiz ?		

TEBRANMA HARAKAT TURLARI



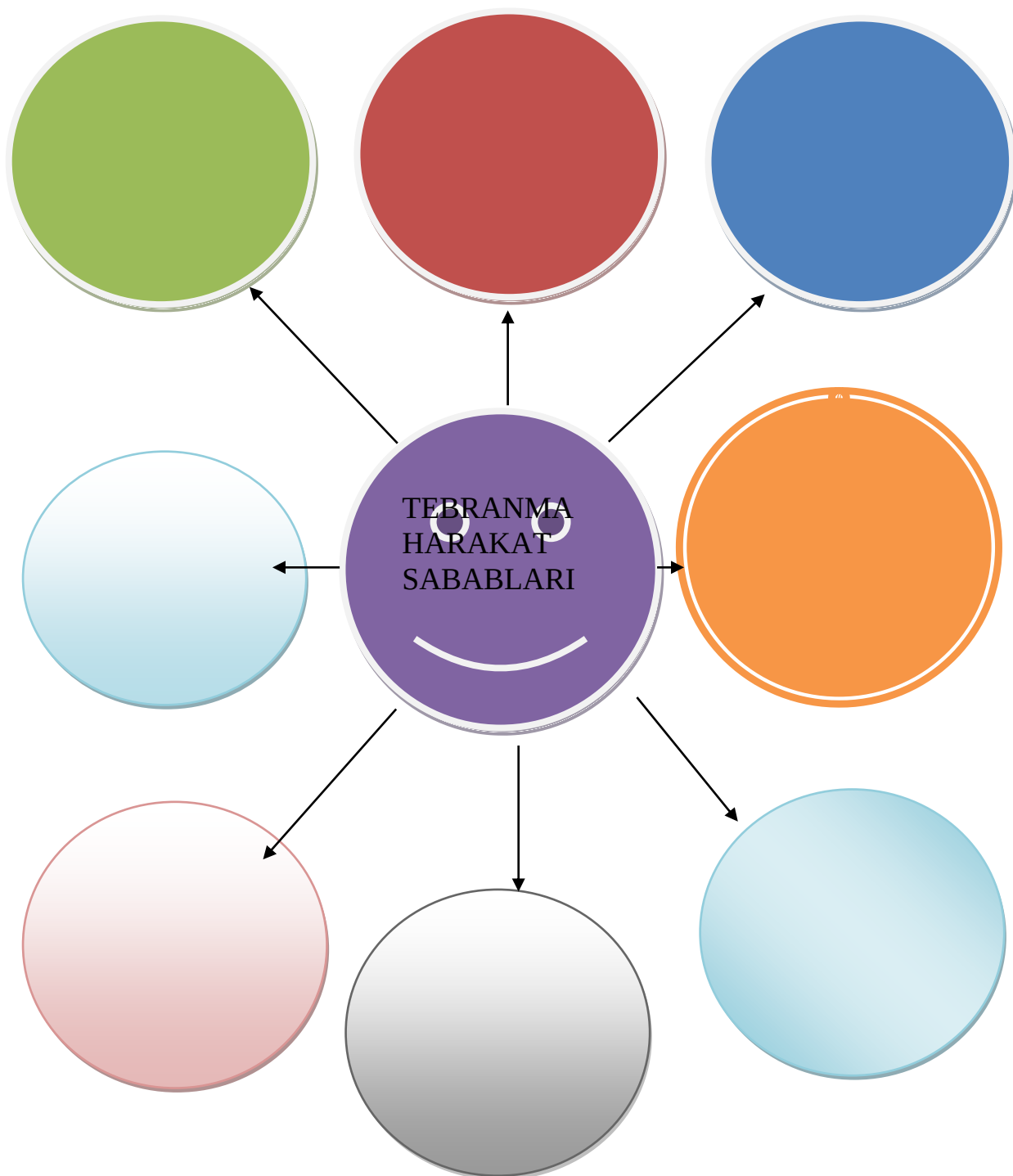
Muammoli vaziyat “Muammoli vaziyat” jadvalini to'ldiring

Vaziyatagi muammo turi	Muammoli vaziyatning kelib chiqish sabablari	Vaziyatdan chiqib ketish harakatlari
1. Qanday yopishqoq muhitlarni bilasiz va ular harakatga qanday ta'sir qiladi ? 2. Tebranishlarni yoki silkinishlarni qaytaruvchi qanday moslamalarni bilasiz?		

Muammo: Yuqorida ko'rib o'tilgan tebranishlarda muhitning qarshiligi e'tiborga olinmagan edi, shu sababli bunday tebranishlar tabiatda deyarli

uchramaydi. Lekin shunga qaramasdan ularni o'rganishning ahamiyati katta. Biz quyida, tabiatda juda ko'p uchraydigan tebranishlar, ya'n muhit qarshiligi ta'siridagi real holatdagi erkin tebranishlarning dinamikasi bilan tanishib o'tamiz.

Moddiy nuqta tebranma harakatining sabablariga klaster.
1-topshiriq: Tebranma harakat (vibrasiya-silkinish) hodisalarining sabablariga klaster tuzing.



4.3.Tarqatma materiallar

1. Statikaning asosiy tushunchalari.
2. Statika aksiomalari.
3. Bog‘lanishlar va bog‘lanish reaksiya kuchlari.
4. Kesishuvchi kuchlar sistemasi teng ta’sir etuvchisini geometrik va analitik usulda aniqlash.

1. Kesishuvchi kuchlar sistemasi muvozanati shartlarining geometrik usuli.
2. Kesishuvchi kuchlar sistemasi muvozanati shartlarining analitik usuli.
3. Kuchning nuqtaga nisbatan momenti.
4. Kuchning nuqtaga nisbatan momentining xossalari.

1. Juft kuch va juft kuch momenti.
2. Juft kuch va juft kuch momentining xossalari
3. Bir tekislikda joylashgan juftlarni qo‘shish.
4. Juftlar sistemasining muvozanat shartlari.

1. Kuchni o‘ziga parallel ko‘chirish masalasi.
2. Tekislikdagi kuchlar sistemasini bir markazga keltirish (qo‘shish).
3. Tekislikdagi kuchlar sistemasining bosh vektori va bosh momenti.
4. Tekislikdagi kuchlar sistemasining muvozanat shartlari.

1. Kuchning nuqtaga nisbatan moment vektori.
2. Kuchning o‘qqa nisbatan moment.
3. Fazoviy kuchlar sistemasini bir markazga keltirish.
4. Fazoda ixtiyoriy joylashgan kuchlar sistemasi muvozanat shartlari.

1. Parallel kuchlar markazi va uning radius vektori
2. Parallel kuchlar markazining kordinatalarini aniqlash.
3. Qattiq jismning og‘irlik markazi.
4. Jismning og‘irlik markazi holatini aniqlash usullari.

1. Kinematikaning asosiy tushunchalari.
2. Moddiy nuqta harakatining berilish usullari.
3. Harakati vektor usulida berilgan nuqtaning tezlik va tezlanishi.
4. Harakati koordinatalar usulida berilgan nuqtaning tezlik va tezlanishi

1. Qattiq jismning ilgarilama harakati.
2. Qattiq jismning qo‘zg‘almas o‘q atrofida aylanma harakati.
3. Jismning burchak tezligi va burchak tezlanishi.
4. Burchak tezligi va burchak tezlanishini vektor tarzida ifodalash.

1. Qo‘zg‘almas o‘q atrofida aylanuvchi jism nuqtasining tezligi.

2. Qo'zg'almas o'q atrofida aylanuvchi jism nuqtasining tezlanishi.
3. Qattiq jismning tekis parallel harakati.
4. Tekis parallel harakat tenglamasi.

1. Tezliklar oniy markazi.
2. Tezliklar oniy markazidan foydalanib tekish shakl nuqtasining tezligini aniqlash.
3. Tekis shakl nuqtasining tezlanishi.
4. Tezlanishlar oniy markazi.

1. Nuqtaning murakkab harakati.
2. Nuqtaning nisbiy, ko'chirma va absoyut harakatlari haqida tushuncha.
3. Nuqtaning murakkab harakatida tezliklarni qo'shish teoremasi.
4. Murakkab harakatdagi nuqtaning tezlanishlarini qo'shish teoremasi.

1. Nuqtaning murakkab harakatida Koriolis tezlanishini moduli.
2. Nuqtaning murakkab harakatida Koriolis tezlanishini yo'nalishi.
3. Dinamikaning asosiy qonunlari.
4. Moddiy nuqta harakatining differensial tenglamalari.

1. Moddiy nuqta dinamikasining to'g'ri masalasi.
2. Moddiy nuqta dinamikasining teskari masalasi.
3. Moddiy nuqtaning erkin tebranma harakati.
4. Moddiy nuqtaning so'nuvchi tebranma harakati.

1. Moddiy nuqtaning majburiy tebranma harakati.
2. Rezonans hodisasi.
3. Moddiy nuqta harakat miqdori.
4. Moddiy nuqta harakat

1. Moddiy nuqta harakat miqdorining moment.
2. Moddiy nuqta harakat miqdor momentining o'zgarishi haqida teorema.
3. Kuchning ishi.
4. Quvvat.

1. Moddiy nuqta kinetik energiyasi.
2. Moddiy nuqta kinetik energiyasi o'zgarishi haqida teorema.
3. Mexanik sistema.
4. Mexanik sistemaga ta'sir etuvchi kuchlar va uning xossalari.

1. Mexanik sistemaning massalar markazi va uning koordinatalari.
2. Mexanik sistema inersiya momentlari.
3. Sterjenni inersiya momenti.
4. Doirani inersiya momenti.

1. Mexanik sistema massalar markazining harakati haqida teorema.
2. Sistema massalar markazi harakatining saqlanish qonuni.
3. Mexanik sistema harakat miqdorining o'zgarishi haqidagi teorema.
4. Mexanik sistema kinetik energiyasini o'zgarishi haqidagi teorema.

1. Materiallar qarshiligi faniga kirish.
2. Fanning rivojlanish tarixi va boshqa fanlar bilan uzviy bog'liqligi.
3. Fanning maqsad va vazifalari.
4. Fan tekshiradigan masalalar.

1. Asosiy tushunchalar.
2. Inshoot elementlarining modellari.
3. Materiallar qarshiligida qabul qilingan asosiy gipoteza va cheklanishlar.
4. Hisoblash sxemasi.

1. Tekis kesim yuzalarining statik momentlari.
2. Tekis kesimning og'irlik markazi.
3. Tekis kesim yuzasining qutb inersiya momenti.
4. Tekis kesimning o'q va markazdan qochma inersiya momentlari.

1. Uchburchakning inetsiya momenti.
2. To'rtburchakning inetsiya momenti.
3. Doiraning inetsiya momenti.
4. Halqaning inetsiya momenti.

1. Tekis kesim yuzining markaziy o'qqa parallel o'qqa nisbatan inersiya momenti.
2. Koordinata o'qlari burilganda inersiya momentlarining o'zgarishi.
3. Bosh inersiya o'qlari
4. Bosh inersiya momentlari, inersiya radiuslari.

1. Kesish usuli.
2. Ichki kuchlar.
3. Kuchlanishlar. Normal, urinma va to'la kuchlanishlar.
4. Oddiy deformatsiya turlari.

1. Sterjenning ko'ndalang kesimida vujudga keladigan zo'riqish kuchlari.
2. Bo'ylama kuchlarni aniqlash va ularning epyuralarini chizish.
3. Sterjenning ko'ndalang kesimidagi kuchlanishlar.
4. Bo'ylama deformatsiya. Guk qonuni.

1. Sterjen ko'ndalang kesimining ko'ndalang deformatsiyasi.
2. Puasson koeffitsiyenti.

3. Cho‘zilish yoki siqilishda potensial energiya.
4. Solishtirma potensial energiya.

1. Materiallar va ularni sinash uslubi.
2. Materiallarni cho‘zilishga sinash.
3. Cho‘zilish diagrammasi.
4. Materiallarni siqilishga sinash.

1. Ruxsat etilgan kuchlanish.
2. Ehtiyot koeffitsiyenti.
3. Sterjenning cho‘zilish yoki siqilishdagi mustahkamlik sharti.
4. Sterjenning cho‘zilish yoki siqilishdagi bikrlilik sharti.

1. Cho‘zilgan yoki siqilgan sterjenlarning xususiy og‘irligini hisobga olish.
2. Pog‘onali sterjenlar hisobi.
3. Statik noaniqlik darajasi.
4. Statik noaniq sistemalarni hisoblash tartibi.
5. Statik noaniq sistemalarda ichki kuchlarni aniqlash.

1. Oddiy cho‘zilish yoki siqilishda sterjenlarning qiya kesimlarida vujudga keladigan kuchlanishlar.
2. Kuchlanganlik holatlarining turlari.
3. Chiziqli, tekis va hajmiy kuchlanganlik holatlari.
4. Tekis kuchlanganlik holatida sterjenlarning qiya kesimlarida vujudga keladigan kuchlanishlar.

1. Bosh kuchlanishlar va bosh yuzalarning yo‘nalishini aniqlash.
2. Mor doirasi.
3. Hajmiy kuchlanganlik holati va uning turlari.
4. Hajmiy kuchlanganlik holatida deformatsiya.

1. Hajmiy kuchlanish holatida deformatsiyaning potensial energiyasi.
2. Kuchlanishlar konsentratsiyasi.
3. Mustahkamlik nazariyalari.
4. Sof siljish. Kuchlanish va deformatsiya.

1. Sof siljishdagi Guk qonuni.
2. Elastik doimiylari G , E va μ orasidagi munosabat.
3. Siljishdagi potensial energiya.
4. Siljishda mustahkamlik sharti.

1. Siljishga ishlaydigan birikmalarni mustahkamlikka hisoblash.
2. Siljishga ishlaydigan konstruktsiya qismlarining hisobi.
3. Parchin mixli birikmalar.

4. Payvand birikmalar hisobi.

1. Buralish. Asosiy tushunchalar.
2. Doiraviy kesimli sterjenning buralishi.
3. Burovchi moment.
4. Burovchi momentni quvvat orqali ifodalash.

1. Doiraviy kesimli sterjenning buralishidan hosil bo'lgan kuchlanish.
2. Doiraviy kesimli sterjenning buralishidagi deformatsiyasi.
3. Doira kesimli sterjenning buralishdagi mustahkamlik sharti.
4. Buralgan sterjenlarning bikrlilik sharti.

1. Buralish burchagining epyurasini chizish.
2. Buralish deformatsiyasining potensial energiyasi.
3. Buralishda statik noaniq masalalar.
4. Kesimi doiraviy bo'lmagan sterjenlarning buralishi.

1. Ochiq profilli kesimlar.
2. Yupqa profilli sterjenlar.
3. Yopiq kesim profilli sterjenlar.
4. Doiraviy kesimli sterjenlarni chekli yuk ko'tara olish qobiliyati bo'yicha hisoblash.

1. To'g'ri sterjenning tekis egilishi.
2. Umumiy tushunchalar.
3. Balka kesimlaridagi ichki kuchlarni aniqlash.
4. Ichki kuchlarning epyuralarni chizish.

1. Eguvchi moment, ko'ndalang kuch va yoyilgan kuch orasidagi differensial munosabatlar.
2. Sof egilish.
3. Normal kuchlanishlarni aniqlash.
4. Tekis shakllarning qarshilik momenti.

1. Balkalarning normal kuchlanish bo'yicha mustahkamligini tekshirish.
2. Ko'ndalang egilish.
3. Egilishdagi urinma kuchlanishlarni aniqlash.
4. Balkalarning mustahkamligini urinma kuchlanishlar bo'yicha tekshirish.

1. Egilishdagi bosh normal va eng katta urinma kuchlanishlar.
2. Balka mustahkamligini to'la tekshirish.
3. Bosh kuchlanishlarning traektoriyasi.
4. Sof egilgan balkalarni chekli yuk ko'tara olish qobiliyati bo'yicha hisoblash.

1. Balkaning egilishdagi deformatsiyalarini aniqlash.
2. Balkalarning salqiligi va kesimlarning aylanish burchagi.
3. Egilgan o'qning differensial tenglamasi.
4. Balka egilgan o'qning taqribiy differensial tenglamasi va uning integrallari.

1. Egilgan o'qning boshlang'ich parametrlar orqali ifodalangan tenglamasi.
2. Balkalarning bikrlilik sharti.
3. Ratsional kesimlar.
4. Teng qarshilikli balkalar.

1. Brus murakkab deformatsiyasining ko'rinishlari.
2. Ichki kuchlarni aniqlash.
3. Qiyshiq egilishda balka kesimlaridagi normal kuchlanishlarni aniqlash.
4. Qiyshiq egilishda balkaning mustahkamlik va bikrlilik shartlari.

1. Cho'zilish va egilishning birgalikdagi ta'siri.
2. Ichki kuchlarni aniqlash.
3. Cho'zilish va egilishning birgalikdagi ta'siridan sterjen kesimlaridagi kuchlanishlarni aniqlash.
4. Cho'zilish va egilishning birgalikdagi ta'sirida sterjenning mustahkamlik sharti.

1. Nomarkaziy cho'zilish yoki siqilish.
2. Sterjenga bo'ylama kuchning nomarkaziy ta'siri.
3. Nomarkaziy siqilishda normal kuchlanishlarni aniqlash.
4. Neytral o'q holati. Kesim yadrosi.

1. Buralish bilan egilishning birgalikdagi ta'siri.
2. Sterjenning egilib buralishi. Ichki kuchlarni aniqlash.
3. Sterjen egilib buralishida kuchlanishlarni aniqlash.
4. Sterjenning egilib buralishida mustahkamlik sharti.

1. Siqilgan sterjenlarning ustivorligi masalasi.
2. Umumiy tushunchalar. Ustivorlik holatlarining turlari.
3. Kritik kuchni aniqlash. Eyler formulasi.
4. Sterjenning egiluvchanligi, keltirilgan uzunligi.

1. Sterjen uchlarining mahkamlanish usulini kritik kuch formulasiga ta'siri.
2. Kritik kuchlanish. Eyler formulasining qo'llanish chegarasi.
3. Siqilgan sterjenlarni amalda hisoblash usullari.
4. Kesim tanlashning ketma-ket yaqinlashish, sterjenlarni yuk ko'tara olish qobiliyati bo'yicha hisoblash.
5. Siqilgan sterjenning ustivorlik sharti. Siqilgan sterjen kesimlarining qulay shakllarini tanlash.

1. Qurilish mexanikasi fanining mohiyati va usullari.
2. Qurilish mexanikasi fanining qisqacha rivojlanish tarixi va boshqa fanlar bilan uzviy bog'liqligi.
3. Inshootlar hisoblash sxemalarini tanlash. Inshootlar klassifikatsiyasi.
4. Inshootlarga ta'sir etuvchi yuklar va ularning klassifikatsiyasi.

1. Tayanchlar va ularning turlari.
2. Geometrik o'zgarmas, o'zgaruvchan va oniy o'zgaruvchan sistemalar.
3. Sistemalarning erkinlik darajasi.
4. Sterjenli sistemalarning geometrik o'zgarmasligining zaruriy sharti.

1. Oddiy va konsol balkalarda zo'riqlarning ta'sir chiziqlari.
2. Ta'sir chiziqlari yordamida zo'riqlarni aniqlash.
3. Ko'p oraliqli statik aniq balkalar uchun qavatlararo sxemalarini chizish.
4. Ko'p oraliqli balkalar uchun eguvchi moment va ko'ndalang kuchlar epyuralarini chizish.

1. Ko'p oraliqli balka zo'riqlarining ta'sir chiziqlarini chizish.
2. Ko'p oraliqli balka zo'riqlarini ta'sir chiziqlari yordamida aniqlash.
3. Fermalar haqida umumiy tushuncha. Fermalarning turlari.
4. Tugun ajratish, moment nuqta va proyeksiyalash usullari.

1. Ferma sterjenlaridagi zo'riqlarni aniqlash.
2. Ferma sterjenlari zo'riqlari uchun ta'sir chiziqlarini chizish.
3. Ta'sir chiziqlari orqali sterjenlardagi zo'riqlar kuchlarini aniqlash.
4. Shprengelli fermalarni hisoblash.

1. Uch sharnirli sistemalar to'g'risida umumiy tushunchalar.
2. Uch sharnirli arkalarini qo'zg'almas yuklar ta'siriga hisoblash.
3. Uch sharnirli arka zo'riqlar kuchlarining ta'sir chiziqlari.
4. Ta'sir chiziqlari yordamida zo'riqlarni aniqlash.

1. Elastik sistemalardagi ko'chishlar.
2. Qurilish mexanikasining ba'zi asosiy teoremlari.
3. Ko'chishlarni aniqlash formulalari.

1. Statik noaniq sistemalar to'g'risida umumiy tushunchalar.
2. Statik noaniq sistemalarning xususiyatlari.
3. Statik noaniq sistemalarni hisoblash usullari.
4. Statik noaniqlik darajasi.

1. Kuchlar usulining mohiyati va noma'lumlari.

2. Kuchlar usulining asosiy sistemasi.
3. Kuchlar usulining kanonik tenglamalari.
4. Kuchlar usulining kanonik tenglama koeffitsientlari va ozod hadlarini aniqlash.

1. Kuchlar usulining kanonik tenglama koeffitsientlari va ozod hadlarini tekshirish.
2. Natijaviy eguvchi moment, ko'ndalang va bo'ylama kuchlarni aniqlash.
3. Eguvchi moment, ko'ndalang va bo'ylama kuch epyuralarini qurish.
4. Epyuralar to'g'riligini tekshirish.

1. Simmetrik ramalar haqida umumiy tushunchalar.
2. Statik noaniq simmetrik ramalarni simmetrikligidan foydalanish.
3. Simmetrik rama noma'lumlarini guruhlash usuli.
4. Simmetrik ramaga qo'yilgan tashqi yuklarni simmetrik va nosimmetrik yuklarga ajratish usuli.

1. Statik noaniq arkalar haqida umumiy tushunchalar.
2. Ikki sharnirli arkalarni kuchlar usulida hisoblash.
3. Sharnirsiz arkalarni kuchlar usulida hisoblash.

1. Statik noaniq fermalar to'g'risida umumiy tushunchalar.
2. Statik noaniq fermalarni hisoblash usullari.
3. Uzlüksiz balkalar to'g'risida umumiy tushunchalar.
4. Uzlüksiz balkalar hisobiga kuchlar usulining tadbig'i. Asosiy sistemani tanlash. Uch moment tenglamasi. Uzlüksiz balkalardagi eguvchi moment, ko'ndalang kuch va tayanch reaksiyalarini aniqlash.

4.4. Testlar

№	Саволлар	A	B	C	D
1	Nazariy mexanika fani nimani o'rgatadi?	Mexanik harakatning umumiy qonunlari, qattiq jism va mexanik sistema harakatini	Moddiy jismlarning bir-biriga ko'rsatadigan ta'siri, muvozanati va mexanik harakatning umumiy qonunlarini	Moddiy jismlarning bir biriga ko'rsatadigan ta'sirini	Moddiy jismlarning muvozanati, ularga qo'yilgan kuchlarni qo'shish, ayirishni
2	Nazariy mexanikaning statika bo'limida nimalar tekshiriladi	Moddiy jismlarning muvozanati, ularga qo'yilgan kuchlarni qo'shish, ayirish va kuchlarni ekvivalent kuchlar sistemasi bilan almashtirish	Moddiy jismlarning muvozanati, mexanik harakatning umumiy qonunlari, qattiq jism va mexanik sistema harakati	Vaqt o'tishi bilan moddiy jismlarning bir-biriga nisbatan ko'chishi	Mexanik harakatning umumiy qonunlari, moddiy jismlarning bir biriga ko'rsatadigan ta'siri
3	Moddiy nuqta deb nimaga aytiladi?	Harakati yoki muvozanatini tekshirishda o'lchamlari va shaklining ahamiyati bo'lmagan, massasi bir nuqtaga joylashgan jism	Kuch ta'sirida jismning ixtiyoriy ikki nuqtasi orasidagi masofa o'zgarmasa	Jism fazoda ixtiyoriy tomonga harakatlana olsa, vaqt o'tishi bilan moddiy jismlarning bir-biriga nisbatan ko'chishi	Harakati yoki muvozanatini tekshirishda o'lchamlari va shaklining ahamiyati bo'lgan, massasi bir nuqtaga joylashgan jism
4	Kuch deb nimaga	Jismlarning shaklini	Jismlarning bir-	Vaqt o'tishi bilan	Miqdor va yo'nalishga

	aytiladi?	va kinematik holatini o'zgarishi	biriga o'zaro ta'sirlarini miqdor va yo'nalishi jihatdan belgilovchi kattalik	moddiy jismlarning bir-biriga nisbatan ko'chishi	ega bo'lgan vektor kattalik
5	Kuchning jismga ta'siri nima bilan aniqlanadi?	Qo'yilish nuqtasi, miqdori	Qo'yilish nuqtasi, yo'nalishi	Yo'nalishi, miqdori	Qo'yilish nuqtasi, yo'nalishi, miqdori
6	Teng ta'sir etuvchi kuch nima?	Kuchlar sistemasining jismga ta'sirini yolg'iz bir kuch bersa	Jismga qo'yilgan kuchlar sistemasining ko'rsatadigan ta'sirlarini boshqa kuchlar sistemasi bersa	Jismlarning shaklini va kinematik holatini o'zgarishi	Tinch turgan jism unga qo'yilgan kuchlar sistemasi ta'sirida ham tinch holatda qolsa
7	Mexanik harakat deb nimaga aytiladi	Moddiy jismlarning muvozanatini o'zgarishi	Moddiy jismlarning kuch ta'siridagi harakati	Vaqt o'tishi bilan moddiy jismlarning bir-birlariga nisbatan fazoda ko'chishi	Harakatni vujudga keltiruvchi kuch ta'siri
8	Ekvivalent kuchlar sistemasi deb nimaga aytiladi?	Tinch turgan jismga boshqa kuchlar sistemasi qo'yilishi	Qarama-qarshi yo'nalgan ikki kuch	Jismga qo'yilgan biror kuchlar sistemasi ta'sirini boshqa kuchlar sistemasi bera olsa	Bir to'g'ri chiziq bo'ylab yo'nalgan ikki kuch
9	Bir nuqtada kesuvchi kuchlar sistemasining muvozanati sharti nima?	Kuchlarning miqdorlari bir biriga teng bo'lib, qarama-qarshi yo'nalganligi	Kuchlar sistemasiga qurilgan kuch ko'p burchagining yopiqligi	Kuchlar sistemasining teng ta'sir etuvchisi noldan farqliligi	Kuchlarning biror o'qdagi proeksiyasi 0 ga teng bo'lishi
10	Kuchning o'qdagi proeksiyasi qanday ta'riflanadi?	Kuchning o'qdagi proeksiyasi skalyar miqdor bo'lib, kuch moduli hamda kuchning shu o'q manfiy yo'nalishi bilan tashkil qilgan burchagi kosinusining ko'paytmasiga teng	Kuchning o'qdagi proeksiyasi skalyar miqdor bo'lib, kuchning moduli hamda kuchning shu o'q musbat yo'nalishi bilan tashkil qilgan burchagi kosinusining ko'paytmasiga teng	Kuchning o'qdagi proeksiyasi skalyar miqdor bo'lib, kuchning shu o'q musbat yo'nalishi bilan tashkil qilgan burchagi kosinusining ko'paytmasiga	Kuchning o'qdagi proeksiyasi skalyar miqdori bo'ylab, kuch moduli hamda kuchning shu o'q musbat yo'nalishi bilan tashkil qilgan burchagi sinusining ko'paytmasiga teng
11	Uch kuch haqidagi teorema	Bir tekislikda yotuvchi va o'zaro parallel bo'lmagan uch kuch muvozanatlashsa, ularning ta'sir chiziqlari bir nuqtada kesishadi	Bir tekislikda yotuvchi va o'zaro parallel bo'lmagan uch kuch muvozanatlashsa, ularning ta'sir chiziqlari bir nuqtada kesishmaydi	Bir tekislikda yotmagan va o'zaro parallel bo'lmagan uch kuch muvozanatlashsa, ularning ta'sir chiziqlari bir nuqtada kesishadi	Bir tekislikda yotmagan va o'zaro parallel bo'lmagan uch kuch muvozanatlashsa, ularning ta'sir chiziqlari bir nuqtada kesishmaydi
12	Qanday kuchlar juft kuchlar deyiladi?	Miqdorlari teng, ta'sir chiziqlari bir to'g'ri chiziqda yotmaydigan va parallel ikki kuch	Miqdorlari teng, ta'sir chiziqlari bir to'g'ri chiziqda yotmaydigan, parallel va qarama-qarshi yo'nalgan ikki kuch	Ta'sir chiziqlari bir to'g'ri chiziqda yotadigan, parallel va qarama-qarshi yo'nalgan ikki kuch	Ta'sir chiziqlari bir to'g'ri chiziqda yotmaydigan, parallel va bir tomonga yo'nalgan ikki kuch
13	Kuchning ta'sir chizig'i nima?	Kuch yo'nalishiga tik chiziq	Kuch vektori yotgan chiziq	Kuchning moduli va yo'nalishi	Kuchning miqdori
14	Kuchning nuqtaga nisbatan momenti vektori	Moment markaziga qo'yilgan bo'lib, bu markaz va kuchning ta'sir chizig'i orqali o'tgan tekislikka perpendikulyar yo'naladi	Moment markaziga qo'yilgan bo'lib, bu markaz va kuchning ta'sir chizig'i orqali o'tgan tekislikka perpendikulyar yo'naladi va uning uchidan qaraganda kuch jismni soat strekasing	Kuchning o'qdagi proeksiyasi skalyar miqdor bo'lib, kuchning shu o'q musbat yo'nalishi bilan tashkil qilgan burchagi kosinusining ko'paytmasiga teng	Kuch vektori yotgan chiziq, miqdorlari teng, ta'sir chiziqlari bir to'g'ri chiziqda yotmaydigan, parallel va qarama-qarshi yo'nalgan ikki kuch

			aylanishiga teskari yo'nalishida aylantirishga intiladi		
15	Erkin jism deb nimaga aytiladi?	Jism fazoda ixtiyoriy tomonga harakatlana olmasa	Jismga ta'sir etuvchi kuchlar qo'yilgan bo'lsa	Jismga ta'sir etuvchi kuchlar o'zaro muvozanatlashsa	Jism fazoda ixtiyoriy tomonga harakatlana olsa
16	$\vec{r} = \vec{r}(t)$ tenglama bilan ifodalanadigan nuqta harakati qanday usulda berilgan?	Jadval	Koordinatalar	Tabiiy	Vektor
17	$S = f(t)$ munosabat bilan ifodalangan nuqta harakati qanday usulda berilgan?	Geometrik	Vektor	Tabiiy	Analitik
18	Nuqtaning urinma tezlanishi qachon nolga teng bo'ladi?	Aylanma harakatda	Tekis sekinlanuvchan harakatida	Tekis tezlanuvchan harakatida	Nuqtaning tekis harakatida
19	Qattiq jismning ilgarilanma harakati deb qanday harakatga aytiladi?	Barcha nuqtalari har xil tezlik bilan harakatlanuvchi qattiq jism harakatiga	Normal tezlanish nolga teng bo'lsa	Qattiq jism nuqtalarining urinma tezlanishi nolga teng bo'lsa	Qattiq jismda olingan ixtiyoriy kesma harakat davomida o'ziga o'zi parallel qolsa
20	Tekis shakl ikki nuqtasi tezliklarining proeksiyalariga oid teorema	Tekis shakl ikki nuqtasi tezliklarining shu nuqtalardan o'tuvchi o'qdagi proeksiyalari yig'indisi nolga teng	Tekis shakl ikki nuqtasi tezliklarining shu nuqtalardan o'tuvchi o'qdagi proeksiyalari o'zaro teng bo'ladi	Koordinata o'qlaridagi proeksiyalari o'zaro teng	Tezliklari o'zaro perpendikulyar
21	Dinamika qaysi qismlarga bo'lib o'rganiladi?	Moddiy nuqta dinamikasi, mexanik sistema va qattiq jism dinamikasi	Moddiy nuqta dinamikasi, mexanik sistema dinamikasi	Mexanik sistema va qattiq jism dinamikasi	Moddiy nuqta dinamikasi, qattiq jism dinamikasi
22	Mexanik sistemaga ta'sir etuvchi kuchlar qaysi turlarga ajratiladi?	Ichki kuchlar	Tashqi va ichki kuchlar	Aktiv kuchlar	Tashqi kuchlar
23	Mexanik sistema harakat miqdorining saqlanish qonuni qachon o'rinli bo'ladi?	Agar tashqi kuchlar bosh vektori nolga teng bo'lsa	Agar tashqi kuchlar bosh vektori nolga teng bo'lmasa	Agar tashqi kuchlar bosh momenti nolga teng bo'lsa	Agar tashqi kuchlar bosh momenti nolga teng bo'lmasa
24	Massalar geometriyasi deb nimaga aytiladi?	Mexanik sistemaning differensial tenglamalari	Sistema nuqtalari massalarining taqsimlanishini ifodalovchi kattalik	Butun sistemaning massasi	Sistemaning massalar markazi
25	Mustahkamlik nima?	konstruksiya elementlarining deformatsiyaga qarshilik ko'rsata olish qobiliyati	kuchlar ta'sirining mustaqillik printsipli	tashqi kuchlarga qarshilik ko'rsata olish qobiliyati	Boshlang'ich shaklini saqlash qobiliyati
26	Ustivorlik nima?	deformatsiyaga qarshilik ko'rsata olish qobiliyati	materiallarning proporsionallik chegarasi	tashqi kuchlarga qarshilik ko'rsata olish qobiliyati	muvozanatni saqlash qobiliyati
27	Bikrlik nima?	ruxsat etilgan kuchlanish	deformatsiyaga qarshilik ko'rsata	Puasson koeffitsienti	boshlang'ich shaklini saqlash qobiliyati

			olish qobiliyati		
28	Zo'riqish (ichki) kuchlar nima?	kuchlar ta'sirining mustaqillik printsiplari	kuchning yuzaga nisbati	jismlarning zarrachalari orasidagi o'zaro ta'sir kuchlari	yuza birligiga to'g'ri keladigan kuch miqdori
29	Statik kuch qanday kuch?	kuch tasodifan qo'yilgan bo'lsa	o'zining eng katta qiymatiga asta sekin erishsa	o'zining eng katta qiymatiga qisqa vaqt ichida erishsa.	kuch nolga teng bo'lsa
30	Keltirilgan ta'riflar orasida oqish chegarasining ta'rifini ko'rsating.	Kuch doimiy qolib, deformatsiya ortayotgan vaqtdagi kuchlanish	Guk qonunini kanoatlantiradigan eng katta kuchlanish	Kuch va deformatsiya orasida to'g'ri chiziqli boglanish bo'lgan xoldagi kuchlanish	Namunaga kuyilgan eng katta kuchga mos kelgan kuchlanish
31	Dinamik kuch qanday?	o'zining eng katta qiymatiga asta sekin erishsa	kuch o'zgarmas bo'lsa	o'zining eng katta qiymatiga qisqa vaqt ichida erishsa	tezlik o'zgarmas bo'lsa
32	Guk qonuni materiallarning qaysi chegarasida qo'llaniladi?	proportsionallik chegarasida	istagan chegarasida	mustahkamlik chegarasida	oquvchanlik chegarasida
33	Sterjen nisbiy deformatsiyasi qanday birlik bilan ulchanadi?	Sm	O'lchovsiz kattalik	M	Gradus
34	“EF” nimani ifodalaydi?	Puasson koeffitsientini	cho'zilish va siqilishdagi bikrlilik	mustahkamlik chegarasini	proportsionallik chegarasini
35	“Δl” bilan “EF” orasida qanday bog'lanish bor?	differentzial bog'lanish	to'g'ri proportsional	teskari proportsional	bog'lanish yo'q
36	Deformatsiya deb nimaga aytiladi?	tashqi kuchlarga karshilik ko'rsata olish qobiliyati	tashqi kuchlar ta'sirida jism shaklining o'zgarishi	normal kuchlanish nolga teng bo'lsa	tashqi kuchlar ta'sirida jismning yemirilish chegarasi
37	Kesimning og'irlik markazi deb nimaga aytiladi?	markaziy o'qlarning kesishish nuqtasiga	ixtiyoriy o'qlarning kesishish nuqtasiga	normal kuchlanish nolga teng bo'lsa	urinma kuchlanish nolga teng bo'lsa
38	Qanday deformatsiya elastik deformatsiya deyiladi?	agar jismlarda tashqi kuch ta'sirida hosil bo'lgan deformatsiya jismdan kuch olinganda yo'qolmasa	agar jismlarda tashqi kuch ta'sirida hosil bo'lgan deformatsiya jismdan kuch olinganda yo'qolib ketsa	bo'ylama o'lchamlarning o'zgarishi	uzunlik birligiga to'g'ri kelgan deformatsiya
39	Qanday deformatsiya plastik deformatsiya deyiladi?	agar jismlarda tashqi kuch ta'sirida hosil bo'lgan deformatsiya jismdan kuch olinganda yo'qolib ketsa	bo'ylama o'lchamlarning o'zgarishi	agar jismlarda tashqi kuch ta'sirida hosil bo'lgan deformatsiya jismdan kuch olinganda yo'qolmasa	uzunlik birligiga to'g'ri kelgan deformatsiya
40	Qanday deformatsiya bo'ylama absolyut deformatsiya deyiladi?	uzunlik birligiga to'g'ri kelgan deformatsiya	agar jismlarda tashqi kuch ta'sirida hosil bo'lgan deformatsiya jismdan kuch olinganda yo'qolib ketsa	agar jismlarda tashqi kuch ta'sirida hosil bo'lgan deformatsiya jismdan kuch olinganda yo'qolmasa	bo'ylama o'lchamlarning o'zgarishi
41	Qanday deformatsiya nisbiy bo'ylama deformatsiya deyiladi?	agar jismlarda tashqi kuch ta'sirida hosil bo'lgan deformatsiya jismdan kuch olinganda yo'qolib ketsa	bo'ylama o'lchamlarning o'zgarishi	uzunlik birligiga to'g'ri kelgan deformatsiya	agar jismlarda tashqi kuch ta'sirida hosil bo'lgan deformatsiya jismdan kuch olinganda yo'qolmasa

42	Brus deb nimaga aytiladi?	qalinligi kolgan o'lchamlariga nisbatan sezilarli darajada kichik bo'lgan elementga	ko'ndalang kesim o'lchamlari uzunligi o'lchamlariga qaraganda juda kichik bo'lgan elementga	uch o'lchovi bir xil tartibda bo'lgan elementga	o'rta kesimi egri bo'lgan elementga
43	Plita deb nimaga aytiladi?	o'rta kesimi egri bo'lgan elementga?	uch o'lchovi bir xil tartibda bo'lgan elementga	qalinligi qolgan o'lchamlariga nisbatan sezilarli darajada kichik bo'lgan elementga	ko'ndalang kesim o'lchamlari uzunligi o'lchamlariga qaraganda juda kichik bo'lgan elementga
44	Massiv deb nimaga aytiladi?	uch o'lchovi bir xil tartibda bo'lgan elementga	qalinligi qolgan o'lchamlariga nisbatan sezilarli darajada kichik bo'lgan elementga	ko'ndalang kesim o'lchamlari uzunligi o'lchamlariga qaraganda juda kichik bo'lgan elementga	o'rta kesimi egri bo'lgan elementga?
45	To'plangan kuch deb qanday kuchga aytiladi?	bir jismga qo'shni ikkinchi jismdan o'tadigan kuch	juda kichik sirtga ta'sir qilgan kuchga	jism sirtidagi yuzaga yoki chiziqli bo'ylab ta'sir qiluvchi kuchga	jismning barcha ichki nuqtalariga ta'sir qilgan kuch
46	Tashqi kuch deb qanday kuchga aytiladi?	jismning barcha ichki nuqtalariga ta'sir qilgan kuch	jism sirtidagi yuzaga yoki chiziqli bo'ylab ta'sir qiluvchi kuchga	juda kichik sirtga ta'sir qilgan kuchga	bir jismga qo'shni ikkinchi jismdan o'tadigan kuch
47	Taqsimlangan kuch deb qanday kuchga aytiladi?	juda kichik sirtga ta'sir qilgan kuchga	jismning barcha ichki nuqtalariga ta'sir qilgan kuch	jism sirtidagi yuzaga yoki chiziqli bo'ylab ta'sir qiluvchi kuchga	bir jismga qo'shni ikkinchi jismdan o'tadigan kuch
49	Hajmiy kuch deb qanday kuchga aytiladi?	bir jismga qo'shni ikkinchi jismdan o'tadigan kuch	jismning barcha ichki nuqtalariga ta'sir qilgan kuch	juda kichik sirtga ta'sir qilgan kuchga	jism sirtidagi yuzaga yoki chiziqli bo'ylab ta'sir qiluvchi kuchga
50	Balka tayanchlari qanday xillarga bo'linadi?	sharnirli qo'zg'aluvchan, qistirib mahkamlangan	sharnirli qo'zg'aluvchan, sharnirli qo'zg'almas va qistirib mahkamlangan	sharnirli qo'zg'aluvchan va qo'zg'almas	qistirib mahkamlangan va sharnirli qo'zg'almas
51	Eguvchi moment, kesuvchi kuch va bo'ylama kuch nima?	balka ko'ndalang kesimida hosil bo'ladigan ichki kuchlar	balkaga qo'yilgan tashqi kuchlar	dinamik kuchlar	tayanch reaksiya kuchlari
52	Eguvchi moment va kesuvchi kuch epyuralari nimaga kerak?	statik aniqmaslik darajasini aniqlash uchun	egilish markazini aniqlash uchun	balkalarni turlarga ajratish uchun	balka xavfli kesimini aniqlash uchun
53	Universal tenglama nimani ifodalaydi?	kuchlanishlar aniqlanadi	kesim salqiligi va aylanish burchagini ifoda etadi	ko'ndalang kuchni ifodalaydi	zo'riqish kuchlarini aniqlaydi
54	Asosiy sistema deb nimaga aytiladi?	berilgan balkadan biror ortiqcha bog'lanishni yo'qotib olingan statik aniq va geometrik o'zgarmas sistemaga	elastik asosda yotuvchi balkalarga	Noma'lum zo'riqishlar statikaning muvozanat tenglamalari yordamida topish mumkin bo'lgan sistemaga	Noma'lum zo'riqishlar soni tenglamalar sonidan ko'p bo'lgan sistemaga
55	Ko'chishlarni aniqlashda Vereshchagin usuli qanday usul deb ataladi?	analitik usul	kuch usuli	grafo-analitik usul	deformatsiyalarni solishtirish usuli
56	Qanday hodisa zarb deb aytiladi?	juda ham qisqa muddat ichida qo'yilgan va tezligi bir onda nolga tenglashuvchi yuk	jismga asta sekinlik bilan qo'yilgan yuk	agar konstruktsiya element ilgariylanma va aylanma harakatda bo'lsa	yuk jismga tartibsiz qo'yilgan bo'lsa
57	Juda ham qisqa muddat ichida	jismga asta sekinlik bilan qo'yilgan yuk	zarb deb aytiladi	jismga tartibsiz qo'yilgan yuk deb	himoya deb ataladi

	qo'yilgan va tezligi bir onda nolga tenglashuvchi yuk	deb ataladi		ataladi	
58	Fazodagi siniq sterjenlarning ko'ndalang kesimlaridagi zo'riqish kuchlari qanday topiladi?	deformatsiyalarni solishtirish usuli	deformatsiya tenglamalarini bevosita integrallash bilan	kesimlar usuli bilan	kuch usuli bilan
59	Murakkab qarshilik deb nimaga aytiladi?	ko'ndalang kesimda bo'ylama kuchlar hosil bo'lsa	ko'ndalang kesimda faqat eguvchi moment hosil bo'lsa	ko'ndalang kesimda burovchi moment hosil bo'ladi	sterjenning ko'ndalang kesimlarida bir necha zo'riqish kuchlarini hosil bo'lishiga
60	Siqilgan sterjenlar uchun qanday kuch kritik kuch deb aytiladi?	sterjenning ham to'g'ri chiziqli ham egri chiziqli muvozanat holatlariga ustivor bo'lgan vaqtga to'g'ri kelgan siquvchi kuchga	sterjenning to'g'ri chiziqli muvozanat holatiga to'g'ri kelgan siquvchi kuchga	sterjenning xavfli holatiga to'g'ri kelgan eng katta siquvchi kuchga	sterjenning egri chiziqli muvozanat holatiga to'g'ri kelgan eng katta siquvchi kuchga
61	Eyler formulasiga odatda qanday inertsia momenti kiradi?	o'qlarga nisbatan inertsia momenti	o'qlarga nisbatan topilgan inertsia momentining minimal qiymati	markazdan kochma inertsia momenti	qutb inertsia momenti
62	Kuchlanish holatining qanday turlari bor?	tekis va chiziqli	tekis va hajmiy	hajmiy, tekis va chiziqli	hajmiy va chiziqli
63	Cho'zilish va siqilishdagi elastiklik moduli nimani xarakterlaydi?	Materialning cho'zilish va siqilishga qarshilik ko'rsatish xususiyatini	Materialni cho'zilish va siqilishda hosil qiladigan normal kuchlanishni	Materialni cho'zilish va siqilishda hosil qiladigan urinma kuchlanishni	Materialni buralishga qarshilik ko'rsatish xususiyatini
64	Qanday masalalar statik aniqmas masalalar deb ataladi?	Agar noma'lumlar soni statikaning muvozanat tenglamalari soniga teng bo'lsa	Agar noma'lumlar soni statikaning muvozanat tenglamalari sonidan ortiq bo'lsa	Agar noma'lumlar soni statikaning muvozanat tenglamalari sonidan kam bo'lsa	Agar noma'lumlar soni statikaning muvozanat tenglamalari soniga bog'liq bo'lmasa
65	Markaziy cho'zilish va siqilish nima?	Agar sterjenga ta'sir etuvchi kuch sterjen o'qiga perpendikulyar ta'sir etsa	Agar sterjenga ta'sir etuvchi kuch sterjen o'qiga biror burchak ostida ta'sir etsa	Agar sterjenga ta'sir etuvchi kuch sterjen o'qi bo'yicha ta'sir etsa	Kesim yadrosi kesimdan tashqarida bo'lsa
66	Qaysi sharnir II ta erkinlik darajasini cheklaydi	SHarnirli qo'zg'aluvchan tayanch va qistirib mahkamlangan tayanch	Qistirib mahkamlangan tayanch	SHarnirli qo'zg'aluvchan tayanch	SHarnirli qo'zg'almas tayanch
67	Qaysi sharnir I ta erkinlik darajasini cheklaydi?	SHarnirli qo'zg'almas tayanch	SHarnirli qo'zg'aluvchan tayanch	Qistirib mahkamlangan tayanch	SHarnirli qo'zg'aluvchan tayanch va qistirib mahkamlangan tayanch
68	Qaysi sharnir III ta erkinlik darajasini cheklaydi	SHarnirli qo'zg'aluvchan tayanch va sharnirli qo'zg'almas tayanch	SHarnirli qo'zg'almas tayanch	Qistirib mahkamlangan tayanch	SHarnirli qo'zg'aluvchan tayanch
69	Bir nechta balkalarni sharnirlar yordamida geometrik o'zgarmas qilib	Rama	Ko'p oraliqli balka	Arka	Ferma

	bog'lanishi natijasida hosil bo'lgan konstruksiya qanday ataladi				
70	Deformatsiya natijasida konstruksiyalarda qanday zo'riqish kuchlari hosil bo'ladi	Bo'ylama kuch	Eguvchi moment	Kesuvchi kuch	Eguvchi moment, kesuvchi kuch, bo'ylama kuch
71	Kuch ta'sirida inshoot nuqtalarining bir holatdan ikkinchi holatga o'tishi ---- -- deyiladi	Buralish	Egilish	Ko'chish	Deformatsiya
72	EI -ifoda nimani anglatadi	Buralashdagi birklikni	Egilishdagi birklikni	CHO'zilish yoki siqilishdagi birklikni	Puasson koefitsientini
73	GF -ifoda nimani anglatadi	Buralashdagi birklikni	CHO'zilish yoki siqilishdagi birklikni	Egilishdagi birklikni	Puasson koefitsientini
74	E nimani anglatadi	Puasson koefitsientini	CHO'zilish va siqilishdagi elastiklik modulini	Egilishdagi birklikni	Buralashdagi birklikni
75	G -nimani anglatadi?	CHO'zilish va siqilishdagi elastiklik modulini	Puasson koefitsientini	Siljishdagi elastiklik modulini	Egilishdagi birklikni
76	μ -nimani anglatadi?	Egilishdagi birklikni	CHO'zilish va siqilishdagi elastiklik modulini	Siljishdagi elastiklik modulini	Puasson koefitsientini
77	Epyura deb nimaga aytiladi?	Harakatlanuvchi tashqi yuk ta'sirida inshootning biror qismida hosil bo'luvchi zo'riqish miqdori	Ko'zg'almas kuchlar ta'sirida tayanchlarda hosil bo'luvchi reaksiya kuchi	Tashqi yuklar ta'sirida biror zo'riqishning inshoot bo'yicha o'zgarishini ifodalovchi grafik	Harakatlanuvchi birlik kuch ta'sirida biror kattalikning o'zgarishini ifodalovchi grafik
78	Balkaning ixtiyoriy kesimidagi kesuvchi kuch nimaga teng?	Kesimdan bir tomonda joylashgan hamma kuchlarning vertikal bo'lgan o'qqa proektsiyalarining algebraik yig'indisiga teng	Kesimning bir tomonidagi hamma kuchlardan kesim og'irlik markaziga nisbatan olingan momentlarning algebraik yig'indisiga teng	Kesimdan bir tomonda joylashgan hamma kuchlarning arka o'qining shu nuqtasiga o'tkazilgan urinmaga proektsiyalarining algebraik yig'indisiga teng	Kesimning bir tomonidagi hamma kuchlardan chap yoki o'ng tayanchga nisbatan olingan momentlarning algebraik yig'indisiga teng
79	Brus kesimida umumiy holda nechta ichki kuch omillari hosil bo'ladi?	Ikkita	Oltita	Bitta	To'rtta
80	Buralish masalasida qabul qilingan gipotezani belgilang?	Tekis ko'ndalang kesimlar val buralishi natijasida deyarli o'zgarmaydi	Ko'ndalang kesimlar orasidagi masofa deyarli o'zgarmaydi	Doiraviy ko'ndalang kesim radiusi to'g'ri chiziqligicha qoladi	Bu yerda to'g'ri gipoteza keltirilmagan
81	Val uzunligi 2 marta ortsa, buralish burchagi qanday o'zgaradi?	8 marta kamayadi	2 marta kamayadi	o'zgarmaydi	2 marta ortadi
82	Detallar mustahkamligi asosan nimalarga bog'liq?	Materialiga, ulchamlariga, ishlash mudatiga va tahsir etuvchi kuchlarga	Detalning uzunligiga va materialini solishtirma ogirrigiga	Tashki kuchlar soniga va yasash texnologiyasiga	Detalning qanday urnatilganiga va materialiga
83	Konstruksiyalar	Detalning	Tashqi kuchlar	Materialiga,	Detalning qanday

	mustahkamligini aniqlashda nimalarga e'tibor berish kerak?	uzunligiga va materialini solishtirma ogirligiga	soniga va yasash texnologiyasiga	ulchamlariga, ishlash mudatiga va tahsir etuvchi kuchlarga	urnatilganiga va materialiga
84	Guk qonuni ifodasidagi elastiklik moduli Ye qanday o'lchov birlikka ega? (N - Ng'yuton, m - metr, s -sekund)	N/mm	N/m	$H / \mathcal{M}$	$H / \mathcal{M}^2$
85	Qaysi hollarda brus buralishga ishlaydi?	Brus ko'ndalang kesimlarida kesuvchi kuch va burovchi moment hosil bo'lsa	Brus ko'ndalang kesimlarida eguvchi moment va burovchi moment hosil bo'lsa	Brus ko'ndalang kesimlari fakat burovchi moment hosil bo'lsa	Brus ko'ndalang kesimlarida buylama kuch kuch va burovchi moment hosil bo'lsa
86	Qaysi material cho'zilish va siqilishda bir xil qarshilik ko'rsatadi?	Beton	Po'lat	Yog'och	CHo'yan
87	Qanday kuchlanish normal (σ) kuchlanish deyiladi?	Ko'ndalang kesimning normaliga parallel yo'nalgan kuchlanish	Ko'ndalang kesimning normaliga tik yo'nalgan kuchlanish	Ko'ndalang kesimning normaliga parallel yo'nalgan kuch	Ko'ndalang kesimning normaliga tik yo'nalgan kuch
88	Qanday kuchlanish ruxsat etilgan kuchlanish deb ataladi?	Proportsionallik chegarasiga mos kelgan kuchlanishga	To'g'ri javob yo'q	Oqish chegarasiga mos kelgan kuchlanishga	Vaqtincha qarshilik kuchlanishiga
89	Qanday kuchlanish holati tekis kuchlanish holati deyiladi?	Nuqtadan o'tkazilgan tekisliklarning fakatgina bittasida urinma va normal kuchlanishlar nolga teng bo'lsa	Nuqtadan o'tkazilgan xech bir tekislikda bir paytning uzida urinma yoki normal kuchlanishlarning birortasi nol bulmasa	Nuqtadan o'tkazilgan tekisliklarning ikkitasida urinma va normal kuchlanishlar nolga teng bo'lsa	To'g'ri javob yo'q
90	Qanday markaziy o'qlar bosh inertsia o'qlari deyiladi?	O'qlardan birortasiga nisbatan inertsia momentining qiymati nolga teng bo'lgan o'qlar	O'zaro perpendikulyar o'qlarga nisbatan markazdan kochma inertsia momenti nolga teng bo'lgan o'qlar	O'qlarga nisbatan inertsia momentlarining yig'indisi minimal bo'lgan o'qlar	O'qlarga nisbatan inertsia momentlarining yig'indisi maksimal bo'lgan o'qlar
91	CHo'zilish masalasida absolyut deformatsiyaning o'lchov birligi qanday bo'ladi?	Uzunlik birligida	Gradus	Radian	To'g'ri javob yo'q
92	Tayanch deb nimaga aytiladi?	Inshootning faqat vertikal ko'chishiga qarshilik ko'rsatuvchi elementga aytiladi	Inshootning vertikal va gorizontal ko'chishini cheklovchi elementga aytiladi	Inshootlarni poydevor yoki zamin bilan biriktiruvchi va ularning ko'chishini cheklovchi qurilmalarga aytiladi	Bir necha sterjenlarni birk birkkan nuktasi
93	Qistirib mahkamlangan tayanch nima?	Inshootning faqat birgina ko'chishiga qarshilik ko'rsatuvchi qurilma	Inshootning vertikal va gorizontal ko'chishini cheklovchi element	Inshootning buralishiga, vertikal va gorizontal ko'chishiga qarshilik ko'rsatuvchi qurilma	Inshootda eguvchi moment hosil bo'lishiga qarshilik ko'rsatadi

94	Shprengelli fermalar deb qanday fermalarga aytiladi?	Parallel belbog'li fermalar	Tugunlarining orasidagi belbog'lar mustaqil fermachalar bilan almashtirilgan fermalar	Statik aniqmas fermalar	Konsolli fermalar
95	Inshootlarni hisoblash tarxilari nima?	Inshootlarni hisoblash tarxilari deganda uning asosiy yuk ko'tatmaydigan qismlarining ko'rinishi tushuniladi	Inshootlarni hisoblash tarxilari deganda uning asosiy yuk ko'taruvchi qismlarining ko'rinishi tushuniladi	Inshootlarni hisoblash tarxilari deb uning haqiqiy holatini soddalashtirilgan tasviriga aytiladi	Inshootlarni hisoblash tarxilari deganda inshootning tabiiy ko'rinishiga aytiladi
96	Tayanch reaksiyasi va ichki zo'riqlashlarni muvozanat tenglamasi orqali aniqlanadigan sistema..... sistema deyiladi	statik noaniq	statik aniq	statik o'zgaruvchan	oniyo'zgaruvchan
97	Tayanch reaksiyasi va ichki zo'riqlashlarni muvozanat tenglamasi orqali aniqlab bo'lmaydigan sistema..... sistema deyiladi	statik aniq	statik o'zgaruvchan	oniyo'zgaruvchan	statik noaniq
98	Statik noaniq ramalarda yakuniy eguvchi momentlarni statik tekshirish nimaga asoslangan?	Reaksiyalarning tengligi	Ichki va tashqi kuchlarning tengligi	Tugunlarda eguvchi momentlarni yig'indisi nolga tengligi	Ichki kuchlarning tengligi
99	Ikkita diskni geometrik o'zgarmas qilib bog'lash shartlari qaysi holatda to'g'ri keltirilgan?	Ikkita disk uchta sharnir yordamida geometrik o'zgarmas bog'lanishi mumkin agar bog'lovchi sharnirlar bir chiziqlida yotmasa	Ikkita disk uchta sterjen yordamida geometrik o'zgarmas bog'lanishi mumkin, agar bog'lovchi sterjenlar yo'nalishlari umumiy kesishish nuqtasiga ega bo'lsa	Ikkita disk uchta sterjen yordamida geometrik o'zgarmas bog'lanishi mumkin, agar bog'lovchi sterjenlar o'zaro parallel bo'lsa	Ikkita disk uchta sharnir yordamida geometrik o'zgarmas bog'lanishi mumkin, agar bog'lovchi sharnirlar bir chiziqlida yotsa
100	Uch sharnirli sistema deb nimaga aytiladi?	Disklar to'g'ri va siniq sterjenlardan tashkil topgan uch sharnir sistemaga aytiladi	Disklar fermalardan tashkil topgan uch sharnirli sistemaga aytiladi	O'zaro bitta sharnir, asos bilan II ta sharnir yordamida tutashgan ikki diskdan iborat sistemaga aytiladi	Disklar egri sterjenlardan tashkil topgan uch sharnirli sistemaga aytiladi
101	Epyura deb nimaga aytiladi?	Harakatlanuvchi birlik kuch ta'sirida biror bir kattalikning o'zgarishini ifodalovchi grafikka	Qo'zg'almas kuchlar ta'sirida tayanchlarda hosil bo'luvchi reaksiya kuchiga	Harakatlanuvchi tashqi yuk ta'sirida inshootning biror qismida hosil bo'luvchi zo'riqlash miqdoriga	Tashqi yuklar ta'sirida biror zo'riqlashning inshoot o'qi bo'yicha o'zgarishini ifodalovchi grafikka
102	Ko'p oraliq statik aniq balka ta'rifi qaysi bandda to'g'ri keltirilgan?	Faqat ikkita balkaning biki birikishidan hosil bo'lgan sistemaga	Bir necha oddiy balkalarni biki bog'lanishidan hosil bo'lgan sistemaga	Bir necha oddiy balkalarni o'zaro sharnirlar yordamida biriktirishdan hosil bo'lgan geometrik	Bir necha oddiy balkalarni o'zaro sharnirlar yordamida biriktirishdan hosil bo'lgan geometrik o'zgaruvchan statik

				o'zgaras statik aniq sistemaga	aniq sistemaga
103	Balkaning ixtiyoriy kesimidagi kesuvchi kuch nimaga teng?	Kesimning bir tomonidagi hamma kuchlardan kesim og'irlik markaziga nisbatan olingan momentlarning algebraik yig'indisiga teng	Kesimdan bir tomonda joylashgan hamma kuchlarning vertikal bo'lgan o'qqa proeksiyalarining algebraik yig'indisiga teng	Kesimdan bir tomonda joylashgan hamma kuchlarning arka o'qining shu nuqtasiga o'tkazilgan urinmaga proeksiyalarining algebraik yig'indisiga teng	Kesimning bir tomonidagi hamma kuchlardan chap yoki o'ng tayanchga nisbatan olingan momentlarning algebraik yig'indisiga teng
104	Inshootning erkinlik darajasi deganda nimani tushunasiz?	Inshoot yoki sistema elementlari holatini to'lig'icha aniqlaydigan, bir-biriga bog'liq bo'lmagan geometrik parametrlar soniga aytiladi	Inshootlarning geometrik qo'zg'almas elementlari soniga aytiladi	Inshoot yoki sistema elementlari holatini to'lig'icha aniqlaydigan, bir-biriga bog'liq bo'lgan geometrik parametrlar soniga aytiladi	Inshoot yoki sistemadagi sterjenlar soniga aytiladi
105	Ta'sir chizig'i nima?	Harakatlanuvchi tashqi yuk ta'sirida inshootning biror qismida hosil bo'luvchi ichki zo'riqish miqdori	Harakatlanuvchi birlik kuch ta'sirida biror bir ichki zo'riqish kuchining inshoot elementining uzunligi bo'yicha o'zgarishini ifodalovchi grafik	Ko'zg'almas kuchlar ta'sirida tayanchlarda hosil bo'luvchi reaksiya kuchi	Tashqi yuklar ta'sirida biror zo'riqishning inshoot bo'yicha o'zgarishini ifodalovchi grafik
106	Asosiy sistema deb nimaga aytiladi?	Noma'lum zo'riqishlar statikaning muvozanat tenglamalari yordamida topish mumkin bo'lgan sistemaga	Elastik asosda yotuvchi balkalarga	Berilgan balkadan ortiqcha bog'lanishni yo'qotib olingan statik aniq va geometrik o'zgaras sistemaga	Noma'lum zo'riqishlar soni tenglamalar sonidan ko'p bo'lgan sistemaga