

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY TA'LIM, FAN VA INNOVASIYALAR VAZIRLIGI
NAMANGAN MUHANDISLIK-QURILISH INSTITUTI

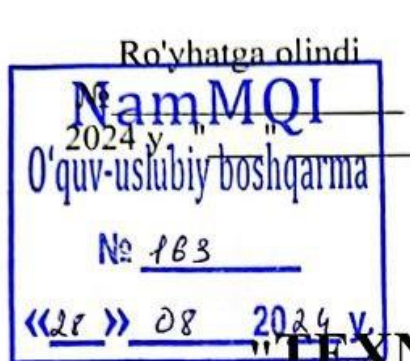
"TEXNIK MEXANIKA"

(I-qism)
fani bo'yicha

O'QUV USLUBIY MAJMUA

Namangan 2024

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY TA'LIM, FAN VA INNOVASIYALAR VAZIRLIGI
NAMANGAN MUHANDISLIK-QURILISH INSTITUTI



"TEKNIK MEXANIKA"

(I-qism)
fanidan

O'QUV USLUBIY MAJMUA

Namangan 2024

Mazkur o'quv-uslubiy majmua O'zbekiston respublikasi oliy ta'lim, fan va innovasiyalar vazirligi namangan muhandislik-qurilish instituti O'quv uslubiy birlashmalari faoliyatini Muvofiqlashtiruvchi Kengashining 2024 yil 07.03 dagi 211-son bayonnomasi bilan ma'qullangan va ro'yhatga olingan "Texnik mexanika" fanining o'quv reja va dastur asosida tayyorlandi.

Tuzuvchi: NamMQI dots. v.b.M.Karabayeva

Taqrizchi: SH.S.Yuldashev- NamMQI "Mexanika" kafedrası
professori t.f.d.

O'quv -uslubiy majmua NamMQI kengashining 2024 yil _____dagi ____-sonli qarori bilan tasdiqqa tavsiya qilingan.

MUNDARIJA

№	Nomlanishi	bet
1.	O'quv materiallari	
1.1.	Ma'ruza materiallari	7
1.2.	Amaliy mashg'ulot materiallari	97
2.	Mustaqil ta'lim mashg'ulotlari	138
3.	Glossariy	143
4.	Ilovalar	
4.1	Fan dasturi	150
4.2.	Ishchi fan dasturi	160
4.3.	Tarqatma materiallar	164
4.4.	Testlar	176

1. O'quv materiallari

So'z boshi

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

Fanni o'qitishdan maqsad-nazariy mexanika, materiallar qarshiligi fanlari bo'yicha nazariy bilim berish: Inshoot qurilmalari va mashina detallarini mustahkamlikka, birkirlikka hamda ustvorlikka hisoblash bilan birgalikda mashinalar, asboblari va transport vositalarining yangi konstruksiyalarini yaratishning eng muhim shartlaridan biri ularning quvvat birligiga to'g'ri keladigan tannarxini kamaytirish, mashinasozlikda kam qo'llanilgan, 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.

Texnik mexanika 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 «Texnik mexanika»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.

Texnik mexanikani 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 nazariy mexanikaning konkret masalalarini hal qilishga, shuningdek nazariy mexanikaning muhandislik va maxsus fanlarni o'rganishi uchun bo'lgan qonun-qoidalarini tadbiq eta olishi zarur.

Hozirgi kunda hisoblash texnikasi, yadro energetikasi, kosmonavtika va elektronikaning rivojlanishi natijasida mexanikadan turlicha fizik tabiatga xos: elektromagnit, issiqlik, yorug'lik va ximiyaviy xususiyatlariga ega bo'lgan kuchlar ta'siridagi sistemalarning harakatini o'rganishiga oid masalalar qo'yilmoqda. Texnikaning barcha sohalarida 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 fani. Asosiy tushunchalar. Statika aksiomalari. Bog'lanishlar va ularning reaksiya kuchlari.

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. Tizimga teng ta'sir etuvchisi.
7. Kesishuvchi kuchlar tizimi muvozanati.
8. Uch kuchning muvozanatiga oid teorema.

Tayanch so'z va iboralar:

Nazariy mexanika, Materiallar qarshiligi, 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 «Nazariy mexanika va materiallar qarshiligi» fanining ahamiyati beqiyosdir. Ilmiy texnikaviy taraqqiyot vazifalari-Respublikada qurilish, mashinasozlik sanoatlarining rivojlanishida, «Nazariy mexanika», «Materiallar qarshiligi» fanlarini o'z tarkibiga oluvchi «Nazariy mexanika va materiallar qarshiligi» fani yetakchi o'rinlarda turadi.

Nazariy mexanika va materiallar qarshiligi fizika-matematika fanlari singari umum ilmiy fundamental fanlarning biri sifatida o'rganiladi. Oliy matematika, fizika, materiallar qarshiligi, 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 «Nazariy mexanika va materiallar qarshiligi»ning qonun qoidalari 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.

Nazariy mexanika va materiallar qarshiligini 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 amaliy mexanikaning aniq masalalarini hal qilishga, shuningdek amaliy mexanikaning muhandislik va maxsus fanlarni o'rganishi uchun bo'lgan qonun-qoidalarini tadbiq eta olishi zarur.

Hozirgi kunda hisoblash texnikasi, yadro energetikasi, kosmonavtika va elektronikaning rivojlanishi natijasida mexanikadan turlicha fizik tabiatga xos: elektromagnit, issiqlik, yorug'lik va ximiyaviy 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.

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'rganuvchi fandir. Harakat va muvozanat tushunchalaridan ularning nisbiyligi haqida xulosa chiqarishimiz mumkin. Nazariy mexanika va materiallar qarshiligi 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'ymoqda, 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.

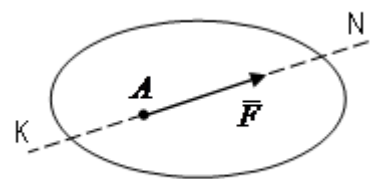
3. Absolyut (mutlaq) qattiq va deformatsiyalanuvchi jism. Qattiq jismning ixtiyoriy ikki nuqtasi orasidagi masofa har qanday holatda ham o'zgarmasdan qolsa, bunday jism absolyut (mutlaq) qattiq jism deb ataladi. Tabiatda mutlaq qattiq jism mavjud emas. Har qanday qattiq jism bo'lmasin, shunday sharoit 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 sayyoralari 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 $(\vec{Q}_1, \vec{Q}_2, \dots, \vec{Q}_n) \Leftrightarrow \vec{R}$.

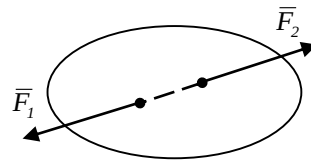
9. Muvozanatlashgan kuchlar sistemasi. Erkin jism unga qo'yilgan kuchlar sistemasi ta'sirida tinch holatda qolsa, bunday kuchlar sistemasi muvozanatlashgan kuchlar sistemasi yoki nolga ekvivalent sistema deyiladi. $(\vec{Q}_1, \vec{Q}_2, \dots, \vec{Q}_n) \Leftrightarrow 0$.

Statikaning asosiy aksiomalari

Statikaning asosida isbot talab etilmaydigan, aksioma deb ataluvchi boshlang'ich haqiqatlar to'plami yotadi. Bu aksiomalar tajriba va kuzatishlarning

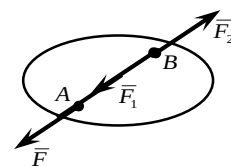
natijasidir. Aksiomalarga asoslanib, statikaning mazmunini tashkil etuvchi teoremlar isbot qilinadi.

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.

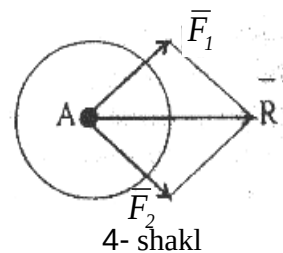


2-aksioma. Agar jismga ta'sir etayotgan kuchlar sistemasi qatoriga, muvozanatlashgan kuchlar sistemasini qo'shsak, yoki undan ayirsak, kuchlar sistemasining jismga ta'siri o'zgarmaydi.

Bu aksiomadani 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.



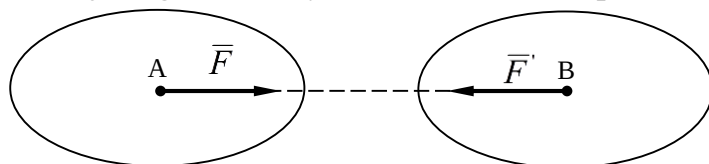
3-aksioma. Jismning biror nuqtasiga turli yo'nalishda qo'yilgan ikki kuchning teng ta'sir etuvchisi shu nuqtaga qo'yilgan bo'lib, ularning geometrik yig'indisiga teng bo'ladi. Bu aksioma bir nuqtaga qo'yilgan ikki kuchning yig'indisi, shu nuqtaga qo'yilgan ikki vektorni qo'shish qonuniyatiga asoslanadi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

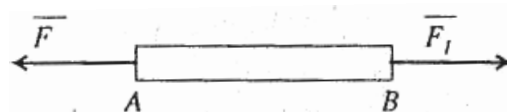
jism birinchi jismga shunday kuch bilan ta'sir etadi (aks ta'sir). Ta'sir va aks ta'sir kuchlarini ikkita jismga alohida-alohida qo'yilganligini osonlik bilan ko'rish mumkin. Shuning uchun bu ikki kuchni muvozanatlashgan kuchlar sistemasi deb qarab bo'lmaydi.

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-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.



6-shakl

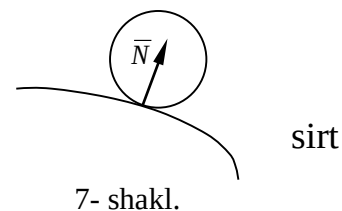
Bog'lanish va bog'lanish reaksiya kuchlari

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.

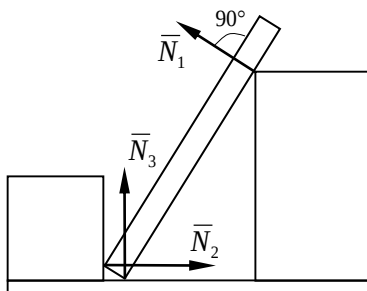
6-aksioma. Har qanday bog'lanishdagi jismni erkin jism deb qarash uchun bog'lanishlarni bog'lanish reaksiya kuchlari bilan almashtirish kerak. Bu aksioma bog'lanishdan qutulish prinsipi deyiladi. By aksiomaga asosan jismga ta'sir etayotgan kuchlar sistemasi qatoriga bog'lanish reaksiya kuchlarini ham qo'shish kerak. Odatda ular noma'lum bo'lib, berilgan kuchlar sistemasining muvozanat shartlaridan topiladi. Bog'lanishdan qutulish uchun bog'lanish 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. Silliqlik sirt. Bunday sirt jismga sillikli sirt bilan tegib turgan nuqtasidan sirtga o'tkazilgan normal yo'nalishi bo'ylab harakatiga halaqit beradi. Binobarin, reaksiya kuchi $\vec{N}$ sillikli bilan jismning tegib turgan nuqtasidan sirtga o'tkazilgan normal bo'ylab yo'nalgan va shu nuqtaga qo'yilgan bo'ladi (7-shakl).

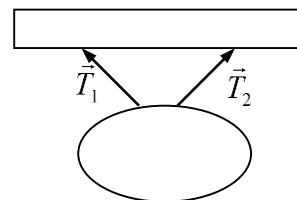


7- shakl.

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

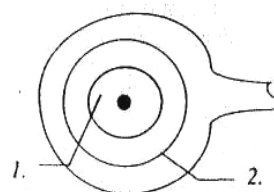


9-shakl

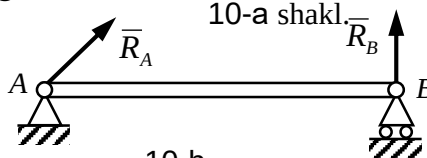
2. Ip (qayish, zanjir, arqon, tros). Agar bog'lanish cho'zil-maydigan ipdan iborat bo'lsa, ip jismning osilish nuqtasidan ip bo'ylab harakatlanishiga chek qo'yadi. Ipnining taranglik kuchi ip bo'ylab osilish nuqtasiga tomon yo'naladi (9-shakl).

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 (10a-shakl). Jism shakl tekisligiga perpendikulyar bo'lgan sharnir o'qi atrofida aylanishi mumkin.



10-a shakl.



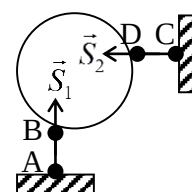
10-b

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. 10b-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.

4. Sterjen. Bog'lanish uchlari sharnirlar bilan biriktirilgan AB va CD sterjenlar vositasida bajariladi.

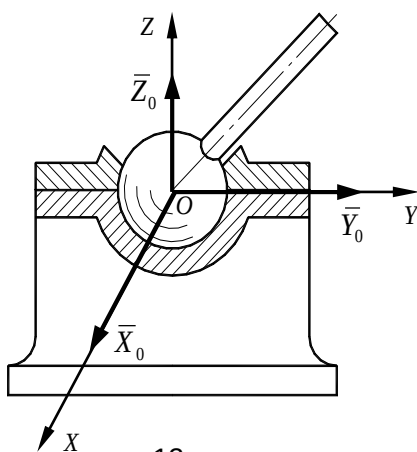
Sterjen og'irliklarini e'tiborga olmay, u sterjenning A va B (C va D) sharnirlariga qo'yilgan ikki kuch ta'sirida muvozanatda bo'ladi. Binobarin reaksiya kuchlari sterjenlarning uchlardagi, sharnirlardan o'tuvchi o'qlar bo'ylab yo'nalgan bo'ladi (11-shakl).



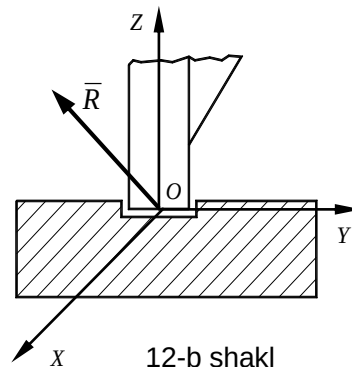
11-shakl

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

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

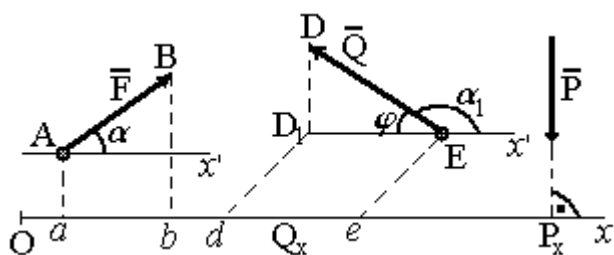
Jismga ta'sir qilayotgan kuchlar sistemasi unga ekvivalent bo'lgan soddaroq kuchlar sistemasi bilan almashtiriladi.

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 perpendikulyarl holda yo'nalgan bo'lsa, uning proyeksiyasi nolga teng bo'ladi.

Masalan, shaklda tasvirlangan kuchlarning proyeksiyalari quyidagicha bo'ladi,

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

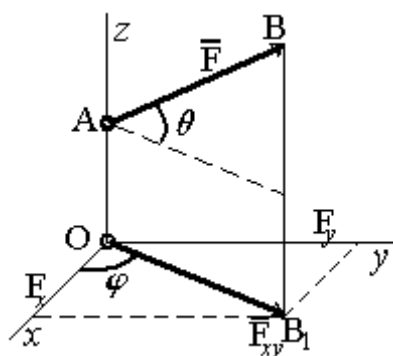


$\bar{F}$ - kuchning Oxy tekislikka proyeksiyasi deb, $\bar{F}$ - vektorining boshi va oxiridan shu tekislikka tushirilgan proyeksiyalarining orasidagi $\bar{F}_{xy} = \overline{OB_1}$

vektorga aytiladi. Shunday qilib, kuchning o'qqa proyeksiyasidan farqli ravishda, kuchning tekislikka proyeksiyasi vektor qiymat ekan, chunki uning son qiymatidan tashqari, bo'ladi.

Kuchning

vektori



tekislikdagi proyeksiyasining moduli $F_{xy} = F \cdot \cos \theta$, bu yerda θ - berilgan kuch $\bar{F}$ - bilan, uning Oxy tekislikdagi $\bar{F}_{xy}$ 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 proyeksiya vektorni o'qqa proyeksiyalanadi.

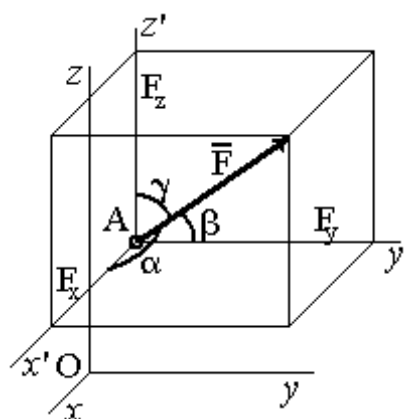
Masalan, shaklda ko'rsatilgan $\bar{F}$ -kuchini to'g'ridan to'g'ri koordinata o'qlariga proyeksiyalab bo'lmaydi, shuning uchun ularni o'qlardagi proyeksiyalari quyidagicha aniqlanadi,

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

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

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 stryelkasiga 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 $\bar{F}$ -kuch vektorini tasvirlash mumkin. Shunday qilib, F va α, β, γ -lar $\bar{F}$ - kuch vektorining tashkil etuvchilari hisoblanadi. Undan tashqari bu $\bar{F}$ -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,

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

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

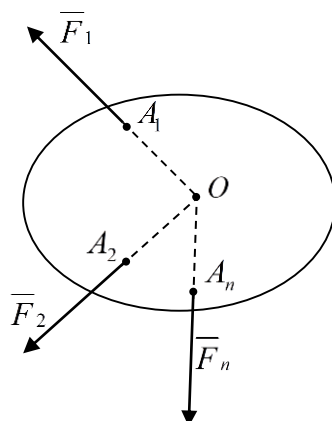
Agar kuchlar, o'zlarining modullari va burchak kosinuslari bilan berilgan bo'lsalar, ularni analitik usulda qo'shish uchun avvalo ularning proyeksiyalarining yig'indilarini aniqlash lozim bo'ladi.

Kesishuvchi kuchlar tizimi.

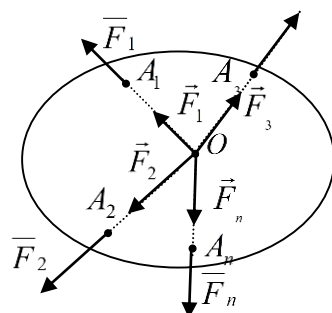
Jismning $A_1, A_2, \dots, A_n$ nuqtalariga $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n$ kuchlar ta'sir etsin va ularning ta'sir chiziqlari O nuqtada kesishsin.

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

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



a shakl



b shakl

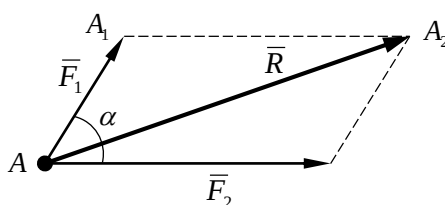
bir

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).

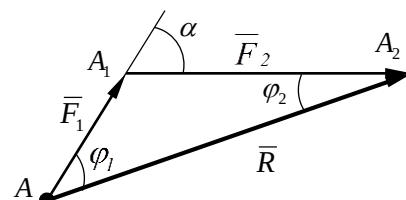
Kesishuvchi kuchlar sistemasi teng ta'sir etuvchisini geometrik usulda aniqlash

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 miqdorini sinuslar va



a shakl



b shakl

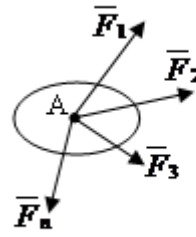
kosinuslar teoremlaridan foydalanib $\triangle AA_1A_2$ dan aniqlanadi

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

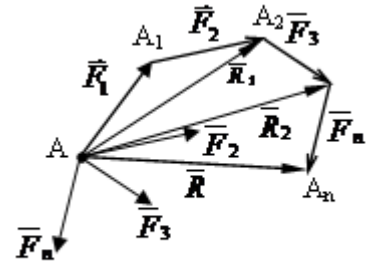
$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos \alpha}$$

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

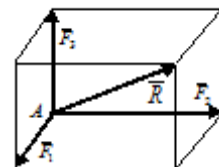
Endi quyidagini qurishni bajaramiz $\vec{F}_1$ kuchining oxiri A1 dan $\vec{F}_2$ kuch vektoriga teng bo'lgan $\vec{A_1A_2}$ vektorni o'tkazamiz, uning oxiridan vektor $\vec{A_2A_3} = \vec{F}_3$, uning oxiridan vektor $\vec{A_3A_n} = \vec{F}_n$ va hokazo. Hamma kuchlarni qo'ygandan keyin, birinchi kuchning boshi A dan oxirgi kuchining oxiri A_n 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 diagonali orqali tasvirlanadi (parallelepiped). Da'voimizning haqligiga kuch ko'pburchagini qurish orqali ishonch hosil qilamiz.

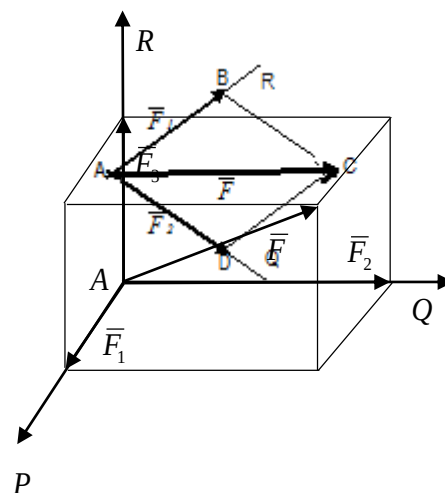


Kuchni tashkil etuvchilarga ajratish

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.

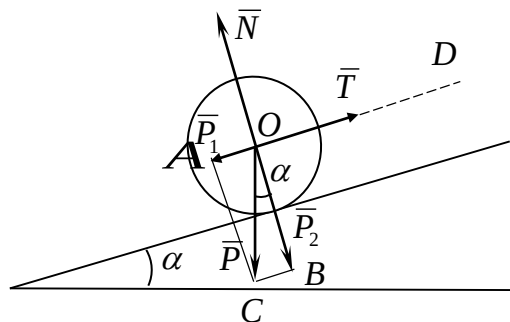


2. Berilgan $\vec{F}$ kuchni uchta kesishuvchi tashkil etuvchilarga ajratish

Kuchlarning ta'sir chiziqlarining yo'nalishlari fazoda AP, AQ, AR bo'lgan va $\vec{F}$ kuchi bilan bir tekislikda yotmaydi (shakl). Buning uchun shunday paralelepiped qurish yetarliki, uning qirralari, ta'sir yo'nalishlari berilgan izlanuvchi kuchlardir. Diagonali esa berilgan kuchdir, u holda paralelepiped qonuniga asosan $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, $\vec{F}_3$ kuchlar paralelepiped 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 $\vec{P}$ bo'lgan jism qiya tekislikka parallel bo'lgan OD ip yordamida muvozanatda tortib turibdi. Ipning taranglik $\vec{T}$ kuchi va jismning qiya tekislikka bo'lgan bosimi aniqlansin.

Yechish: Berilgan $\vec{P}$ kuchni qiya tekislikka parallel va unga perpendikulyar bo'lgan yo'nalishlar bo'yicha $\vec{P}_1$ va $\vec{P}_2$ tashkil etuvchilarga ajratamiz. Buning uchun diagonali



$\vec{P}$ 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 $\vec{P}_1$ tashkil etuvchi ip reaksiya kuchi bilan muvozanatlashadi, ya'ni

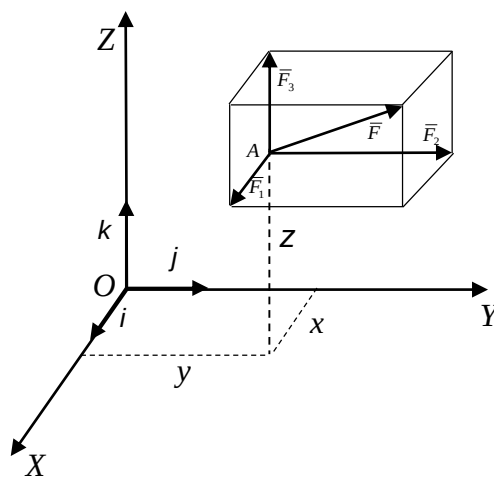
$$T = P_1 = P \sin \alpha$$

Qiya tekislikka perpendikulyar bo'lgan $\vec{P}_2$ tashkil etuvchi, izlanayotgan shu tekislikka bo'lgan bosimni ifodalaydi. Shuni ta'kidlaymizki, jismga qo'yilgan qiya tekislikning $\vec{N}$ 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 $\vec{i}$, $\vec{j}$, $\vec{k}$ 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.

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

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

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

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

Kesishuvchi kuchlar sistemasining geometrik va analitik muvozanat shartlari

Kesishuvchi kuchlar sistemasiga qo'yilgan shart bajarilsa va ularning teng ta'sir etuvchisi $R=0$ 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 $R=0$ 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 $R=0$ 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 tengdamlari 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.

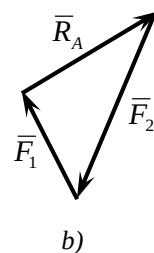
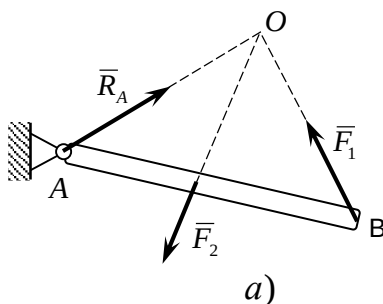
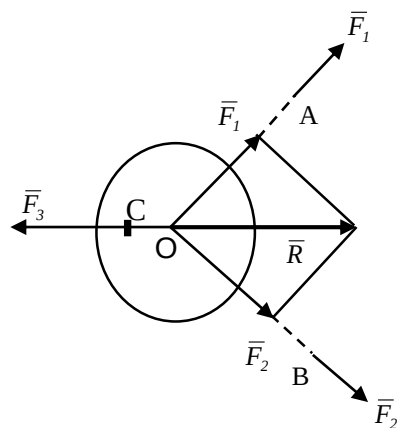
Odatda isbot qilingan uchta bir tekislikda yotuvchi parallel bo'lmagan kuchlarning muvozanat shartlarining zaruriyligidir, ammo bu shartlar yetarli emas, chunki uchta qandaydir kuchlarning ta'sir chiziqlari bir nuqtada kesishadigan bo'lsa, ularni muvozanatlashuvchi deb xulosa chiqarib bo'lmaydi.

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

teoremaga asosan $\vec{F}_1$ va $\vec{F}_2$ kuchlar ta'sir chiziqlari kesishgan O nuqtadan o'tadi. $\vec{R}_A$



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.

2-3-mavzu. Kuchlar sistemasini qo'shish. Momentlar nazariyasi.

Juft kuchlar.

.Reja:

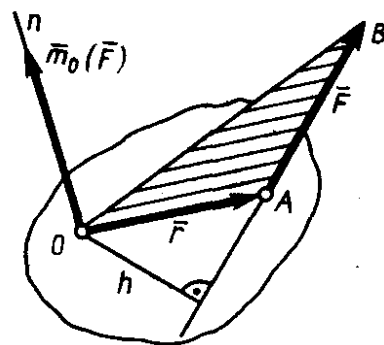
1. Kuch momenti. Kuchning nuqtaga nisbatan algebraik momenti.
2. Juft kuch va uning xossalari. Juftning algebraik momenti. Juftlarning muqobilligi haqida teorema va natijalar.
3. Bir tekislikda joylashgan juftlarni qo'shish. Juftlar tizimining muvozanat shartlari.

Tayanch so'z va iboralar:

Kuch proyeksiyasi, 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 moment.

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 stryelkasiga 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'lanadi. $\overline{m}_o(\overline{F})$ -vektorning ifodasini aniqlash uchun, $\overline{OA}$ vektorni $\overline{F}$ - vektorga vektor ko'paytmasini¹, $\overline{OA} \times \overline{F}$ ko'paytmani yozib chiqamiz,

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

$\overline{OA} \times \overline{F}$ vektor OAB tekisligiga perpendikulyar bo'lib, shu vektorning uchidan qarab $\overline{OA}$ vektorni soat strelkasining aylanishiga teskari tomonga burilganda 180° dan kam bo'lgan burchakda $\overline{F}$ -vektor bilan ustma-ust tushadi, ya'ni $\overline{m}_o(\overline{F})$ -vektor bilan bir xil ekanligi isbotlandi. Demak $\overline{OA} \times \overline{F}$ va $\overline{m}_o(\overline{F})$ 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,

$$\overline{m}_o(\overline{F}) = \overline{OA} \times \overline{F} \quad \text{ёки} \quad \overline{m}_o(\overline{F}) = \overline{r} \times \overline{F},$$

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

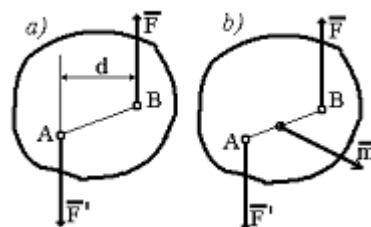
Shunday qilib, $\overline{F}$ -kuchning O markazga nisbatan olingan momenti, O markazdan kuch qo'yilgan nuqtaga o'tkazilgan radius vektor $\overline{r} = \overline{OA}$ ni kuch vektoriga vektor ko'paytmasiga teng ekan. Ushbu xulosa, kuchning markazga nisbatan olingan momentining ikkinchi ta'rifi bo'lib 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 kuch² deb, ataladi (a shakl).

Juft kuchlarni tashkil etuvchi $\overline{F}$ va $\overline{F}'$ 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



¹ qarab-vektorni soat strelkasiga teskari tomonga 180° -dan kam bo'lgan burchakka burilganda -vektorni ustiga tushishi lozim.

² Juftlar nazariyasini, buyuk frantsuz olimi- mexanik va geometr L.Puanso (1777-1859y.) yaratgan

$\vec{R}$ 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.

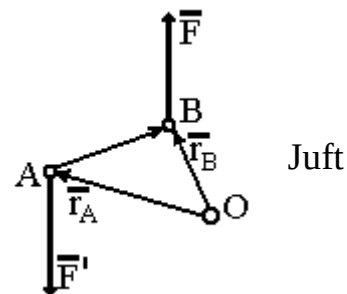
Juft kuchlarning ta'sir chiziqlari joylashgan tekislik, juft kuchlarning tekisligi deb ataladi. Juft kuchlarning ta'sir chiziqlari orasidagi eng qisqa masofa, juftning yelkasi deb ataladi. Juft kuchlarning jismga ta'siri, uning aylanma harakatini belgilaydi va uni belgilovchi qiymat juftning momenti 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 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 stryelkasi 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). kuchning momenti ham, kuchning momenti kabi ng'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.

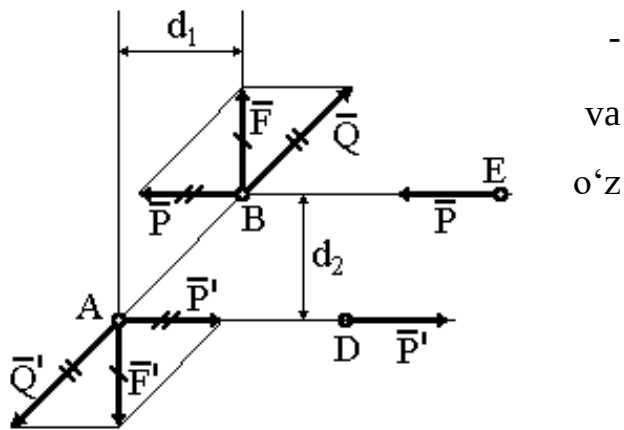
Agarda, juft kuchlarning qattiq jismga ta'siri (aylantirish samarasi) har bir kuchning ixtiyoriy O nuqtaga nisbatan olingan momentlarning yig'indisiga teng ekanligini e'tiborga olsak formulaga asosan momentlari teng bo'lgan ikkita juft kuchlar ekvivalent bo'lar ekan. Ya'ni ular jismga bir xil ta'sir 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, 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 hohlagan 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

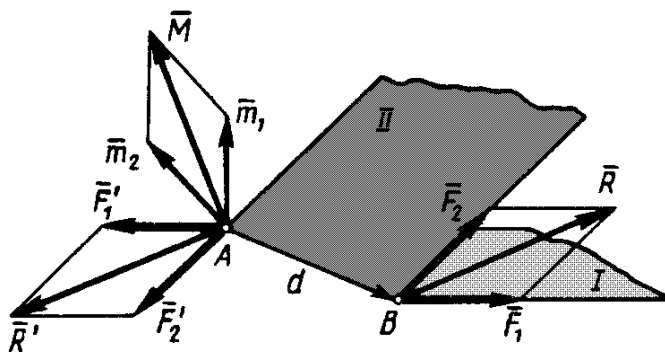
$\overline{AB} \times \overline{F} = \overline{AB} \times \overline{P} + \overline{AB} \times \overline{Q}$, lekin $\overline{AB} \times \overline{Q} = 0$ ekanligi sababli $\overline{m}_1 = \overline{m}_2$ ekanligi isbotlandi. Ushbu isbot qilingan natijaga asosan quyidagi xulosaga kelamiz:

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

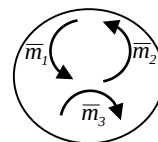
A va B nuqtalarga qo'yilgan kuchlarni geometrik ravishda qo'shib, shuni aniqlaymizki, $\overline{F}_1, \overline{F}_1'$ va $\overline{F}_2, \overline{F}_2'$ lardan iborat bo'lgan ikkita juft $\overline{R}, \overline{R}'$ -kuchlardan tashkil topgan bitta juftga ekvivalent ekan. Endi shu ekvivalent juftning moment vektorini aniqlaylik.

$\overline{R} = \overline{F}_1 + \overline{F}_2$ bo'lgani sababli $\overline{AB} \times \overline{R} = \overline{AB} \times \overline{F}_1 + \overline{AB} \times \overline{F}_2$ yoki moment vektorini aniqlash formulasiga asosan $\overline{M} = \overline{m}_1 + \overline{m}_2$ 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

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

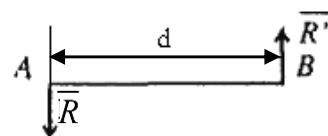


Yuqoridagilarga asosan, bir nechta juft kuchlar ta'siridagi qattiq jismning muvozanat shartini aniqlash oson, ya'ni $\vec{M} = 0$ yoki $\sum \vec{m}_k = 0$ dan iborat bo'lar ekan.

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.

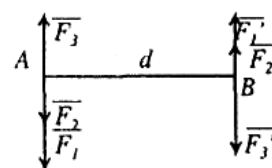
Juftlarning ta'sir tekisligida ixtiyoriy AB kesmani, berilgan juftlar uchun umumiy yelka uchun tanlab olamiz (shakl) momentlari m_1, m_2, m_3 bo'lgan juftlarni, momentlari $\vec{F}, \vec{F}'$, $(\vec{F}_2, \vec{F}_2')$, $(\vec{F}_3, \vec{F}_3')$ juftlar bilan almashtiramiz, ya'ni $m_1 = F_1 \cdot d$,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



A nuqtaga qo'yilgan kuchlarni bitta kuch $\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3$ bilan

almashtiramiz. B nuqtaga qo'yilgan kuchlarni bitta kuch

$\vec{R}' = \vec{F}_1' + \vec{F}_2' + \vec{F}_3'$ bilan almashtiramiz. Boshqacha aytganda ($\vec{R}, \vec{R}'$) 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?

4-mavzu. Fazoda va tekislikda ixtiyoriy joylashgan kuchlar sistemasi.

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.

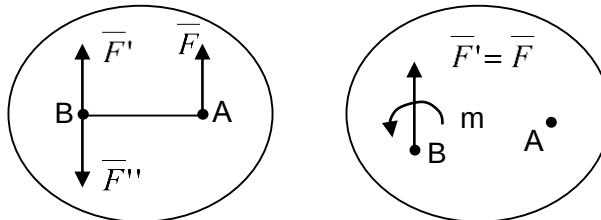
Tayanch so'z va iboral:

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

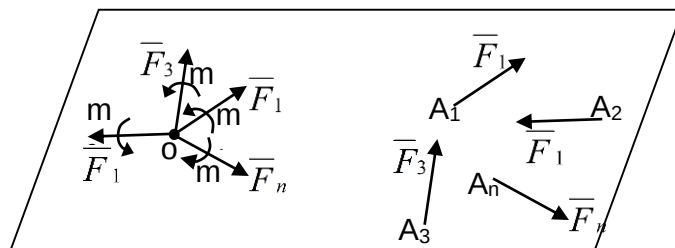


jiyatidan F kuchga teng bo'lgan ya'ni $F' = F'' = F$ nolli sistemani kuchga parallel ravishda qo'yamiz (shakl). Hosil bo'lgan uchta kuchdan $(\bar{F}, \bar{F}', \bar{F}'')$ iborat bo'lgan sistema berilgan F kuchga ekvivalentdir. Bu sistemani F kuch va $(\bar{F}, \bar{F}'')$ juftdan tashkil topgan deb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

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

$\bar{F}_1, \bar{F}_2, \dots, \bar{F}_n$ 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 $(\bar{F}_1, \bar{F}_2, \dots, \bar{F}_n)$. Kuchlar sistemasi O nuqtaga qo'yilgan $\bar{F}_1', \bar{F}_2', \dots, \bar{F}_n'$ kuchlar sistemasiga va bir tekislikda joylashgan momentlari

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

bo'lgan juftlar sistemasiga ekvivalent bo'ladi.

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

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

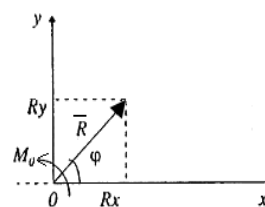
Modomiki, $\vec{F}_k' = \vec{F}_k$, u holda $\vec{R}' = \sum_{k=1}^n \vec{F}_k$ kattalik berilgan kuchlar sistemasining bosh vektori deb ataladi. Binobarin tekislikda ixtiyoriy joylashgan kuchlar sistemasini bosh vektori berilgan kuchlarning geometrik yig'indisiga teng ekan. Tekislikda joylashgan qo'shilgan 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 proyeksiyalari. 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

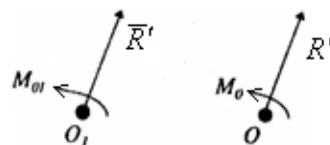
$$R' = \sqrt{\left(\sum_{k=1}^n F_{kx}\right)^2 + \left(\sum_{k=1}^n F_{ky}\right)^2}$$

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 $M_{O1}=M_0$ 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.

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

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. $m_0(\bar{R}) = M_0$ 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

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

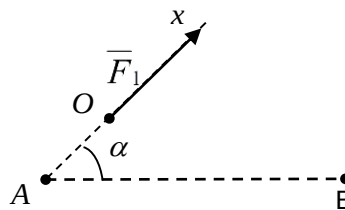
Ya'ni, tekislikda ixtiyoriy joylashgan kuchlar muvozanatda bo'lishi uchun, kuchlarning koordinata o'qlaridagi proyeksiyalarining yig'indisi, kuchlarning ta'sir tekisligidagi biror nuqtaga nisbatan olingan momentlarning yig'indisi nolga teng bo'lishi zarur va yetarlidir. Bog'lanishdagi jismlarning muvozanatiga 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 masalalar 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

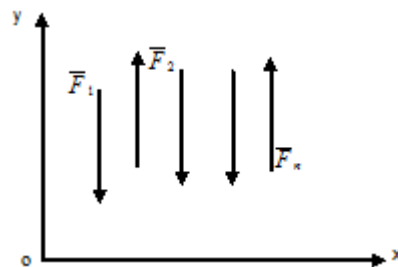
Tekislikda ixtiyoriy joylashgan kuchlar muvozanatda bo'lishi uchun kuchlarning bir to'g'ri chiziq ustida yotmagan uchta A, B va C nuqtalarga nisbatan olingan momentlarining yig'indisi nolga teng bo'lishi zarur va yetarlidir.

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

Tekislikda parallel joylashgan kuchlarning
muvozanat shartlari

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

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



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.

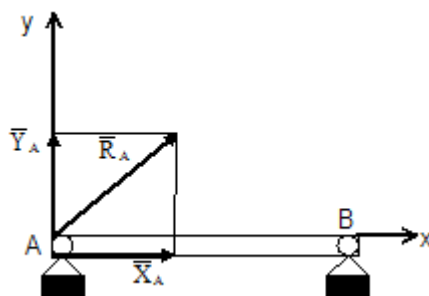
Tekislikda parallel kuchlar muvozanat shartining ikkinchi shakli.

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

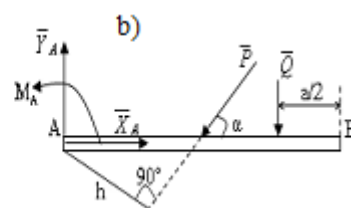
Xususan, bog'lanish ishqalanishsiz silindrik sharnir vositasida bajarilgan bo'lsa, sharnir bog'lanish reaksiya kuchi silindrik o'qiga perpendikulyar bo'lgan tekislikda yotishi ko'rsatilgan edi. Reaksiya kuchining yo'nalishi noma'lum bo'lib, jismga ta'sir etuvchi boshqa kuchlarga bog'liq bo'ladi. Jism 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?

5-mavzu. Ishqalanish kuchlari. Parallel kuchlar markazi. Qattiq jism og'irlik markazi.

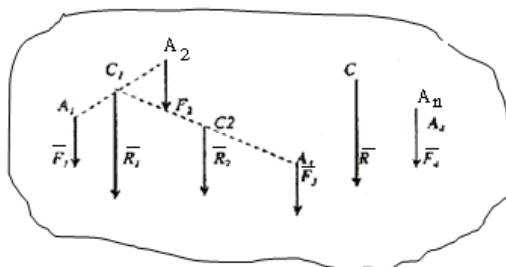
Reja:

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

Tayanch so'z va iboralar:

Parallel kuchlar markazi, og'irlik markazi, og'irlik markazining koordinatalari, bo'laklarga ajratish usuli, manfiy yuzalar usuli, tajriba usuli, integrallash usuli.

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



1-shakl

kuchlarni ketma-ket qo'shamiz $\bar{F}_1$ va $\bar{F}_2$ kuchlarni qo'shib, ularga parallel bo'lgan $\bar{R}_1$ teng ta'sir etuvchisini topamiz. Uning miqdori $R_1=F_1+F_2$ ga teng bo'lib, qo'yilish nuqtasi quyidagi proporsiyadan aniqlanadi:

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

Endi $\bar{R}_1$ va $\bar{F}_3$ kuchlarni qo'shamiz ularning teng ta'sir etuvchisi R_2 ning miqdori quyidagiga teng:

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

qo'yilish 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 ta'sir etuvchisining miqdori

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

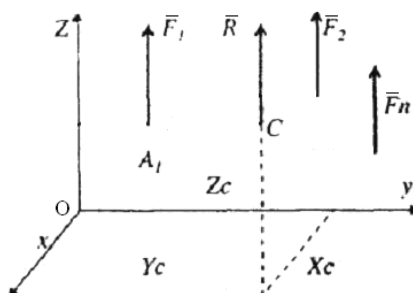
bo'lib, qo'yilish nuqtasi S nuqta quyidagi proporsiyadan aniqlanadi:

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

Yuqoridagi tavsifdan ko'rinadiki, n ta parallel kuchlar sistemasining teng ta'sir etuvchisi ularning yig'indisiga 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° 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.

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

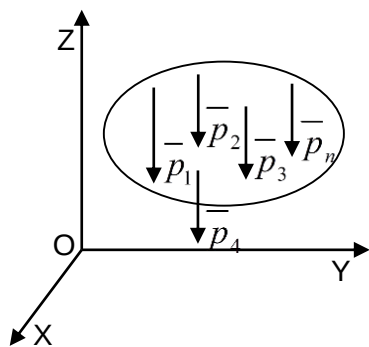
Biror yo'nalishni musbat tanlab olib, (2) formula yordamida nuqta koordinatalari x_c , y_c , z_c larni aniqlanayotganda kuchlarning qiymatlari mos ishoralar bilan olinishi zarur. Jismni elementar bo'lakchalarga bo'lib, har bir bo'lakka ularning og'irlik kuchlarini qo'yamiz. U holda parallel kuchlar sistemasini 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:

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

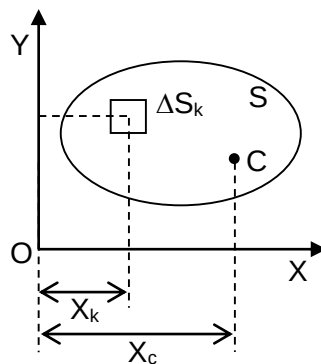
bu yerda R -jism og'irligi. Bir jinsli jism uchun

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

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:

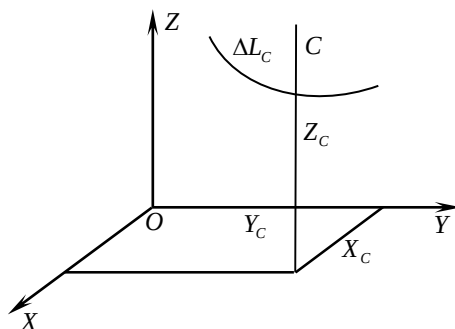
$$X_c = \frac{\sum_{k=1}^n X_k \Delta V_k}{V}; Y_c = \frac{\sum_{k=1}^n Y_k \Delta V_k}{V}; Z_c = \frac{\sum_{k=1}^n Z_k \Delta V_k}{V}; \quad (4)$$

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:

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

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

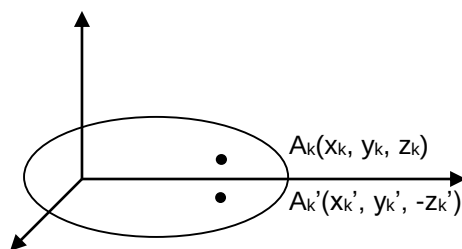
$$Z_c = 0 \text{ yoki } \sum_{k=1}^n Z_k \Delta V_k = 0$$

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.

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.

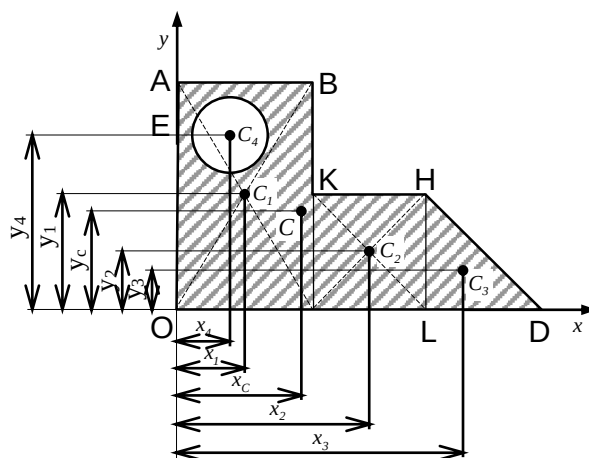
Yechish: Plastinkani to'rtta bo'laklarga ajratamiz. Markazga $c_1(x_1, y_1)$ nuqta bo'lgan to'rt burchak markazi $c_2(x_2, y_2)$ nuqta bo'lgan to'rtburchak markazi $c_3(x_3, y_3)$ nuqta bo'lgan uchburchak va markazi $s_4(x_4, y_4)$ nuqta bo'lgan doira (teshik) shakldan c_1, c_2, c_3, c_4 nuqtalarining 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

$$x_3 = 28;$$

$$y_3 = \frac{10}{3}.$$



7-shakl

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

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

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

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 chiziqning 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 abssissasi 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:

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

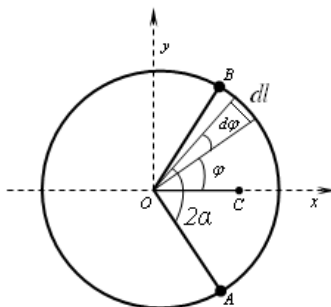
Demak,

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

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'lakchani 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

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

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,

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

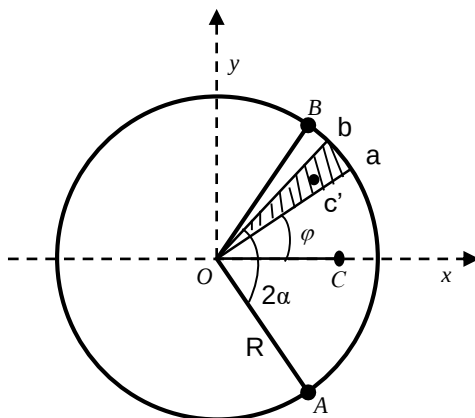
sektor o'rnida yarim doira bo'lsa

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

bo'lib,

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

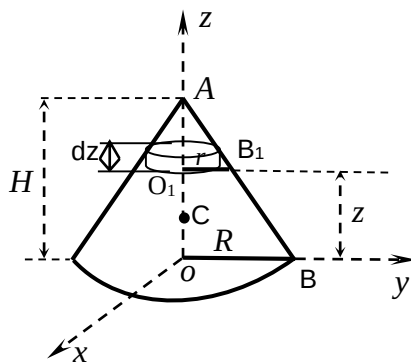
qiymatga ega



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: $V = \frac{1}{3} \pi \cdot R^2 \cdot H$ 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. Chiziqlarning og'irlik markazi qanday aniqlanadi?
6. Og'irlik markazini aniqlashning qanday usullarini bilasiz?

6-mavzu. Kinematikaga kirish. Harakati vektor usulida, koordinatalar usulida, tabiiy usulda berilganda nuqtaning tezligi 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 o'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 hal qilinadi.

Harakat qonunini berilish usullari. Trayektoriya.

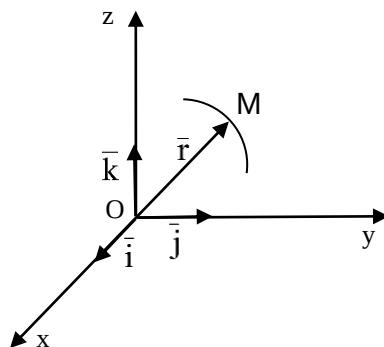
Agar istalgan t vaqt uchun nuqtaning berilgan sanoq sistemasiga nisbatan holati (vaziyati) ma'lum bo'lsa, mazkur sanoq sistemasiga nisbatan nuqtaning harakat qonuni ma'lum bo'ladi. Kinematikada nuqtaning harakat qonuni uchta usulda beriladi:

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 harakatlenganda 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.

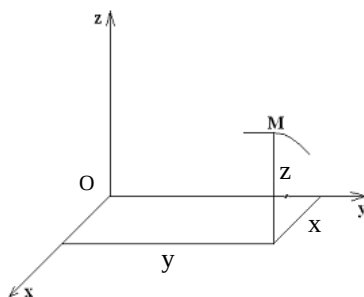


1-shakl

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

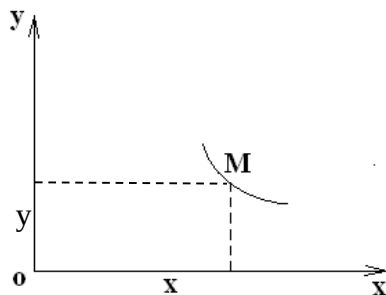
2. Koordinata usuli: Bu usulda harakatlanayotgan M nuqtaning holati uning uchta x, y, z to'g'ri burchakli Dekart koordinatalari orqali aniqlanadi (2-shakl). Nuqta harakatlanganda uning koordinatlari vaqt o'tishi bilan o'zgaradi. Binobarin, M nuqtaning koordinatlari x, y, z vaqtning bir qiymatli va uzluksiz 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 vaqtini yo'qotib, nuqta trayektoriyasining tenglamasi aniqlanadi. Agar nuqta tekislikda harakatlansa ikkita harakat tenglamasiga ega bo'lamiz.



3-shakl

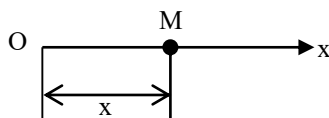
$$\left. \begin{aligned} x &= x(t) \\ y &= y(t) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

(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:

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

Nuqta harakati koordinat usulda berilgan bo'lsin:

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

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

$$g_x = \frac{dx}{dt} = \dot{x} \quad g_y = \frac{dy}{dt} = \dot{y} \quad g_z = \frac{dz}{dt} = \dot{z}$$

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:

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

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

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

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

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 $\vartheta = \frac{ds}{dt} = \text{const}$ bo'lsa, harakat tekis bo'ladi ya'ni $S = S_0 + \vartheta t$, agar $t=0$ da $S_0=0$ bo'lsa, $S = \vartheta t$ bo'ladi.

Nuqta tezlanishi

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

Harakat qonuni vektor usulda berilganda nuqta tezlanishi $\bar{a} = \frac{d\bar{\vartheta}}{dt} = \frac{d^2\bar{r}}{dt^2}$

Harakat qonuni koordinata usulda berilganda nuqta tezlanishi quyidagicha aniqlanadi:

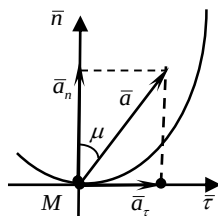
$$\left. \begin{aligned} a_x &= \frac{d\vartheta_x}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = \ddot{x} \\ a_y &= \frac{d\vartheta_y}{dt} = \frac{d^2y}{dt^2} = \ddot{y} \\ a_z &= \frac{d\vartheta_z}{dt} = \frac{d^2z}{dt^2} = \ddot{z} \end{aligned} \right\}$$

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

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

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

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



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

bu yerda ρ – trayektoriyaning egrilik radiusi.

Tezlanishning bu ikki tashkil etuvchisi o'zaro tik yo'nalganidan to'la tezlanishning

moduli quyidagi formuladan topiladi.

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

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

7-mavzu. Materiallar qarshiligifani Asosiy tushunchalar. Gipotezalar

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 gepoteza 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 yechishiga 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 konstruksiyalarning 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,

bikrlik 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 deformatsiyaning 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

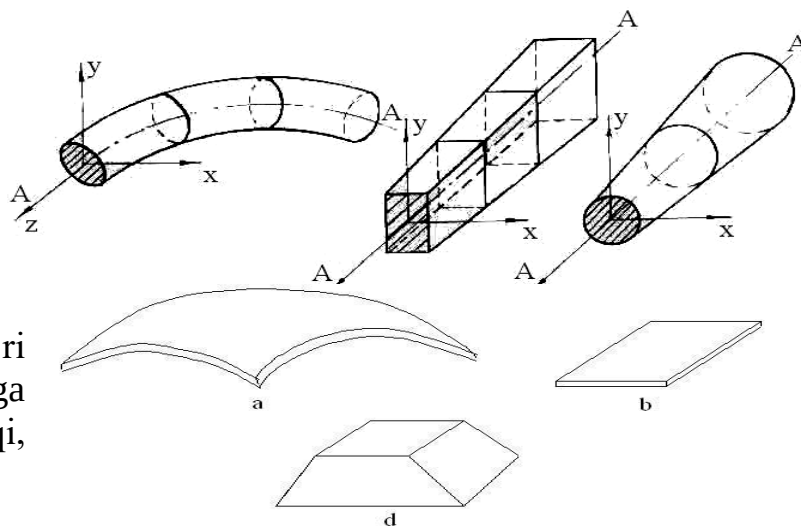
Materiallar qarshiligining ixtiyoriy masalasini yechish, hisob sxemasini tanlashdan boshlanadi, ya'ni shunday soddalashtirilgan sxema tanlanadiki, unda bir tomondan konstruksiyaning asosiy xususiyatlari e'tiborga olinadi, ikkinchi tomondan yakuniy natijaga sezilarli ta'sir etmaydigan ikkilamchi omillar 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,

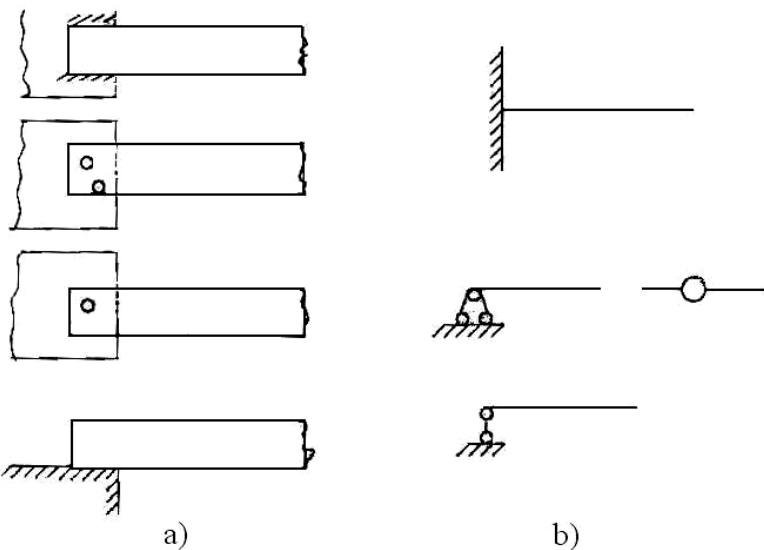


bo'ylama o'q yo'nalishi bo'yicha yo'naltiriladi, x va y o'qlari esa sterjen ko'ndalang kesimi tekisligida yotadi.

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.



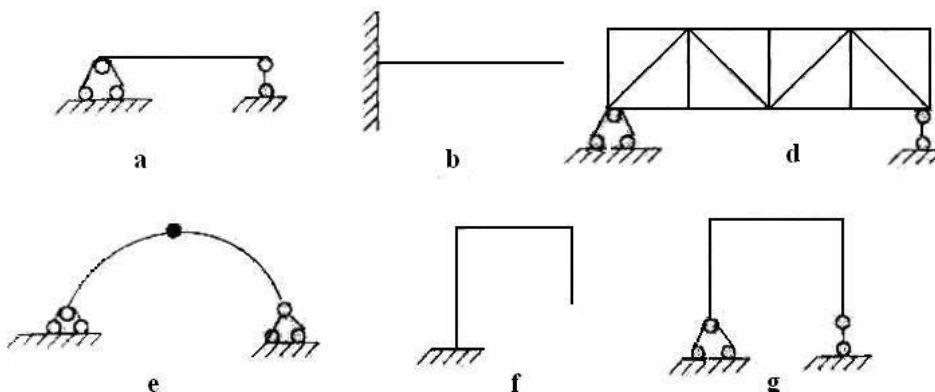
Konstruksiya

qismlarining bog'lanishlari.

Sterjenlardan yaxlit inshoot yasash uchun turli biriktirish vositalari—bolt, parchin mix, payvand va qirgib 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; f—
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 , kN , kgk , tk larda o'lchanadi.

Tekis taqsimlangan kuchlar ko'rilayotgan ob'ekt yuzalari bo'yicha teng ta'sir etuvchi parallel kuchlar sistemasidan iborat bo'ladi.

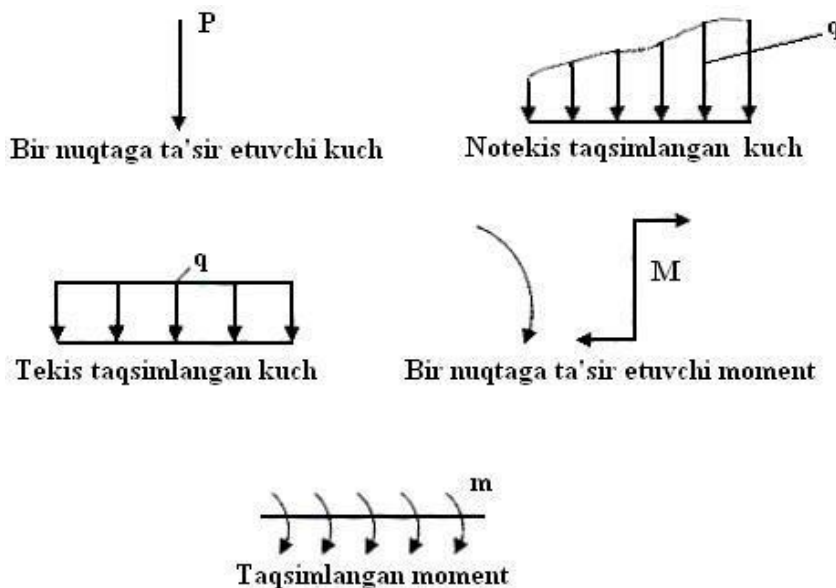
Agarda bu kuchlar uzunlik bo'yicha taqsimlangan bo'lsa u holda yoyilgan kuch xarakteristikasi sifatida uning intensivligi q olinadi va bu – **kuch/masofa** birligida (N/sm , kN/m , kgk/sm , tk/m va hokazolarda) o'lchanadi. Bunga devor og'irligining fundamentga ta'siri misol bo'lishi mumkin.

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.

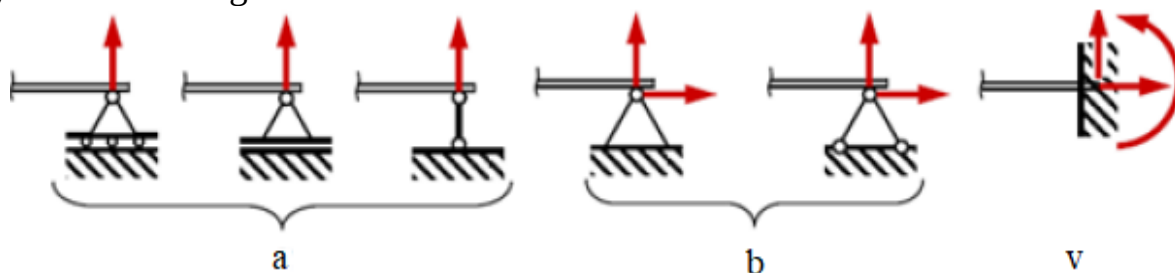
Konstruksiya elementlariga ta'sir etuvchi tashqi kuchlar, asosan sirtqi va hajmiy kuchlarga bo'linadi. Jismga qo'shni ikkinchi jismdan o'tadigan kuchlar sirtqi kuchlar



deyiladi. Jismning barcha ichki nuqtalariga ta'sir qiluvchi kuchlar hajmiy kuchlar deyiladi. Bunga harakatlanayotgan jismda hosil bo'ladigan inersiya kuchi misol bo'ladi.

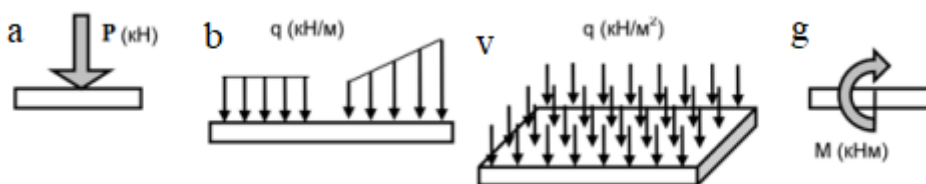
Inshoot, bino, mashina qismlari ishlash jarayonida bir-biriga o'zaro ta'sir etadi, ya'ni inshootning har bir elementi u bilan bog'langan element uchun tashqi kuch (ta'sir) manbadan iborat bo'ladi. Masalan, tom yopilmasi og'irligining stropilalariga ta'sir kuchi, o'z navbatida stropiladagi kuchlarning 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 funkasiyadan 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/m³), (kN/m³) birlikda o'lchanadi. Konstruksiyaga (vaqtga nisbatan) ta'sir etish hususiyatiga nisbatan kuchlar statik va dinamik kuchlarga ajratiladi.

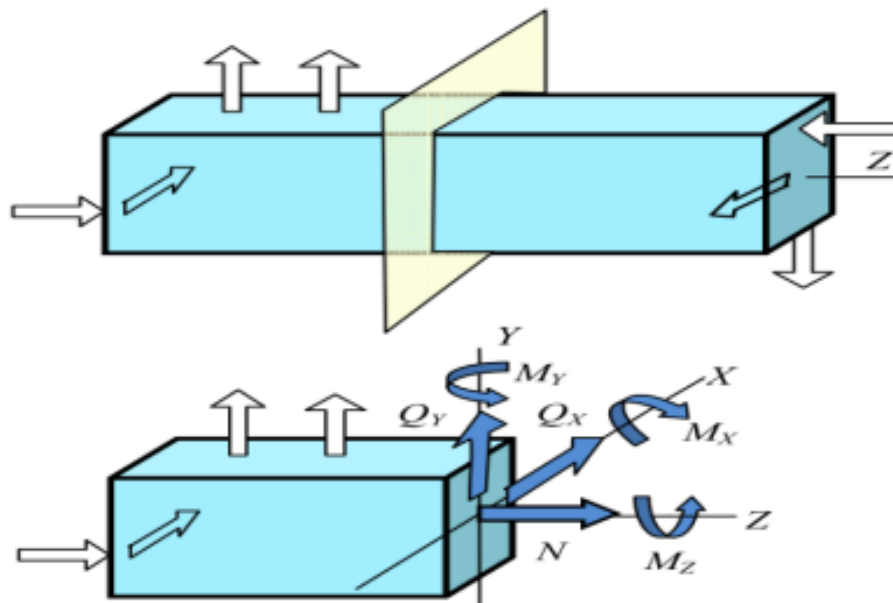
Konstruksiyaga ta'sir etuvchi kuchlar ta'sir etish turiga qarab to'plangan, taqsimlangan (tarqatilgan) va hajmiy yuklarga ajratiladi. Materiallar qarshiligi hisoblarida konstruksiya, inshootlarning hisobiy sxemalaridan foydalaniladi. Masalan, brusni uning o'qi–oddiy chiziq bilan, brusga ta'sir etuvchi 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'zgarmas 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 lementlarida hosil bo'ladigan zilzilaviy kuchlar, zarbaviy kuchlar va h.k.

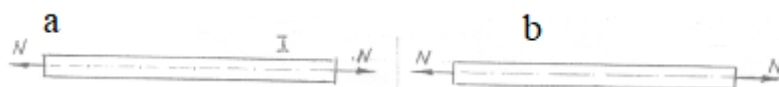
Tashqi kuchlar ta'sirida bo'lgan ixtiyoriy jismni ko'raylik. Ixtiyoriy nuqtadan jismni ikki qismga ajratamiz. Kesimning normal yo'nalishi bo'ylab yo'nalgan kuch bo'ylama kuch $N(x)$ deyiladi. Ichki kuchlarning normalga perpendikulyar yo'nalishdagi tashkil etuvchisi ko'ndalang (kesuvchi) kuch $Q(x)$, 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.

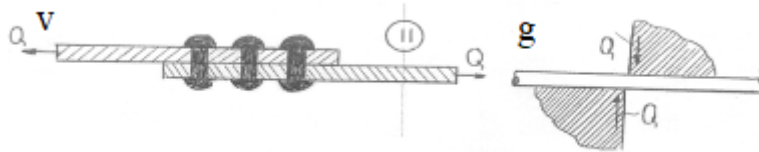


1. Agar brus faqat o'qi bo'ylab yo'nalgan ichki kuch «N» ta'sirida bo'lsa, brus cho'zilish va siqilish deformatsiyasiga ishlaydi. Ichki kuch “N” ni bo'ylama kuch deb ataladi, brusni esa sterjen deb ataladi, agarda uning o'lchamlari uncha katta bo'lmasa (rasm)



Siqilishga ishlaydigan qurilish konstruksiyalarini ustun, kalonna deb ataladi.

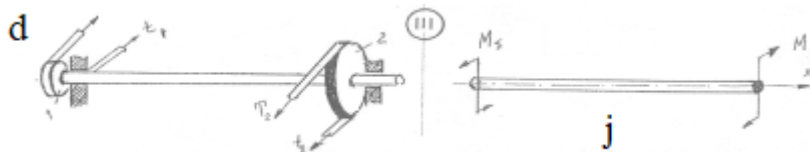
2. Brus kesimidagi ichki kuchlardan $Q_y, Q_z \neq 0$, bo'lib qolganlari nolga teng bo'lsa, brusda siljish, kesilish deformatsiyasi sodir bo'ladi (rasm).



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 bruslarni 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).

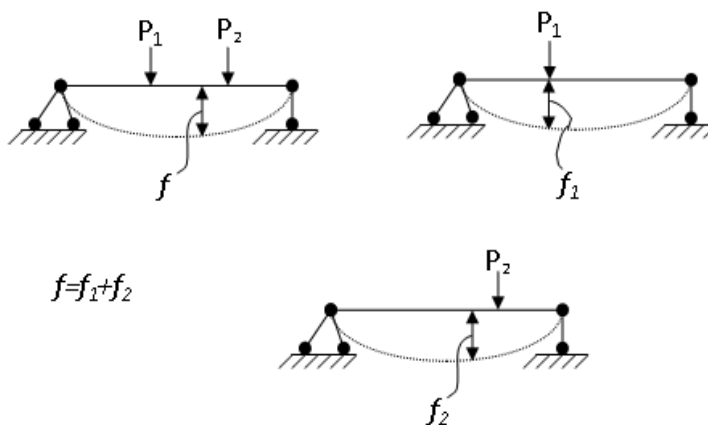
3. Jismning deformatsiyasi uning o'lchamlariga qaraganda ancha kichik deb qaraladi.

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.



8-mavzu. Cho'zilish va siqilish. Materiallar mexanik xossalari.

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

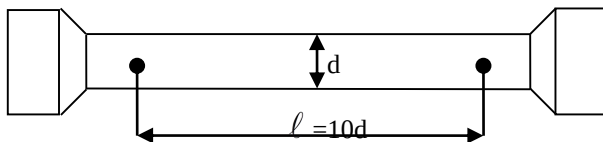
Tayanch so'z va iboralar:

Mexanik xossalari, 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 xarakteristikalar – 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 cho‘zish va siqishga sinashdir. Buning uchun ma’lum miqdordagi yuklanishni berilgan tezlik bilan namunaga bera oladigan turli xildagi sinov mashinalaridan foydalaniladi. Bu holda namunaga beriladigan zo‘riqishni, sinov mashinasining turiga qarab bir necha grammdan yuzlab tonnagacha o‘zgartirish mumkin.

Zo‘riqishga mos keluvchi
absolyut deformatsiyalar esa



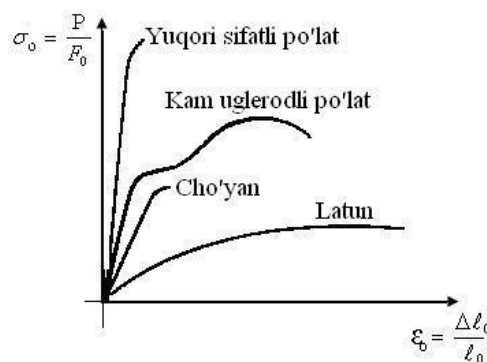
namunaga (sterjenlarga) o‘rnatilgan tenzometrlar yordamida aniqlanadi. Hozirgi zamon sinov mashinalari zo‘riqishga mos keluvchi deformatsiyani aniqlash bilan birga avtomatik ravishda $P = f(\Delta l)$ yoki $\sigma = f(\varepsilon)$ grafiklarini ham chizib boradi. Bu funksiya grafiklari $\sigma \sim \varepsilon$ ning shartli diagrammalari deyilib, materialning mexanik xarakteristikalar shu diagrammalardan aniqlanadi.

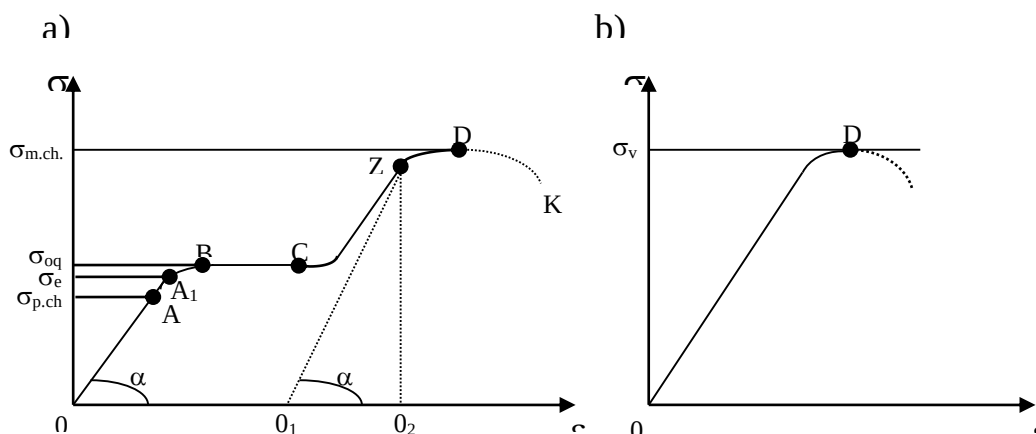
Turli xil materiallar uchun σ va ε diagrammalari rasmda keltirilgan.

Bu yerda l namunaning (sterjenning) boshlang‘ich uzunligi, F –sterjenning boshlang‘ich ko‘ndalang

kesim yuzasi. Rasmda tasvirlangan diagrammalar turli xil masshtablarda keltirilgan.

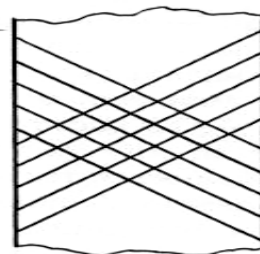
Diagrammalarning xilma-xilligi materiallarning xossalarini aniqlashda asosiy ma’lumot beruvchi manba bo‘lib, ularni sinflarga ajratishda va ko‘rgazmali namoyish etishda kerakli ma’lumot hisoblanadi. Odatda diagrammalar shartli ravishda plastik materiallar diagrammasi va mo‘rt materiallar diagrammasiga ajratiladi.





Quyidagi a,b-rasmlarda plastik va mo‘rt materiallar uchun har xil mashtablarda qurilgan va shartli soddalashtirilgan diagrammalar 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 $E = \text{tg} \alpha = \frac{\sigma}{\varepsilon}$ 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 nuqttagacha 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.



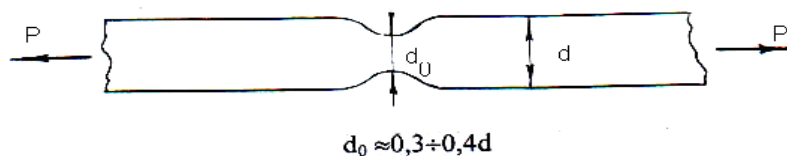
Yuklanish o‘zgarmas (deyarli o‘zgarmas) bo‘lganda deformatsiyaning o‘sishi materialning oquvchanligini ifodalaydi va bu holatga to‘g‘ri keluvchi kuchlanish oquvchanlik chegarasidagi kuchlanish deyilib, u σ_{oq} deb belgilanadi. Kam uglerodli po‘lat uchun $\sigma_{oq} \approx 2400 \text{ kg/sm}^2$ ga 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.

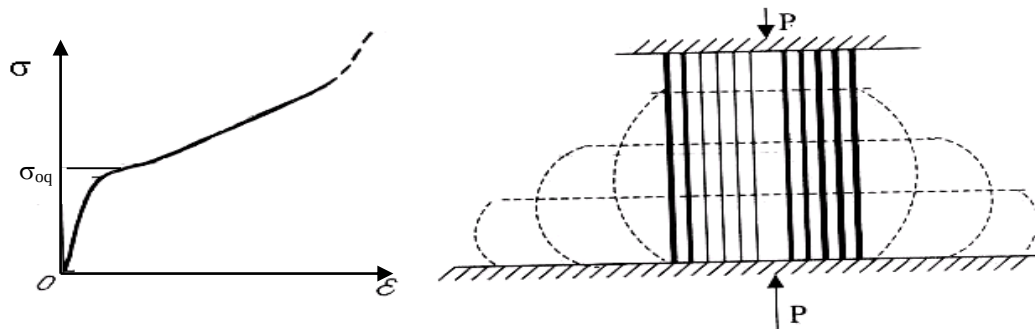
Odatda A va A_1 nuqtalar shu darajada bir-biriga yaqin bo'ladiki, elastiklik chegarasi σ_e bilan proporsionallik chegarasi $\sigma_{p.ch.}$ ko'p hollarda ustma-ust tushishi ham mumkin. Shuning uchun material elastiklik chegarasigacha Guk qonuniga bo'ysunadi deb hisoblanadi. Haqiqatda esa proporsionallik 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	
		$\sigma_{oq} \text{ kgk/sm}^2$	$\sigma_{m.ch.} \text{ kgk/sm}^2$
Uglerodli po'lat	St.3	2400	3800–4700
	St.6	3100	6000–7200
Xromli po'lat	20X	6500	8000
Xrom-kremniy marganesli po'lat	35XGS A	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‘lmashligidadir.

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‘lmashdan, u egri chiziqqa yaqin chiziqdan tashkil topgan bo‘ladi.

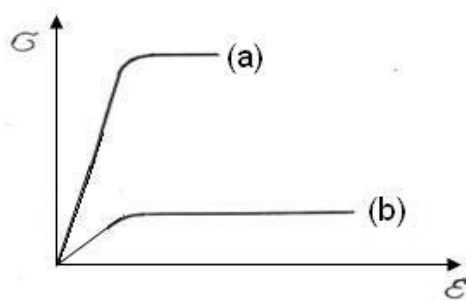
Shunday qilib, ushbu materiallar uchun elastiklik moduli E siqilish va cho‘zilishda bir-biridan farq qiluvchi o‘zgaruvchan kattalik bo‘ladi. Lekin amaldagi kuchlanishning o‘zgarish chegarasida bu holat hisobga olinmay elastiklik modulini

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-ust 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 taxminan 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'lmasligi 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 keltirilgan.

Ekstremal sharoitlarda ishlovchi maxsus inshootlarni loyihalashda ehtiyotlik koeffitsientlarining qiymatlari har bir holat uchun tajriba tadqiqotlari o'tkazilib aniqlanadi.

Yuklanish	Materia l	n_1	n_2
Statik	plastik	2.0	—
Statik	mo'rt	—	3–9
Zarbali	plastik	2,8 – 5,0	—
Bir xil o'zgaruvchi qiymatli (cho'zilish- siqilishda)	plastik	5,0 15,0	—

Ko'pincha bruslarning

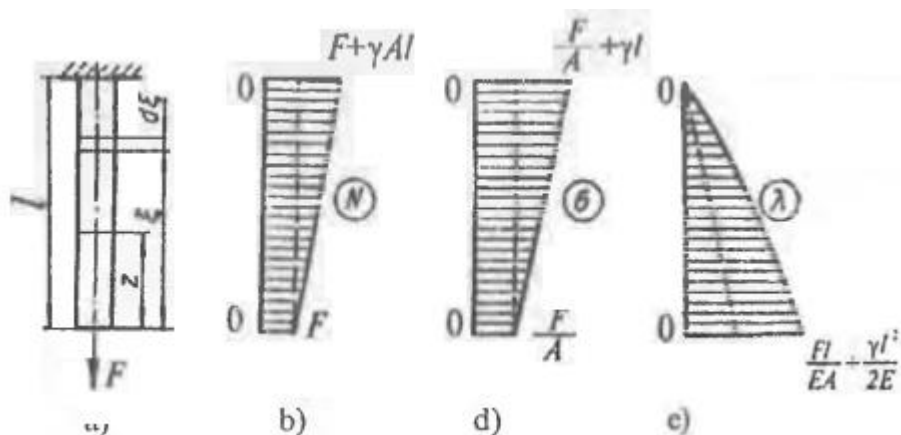
xususiy og'irlik kuchlari tashqi kuchlarga nisbatan juda kichik bo'lganligi sababli amaliy hisoblashlarda ularning ta'sirini e'tiborga olmasa ham bo'ladi. Lekin vertikal

joylashgan juda uzun sterjen (zanjir, og'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 ogirlik 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
kesimdaGi normal
kuchlanishni aniqlash
uchun pastki qismning
muvozanatini
tekshiramiz:



$\sum Z_i = 0, N_z - G_z - F = 0$, Bunda $G_z = \gamma Az$ 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 bolakchanning mutlaq deformatsiyasini

topamiz: $\Delta(dz) \approx \frac{(F + \gamma Az)dz}{EA}$. Sterjenning absolut deformatsiyasini topish uchun oxirgi

ifodani sterjen uzunligi bo'yicha integrallaymiz: $\Delta l = \int_0^l \frac{(F + \gamma Az)dz}{EA} = \frac{Fl}{EA} + \frac{\gamma l^2}{2EA}$.

Sterjenning xususiy og'irligi $G = \gamma Al$ ekanligini e'tiborga olib, oxirgi ifodani quyidagi

ko‘rinishda yozamiz: $\Delta l = \frac{(F + 0,5G)l}{EA}$. $F=0$ bo‘lgan hol uchun $\Delta l_G = \frac{Gl}{2EA}$. Demak, sterjenning xususiy og‘irlik kuchidan hosil bo‘lgan mutlaq detornintsiyasi sterjen og‘irlikiga teng, ammo uning uchiga qo‘yilgan kuchdan hosil bo‘ladigan mutlaq deformatsiyaga nisbatan ikki barovar 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?

9-mavzu. Siljish. Buralish. Egilish.

Reja:

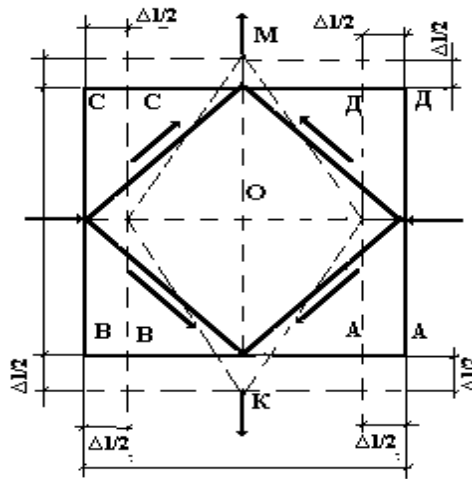
1. Siljish. Sof siljish.
2. Sof siljishda bosh kuchlanishlar. Siljish uchun Guk qonuni.
3. Elastiklik doimiylar orasidagi bog'lanish.
4. Kesimi doiraviy vallarning buralishida qabul qilingan asosiy farazlar.
5. Kesim yuzasi doiraviy sterjenlarning buralishi, burovchi moment va uning epyurasi.
6. Urinma 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.

$$\tau_{\max} = (\sigma_1 - \sigma_3)/2 = [\sigma - (-\sigma)]/2 = \sigma$$

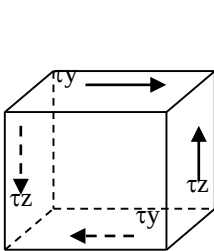
Demak, $\sigma_1 = -\sigma_3 = \sigma = \tau$ bo'ladi, normal kuchlanishlar esa quyidagicha topiladi: $\sigma_\alpha = 0$; $\sigma_\beta = 0$.

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).

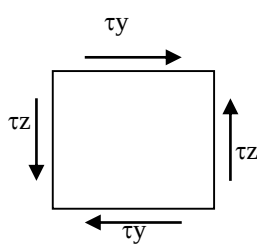
Tik qirruga nisbatan α burchak ostida joylashgan yuzadagi normal va urinma kuchlanishlarni aniqlasak, $\sigma_z = \sigma_y = 0$ bo'lganligi uchun

$$\sigma_\alpha = \tau_z \sin 2\alpha \quad (1)$$

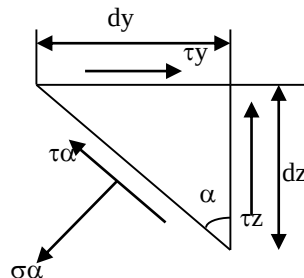
$$\tau_\alpha = -\tau_z \cos 2\alpha. \quad (2)$$



a)



b)



d)

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 $\alpha=900$ 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.

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2\tau_z}{\sigma_z - \sigma_y} = \infty, \quad \text{demak } 2\alpha = 900, \alpha = 450, \text{ ya'ni bosh yuzalar sof siljish yuzalariga nisbatan } 450 \text{ ga burilgan bo'ladi.}$$

Bosh kuchlanishlarni aniqlasak,

$$\sigma_{\max}^{\min} = \frac{\sigma_z - \sigma_y}{2} \pm \sqrt{(\sigma_z - \sigma_y)^2 + 4\tau_z^2} = 0 \pm \frac{1}{2} \sqrt{0 + 4\tau_z^2}$$

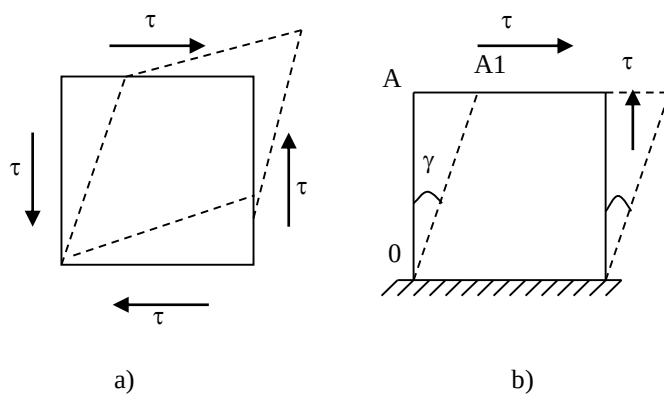
bo‘lgani uchun

$$\sigma_{\max} = \tau_z, \sigma_{\min} = -\tau_z$$

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 parallelepipedning pastki qirrasini qistirib mahkamlangan deb qarash mumkin (3b-rasm).

A A1 kattalik, parallelopipedning deformatsiyasini ifodalab, absolyut siljish deyiladi.

$$\frac{AA^1}{AO} = \operatorname{tg} \gamma$$

Nisbiy kattalik 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:

$$M_b = 716,2 \frac{N}{n}$$

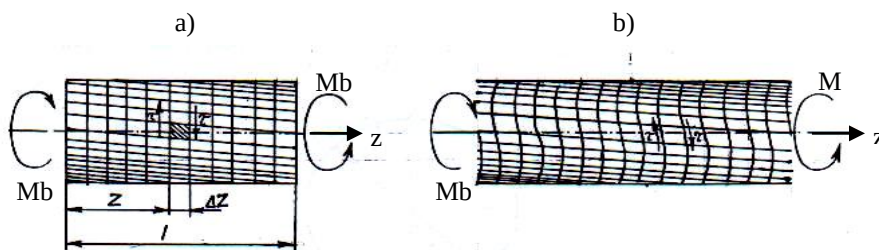
a) agar quvvat N ot kuchida (o.k.) berilgan bo'lsa

$$M_b = 973,6 \frac{N}{n}$$

b) agar quvvat N kilovatda (kvt) berilgan bo'lsa

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

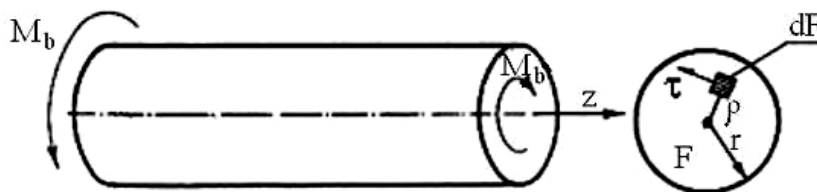
deb ataluvchi hodisa ro'y beradi. Bu holda doiraviy kesimli sterjenlarda qo'llaniladigan tekis kesimlar gipotezasini qo'llab bo'lmaydi.

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).

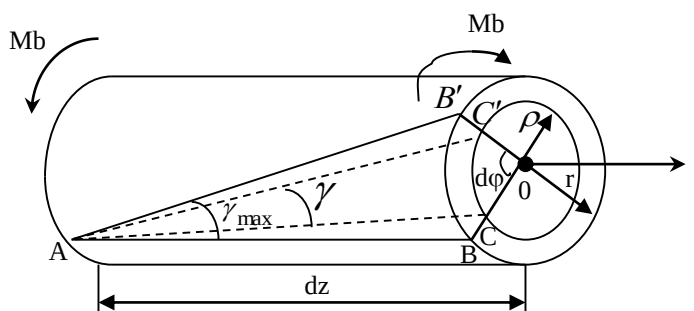
Bu farazlar asosida buralishni ko'ndalang kesim yuzalarining bir-biriga nisbatan siljishlari natijasi deb qarash mumkin. Demak, u holda ko'ndalang kesim yuzalarida faqat urinma kuchlanish τ lar hosil bo'lib, normal kuchlanish $\sigma=0$ bo'ladi.

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

$$M_b = \int_F \tau \cdot \rho \cdot dF$$

borligini ko'ramiz:

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.



$$\gamma = \frac{CC'}{AB} = \frac{\rho d\varphi}{dz}$$

Rasmdan

$$\gamma_{\max} = \frac{BB'}{AB} = \frac{r \cdot d\varphi}{dz} \quad \text{bo'ladi.}$$

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 quyidagi

$$\rho = 0: \tau = 0;$$

$$\rho = r: \tau = \tau_{\max} = G \frac{rd\varphi}{dz}$$

ko'rinishga ega bo'ladi

Burovchi moment M_b bilan urinma kuchlanish τ ni

$$\tau = G\gamma = G \frac{\rho d\varphi}{dz}$$

o'zaro bog'lash uchun

aniqlash

formulasiga

qo'yamiz:

$$M_b = \int_F \tau \rho dF = \int_F G \frac{\rho d\varphi}{dz} \cdot \rho dF = G \frac{d\varphi}{dz} \int_F \rho^2 dF$$

$$\int_F \rho^2 dF = I_\rho$$

bu yerda, G – siljishdagi elastiklik moduli;

I_ρ – 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

$$\tau = G\rho \frac{d\varphi}{dz} = G\rho \frac{M_b}{GI_\rho} = \frac{M_b \cdot \rho}{I_\rho}$$

formulasi hosil bo'ladi, ya'ni

markazidan kuchlanish aniqlanayotgan nuqtagacha bo'lgan masofa.

Ko'ndalang kesimda hosil bo'ladigan eng katta urinma kuchlanish quyidagicha

$$\tau_{\max} = \frac{M_b \cdot r}{I_\rho} = \frac{M_b}{\frac{I_\rho}{r}} = \frac{M_b}{W_\rho}, \quad W_\rho = \frac{I_\rho}{r}$$

aniqlanadi:

sm³ 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

$$W_\rho = \frac{I_\rho}{r} \approx \frac{0,1d^4}{\frac{d}{2}} \approx 0,2d^3$$

bo'lsa, u holda

chunki $I_\rho \approx 0,1d^4$.

Halqasimon

kesimli

sterjen

uchun

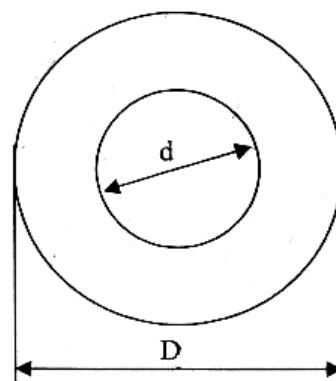
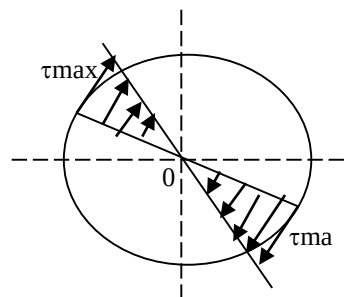
$$W_\rho = \frac{I_\rho}{D/2} = 0,2D^3 \left(1 - \frac{d^4}{D^4}\right)$$

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 buralish burchagi θ konstruksiya 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 metr ga 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 bikrlik

sharti deb ataladi. Odatda
$$\theta_{\max} = \frac{M_{\max}}{GI_{\rho}}$$
 bo'lgani uchun bikrlik 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?

Egilish.

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 so'z va iboralar:

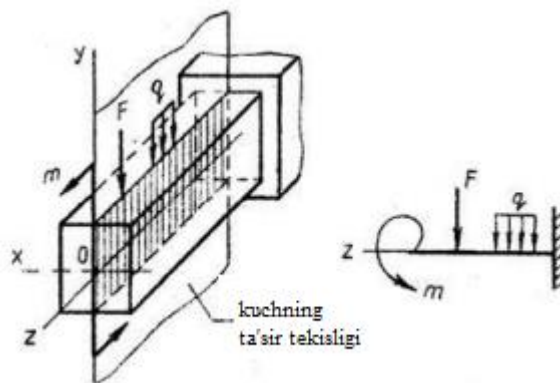
Balka, tayanch, sof egilish, ko'dalang egilish, eguvchi moment, ko'ndalang kuch, epyura, normal kuchlanish, urinma kuchlanish, differensial bog'lanish, neytral qatlam, neytral o'q, qarshilik moment, mustahkamlik sharti.

Ma'lumki deformatsiyalarni besh xil turga ajratish mumkin. Ular siqilish, cho'zilish, siljish, buralish va egilish deformatsiyalaridir. Agar bu deformatsiyalardan faqat bittasi hosil bo'lsa ularni oddiy deformatsiyalar deyiladi. Agar bir vaqtni o'zida tashqi kuchlar ta'sirida deformatsiyaning ikki yoki undan ortiq turi sodir bo'lsa murakkab deformatsiya deyiladi. Biz yuqorida aytib o'tilgan deformatsiya turlaridan to'g'ri egilish deformatsiyasini va hosil bo'ladigan ichki kuch hamda kuchlanishlarni aniqlash masalasi bilan shug'ullanamiz.

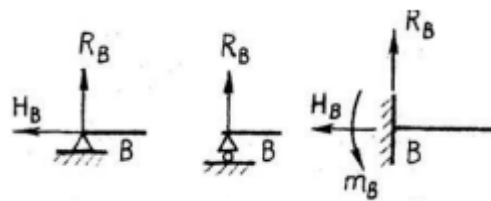
Egilish eng ko'p tarqalgan deformatsiya turidir. Egilishga ishlaydigan mashina va mexanizm elementlari, qurilish sohasida ishlatiladigan ko'plab elementlarni misol keltirish mumkin. Mashina resorlari, g'ildirak o'qlari, tomlarni yopishda ishlatiladigan elementlarda egilish deformatsiyalari hosil bo'ladi.

Egilishga ishlaydigan to'g'ri braslarni balka(to'sin)lar deb ataladi. Egilish deformatsiyasi deb shunday deformatsiya turiga aytiladiki bunda tashqi kuch balka o'qiga perpendikulyar yo'nalgan bo'ladi yoki juft kuch balka o'qi yotgan tekislikda yotadi. Bunday kuchlar ta'siridan balka o'qi egiladi ya'ni egilish deformatsiyasi hosil bo'ladi.

Agar balkaga ta'sir qiluvchi barcha kuchlar bitta tekislikda yotsa ya'ni kuch tekisligida u holda bu kuchlar ta'siridan balkaning egilishini tekis egilish deyiladi. Agar kuchning ta'sir tekisligi ko'dalang kesimning bosh inersiya o'qlaridan biriga mos kelsa, bunday egilish to'g'ri egilish deyiladi. Quyida to'g'ri 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

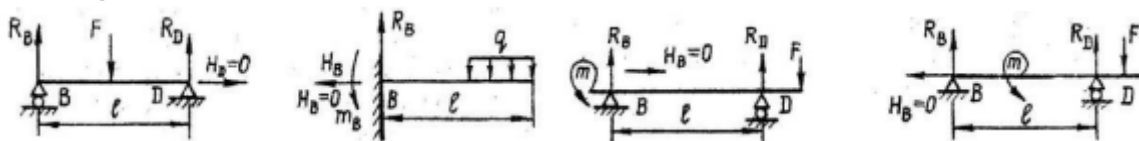


kuch va takalgan kuchlar bo'lib ular kuchning ta'sir tekisligida yotibdi. Bunday egilishni to'g'ri egilish deyiladi. Biz hozircha balkalarni to'g'ri egilishini ko'ramiz. Balkalarni tinch turishini tayanchlar ta'minlaydi. Balkalarni asoslar bilan biriktirish uchun asosan 3 xil ko'rinishdagi tayanchlardan 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.

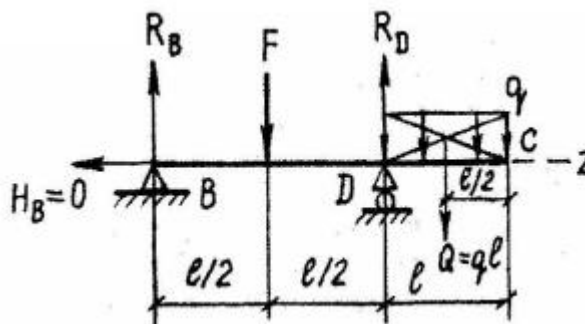


Balkalarda masalaning qo'yilishiga qarab statik aniq yoki statik aniqmas balka bo'lishi mumkin. Agar masaladagi noma'lumlar statikaning muvozanat tenglamalari yordamida aniqlash mumkin bo'lsa masala statik aniq aks holda statik aniqmas bo'ladi.

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

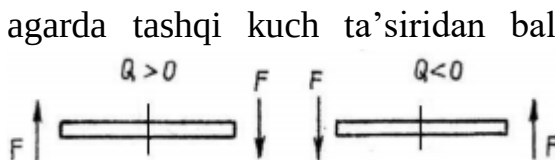
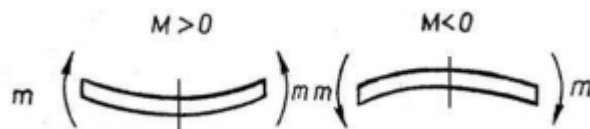
$$\sum X = 0$$

$$\sum Y = 0$$

tenglamalarini tuziladi: $\sum M_o = 0$.

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 $\sum Z=0$ HB nolga tengligi kelib chiqadi. B va D nuqtalarga nisbatan moment olib $\sum M_B=0, \sum M_D=0$ RB va RD 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 qoling 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 M 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:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dQ}{dz} &= q \\ \frac{dM}{dz} &= Q \end{aligned} \right\} \quad \text{bo'lib, bundan,} \quad \frac{d^2 M}{dz^2} = q$$

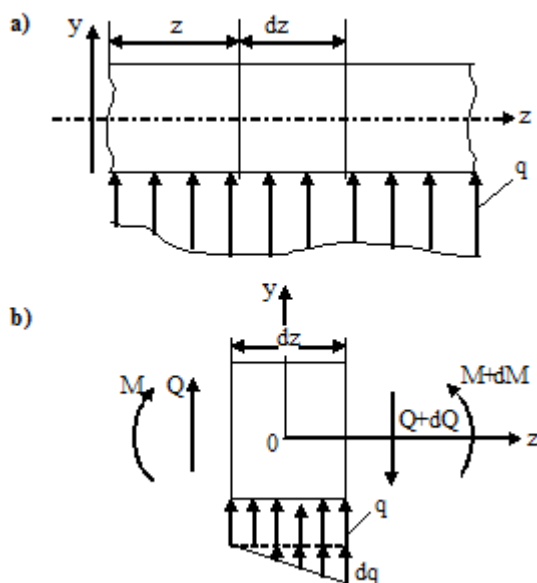
kelib chiqadi.

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:

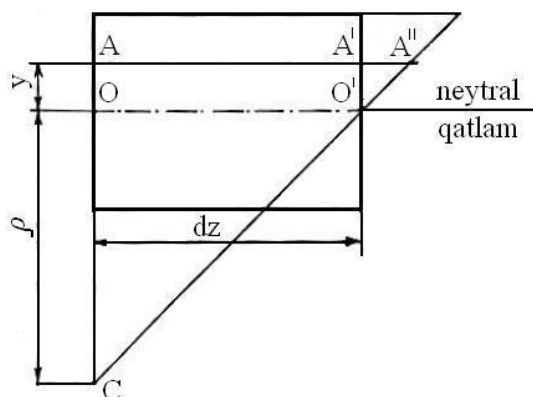
Balkaning ko'ndalang kuch o'zgarmas bo'lgan uchastkasida (yoyilgan kuch bo'lmasa) M ning epyurasi to'g'ri chiziqli bo'ladi.

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.

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 $\sigma = \frac{M}{W}$

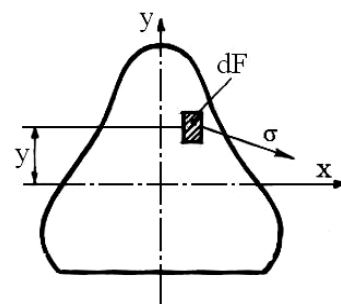
formuladan, urinma kuchlanish esa $\tau = \frac{QS}{bI}$ formuladan foydalanib aniqlanadi. Bu formulalarda M - eguvchi moment epyurasidan olingan eng katta qiymat, W – qarshilik momenti, Q – kundalang kuch epyurasidan olingan eng katta qiymat, S – ajratilgan yuzaning statik momenti, b -ko'ndalang kesimning 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. OO1– bu uzunligi o'zgarmaydigan neytral qatlam. Neytral qatlamdan y masofadagi AA1 qatlam AAII ga uzayadi. O1OC va AIIAIO1 uchburchaklar o'xshashligidan

$$\frac{A^1 A^{11}}{y} = \frac{OO^1}{\rho} = \frac{A^1 A^{11}}{OO^1} = \varepsilon$$

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 $\frac{E}{\rho} = \text{const}$, u holda $N = \frac{E}{\rho} \int y dx$

Sof egilishda ko'ndalang kesimdagi ichki bo'ylama kuch N nolga teng,

$$\frac{E}{\rho} \neq 0, \text{ demak } \int y dx = 0$$

$\int y dF = S_x$ – 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 $M_y = \int_F \frac{E}{\rho} xy dF$ ifodadan aniqlanadi, $\frac{E}{\rho} \neq 0$ ammo momentning ta'sir tekisligi «y» o'qi orqali o'tgani uchun $M_y = 0$ bo'ladi.

bo'lgani uchun $\int_A xy dF = 0$. Bu yerdagi $\int_F xy dF$ 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.

$$M_x - \frac{\sigma}{y} I_x = 0 \text{ yoki } \sigma = \frac{M_x y}{I_x}$$

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

$$W_x = \frac{I_y}{y_{\max}}, \quad I_x = \frac{bh^3}{12}; \quad y_{\max} = \frac{h}{2} \quad \text{va} \quad W_x = \frac{2bh^3}{12h} = \frac{bh^2}{6}$$

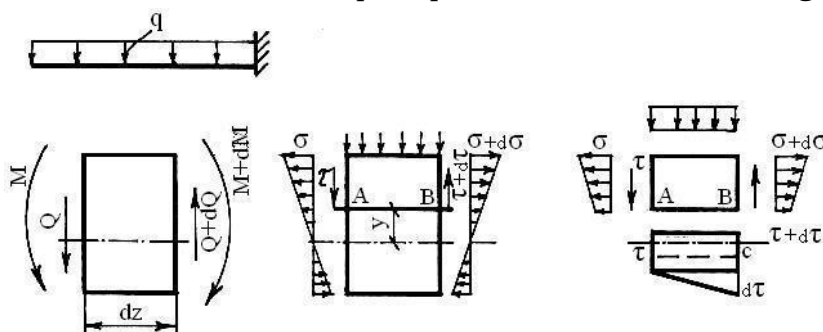
$$W_y = \frac{b^2h}{6}$$

Mos ravishda

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: $\sigma = \frac{M}{W}$. Eglishdagi 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 gorizontol 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 $d\sigma = \frac{dM_y}{I_x}$,

$\int_{F^*} d\sigma dF = \frac{dM}{I_x} \int_{F^*} y dF = \frac{dM}{I_x} \cdot S_x^*$, bu yerda S_x^* ko‘ndalang kesim AB tekislikdan yuqorida joylashgan F^* yuzasining statik momenti,) ekanligini hisobga olib

$\frac{dM}{I_x} S_x^* = \tau b dz$ 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?

10-mavzu. Statik noaniq sistemalar. Ularni yechish usullari.

Sistemaning kinematik qo‘zg‘almas, geometrik o‘zgarmas bo‘lish sharti.
Sistemaning statik noaniqlik darajasi. Kuch usuli.

Reja:

1. Statik noaniq sterjenlar konstruksiyalarida hosil buluvchi holatlar va ularning turlari.
2. Statik noaniq sistemalarni hisoblash tartibi.

Tayanch so‘z va iboralar:

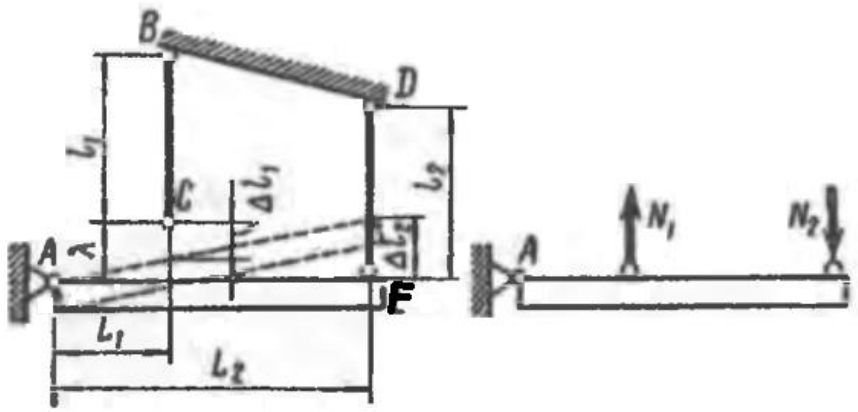
Statik noaniq sterjenlar sistemasi, statik noaniqlik darajasi, asosiy sistema, muvozanat tenglamasi, deformatsiyaning birgalikdagi tenglamasi.

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
konstruksiylarning
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 konstruksiyanı 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, nomalumlar 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'lumlar 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.

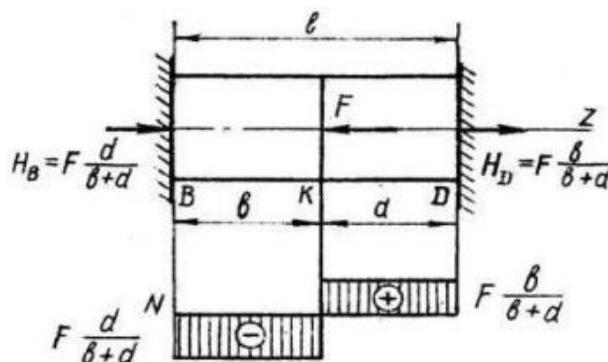
Statik aniqmas sistemalarni hisoblashni umumiy qoidasi quyidaicha:

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 gorizontall reaksiya kuchlari H_B 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 aniqmaslik darajasi

$$S = \sum R - n = 2 - 1 = 1$$

ga teng ya'ni sistema bir marta statik aniqmas 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.

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.

11-mavzu. Ustuvorlik. Kritik kuch va kuchlanishlarni aniqlash.

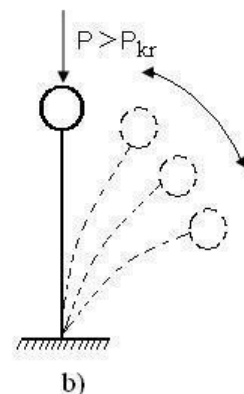
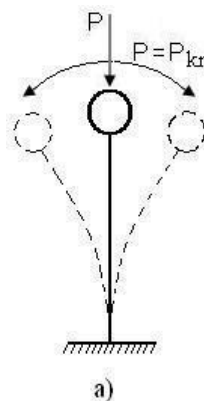
Reja:

1. Ustivorlik. Kritik kuch va uni aniqlash. Eyler formulasi.
2. Kritik kuchni sterjenni mahkamlanishiga bog'liqligi.
3. Eyler formulasidan foydalanish chegarasi. Yasinskiy formulasi.

Tayanch so'z va iboralar:

Ustivorlik, bo'ylama egilish, kritik kuch, keltirilgan uzunlik, sterjen egiluvchanligi, inersiya radiusi, kuchlanishni pasaytirish koeffitsienti, chiziqli interpolatsiya

Siqilgan sterjen ustuvorligi tushunchasini **P** yuk ta'siridagi qistirib mahkamlangan egiluvchi sterjen misolida ko'ramiz. Agar **P** kuch uncha katta bo'lmasa sterjen qisqa muddatli gorizontaal yuk



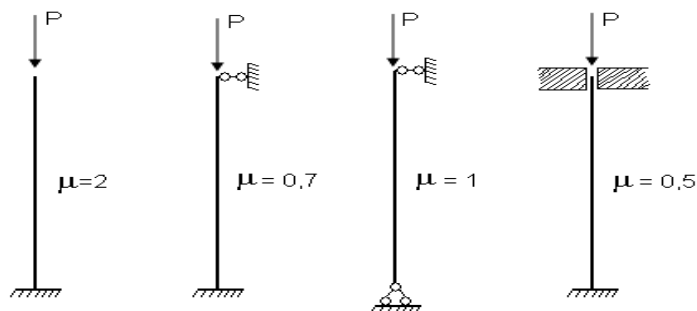
ta'sirida egiladi va yuk olingach o'z o'qi atrofida tebranma harakat qilib, o'zining boshlang'ich holatiga qaytadi.

Yuk kattaligi oshirilganda sterjen qisqa muddatli yukdan keyin o'zining boshlang'ich holatini saqlay olmay, egilgan holda qolishi yuz beradi. U ikkinchi marta muvozanat holatidan chiqarilganda yukni olingach, o'zining yangi egilgan o'qi atrofida tebranadi.

Sistemaning sterjen va yukdan iborat birinchi holati ustuvor, ikkinchi holati ustuvor bo'lmagan holat deyiladi. Sterjen geometrik parametrlari o'zgarmas bo'lganda sistemaning ustuvor holatdan ustuvor bo'lmagan holatga o'tishi siquvchi kuch P kattaligiga bog'liq.

Sterjenni ustuvor holatdan ustuvor bo'lmagan holatga o'tkazuvchi siquvchi kuchga P_{kr} **kritik kuch**, bu sterjenda hosil bo'luvchi kuchlanishlarga σ_{kr} **kritik kuchlanish** deyiladi.

Materialning kritik kuchlanishlarga yetishi juda xavflidir, chunki sterjen ustuvorligi yo'qolganda deformatsiyalar keskin oshib



ketadi va bu hol konstruktsiya 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 konstruktsiyaga 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. μl 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 koeffitsienti** kiritiladi. Mustahkamlikka nisbatan ustuvorlikdagi ehtiyot koeffitsienti 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

koeffitsient, siqilgan sterjenlar uchun asosiy ruxsat etilgan **kuchlanishni pasaytirish koeffitsienti** deb, ba'zan bo'ylama egilish koeffitsienti 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 $\sigma = \frac{P}{F} \leq \phi[\sigma]$.

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'shtavr 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 interpolyatsiyalash usuli

bilan $St\ 3$ uchun $\lambda=184$ qiymatini topamiz.

Jadvalda egiluvchanlik 180 va 190

bo'lgandagi φ qiymatlari keltirilgan. Oraliq

qiymatlarni topish uchun φ ni 180 dan 190

gacha oraliqda chiziqli o'zgaradi deb qabul

qilamiz. Rasmda chiziqli interpolyatsiya usulining grafik tasviri keltirilgan.

Uchburchaklar o'xshashligidan $\lambda=184$ ga mos keluvchi φ qiymatini analitik usulda topamiz

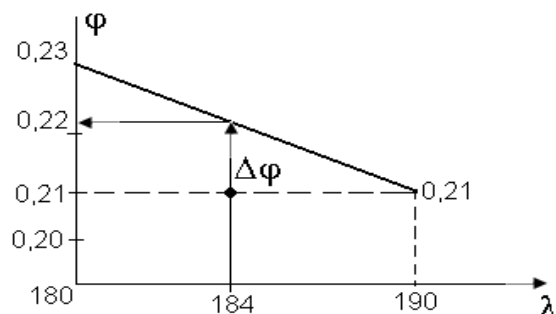
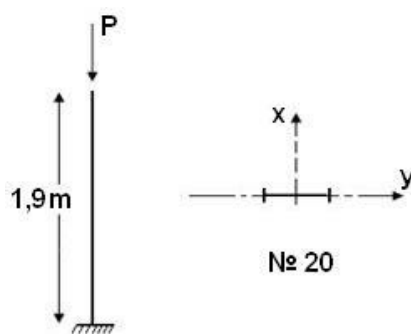
$$\Delta\varphi = \left[\frac{0,23-0,21}{190-180} \right] (190 - 184)$$

bu yerdan $\Delta\varphi=0,012$, $\varphi=0,21+\Delta\varphi=0,222$.

Shunday qilib, $P^{rux} = 26,8 \text{ sm}^2 \times 0,222 \times 1600 \text{ kg/sm}^2 = 9500 \text{ kg} = 9,5 \text{ t}$.

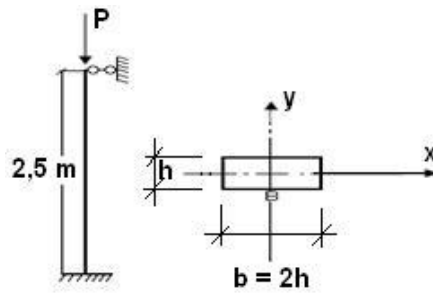
Ikkinchi turdagi masalalarni yechish qiyinroq, chunki mustahkamlik shartiga ko'ndalang kesim o'lchamlariga bog'liq ikkita kattalik kiradi va ulardan biri φ analitik ko'rinishda emas, balki jadval ko'rinishida beriladi. Amalda bu tenglama bir noma'lumli (ko'ndalang kesim o'lchami) bo'lsa ham uni ketma-ket 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.



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

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

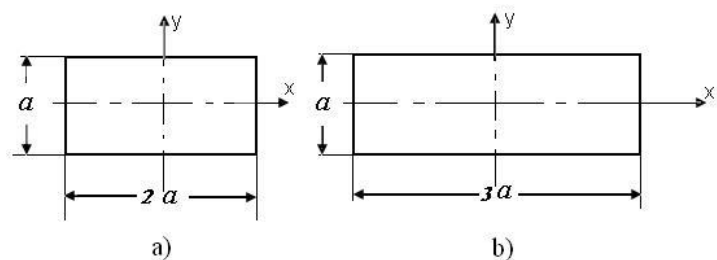


kerak. $\lambda = \mu l / i_{\min}$, $\mu = 0,7$ (bir tomoni qistirib mahkamlangan ikkinchi tomoni sharnirli tayangan) $i_{\min} = i_x = 0,29h$ (rasmga qarang) $\lambda = 0,70 \times 250 / 0,29h = 603/h$.

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'zgarmas 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.



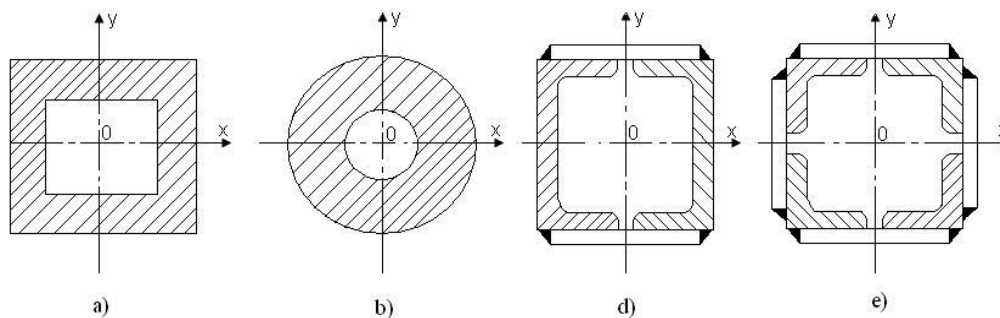
Ikkala kesim uchun $i_{\min}$ ni x o'qiga nisbatan aniqlanadi: a sxema uchun

$$i_{\min} = i_x = \sqrt{a^3 2a / 12 \times 2a^2} = 0,29a$$

b 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 koefitsientiga 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 birklik kamayadi va ruxsat etilgan kuchlanish pasaytirish koefitsienti 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 bokrliqi, 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 bokr qilib 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?

Amaliy mashg'ulot materiallari

Mavzu: 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 yasali 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).

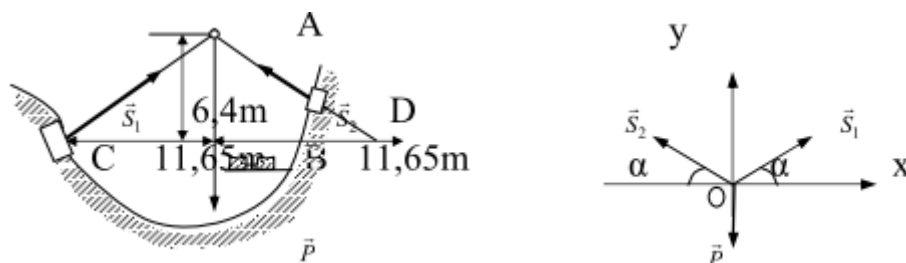
5. Tanlangan koordinatalar sistemasiga nisbatan muvozanat tenglamalar sistemasi tuziladi.

6. Tuzilgan tenglamalar sistemasi birgalikda yechilib, izlanayotgan no'malum miqdorlar topiladi.

Ushbu uslubiy tavsiyalar asosida quyida mavzu 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

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{6,4}{11,65} \approx 0,549; \quad \sin \alpha = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}} = 0,47,$$

$$\cos \alpha = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}} \approx 0,88.$$

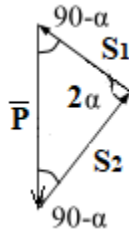
Topilganlarni (a) tenglamalarga qo'yamiz

$$\begin{cases} S_1 = S_2, \\ 0,48S_1 + 0,48S_1 = P. \end{cases}$$

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



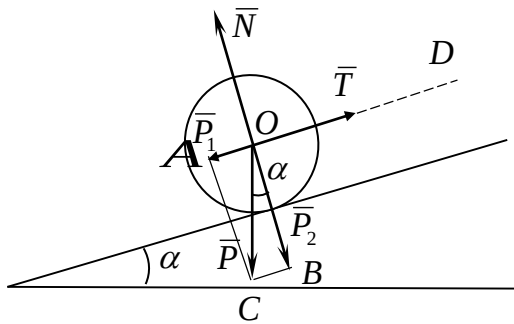
Sinuslar teoremasiga asosan

$$\frac{P}{\sin 2\alpha} = \frac{S_1}{\cos \alpha} = \frac{S_2}{\cos \alpha}.$$

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.

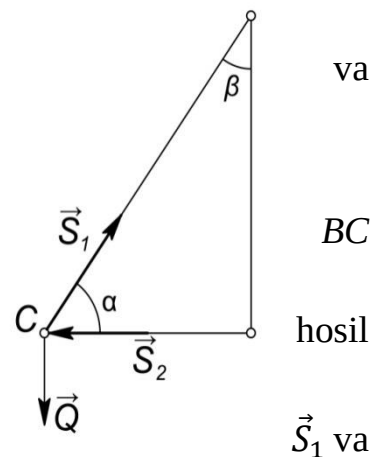
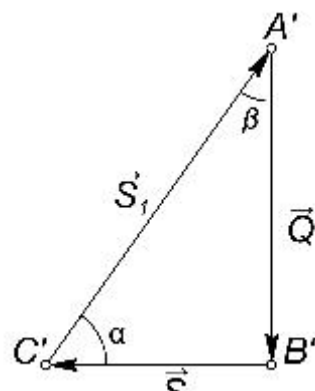
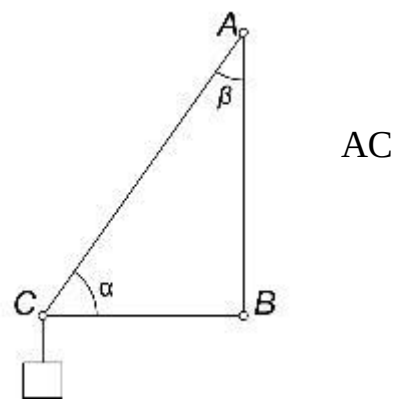
3-masala. Og'irliklari e'tiborga olinmaydigan va BC sterjenlar bir-biri va vertikal devor bilan sharnirlar vositasida biriktirilgan. Sharnirli C boltga $Q=1000\text{ N}$ yuk osilgan, $\alpha=60^\circ$, $\beta=30^\circ$. Sterjenlardagi zo'riqishlar aniqlansin.

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 sistemasi 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 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, 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 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 $AB \parallel A'B'$, $AC \parallel A'C'$ 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:



$$\frac{Q}{S_1} = \sin \alpha ; \text{ bundan } S_1 = \frac{Q}{\sin \alpha} = \frac{1000n}{\frac{\sqrt{3}}{2}} = 1154 \text{ N.}$$

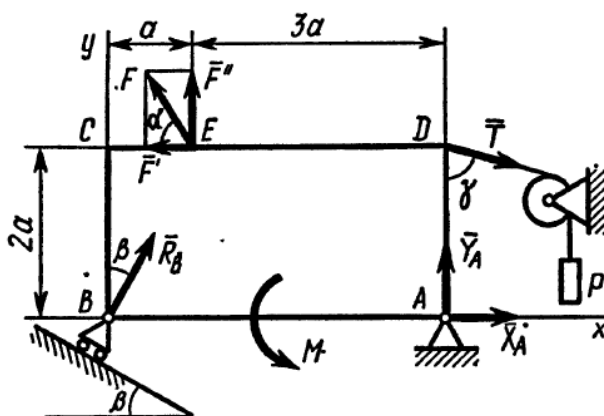
$$\frac{S_2}{Q} = \operatorname{tg} \beta ; \text{ bundan } S_2 = Q \operatorname{tg} \beta = 1000 \text{ N} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} = 577 \text{ N.}$$

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 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: $F = 25 \text{ kN}$, $\alpha = 60^\circ$,
 $P = 18 \text{ kN}$, $\gamma = 75^\circ$, $M = 50 \text{ kN} \cdot m$, $\beta = 30^\circ$, $a = 0,5 \text{ m}$



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 sistemasini uchta muvozanat tenglamasini tuzamiz. $\vec{F}$ kuchni A nuqtaga nisbatan momentini hisoblashda uni $\vec{F}'$ va $\vec{F}''$ tashkil etuvchilarga ajratib,

$$(F' = F \cos \alpha, \quad F'' = F \sin \alpha) \quad m_A(\vec{F}) = m_A(\vec{F}') + m_A(\vec{F}'')$$

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.

$$\text{Javob: } X_A = -8,5 \text{ kN}; \quad Y_A = -23,3 \text{ kN}; \quad R_B = 7,3 \text{ kN};$$

X_A, Y_A ifodalar oldidagi minus ishora $\vec{X}_A, \vec{Y}_A$ 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: $P = 100 \text{ N}$, $\alpha_1 = 60^\circ$, $\beta_1 = 60^\circ$, $\gamma_1 = 45^\circ$, $Q = 50 \text{ N}$,

$$\alpha_2 = 45^\circ, \quad \beta_2 = 60^\circ, \quad \gamma_2 = 60^\circ, \quad \psi = 30^\circ, \quad \delta = 74^\circ.$$

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 $\vec{N}_1, \vec{N}_2, \vec{N}_3$ kuchlar bilan almashtiramiz. Hosil bo'lgan fazoviy kesishuvchi kuchlar sistemasi uchun uchta muvozanat tenglamalarini tuzamiz:

$$\sum F_{kx} = 0, \quad P \cos \alpha_1 + N_2 \sin \psi + N_3 \sin \varphi = 0 \quad (1)$$

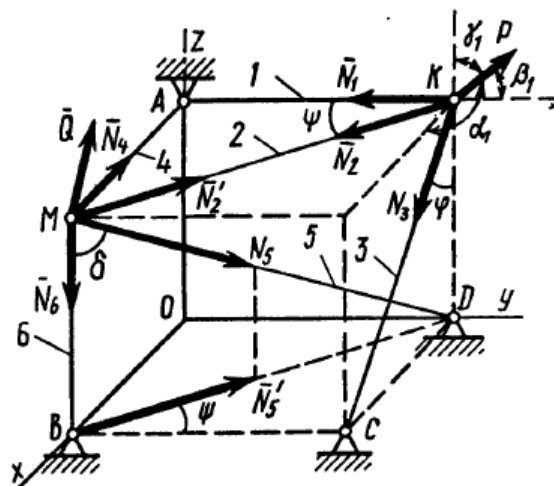
$$\sum F_{ky} = 0, \quad P \cos \beta_1 - N_1 - N_2 \cos \psi = 0 \quad (2)$$

$$\sum F_{kz} = 0, \quad P \cos \gamma_1 - N_3 \cos \varphi = 0 \quad (3)$$

$\vec{P}$ 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 $\overrightarrow{N_5}$ 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 $N'_2 = N_2 = -345N$ ekanligini hisobga olgan holda yechib, N_4 , N_5 , N_6 zo'riqlarini 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 va fazodagi kuchlar sistemasining muvozanat shartiga oid masalalar. Murakkab konstruksiyaning muvozanatiga oid masalalar.

Muvozanatdagi har qanday kuchlar sistemasining zaruriy va yetarlishartlari $\overline{R} = 0$; va $\overline{M}_O = 0$ dan iborat bo'ladi (13§ ga q.). Lekin $\overline{R}$ va $\overline{M}_O$ -vektorlari nolga teng bo'lishi uchun albatta $R_x = R_y = R_z = 0$ va $M_x = M_y = M_z = 0$ bo'lishi shart, ya'ni jismga ta'sir etuvchi kuchlar sistemasi (49) va (50) tenglamalar sistemasini qanoatlantirishi shart:

$$\begin{aligned} \sum F_{kx} = 0; \quad \sum F_{ky} = 0; \quad \sum F_{kz} = 0; \\ \sum m_x(\overline{F}_k) = 0; \quad \sum m_y(\overline{F}_k) = 0; \quad \sum m_z(\overline{F}_k) = 0 \end{aligned} \quad (51)$$

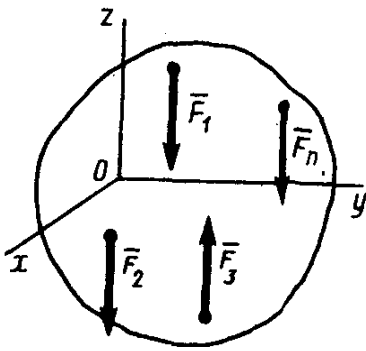
Shunday qilib, *fazoda ixtiyoriy joylashgan kuchlar sistemasi muvozanatda bo'lishi uchun, berilgan kuchlarning uchta koordinata o'qlarining har biridagi proyeksiyalarining yig'indisi va shu kuchlarning har bir o'qqa nisbatan olingan momentlarining yig'indilari nolga teng³ bo'lishi zaruriy va yetarlishart ekan.*

O'z navbatida (51) tenglamalar sistemasi, fazoda ixtiyoriy joylashgan kuchlar sistemasi ta'siridagi qattiq jismning muvozanatlik shartlari tenglamalaridan iboratdir.

Agar qattiq jismga kuchlardan tashqari, momenti $\overline{m}$ -ga teng bo'lgan juft qo'yilgan bo'lsa, (51) tenglamalar sistemasining birinchi uchasi o'zgarmaydi (chunki juft kuchlarning ixtiyoriy o'qqa nisbatan momentlarining yig'indilari nolga teng bo'ladi), keyingi uchasi quyidagi ko'rinishga keladi:

$$\sum m_x(\overline{F}_k) + m_x = 0; \quad \sum m_y(\overline{F}_k) + m_y = 0; \quad \sum m_z(\overline{F}_k) + m_z = 0 \quad (52)$$

Kuchlarning parallellik holati. Agar jismga ta'sir etuvchi kuchlar o'zaro parallel holda joylashgan bo'lsa, birorta koordinata o'qni, masalan, z - o'qni shu kuchlarga parallel qilib yo'naltiramiz (96 shakl). U holda har bir kuchning x va y



96 shakl.

o'qlaridagi proyeksiyalari va barcha kuchlarning z - o'qiga nisbatan momentlari nolga teng bo'ladi. Shu sababli yuqoridagi oltita tenglamalardan iborat bo'lgan (51) sistema quyidagi uchta tenglamalar sistemasiga aylanib qoladi:

$$\sum F_{kz} = 0; \quad \sum m_x(\bar{F}_k) = 0; \quad \sum m_y(\bar{F}_k) = 0; \quad (53)$$

Qolgan tenglamalar $0=0$ dan iborat bo'lgan ayniyatlarga aylanib qoladi.

Demak, *fazoda joylashgan parallel kuchlar sistemasining muvozanatda bo'lishi uchun, barcha kuchlarni ularga parallel bo'lgan o'qlarga proyeksiyalarining yig'indisi va barcha kuchlarni ularga perpendikulyarl joylashgan ixtiyoriy ikkita o'qlarga nisbatan olingan momentlarining yig'indilari nolga teng bo'lishi zaruriy va yetarlicha ekan.*

Masalalar yechish. Bunday masalalarning yechish tartibi, xuddi tekislikda joylashgan kuchlar sistemasidagiga o'xshaydi. Birorta jismni muvozanat holatini aniqlab, unga ta'sir etayotgan barcha tashqi kuchlarni (berilgan va noma'lum reaksiya kuchlarini) vektor shaklida ifodalaymiz va muvozanat shartlaridan kelib chiqadigan tenglamalar sistemasini tuzamiz. Hosil bo'lgan tenglamalar sistemasidan noma'lumlarning qiymatlarini aniqlaymiz.

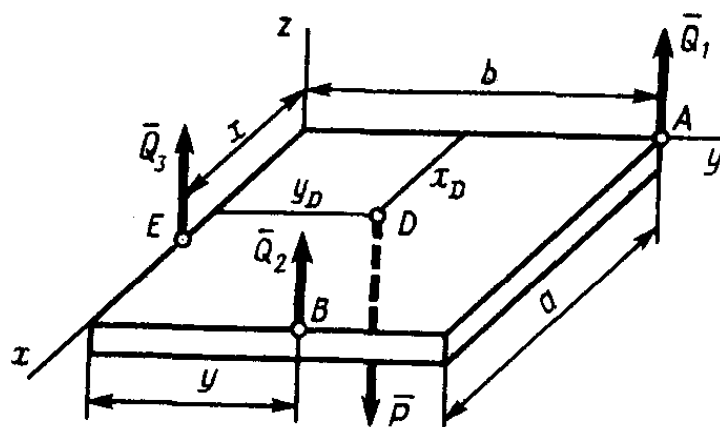
Tenglamalar sistemasini soddaroq holda tuzish uchun, o'qlarni shunday qilib yo'naltirish kerakki, iloji boricha ko'proq kuchlarni kesib o'tsin yoki ularga perpendikulyarl holda joylashgan bo'lsin (shunday qilinsa hisoblash ishlari osonlashadi va momentlarni aniqlash ham soddalashadi).

Tekislikda joylashgan kuchlar sistemasidan farqli joyi shundaki, bu yerda qo'shimcha ravishda o'qlarga nisbatan momentlarni hisoblashga to'g'ri keladi.

Agar birorta kuchning qaysidir o'qqa nisbatan momentlarini aniqlash murakkab bo'lsa, qo'shimcha ravishda shu o'qlarga nisbatan perpendikulyarl tekislikka kuchlarning proyeksiyalarini tushirib, hisoblash ishlarini oydinlashtirish lozim bo'ladi.

Agar kuchlarning momentlarini aniqlash ishlarida, kuchlarning tekislikka bo'lgan proyeksiyalarini yoki ularning yelkalarini aniqlash qiyinlashsa, ularni ikkita o'zaro perpendikulyarl bo'lgan tashkil etuvchilarga ajratib olib (ulardan birini albatta birorta koordinata o'qiga parallel holda tanlash lozim), so'ngra Varin'on teoremasidan foydalanish tavsiya qilinadi. Kerak bo'lgan hollarda (47) formula orqali analitik usuldan foydalanish ham masalani yechishni soddalashtiradi, masalan, 37 masalaga qarang.

1-masala. Tomonlari a va b lardan iborat bo'lgan to'g'ri to'rtburchakli plitaga yuk qo'yilgan. Yuk bilan plitaning og'irlik markazi koordinatalari x_D va y_D bo'lgan D nuqtada joylashgan (97 shakl). Plitani uchta ishchi ko'tarib turmoqda, ulardan bir kishi plitaning A nuqtasidan ko'tarib turibdi. Hamma ishchilarga bir xil og'irlik kuchi ta'sir qilishi uchun, boshqa ikkita ishchilar plitaning qaysi B va E nuqtalaridan ko'tarishlari lozim ekanligi aniqlansin.



97 shakl

Yechish. Plita to'rtta $\bar{Q}_1$, $\bar{Q}_2$, $\bar{Q}_3$ va $\bar{P}$ dan iborat o'zaro parallel bo'lgan kuchlar ta'sirida muvozanat holatni saqlab turibdi. Plitani gorizontol holatda deb hisoblab, berilgan kuchlar sistemasi uchun (53) formulaga asosan muvozanatlik shartlari tenglamalar sistemasini tuzamiz 97 shakl:

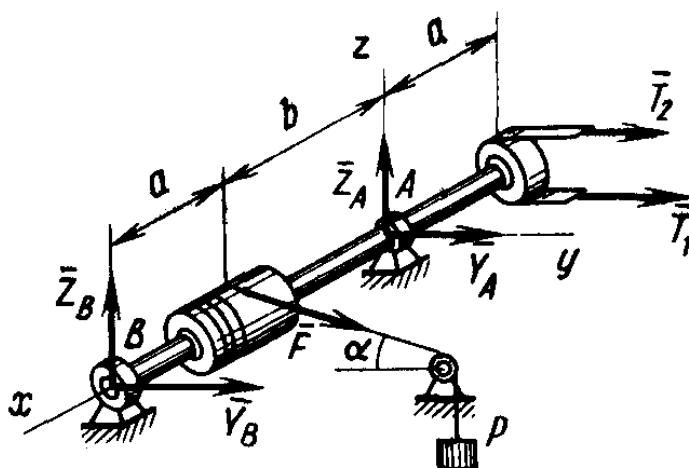
$$Q_1b + Q_2y - Ry_D = 0 \quad -Q_2a - Q_3x + Rx_D = 0 \quad Q_1 + Q_2 + Q_3 - R = 0$$

Masalaning shartiga ko'ra $Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q$. Shunga asosan oxirgi tenglamadan $R = 3Q$ bo'ladi. Aniqlangan R -ning qiymatini birinchi va ikkinchi tenglamalarga qo'yib, noma'lumlarni aniqlaymiz, $x = 3x_D - a$, $y = 3y_D - b$.

Masala faqat $a/3 \leq x_D \leq 2a/3$, $b/3 \leq y_D \leq 2b/3$ bo'lgandagina yechimga ega bo'ladi. Agar $x_D = a/3$, $y_D = b/3$ bo'lsa $x = y = 0$, agar $x_D = 2a/3$, $y_D = 2b/3$ bo'lsa $x = a$, $y = b$ bo'ladi. Agar D nuqta plitaning markazida bo'lsa, $x = a/2$, $y = b/2$ bo'ladi.

2-masala. A va B podshipniklarga o'rnatilgan gorizontol valning o'qiga perpendikulyarl holda radiusi $r_1 = 20$ sm -li shkiv va radiusi $r_2 = 15$ sm-li baraban o'rnatilgan. Val shkivga o'ralgan tasma orqali aylanma harakatga keltiriladi; barabanga o'ralgan arqon orqali o'zgarmas tezlik bilan $R = 540$ N og'irlikdagi yuk yuqoriga ko'tarilmoqda. Valning, barabanning va shkivning xususiy og'irligini e'tiborga olmagan holda, A va B podshipniklarning reaksiya kuchlarini, hamda etaklovchi tasmaning tortilish kuchini aniqlang. Yetaklovchi tasmaning yetaklovchi tortilish kuchi T_1 , yetaklanuvchi tortilish kuchi T_2 - dan ikki marta katta deb hisoblansin. Bu yerda $a = 40$ sm, $b = 60$ sm va $\alpha = 30^\circ$.

$\bar{F}_k$	$\bar{F}$	$\bar{T}_1$	$\bar{T}_2$	$\bar{R}_A$	$\bar{R}_B$
F_{kx}	0	0	0	0	0
F_{ky}	$F \cos \alpha$	T_1	T_2	Y_A	Y_B
F_{kz}	$-F \sin \alpha$	0	0	Z_A	Z_B
$m_x(\bar{F}_k)$	$-Fr_2$	T_1r_1	$-T_2r_1$	0	0
$m_y(\bar{F}_k)$	$F \cdot b \cdot \sin \alpha$	0	0	0	$-Z_B(a+b)$
$m_z(\bar{F}_k)$	$F \cdot b \cdot \cos \alpha$	$-T_1a$	$-T_2a$	0	$Y_B(a+b)$



98-shakl

Yechish. o'zgarmas tezlik bilan harakatlanayotgan valga ta'sir qilayotgan kuchlar sistemasini qo'llash mumkin ekanligi 136§-da isbot qilingan.

Koordinata o'qlarini o'tkazamiz (98 shakl) va valga ta'sir qilayotgan kuchlarni vektor shaklda tasvirlaymiz: arqonning tortilish kuchi $\vec{F}$ moduli bo'yicha R -ga teng, tasmaning tortilish kuchi $\vec{T}_1$ va $\vec{T}_2$; va podshipniklarning reaksiyalari $\vec{Z}_A, \vec{Y}_A$ va $\vec{Z}_B, \vec{Y}_B$ dan iborat kuchlar ta'sir qilmoqda.

(51) formulaga asosan muvozanat tenglamalar sistemasini tuzish uchun, berilgan kuchlarning proyeksiyalari va momentlarini⁴ maxsus jadvalga yozib chiqamiz:

Jadvaldagi qiymatlardan foydalanib, (51) muvozanat tenglamalar sistemasini yozib chiqamiz,

$$R\cos\alpha + T_1 + T_2 + Y_A + Y_B = 0, \quad (I)$$

$$-R\sin\alpha + Z_A + Z_B = 0 \quad (II)$$

$$-r_2R + r_1T_1 - r_2T_2 = 0 \quad (III)$$

$$bR\sin\alpha - (a+b)Z_B = 0 \quad (IV)$$

$$bR\cos\alpha - aT_1 - aT_2 + (a+b)Y_B = 0 \quad (V)$$

$T_1 = 2T_2$ ekanligini hisobga olib (III) va (IV) tenglamalar orqali,

$$T_2 = r_2R/r_1 = 405 \text{ H}, \quad Z_B = (bR\sin\alpha)/(a+b) = 162 \text{ H}$$

So'ngra (B) tenglamadan,

$$Y_B = (3aT_2 - bR\cos\alpha)/(a+b) \approx 205 \text{ H}.$$

Aniqlangan qiymatlarni qolgan tenglamalarga qo'yib,

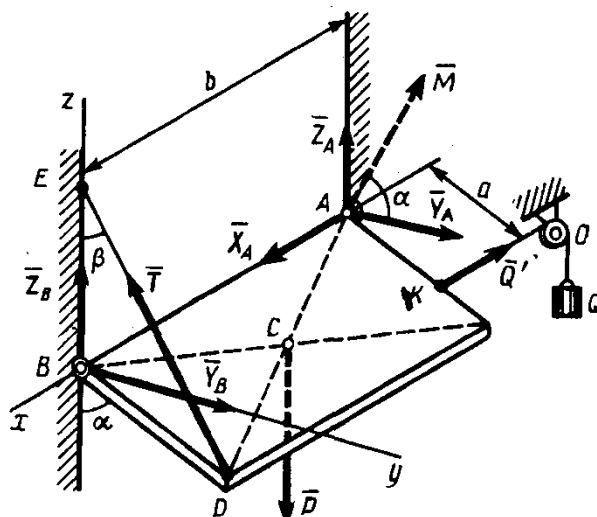
$$Y_A = -R\cos\alpha - 3T_2 - Y_B \approx -1890 \text{ H}. \quad Z_A = R\sin\alpha - Z_B = 108 \text{ H}.$$

larni aniqlaymiz. Nihoyat:

$$T_1 = 810 \text{ H}, \quad Y_A = -1890 \text{ H}, \quad Z_A = 108 \text{ H}, \quad Y_B = 205 \text{ H}, \quad Z_B = 162 \text{ H}.$$

3-masala. Og'irligi $R=120 \text{ N}$ bo'lgan to'g'ri to'rtburchakli plita, vertikal bilan $\alpha=60^\circ$ burchak tashkil qilgan holda gorizontaldagi AB o'qqa mahkamlangan. A nuqtada tovonsimon podshipnikka, B nuqtada esa tsilindrik podshipnikka

mahkamlangan (99 shakl). Qopqoq DE arqon bilan devorga tortib qo'yilgan va O

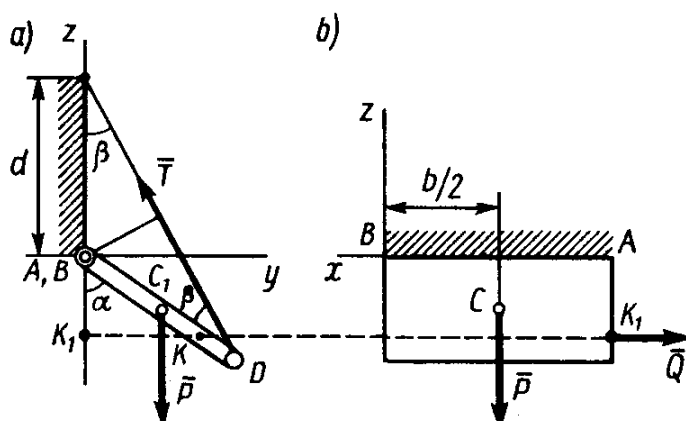


99-shakl.

blokning ustidan oshirib tashlangan ip orqali og'irligi $Q=200\text{N}$ yuk bilan tortib qo'yilgan. (KO chiziq AB ga parallel). $BD=BE$, $AK=a=0,4\text{m}$ $AB=b=1\text{m}$. A va B podshipniklarning reaksiya kuchlari va DE arqonning tortilish kuchi aniqlansin.

Yechish. Qopqoqning muvozanatini tekshiramiz. B nuqtani koordinata boshi deb tanlab olib koordinata o'qlarini o'tkazamiz (arqonning tortilish kuchi, z va y o'qlarni kesib o'tadi, natijada uning shu o'qlarga nisbatan momentlari nolga teng bo'ladi va tenglama soddalashadi). So'ngra qopqoqqa ta'sir etuvchi barcha aktiv va reaksiya kuchlarni vektor shaklida ifodalab chizmaga qo'yib chiqamiz; qopqoqning markaziga qo'yilgan og'irlik kuchi $\vec{P}$; moduli Q -ga teng bo'lgan $\vec{Q}'$ kuchi; arqonning tortilish kuchi $\vec{T}$; va podshipniklarning reaksiya kuchlari $\vec{X}_A, \vec{Y}_A, \vec{Z}_A$ va $\vec{Y}_B, \vec{Z}_B$ (99 shakl). Punktir bilan chizilgan $\vec{M}$ vektor ushbu masalaga taalluqli emas). Muvozanat tenglamalarini tuzish uchun β - burchak (shaklga qarang)ni kirgizamiz va $BD=BE=d$ deb belgilaymiz. Momentlarni hisoblash uchun 100, a, b shakldagi qo'shimcha chizmalar tasvirlangan.

100, a shaklda jismni x o'qining musbat tomonidan qaralgandagi Byz tekislikdagi proyeksiyasi tasvirlangan. Ushbu chizma yordamida $\vec{P}$ va $\vec{T}$ kuchlarning x o'qiga nisbatan momentlarini hisoblash ishlari oydinlashadi. Bu shakldan ko'rinib turibdiki, $\vec{P}$ va $\vec{T}$ kuchlarning yz tekislikdagi proyeksiyalari (tekislik x o'qiga perpendikulyar) shu kuchlarning o'zlariga teng bo'ladi; R kuchining



100-shakl.

B nuqtaga nisbatan yelkasi esa $BC_1 \cdot \sin \alpha = (d/2) \sin \alpha$; $\bar{T}$ kuchining shu nuqtaga nisbatan yelkasi $BD \cdot \sin \beta = d \sin \beta$.

100, *b* shaklda jismning Bxz tekislikdagi proyeksiyasi, ya'ni y o'qining musbat uchidan qaralgandagi ko'rinishi tasvirlangan. Ushbu chizma (100, *a* shakl bilan birgalikda) $\bar{P}$ va $\bar{Q}$ kuchlarining y o'qiga nisbatan momentlarini hisoblash ishlarini soddalashtiradi.

Ko'rinish turibdiki, $\bar{P}$ va $\bar{Q}$ kuchlarning xz tekisligiga bo'lgan proyeksiyalari o'z qiymatlariga teng ekan. $\bar{P}$ kuchining B nuqtaga nisbatan yelkasi $AB/2 = b/2$; (100, *a* shakl) $\bar{Q}$ kuchining shu nuqtaga nisbatan yelkasi - AK_1 , ya'ni $AK \cdot \cos \alpha$ yoki $a \cdot \cos \alpha$.

$Q' = Q$ ekanligini e'tiborga olib, (51) formulaga asosan muvozanat tenglamalarni tuzamiz:

$$\sum F_{kx} = -Q + X_A = 0, \quad (I)$$

$$\sum F_{ky} = -T \sin \beta + Y_A + Y_B = 0, \quad (II)$$

$$\sum F_{kz} = -R - T \cos \beta + Z_A + Z_B = 0, \quad (III)$$

$$\sum m_x = -(Rd/2) \sin \alpha + Td \sin \beta = 0, \quad (IV)$$

$$\sum m_y = -Rb/2 + Qa \cos \alpha + Z_A b = 0, \quad (B)$$

$$\sum m_z = Qa \sin \alpha - Y_A b = 0, \quad (VI)$$

$\beta = \alpha/2 = 30^\circ$ ekanligini e'tiborga olib, (I), (IV), (V), (VI) lardan:

$$X_A = Q = 200H, \quad T = (R \sin \alpha) / 2 \sin \beta \approx 104H.$$

$$Z_A = R/2 - (Qa \cos \alpha) / b = 20H, \quad Y_A = (Qa \sin \alpha) / b \approx 69H.$$

Ushbu qiymatlarni (II) va (III) tenglamalarga qo'yib,

$$Y_B = T \sin \beta - Y_A = -17H, \quad Z_B = R - T \cos \beta - Z_A = 10H$$

Nihoyat,

$$T \approx 104H, \quad X_A = 200H, \quad Y_A \approx 69H, \quad Z_A = 20H,$$

$$Y_B = -17H, \quad Z_B = 10H,$$

larni aniqlaymiz.

4-masala. Yuqoridagi 3-masalada qopqoqqa qo'shimcha ravishda momenti $M = 120N \cdot m$ bo'lgan va qopqoqning tekisligida ta'sir etuvchi juft kuch qo'yilgan bo'lsin; juftning yo'nalishi (qopqoqning ustidan qaralganda) soat stryelkasiga teskari yo'nalishda bo'lgan (99 shakl) holda, masala yechilsin.

Yechish. Qopqoqqa qo'shimcha ravishda, uning tekisligiga perpendikulyarl bo'lgan $\bar{M}$ vektor qo'yamiz, bu vektor erkin bo'lganligi uchun, uni qopqoqning ixtiyoriy nuqtasiga qo'yishimiz mumkin, masalan, A nuqtasiga. Ushbu momentning koordinata o'qlaridagi proyeksiyalari: $M_x = 0$, $M_y = M \cos \alpha$, $M_z = M \sin \alpha$ bo'ladi. Endi (52) formulaga asosan muvozanat tenglamasini tuzamiz. Yuqoridagi (I)-(IV) tenglamalar o'zgarishsiz qoladi, oxirgi ikkita tenglama quyidagicha o'zgaradi,

$$-Rb/2 + Z_A b + Qa \cos \alpha + M \cos \alpha = 0 \quad (Va)$$

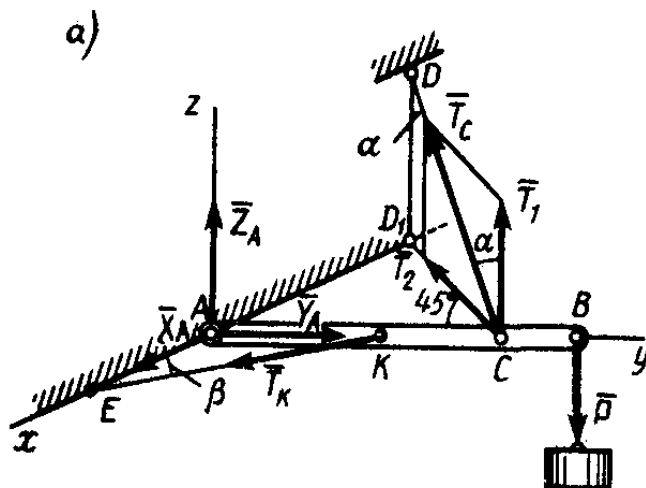
$$-Y_A b + Qa \sin \alpha + M \sin \alpha = 0 \quad (VIa)$$

Shuni ta'kidlash lozimki, ushbu natijani (52) formulasiz ham aniqlash mumkin, masalan, qo'shilgan juftni AB va KO chiziqlari bo'yicha yo'nalgan ikkita kuch bilan almashtirib (kuchlarning modullari M/a -ga teng bo'lishi lozim), so'ngra oddiy muvozanat tenglamasini tuzish orqali yechish mumkin.

Hosil bo'lgan (I)-(IV), (Va), (VIa) tenglamalar sistemasini yechib, noma'lumlarni aniqlaymiz. Bu yerda 41 masaladan farqi shundaki barcha formulalardagi Q_a -ni o'rniga $Q_a + M$ qiymatni qo'yishimiz lozim bo'ladi. Natijada

$$T \approx 104 \text{ N}, \quad X_A = 200 \text{ N}, \quad Y_A \approx 173 \text{ N}, \quad Z_A = -40 \text{ N}, \quad Y_B = -121 \text{ N}, \quad Z_B = 70 \text{ N}.$$

5-masala. AB gorizontaal sterjen, A nuqtada sfyerik sharnir orqali bog'lanib, KE

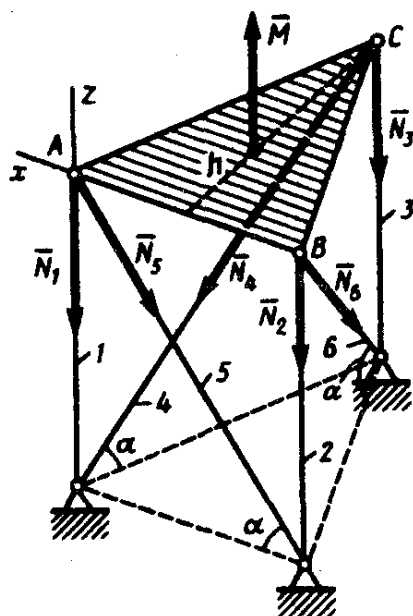


101 a-shakl

CD arqonlar yordamida devorga perpendikulyar holatda mahkamlab qo'yilgan (101, a shakl). Sterjenning B uchiga og'irligi $R=36 \text{ N}$ bo'lgan yuk osib qo'yilgan. Agar $AB=a=0,8 \text{ m}$, $AC=AD_1=b=0,6 \text{ m}$, $AK=a/2$, $\alpha=30^\circ$, $\beta=60^\circ$ bo'lsa, A sharnirning va arqonlarning reaksiya kuchlari aniqlansin.

Yechish. Sterjenning muvozanat holatini tekshiramiz. Unga yukning og'irlik kuchi $\bar{P}$, arqonlarning tortilish kuchlari $\bar{T}_K$, $\bar{T}_C$ va A sharnirdagi reaksiya kuchlari $\bar{X}_A$, $\bar{Y}_A$, $\bar{Z}_A$ ta'sir etmoqda. Koordinata o'qlarini o'tkazamiz va (51) formula yordamida muvozanat tenglamalarini tuzamiz.

$\bar{T}_C$ -kuchning proyeksiyalari va momentlarini aniqlash uchun, uni ikkita $\bar{T}_1$ va $\bar{T}_2$ ($T_1=T_S \cdot \cos \alpha$, $T_2=T_S \cdot \sin \alpha$) lardan iborat bo'lgan tashkil etuvchilarga ajratib yuboramiz. Varin'on⁵ teoremasidan $m_x(\bar{T}_C)=m_x(\bar{T}_1)$ bo'ladi, chunki $m_x(\bar{T}_2)=0$, hamda $m_z(\bar{T}_C)=m_z(\bar{T}_2)$, chunki $m_z(\bar{T}_1)=0$. Kuchlarning momentlarini hisoblash ishlarini oydinlashtirish uchun qo'shimcha (101, b) shakl chizamiz, unda konstruktsiyani Axy tekislikdagi proyeksiyasi tasvirlangan.



102 shakl.

z - o'qini 1 sterjen bo'ylab yo'naltiramiz va unga nisbatan momentlar tenglamasini tuzamiz, $M_z=M$ bo'lsa,

$$(N_6 \cdot \cos \alpha)h + M = 0$$

bu yerda $h = a\sqrt{3}/2$, uchburchakning balandligi. Bu tenglamadan,

$$N_6 = -2M / (a\sqrt{3} \cos \alpha)$$

2 va 3 sterjenlar bo'yicha yo'nalgan o'qlar o'tkazib, ularga nisbatan momentlar tenglamasini tuzamiz va ular orqali N_4 va N_5 larni aniqlaymiz.

Endi uchburchakning AB tomoni bo'yicha yo'nalgan x o'qiga nisbatan momentlar tenglamasini tuzamiz. $M_x=0$ bo'lgani sababli,

$$N_3h + (N_4 \sin \alpha)h = 0$$

$N_4=N_6$ ekanligini e'tiborga olsak,

$$N_3 = -N_4 \sin \alpha = (2M/a\sqrt{3}) \operatorname{tg} \alpha$$

AC va BC o'qlarga nisbatan momentlar tenglamasini tuzish orqali, N_1 va N_2 larning qiymatlarini aniqlaymiz, $\alpha=30^\circ$ bo'lgani uchun,

$$N_1=N_2=N_3=2M/3a, \quad N_4=N_5=N_6=-4M/3a$$

Aniqlangan natijalar shuni ko'rsatib turibdiki, qo'yilgan juft ta'sirida vertikalsterjenlar cho'zilmoqdalar, og'ma sterjenlar esa siqilmoqdalar.

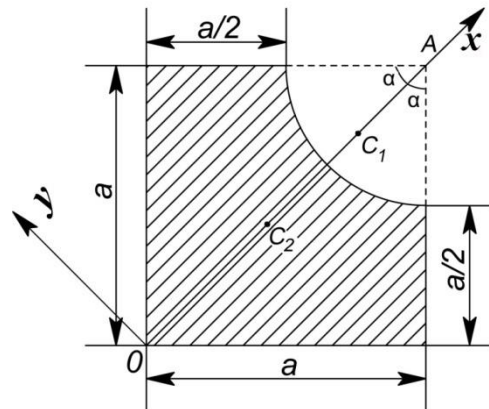
Yuqoridagi misollardan aniqlandiki, masalalarni yechishda (51) formuladagi muvozanatlik shartlardan foydalanish shart emas ekan. Tekislikda joylashgan kuchlar sistemasi kabi fazoviy kuchlar sistemasi uchun ham bir necha xil muvozanat tenglamalar sistemasi tuzish mumkin ekan, (51) formula esa ularning ko'rinishlaridan biri ekan.

Fazoviy kuchlar sistemasining muvozanatlik sharti uchun, uchburchak prizmaning qirralaridan o'tuvchi oltita o'qlarga nisbatan momentlarning yig'indilari nolga teng bo'lgan tenglamalar sistemasi qanoatlansa, uning muvozanati uchun zaruriy va yetarli hisoblanadi.

Mavzu: Parallel kuchlar markazi, og'irlik markazini aniqlashga oid 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.

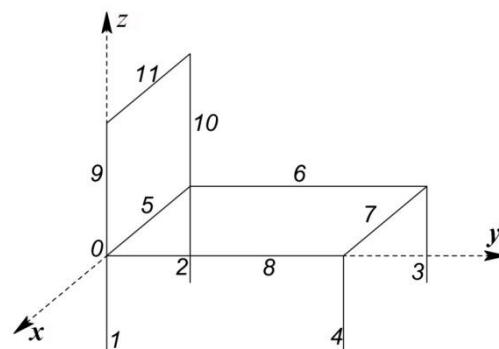
$$x_2 = \frac{S_2 x_2 - S_1 x_1}{S_2 - S_1}.$$

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, $\ell_i(sm)$	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:

$$x_c = \frac{\sum \ell_i \cdot x_i}{\sum \ell_i} = \frac{23,5}{16} = 1,47 \text{ m},$$

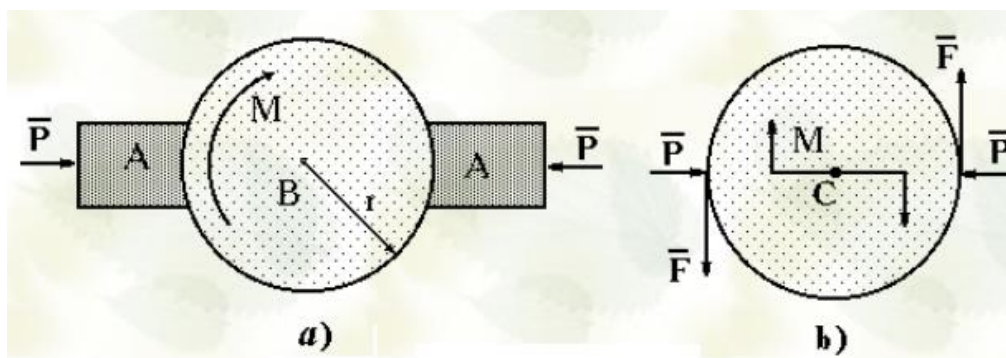
$$y_c = \frac{\sum \ell_i \cdot y_i}{\sum \ell_i} = \frac{15,02}{16} = 0,94 \text{ m}.$$

Mavzu: Ishqalanish kuchini hisobga olganda kuchlar muvozanatiga oid masalalar.

Masala: 1 a) shaklda $M = 1250 \text{ kN} \cdot \text{m}$ burovchi moment bilan harakatlanuvchi elektr lebyodkaning ishchi organi tasvirlangan. Lebyodkani to'xtatish uchun ikkita

tormozlovchi A - kolodkalar o`rnatilgan bo`lib, tormozlangan paytda ular disk B - ni P - kuch bilan siqadilar.

Diskning radiusi $r = 600\text{mm}$ bo`lsa tormozlovchi kuchning miqdorini aniqlang. Disk bilan tormozlovchi kolodkalar orasidagi ishqalanish koefitsienti $f = 0,5$ deb qabul qilinsin.



1.-shakl

Yechish: Diskni bog`lanishlardan ajratib olib, ularning o`rniga tegishli reaksiyalarini qo`yamiz, ular tormozlash paytida diskka har biri  $F$  - ga teng ishqalish kuchlaridan tashkil topgan juft bilan ta`sir etadilar. Juftning yelkasi diskning radiusi r - ga teng.

Kulon qonuni bo`yicha ishqalish kuchining qiymati,

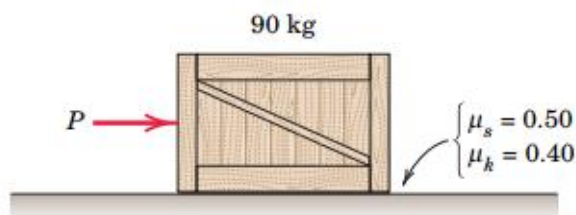
$$F = f \cdot N = f \cdot P \quad (a)$$

Ushbu mexanizm muvozanatda bo`lishi uchun, diskka ta`sir etuvchii barcha momentlarning yig`indisi nolga teng bo`lishi shart. Ya`ni 5.8 b) shakldan, diskning markazi C nuqtaga nisbatan momentlarning yig`indisi nolga teng bo`lishi shart,

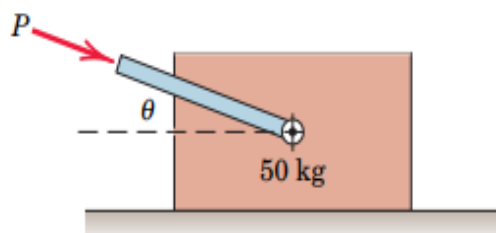
$$\sum m_C(F_k) = 0 \quad F \cdot 2 \cdot r - M = 0 \quad \text{yoki} \quad f \cdot P \cdot 2 \cdot r - M = 0$$

Bundan, demak diskni tormozlash zarur bo`lsa, kolodkalarni $P=200\text{ kN}$ kuch bilan siqish zarur ekanligini aniqladik.

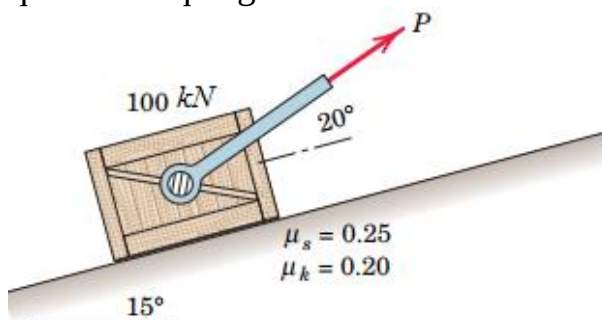
1. masala Rasmda keltirilgan holatlar uchun, yashik o`rnidan siljishi uchun ta`sir etayotgan kuchning miqdorini aniqlang.



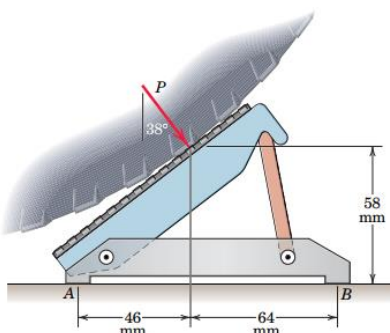
2. masala Rasmda keltirilgan holat uchun, yashik o`rnidan siljishi uchun ta`sir etayotgan kuchning miqdorini aniqlang(burchak 30 gradus).



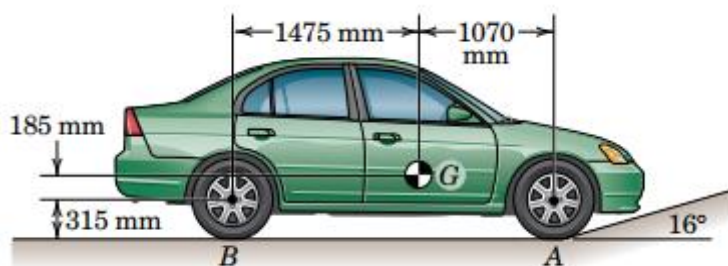
3. masala Rasmda keltirilgan holat uchun, yashik o`rnidan siljishi uchun ta`sir etayotgan kuchning miqdorini aniqlang.



4. masala. Rasmda keltirilgan holat uchun, ishqalanish koefitsentini miqdorini aniqlang.



5. masala. Rasmda keltirilgan holat uchun, mashina qiyalikka bulsovat qilmay arakatlanishi uchun, uning yer bilan hosil qiladigan ishqalanish koefitsenti miqdorini aniqlang($G=14000\text{N}$)



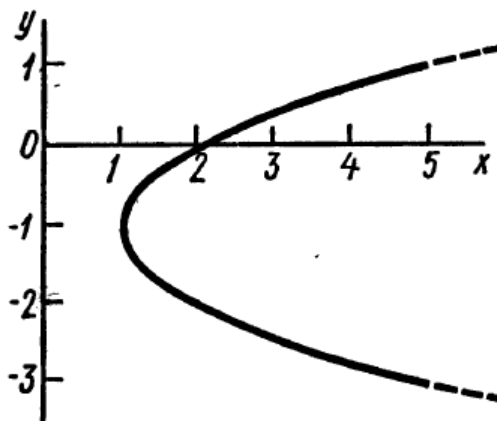
Mavzu: Berilgan harakat tenglamalari bo'yicha nuqtaning trayektoriyasi, tezlik va tezlanishini topish.

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:

$$v_x = \frac{dx}{dt} = \frac{\pi}{2} \sin\left(\frac{\pi}{4}t\right);$$

$$v_y = \frac{dy}{dt} = \frac{\pi}{4} \cos\left(\frac{\pi}{8}t\right); \quad v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \quad t_1 = 1s \quad \text{vaqtda}$$

$$v_{1x} = 1,11 \text{ sm/s}, \quad v_{1y} = 0,73 \text{ sm/s}, \quad v = 1,33 \text{ sm/s}, \quad (3)$$

3. Huddi shu usulda nuqta tezlanishini topiladi:

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{\pi^2}{8} \cos\left(\frac{\pi}{4}t\right);$$

$$a_y = \frac{dv_y}{dt} = -\frac{\pi^2}{32} \sin\left(\frac{\pi}{8}t\right); \quad a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} \quad t = 1s \quad \text{vaqtda}$$

$$a_{1x} = 0,87 \text{ sm/s}^2, \quad a_{1y} = -0,12 \text{ sm/s}^2, \quad a_1 = 0,88 \text{ sm/s}^2 \quad (4)$$

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.

Natijada $t_1 = 1 \text{ s}$ da $a_{1\tau} = 0,66 \text{ sm/s}^2$

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:

$v_1 = 1,33 \text{ sm/s}$, $a_1 = 0,88 \text{ sm/s}^2$ $a_{1\tau} = 0,66 \text{ sm/s}^2$

$a_{1n} = 0,58 \text{ sm/s}^2$ $\rho_1 = 3,05 \text{ sm}$.

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 - sekunda), bu yerda $s = \widetilde{BM}$. Nuqtaning $t_1 = 1 \text{ s}$ vaqtdagi tezligi va tezlanishini toping.

Yechish: Nuqta tezligini topamiz:

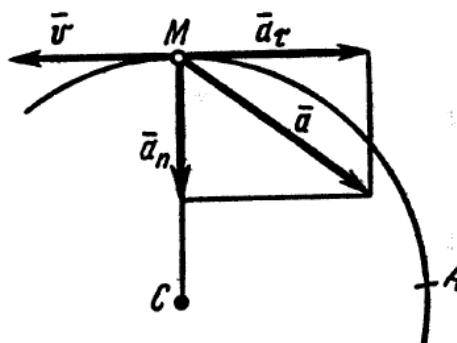
$$v = \frac{ds}{dt} = \frac{\pi}{2} \cos\left(\frac{\pi}{4}t\right); \quad t_1 = 1 \text{ s} \quad \text{vaqtda} \quad v_1 = \pi\sqrt{2}/4 = 1,11 \text{ m/s};$$

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.

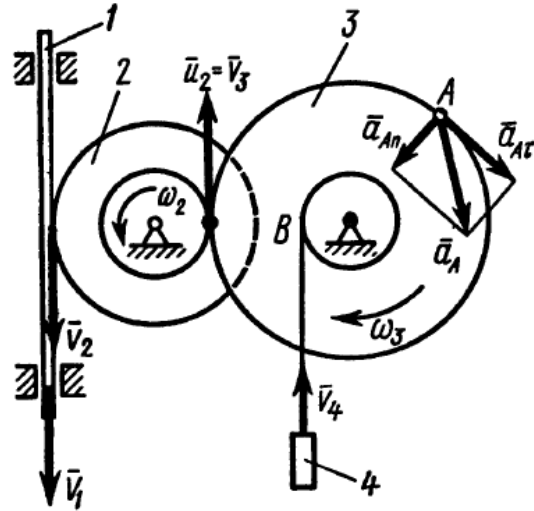


Mavzu: Qattiq jismning qo'zg'almas o'q atrifida aylanishi va aylanma harakatdagi jism nuqtasining tezlik va tezlanishini topishga oid masalalar.

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: ω_3 , v_4 , ε_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:

$$\omega_2 = \frac{v_1}{R_2} = \frac{3}{2}t^2, \quad \omega_3 = \frac{r_2}{R_3}\omega_2 = \frac{3}{4}t^2 \quad (2) \quad t_1 = 3 \text{ s} \quad \text{vaqt uchun} \quad \omega_3 = 6,75 \text{ s}^{-1}$$

hosil qilamiz.

2. v_4 ni aniqlaymiz. $v_4 = v_B = \omega_3 r_3$ bo'lgani uchun $t = 3 \text{ s}$ da $v_4 = 20,25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

3. ε_3 ni aniqlaymiz. (2) tenglamadan foydalanib ε_3 ni topamiz:

$$\varepsilon_3 = \frac{d\omega_3}{dt} = 1,5t, \quad t_1 = 3 \text{ s} \text{ da } \varepsilon_3 = 4,5 \text{ s}^{-2}.$$

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 $t = 3$ s vaqt uchun:

$$a_{A\tau} = 36 \text{ sm/s}^2; a_{An} = 364,5 \text{ sm/s}^2; a_A = \sqrt{a_{A\tau}^2 + a_{An}^2} = 366,3 \text{ sm/s}^2$$

Shaklda barcha nuqtalarning tezlik va tezlanishlari hamda g'ildiraklarning burchak tezliklarining yo'nalishi ko'rsatilgan.

Javob: $\omega_3 = 6,75 \text{ s}^{-1}$; $v_4 = 20,25 \text{ sm/s}$; $\varepsilon_3 = 4,5 \text{ s}^{-2}$; $a_A = 366,3 \text{ sm/s}^2$;

2-masala. Tekis aylanma harakatda bo'lgan shkivning burchak tezligi $n = 1200$ ayl/min, uning radiusi $R = 0,3$ m. 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:

$$v = R \cdot \omega = 0,3 \cdot 125,6 = 37,7 \text{ m/s}. \quad (2.2)$$

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, $s = 0,3$ m yo'lni o'tgan momentida, 3 jism M nuqtasining tezligi, urinma, normal va to'la tezlanishi topilsin.

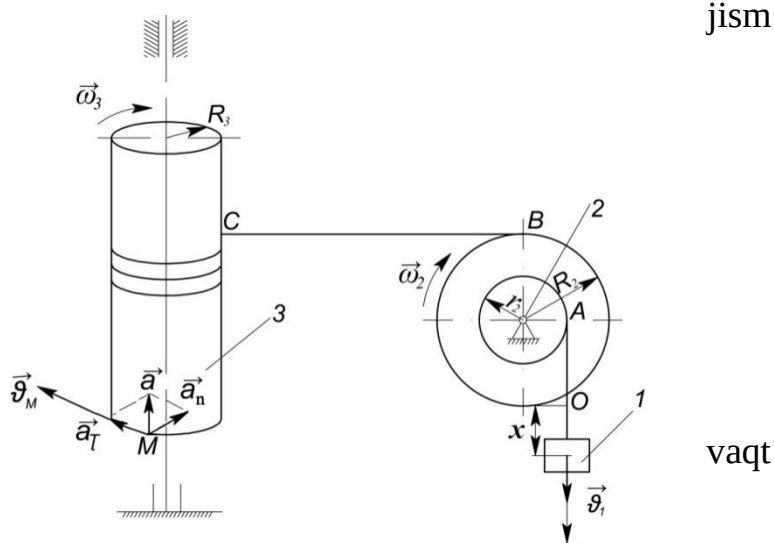
Shkiv va tsilindr o'lchamlari quyidagicha: $R_2 = 30 \text{ sm}$, $r_2 = 20 \text{ sm}$, $R_3 = 30 \text{ sm}$.

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,

$$\tau = \sqrt{s/30} = \sqrt{30/30} = 1 \text{ s}.$$



Agar birinchi jism osilgan, hamda 2- va 3- jismlarni biriktiruvchi tasmalarni cho'zilmaydi deb olsak, $\vec{\vartheta}_A = \vec{\vartheta}_1$ bo'ladi. U vaqtda 2- jismning burchak tezligi

$$\omega_2 = \frac{\vartheta_A}{r_2} = \frac{\vartheta_1}{r_2} = \frac{60t}{20} = 3t \text{ bo'ladi.} \quad (2.4)$$

$$\vartheta_B = \omega_2 \cdot R_2 = 3t \cdot 30 = 90t.$$
$$\vartheta_B = \vartheta_c = 90^\circ \text{ bo'lad i.}$$
$$\omega_3 = \frac{\vartheta_c}{R_2} = \frac{90t}{30} = 3t \frac{1}{s}. \quad (2.5)$$
$$\varepsilon_3 = \frac{d\omega_3}{at} = (3t)' = 3 \frac{1}{c^2} \quad (2.6)$$
$$\begin{aligned}\vartheta_M &= \vartheta_c = \omega_3 \cdot R_3 = 3t \cdot 30 = 90t, \\ a_T &= \varepsilon_3 R_3 = 3 \cdot 30 = 90,\end{aligned}$$

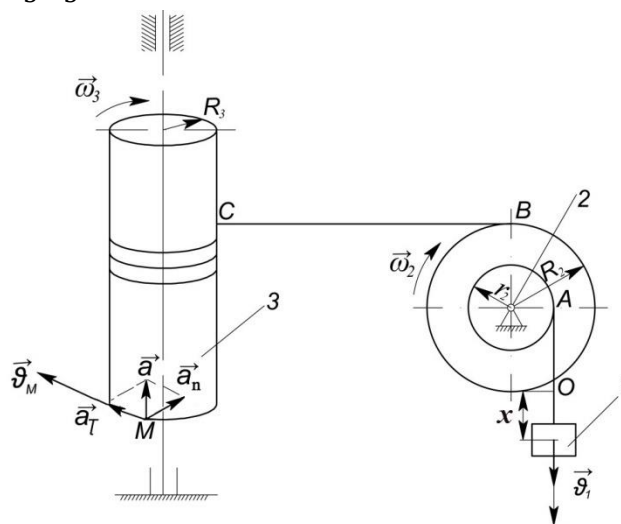
$$a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2} = \sqrt{90^2 + (270t^2)^2} = \sqrt{8100 + 72900t^4}.$$

$$v_M = 90 \cdot 1 = 90 \text{sm/s},$$

$$a_T = 90 \text{ sm/s}^2,$$

$$a_n = 270 \cdot 1 = 270 \text{sm/s},$$

$$a = \sqrt{8100 + 72900} = 284,6 \text{ sm/s}^2.$$

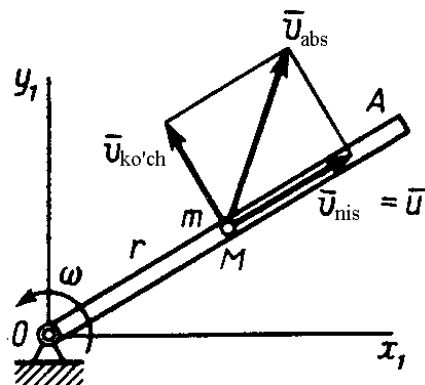


Mavzu: Nuqtaning murakkab harakatida ko'chirma harakat ilgari lanma va aylanma bo'lganda tezlik va tezlanishni topishga oid masalalar.

121

aylanma harakat qilmoqda. M nuqtaning Ox_1y_1 o'qlardagi harakat tezligini $OM=r$ masofaga bog'lagan holda aniqlansin.

Echish. M nuqtaning harakati OA to'g'ri chiziq bo'ylab qilayotgan nisbiy va OA



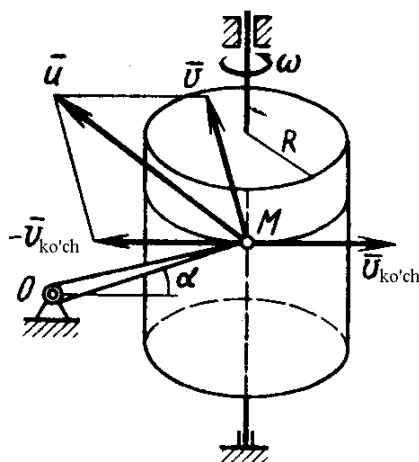
153- shakl

chiziq bilan birgalikdagi ko'chirma harakatlardan iborat bo'lgan murakkab harakat bo'ladi. U holda OA bo'ylab yo'nalgan $\bar{u}$ -tezlik nuqtaning nisbiy tezligi hisoblanadi. OA chizig'ining O markaz atrofidagi aylanma harakati M nuqta uchun ko'chirma harakat hisoblanadi va OA chiziqning M nuqta egallagan joyidagi m -nuqtasining tezligi ko'chirma tezlik - $\bar{v}_{ko'ch}$ hisoblanadi.

Ushbu m - nuqta $Om=r$ radiusli aylana bo'ylab harakatlanayotganligi uchun, uning tezligi moduli $v_{ko'ch}=\omega \times r$ -ga teng bo'lib, Om -chiziqqa perpendikulyar yo'nalgan bo'ladi. Shu sababli $\bar{u}$ va $\bar{v}_{ko'ch}$ vektorlardan iborat bo'lgan parallelogramm qurib, M nuqtaning Ox_1y_1 o'qlardagi absolyut tezligi $\bar{v}_{abs}$ -ni anqlaymiz. $\bar{u}$ va $\bar{v}_{ko'ch}$ vektorlar o'zaro perpendikulyar bo'lganligi uchun (16.2) formulaga asosan,

$$v_{abs} = \sqrt{u^2 + \omega^2 r^2}$$

2-masala. O'zi yozar priborning OM richagining shu ondagi gorizont bilan tashkil qilgan bo'rchagi α -dan iborat bo'lib, uning perosi -M, OM -ga perpendikulyar



154- shakl

bo'lgan $\bar{v}$ -tezlik bilan harakatlanmoqda (154- shakl). Qog'oz o'ralgan baraban esa,

vertikal o'q atrofida w -burchakli tezlik bilan harakat qilmoqda. Agar barabanning radiusi R -ga teng bo'lsa, peroning qog'oz ustidagi $\bar{u}$ -tezligi aniqlansin.

Yechish. Peroning absolyut tezligi ma'lum, ya'ni $\bar{V}_{abs} = \bar{V}$ -ga teng. $\bar{V}$ -tezlikni peroning qog'oz ustidagi nisbiy tezligi - $\bar{u}$ va qog'ozning pero joylashgan nuqtasining tezligidan iborat bo'lgan ko'chirma - $\bar{V}_{ko'ch}$ tezliklarning geometrik yig'indisidan iborat deb hisoblash mumkin. Ko'chirma tezlikning moduli $V_{ko'ch} = w \times R$.

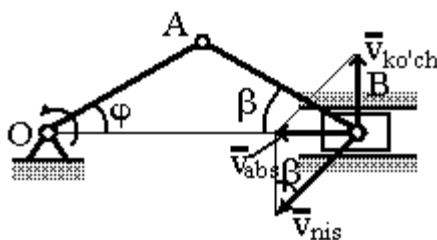
Tezliklarni qo'shishga oid teoremaga asosan $\bar{V} = \bar{u} + \bar{V}_{ko'ch}$, bundan $\bar{u} = \bar{V} + (-\bar{V}_{ko'ch})$.

Ushbu $\bar{V}$ va $(-\bar{V}_{ko'ch})$ vektorlardan iborat bo'lgan parallelogramm quramiz va izlanayotgan $\bar{u}$ -tezlikni aniqlaymiz. $\bar{V}$ va $(-\bar{V}_{ko'ch})$ vektorlar orasidagi burchak 90° -a -ni tashkil etgani uchun, peroning qog'oz ustidagi tezligining moduli,

$$u = \sqrt{v^2 + \omega^2 R^2 + 2v\omega R \sin \alpha}$$

Sinuslar teoremasi orqali $\bar{u}$ va $\bar{V}_{ko'ch}$ vektorlar orasidagi burchakni hisoblab topish mumkin.

3- masala. Krivoship - polzunli mexanizmning uzunligi r -ga teng bo'lgan OA krivoshipi w -burchakli tezlik bilan aylanma harakat qilmoqda (155-shakl). AB shatunning uzunligi l -ga teng. Berilgan j -burchakli holat uchun polzunning OA krivoshipga nisbatan tezligi aniqlansin.



155-shakl

Yechish. Polzun ilgarilama harakat qilmoqda va uning tezligi AB shatunga ham tegishli bo'lgan B nuqtaning tezligidan iborat. Demak, masalani yechish shatunning B nuqtasining tezligini aniqlashdan iborat ekan.

AB shatunning OA krivoshipga nisbatan harakati A nuqtadagi sharnir atrofidagi aylanma harakatdan iborat. Bunday harakatda B nuqta AB radiusli aylana bo'ylab harakat qiladi; demak, B nuqtaning AB shatunga nisbatan harakatidagi tezligi - $\bar{V}_{nis}$ AB -ga perpendikulyar ravishda yo'naladi. Hamda B nuqtaning absolyut tezligi - $\bar{V}_{abs}$, BO to'g'ri chiziq bo'ylab yo'nalgan bo'ladi.

B nuqta uchun ko'chirma harakat OA krivoshipning harakatidan iborat bo'ladi. Buning uchun krivoshipni OAB uchburchak bilan mahkam bog'langan holda O nuqta atrofida w - burchakli tezlik bilan harakatlanadi deb faraz qilamiz. U holda OAB uchburchak B nuqtasining tezligi, shatunning shu ondagi B nuqtasining tezligi bilan ustma-ust tushadigan tezlik vektori, shatunning B nuqtasining ko'chirma - $\bar{V}_{ko'ch}$ tezligi hisoblanadi. OAB uchburchakning B nuqtasi O nuqta atrofida OB radiusli aylana

bo'ylab harakatlanadi. Demak, $\bar{V}_{ko'ch}$ - tezlik OB-ga perpendikulyar ravishda yo'nalgan bo'lib, uning son qiymati $v_{ko'ch} = w \times AB$. $AB = l \times \cos b + r \times \cos j$ bo'lgani uchun $v_{ko'ch} = w \times (l \times \cos b + r \times \cos j)$.

Tomonlari $\bar{V}_{nis}$, $\bar{V}_{ko'ch}$ va diagonali $\bar{V}_{abs}$ - vektorlardan tashkil topgan parallelogramm quramiz, Bundan ko'rinib turibdiki,

$$\bar{V}_{nis} = \bar{V}_{ko'ch} / \cos b \quad \bar{V}_{nis} = w \times (l + r \times \cos j / \cos b).$$

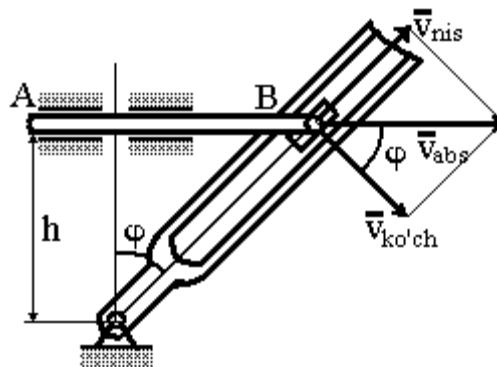
Bu tenglamalar sistemasidan b - burchakni yo'qotamiz. OAB uchburchakdan $l \times \sin b = r \times \sin j$ bo'ladi. U holda $\cos \beta = \sqrt{1 - (r^2 / l^2) \sin^2 \varphi}$ va nihoyat B nuqtaning izlanayotgan nisbiy tezligining modulini aniqlaymiz,

$$\bar{V}_{nis} = \omega \cdot l \left(1 + \frac{r \cos \varphi}{\sqrt{1 - r^2 \sin^2 \varphi}} \right) \quad (a)$$

B nuqtaning absolyut tezligi $\bar{V}_{abs}$ -ni aniqlash uchun, yana o'sha parallelogrammdan foydalanamiz. Undan $v_{abs} = v_{nis} \times \sin b$. Lekin $\sin b = (r \times \sin j) / l$ bo'lgani uchun, (a) tenglikdan v_{abs} uchun 63 masalada boshqa usul bilan aniqlangan qiymatni topamiz (57§-ga q.) va uni v_B -bilan belgilaymiz.

Xususiyl holda, ya'ni $r = l$ bo'lganda $v_{nis} = 2w \times l$, $v_{abs} = 2w \times l \times \sin j$.

4-masala. AB gorizontaal sterjenning B uchi sharnir orqali polzun bilan bog'langan.



156- shakl

Polzun esa OC kulisaning yo'naltiruvchi-tirqishi bo'ylab sirpanma harakat qiladi, buning natijasida kulisa O o'q atrofida aylanma harakat qiladi (156- shakl). AB sterjen bilan O o'q orasidagi masofa h -ga teng. AB sterjenning v -tezligi va j burchakka bog'liq ravishda kulisaning burchakli tezligi anqlansin.

Echish. Bizga, polzuning absolyut tezligi ma'lum bo'lib, u sterjenning tezligi v -dan iborat bo'ladi. Polzuning shu tezligini, polzunni kulisaning yo'naltiruvchi -tirqishi

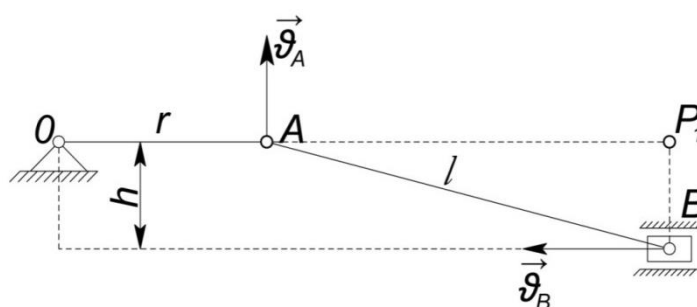
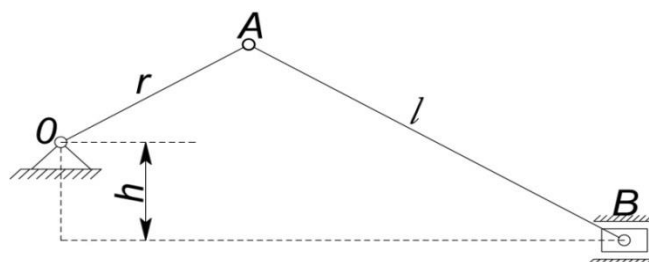
bo'ylab qilgan harkatidagi nisbiy $\bar{V}_{nis}$ -tezlik va kulisaning polzun bilan bir joydagi nuqtasining tezligi, ya'ni $\bar{V}_{ko'ch}$ -ko'chirma tezliklarning vektor yig'indisidan iborat deb hisoblashimiz mumkin. Ushbu vektorlarning yo'nalishlari bizga ma'lum: nisbiy

$\vec{V}_{\text{nis}}$ -tezlik vektor OB chiziq bo'ylab yo'naladi; $\vec{V}_{\text{ko'ch}}$ -ko'chirma tezlik vektori OB - ga perpendikulyar holda yo'naladi. U holda $\vec{V}$ -tezlikni $\vec{V}_{\text{ko'ch}}$ va $\vec{V}_{\text{nis}}$ lardan iborat ikkita tashkil etuvchilarga ajratamiz. Parallelogrammdan ko'rinib turibdiki, ko'chirma tezlikning moduli $v_{\text{ko'ch}} = v \times \cos j$. Lekin ikkinchi tomondan ko'chirma tezlik $v_{\text{ko'ch}} = w \times OB = w \times h / \cos j$. Bu erda w - kulisaning burchakli tezligi. Oxirgi ikki tenglikning o'ng tomonlarini tenglashtirib, kulisaning burchakli tezligining qiymatini aniqlaymiz $w = (v/h) \cos^2 j$.

Mavzu: Tekis parallel harakatdagi jism nuqtalari tezligi va tezlanishi

1-masala. O val atrofida $\omega = 1,5 \text{ rad/s}$ burchak tezlik bilan aylanuvchi krivoshipning ikkita gorizont 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 gorizont holatida B polzunning tezligini qancha bo'lishini aniqlaymiz. Krivoship A nuqtasining tezligi:



$v_A = \omega \cdot OA = 1,5 \cdot 40 = 60 \text{ sm/s}$; $\vec{v}_A \perp \vec{OA}$ 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:

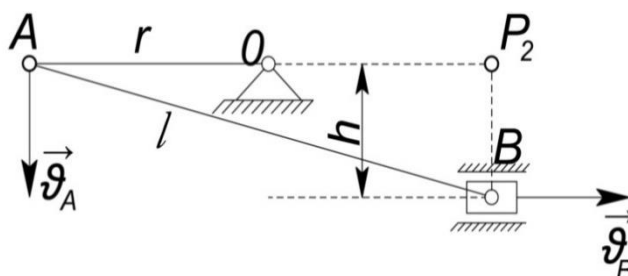
$$v_A = \omega_{AB} \cdot AP_1.$$

Bundan,

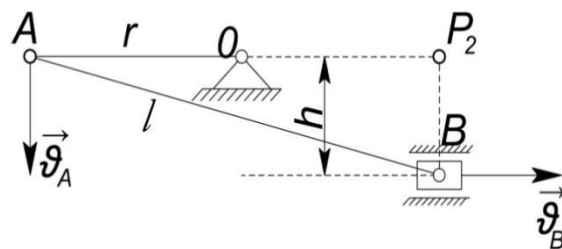
$$\omega_{AB} = \frac{v_A}{AP_1}.$$

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 ham B polzun tezligining miqdori 1 gorizontol holatidagi tezligiga teng bo'lar ekan:

$$g_{B_2} = g_{B_1} = 6,03 \text{ sm / s} .$$

3. Yuqorida keltirilgan mulohazalar asosida, krivoshipning birinchi vertikal holatida B polzun tezligining miqdorini aniqlaymiz.

Krivoshipning bunday vertikal holatida polzun tezligining miqdori krivoship A nuqtasining tezligiga teng bo'ladi:

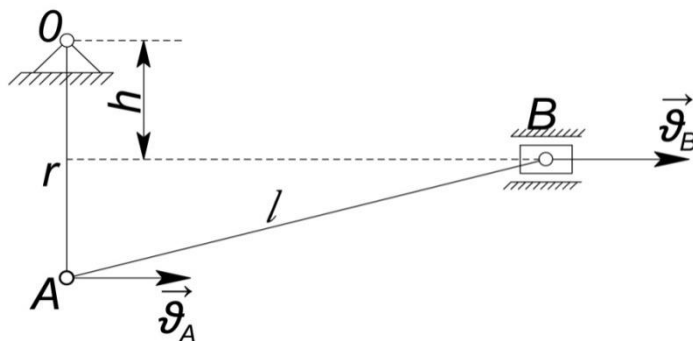
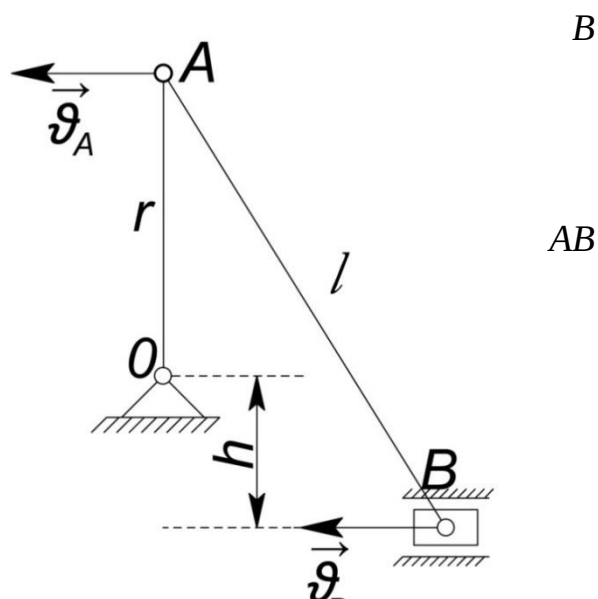
$$\vec{v}_{B_3} = \vec{v}_A = 60 \text{ sm/s} .$$

Chunki krivoshipning bunday holatida 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:



$$AP_3 = \infty , \quad \omega_{AB} = 0 , \quad g_{B_4} = g_{B_3} = 60 \text{ sm / s} .$$

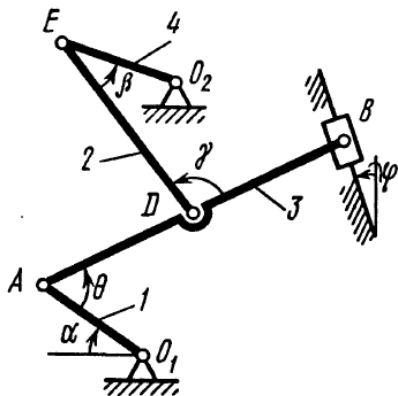
2-masala. Mexanizm (*a* shakl) 1,2,3,4-sterjenlardan va *B* polzundan iborat bo'lib, ular bir-birlari va qo'zg'almas O_1 va O_2 tayanchlar bilan sharnirlar yordamida tutashtirilgan.

Berilgan: $\alpha = 60^\circ$, $\beta = 150^\circ$, $\gamma = 90^\circ$, $\varphi = 30^\circ$, $\theta = 30^\circ$,

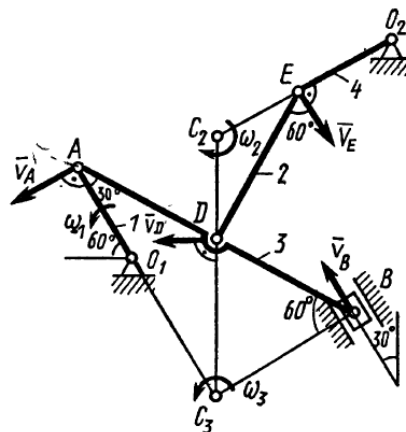
$AD = DB$, $l_1 = 0,4 \text{ m}$, $l_2 = 1,2 \text{ m}$, $l_3 = 1,4 \text{ m}$, $\omega_1 = 2 \text{ s}^{-1}$, $\varepsilon_1 = 7 \text{ s}^{-2}$.

(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: Mexanizm holatini berilgan burchaklar asosida quramiz (*b* shakl, shu shaklda barcha tezlik vektorlarini tasvirlaymiz).

1. 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:

$$v_A = \omega_1 l_1 = 0,8 \text{ m/s} \quad \vec{v}_A \perp O_1 A \quad (1)$$

$\vec{v}_B$ tezlik yo'nalishini *B* nuqta bir paytni o'zida ilgariylanma 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:

$$v_B \cos 30^\circ = v_A \cos 60^\circ \quad \text{va} \quad v_B = 0,46 \text{ m/s} \quad (2)$$

2. $\vec{v}_E$ 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

$$v_D = v_B = 0,46 \text{ m/s}, \quad \vec{v}_D \perp C_3D \quad (4)$$

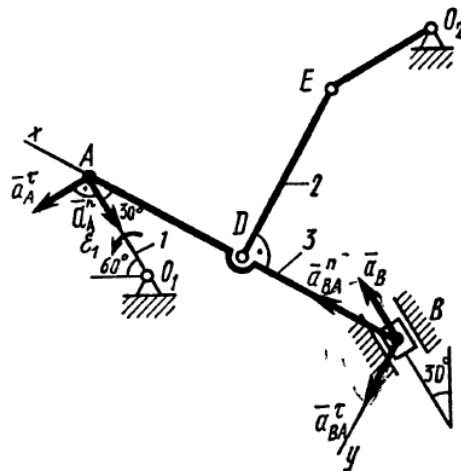
hosil bo'ladi.

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.

$$\frac{v_E}{C_2E} = \frac{v_D}{C_2D}, \quad v_E = v_D = 0,46 \text{ m/s} \quad (5)$$

3. 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

4. $\vec{a}_B$ 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.

5. ε_3 ni aniqlash. ε_3 ni aniqlash uchun a_{BA}^τ ni topamiz. Buning uchun (8) vektor tenglikni *AB* yo'nalishga perpendikulyar yo'nalishiga (*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 $O_2 B$ radiusli aylana bo'ylab harakatlanadi), u holda $\vec{a}_B$ vektorning yo'nalishi oldindan noma'lum bo'ladi. Bu holda $\vec{a}_B$ vector 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 ilgari harakat qilayotgan bo'lsa, masala shartiga ko'ra $a_A^\tau = 0$ 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^τ va a_{BA}^τ noma'lumlar qoladi holos. Ular keltirilgan misoldagi kabi (13) vektor tenglikni ikkita o'qqa proyeksiyalab topiladi. a_B^τ ni topib, $a_B = \sqrt{(a_B^\tau)^2 + (a_B^n)^2}$ formuladan a_B miqdorni aniqlash mumkin. a_{BA}^τ miqdor ε_{AB} ni topish uchun ishlaydi (keltirilgan misoldagi kabi).

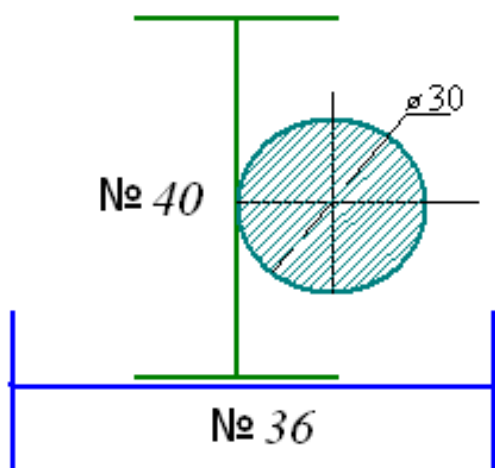
Mavzu. Tekis kesimlarning geometrik xarakteristikalarini aniqlash uchun quyidagi masalani ko'rib chiqamiz.

1-masala: Shaklda ko'rsatilgan qo'shtavr va doira uchun quyidagilarni topish talab qilinadi. (4-rasm).

1. Kesimning og'irlik markazi topilsin.
2. Og'irlik markazidan o'tuvchi x_c va y_c o'qlarga nisbatan o'qiy va markazdan qochma inersiya momentlari hisoblansin.
3. Bosh inersiya o'qlarini yo'nalishi aniqlansin.
4. Bosh o'qlariga nisbatan inersiya radiusi topilsin va inersiya ellipsi qurilsin.

Topshiriq ishi A-2 format qog'ozga bajariladi. Kesim chizmalari 1:2 masshtabda millimetr qog'ozga chiziladi.

Berilgan



4-rasm

1. № 40 bo'lgan qo'shtavr
2. № 36 bo'lgan qo'shtavr
3. Diametri 30 mm bo'lgan doira

1. № 40 bo'lgan qo'shtavr (5-rasm).

Qo'shtavr o'chamlarini GOST-8240-50 bo'yicha kitobdan olamiz:

$$b_1 = 155 \text{ mm} = 15,5 \text{ sm}$$

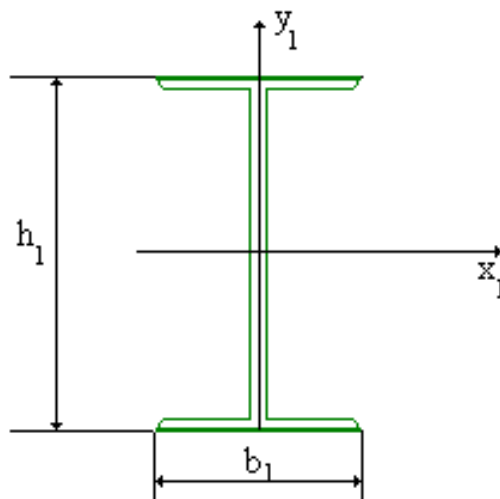
$$h_1 = 400 \text{ mm} = 40 \text{ sm}$$

$$J_{x_1} = 18930 \text{ sm}^4$$

$$J_{y_1} = 666 \text{ sm}^4$$

$$F_1 = 71,4 \text{ sm}^2$$

$$J_{x_1 y_1} = 0$$



5-rasm

2. № 36 bo'lgan qo'shtavr

$$h_2 = 145 \text{ mm} = 14,5 \text{ sm}$$

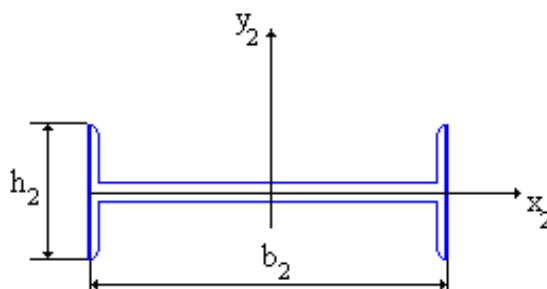
$$b_2 = 360 \text{ mm} = 36 \text{ sm}$$

$$J_{x_2} = 516 \text{ sm}^4$$

$$J_{y_2} = 13380 \text{ sm}^4$$

$$F_2 = 61,9 \text{ sm}^2$$

$$J_{x_2 y_2} = 0$$



6-rasm.

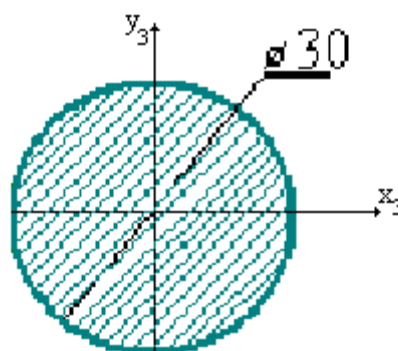
3. Diametri 30 bo'lgan doira (7-rasm).

$$d_3 = 30 \text{ mm} = 3 \text{ sm}$$

$$F_3 = \frac{\pi d^2}{4} = 7.065 \text{ sm}^2$$

$$J_{y_3} = J_{x_3} = \frac{\pi d^4}{64} = 3.974 \text{ sm}^4$$

$$J_{x_3 y_3} = 0$$



7-rasm.

Yechish: 1) **Kesimning og'irlik markazini aniqlaymiz.**

Buning uchun kesimdan x_0 va y_0 o'qlar o'tkazib olib har bir shaklni og'irlik markazidan shu o'qlarga bo'lgan masofani aniqlaymiz. (8-rasm).

$$x_1 = \frac{b_2}{2} = \frac{36}{2} = 18 \text{ sm}$$

$$x_2 = \frac{b_2}{2} = \frac{36}{2} = 18 \text{ sm}$$

$$x_3 = \frac{b_2}{2} + r = 18 + 1.5 = 19.5 \text{ sm}$$

$$y_1 = \frac{h_2}{2} + \frac{h_1}{2} = 7.25 + 20 = 27.25 \text{ sm}$$

$$y_2 = \frac{h_2}{2} = \frac{14.5}{2} = 7.25 \text{ sm}$$

$$y_3 = \frac{h_2}{2} + \frac{h_1}{2} = 7.25 + 20 = 27.25 \text{ sm}$$

(2) formuladan foydalanib x_0 va y_0 larni topamiz.

$$x_c = \frac{\sum F_i x_i}{\sum F_i} = \frac{F_1 x_1 + F_2 x_2 + F_3 x_3}{F_1 + F_2 + F_3} = \frac{71.4 \cdot 18 + 61.9 \cdot 18 + 7.065 \cdot 19.5}{71.4 + 61.9 + 7.065} = 18.08 \text{ sm}$$

$$y_c = \frac{\sum F_i y_i}{\sum F_i} = \frac{F_1 y_1 + F_2 y_2 + F_3 y_3}{F_1 + F_2 + F_3} = \frac{71.4 \cdot 27.25 + 61.9 \cdot 7.25 + 7.065 \cdot 27.25}{71.4 + 61.9 + 7.065} = 18.43 \text{ sm}$$

$$x_c = 18.08 \text{ sm} \quad y_c = 18.43 \text{ sm}$$

2) x_0 va y_0 o'qlarga nisbatan inersiya momentini aniqlaymiz.

$$a_1 = (y_1 - y_c) = (27.25 - 18.43) = 8.82 \text{ sm}$$

$$a_2 = (y_2 - y_c) = (7.25 - 18.43) = -11.18 \text{ sm}$$

$$a_3 = (y_3 - y_c) = (27.25 - 18.43) = 8.82 \text{ sm}$$

$$b_1 = (x_1 - x_c) = -(18 - 18.08) = -0.08 \text{ sm}$$

$$b_2 = (x_2 - x_c) = (18 - 18.08) = -0.08 \text{ sm}$$

$$b_3 = (x_3 - x_c) = (19.5 - 18.08) = 1.42 \text{ sm}$$

J_{x_c} va J_{y_c} larni hisoblashga (7) formuladan foydalanamiz.

$$\begin{aligned} J_{x_c} &= a_1^2 F_1 + a_2^2 F_2 + a_3^2 F_3 + J_{x_1} + J_{x_2} + J_{x_3} = \\ &= (8.82)^2 \cdot 71.4 + (-11.18)^2 \cdot 61.9 + (8.82)^2 \cdot 7.065 + 18930 + 516 + 3.974 = \\ &= 5554.377 + 7737.029 + 549.603 + 18930 + 516 + 3.974 = 33290.98 \text{ sm}^4 \end{aligned}$$

$$J_{x_c} = 33290.98 \text{ sm}^4$$

$$\begin{aligned}
 J_{y_c} &= b_1^2 F_1 + b_2^2 F_2 + b_3^2 F_3 + J_{y_1} + J_{y_2} + J_{y_3} = \\
 &(-0,08)^2 \cdot 71,4 + (-0,08)^2 \cdot 61,9 + (1,42)^2 \cdot 7,065 + 666 + 13380 + 3,974 = \\
 &= 0,457 + 0,396 + 14,246 + 666 + 13380 + 3,974 = 14065,073 \text{ sm}^4 \\
 J_{y_c} &= 14065,073 \text{ sm}^4
 \end{aligned}$$

Markazdan qochirma inersiya momenti

$$\begin{aligned}
 J_{x_c y_c} &= a_1 b_1 F_1 + a_2 b_2 F_2 + a_3 b_3 F_3 + J_{x_1 y_1} + J_{x_2 y_2} + J_{x_3 y_3} = 8,82 \cdot (-0,08) \cdot 71,4 + (-11,18) \cdot (-0,08) \cdot 61,9 + \\
 &+ 8,82 \cdot 1,42 \cdot 7,065 + 0 + 0 + 0 = -50,38 + 55,363 + 88,485 = 93,47 \text{ sm}^4 \\
 J_{x_c y_c} &= 93,47 \text{ sm}^4
 \end{aligned}$$

3. Bosh o'qlar yo'nalishini topamiz.

$$\operatorname{tg} 2\alpha_0 = \frac{2J_{x_c y_c}}{J_{y_c} - J_{x_c}} = \frac{2 \cdot 93,47}{14065,073 - 33290,983} = \frac{186,935}{-19225,91} = -0,01$$

To'rt xonali matematik jadvaldan $\operatorname{tg} 2\alpha_0 = -0,01$ da $2\alpha_0 = 0^\circ 34,4'$ ekanligini topamiz. Bunda $\alpha_0 = 0^\circ 17,2'$ tengdir.

4. Bosh inersiya momentlarini hisoblaymiz.

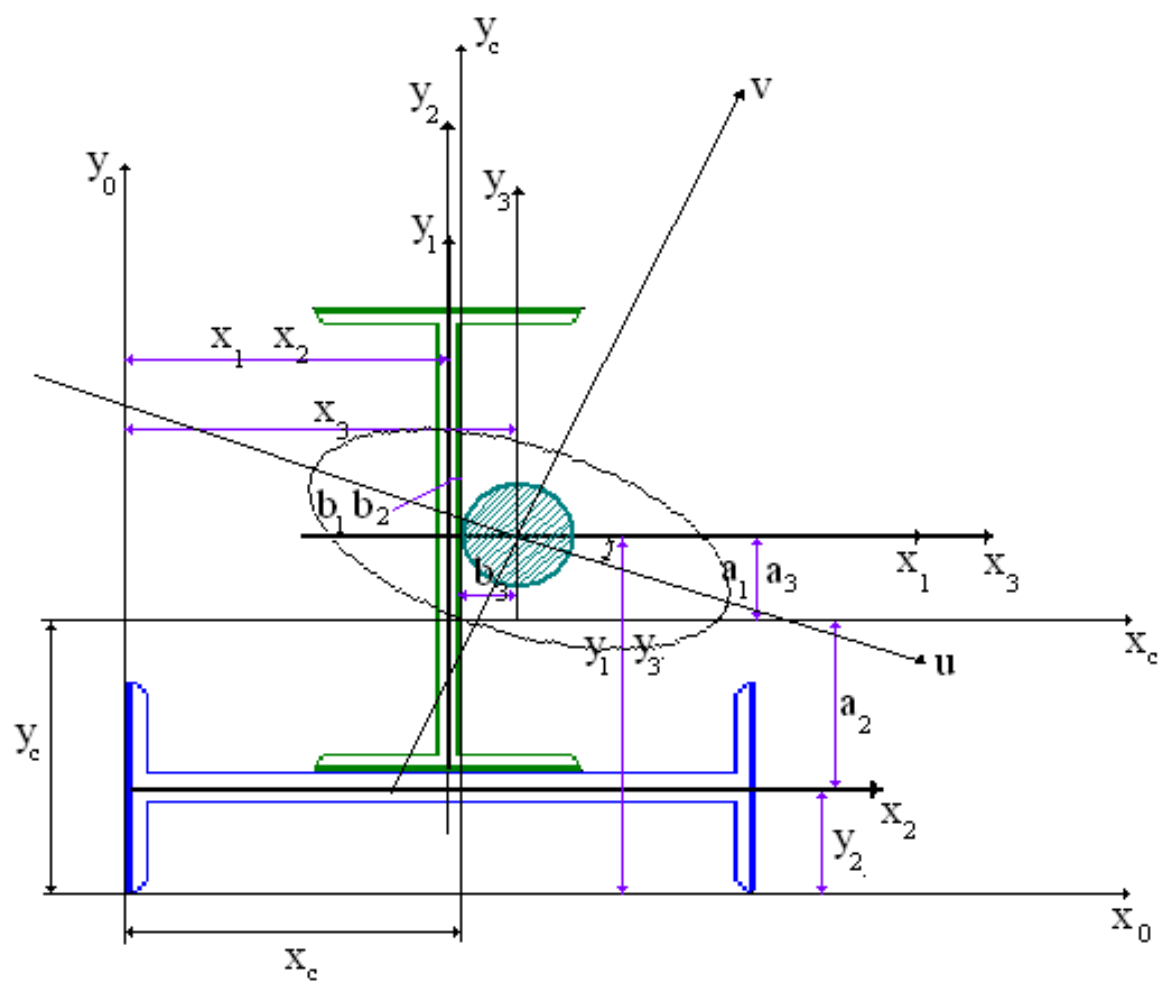
$$\begin{aligned}
 J_{\frac{u}{v}} &= J_{\frac{\max}{\min}} = \frac{J_{x_c} + J_{y_c}}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(J_{x_c} - J_{y_c})^2 + 4J_{x_c y_c}^2} = \frac{33290,983 + 14065,073}{2} \pm \frac{1}{2} \cdot \\
 &\cdot \sqrt{(33290,983 - 14065,073)^2 + 4 \cdot (93,47)^2} = 23678,03 \pm 9613,41 \\
 J_u &= J_{\max} = 23678,03 + 9613,41 = 33291,44 \text{ sm}^4 \\
 J_v &= J_{\min} = 23678,03 - 9613,41 = 14064,62 \text{ sm}^4
 \end{aligned}$$

Tekshirish:

$$\begin{aligned}
 J_u + J_v &= J_{x_c} + J_{y_c} \\
 33291,44 + 14064,62 &= 33290,98 + 14065,073 \\
 47356,053 \text{ sm}^4 &= 47356,053 \text{ sm}^4
 \end{aligned}$$

5. Inersiya radiusi hisoblaymiz va inersiya ellipsini quramiz.

$$\begin{aligned}
 r_u &= \sqrt{\frac{J_u}{F}} = \sqrt{\frac{33347,05}{140,365}} = \sqrt{237,574} = 15,413 \text{ sm} \\
 r_v &= \sqrt{\frac{J_v}{F}} = \sqrt{\frac{14064,62}{140,365}} = \sqrt{100,2} = 10,01 \text{ sm}
 \end{aligned}$$



8-rasm.

Excel dasturi yordamida hisob ishlarini amalga oshirish natijasida olingan natijalar

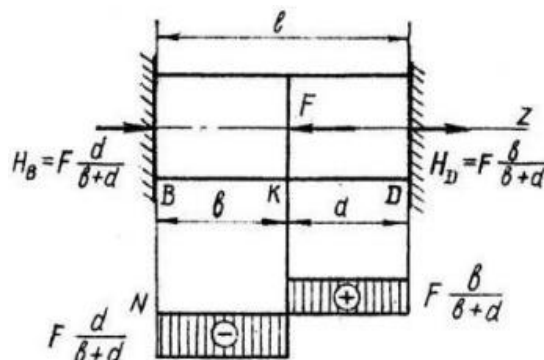
[illegible]

lxc i	l y c i	l x c y c	t g a	l m a x	l m i n	tekshirish	tekshirish	R u	R v
24484,2	666,407	-47,5449748	-0,00972	33291,44	14064,62	47356,05	47356,05	15,40057	10,010
8253,22	13380,35	52,2495301							
553,5602	18,31031	88,76393758							
33290,98	14065,07	93,47							

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 H_B 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 bikrliklari bir hil bo'lsin.

$a=3\text{m}$, $b=2\text{m}$, $h=2\text{m}$, $P=20\text{kn}$.

Yechish.

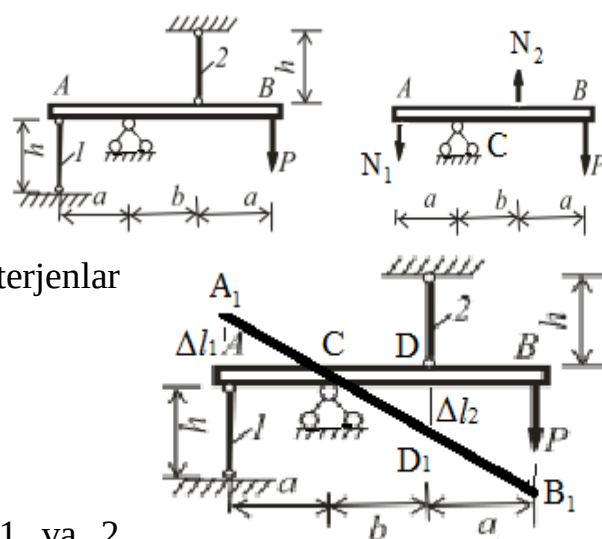
Bundy masalalarni yechishda 1 va 2 sterjenlarni kesib, ularni o'rniga noma'lum zo'riqish kuchlari N_1 va N_2 ni qo'yib olamiz. Shundan so'ng AB brus muvozanatini tekshiramiz.

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'yлама kuchni qiymati aniqlandi.

Mustaqil ta'lim mashg'ulotlari

Mexanika fanidan talabalar quyidagi mavzular bo'yicha mustaqil ta'lim oladilar:

1. Tekislikda joylashgan kuchlar tizimining muvozanati;
2. Qattiq jismning reaksiya kuchlarini aniqlash;
3. Fazoda joylashgan kuchlar tizimining muvozanati;
4. Nuqta kinematikasi;
5. Nuqtaning murakkab harakati;
6. Qattiq jismning tekis-parallel harakati;
7. Moddiy nuqta dinamikasi;
8. Qattiq jism dinamikasi;
9. Mexanik tizim harakati;
10. Analitik mexanika;

Mexanikada 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.

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 materialli 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 materialli 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.

Mustaqil ta'lim mavzulari

Talaba mustaqil ishini 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. Qo'shma konstruktsiyaning tayanch reaksiyalarini aniqlash.

2. Jism og'irlik markazini aniqlash.
3. Tekis mexanizmning kinematik tahlili.
4. Moddiy nuqtaning tebranma harakatini o'rganish.
5. Moddiy nuqta dinamikasining asosiy teoremlari

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 «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

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.
$V_A, V_B, V_C \dots$ -	A,B,C tayanchlarda paydo bo'ladigan reaksiyalarning, vertikal tashkil etuvchilari. Yuqoriga yo'nalgan reaksiyalar, musbat qabul qilinadi.
$N_A, N_B, N_C \dots$ -	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 -	epyuralar maydoni.
ω -	ta'sir chiziqlari maydoni
R -	aylana radiusi.
f -	arkaning ko'tarilish balandligi.
M^0_k, Q^0_k -	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} -	chiziqli tekis taralgan ekvivalent yuk.
$X_k (X_k)$ -	K nuqtaning gorizontal 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.
$\Delta_k -$	K nuqtaning to'liq ko'chishi, quydagi formuladan to'iladi. $\Delta_k = \sqrt{x_k^2 + y_k^2}$
$\varphi_k -$	k nutada kesimning buralish burchagi. Kesimining soat strelkasi bo'yicha buralishi musbat qabul qilinadi.
$X_{KN} (X_{KN}) -$	K va N nuqtalari o'zaro gorizontal yaqinlashishi (musbat) yoki uzoqlashishi (manfiy).
$y_{KN} (y_{KN}) -$	K va N nuqtalarini o'zaro vertikal yaqinlashishi (musbat) yoki uzoqlashishi (manfiy).
$\Delta_{KN} -$	KN to'g'ri chizig'i bo'ylab o'zaro yaqinlashishi (musbat) yoki o'zaro uzoqlashishi (manfiy).
$\varphi_{KN} -$	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 -Miqdorlari teng, yo'nalishi qarama qarshi, ta'sir chiziqlari bir to'g'ri chiziqda yotmaydigan va parallel ikki kuch

Kuchning tahsir chizighi -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 reaksiya 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-Tashqi 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.

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 tushiniladi. 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 topishda 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 deformatsiyaga qarshilik qila olish tushuniladi

Bo'ylama kuch – cho'zilgan (siqilgan) sterjinning ko'ndalang kesimlarida (ichki kuch)- N_x – bo'ylama kuch hosil 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.

Deformatsiya - tashqi kuchlar ta'sirida jism o'lchamlari va shaklining o'zgarishi deformatsiya deb ataladi. Deformatsiyalar chizikli va burchakli bo'ladi.

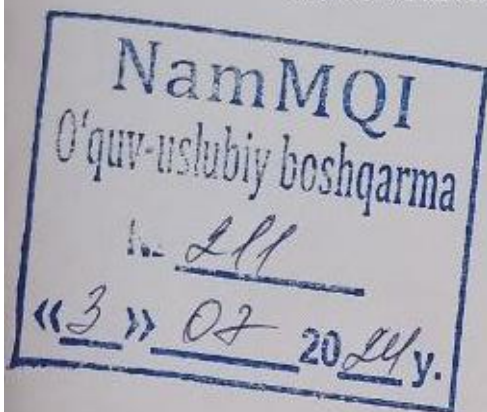
Dinamik kuchlar – amalda foydalanish sharoitida qurilmalarning Ko'p qismlariga dinamik kuchlar ta'sir qiladi. Bularga inertsia kuchlari, oniy va zarbiy kuchlar kiradi.

Doimiy kuchlar - konstruksiyaga doimiy ta'sir qiluvchi kuchlar, masalan konstruksiyani o'z og'irligi.

4. Ilovalar

1.1. Fan dasturi

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY TA'LIM, FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI
NAMANGAN MUHANDISLIK-QURILISH INSTITUTI



"TASDIQLAYMAN"
NamMQI rektori

Sh. T. Ergashev

2024 yil

TEXNIK MEXANIKA
FANINING O'QUV DASTURI

Bilim sohasi:	1000 000 – Xizmatlar
Ta'lim sohasi:	1040 000 – Transport xizmatlari
Ta'lim yo'nalishlari:	61040300 – Yo'l harakatini tashkil etish

NAMANGAN-2024

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY TA’LIM, FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI
NAMANGAN MUHANDISLIK-QURILISH INSTITUTI**

**“TASDIQLAYMAN”
NamMQI rektori**

_____ **Sh. T. Ergashev**

2024 yil “_____” _____

**TEXNIK MEXANIKA
FANINING O‘QUV DASTURI**

Bilim sohasi: 1000 000 – Xizmatlar

Ta’lim sohasi: 1040 000 – Transport xizmatlari

Ta’lim yo‘nalishlari: 61040300 – Yo‘l harakatini tashkil etish

NAMANGAN-2024

Fan/modul kodi TM1306		O‘quv yili 2024-2025	Semestrlar 3	ECTS - Kreditlar 3s-6	
Fan/modul turi Majburiy		Ta’lim tili O‘zbek/rus		Haftadagi dars soatlari	
				3s-6	
1.	Fanning nomi	Auditoriya mashg‘ulotlari (soat)		Mustaqil ta’lim (soat)	Jami yuklama (soat)
	TEXNIK MEXANIKA	46/44		90	180
2.	I. Texnik mexanika modulining maqsad va vazifalari				
	“Texnik mexanika” fanini o‘qitishdan maqsad – Mashinasozlik bilan bog‘liq yo‘nalishlarda talabalarga mexanik harakat shakllarini, ularning qonuniyatlarini, mashina va mexanizmlarning elementlarini tashqi yuklamalarga chidamliligini tekshirish usulublarini o‘rgatishdan iborat. Ularni loyihalash jarayonida konstruktorlik, texnologik ko‘nikmalarini shakllantirishdan iborat. Texnik mexanika fanining “Nazariy mexanika” modulining uslublari mashina, agregatlarga qo‘yilgan kuchlar asosida yuzaga keluvchi harakatlarini oldindan aniqlash uchun matematik asoslar bilan shug‘ullansa, “Materiallar qarshiligi” modulida ayni shu harakatlar jarayonida yuzaga kelgan kuchlar uning zvenolarida qanday zo‘riqlashlarni va deformatsiyalarni yuzaga keltirishlarini nazariy va tajriba usullari asosida aniqlash bilan shug‘ullanadi, ularni mustahkam, bikr va ustuvor bo‘lishini taminlovchi materiallarni va ularning ko‘ndalang kesim o‘lchamlarini tanlash ishlarini bajaradi. Tajriba ishlarida zamon talablariga mos uskuna mashinalaridan foydalanish fanning ajralmas qismi hisoblanadi. Texnik mexanika fanining “Mashina mexanizmlar nazariyasi” modulining vazifasi-mexanizmlar va mashinalar tuzilishi, kinematik juftlar va zanjirlar, mexanizm turlari, mexanizmlar kinematikasi va dinamikasi, tishli, kulachokli mexanizmlar hamda robot va manipulyatorlar haqida ko‘nikmalarini hosil qilish; Texnik mexanika fanining “Mashina detallari” modulining vazifasi-mexanizmlar va mashinalar tuzilishi hamda sanoatda ishlatiladigan barcha mashinalarning detal, uzellari, muftalar, podshimniklar, birikmalar va ularning turlari, mexanik uzatmalarning turlari, val va o‘qlar haqida, ko‘nikmalarini hosil qilish; Yuqorida keltirilgan ma’lumotlar asosidagi bilimlarni talabalarga o‘rgatish, injenerlik hisob ishlariga ko‘nikmalar shakllantirish fanning bosh maqsadi etib belgilangan.				

II. Asosiy nazariy qism (ma'ruza mashg'ulotlari)

II.I. Fan tarkibiga quyidagi mavzular kiradi:

1-mavzu. Nazariy mexanika fani. Asosiy tushunchalar. Statika aksiomalari. Bog'lanishlar va ularning reaksiya kuchlari.

Kuch. Kuchlar sistemasi. Teng ta'sir etuvchi kuch. Asosiy aksiomalar. Uch kuch muvozanati haqidagi teorema. Bog'lanish turlari va bog'lanish reaksiya kuchlari.

2-mavzu. Kuchlar sistemasini qo'shish.

Kuchning o'qdagi va tekislikdagi proeksiyasi. Kesishuvchi kuchlarnig qo'shishni geometrik va analitik usullari. Kesishuvchi kuchlar sistemasining muvozanat tenglamalari. Kesishuvchi kuchlar sistemasining muvozanatiga doir masalalar.

3-mavzu. Kuch momenti. Juft kuchlar

Kuch momenti. Kuchning nuqtaga nisbatan momenti va uning xossalari. Kuchning nuqta nisbatan momenti vektori. Kuchning o'qqa nisbatan momenti va uning xossalari. Kuchning o'qqa nisbatan momenti bilan shu o'qdagi nuqtaga nisbatan momenti orasidagi munosabat. Juft kuchlar nazariyasi. Juft kuchning algebraik momenti. Juft kuch moment vektori. Juft kuch momenti haqidagi teorema. Juft kuchlarning muqobilligi haqida teorema va natijalar. Juft kuchni o'zining ta'sir tekisligiga parallel tekislikka ko'chirish haqidagi teorema. Bir tekislikda joylashgan juft kuchlarni qo'shish. Kesishuvchi tekislikdagi juft kuchlarni qo'shish. Juft kuchlar tizimining muvozanat shartlari.

4-mavzu. Fazoda va tekislikda ixtiyoriy joylashgan kuchlar sistemasi.

Kuchni o'ziga paralil ko'chirish. (Puanso lemmasi)

Fazoda va tekislikda ixtiyoriy kuchlar tizimini bir markazga keltirish. (Statikaning asosiy teoremasi). Ixtiyoriy kuchlar tizimining bosh vektori va bosh momentining analitik ifodalari. Ixtiyoriy kuchlar tizimi muvozanat shartlarining geometrik va analitik usulda ifodalanishi.

5-mavzu. Ishqalanish kuchlari. Parallel kuchlar markazi. Qattiq jism og'irlik markazi

Ishqalanish, sirpanib ishqalanish. Sirpanib ishqalanish qonuni, ishqalanish koefitsienti, ishqalanish burchagi, ishqalanish konusi. Dumalab ishqalanish, dumalab ishqalanish koefitsienti, dumalab ishqalanish koefitsientining olchov birligi.

Bir tomonga yo'nalgan ikkita parallel kuchni qo'shish. Parallel kuchlar markazi. Qattiq jism og'irlik markazi koordinatalarini aniqlash formulalari. Jismlarning og'irlik markazini aniqlash usullari

6-mavzu. Kinematikaga kirish. Harakati vektor usulida, koordinatalar usulida, tabiiy usulda berilganda nuqtaning tezligi va tezlanishi.

Kinematikaning asosiy tushunchalari. Klassik mexanikada vaqt va fazo tushunchalari. Mexanik harakatning nisbiyligi. Sanoq tizimi. Nuqta harakatning berilish usullari: vektor usuli, koordinatalar usuli, tabiiy usul.

Nuqta kinematikasi. Nuqtaning (harakat izi) traektoriyasi. Nuqtaning tezligi. Nuqtaning tezlik vektorlari. Tezlik godografi. Nuqtaning tezligini uning

koordinata o'qlaridagi proeksiyalari orqali aniqlash. Nuqta tezlanishini aniqlash usullari

7-mavzu. Materiallar qarshiligifani Asosiy tushunchalar. Gipotezalar.

Fanga kirish. Fanning umumta'lim, umummuhandislik va maxsus fanlar bilan bog'liqligi. Konstruksiya elementlari (Brus, plastina, qobiq, massiv, sterjen) ga ta'rif. Sirtqi va ichki kuchlarni turlari. Elastiklik va plastiklik. Izotropiya va anizotropiya haqida tushunchalar. Sen-Venan prinsipi. Kuchlar ta'sirining mustaqillik prinsipi.

8-mavzu. Cho'zilish va siqilish. Materiallar mexanik xossalari.

Cho'zilish va siqilishda kuchlanish va deformatsiyalar. Mustahkamlik va bikrlikka hisoblash. Mustahkamlik va bikrlilik shartlari. Diagrammalar. Boshqa turdagi mexanik sinovlar. Turli omillarning material mexanik xossalariga ta'siri. Ruxsat etilgan kuchlanish.

9-mavzu. Siljish. Buralish. Egilish.

Sof siljish. Sof siljishda bosh kuchlanishlar. Siljish uchun Guk qonuni. Siljish moduli. Izotrop jism uchun uchta doimiylar orasidagi bog'lanish. Siljishda hajmning o'zgarmasligi. Siljishda deformatsiyaning potensial energiyasi.

To'g'ri sterjenning buralishi. Buralishda urinma kuchlanishlar. Buralish burchagi. Nisbiy buralish burchagi. Buralishda bikrlilik. Mustahkamlik va bikrlilik shartlari. Buralishda statik noaniq masalalar.

Tekis egilish. Egilishda balka ko'ndalang kesim yuzalarida paydo bo'ladigan ichki kuchlar (ko'ndalang kuch va eguvchi moment). Eguvchi moment, ko'ndalang kuch va yoyilgan kuch intensivligi orasidagi differensial bog'lanishlar. Sof va ko'ndalang egilishlar.

10-mavzu. Statik noaniq sistemalar. Ularni yechish usullari.

Sistemaning kinematik qo'zg'almas, geometrik o'zgarmas bo'lish sharti. Sistemaning statik noaniqlik darajasi. Kuch usuli.

11-mavzu. Ustuvorlik. Kritik kuch va kuchlanishlarni aniqlash.

Ustuvorlik. Muvozanatning ustuvor va noustuvor shakllari haqida tushuncha. Kritik kuch. Siqilgan sterjenlarning ustuvorligi. Eyler formulasi va undan foydalanish chegarasi. Kritik kuchlanish. Egiluvchanlik.

12-mavzu. Mashina va mexanizmlar nazariyasi. Kinematik juftlar, ularning klassifikatsiyasi. Kinematik zanjir, ularning turlari. Assur guruhleri

Mashina va mexanizmlarning tuzilishi. Mexanizmlar yaratilishi va ularni hisoblash. Ushbu fanning respublikamizda rivojlanish tarixi. Kinematik juftlar va ularning klassifikatsiyalari.

Mexanizm va mashinalar haqida asosiy tushunchalar. Mexanizm va mashinalar turlari. Kinematik zanjirlar va ularning ta'riflari

13-mavzu. Tekis va fazoviy mexanizmlarni strukturaviy tahlili. Mexanizmlarning klassifikatsiyasi. Mexanizmlarning kinematik analizi. Masshtab koeffitsienti. Mexanizmlarni kinematikasini grafik usulda tekshirish

Uzatish funktsiyasi va mexanizm zvenolarini tezliklarining nisbati. CHiziqli va burchak tezlik, tezlanishlar. Mexanizm zvenolarining holatlari va ular nuqtalarining traektoriyalari.

Mexanizmlarning kinematik analizi. Mexanizmlarni kinematikasini grafik usulda tekshirish

14-mavzu. Mexanizmlar dinamikasi. Mexanizm zvenolariga ta'sir etuvchi kuchlar. Inersiya kuchlari va momentlari. Mexanizmlarni kinetostatik hisoblash. Jukovskiy richagi

Keltirilgan kuchlar ta'sirida mexanizmlarning harakatini tadqiq etish. Moxovikni inertsia momentini aniqlash. Aylanuvchi massalarni muvozanatlash. Aylanuvchi massalarni muvozanatlash. Mexanizmlarni kinetostatik tekshirish. Reaksiya kuchlari. Og'irlik va inersiya kuchlari. Muvozanatlovchi kuch. Jukovskiy richagi

15-mavzu. Tishli mexanizmlar, ularning turlari. Ilashishning asosiy qonuni. Evolventa va uning xossalari. Silindrik tishli g'ildirakning geometrik parametrlari

Tishli mexanizmlarning sintezi. Tishli mexanizmlarning turlari va ularni ishlatilishi. Ilashmaning asosiy qonuni.

Evolventa va uning xossalari. Silindrik tishli g'ildirakning geometrik parametrlari. Evolventali uzatmalarning asosiy geometrik o'lchamlari.

Tishli g'ildiraklarni tayyorlash usullari. Reykali ilashma. Tishli g'ildiraklarni korrektsiyalash. Musbat siljishi va manfiy siljishi.

16-mavzu. Kulachokli mexanizmlar, ularning turlari. Kulachokli mexanizmlarning tahlili, bosim va uzatish burchaklari. Kulachokning faza burchaklari. Turtkichning harakat qonunini tanlash

Tekislik va fazoda harakatlanuvchi kulachokli mexanizmlar. Kulachokli mexanizmlarni analizi. Kulachokli mexanizmlarni asosiy parametrlari. Kulachokli mexanizmlarni dinamik loyihalash.

Ilgarilanma-qaytma harakat qiluvchi rolikli kulachokli mexanizmlar. Kulachok profilining minimal radiusini aniqlash. Kulachok profilini chizish va almashtirilgan mexanizmni analizi. Koromislo ko'rinishidagi rolikli turtkichli kulachokli mexanizmni loyihalash. Kulachok profilining minimal radiusini aniqlash. Kulachok profilini chizish. Almashtirilgan mexanizmni analizi.

17-mavzu. Robot va manipulyatorlar

Manipulyator va robotlar. Ularning turlari va ishlatilishi. Sanoat robotlarining taraqqiyoti. Sanoat robotlari va manipulyatorlar to'g'risidagi umumiy tushunchalar. Manipulyator mexanizmini kinematik analizi. Manipulyator mexanizmini kinetostatik xisoblash

18-mavzu. Mashina detallari. Mashina detallarining ishchanlik qobiliyati va hisoblash

Ruxsat etilgan kuchlanishlarni aniqlash. Mashina detallaridagi mahalliy kuchlanishlar. Mustahkamlik zahirasi koeffitsiyentlari. Mashina detallarining kontakt mustahkamligi. Mashina detallarining ishchanlik qobiliyati va hisoblash mezonlari.

19-mavzu. Birikmalar. Ajralmaydigan va ajraladigan birikmalar.

Parchin mixli birikmalar haqida umumiy ma'lumotlar va ularning turlari. Parchin mixli birikmalarni hisoblash. Detailarni tig'izlik hisobiga biriktirish. Umumiy ma'lumotlar. Presslangan birikmalarni hisoblash. Kavsharli va yelimli

birikmalar. Payvand birikmalar. Uchma-uch payvand birikma va ulani hisoblash. Ustma-ust payvand birikma va uni hisoblash. Kontaktab payvandlash. Payvand birikmalar mustahkamligini oshirish bo'yicha tavsiyalar. Klemmali birikmalar konstruksiyasi. Klemmali birikmadagi kuchlanishlar hisobi. Presslangan (tig'izlangan) birikmalar konstruksiyasi. Birikmani mustahkamlikka va deformasiyaga hisoblash.

Rezbali birikmalar. Umumiy ma'lumotlar. Rezbalarning asosiy turlari. Vintli juftdagi kuch nisbatlari. Burovchi moment. Vintli juftning o'z-o'zidan tormozlanishi va foydali ish koeffitsiyenti. Mustahkamlik darajalari, rezbali detallar uchun ishlatiladigan materiallar va ruxsat etilgan kuchlanishlar. Shponkali birikmalar va ularning turlari. Zo'riqtirilgan birikmalar. Zo'riqtirilmagan birikmalar. Shponkali birikmalarni hisoblash. Shlitsali birikmalarning turlari va ularning qo'llanishi. Shlitsali birikma detallarining yemirilish turlari. Shlitsali birikmalarning ishlash qobiliyati va ularni hisoblashning asosiy mezonlari. Shlitsali birikmalarning yuklanish qobiliyatini hisoblash usullari. Shlitsali birikmalarning soddalashtirilgan (taxminiy) hisobi. Shlitsali birikmalarni aniqlashtirilgan hisobi. Shlitsali birikmalarni konstruksiyalash bo'yicha tavsiyalar.

20-mavzu. Mexanik uzatmalar va ularni hisoblash.

Uzatmalarning asosiy parametrlari, foydali ish koeffitsiyenti, uzatish nisbati, yuritmalar haqida qisqacha ma'lumot. Yuritmalarni kinematik hisoblash.

To'g'ri tishli silindrsimon uzatmalarni mustahkamlikka hisoblash. Qiya va shevron tishli silindrik uzatmalarni hisoblashning o'ziga xos xususiyatlari.

Konussimon tishli uzatmalar. Qiya va aylana tishli konussimon uzatmalar. Tishli uzatmalar konstruksiyasini maqbullashtirish. Konussimon g'ildirakli tishli uzatma haqida ma'lumot. Konussimon g'ildirakli tishli uzatmaning geometrik o'lchamlari. Konussimon g'ildirakli tishli uzatmani hisoblash.

Planetar uzatmalar va ularni hisoblashdagi xususiyatlar. Novikov ilashmali uzatmalar to'g'risida qisqacha ma'lumotlar. Ayqash o'qli vintaviy va gipoid uzatmalar xususida qisqacha ma'lumotlar. To'lqinsimon uzatmalar haqida qisqacha ma'lumotlar.

Chervyakli uzatmalar. Uzatmaning geometrik parametrlari va ularni tayyorlash usullari. Uzatmalarning kinematik parametrlari. Chervyakli uzatmaning foydali ish koeffitsiyenti. Uzatmadagi kuchlar. Uzatmani baholash va uning ishlatilishi.

Chervyakli uzatmalarni mustahkamlikka hisoblash. Tishlar mustahkamligini hisoblash. Chervyakli uzatmalarda ishlatiladigan materiallar va joiz kuchlanishlar. Chervyakli uzatmani qizishga hisoblash, sovutish va moylash. Globoid uzatmalar. Vint – gaykali uzatmalar.

21-mavzu. Friksion uzatmalar va variatorlar. Tasmali uzatmalar va zanjirli uzatmalar ularni hisoblash asoslari.

Friksion uzatmalar va variatorlar. Umumiy ma'lumotlar. Uzatmada ishlatiladigan materiallar va dumalash jismlari ishchi yuzalarining shikastlanish turlari. Friksion uzatmalarni hisoblash. Konussimon friksion uzatmalarni hisoblash. Variatorlar to'g'risida qisqacha ma'lumotlar. Variatorlarni hisoblash tarhlari va ularning konstruksiyalarini rivojlantirishning asosiy yo'nalishlari.

Tasmali uzatmalar. Tasmali uzatmalar to'grisida umumiy ma'lumotlar. Tasmali uzatmalarni hisoblash asoslari. Yassi tasmali uzatmalar. Ponasimon tasmali uzatmalar. Tishli tasmali uzatmalar. Zanjirli uzatmalar. Umumiy ma'lumotlar. Zanjir, yulduzchalarning tuzilishi va ular uchun ishlatiladigan materiallar. Zanjirli uzatmalardagi kuchlar. Zanjirli uzatmalarni hisoblash. Zanjirli uzatmalarning ishchanlik qobiliyati va ularni hisoblash mezonlari.

22-mavzu. Val va o'qlar. Podshipniklar.

Vallar va o'qlarning tuzilishi va ular uchun ishlatiladigan materiallar. Vallarning loyihaviy hisobi. Vallarning tekshiruv hisobi.

Dumalash podshipniklari to'grisida umumiy ma'lumotlar va ularning tasnifi. Dumalash podshipniklarining ishlash sharoiti va uning ishchanlik qobiliyatiga ta'siri. Dumalash podshipniklarining amaliy hisobi (ularni tanlash). Podshipniklarni dinamikaviy yuk ko'taruvchanlik C bo'yicha tanlash. Dumalash podshipniklarini statikaviy yuk ko'taruvchanlik C_0 bo'yicha tekshirish va tanlash. Radial-tirak podshipniklar yuklamasini hisoblashning xususiyatlari.

Sirpanish podshipniklari. Sirpanish podshipniklari to'grisida umumiy ma'lumotlar va tasnifi. Sirpanish podshipniklarini shartli hisoblash.

23-mavzu. Muftalar va ularning turlari. Yuk ko'tarish mashinalari haqida qisqacha ma'lumotlar.

Muftalar. Umumiy ma'lumotlar va vazifalari. Boshqarilmaydigan (doimiy biriktirilgan qo'zg'almas va kompensatsiyalovchi) muftalar.

Boshqariladigan (ilashish va ishqalanish asosida boshqariladigan) va avtomatik boshqariladigan muftalar.

Yuk ko'tarish mashinalari haqida qisqacha ma'lumotlar. Sodda va murakkab yuk ko'tarish mashinalari. Yuk ko'tarish mashinalarining asosiy detallari va qismlari. Yuk ko'tarish mashinalarining asosiy mexanizmlari. Yuk tashish mashinalari haqida qisqacha ma'lumotlar. Yuk tashish mashinalarining turlari.

III. Amaliy mashg'ulotlar bo'yicha ko'rsatma va tavsiyalar.

Amaliy mashg'ulotlarda fanning asosiy mavzulari bo'yicha turli konstruksiyalarni, detallarini, mashina va mexanizmlarni mustahkamlikka hisoblash, loyihalash va tekshiruv hisoblarini bajarishga doir misol va masalalarni yechish ko'rib chiqiladi.

Amaliy mashg'ulotlarni tashkil etish bo'yicha kafedra professor-o'qituvchilari tomonidan uslubiy ko'rsatmalar va tavsiyalar ishlab chiqiladi. Unda talabalar ma'ruza mavzulari bo'yicha olgan bilimlarini amaliy masalalar yechish orqali ko'nikmalarga aylantiradilar. Amaliy mashg'ulotlar mavzusi bo'yicha yechilishi kerak bo'lgan masalalarga doir bo'lgan o'quv qo'llanmalarni elektron variantini talabalarga tavsiya qilish lozim.

(Nazariy mexanika)

1. Kesishuvchi kuchlar sistemasining geometrik muvozanat shartiga oid masalalar.

2. Kesishuvchi kuchlar sistemasining analitik muvozanat shartiga oid masalalar.
3. Tekislikda ixtiyoriy joylashgan kuchlar sistemasining muvozanatiga oid masalalar. Murakkab konstruksiyaning muvozanatiga oid masalalar.
4. Ishqalanish kuchini hisobga olganda kuchlar muvozanatiga oid masalalar.
5. Parallel kuchlar markazi, qattiq jism og'irlik markazini aniqlashga oid masalalar.
6. Qattiq jismning ilgarilanma va qo'zg'almas o'q atrofida aylanma harakatdagi jism nuqtasining tezlik va tezlanishini topishga oid masalalar.
7. Qattiq jismning tekis parallel harakatiga oid masalalar. Tekis parallel harakatdagi jism nuqtalarining tezliklarini topishga oid masalalar.
8. Nuqtaning murakkab harakatida ko'chirma harakat ilgarilanma va aylanma bo'lganda tezlik va tezlanishni topishga oid masalalar.
9. Nuqtaning murakkab harakatida tezlik va tezlanishni topishga oid masalalar

(Materiallar qarshiligi)

10. Cho'zilish va siqilishda statik aniq va noaniq masalalar. Kuchlanish va deformatsiyalarni aniqlash.
11. Tekis kesimlarning geometrik xarakteristikalarini. Buralish.

(Mashina va mexanizmlar nazariyasi)

12. Tekis va fazoyiy mexanizmlarning strukturasini o'rganish va Assur guruhlariga ajratish bo'yicha masalalar yechish
13. Mexanizmlarga ta'sir etuvchi kuchlarni topish. Mexanizmlarni dinamik tahlil qilish.
14. Uzatish mexanizmlarini turlarini o'rganish. Tasmali va zanjirli uzatmalarni kinematik taxlil qilish.
15. Tishli mexanizmlarni turlarini o'ranish. Tishli mexanizmlarni asosiy o'lchamlarini aniqlash.
16. Kulachokli mexanizmlarni turlarini o'rganish. Kulachokli mexanizmlarni taxlil qilish.

Mashina detallari

17. Parchin mixli va payvand birikmalarni hisoblash.
18. Rezbali birikmalarni hisoblash.
19. Shponkali va shlisali birikmalarni hisoblash
20. Tishli uzatmalarni hisoblash.
21. Zanjirli uzatmalarni hisoblash. Vallarni loyihalash
22. Muftalarni hisoblash. Yuk ko'tarish va yuk tashish mashinalari mexanizmlari.

Kurs loyihasi (ishi)ni tashkil etish bo'yicha ko'rsatmalar

O'qituvchi rahbarligidagi talabaning mustaqil ishlari (O'RTMI-Office hours). Bu auditoriyada o'tkaziladigan kredit ta'lim tizimidagi o'quv ishlari shakllaridan biri sanaladi. O'RTMI ikkita- maslahat va nazorat vazifalarini bajarib u o'qituvchi va talabaning birgalikdagi ishi hisoblanadi. O'RTMIning ananviy turlari- hisob-chizma ishlari, kurs loyihasi (ishi) va o'quv keyslardir. Bu ishlar mukammal uslubiy ta'minotga ega bo'lishi va kasbiy faoliyat hamda hayotiy vaziyatlar bilan bog'langan bo'lishi zarur. O'RTMI ni tashkil etishda ta'lim yo'nalishi va fanning

	hususiyatidan kelib chiqish maqsadga muvofiq bo‘ladi. Mashina va mexanizmlar nazariyasi va Mashina detallari qismida (V-VI semestr) 3 ta kurs loyiha (ishi)lari beriladi va har bir talabaga maslahat va nazorat uchun 1 soatdan, 1 ta kurs loyihasi (ishi) beriladi va har bir talabaga maslahat va nazorat uchun 3 soatdan ajratiladi. Mashina mexanizmlar nazariyasi 1. Mexanizmlarini strukturaviy va kinematik tahlil qilish. 2. Tishli mexanizmlarni kinematik tahlil qilish. 3. Kulachokli mexanizmlar tahlili. Mashina detallari 4. Bir pog‘onali, silindrik g‘ildirakli reduktorli lentali yoki zanjirli konveyer yuritmasini loyihalash. 5. Bir pog‘onali, konussimon reduktorli lentali yoki zanjirli konveyer yuritmasini loyihalash. 6. Bir pog‘onali, konussimon reduktorli zanjirli konveyer yuritmasini loyihalash. 7. Bir pog‘onali, chervyakli reduktorli lentali yoki zanjirli konveyer yuritmasini loyihalash. Kurs loyihasi (ishi)ni bajarishning asosiy maqsadi – mashinalarni loyihalash o‘quvlarni egallash va talabaning mustaqil ravishda mashina va qurilmalarni loyihalash qobiliyatlarini shakllantirishdan iborat. Kurs loyihasi (ishi) 3 varoqda (A1 format) chizib, hisoblash – tushuntirish hajmi 25-30 varoqdan iborat bo‘ladi. Kurs loyihasining chizma qismi quyidagilardan iborat: 23.varoq. Yuritmaning umumiy ko‘rinishi. 24.varoq. Reduktorni qirqim berilgan shakli (2 yoki 3 proeksiyasi) 3- varoq. Detallarni ishchi chizma hamma o‘lchamlar, notekisliklar chekli chegaralar, ishchi yuzalarini qattiqligi, termik qayta ishlov berilgani qo‘yilishi shart.
	V. 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 ishlarini bajaradi. Ularni bajarishda kafedrada mazkur hisob-grafik ishlarini bajarish bo‘yicha ishlab chiqilgan uslubiy ko‘rsatmalardan va mustaqil ishlash uchun tayyorlangan masalalardan foydalanish tavsiya etiladi. Tavsiya etilgan hisob-grafik ishlarining mavzulari: 1. Qo‘shma konstruktsiyaning tayanch reaksiyalarini aniqlash. 2. Jism og‘irlik markazini aniqlash. 3. Tekis mexanizmning kinematik tahlili. 4. Moddiy nuqtaning tebranma xarakatini o‘rganish 5. Pog‘onali sterjenlarni cho‘zilish (siqilish)ga hisoblash 6. Murakkab tekim kesimlarning geometrik xarakteristikalar 7. Brusli sistemalarni cho‘zilish yoki siqilishga hisoblash.

	8. Balkani mustahkamlikka va bikirlikka hisoblash. 9. Markaziy bo'lmagan siqilishga ustunlarni hisoblash. 10. Qo'shma metall ustunni ustuvorlikka hisoblash. 11. Mexanizmlarini strukturaviy va kinematik tahlil qilish. 12. Tishli mexanizmlarni kinematik tahlil qilish. 13. Kulachokli mexanizmlar tahlili. 14. Bir pog'onali, silindrik g'ildirakli reduktorli lentali yoki zanjirli konveyer yuritmasini loyihalash. 15. Bir pog'onali, konussimon reduktorli lentali yoki zanjirli konveyer yuritmasini loyihalash. 16. Bir pog'onali, konussimon reduktorli zanjirli konveyer yuritmasini loyihalash. 17. Bir pog'onali, chervyakli reduktorli lentali yoki zanjirli konveyer yuritmasini loyihalash.
	VI. Mustaqil ta'lim va mustaqil ishlar <i>Mustaqil ta'lim uchun topshiriqlar:</i> 1. Statik aniq va statik aniqmas masalalar. Bir nechta jismdan tashkil topgan sistemaning muvozanati mavzulariga doir masalalar yechish. 2. Fazodagi kuchlar sistemasini invariantlari bo'yicha taqdimot tayyorlash 3. Tekis shakl nuqtalari tezlanishlarining oniy markazini topishga masalalar yechish. 4. Moddiy nuqtaning majburiy tebranishiga muhit qarshiligining ta'siri mavzusiga doir masalalar yechish. 5. Ko'chirma va Koriolis inertsia kuchlari. Koriolis inertsia kuchining yer ustidagi jismlarga ta'siri mavzulariga doir masalalar yechish. 6. Jismning parallel o'qlarga nisbatan inertsia momentlarini hisoblash. Markazdan qochma inertsia momentlari. Jismning berilgan nuqtasidan o'tuvchi ixtiyoriy o'qqa nisbatan inertsia momentlari mavzulariga doir masalalar yechish. 7. Qo'zg'almas o'q atrofida aylanuvchi qattiq jismning aylanish o'qiga ko'rsatadigan dinamik bosimini Dalamber printsipi yordamida aniqlash taqdimot tayyorlash. 8. Mumkin bo'lgan ko'chish prinsipini bog'lanish reaksiyalarini aniqlashga tadbir taqdimot tayyorlash. 9. Tayanchlar va ularning turlari. Mavzusiga doir taqdimot tayyorlash. 10. Teng qarshilikli bruslar. Mavzusiga doir taqdimot tayyorlash. 11. Bruslarni chekli yuk ko'tara olish qobiliyati bo'yicha hisoblash. 12. Teng qarshilikli balkalar. Mavzusiga doir taqdimot tayyorlash. 13. O'zgaruvchan kesimli bruslarning ustuvorligi masalasi. Mavzusiga doir taqdimot tayyorlash. 14. Vaqt bo'yicha davriy o'zgaruvchan kuchlanishlarda materiallar mustahkamligi. Mavzusiga doir taqdimot tayyorlash. 15. Mexanizmlarni turli belgilar buyicha tasniflash. Mexanizmlarda ortiqcha bog'lanishlarning ta'siri va uni yuqotish.

	16. Fazoviy mexanizmlarning turlari. Tuzilish sxemalari. Kinematik xususiyatlari va ularni analitik usulda tahlil qilish. 17. Tishli-richakli murakkab mexanizmlar va ular tuzilishining aloxida xususiyatlari 18. Richagli mexanizmlar kinematik taxlilining analitik usuli va unda EXM dan foydalanish. 19. 3-sinf richagli mexanizmlar kinematik taxlilining aloxida xususiyatlari. 20. Mexanizmlarda ishkalanishga energiya isrofi va ularning foydali ish koeffitsienti. 21. Quyi va oliy kinematik juftlar elementlarining ishqalanishdan yeyilish na uni kamaytirish yo'llari. 22. Mashina va mexanizmlarda titrash ta'sirlarini tadqiq qilish. 23. Egiluvchan bo'g'inli mexanizmlar tuzilishi, turlari. Kinematik va dinamik xususiyatlari, sintezi. 24. Manipulyatorlar kinematikasi va dinamikasi. 25. Yelimli va tig'izlik asosidagi birikmalar va ularni hisoblash. 26. Mashina detallarida ishqalanish va yeyilish. 27. Mashina detallarini moylash materiallari. 28. Shevron tishli silindrik uzatmalar. 29. Qiya va aylana tishli konussimon uzatmalar. 30. Ayqash o'qli vintaviy va gipoid uzatmalar. 31. Ko'pponali tasmali uzatmalar. 32. Ko'pqatorli zanjirli uzatmalar. 33. Muftalarni hisoblash. 34. Yuk ko'tarish va yuk tashish mashinalari mexanizmlari. Ayrim mavzularni chuqur o'rganish 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 mo'ruza matnlaridan foydalanish ham tavsiya etiladi. Talabalarning mavzularni mustaqil o'zlashtirishi alohida baholanmaydi, ular 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.
4.	VII. Ta'lim natijalari / Kasbiy kompetensiyalari Talaba bilishi kerak: 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 differentsial 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 konstruktsiyalarining 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; - texnik mexanika fanidan olgan bilimini 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'riqlashlar va ko'chishlarni aniqlash; statik aniq va noaniq sistemalarni hisoblash, mashina va mexanizmlarda hosil bo'ladiga reaksiya kuchlari, ularga ta'siridagi harakati kabi malakalarga ega bo'lishi kerak. - texnik mexanikasi konstruktsiyalarini hisoblash va loyihalash bo'yicha asosiy me'yoriy xujjatlar bo'yicha malakalariga ega bo'lishi kerak.
5.	VIII. Ta'lim texnologiyalari va metodlari: • ma'ruzalar; • interfaol keys-stadilar; • seminarlar (mantiqiy fiklash, tezkor savol-javoblar); • guruhlarda ishlash; • taqdimotlarni qilish; • individual loyihalar; jamoa bo'lib ishlash va himoya qilish uchun loyihalar.
	IX. Kreditlarni olish uchun talablar: Oraliq nazorat, mustaqil ish, hisob grafik ishlari shakllarida berilgan vazifa va topshiriqlarni bajarish, yakuniy nazorat bo'yicha yozma ish yoki yakuniy testni muvoffaqiyatli topshirish kerak.
6.	Asosiy adabiyotlar 1. Jumaboyeva Sh. - Nazariy mexanika. Darslik. Toshkent 2023y, - 430 b. 2. Isaboyev Sh. M. Mexanika (materiallar qarshiligi) fanidan misol masalalar to'plami. Toshkent Lesson print. 2023 y 374 b. 3. Mirsaidov M.M., Boymurodova L.I., Giyosova N.T. Nazariy mexanika. O'quv qo'llanma.-T.: O'zbekiston, 2008.-246 b.

4. Мешчерский И.В. Назарий механикадан масалалар тўплами. Ўқув қўлланма –Т.: 1990. -448 б.
5. Яблонский А. А. Назарий механикадан курс ишлари учун топшириқлар тўплами. Тошкент 2002 й.
6. Mansurov K.M. “Materiallar qarshiligi kursi” – Т.: “О‘qituvchi”, tuzatilgan, to‘ldirilgan 2-nashri 1983-y. – 504b.
7. Писаренко Г.С. и др. “Сопративление материалов” – К.:”Высшая школа”, 5-е издание, переработанное и дополненное, 1986-г.- 775 с.
8. V.I. Szolga, “Theoretical mechanics”, Berlin, part-1, 2013 y., -261 p.
9. Фролов К.В. ва б. “Машина ва механизмлар назарияси” Дарслик. - Т.: «Ўқитувчи», 1990 г.
10. Джуроев А. ва б. Механизм ва машиналар назарияси. Дарслик. - Т.: Ўқитувчи, 2004
11. J.Muxamedov, V.Turdaliyev, A.Qosimov “Mashina va mexanizmlar nazariyasi” o‘quv qo‘llanma “Namangan” 2020 yil. - 235-bet
12. Shoobidov Sh.A. Mashina detallari: Texnika oliy o‘quv yurtlari uchun darslik. - Toshkent: “O‘zbekiston ensiklopediyasi”, 2014. - 444 b.
13. Kurganbekov M.M., Moydinov A. Mashina detallari: O‘quv qo‘llanma. I va II qismlar. –Toshkent: “O‘zbekiston ensiklopediyasi”, 2014. - 384 b.
14. Шообидов Ш.А. Машина деталлари. Ўқув қўлланма. –Тошкент: 2004. - 120 б. J.Muxamedov “Mashina va mexanizmlar nazariyasi” darslik “Toshkent” “Fan” nashryoti, 2023. – 272 bet.
15. J.Muxamedov Mexanika (Mashina va mexanizmlar nazariyasi) fanidan kurs (ishi) loyihasini bajarish bo‘yicha o‘quv qo‘llanma. - Toshkent: “Fan” nashryoti, 2023. - 264 bet.
16. J.Muxamedov Mexanika (Mashina va mexanizmlar nazariyasi) fanidan amaliy mashg‘ulot o‘tkazish bo‘yicha o‘quv qo‘llanma. - Toshkent: “Fan” nashryoti, 2023. - 228 bet.
17. J.Muxamedov, V.Turdaliyev, A.Qosimov “Mashina va mexanizmlar nazariyasi” fanidan masalalar to‘plami o‘quv qo‘llanma. “Toshkent” “Fan” nashryoti, 2023. - 166 bet.

Qo‘shimcha adabiyotlar

18. Mirziyoyev Sh. M. Buyuk kelajagimizni mard va oilyjanob xalqimiz bilan birga quramiz. – Toshkent: “O‘zbekiston”, 2017. – 488 b.
19. Стрелков С. П. Механика. Учебник. 6-изд. Изд-во “Лань”, 2019. - 560s.
20. Z.S.Shadmanova. Materiallar qarshiligi. O‘quvqo‘llanma.T.:2018 169
21. K. Ismayilov, S. K. Toshev, O. I. Eshniyazov, S. S. Amanov. Materiallar qarshiligi. O‘quv qo‘llanma. Toshkent, Mashhur-Press, 2017. -272 b.
22. Kenjayev K. “Moddiy nuqtaning tebranma harakati”. (Nazariy mexanikadan masalalar yechish uchun uslubiy qo‘llanma). TAQI, 2015.
23. Kenjayev K. Moddiy nuqta dinamikasining umumiy teoremlari va Dalamber prinsipining nuqta harakatini o‘rganishga tatbiqi. TAQI, 2015.

	24. Shoobidov sh. A., Habibullayeva X.N., Fayzullayeva F.D. Nazariy mexanika. O'quv qo'llanma. –T.: Yangi asr avlodi, 2008.-238 b. 25. Sh.Yuldashev, Sh.Jumaboyeva, M.Boytemirov, U.Imomqulov, S.Qo'chqorov. Texnik mexanika, 2023, elektron variant. Axborot manbalari 1. http://ziyonet.uz/ 2. http://www.intuit.ru/ 3. http://window.edu.ru/window/library 4. http://www.intuit.ru/department/pl/ccpp/ 5. http://www.intuit.ru/department/se/pwinviscpp2005/
7.	Namangan muhandislik – qurilish instituti tomonidan ishlab chiqilgan va tasdiqlangan.
8.	Fan/modul uchun ma'sullar: A'zamov Q. – NamMQI, “Materiallar qarshiligi va mexanika” kafedrası katta o'qituvchisi Imomqulov U.B. – NamMQI. “Umumtexnik fanlar” kafedrası mudiri t.f.f.d., dotsent. Qo'chqorov S.K. – NamMQI. “Umumtexnik fanlar” kafedrası dotsenti t.f.f.d., dotsent.
9	Taqrizchilar: Tillaboyev Y.K.– NamMQI, “Materiallar qarshiligi va mexanikasi” kafedrası, f-m.f.n., dotsent Karimov A.K. – NamMTI, “Umumtexnika” kafedrası, t.f.n., dotsent (turdosh OTM)

Modulni o'qitishda foydalaniladigan interfaol ta'lim metodlari

Nazariy mexanika va materiallar qarshiligi 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.

“Nazariy mexanika va materiallar qarshiligi” 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, 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 - 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 bilimini 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) doiralari 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.

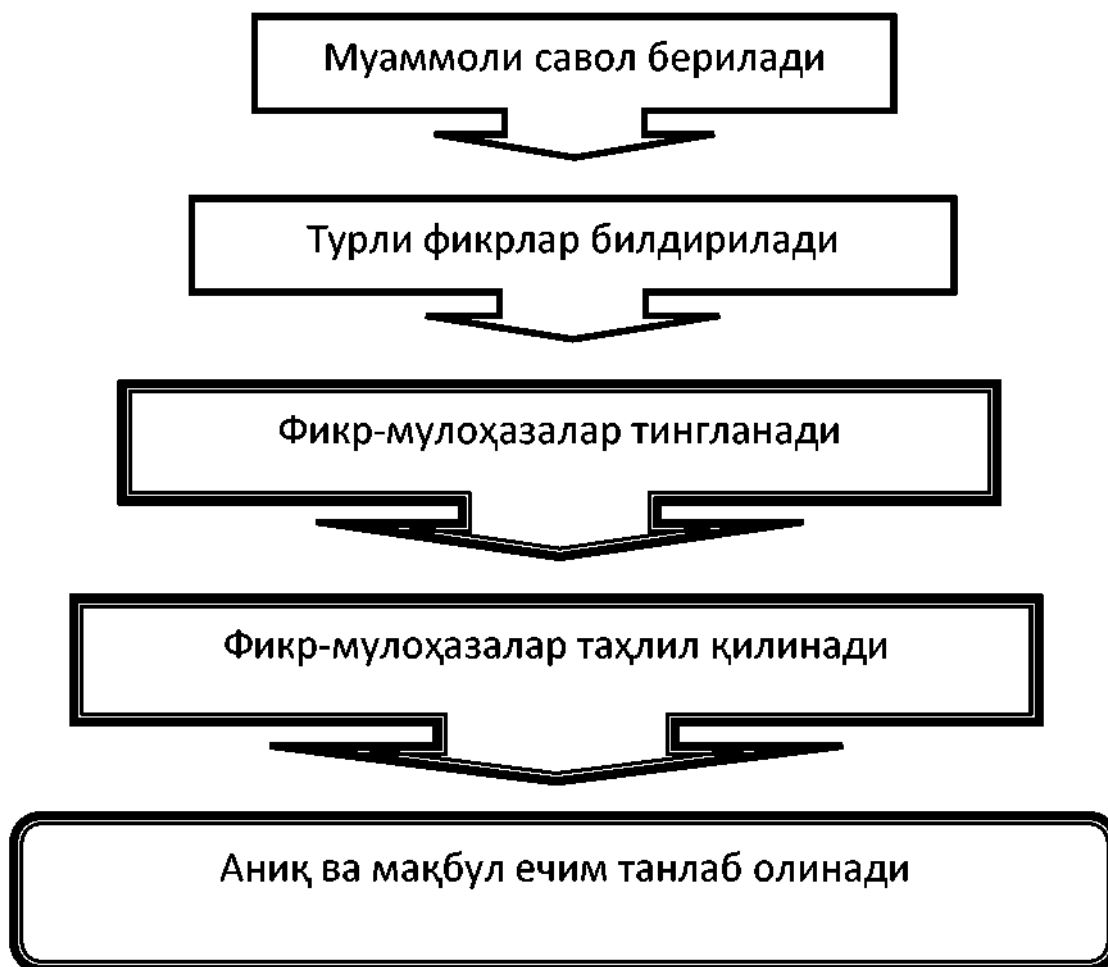
4.«To'g'ri javob» bo'limida berilgan raqamlardan «yakka baho» bo'limida berilgan raqamlar taqqoslanib, farq bulsa «0», mos kelsa «1» ball qo'yish so'raladi. SHundan so'ng «yakka xato» bo'limidagi farqlar yuqoridan pastga qarab qo'shib chiqilib, umumiy yig'indi hisoblanadi.

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 qoidalari 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 tuliq 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 qoidalari

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'rganlarga 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 qarshiligsiz erkin tebranma harakat

“Muammoli vaziyat” jadvalini to’ldiring

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.

Vaziyatagi muammo turi	Muammoli vaziyatning kelib chiqish sabablari	Vaziyatdan chiqib ketish harakatlari
1. Tebranma harakat deganda nimani tushunasiz ?		
2. Tebranma harakat texnikada qaerlarda ishlatiladi ?		
3. Nima uchun biz tebranma harakatni o‘rganamiz ?		

TEBRANMA HARAKAT TURLARI



**ERKIN YOKI
GARMONIK
TEBRANMA HARAKAT
DEB, FAQAT
MUVOZANATLOVCHI
KUCH TA'SIRIDA
HOSIL BO'LGAN
TEBRANMA
HARAKATLARGA
AYTILADI**

**“Muammoli vaziyat” jadvalini
to'ldiring**

Muammoli vaziyat

**SO'NUVCHI
TEBRANMA
HARAKAT DEB,
YOPISHQOQ
MUHIT
QARSHILIGI
TA'SIRIDA HOSIL
BO'LGAN
TEBRANMA
HARAKATLARGA
AYTILADI**

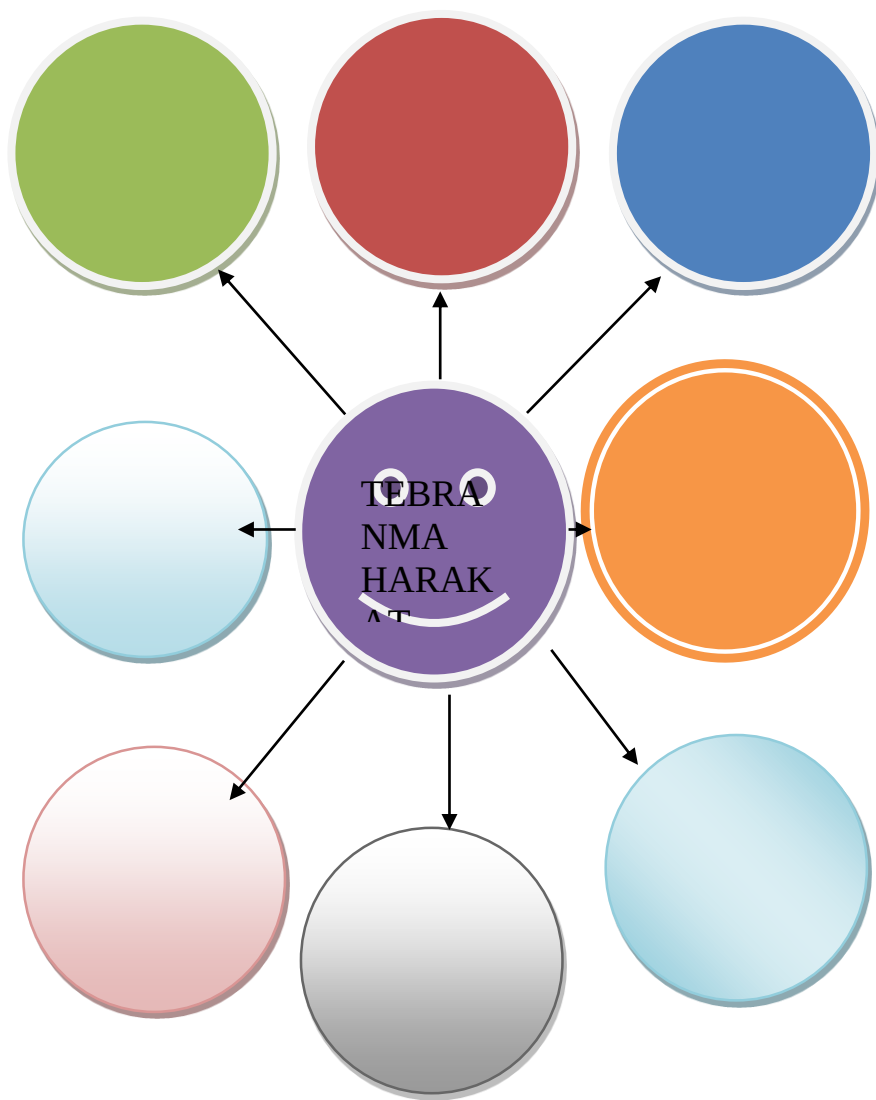
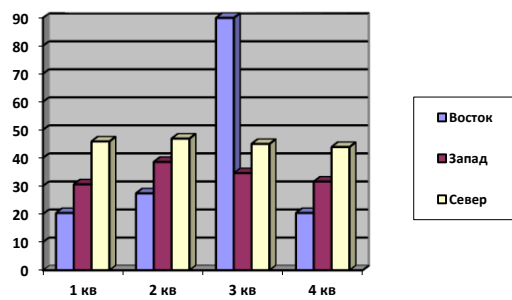
**MAJBURIY
TEBRANMA
HARAKAT DEB,
DAVRIY
RAVISHDA
UYG'OTUVCHI
KUCH TA'SIRIDA
QAYTA TIKLANIB
TURADIGAN
TEBRANMA
HARAKATLARGA
AYTILADI**

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 qaytaruvch 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.
 5. Kesishuvchi kuchlar sistemasi muvozanati shartlarining geometrik usuli.
 6. Kesishuvchi kuchlar sistemasi muvozanati shartlarining analitik usuli.
 7. Kuchning nuqtaga nisbatan momenti.
 8. Kuchning nuqtaga nisbatan momentining xossalari.
-
9. Juft kuch va juft kuch momenti.
 10. Juft kuch va juft kuch momentining xossalari
 11. Bir tekislikda joylashgan juftlarni qo‘shish.
 12. 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.

1.4. 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'zgarماسا	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 aytiladi?	Jismlarning shaklini va kinematik holatini o'zgarishi	Jismlarning bir-biriga o'zaro ta'sirlarini miqdor va yo'nalishi jihatdan belgilovchi kattalik	Vaqt o'tishi bilan moddiy jismlarning bir-biriga nisbatan ko'chishi	Miqdor va yo'nalishga 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 strelkasining aylanishiga teskari yo'nalishda aylantirishga intiladi	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

15	Erkin jism deb nimaga aytiladi?	Jism fazoda ixtiyoriy tomonga harakatlanmasa	Jismga bog'lanishlar qo'yilgan bo'lsa	Jismga ta'sir etuvchi kuchlar o'zaro muvozanatlashsa	Jism fazoda ixtiyoriy tomonga harakatlanmasa
16	$\vec{r} = \vec{r}(t)$ tenglama bilan ifodalanadigan nuqta harakati qanday usulda berilgan?	Jadval	Koordinatalar	Tabiiy	Vektor
17	$S = f(t)$ munosabat bilan ifodalanagan 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 proektsiyalariga oid teorema	Tekis shakl ikki nuqtasi tezliklarining shu nuqtalardan o'tuvchi o'qdagil proektsiyalari yig'indisi nolga teng	Tekis shakl ikki nuqtasi tezliklarining shu nuqtalardan o'tuvchi o'qdagil proektsiyalari o'zaro teng bo'ladi	Koordinata o'qlaridagi proektsiyalari 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 printsiplari	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	Bikrlilik nima?	ruxsat etilgan kuchlanish	deformatsiyaga qarshilik ko'rsata olish qobiliyati	Puasson koeffitsienti	boshlang'ich shaklini saqlash qobiliyati
28	Zo'riqish (ichki) kuchlar nima?	kuchlar ta'sirining mustaqillik printsiplari	kuchning yuzaga nisbati	jismlarning zarrachalari	yuza birligiga to'g'ri keladigan kuch miqdori

				orasidagi o'zaro ta'sir kuchlari	
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 birlilik	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	ko'ndalang kesim o'lchamlari uzunligi o'lchamlariga qaraganda juda	uch o'lchovi bir xil tartibda bo'lgan elementga	o'rta kesimi egri bo'lgan elementga

		darajada kichik bo'lgan elementga	kichik 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 karaganda 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 karaganda 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 chiziq 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 chiziq 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 chiziq 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 chiziq 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