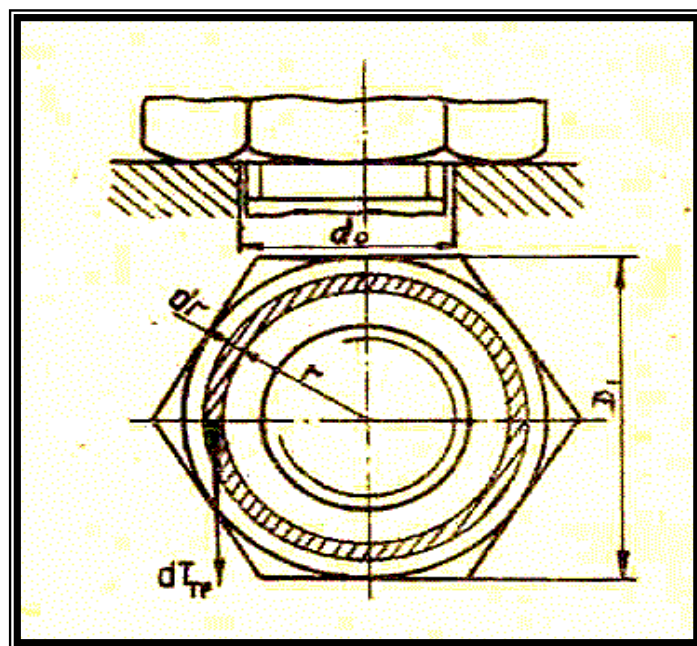


Qattiq jismlar mexanikasi va mexatronik modullarni konstruksiyalash fanidan
(ma'ruza matni tuplami)



Qarshi 2022

1-MAVZU

Nazariy mexanika fanining rivojlanish tarixi. statika aksiomalari, bog'lanish va bog'lanish reaksiyalari

Reja:

1. Statikaning asosiy tushuncha va qoidalari

2. Statika aksiomalari

3. Bog'lanish va bog'lanish reaksiyalari

Fan-texnikaning keskin su'ratlarda rivojlanib borishi texnika sohasining injenerlari oldiga juda ko'p muammoli masalalarni ko'ndalang qilmoqda. Bu muammolarning echimi moddiy jismlarning mexanik harakati va mexanik o'zaro ta'sirlarini o'rganish bilan bog'liq.

Mexanik harakat deb moddiy jismlarning fazoda vaqtga bog'liq ravishda bir-biriga nisbatan vaziyatini o'zgartirishiga aytiladi. Mexanik o'zaro ta'sir deganda moddiy jismlarning bir-biriga ko'rsatadigan ta'sirida bu jismlar harakatlarining o'zgarishi yoki bo'lmasa ular shakllarining o'zgarishi (deformatsiyalanishi) tushuniladi. Bu ta'sirlarning asosiy o'lchov miqdori sifatida kuch deb ataluvchi kattalik qabo'l qilingan.

Tabiatda mexanik harakatlarga misol qilib, osmon jismlarining harakati, yer qobig'ining tebranishi, havo va dengiz oqimlari, molekulalarning issiqlik harakatlari va boshqalar, texnikada esa yer sirti va suvda harakatlanuvchi turli xil transport vositalari va uchuvchi apparatlar, mashina, mexanizm va dvigatellar qismlarining harakatlari, suyuqlik va gazlarning oqimi va boshqa shunga o'xshash harakatlarni ko'rsatish mumkin.

Mexanik o'zaro ta'sirlarga butun olam tortilish qonuni asosida moddiy jismlarning o'zaro tortishishi, suyuqlik va gaz zarralarining bir-biriga o'zaro ta'sirlari va boshqalarni misol qilib ko'rsatish mumkin.

Moddiy jismlar mexanik harakatlarining umumiy qonun-qonuniyatlari va jismlarning o'zaro ta'sirlari haqidagi fanga Nazariy mexanika deyiladi. Mexanika muammolarining doirasi juda keng bo'lib, bu fanning rivojlanishi natijasida bir qator yangi fanlar vujudga keldi. Bularga elastiklik nazariyasi, plastiklik nazariyasi, gidromexanika, aeromexanika, suyuqlik va gazlar mexanikasi, shuningdek amaliy mexanika deb ataluvchi fanning bo'limlari – Materiallar qarshiligi, Mexanizm va mashinalar nazariyasi, Mashina detallari kabi juda ko'p injenerlik fanlarini sanab ko'rsatish mumkin.

Mexanikaning asosida klassik mexanika qonunlari (yoki Nyuton qonunlari) yotadi. Klassik mexanikada vaqt va fazo jismlarning harakatiga bog'liq emas deb qaraladi. Shuningdek, jismning massasi uning tezligiga bog'liq bo'lmagan o'zgarmas miqdor deb qaraladi.

Mexanika masalalarini qarab chiqishda, uni statika, kinematika va dinamika qismlariga bo'lish qabo'l qilingan.

Mexanika eng qadimgi fanlardan biri. Bizgacha etib kelgan mexanikaga doir dastlabki qulyozma va ilmiy maqolalar qadimgi Misr va Gresiya olimlariga ta'luqli. Qadimgi saqlanib qolgan kitoblarda turli xil statika masalalariga doir izlanishlar uchraydi.

Birinchi navbatda qadimgi Gresiyaning buyo'q filosofi Aristotel (384-322 yy. e.o.) asarlarini ko'rsatish mumkin. Mexanika so'zini ham dastlab Aristotel fanga kiritgan. «Mexanika» so'zi grekchadan tarjima qilinganda «inshoat», «mashina» degan ma'nolarni bildiradi.

Aristotel o'zining asarlarida richag va boshqa oddiy mashinalar muvozanati va harakatiga oid umumiy fikrlarini yozadi. U o'zining nazariy xulosalarini hech qanday tajriba bilan tekshirib ko'rmagan. U jismga ta'sir etuvchi kuchlarni o'zgarmas deb qaragan. Shu bilan birga Aristotel o'z zamonasida aytgan tezliklarini qushish haqidagi teorema va havo og'irlikka ega degan fikrlari to'g'ri.

Qadimgi grek olimlaridan yana biri mashhur olim Arximed (287-212 yy. e.o) bo'lib, u birinchi bo'lib mexanika muommolarini o'rganishda matematika usullaridan

foydalanadi. Arximed jismlarning muvozanati va og'irlik markazi, richagning muvozanati haqidagi qonun, qattiq jism statikasining asosiy prinsiplari hamda suyuqliklarning muvozanati haqidagi nazariyaga asos soladi.

Mexanika uyg'onish davrida – XV asrning birinchi o'n yilligida Italiyada, keyinchalik boshqa davlatlarda tez rivojlandi. Mashhur italiyalik rassom, matematik, mexanik va injener Leonardo do Vinchi (1452-1519) mexanizmlar nazariyasini, mashinalardagi ishqalanishlarni, quvurlarda suvning harakatini va qiya tekislikdagi jismlarning harakatini o'rgangan. Fanda revolyusion to'ntarish qilgan polyak olimi N. Koopernik (1473-1543) hisoblanadi. U olam tuzilishining geliosentrik sistemasini beradi. Bu sistemaga ko'ra markazida quyosh uning atrofida planetalar, shuningdek Yer ham aylanadi.

Dinamikaga fan sifatida italiyalik olim Galileo Galiley (1564-1642) asos solgan. U inersiya qonunini kashf etib jismning qiya tekislikdagi harakatini o'rgangan, jismlarining erkin tushish qonunini kashf qilgan.

Mexanikaning asosiy qonunlarini mashhur ingliz matematigi va mexanigi Isak Nyuton (1643-1727) kashf qilgan. 1687 yilda bosilib chiqqan «Natural falsafaning matematik prinsiplari» degan kitobida I. Nyuton klassik mexanika qonunlarini to'liq sistemasini yoritib beradi. Nyuton mexanikaning ikkita asosiy qonunlarini - ta'sir va aks ta'sir qonuni va butun olam tortishish qonunlarini kashf etdi.

XVIII asrga kelib tez sur'atlar bilan mexanikaning analitik usuli, ya'ni differensial va integral hisoblash usullari rivojlana boshlaydi.

Nuqta va qattiq jism dinamikasi masalalarini avval differensial tenglamalarini to'zib keyin ularni integrallash yuli bilan echish usullarini buyo'q matematik L. Eyler (1707-1783) tomonidan ishlab chiqildi. 1743 -yilda franso'z olimi J. Dalamber (1717-1783) bog'lanishdagi mexanik sistemalarga ta'luqli masalalarni Dalamber prinsipi deb ataluvchi prinsip asosida echish usulini yaratdi. Franso'z olimi J. L. Lagranj (1736-1813) o'zining “Analitik mexanika” (1788) nomli asarida mexanika masalalarini mumkin bo'lgan ko'chish prinsipini qo'llash yordamida echish usulini yaratdi.

XIX asrga kelib mashinasozlik tez sur'atlar bilan rivojlana boshlaydi. Natijada kinematika mexanikadan aloxida bo'lim sifatida ajralib chiqadi. Hozirgi paytda mashina va mexanizmlarning harakatlarini o'rganishda kinematikani o'rganish alohida o'rinni egallaydi.

Mexanika fanining rivojlanishiga katta hissa qo'shgan rus olimlaridan materiya va harakatning chambarchas bog'liqligini aniqlagan M. V. Lomonosov (1711-1765), analitik mexanika sohasida ilmiy ishlari bilan shuhrat qozongan M. V. Ostrogradskiy (1801-1862), mashina va mexanizmlar nazariyasiga asos solgan P. L. Chebishev (1821-1891), raketa nazariyasi va suyuq yoqilg'i bilan ishlaydigan raketa dvigateli nazariyasiga asos solgan K. E. Sialkovskiy (1857-1935), o'zgaruvchan massali jismlarning harakatini o'rgangan I. V. Meshcherskiy (1859-1935), Yerning sun'iy yuldotslarini yaratgan va uchirgan S. P. Korolyov (1906-1966), aerogidrodinamika, tebranishlar nazarisi va kosmonavtika soxalarida tadqiqotlar qilgan M. V. Keldish (1911-1978) larning ishlari o'zining muxim ahamiyatiga ega.

Mexanikaning rivojlanishida Sharq olimlarining ilmiy ishlari ham muhim o'rinni egallaydi. Abu Rayxon Beruniy (973-1018), Abu Ali ibn Sino (980-1037), Ulug'bek Muhammad Tarag'ay (1394-1449) kabi mutafakkirlar ana shular jumlasidandir. Beruniy va Ibn Sino asarlarida mexanik harakat hamda planetalarning harakati haqida ajoyib fikrlar bayon qilingan. Ibn Sino jism holatini o'zgarishi harakatni yuzaga keltiradi deb ko'rsatadi, jismlarning fazodagi harakati (mexanik harakat) esa harakatlarning xususiy holdir degan xulosasini yozib qoldiradi. Ulug'bek planetalar harakatini katta aniqlikda hisoblagan va ularning fazoda joylashish haritalarini to'zgan.

Mexanika fanining rivojlanishiga o'zbek olimlaridan: iplar mexanikasi va inshootlarning seysmik mustaxkamligi nazariyasiga oid qator ilmiy ishlarning muallifi M. T. Urozboev (1906-1971), inshootlar zaminini hisoblashda va ularni loyihalashda, kema zirxi mustaxkamligini aniqlashda qo'llaniladigan “Raxmatulin tulqinlari” nomini olgan tulqinlar nazariyasini kashf qilgan X. A. Raxmatulin (1900-1988), tutash muhitlar mexanikasi masalalarini algoritmash, avtomatik

boshqarish sistemalarini yaratish sohasida ilmiy ishlar qilgan V.K. Qobulov (1921 yilda tug'ilgan) larning ulkan ilmiy izlanishlarini qayd etib o'tish lozim.

STATIKANING ASOSIY TUSHUNCHA VA QOIDALARI.

Kuchlar haqida umumiy bilim beruvchi, kuchlar ta'siridagi jismlarning muvozanatini o'rganuvchi Nazariy mexanikaning bir bo'limiga statika deyiladi.

Statikaning asosiy tushunchalari sifatida moddiy nuqta, absolyut qattiq jism, kuch, muvozanat tushunchalari qaraladi.

Tabiatda uchraydigan barcha qattiq jismlar tashqi ta'sir natijasida katta yoki kichik miqdorda o'z formasini o'zgartiradi (deformatsiyalanadi). Deformatsiya kattaligi jismlarning materiali, ularning geometrik formasi va o'lchamiga hamda ta'sir etuvchi kuchning kattaligiga bog'liq. Turli xil inshoot va konstruksiyalar mustaxkamligini ta'minlash uchun ularning materiali va o'lchamlari shunday tanlanadiki, tashqi ta'sirdan hosil bo'ladigan deformatsiya juda ham kichik bo'lsin. Shu sababli qattiq jismlarning muvozanat shartlarini o'rganishda ularning juda kichik deformatsiyalarini e'tiborga olmasa ham bo'ladi, ya'ni ularni absolyut qattiq jism deb qaraladi.

Absolyut qattiq jism deb shunday qattiq jisimga aytiladiki, uning istalgan ikki nuqtasi orasidagi masofa doimo o'zgarishsiz qoladi. Bundan keyin statika masalalarini echishda barcha jismlarni absolyut qattiq jism deb qaraladi yoki qisqa qilib qattiq jism deb ataladi.

Mexanikaning asosiy tushunchalaridan yana biri moddiy nuqta tushunchasidir. Qaralayotgan sanoq sistemasiga nisbatan o'lchamlari e'tiborga olinmaydigan darajada kichik, massasi bir nuqtada to'plangan jisimga moddiy nuqta deyiladi. Masalan, poezd harakatlanayotgan insonni poezd uzunligiga nisbatan moddiy nuqta deb qarash mumkin. Har qanday jismini moddiy nuqtalar to'plamidan tashkil topgan deb qarash mumkin.

Berilgan jismning muvozanat holati yoki harakati uning boshqa jismlar bilan mexanik o'zaro ta'sir karakteriga bog'liq bo'ladi.

Moddiy jismlar o'zaro ta'sirlarining miqdoriy o'lchoviga kuch deyiladi. Kuch-vektor kattalik. Kuchning jisimga ko'rsatadigan ta'siri:

kuch qo'yilgan nuqta, 2) kuchning yo'nalishi, 3) kuchning miqdori (moduli) bilan karakterlanadi.

Kuchning moduli kuchni tanlangan o'lchov birligi bilan solishtirish orqali topiladi. Kuchning asosiy o'lchov birligi Xalqaro o'lchov birliklar sistemasida (SI) 1 Nyuton (1 N) qabo'l qilingan. U boshqa o'lchov birliklarda ham o'lchanadi. Masalan, 1 kilonyuton (1 kH=1000 H), 1 kilogramm kuch (1 кг.к). Kuch dinamometr asbobi yordamida o'lchanadi. Kuchlar boshqa vektor kattaliklar kabi ustida chiziqcha chizilgan harf bilan (masalan $\vec{F}$), kuch moduli esa $|\vec{F}|$ belgi yoki ustida chizig'i bo'lmagan F bilan belgilash qabo'l qilingan. Kuch chizmada yo'nalishli kesma bilan ifodalanadi (1-rasm).

Kesmaning uzunligi belgilangan masshtabda kuchning molulini, kesmaning yo'nalishi kuchning yo'nalishini ifodalaydi. A nuqta kuchning qo'yilish nuqtasi (boshi), B nuqta kuchning uchi deyiladi. Kuch yo'nalgan SD chiziqqa kuchning ta'sir chizig'i deyiladi.

Agar jisimga bir vaqtning o'zida bir nechta $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n$ kuchlar ta'sir etsa, bunday kuchlar to'plamiga kuchlar sistemasi deyiladi va $(\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n)$ ko'rinishida belgilanadi.

Ta'sir etayotgan $(\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n)$ kuchlar sistemasini boshqa biror $(\vec{P}_1, \vec{P}_2, \dots, \vec{P}_n)$ kuchlar sistemasi bilan almashtirilganda jismning muvozanat holati o'zgarmasa, bunday kuchlar sistemasiga ekvivalent kuchlar sistemasi deyiladi va quyidagicha yoziladi:

$$(\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n) \propto (\vec{P}_1, \vec{P}_2, \dots, \vec{P}_n)$$

Agar kuchlar sistemasi bitta kuch bilan almashtirilganda jism holati o'zgarmasa, bu kuch berilgan kuchlar sistemasining teng ta'sir etuvchisi deyiladi va quyidagicha belgilanadi:

$$(\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n) \propto \vec{R}$$

Kuchlar sistemasi ta'sirida jism muvozanatda (tinch holatda) bo'lsa, bunday kuchlar sistemasiga muvozanatlashuvchi kuchlar sistemasi deyiladi quyidagicha belgilanadi:

$$(\bar{F}_1, \bar{F}_2, \dots, \bar{F}_n) \in O$$

Statika masalalari geometrik shakllar yasash yuli bilan (geometrik usul) va sonli hisoblash usuli (analitik usul) yordamida echiladi.

Jismlarning muvozanat holati deganda, ularning boshqa jismlarga, masalan Yerga nisbatan tinch holati tushuniladi. Qattiq jismga ta'sir etayotgan kuchlar yoki kuchlar sistemasining turiga ko'ra jismlarning muvozanat shartlari mavjud bo'lib, istalgan jismning muvozanat holatiga shu shartlarga ko'ra tekshirish orqali baho berish mumkin bo'ladi.

STATIKA AKSIOMALARI.

Statika matematik isbotsiz, kundalik tajriba natijasida tasdiqlanadigan bir nechta aksiomaga asoslanadi.

1-aksioma. Erkin absolyut qattiq jismga qo'yilgan ikkita kuch muvozanatda bo'lishi uchun faqat va faqat, bu kuchlar miqdor jihatidan teng, yo'nalish jihatidan kuchlar qo'yilgan nuqtalardan o'tuvchi to'g'ri chiziq bo'ylab qarama – qarshi tomonga yo'nalgan bo'lishi lozim.

Bunday kuchlar sistemasining teng ta'sir etuvchisi nolga teng bo'ladi. Bunday kuchlar sistemasi muvozanatlashgan sistema yoki nolli sistema deyiladi: $(\bar{F}_1, \bar{F}_2) \in O$ (2-rasm).

2-aksioma. Absolyut qattiq jismga qo'yilgan kuchlar sistemasiga muvozanatlashgan sistema qo'shilsa yoki undan ayirilsa, sistemaning jismga ko'rsatadigan ta'siri o'zgarmaydi.

Natija. Absolyut qattiq jismga qo'yilgan kuchni o'zining ta'sir chizig'i bo'ylab, jismning istalgan nuqtasiga ko'chirilganda, kuchning qattiq jismga ko'rsatadigan ta'siri o'zgarmaydi.

Isboti. Qattiq jismning biror A nuqtasiga $\bar{F}$ kuch qo'yilgan bo'lsin (3-rasm). Bu kuch ta'sir chizig'idan ixtiyoriy V nuqta olamiz. Bu nuqtaga muvozanatlashgan $(\bar{F}_1, \bar{F}_2)$ sistemani keltirib qo'yamiz. Bunda $\bar{F}_1 = \bar{F}$ ba $\bar{F}_2 = -\bar{F}$ shart bajarilsin.

Hosil bo'lgan kuchlar sistemasi ta'sirida jismning holati o'zgarmaydi. Chunki sistema muvozanatlashgan sistemani tashkil etadi. Muvozanatlashgan sistemani tashlab yuboramiz. Natijada jism B nuqtaga qo'yilgan $\bar{F}_1$ kuch ta'sirida qoladi. Shartga ko'ra esa $\bar{F}_1 = \bar{F}$. Demak, jismning holati o'zgarmaydi. Absolyut qattiq jismga qo'yilgan kuch sirpanuvchi vektorni ifodalaydi.

3-aksioma (parallelogramm aksiomasi). Jismning biror nuqtasiga qo'yilgan ikkita kuchning teng ta'sir etuvchisi, shu kuchlarga qurilgan parallelogrammning kuchlar qo'yilgan nuqtasidan o'tuvchi diagonaliga teng.

$\bar{F}_1, \bar{F}_2$ vektorlar asosida qurilgan parallelogrammning diagonaliga teng $\bar{R}$ vektor $\bar{F}_1, \bar{F}_2$ vektorlarning geometrik yig'indisiga teng bo'ladi: (4-rasm)

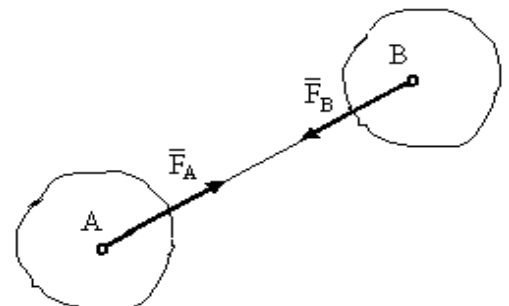
Kuchlarning teng ta'sir etuvchisi bilan kuchlarning geometrik yig'indisi aloxida-aloxida tushunchalar bo'lib hisoblanadi. Ularni bir-biri bilan almashtirib yubormaslik kerak. Kuchlar teng ta'sir etuvchiga ega bo'lmasligi mumkin, lekin geometrik yig'indiga ega bo'ladi.

(5-rasm)

4-aksioma (Nyutonning uchinchi qonuni). Har qanday muvozanatdagi ikkita jism bir-biri bilan miqdor jihatidan teng bir to'g'ri chiziq bo'ylab qarama-qarshi tomonga yo'nalgan kuchlar bilan o'zaro ta'sir etadi.

Bu qonun mexikaning asosiy qonunlaridan biri bo'lib hisoblanadi. A jism B jismga qandaydir

$\bar{F}_B$ kuch bilan ta'sir etsa, B jism ham A jismga shu kuchga miqdor jihatidan teng, bir to'g'ri chiziq bo'ylab qarama – qarshi yo'nalgan $\bar{F}_B = -\bar{F}_A$ kuch bilan ta'sir etadi (5-rasm). Shuni e'tirof etish kerakki, $\bar{F}_A, \bar{F}_B$ kuchlar turli jismlarga qo'yilgan bo'lganligi uchun ular muvozanatlashgan kuchlar sistemasini tashkil etmaydi.



5-aksioma. Kuchlar sistemasi ta'siridagi deformatsiyalanadigan jism muvozanat holatida absolyut qattiq jismga aylansa, uning muvozanati o'zgarmaydi.

Bu qonun jismlarning qotish prinsipi deyiladi. Zanjirning zvenolari bir-biriga payvandlanganda uning muvozanati bo'zilmaydi. Chunki, muvozanatda bo'lgan jism qotishdan oldin va qotgandan keyin ham bir xil kuchlar sistemasi ta'sirida bo'ladi.

BOG'LANISH VA BOG'LANISH REAKSIYALARI

Tabiatdagi barcha jismlarni ikkiga ajratish mumkin: erkin jismlar va bog'langan (erksiz) jismlar.

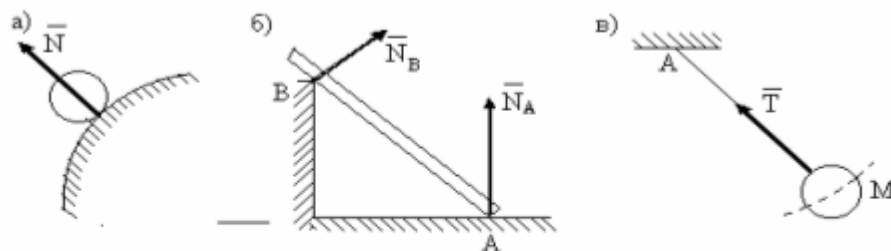
Jism fazoda istalgan tomonga harakatlana olsa, bunday jismga erkin jism deyiladi. Masalan, fazodagi havo shari.

Jismning harakati biror sabab bilan cheklangan bo'lsa, bu jism bog'langan jism deyiladi. Bog'langan jismlarga misol qilib, stol ustiga qo'yilgan yo'q, shipga osilgan qandil va boshqalarni misol keltirishimiz mumkin. Yo'q uchun bog'lanish stol, qandil uchun bog'lanish zanjir hisoblanadi.

Jismning harakat yo'nalishiga qo'yilgan barcha jismlar (to'siqlar) bog'lanishlar deyiladi. Bog'lanishning jismga ko'rsatadigan ta'siriga bog'lanish reaksiya kuchi yoki qisqacha bog'lanish reaksiyasi deyiladi. Bog'lanishdagi jismlarning harakati qaysi yo'nalishda cheklangan bo'lsa, bog'lanish reaksiya kuchi shu yo'nalishga teskari yo'nalgan bo'ladi.

Mexanika masalalarida har qanday jismning muvozanatini tekshirish uchun uni erkin holatga keltirib olish kerak. Erkin holatga keltirish degani esa bog'langan jismning bog'lanishlari (tayanchlari) ni bog'lanish (tayanch) reaksiya kuchlari bilan almashtirish demakdir. Mexanika masalalarini echishda bog'lanish reaksiya kuchlarining miqdori va yo'nalishini to'g'ri aniqlash juda muhim ahamiyatga ega. Bog'lanishlarning asosiy turlari bilan tanishamiz.

Silliq sirt yoki tayanch. Ishqalanish e'tiborga olinmaydigan sirtga silliq sirt deyiladi.



1-rasm

1. Sirt bilan jism orasida ishqalanish bo'lmaganda jism sirt bilan biror nuqtada tayanib to'rgan bo'lsa, silliq sirt jismning shu sirtga o'tkazilgan normal bo'yicha harakatini cheklaydi. Shu sababli silliq sirtning reaksiya kuchi $\vec{N}$ sirtga o'tkazilgan normal bo'yicha yo'nalgan bo'ladi. (1 – rasm a). To'sin A nuqtada polga, B nuqtada vertikal devorga tayangan bo'lsa (1 – rasm, b), polning $\vec{N}_A$ va vertikal devorning $\vec{N}_B$ reaksiya kuchlari A va B nuqtalarga o'tkazilgan perpendikulyar bo'yicha yo'naladi.

2. Arqon, ip. M shar egiluvchan, cho'zilmaydigan ip yordamida biror A nuqtaga osib qo'yilgan bo'lsa, u holda ipning bog'lanish reaksiyasi kuchi $\vec{T}$ ip bo'ylab osilish nuqtasi tomonga yo'nalgan bo'ladi. (1-rasm, b).

3. Silindrik sharnirli bog'lanishlar. Umumiy o'q yoki nuqta atrofida aylana oladigan ikkita jism orasidagi bog'lanishga sharnir deyiladi. AB sterjenning A uchi

sharnir yordamida qo'zg'almas D tayanchga mahkamlangan bo'lsin (2 – rasm). U holda jismning A uchi sharnir o'qiga perpendikulyar biron – bir yo'nalishda siljiy olmaydi. Demak, silindrik sharnirning $\vec{R}$ reaksiya kuchi sharnir o'qiga perpendikulyar tekislikda istalgan yo'nalishga ega bo'lishi mumkin.

Masala echishda $\vec{R}$ reaksiya kuchini aylanish o'qiga perpendikulyar tekislikda yotuvchi x va y o'qlarga parallel yo'nalgan tashkil etuvchilarga ajratib, jismning muvozanat shartidan topiladi.

4. Sferik sharnir va tovon tegi (podpyatnik). AO sterjen O nuqtada sferik sharnir vositasida berkitilgan bo'lsa, bu sterjen O nuqtadan o'tuvchi har qanday o'q atrofida faqat aylana oladi (3 - rasm, a). Sferik sharnirning $\vec{R}$ reaksiya kuchi O nuqtadan o'tadi, lekin qaysi tomonga yo'nalishini oldindan aytib bo'lmaydi. Sferik sharnirning reaksiya kuchini tanlab olingan koordinata o'qlariga parallel yo'nalgan tashkil etuvchilarga ajratib, ularni jismning muvozanat shartlaridan aniqlanadi. Tovuq tegining $\vec{R}$ bog'lanish reaksiya kuchi ham fazoda istalgan tomonga yo'nalgan bo'lishi mumkin (3 – rasm, b).

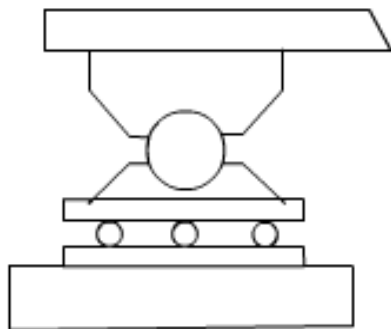
5. Vaznsiz sterjen vositasidagi sharnirli bog'lanish. E'z og'irligi hisobga olinmaydigan, uchlaridan boshqa nuqtalariga hech qanday kuch qo'yilmagan sterjenlarga vaznsiz sterjenlar deyiladi. Jism uchlari sharnirli biriktirilgan ingichka sterjenlar vositasida mahkamlangan bo'lsin (4 – rasm).

U holda sterjenning A va B nuqtalariga qo'yilgan ikkita kuch ta'sir qiladi; muvozanatda bo'lganda bu kuchlar bir to'g'ri chiziqli bo'ylab, ya'ni AB bo'ylab yo'naladi. Ta'sir va aks ta'sir qonuniga ko'ra sterjen ham jismga AB bo'ylab yo'nalgan kuch bilan ta'sir qiladi. Demak, reaksiya kuchi sterjen o'qi bo'ylab yo'nalgan bo'ladi.

Balka, sterjen, ferma kabi konstruktiv elementlarini mustahkamlash uchun qo'llaniladigan tayanchlar turlarini ko'rib chiqamiz.

1. Sharnirli qo'zg'aluvchan tayanch.

Bu tayanch konstruktiv ikkita qoplama (biri balkaga, ikkinchisi silliq sirtga mahkamlangan), silindrik valik va kotoklardan tashkil topgan (5–rasm). Kotoklar qo'zg'almas tekislikka qo'yilgan bo'lib, balka tayanchining shu tekislikda erkin harakatlanishiga imkoniyat yaratadi. Silindrik valik esa ikkita qoplama o'rtasiga o'rnatilgan bo'lib, u balkaning sharnir o'qi bo'ylab erkin aylanishiga imkoniyat yaratadi.

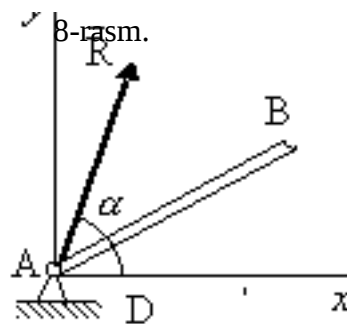


7-rasm.

2. Yuqoridagilardan xulosa qilib shuni aytish mumkinki, bu tayanchda balkaning harakati faqat bitta yo'nalishda cheklangani uchun bu tayanchning reaksiya kuchi sharnir markaziga qo'yilgan qo'zalmas tekislikka perpendikulyar yo'nalgan bitta kuchdan iborat bo'ladi (8-rasm).

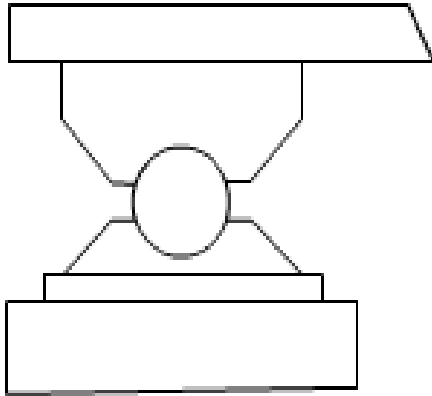
3. Sharnirli qo'zg'almas tayanch.

Bu tayanch konstruktiv ikkita qoplama (biri balkaga, ikkinchisi qo'zg'almas tekislikka mahkamlangan) va silindrik valikdan tashkil topgan (9-rasm). Silindrik valik ikkita qoplama o'rtasiga qo'yilgan bo'lib, u qoplamalarni birlashtirib balkaning sharnir o'qi bo'ylab erkin aylanishiga imkoniyat yaratadi, qolgan yo'nalishlar bo'yicha balkaning harakati cheklangan. Bundan bu tayanch reaksiya kuchi



4-rasm.

noma'lum yo'nalishga va miqdorga ega bo'lgan bitta kuchdan iborat ekanligi kelib chiqadi (10-rasm).



9-rasm.

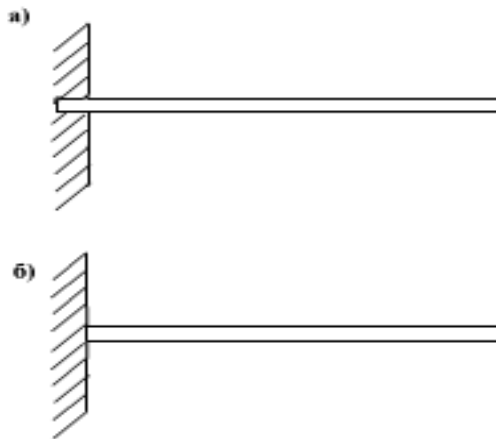
10-rasm.

Bu reaksiya kuchini aniqlashda aksariyat hollarda uni X va Y o'qlari bo'yicha yo'nalgan tashkil etuvchilarga ajratish orqali topiladi:

$$R_A = \sqrt{X_A^2 + Y_A^2} \quad (1)$$

Qistirib mahkamlangan tayanch.

Bu tayanch konstro'qsiyasi devorga qistirib yoki payvandlash orqali konstro'qsiya elementlarini tayanchga biriktirishdan hosil bo'ladi (11-rasm).



11-rasm.

12-rasm.

Bu holatda balkaning mahkamlanadigan uchiga tayanch devorlar tomonidan yoyilgan (tekis taksimlangan) kuchlar sistemasi ta'sir etadi. Bu kuchlarning teng ta'sir etuvchisini biror A markazga qo'yilgan bitta kuchdan iborat deb qarash mumkin. Bu tayanchda balkaning harakati barcha yo'nalishlar bo'yicha cheklangan, ya'ni balka mutlaq qo'zg'almas. Shuning uchun bu kabi tayanchlarda ikkita reaksiya: yo'nalishi va miqdori noma'lum bo'lgan bitta kuch hamda moment paydo bo'ladi (12-rasm). Bu holatda reaksiya kuchini aniqlashda uni X va Y o'qlari bo'yicha yo'nalgan tashkil etuvchilarga ajratib olish maqsadga muvofiq:

$$R_A = \sqrt{X_A^2 + Y_A^2}, \quad (2)$$

NAZORAT SAVOLLARI

1. Nazariy mexanika fani nimani urgatadi?
- 2 Mexanik harakat deb nimaga aytiladi?
3. «Mexanika» so'zi qanday ma'noni bildiradi?

4. Nazariy mexanika fanininng rivojlanishiga ulkan xissa qushgan qanday olimlarni bilasiz?
5. Mexanikaning rivojlanishiga xissa qushgan sharq olimlaridan kimlarni bilasiz?
6. Mexanikaning rivojlanishiga xissa qushgan qaysi o'zbek olimlarini bilasiz?
7. Bog'lanish deb nimaga aytiladi?
8. Bog'lanishlarning qanday turlarini bilasiz?
9. Bog'lanish reaksiyasi deb nimaga aytiladi?
10. Kesishuvchi kuchlar deb qanday kuchlarga aytiladi?
11. Kuchning o'qdagi proeksiyasi deb nimaga aytiladi?
12. Kuch moduli analitik usulda qanday topiladi?

M A ' R U Z A 2

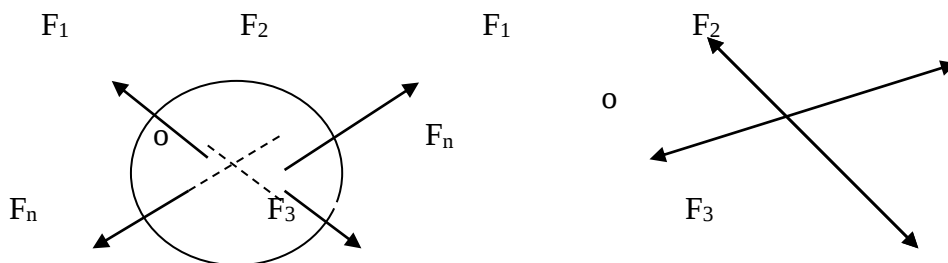
Kesishuvchi kuchlar sistemasi. Kuchning o'qdagi va tekislikdagi proeksiyasi.

Reja:

1. Kesishuvchi kuchlarni geometrik qo'shish.
2. Tekislikdagi kuchlar sistemasining muvozanat shartlari.
3. Kuchning o'qdagi proeksiyasi
4. Kuchning tekislikdagi proeksiyasi
5. Kuchning analitik usulda berilishi.

Ta'sir chiziqlari bir nuqtada uchrashadigan kuchlar sistemasiga kesishuvchi kuchlar sistemasi deyiladi. (11-rasm,a).

Avvalo ta'sir chiziqlari biror nuqtada kesishuvchi ikita F_1 va F_2 kuchlarini kushamiz. Ikkita kuchning teng ta'sir etuvchisi R shu kuchlar asosida parallelogramm kurish, yoki bo'lmasa uchburchak usulida aniqlanadi.



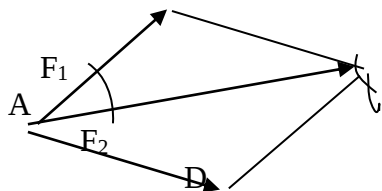
11 –rasm.

Qattiq jismning biror nuqtasiga F_1 va F_2 kuchlar qo'yilgan bo'lsin. Shu kuchlar asosida parallelogramm kurib, kuchlar qo'yilgan nuqta orqali parallelogrammning diagonalini utkazamiz.

Bu diagonal berilgan kuchlarning teng ta'sir etuvchisi R bo'lib hisoblanadi. (12-rasm,a).

Kuchlar uchburchagini yasash uchun, biror ixtiyoriy A nuqta tanlaymiz.

Kuchlardan ixtiyoriy bittasini A nuqtaga parallel ko'chiramiz. Ikkinchi kuchni o'z-o'ziga parallel birinchi kuchning uchiga ko'chiramiz. Birinchi kuchning boshi bilan ikkinchi kuchning uchini tutashtirsak F_1 va F_2 kuchlarni geometrik yig'indisi R kuchni hosil qilamiz. (12-rasm,b).



12-rasm.

R kuchni moduli kosinuslar teoremasidan topiladi, ya'ni
 $R^2 = F_1^2 + F_2^2 - 2F_1 F_2 \cos (180^\circ - \alpha)$. $\cos (180^\circ - \alpha) = -\cos \alpha$
 bo'lgani uchun

$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1 F_2 \cos \alpha} \quad (2)$$

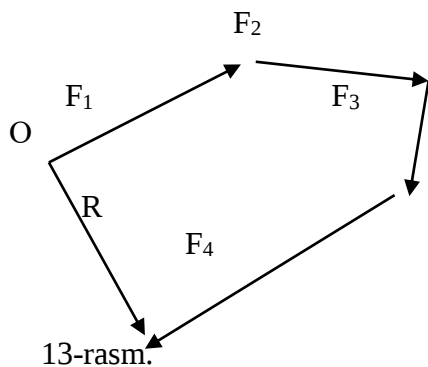
R kuchning F_1 va F_2 kuchlar orasidagi burchaklari sinuslar teoremasidan foydalanib topiladi.
 bu erda

$$\frac{F_1}{\sin \gamma} = \frac{F_2}{\sin \beta} = \frac{R}{\sin(180^\circ - \alpha)} \quad \text{bu erda } \sin(180^\circ - \alpha) = \sin \alpha$$

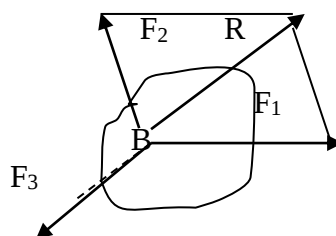
Shunga ko'ra
$$\frac{F_1}{\sin \gamma} = \frac{F_2}{\sin \beta} = \frac{R}{\sin \alpha} \quad (3)$$

Kesishuvchi kuchlarni qo'shish uchun har gal parallelogramm yasash urniga F_1 kuchning uchiga F_2 kuchni o'ziga paralel ravishda keltiramiz, sungra F_2 kuchning uchiga F_3 kuchni o'ziga paralel ravishda keltiramiz va xakoza. Birinchi kuchning boshini oxirgi kuchning uchi bilan tutashtirib, teng ta'sir etuvchi R ni aniqlaymiz. Teng ta'sir etuvchini bu usulda aniqlashga ko'p burchak usuli deyiladi. (13-rasm).

Agar kesishuvchi kuchlar sistemasi n ta kuchlardan iborat bo'lsa, ularning teng taxsir etuvchisi $R = F_1 + F_2 + \dots + F_n = \sum F_k$ (4) formuladani aniqlanadi.



13-rasm.



14-rasm

Uch kuchning muvozanati haqidagi teorema.

Teorema. Bir tekislikda yotuvchi va o'zaro parallel bo'lmagan uchta kuch muvozanatlashsa, ularning ta'sir chiziqlari bir nuqtada kesishadi.

Isbot. Muvozanatdagi jismning A_1, A_2, A_3 nuqtalariga parallel bo'lmagan (F_1, F_2, F_3) kuchlar qo'yilgan bo'lsin. Kuchlardan ikkitasi F_1 va F_2 ni ularning ta'sir chiziqlari kesishadigan O nuqtaga keltirib, parallelogramm qoidasi asosida kushamiz. (14-rasm)

$$R = F_1 + F_2$$

U holda (F_1, F_2, F_3) kuchlar sistemasi urniga $(F_1, F_2, F_3) \propto (R, F_3)$ bo'lgan sistemaga ega bo'lamiz.

1-aksiomaga ko'ra, R va F_3 kuchlarning miqdori teng, yo'nalishi esa bir to'g'ri chiziq bo'ylab, qarama-qarshi tomonga yo'nalgan shunga ko'ra $(R, F_3) \propto 0$ sistemani tashkil etadi. Demak F_3 kuchning ta'sir chizigi ham O nuqtadan utadi.

1-masala. ABC kran (15-rasm) og'irligi $P = 100 \text{ kg}$ bo'lgan yo'qni ushlab turipdi. AB va BC sterjenlardagi zo'riqishlarni aniqlang. Sterjenlarning ulchamlari quyidagicha: $AB = 3,8 \text{ m}$, $BC = 2,6 \text{ m}$, $AC = 2 \text{ m}$

Bep:

$P = 100 \text{ kГ}$

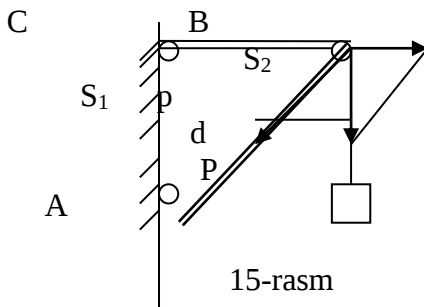
$AB = 3,8 \text{ m}$

$BC = 2,6 \text{ m}$

$AC = 2,0 \text{ m}$

T.k. $S_1 = ?$

$S_2 = ?$



Yechish. Kranning B nuqtasida osilgan yo'qning og'irlik kuchi ta'sirida BC sterjen cho'ziladi AB sterjen esa siqiladi. Hosil bo'lgan zo'riqishlarni sterjenlar bo'ylab, yo'naltiramiz, natijada absd parallelogramm hosil bo'ladi. Parallelogrammning dioganali bo'ylab yo'qning og'irlik kuchi P yo'naladi. Hosil bo'lgan uchburchaklarning o'xshashligidan

$$\frac{bc}{BC} = \frac{cd}{AB} = \frac{bd}{AC} \quad \text{yoki} \quad \frac{|S_2|}{BC} = \frac{|S_1|}{AB} = \frac{P}{AC}$$

bundan

$$|S_2| = \frac{BC}{AC} \cdot P = \frac{2,6}{2} \cdot 100 = 130 \text{ kg} \quad (4) \quad |S_1| = \frac{AB}{AC} \cdot P = \frac{3,8}{2} \cdot 100 = 190 \text{ kg} \quad (5)$$

Tekislikdagi kuchlar sistemasining muvozanat shartlari.

Tekislikda kuchlar sistemasi muvozanatda bo'lishi uchun bir vaqtning o'zida bosh vektor va bosh ioient nolga teng bo'lishi shart.

Ya'ni $R=0$ va $M=0$ (6)

bo'lishi shart.

(6) dan kelib chiqadigan muvozanatning analitik shartlarini aniqlaymiz.

1. Muvozanat shartining asosiy formulasi.

R va M lar quyidagi formulalar yordamida topiladi:

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}; \quad M = \sum m_0 (F_k) \quad (7)$$

bu erda

$R_x = \sum F_{kx}$; $R_y = \sum F_{ky}$; R nolga teng bo'lishi uchun bir vaqtning o'zida $R_x = 0$; $R_y = 0$ bo'lishi kerak. Demak (24) dan quyidagilarni yozamiz:

$$\sum F_{kx} = 0; \quad \sum F_{ky} = 0; \quad \sum m_0 (F_k) = 0 \quad (8)$$

Demak, tekislikdagi kuchlar sistemasi muvozanatda bo'lishi uchun kuchlarning shu tekislikda yotuvchi ikkita koordinata o'qlaridagi proeksiyalarining yig'indilari aloxida aloxida nolga teng va shu tekislikdagi ixtiyoriy nuqtaga nisbatan momentlarining yig'indisi nolga teng bo'lishi zarur va etarlidir.

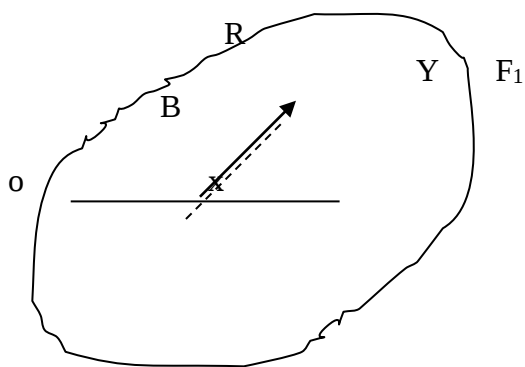
2. Muvozanat shartining ikkinchi formasi.

Tekislikdagi kuchlar sistemasi muvozanatda bo'lishi uchun barcha kuchlarning shu tekislikda yotuvchi ixtiyoriy ikki nuqtasining har biriga nisbatan momentlarining yig'indisi aloxida-aloxida nolga teng va mazkur nuqtalardan o'tuvchi to'g'ri chiziqqa perpendikulyar bo'lmagan o'qdagi proeksiyalarining yig'indisi nolga teng bo'lishi zarur va etarlidir. (16-rasm).

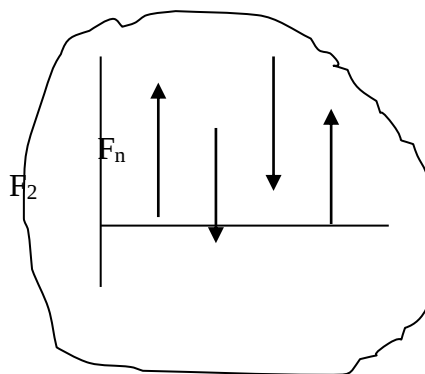
$$\sum m_A (F_k) = 0; \quad \sum m_B (F_k) = 0; \quad \sum F_{kx} = 0; \quad (9)$$

3. Muvozanat shartining uchinchi formasi.

Tekislikda yotuvchi kuchlar sistemasi muvozanatda bo'lishi uchun barcha kuchlarning shu tekislikdagi bir to'g'ri chiziqda yotmaydigan uchta nuqtaning har-biriga nisbatan momentlarining yig'indisi aloxida-aloxida nolga teng bo'lishi zarur va etarlidir.



16-rasm.



17-rasm

$$\sum m_A (F_k) = 0; \quad \sum m_B (F_k) = 0; \quad \sum m_C (F_k) = 0; \quad (10)$$

Tekislikdagi parallel kuchlar muvozanat sharti.

Qattiq jismga qo'yilgan kuchlar sistemasi parallel kuchlar sistemasidan iborat bo'lsin. U holda OX o'qini kuchlarga perpendikulyar, OY o'qini esa kuchlarga parallel yo'naltiramiz. Natijada kuchlarning OX o'qidagi proeksiyalari nolga teng bo'ladi. (17-rasm)

(27) tenglikning birinchisi

0=0 ayniyatga aylanadi va tekislikdagi kuchlar sistemasining muvozanat shartlari quyidagicha yoziladi.

$$\sum F_{ky} = 0; \quad \sum m_0 (F_k) = 0; \quad (11)$$

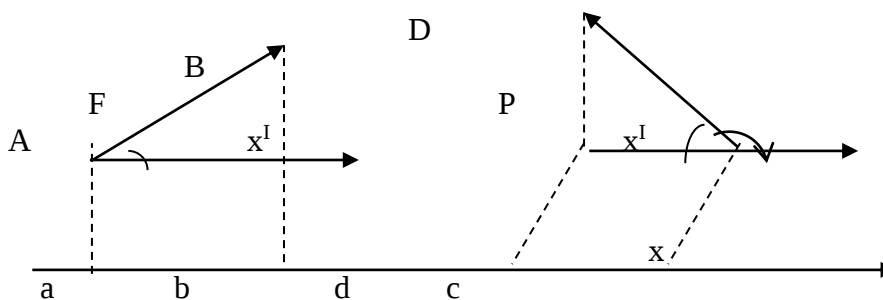
Parallel kuchlar muvozanatining boshqa formasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi.

$$\sum m_A (F_k) = 0; \quad \sum m_B (F_k) = 0; \quad (12)$$

Kuchning o'qdagi proeksiyasi.

Statika masalalarini echishning analitik (sonli) echish usuliga o'tamiz. Bu usul kuchning o'qdagi proeksiyasiga asoslanadi. Kuchning o'qdagi proeksiyasi deb, mos ishorada olingan kuchning boshi va uchining o'qda hosil qilgan proeksiyalari orasidagi kesmaga aytiladi. Kuchning o'qdagi proeksiyasi skalyar kattalik. Kesma o'qning musbat yo'nalish bo'yicha o'qilsa, proeksiyasi musbat, teskari o'qilsa, manfiy ishorada olinadi.

F kuchning OX o'qdagi proeksiyasini hosil qilish uchun, kuchning boshi A va uchi B nuqtalardan berilgan o'qqa Aa va Bb perpendikulyarlar tushiriladi. U holda mos ishora bilan olingan av kesma F kuchning OX o'qdagi proeksiyasini ifodalaydi. (18-rasm).



18-rasm.

F kuchning o'qdagi proeksiyasi F_x yoki X bilan belgilanadi. 18-rasmga ko'ra

$$F_x = F \cos \alpha \quad P_x = P \cos \alpha_1 = -P \cos \alpha \quad (13).$$

Shunday qilib, kuchning o'qdagi proeksiyasi deb, mos ishorada olingan, kuch moduli bilan kuchning shu o'q musbat yo'nalishi bilan tashkil qilgan burchak kosinusi ko'paytmasiga teng skalyar kattalikka aytiladi.

Ta'rifdan quyidagi natijalar kelib chiqadi.

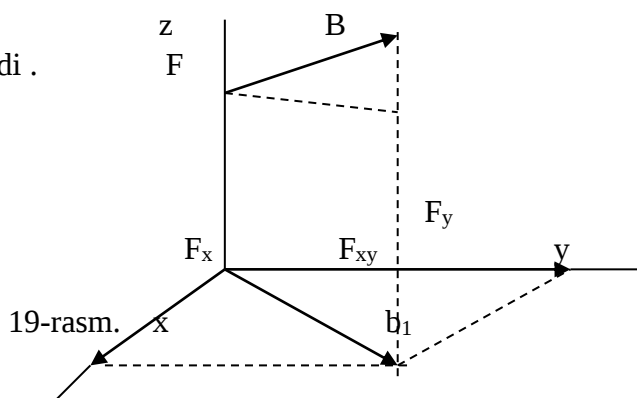
- 1) agar $\alpha = 90^\circ$ yoki $\alpha = 270^\circ$ bo'lsa $F_x = 0$
- 2) agar $\alpha = 180^\circ$ yoki $\alpha = 360^\circ$ bo'lsa $F_x = -F$

Kuchning tekislikdagi proeksiyasi.

F kuchning OXY tekislikdagi proeksiyasi deb, kuchning boshi va uchining shu tekislikdagi proeksiyalari orasidagi yo'nalishli kesmaga aytiladi. (19-rasm). Kuchning tekislikdagi proeksiyasi vektor kattalik.

kuchning tekislikdagi proeksiyasining moduli

$F_{xy} = F \cos \theta$ bilan aniqlanadi.



F_{xy} ning o'qlardagi tashkil etuvchilarini mos ravishda belgilasak, u holda

F_x, F_y , bilan

$$F_x = F_{xy} \cos \varphi = F \cos \theta \cos \varphi \quad F_y = F_{xy} \sin \varphi = F \cos \theta \sin \varphi \quad (14)$$

tengliklarga ega bo'lamiz.

Kuchning analitik usulda berilishi.

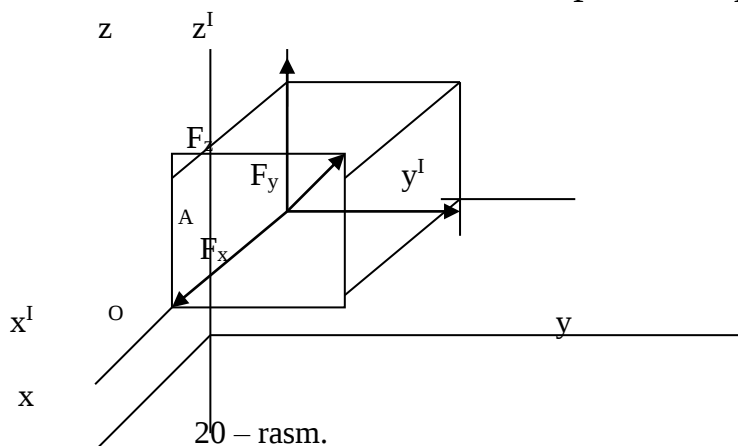
F kuchni analitik usulda aniqlash uchun, kuchning o'qdagi proeksiyalari F_x, F_y, F_z lar ma'lum bo'lishi kerak. Kuchning o'qdagi proeksiyasi ta'rifiga ko'ra quyidagilarni yozamiz.

$$F_x = F \cos \alpha \quad F_y = F \cos \beta \quad F_z = F \cos \gamma \quad \text{bu erda } \alpha, \beta, \gamma - F$$

kuchning OX, OY, OZ o'qlar bilan tashkil qilgan burchaklari (20-rasm). Yo'qoridagi tenglikning har ikkala tomonini kvadratga ko'tarib, hadma-had qo'shsak quyidagi tenglik hosil bo'ladi.

$$F^2 = F_x^2 + F_y^2 + F_z^2 \quad \text{bu erda } \cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + \cos^2 \gamma = 1$$

$$\text{yoki} \quad F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} \quad (15) \quad \cos \alpha = \frac{F_x}{F} \cdot \cos \beta = \frac{F_y}{F} \cdot \cos \gamma = \frac{F_z}{F} \quad (16)$$



(15),(16) formulalar yordamida F kuchning moduli va yo'nalishi aniqlanadi.

Kesishuvchi kuchlar sistemasining muvozanati.

1. Muvozanatning geometrik usuli.

Kesishuvchi kuchlar sistemasining teng ta'sir etuvchisi

R kuchlar sistemasi asosida qurilgan ko'p burchakning oxirgi tomoni bo'lib hisoblanadi $R=0$ bo'lishi uchun kuchlardan qurilgan ko'p burchak yopiq bo'lishi kerak, ya'ni oxirgi kuchning uchi birinchi kuchning boshi bilan ustma-ust tushishi kerak.

2. Kesishuvchi kuchlar sistemasining teng ta'sir etuvchisi R quyidagicha aniqlanadi.

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2 + R_z^2} \quad R = 0 \quad \text{bo'lishi uchun}$$

$$R_x = 0; R_y = 0; R_z = 0; \quad (9)$$

$$\text{yoki } \sum F_{kx} = 0; \sum F_{ky} = 0; \sum F_{kz} = 0; \quad (17)$$

bo'lishi shart.

2-masala Agar bir tekislikda yotuvchi uchta : $F = 17\text{N}$; $T = 10\text{ N}\cdot\text{m}$; $P = 24\text{ kg}$ bo'lsa ularning teng ta'sir etuvchisini aniqlang; $\alpha = 30^\circ$; $\varphi = 60^\circ$;

Yechish. Kuchlarning o'qlardagi prinsiplarini aniqlaymiz.

$$F_x = F \cos 30^\circ = 17 \cdot 0,866 = 14,7\text{ kg}$$

$$T_x = T \cos 60^\circ = -10 \cdot \frac{1}{2} = -5\text{ kg}$$

$$P_x = 0$$

$$F_y = F \sin 30^\circ = 17 \cdot 0,5 = 8,5\text{ N} \leftarrow$$

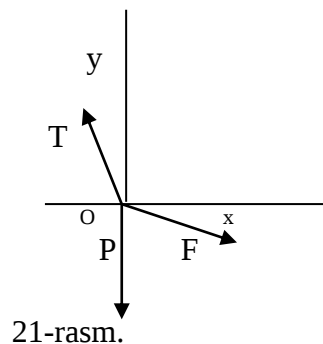
$$T_y = T \sin 60^\circ = 10 \cdot 0,866 = 8,66\text{ N}$$

$$P_y = -P = -24\text{ kg}$$

$$R_x = F_x + T_x + P_x = 14,7 - 5 = 9,7\text{ kg}$$

$$R_y = F_y + T_y + P_y = 8,5 + 8,66 - 24 = -23,84\text{ kg}$$

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = \sqrt{9,7^2 + (-23,84)^2} = 25,74\text{ kg}$$



$$\cos \alpha = \frac{R_x}{R} = \frac{9,7}{25,74} = 0,37; \quad \cos \beta = \frac{R_y}{R} = -\frac{23,84}{25,74} = -0,93$$

NAZORAT SAVOLLARI:

1. Tekislikdagi o'zaro parallel bo'lmagan uchta kuch qachon muvozanatda bo'ladi?
2. Kesishuvchi kuchlar sistemasi muvozanatining geometrik sharti qanday ifodalanadi?
3. Kesishuvchi kuchlar sistemasi muvozanatining analitik sharti qanday ifodalanadi?
4. Kuch momenti deb nimaga aytiladi?
5. Kuch elkasi deb nimaga aytiladi?
6. Kuch momenti qachon nolga teng bo'ladi?
7. Kuch momentining mexanik ma'nosi nima?
8. Kuchlar sistemasi teng ta'sir etuvchisining momenti haqida Varinon teoremasi qanday ifodalanadi?
9. Kuch momenti qanday xossalarga ega?
10. Kuch momentining ishorasi qanday aniqlanadi?

MA'RUZA 3

Kinematika. Kinematikaning asosiy tushuncha va qoidalari.

Reja:

1. Kinematikaning asosiy tushunchalari.
2. Nuqta harakatining berilish usullari.
3. Harakat vektor usulda berilganda nuqtaning tezligi.
4. Harakat vektor usulda berilganda nuqtaning tezlanishini aniqlash.
5. Nuqtani harakati koordinata usulida berilganda tezlik va tezlanish.

Jismlarning harakatini mazkur jismlarning massasi va ularga ta'sir etuvchi kuchlarga bog'lamay, faqat geometrik nuqtai nazardan o'rganadigan mexanikaning bir bo'limiga-- **kinematika deyiladi.**

Kinematika so'zi grekcha «kinema» so'zidan olingan bo'lib harakat ma'nosini anglatadi.

XIX asrning boshlarida texnikaning tez sur'atlari bilan taraqqiy etishi, jumladan, mashinasozlikning rivojlanishi, jism harakatining geometrik xususiyatlarini tekshirish masalasini qo'yadi. Shu davrdan boshlab kinematika nazariy mexanikaning mustaqil qismi bo'lib ajralib chiqdi.

Kinematikada jismning harakati boshqa jism bilan bog'langan sanoq sistemasiga nisbatan tekshiriladi. Aynan bir vaqtda jism turli sanoq sistemalariga nisbatan turlicha harakat qiladi.

Masalalarni echishda, odatda yer bilan qo'zg'almas bog'langan sanoq sistema olinadi. Yerga nisbatan qo'zg'almas bo'lgan sanoq sistemasi asosiy yoki «qo'zg'almas» sanoq sistemasi deyiladi.

Jismning fazoda boshqa jismga nisbatan vaziyatini vaqtga bog'liq ravishda o'zgartirishiga **harakat deyiladi.**

Klassik mexanikada moddiy jismlarning harakati uch ulchovli Yevklid fazosiga nisbatan tekshiriladi hamda fazoni absolyut qo'zg'almas deb qaraladi.

Mexanikada vaqt absolyut deb hisoblanadi, ya'ni uni barcha sanoq sistemalari uchun bir xilda utadi deb qaraladi.

Ko'chish va harakat tushunchalari mexanikaning asosiy tushunchalaridir. Biror sanoq sistemasiga nisbatan nuqtaning ma'lum t - vaqt ichida fazoda bir holatdan boshqa holatga ixtiyoriy o'tishi **ko'chish** deyiladi.

Nuqtaning boshlang'ich holatdan oxirgi holatga vaqtga bog'liq holda aniq bir usulda o'tishiga **harakat** deyiladi.

Fazoda harakatlanayotgan nuqtaning biror sanoq sistemasiga nisbatan holati bilan vaqt orasidagi bog'lanishni ifodalovchi tenglama, nuqtaning- **harakat qonuni** deyiladi.

Vaqt o'tishi bilan nuqtaning fazoda qoldirgan iziga uning- **traektoriyasi** deyiladi.

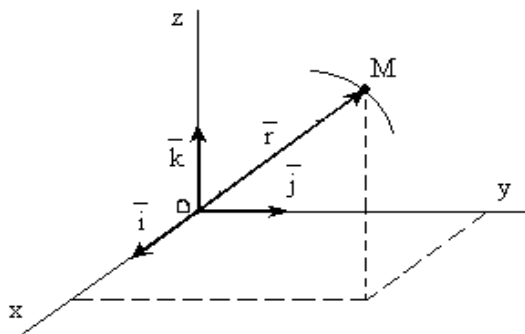
Nuqta harakatining berilish usullari.

Nuqtaning harakati asosan quyidagi uch usulda beriladi.

1) vektor usuli: 2) koordinata usuli: 3) tabiiy usul:

1.Vektor usuli. M nuqta qo'zg'almas OXYZ koordinatalar sistemasiga nisbatan harakatda bo'lsin. O va M nuqtalarni tutashtirib $\vec{r} = \vec{OM}$ radius- vektorni hosil qilamiz (79-rasm).

M nuqta harakatlanganda vaqt o'tishi bilan uning r – radius vektori miqdor va yo'nalish jixatdan o'zgarib boradi.



79- rasm

Demak r - radius - vektor t vaqtning bir qiymatli funksiyasidan iborat ekan, ya'ni

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(t)$$

bu nuqtaning vektor ko'rinishdagi harakat tenglamasi yoki harakat qonuni deyiladi.

2.Koordinata usuli. Harakatdagi M nuqtaning koordinatalarini x, y, z , bilan belgilaymiz. Nuqta harakatlanganda vaqt o'tishi bilan uning koordinatalari o'zgarib boradi, ya'ni x, y, z koordinatalar vaqtning bir qiymatli funksiyasidan iborat bo'ladi.

$$X = f_1(t)$$

$$Y = f_2(t)$$

$$Z = f_3(t)$$

Bu tenglamalar yordamida nuqtaning istalgan paytdagi holatini aniqlash mumkin. Bu tenglamalarga nuqta harakatining koordinatalardagi kinematik tenglamalar deyiladi.

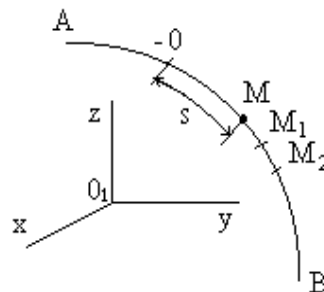
M nuqtaning O koordinatalar boshiga nisbatan radius-vektorini $\mathbf{r}$, birlik vektorlarini

$\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$ bilan belgilasak,

$$\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k}$$

o'rinli bo'ladi. Bu tenglama nuqta harakatining vektorli va koordinata usulida berilishi orasidagi bog'lanishni ifodalaydi.

3. Tabiiy usul. Agar nuqtaning traektoriyasi avvaldan ma'lum bo'lsa nuqtaning harakati tabiiy usulda beriladi. M nuqta biror $OXYZ$ koordinata sistemasiga nisbatan qandaydir AB egri chiziq bo'ylab harakatlanayotgan bo'lsin (39-rasm).



Traektoriya ustidan ixtiyoriy qo'zg'almas

O nuqta tanlab uni sanoq boshi deb ataymiz. Sanoq boshiga nisbatan hisoblangan M nuqtaning yoy koordinatasi S vaqtga bog'liq ravishda o'zgaradi. U holda quyidagi bog'lanishni yozamiz. $S = S(t)$ Bu tenglama nuqtaning harakati tabiiy usulda berilishi tenglamasi deyiladi.

Harakat vektor usulda berilganda nuqtaning tezligi.

Nuqtaning harakati $\mathbf{r} = \mathbf{r}(t)$ tenglama bilan berilgan bo'lsin. Nuqtaning biror t paytdagi traektoriyada egallagan holatini M , radius-vektorini $\mathbf{r}$, $t + \Delta t$ paytdagi holatini M_1 radius vektorini $\mathbf{r}_1$ bilan belgilaylik.

Nuqtaning M va M_1 holatlarini tutashtiruvchi

$\mathbf{MM}_1 = \Delta \mathbf{r}$ vektor nuqtaning $\Delta t = t_1 - t$ vaqt oralig'ida ko'chish vektori deyiladi (39-rasm)

Ko'chish vektori $\Delta \mathbf{r}$ ning shu ko'chish sodir bo'ladigan

Δt vaqtga nisbati nuqtaning o'rtacha tezligi deyiladi.

$$\mathbf{V}_{ur} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}$$

Nuqta o'rtacha tezlik vektorining Δt nolga intilgandagi limiti nuqtaning berilgan ondagi tezlik vektori deyiladi, ya'ni

$$\mathbf{V} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} \quad \text{yoki} \quad \mathbf{V} = \frac{d\mathbf{r}}{dt}$$

Nuqtaning tezlik vektori uning radius-vektoridan vaqt bo'yicha olingan birinchi tartibli hosilasiga teng.

Harakat vektor usulda berilganda nuqtaning tezlanishini aniqlash.

Vaqtga bog'liq ravishda nuqta tezligi moduli va yo'nalishining o'zgarishini harakterlovchi vektor kattalikka tezlanish deyiladi.

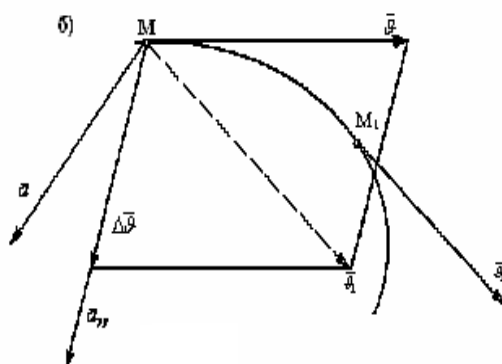
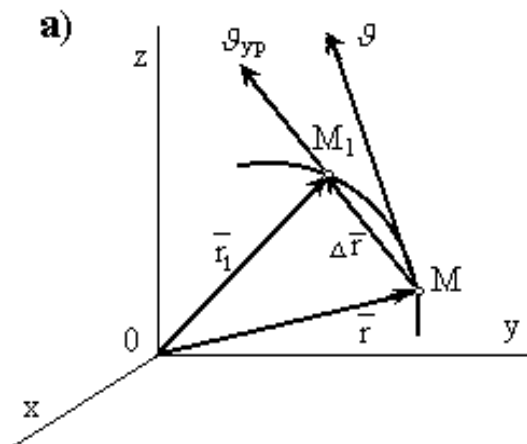
M nuqtaning t paytdagi tezligini $\mathbf{V}$, $t_1 + \Delta t$ paytdagi tezligini $\mathbf{V}_1$ bilan belgilaymiz. (40-rasm) $\mathbf{V}_1$ tezlik vektorini o'ziga parallel ravishda $\mathbf{M}$ nuqtaga ko'chiramiz u holda tezlik vektorining Δt vaqt oralig'idagi ortirmasi

$\Delta \mathbf{V} = \mathbf{V}_1 - \mathbf{V}$ ni topamiz.

Tezlik ortirmasi $\Delta \mathbf{V}$ ning Δt vaqt oralig'iga nisbatan nuqtaning o'rtacha tezlanishi deyiladi.

$$\mathbf{A}_{o'r} = \frac{\Delta \mathbf{V}}{\Delta t}$$

(40-rasm)



41-rasm.

O'rtacha tezlanish vektorining Δt nolga intilgandagi limiti nuqtaning berilgan ondagi - **tezlanish vektori** deyiladi, ya'ni

$$\mathbf{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{V}}{\Delta t} \quad \text{yoki} \quad \mathbf{a} = \frac{d\mathbf{V}}{dt} = \frac{d^2 \mathbf{r}}{dt^2} \quad (53)$$

Demak, nuqtani tezlanish vektori uning tezlik vektoridan vaqt bo'yicha olingan birinchi tartibli hosilasiga yoki radius-vektordan vaqt bo'yicha olingan ikkinchi tartibli hosilaga teng.

Nuqtani harakati koordinata usulida berilganda tezlik va tezlanish.

Nuqtaning $\mathbf{r}$ – radius vektorining koordinata o'qlaridagi proeksiyalari tegishli x, y, z desak, u holda

$\mathbf{V}_x = \frac{dr}{dt}$ shunga ko'ra $\mathbf{r}_x = x$; $\mathbf{r}_y = y$; $\mathbf{r}_z = z$ deb yozamiz.

3 Natijada

$$\mathbf{V}_x = \frac{dx}{dt}; \quad \mathbf{V}_y = \frac{dy}{dt}; \quad \mathbf{V}_z = \frac{dz}{dt}; \quad (54)$$

yo'zish mumkin.

Nuqta koordinatalaridan olingan birinchi tartibli hosila tezlikning koordinata o'qlaridagi proeksiyalariga teng. Tezlikning koordinata o'qlaridagi proeksiyalari ma'lum bo'lsa tezlik moduli quyidagi formuladan topiladi (42-rasm).

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2} \quad (55)$$

Tezlik vektorining koordinata o'qlari bilan tashkil qilgan burchaklari α, β va γ bilan belgilasak tezlik vektorining yo'nalishi quyidagi formulalardan aniqlanadi.

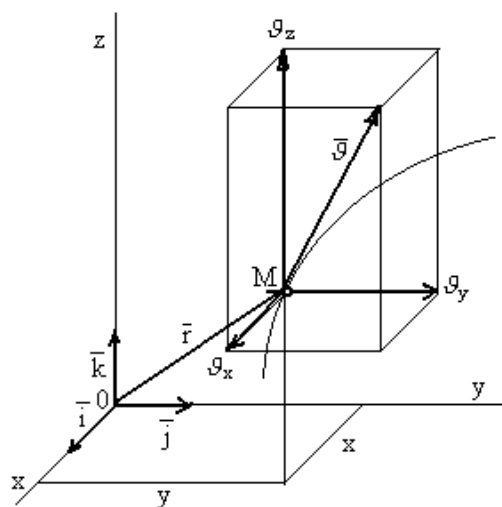
$$\cos \alpha = \frac{V_x}{V}; \quad \cos \beta = \frac{V_y}{V}; \quad \cos \gamma = \frac{V_z}{V} \quad (56)$$

Tezlanish vektori $\mathbf{a} = \frac{dv}{dt}$ ga teng edi.

Tezlanish vektorining o'qlaridagi proeksiyalari

$$\mathbf{a}_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}; \quad \mathbf{a}_y = \frac{dv_y}{dt} = \frac{d^2y}{dt^2};$$

$$\mathbf{a}_z = \frac{dv_z}{dt} = \frac{d^2z}{dt^2}; \quad (57)$$



(rasm-42)

Tezlikning koordinata o'qlaridagi proeksiyalaridan vaqt bo'yicha olingan birinchi, yoki nuqta koordinatalaridan vaqt bo'yicha olingan ikkinchi hosilasi nuqta tezlanishining koordinata o'qlaridagi proeksiyalariga teng.

$$\text{Tezlanish moduli } a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \quad (58)$$

dan topiladi.

Yo'nalishi esa $\cos \alpha_1 = \frac{a_x}{a}$; $\cos \beta_1 = \frac{a_y}{a}$; $\cos \gamma_1 = \frac{a_z}{a}$ (12) dan aniqlanadi.

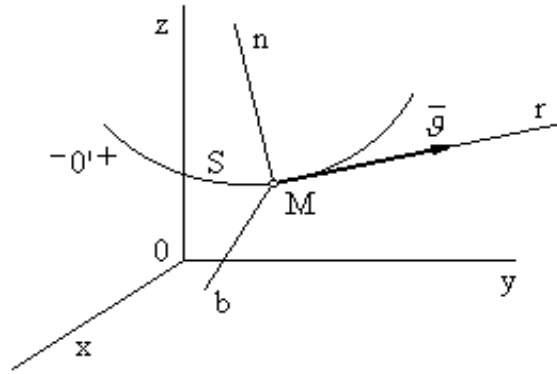
Harakat tabiiy usulda berilganda nuqtaning tezligi va tezlanishi.

Bizga nuqtaning traektoriyasi va uning harakat qonuni $S = f(t)$ berilgan bo'lsin. Faraz qilaylik $\Delta t = t_1 - t$

vaqt oralig'ida moddiy nuqta M holatdan M_1 holatga kelsin.

Bunda u $\Delta S = S_1 - S$ masofaga ko'chadi. (44-rasm)

U holda nuqtaning o'rtacha tezligi $\mathbf{V}_{or} = \frac{S_1 - S}{t_1 - t} = \frac{\Delta S}{\Delta t}$ ga teng



44-rasm.

Nuqtaning har ondagi tezligi

$$\mathbf{V} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta S}{\Delta t} \quad \text{yoki} \quad \mathbf{V} = \frac{dS}{dt} = S \quad (59)$$

nuqtaning har ondagi tezligi masofadan vaqt bo'yicha olingan birinchi tartibli hosilaga teng.

Urinma va normal tezlanish.

Biz tezlanish vektori $\mathbf{a}$ ni uning qo'zg'almas koordinata o'qlaridagi proeksiyalari orqali aniqlagan edik. Harakat tabiiy usulda berilganda nuqtaning tezlanishi nuqta bilan birgalikda harakatlanuvchi $\mathbf{M} \tau \mathbf{n} \mathbf{B}$ koordinata o'qlaridagi proeksiyalari orqali aniqlanadi.

Bu koordinata sistemasining $\mathbf{M} \tau$ - o'qi nuqta traektoriyasiga urinma bo'ylab yo'nalgan, $\mathbf{M} \mathbf{n}$ - o'q esa, traektoriyaning botiq tomoniga va $\mathbf{M} \tau$ o'qga perpendikulyar yo'naladi. $\mathbf{M} \mathbf{B}$ - o'q esa bu ikkala o'qga perpendikulyar yo'naladi. (42-rasm).

4 Bizga ma'lumki tezlik vektori $\mathbf{M} \tau \mathbf{n}$ tekisligida yotibdi. Bu tekislik esa $\mathbf{M} \mathbf{B}$ o'qga perpendikulyar yo'nalgan. Shu sababli tezlikning $\mathbf{M} \mathbf{B}$ o'qdagi proeksiyasi nolga teng. Qolgan ikki o'qdagi proeksiyalarini aniqlaymiz. Faraz qilaylik vaqtning t paytida moddiy nuqta $\mathbf{M}$ holatda bo'lib, tezligi $\mathbf{V}$, $t_1 = t + \Delta t$ paytida esa nuqta $\mathbf{M}_1$ holatni olib tezligi $\mathbf{V}_1$ bo'lsin.

Tezlanish ta'rifiga ko'ra.

$$\mathbf{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{V}}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\mathbf{V}_1 - \mathbf{V}}{\Delta t}$$

Tezlanishning τ va $\mathbf{n}$ o'qlardagi proeksiyalarini $\mathbf{a}_\tau$ va $\mathbf{a}_n$ desak,

$$\mathbf{a}_\tau = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{V_{1\tau} - V_\tau}{\Delta t}, \quad \mathbf{a}_n = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{V_{1n} - V_n}{\Delta t}$$

59-rasmga ko'ra $\mathbf{a}_\tau$ va $\mathbf{a}_n$ larning quyidagi ifodalarini hosil qilamiz.

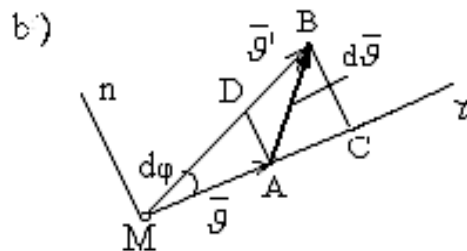
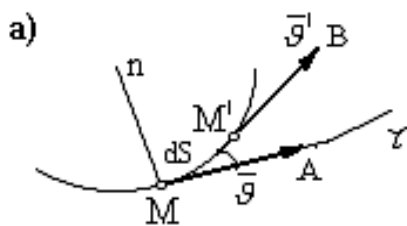
$$\mathbf{a}_\tau = \frac{dv}{dt} \quad \mathbf{B} \mathbf{a} \quad \mathbf{a}_n = \frac{V^2}{p} \quad (60)$$

Nuqtaning to'liq tezlanishi.

$$\mathbf{a} = \sqrt{\mathbf{a}_\tau^2 + \mathbf{a}_n^2} \quad (61)$$

yoki

$$\mathbf{a} = \sqrt{\left(\frac{dv}{dt}\right)^2 + \left(\frac{v^2}{p}\right)^2} \quad (62)$$



$$\operatorname{tg} \mu = \frac{|a_r|}{a_n}$$

1) Nuqtaning to'g'ri chiziqli harakat tenglamasi.

$$\mathbf{a} = \mathbf{a}_\tau = \frac{dv}{dt} \quad (63) \text{ ko'rinishda bo'ladi.}$$

Tekis egri chiziqli harakat tenglamasi

$$\mathbf{a} = \mathbf{a}_n = \frac{V^2}{p} \quad (64) \text{ ko'rinishda bo'ladi.}$$

Tekis to'g'ri chiziqli harakat tenglamasi

$$\mathbf{a}_n = \mathbf{0}; \quad \mathbf{a}_\tau = \mathbf{0}; \quad \mathbf{a} = \mathbf{0}; \quad (65) \text{ bo'ladi.}$$

Tekis o'zgaruvchan egri chiziqli harakat

$$\mathbf{V} = \mathbf{V}_0 + \mathbf{a}_\tau \mathbf{t} \quad (66)$$

2) Garmonik tebranishlar tenglamasi.

$$\mathbf{x} = \mathbf{a} \cos \mathbf{k} \mathbf{t} \quad (67)$$

Masala. Nuqtaning harakat tenglamasi $x = 8t - 4t^2$:

$y = 6t - 3t^2$ ko'rinishda berilgan. Nuqtaning traektoriyasi, tezligi va tezlanishini toping.

Yechish.

$$X = 8t - 4t^2 \mid \cdot 3 \quad 3x = 24t - 12t^2$$

$$Y = 6t - 3t^2 \mid \cdot 4 \quad 4y = 24t - 12t^2$$

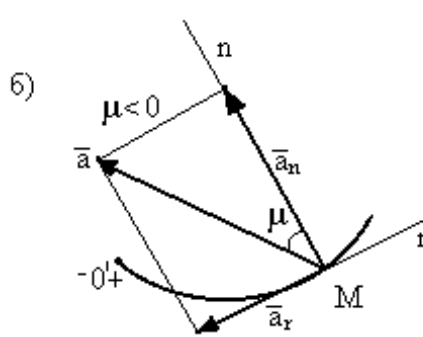
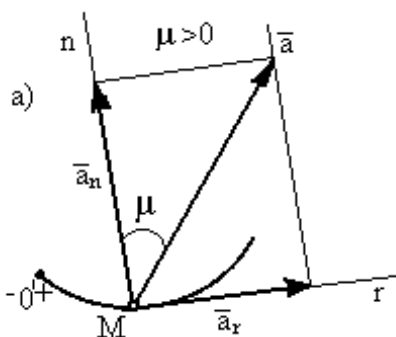
$3x - 4y = 0$ bu nuqta traektoriya tenglamasi, yoki $y = \frac{3}{4}x$

Nuqtaning traektoriyasi to'g'ri chiziqdan iborat ekan.

$$X \mid 0 \mid 1 \mid 2 \mid 4$$

$$Y \mid 0 \mid 0,75 \mid 1,5 \mid 3$$

$$\operatorname{tg} \alpha \frac{3}{4} = 0,75$$



46-rasm.

Nuqtaning tezligini aniqlaymiz.

$$V_x = \frac{dx}{dt} = 8 - 8t = 8(1-t) \quad V_y = \frac{dy}{dt} = 6 - 6t = 6(1-t)$$

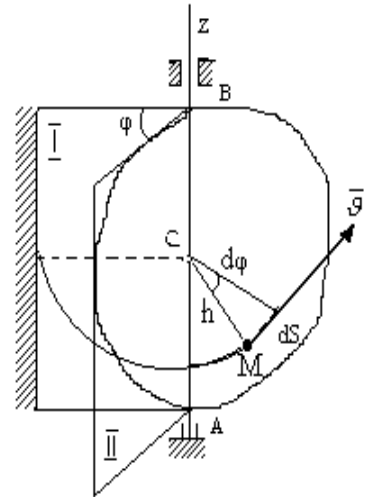
$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} = \sqrt{8^2 (1-t)^2 + 6^2 (1-t)^2} = \sqrt{64+36 (1-t)^2} = 10(1-t) \text{ m/s}$$

$$a_x = \frac{dV_x}{dt} = -8; \quad a_y = -6$$

$$a = \sqrt{(-8)^2 + (-6)^2} = \sqrt{100} = 10 \frac{m}{s^2}$$

NAZORAT SAVOLLARI:

1. Kinematikaning asosiy tushuncha va qoidalari
2. Nuqta harakatlarining berilish usullari
3. Tezlik godografi deganda nimani tushunasiz, uning parametrik tenglamalari?
4. Nuqtaning tezlik va tezlanish moduli qanday aniqlanadi?
5. Tabiiy koordinata sistemasi dekart koordinata sistemasidan qanday farq qiladi?
6. Harakat tabiiy usulda berilganda nuqtaning tezligi qanday aniqlanadi?
7. Nuqtaning urinma tezlanishi qanday formula bilan aniqlanadi?
8. Nuqtaning normal tezlanishi qanday formula yordamida aniqlanadi?
9. Nuqtaning to'liq tezlanishi modulini ifodalovchi tenglama qanday ko'rinishda bo'ladi?
10. Nuqtaning qanday harakatida normal tezlanish nolga teng?



Ma'ruza 4

Aylanma harakat qilayotgan nuqtaning tezligi va tezlanishi.

Reja:

1. Aylanma harakat qilayotgan nuqtaning tezligi

2. Aylanma harakat qilayotgan nuqtaning tezlanishi.

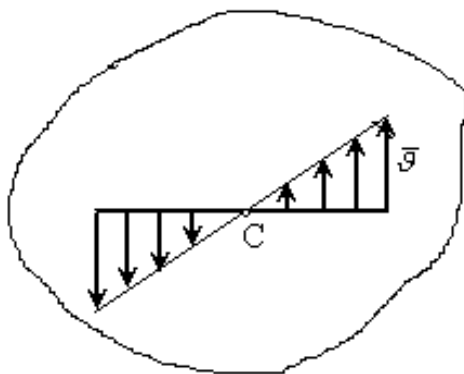
Qo'zgalmas **OZ** uq atrofida ω burchak tezligi bilan aylanuvchi qattiq jism ixtiyoriy **M** nuqtasining tezligini aniqlaymiz. Qattiq jism aylanganda **M** nuqta radiusi **h** ga teng aylana chizadi. Agar **dt** vaqt oralig'ida nuqta elementar **dφ** burchakka burilsa, elementar ko'chish **dS = h dφ** ga teng,

u holda nuqtaning tezligi

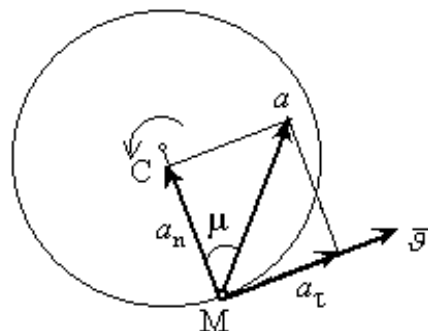
$$V = \frac{dS}{dt} = h \frac{d\varphi}{dt} \quad \text{yoki} \quad V = h\omega \quad (75)$$

bu nuqtaning chiziqli tezligi.

Aylanma harakatlanayotgan jism nuqtasining chiziqli tezligi, aylanish burchak tezligini o'qdan nuqtagacha bo'lgan masofa ko'paytmasiga teng. (45-rasm).



44-rasm



45-rasm

Nuqtaning chiziqli tezlik vektori $\mathbf{V}$ nuqta traektoriyasini ifodalovchi aylanaga harakat yo'nalishi bo'yicha o'tkazilgan urinma bo'ylab yo'nalgan bo'ladi. $\mathbf{M}$ nuqtaning $\mathbf{a}$ tezlanishini topish uchun

$$a_\tau = \frac{dv}{dt} \text{ va } a_n = \frac{V^2}{\rho} \text{ lardan foydalanamiz.}$$

Bu hol uchun $\rho = h$ (29) ni e'tiborga olsak

$$a_\tau = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt}(h\omega) = h \frac{d\omega}{dt} = h\varepsilon$$

$$a_\tau = h\varepsilon \quad (76)$$

$$a_n = \frac{V^2}{\rho} = \frac{(h \cdot \omega)^2}{h} \quad a_n = h \omega^2 \quad (77)$$

a_τ urinma tezlanish traektoriyaga urinma bo'ylab (agar jism tezlanuvchi harakat qilayotgan bo'lsa harakat yo'nalishi bo'ylab, agar jism sekinlanuvchan harakat qilayotgan bo'lsa harakatga teskari tomonga yo'nalgan bo'ladi), a_n normal tezlanish har doim h radius bo'ylab aylanish o'qi tomon yo'nalgan bo'ladi.

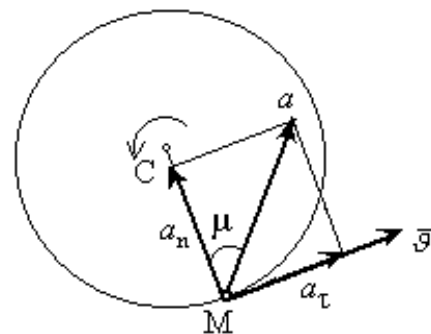
$\mathbf{M}$ nuqtaning to'liq tezlanishi $\mathbf{a}$; $a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2}$ dan aniqlanadi yoki

$$a = \sqrt{\left(\frac{dv}{dt}\right)^2 + \left(\frac{v^2}{\rho}\right)^2} = \sqrt{h^2 \varepsilon^2 + \omega^4 h^2} \quad \text{yoki}$$

$$a = h \sqrt{\varepsilon^2 + \omega^4} \quad (78)$$

$$\operatorname{tg} \mu = \frac{|a_\tau|}{a_n} = \frac{|\varepsilon|}{\omega^2} \quad (79)$$

Aylanma harakat qilayotgan nuqtaning tezlanishi.



$\mathbf{V} = \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}$ dan hosila olamiz.

$$\mathbf{a} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{d\boldsymbol{\omega}}{dt} \times \mathbf{r} + \boldsymbol{\omega} \times \frac{d\mathbf{r}}{dt}$$

bunda $\frac{d\boldsymbol{\omega}}{dt} = \boldsymbol{\varepsilon}$; $\frac{d\mathbf{r}}{dt} = \mathbf{v} = \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}$

$$\operatorname{tg} \mu = \frac{|a_\tau|}{a_n} = \frac{|\boldsymbol{\varepsilon}|}{\omega^2}$$

urniga quyamiz.

$$\mathbf{a} = \boldsymbol{\varepsilon} \times \mathbf{r} + \boldsymbol{\omega} \times (\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}) \quad \text{yoki} \quad \mathbf{a} = \boldsymbol{\varepsilon} \times \mathbf{r} + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{v} \quad (88)$$

$$\mathbf{a}_1 = \boldsymbol{\varepsilon} \times \mathbf{r}; \quad \mathbf{a}_2 = \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{v}; \quad (89)$$

$\mathbf{a}_1$ tezlanishga aylanma tezlanish $\mathbf{a}_2$ ga esa o'qqa intilma tezlanish deyiladi. $\mathbf{a}_1$ tezlanish vektori M nuqta orqali o'tuvchi tekislikka perpendikulyar yo'nalgan bo'ladi $\mathbf{a}_2$ tezlanish vektori bir vaqtning o'zida ham $\mathbf{V}$ va $\boldsymbol{\omega}$ larga perpendikulyar yo'naladi. Ularning modullari

$$a_1 = \varepsilon r \sin \beta = \varepsilon h; \quad a_2 = \omega v \sin 90^\circ = \omega^2 h$$

formuladan aniqlanadi.

Shunday qilib $\mathbf{a} = \mathbf{a}_1 + \mathbf{a}_2 \quad (90)$

NAZORAT SAVOLLARI:

1. Aylanma harakat tenglamasi?
2. Aylanma harakat qilayotgan qattiq jismning burchak tezlik va burchak tezlanish modullari qanday formula bilan aniqlanadi?
3. Qo'zgalmis uq atrofidagi aylanma harakat qilayotgan qattiq jism burchak tezlik va burchak tezlanish vektorlari qanday yo'nalgan bo'ladi?
4. Aylanma harakat qilayotgan nuqtaning chiziqli tezligi qanday formula orqali ifodalanadi.?
5. Aylanma harakat qilayotgan nuqtaning chiziqli tezlanishi qanday formula orqali ifodalanadi.?
6. Eyler formulasi qanday ko'rinishda bo'ladi?
7. Aylanma harakat qilayotgan nuqtaning tezlik vektori qanday ifodalanadi.?
8. Aylanma harakat qilayotgan nuqtaning tezlanish vektori qanday ifodalanadi.?

Ma'ruza 5

Dinamika. Dinamikaning asosiy tushuncha va qoidalari.

Reja:

1. **Dinamikaning asosiy tushunchalari.**
2. **Dinamikaning asosiy qonunlari**
3. **Erkin va erkin bo'lmagan moddiy nuqtalar uchun dinamika masalalari.**

Kuchlar ta'siridagi moddiy nuqtalarning harakat qonunlarini o'rganuvchi nazariy mexanikaning bir bo'limiga **dinamika** deyiladi.

Jismlarning harakati sof geometrik nuqtai nazardan kinematika bo'limida o'rganilgan edi. Dinamika kinematikadan shu bilan farq qiladiki, kuchlar ta'siridagi jismlarning harakatini, hamda inersiyasiga ko'ra harakatlanayotgan jismlarni ham o'rganadi.

Jismlar o'zaro ta'sirining miqdoriy ulchovini harakterlovchi kattalik **kuch** statika bo'limida o'rganilgan edi. Lekin statikada jismlarga ta'sir etuvchi kuchlar o'zgarmas deb hisoblangan. Harakatdagi jismlarga o'zgarmas kuchlardan tashqari, jismlarning harakati tufayli ham kattaligi va yo'nalishi o'zgaruvchi kuchlar ham ta'sir etadi.

Tajribalar ko'rsatadiki kuchlar vaqtga, jismning holatiga va uning tezligiga qarab o'zgarishi mumkin.

Vaqtga bog'liq ravishda o'zgaruvchi kuchlarga misol qilib, reostatlarni, ketma-ket qo'shish yoki o'sish natijasida hosil bo'luvchi elektrovozning tortish kuchini ko'rsatish mumkin.

Jismning holatiga qarab o'zgaruvchi kuchlar elastiklik kuchlari bo'lib hisoblanadi. Jismning tezligiga qarab o'zgaruvchi kuchlarga muhitning qarshilik kuchlari kiradi.

Jism harakati faqat unga qo'yilgan kuchgagina bog'liq bo'lmay uning inertligiga ham bog'liq. Jismning inertligi deb unga qo'yilgan kuchlar ta'sirida o'z tezligini yoki tinch holatini tez yoki sekin o'zgartira olish xususiyatiga aytiladi. Bir kuchning birin-ketin ikki jismga ta'sirida birinchisining tezligi ikkinchisining nisbatan sekin o'zgarsa, birinchi jism ikkinchisiga nisbatan inertliroq deyiladi. Jismning inertligini miqdor jihatdan ifodalovchi fizik kattalik jismning massasi deyiladi. Biz o'rganayotgan mexanika klassik mexanika deyilib, bunda jism massasi o'zgarmas, skalyar va musbat kattalik deb qaraladi.

Harakatini o'rganishda o'lchamlari ahamiyatga ega bo'lmagan, lekin massaga ega moddiy jismga **moddiy nuqta** deyiladi.

Dinamika masalasi, jismga ta'sir etuvchi kuchlar bilan uning harakatining kinematik xarakteristikalarini o'rtasidagi bog'lanish qonunlarini aniqlashdan iborat.

9.2. Dinamikaning asosiy qonunlari.

Dinamikaning asosida tajriba va kuzatishlarda aniqlangan va Galiley-Nyuton qonunlari deb ataluvchi quyidagi qonunlar yotadi. Bu qonunlar birinchi marta sistemali ravishda I. Nyuton tomonidan 1687 yilda chop etilgan «Natural falsafaning matematik asoslari» nomli asarida bayon qilingan.

1-qonun (inersiya qonuni). Bu qonuni 1638 yilda G. Galiley tomonidan ochilgan.

Tashqi muhitdan ajratilgan moddiy nuqta tashqi kuch ta'sir etmaguncha o'zining tinch holatini yoki to'g'ri chiziqli tekis harakatini saqlaydi.

Binobarin moddiy nuqta o'z tezligini o'zicha o'zgartira olmaydi va o'z-o'ziga tezlik bera olmaydi. Agar $\mathbf{F}=\mathbf{0}$ bo'lsa moddiy nuqta tinch turgan bo'ladi yoki o'zgarmas tezlik bilan harakatlanayotgan bo'ladi ($\mathbf{a}=\mathbf{0}$). Qonunga muvofiq moddiy nuqtaning tinch holatini yoki to'g'ri chiziqli tekis harakatini saqlashiga **inersiya** deyiladi.

Inersiya qonuni bajariladigan sanoq sistema inersial sanoq sistemasi deyiladi. Markazida quyosh o'qlari yulduzlarga tomon yo'nalgan koordinata sistemasi **inersial sistema** deb qarash mumkin. Texnikada uchraydigan ko'pgina masalalarni echishda yer bilan bog'langan koordinatalar sistemasi inersial sistema bo'la oladi.

2-qonun (dinamikaning asosiy qonuni).

Nuqtaning massasini tezlanishga bo'lgan ko'paytma tezlanish beruvchi kuchga miqdor jixatdan teng, tezlanish va kuchning yo'nalishi bir tomonga yo'nalgan bo'ladi.

$$\mathbf{ma} = \mathbf{F} \quad (104)$$

ularning modullari orasida quyidagi tenglik o'rinli

$$ma = F$$

bundan nuqtaning tezlanishi

$$a = \frac{F}{m}$$

Agar moddiy nuqtaga bir vaqtning o'zida bir nechta kuch ta'sir etayotgan bo'lsa ikkinchi asosiy qonun quyidagi ko'rinishda bo'ladi.

$$\mathbf{ma} = \mathbf{R} \quad \text{yoki} \quad \mathbf{ma} = \sum \mathbf{F}_k \quad (105)$$

Jism og'irligi va uning massasi yer sirtiga yaqin bo'lgan barcha jismlarga jismning og'irligiga teng bo'lgan P og'irlik kuchi ta'sir etadi. Tajribalar ko'rsatadiki, barcha jismlar og'irlik kuchi ta'sirida yer sirtiga erkin tushishida bir xil $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ tezlanish bilan tushadi. Bu tezlanishga erkin tushish tezlanishi deyiladi. U holda (1) ga ko'ra erkin tushayotgan jismlar uchun quyidagini yozamiz.

$$P = m g \quad \text{yoki} \quad m = \frac{P}{g} \quad (106)$$

Jism og'irligi, jism massasini erkin tushish tezlanishiga ko'paytmasiga teng.

3-qonun. (Ta'sir va aks ta'sirining tenglik qonuni).

Ikkita moddiy nuqta bir-biri bilan miqdor jixatdan teng bir to'g'ri chiziq bo'ylab qarama-qarshi yo'nalgan kuchlar bilan ta'sirlashadi.

Erkin va erkin bo'lmagan moddiy nuqtalar uchun dinamika masalalari.

Erkin moddiy nuqtalar uchun dinamika masalalari 2 ta. Moddiy nuqtalarning harakat qonunlarini bilgan holda ularga ta'sir etuvchi kuchlarni aniqlash. Bu dinamikaning birinchi masalasi. Moddiy nuqtalarga ta'sir etuvchi kuchlarni bilgan holda ularni harakat qonunlarini aniqlash. Bu dinamikaning ikkinchi masalasi yoki asosiy masalasi. Bu ikkala masala (1) formula yordamida echiladi.

Texnikada ko'pincha erkin bo'lmagan jismlar bilan ish kurishga to'g'ri keladi. Bunday hollarda xuddi statikadadek erkin bo'lmagan jismlarni ham erkin jismlar deb qarab ya'ni bog'lanishlarni N reaksiya kuchlari bilan almashtirish mumkin. U holda dinamikaning asosiy qonunini erkin bo'lmagan jismlar uchun quyidagicha yozamiz.

$$ma = F_{ak} = N \quad (107)$$

bu erda F_{ak} – aktiv kuchlar

Erkin bo'lmagan jismlar uchun dinamikaning birinchi masalasi quyidagidan iborat.

Nuqtani harakat qonunini va unga ta'sir etuvchi aktiv kuchlarni bilgan holda bog'lanish reaksiyalarini aniqlash.

Dinamikani ikkinchi masalasi: nuqtaga ta'sir etuvchi aktiv kuchni bilgan holda a) nuqtaning harakat qonuni b) bog'lanish reaksiyalarini aniqlashdan iborat.

Dinamikaning bu ikki masalasi quyidagicha echiladi.

Agar nuqtaning tezlanishi berilgan bo'lsa unga ta'sir etuvchi kuch yoki bog'lanish reaksiyalarini (1) yoki (4) formulalar bilan aniqlash mumkin. Tezlanish to'g'ridan to'g'ri berilmagan bo'lsa u holda tezlanishini kinematikadagi formulalar orqali topiladi

NAZORAT SAVOLLARI:

1. Dinamika qoidalari
2. Dinamika masalalari.
3. Inertlik deb nimaga aytiladi.
4. Dinamikaning nechta masalasi bor.
5. Jismning massasi deb nimaga aytiladi.

Ma'ruza 6

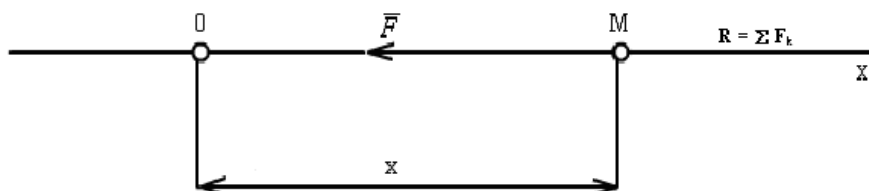
Moddiy nuqta harakatining differensial tenglamalari.

Reja:

1. Nuqtaning to'g'ri chiziqli harakati.
2. Nuqtaning egri chiziqli harakati
3. Moddiy nuqta nisbiy harakatining differensial tenglamalari

Bizga kinematikadan ma'lumki, nuqtaning to'g'ri chiziqli harakatida uning tezligi va tezlanishi shu to'g'ri chiziq bo'ylab yo'nalgan bo'ladi. Nuqtaning tezlanishi nuqtaga ta'sir etuvchi kuchning yo'nalishi bilan bir xil bo'ladi.

$\mathbf{R} = \sum \mathbf{F}_k$ kuch ta'sirida to'g'ri chiziq bo'ylab harakatlanayotgan moddiy nuqtaning harakatini ko'rib chiqamiz. (37-rasm).



Nuqtaning traektoriyadagi holatini x koordinatasi orqali aniqlanadi. Dinamikaning asosiy masalasi shundan iboratki $\mathbf{R} = \sum \mathbf{F}_k$ ni bilgan holda, nuqtaning harakat qonunini, ya'ni $x = f(t)$ ni aniqlashdan iborat x bilan R orasidagi bog'lanish (2) formula orqali ifodalanadi. Uning x o'qdagi proektsiyasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi.

$$m a_x = R_x = \sum F_{kx}$$

bu erda

$$a_x = \frac{d^2 x}{dt^2}$$

buni e'tiborga olsak

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = \sum F_{kx} \quad (108)$$

(5) tenglamaga nuqtaning to'g'ri chiziqli harakatining differensial tenglamasi deyiladi. Ko'pincha (5) differensial tenglamani birinchi tartibli hosilali ikkita tenglama bilan almashtiriladi.

$$m \frac{dv_x}{dt} = \sum F_{kx} \quad (109)$$

$$\frac{dx}{dt} = v_x \quad (110)$$

Masalalarni echish jarayonida tezlikni vaqtga bog'liqligi ifodasini emas, balki tezlikni nuqtaning koordinatasiga bog'liqlik ifodasini qidirishga to'g'ri keladi. Shuning uchun (6) tenglamani chap tomonini quyidagicha o'zgartiramiz.

$$\frac{dv_x}{dt} = \frac{dv_x}{dx} \cdot \frac{dx}{dt} = v_x \frac{dv_x}{dx}$$

U holda (6) tenglama quyidagi ko'rinishni oladi.

$$m v_x \frac{dv_x}{dx} = \sum F_{kx} \quad (111)$$

(6)ning ung tomonidagi kuch vaqt t ga , nuqtaning holatiga, ya'ni x ga va uning tezligiga, ya'ni $v_x = \frac{dx}{dt}$ bog'liq. Umumiy holda (6) tenglama quyidagi ikkinchi tartibli differensial tenglama ko'rinishida bo'ladi.

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = \Phi \left(t, x, \frac{dx}{dt} \right) \quad (112)$$

- (8) tenglamani echish uchun uni ikki marta integrallash lozim.
- (8) ning umumiy echimi quyidagi ko'rinishda bo'ladi.

$$x = f(t, C_1, C_2) \quad (113)$$

bu erda C_1, C_2 – integral doimiylari.

C_1 va C_2 larni qiymatlari boshlang'ich shart deb atalmish shartdan foydalanib topiladi.

Har qanday harakat vaqtning qandaydir paytidan, ya'ni boshlang'ich momentdan boshlab o'rganiladi. Shu momentdan boshlab vaqtni hisoblash boshlanadi. Boshlang'ich momentda vaqt $t = 0$ deb olinadi. Boshlang'ich momentda nuqtaning holati boshlang'ich holat, shu momentda nuqtaning tezligi boshlang'ich tezlik deyiladi.

Nuqtaning to'g'ri chiziqli harakatida boshlang'ich shart quyidagi ko'rinishda bo'ladi.

$$t = 0 \text{ da } x = x_0; \quad V_x = V_0 \quad (114)$$

Boshlang'ich shartdan foydalanib C_1 va C_2 larning qiymatlarini aniqlash mumkin. U holda (9) tenglama quyidagi ko'rinishni oladi

$$x = f(t_1, x_0, v_0) \quad (115)$$

Bu nuqtaning harakat tenglamasi.

Nuqtaning egri chiziqli harakati.

$F_1, F_2, \dots, F_n$ kuchlar sistemasi ta'siridagi erkin moddiy nuqtaning harakatini kurib chiqamiz. (32-rasm). OXYZ qo'zg'almas koordinata sistemasini utkazamiz. $ma = \sum F_k$ tenglikning har ikkala tomonini proeksiyalaymiz; hamda

$$a_x = \frac{d^2x}{dt^2} \text{ ekanligini e'tiborga olsak quyidagilarni hosil qilamiz.}$$

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = \sum F_{kx}; \quad m \frac{d^2y}{dt^2} = \sum F_{ky}; \quad m \frac{d^2z}{dt^2} = \sum F_{kz} \quad (116)$$

Bu nuqta egri chiziqli harakatining differensial tenglamalarini koordinata o'qlaridagi proeksiyalari.

(12) tenglamalar yordamida dinamikani birinchi hamda ikkinchi masalasi echiladi. Dinamikaning asosiy masalasini echish uchun, nuqtaga ta'sir etuvchi kuchlardan tashkari boshlang'ich shartlarni ya'ni, boshlang'ich paytda nuqtaning tezligi va holatini bilish kerak. $t = 0$ da boshlang'ich shartning OXYZ koordinata o'qlaridagi ko'rinishi quyidagicha bo'ladi.

$$\begin{aligned} x = x_0, \quad y = y_0, \quad z = z_0; \\ V_x = V_{x0}, \quad V_y = V_{y0}, \quad V_z = V_{z0} \end{aligned} \quad (117)$$

Moddiy nuqta nisbiy harakatining differensial tenglamalari.

Dinamika qonunlari va ular asosida olingan hamma tenglamalarni shu paytgacha moddiy nuqtaning absolyut harakati uchun, ya'ni moddiy nuqtaning inersial sanoq sistemasiga nisbatan harakati uchun o'rinni deb karadik. Endi moddiy nuqtaning inersial bo'lmagan sanoq sistemasiga nisbatan harakatini tekshiramiz.

Faraz qilaylik, massasi m bo'lgan M moddiy nuqta $F_1, F_2, \dots, F_n$ kuchlar ta'sirida biror OXYZ sanoq sistemasiga nisbatan harakatlansin, biroq bu sistemaning o'zi ham boshqa bir inersial $O_1X_1Y_1Z_1$ sanoq sistemasiga nisbatan ma'lum qonun asosida harakatlanayotgan bo'lsin.

Nuqtaning absolyut harakati uchun dinamikaning asosiy qonuni quyidagi ko'rinishda yozamiz:

$$ma_a = \sum F_k \quad (117)$$

Bizga kinematikadan ma'lumki absolyut tezlanish

$$a_a = a_n + a_k + a_{kop} \quad (55) \text{ ga teng edi.}$$

(55) ni (54) ga kuysak va $a_n = a$ belgilasak.

$$ma = \sum F_k + (-ma_k) + (-ma_{kop}) \quad \text{hosil bo'ladi.}$$

quyidagi belgilashlarni kiritamiz.

$$F_k^u = -ma_k; \quad F_{kop}^u = -ma_{kop}$$

bu erda F_k^u - ko'chirma inersiya kuchi

F_{kop}^u - Koriolis inersiya kuchi.

$$\mathbf{ma} = \sum \mathbf{F}_k + \mathbf{F}_k^u + \mathbf{F}_{kop}^u \quad (118)$$

(56) tenglama moddiy nuqta nisbiy harakati differensial tenglamasi deyiladi.

(54) va (56) tenglamalarni solishtirsak nuqtaning nisbiy harakati differensial tenglamasini hosil qilish uchun nuqtaning boshqa nuqtalar bilan ta'sirlashuvi kuchlari qatoriga ko'chirma va Koriolis inersiya kuchlarini qo'shish lozim.

1. Qo'zg'aluvchan sanoq sistemasi ilgarilanma harakatda bo'lsin. U holda

$\omega = 0$ bo'lib $\mathbf{F}_{kop}^u = 0$ bo'ladi.

Moddiy nuqta nisbiy harakatning differensial tenglamasi.

$$\mathbf{ma} = \sum \mathbf{F}_k + \mathbf{F}_k^u \quad \text{ko'rinishda bo'ladi.}$$

2. Qo'zg'aluvchan sanoq sistemasi ilgarilanma va to'g'ri chiziqli teng ulchovli harakatda bo'lsin, u holda

$\mathbf{F}_k^u = \mathbf{F}_{kop}^u = 0$ bo'lib differensial tenglama quyidagi ko'rinishda bo'ladi.

$$\mathbf{ma} = \sum \mathbf{F}_k$$

3. Nuqta qo'zg'aluvchan sanoq sistemasiga nisbatan to'g'ri chiziqli va teng ulchovli harakatlansin, bu holda $a = 0$ va $V_H = V = 0$ bo'ladi shuningdek $\mathbf{F}_{kop}^u = 0$ bo'ladi, chunki $a_{kop} = 2 \omega V_A \sin \alpha$ U holda (56) tenglama quyidagi ko'rinishni oladi.

$$\sum \mathbf{F}_k + \sum \mathbf{F}_{kop}^u = 0 \quad (119)$$

Bu moddiy nuqtaning nisbiy muvozanat tenglamasi.

NAZORAT SAVOLLARI:

1. Nuqtaning to'g'ri chiziqli harakati haqida nima bilasiz.
2. Moddiy nuqta nisbiy harakatining differensial tenglamalari.
3. Nuqtaning egri chiziqli harakati

Ma'ruza 7

Sistemaning harakat miqdori.

Reja:

1. Nuqtaning harakat miqdori va nuqta va sistemaning kinetik energiyasi.
2. Qattiq jismning ilgarilanma harakati
3. Qattiq jismning qo'zg'almas o'q atrofida aylanma harakati.
4. Aylanma harakat qilayotgan nuqtaning tezligi
5. Qattiq jismning tekis parallel harakati. Tekis parallel harakat tenglamalari.

Kuch impulsi. Kuchning jismga biror vaqt oralig'ida ko'rsatadigan ta'sirini kuch impulsi degan kattalik aniqlaydi. Avvalo elementar kuch impulsi tushunchasini kiritamiz.

Kuch vektorini elementar vaqt oralig'iga ko'paytmasiga teng vektor kattalikka aytiladi.

$$d\mathbf{S} = \mathbf{F} \cdot d\mathbf{t} \quad (134)$$

Kuch impulsi kuch bilan bir tomonga yo'nalgan $\mathbf{F}$ kuchning biror t_1 vaqt oralig'iga ko'paytmasiga kuch impulsi deyiladi.

$$\mathbf{S} = \int_0^{t_1} \mathbf{F} dt \quad (135)$$

Kuch impulsining koordinata o'qlaridagi proeksiyalari quyidagi ko'rinishda bo'ladi

$$S_x = \int_0^{t_1} F_x dt; \quad S_y = \int_0^{t_1} F_y dt; \quad S_z = \int_0^{t_1} F_z dt \quad (136)$$

Nuqtaning harakat miqdori .

Nuqta massasini uning tezligiga ko'paytmasiga teng vektor kattalikka nuqtaning harakat miqdori deyiladi va mv bilan belgilanadi. Ulchov birligi 1 kg m/s nuqtaning harakat miqdori vektori tezlik vektori kabi traektoriyaga urinma bo'ylab yo'nalgan bo'ladi.

Nuqta va sistemaning kinetik energiyasi.

Moddiy nuqta kinetik energiyasi deb uning massasini tezligi kvadratiga ko'paytmasining yarmiga teng skalyar kattalikka aytiladi va $\frac{m_k v^2}{2}$ bilan belgilanadi.

Mexanik sistema kinetik energiyasi deb sistemani tashkil qilgan nuqtalar kinetik energiyalarining arifmetik yig'indisiga teng skalyar kattalikka aytiladi, uni, T harfi bilan belgilasak, u quyidagicha aniqlanadi:

$$T = \sum \frac{m_k v_k^2}{2} \quad (137)$$

Kinetik energiya sistemaning ilgarilanma va aylanma harakatining harakteristikasi bo'lib hisoblanadi. Shuning uchun massalar echishda sistema kinetik energiyasining o'zgarishidan ko'prok foydalaniladi. Sistemaning kinetik energiyasi T avval utilgan sistemaning harakat miqdori Q va sistemaning kinetik momenti L_0 dan shu bilan fark qiladiki u doimo musbat va skalyar kattalikdir.

Yana bir muxim hol shundan iboratki, ichki kuchlar sistemaning qismlariga o'zaro qarama-qarshi yo'nalishda ta'sir ko'rsatishligi tufayli ular mexanik harakatning vektor ulchovlari (harakat miqdori, kinetik momentlari)ni o'zgartira olmas edi. Lekin ichki kuchlar ta'siridan sistema nuqtalari tezliklarining moduli o'zgarsa sistemaning kinetik energiyasi o'zgaradi.

Agar sistema jismlar tuplamidan iborat bo'lsa, u holda sistemaning kinetik energiyasi

$$T = \sum T_k \quad (138)$$

1) formula bilan aniqlanadi.

2) Endi sistemaning turli harakatlarida kinetik energiyalarini hisoblash formulalarini keltirib chiqaramiz.

Ilgarilanma harakat. Qattiq jism ilgarilanma harakat qilayotgan bo'lsa, uning barcha nuqtalari massa markazining tezligiga teng tezlik bilan harakat qiladi, ya'ni

$$\mathbf{V}_k = \mathbf{V}_c$$

u holda (57) formula quyidagi ko'rinishni oladi.

$$T_{il-ma} = \frac{1}{2} \sum m_k v_k^2 = \frac{1}{2} (\sum m_k) V_c^2 = \frac{1}{2} M V_c^2$$

yoki

$$T_{il-ma} = \frac{1}{2} M V_c^2$$

Demak, ilgarilanma harakatda jismning kinetik energiyasi massasi butun sistema massasiga teng sistema ixtiyoriy nuqtasining kinetik energiyasiga teng.

2) Qo'zg'almas o'q atrofida aylanma harakatdagi jismning kinetik energiyasi. Qo'zg'almas o'q atrofida aylanayotgan jismning kinetik energiyasini, uning biror m_k nuqtasining tezligini $\mathbf{V}_k = \boldsymbol{\omega} \cdot \mathbf{h}_k$ bilan ifodalanishini e'tiborga olib hisoblash mumkin, bu erda h_k - m_k moddiy nuqtadan aylanish o'qigacha bo'lgan masofa, ω - jismning burchakli tezligi u holda (57) formula quyidagi ko'rinishni oladi.

$$T_{ay-ma} = \frac{1}{2} \sum m_k v_k^2 = \frac{1}{2} \sum m_k \omega^2 h_k^2 = \frac{1}{2} (\sum m_k h_k^2) \omega^2$$

yoki

$$T_{ay-ma} = \frac{1}{2} J_z \omega^2 \quad (140)$$

Ya'ni qo'zg'almas o'q atrofida aylanayotgan jismning kinetik energiyasi jismning aylanish o'qiga nisbatan inersiya momentini uning burchak tezligi kvadratiga ko'paytmasining yarmiga teng.

Qattiq jismning ilgarilanma harakati.

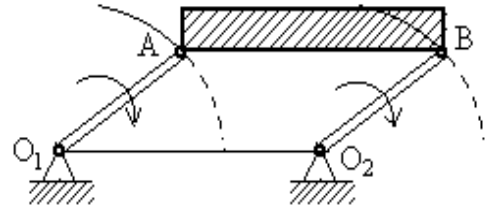
Jismdan olingan har qanday kesma harakat davomida doimo o'zining boshlang'ich holatiga parallel ravishda kuchsa, jismning bunday harakatiga ilgarilanma harakat deyiladi. Masalan, velosipedning pedali.

Jism qo'zg'almas OXYZ koordinata sistemasiga nisbatan ilgarilanma harakatda bo'lsin. (44-rasm).

Teorema. Ilgarilanma harakatdagi jismning hamma nuqtalari bir xil traektoriya chizadi va har onda bir xil tezlik hamda bir xil tezlanishga ega bo'ladi.

Jismning ikkita A va B nuqtalarini olamiz.

Jism absolyut qattiq jism bo'lganligi uchun bu nuqtalar orasidagi masofa uning har qanday holatida ham o'zgarmasdan qoladi.



46-rasm.

Jismning A va B nuqtalarini koordinata boshi O nuqta bilan tutashtirib $\mathbf{r}_A$ va $\mathbf{r}_B$ radius vektorlarini utkazamiz, u holda qo'yiidagi tenglik o'rinli bo'ladi.

$$\mathbf{r}_A = \mathbf{r}_B + \mathbf{AB}$$

bu tenglikdan vaqt bo'yicha hosila olamiz.

$$\frac{d\mathbf{r}_B}{dt} = \frac{d\mathbf{r}_A}{dt} + \frac{d(\mathbf{AB})}{dt}; \quad \text{u holda} \quad \mathbf{V}_B = \mathbf{V}_A \quad (68)$$

bunda
$$\frac{d(\mathbf{AB})}{dt} = 0$$

Bu tenglik ilgarilanma harakatdagi jism barcha nuqtalarining har ondagi tezliklari bir xil bo'lishini ifodalaydi.

Oxirgi tenglikdan hosila olamiz.

$$\frac{d\mathbf{v}_B}{dt} = \frac{d\mathbf{v}_A}{dt}; \quad \text{yoki} \quad \mathbf{a}_B = \mathbf{a}_A$$

(69)

Jism ilgarilanma harakatlanganda uning barcha nuqtalari bir xil tezlanishga ega bo'ladi.

Shunday qilib teorema isbotlandi.

Qattiq jismning qo'zg'almas o'q atrofidagi aylanma harakati.

Ikki nuqtasi doimo qo'zg'almasdan qoladigan jismning harakati qo'zg'almas o'q atrofidagi aylanma harakat deyiladi. Qo'zg'almas nuqtalar orqali o'tuvchi chiziqqa aylanish o'qi deyiladi.

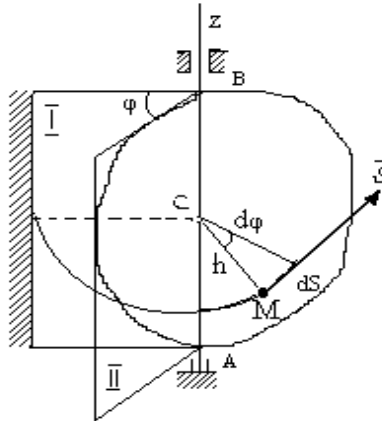
Jismning qo'zg'almas o'q atrofidagi aylanma harakatining kinematik karakteristikalarini keltirib chiqarish uchun, aylanish o'qiga biriktirilgan Π tekislikni, hamda jismga biriktirilgan Π_1 tekislikni utkazamiz (47-rasm). Bu tekisliklar orasidagi φ burchakka jismning aylanish burchagi deyiladi. Jism O Z o'q atrofida aylanganda uning aylanish burchagi φ vaqtning funksiyasi sifatida o'zgaradi.

$$\varphi = \varphi(t) \quad (70)$$

Bu jismning qo'zg'almas o'q atrofidagi aylanma harakat tenglamasi deyiladi.

Jismning qo'zg'almas o'q atrofidagi aylanma harakatining t vaqtdagi aylanish burchagini φ , $t_1 = t + \Delta t$ vaqtdagi aylanish burchagini $\varphi_1 = \varphi + \Delta\varphi$ bilan belgilaymiz, u holda o'rtacha burchak tezlik quyidagi ko'rinishda bo'ladi.

$$\omega_{o'r} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$$



(47-rasm.)

Jismning berilgan ondagi burchak tezligi.

$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$$

yoki
$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} \quad (71)$$

Burilish burchagidan vaqt bo'yicha olingan hosilaga burchak tezligi deyiladi, ulchov birligi 1rad/s; $\varphi = \varphi_0 + \omega t$ tekis aylanma harakat tenglamasi.

Jism bir marta to'liq aylanganda aylanish burchagi $\omega = 2\pi$ bo'ladi. Jism bir dakikada n marta aylansa

$$\varphi = \frac{2\pi n}{60} = \frac{\pi n}{30} \text{ s}^{-1} \quad (72)$$

Jismning biror t vaqtdagi burchak tezligi ω , $t_1 = t + \Delta t$ vaqtdagi burchak tezligi $\omega_1 = \omega + \Delta\omega$ ga o'zgarsa, u holda o'rtacha burchakli tezlanish $\varepsilon_{yp} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$ bo'ladi.

Har ondagi burchak tezlanish

$$\varepsilon = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt} \quad \text{yoki} \quad \varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\varphi}{dt^2} \quad (73)$$

Burchakli tezlikdan vaqt bo'yicha olingan birinchi tartibli hosilaga yoki burilish burchagidan vaqt bo'yicha olingan ikkinchi tartibli hosilaga burchakli tezlanish deyiladi.

$$\varphi = \varphi_0 + \omega_0 t + \varepsilon \frac{t^2}{2} \quad (74)$$

tekis o'zgaruvchan aylanma harakat tenglamasi.

Aylanma harakat qilayotgan nuqtaning tezligi.

Qo'zg'almas **OZ** o'q atrofida ω burchak tezligi bilan aylanuvchi qattiq jism ixtiyoriy **M** nuqtasining tezligini aniqlaymiz. Qattiq jism aylanganda **M** nuqta radiusi h ga teng aylana chizadi. Agar dt vaqt oralig'ida nuqta elementar $d\varphi$ burchakka burilsa, elementar kuchini $dS = h d\varphi$ ga teng,

u holda nuqtaning tezligi

$$V = \frac{dS}{dt} = h \frac{d\varphi}{dt} \quad \text{yoki} \quad V = h\omega \quad (75)$$

bu nuqtaning chiziqli tezligi.

Aylanma harakatlanayotgan jism nuqtasining chiziqli tezligi, aylanish burchak tezligini o'qdan nuqttagacha bo'lgan masofa ko'paytmasiga teng (45-rasm).

Nuqtaning chiziqli tezlik vektori $\mathbf{V}$ nuqta traektoriyasini ifodalovchi aylanaga harakat yo'nalishi bo'yicha utkazilgan urinma bo'ylab yo'nalgan bo'ladi. $\mathbf{M}$ nuqtaning a tezlanishini topish uchun

47-rasm.

$$a_\tau = \frac{dv}{dt} \quad \text{va} \quad a_n = \frac{V^2}{\rho} \quad \text{lardan foydalanamiz.}$$

Bu hol uchun $\rho = h$ (29) ni e'tiborga olsak

$$a_\tau = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt}(h\omega) = h \frac{d\omega}{dt} = h\varepsilon$$

$$a_\tau = h\varepsilon \quad (76)$$

$$a_n = \frac{V^2}{\rho} = \frac{(h \cdot \omega)^2}{h} \quad a_n = h \omega^2 \quad (77)$$

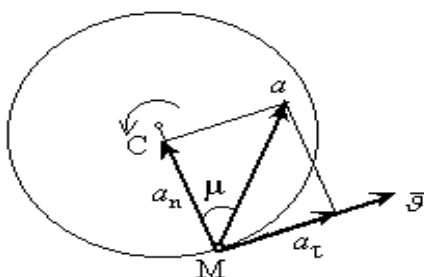
a_τ urinma tezlanish traektoriyaga urinma bo'ylab (agar jism tezlanuvchi harakat qilayotgan bo'lsa harakat yo'nalishi bo'ylab, agar jism sekinlanuvchan harakat qilayotgan bo'lsa harakatga teskari tomonga yo'nalgan bo'ladi), an normal tezlanish har doim h radius bo'ylab aylanish o'qi tomon yo'nalgan bo'ladi (48-rasm).

$\mathbf{M}$ nuqtaning to'liq tezlanishi $\mathbf{a}$; $\mathbf{a} = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2}$
dan aniqlanadi yoki

$$a = \sqrt{\left(\frac{dv}{dt}\right)^2 + \left(\frac{v^2}{\rho}\right)^2} = \sqrt{h^2 \varepsilon^2 + \omega^4 h^2} \quad \text{yoki}$$

$$a = h \sqrt{\varepsilon^2 + \omega^4} \quad (78)$$

$$\operatorname{tg} \mu = \frac{|a_\tau|}{a_n} = \frac{|\varepsilon|}{\omega^2} \quad (79)$$



48-rasm.

Qattiq jismning tekis parallel harakati.
Tekis parallel harakat tenglamalari.

Barcha nuqtalari berilgan qo'zg'almas tekislikka parallel tekislikda harkatlanuvchi jismning harkatiga tekis parallel harakat deyiladi.

Jismning tekis parallel harakatiga misol qilib vagon g'ildiragining to'g'ri chiziqli izda dumalashi, kirivoship-shatun mexanizmidagi shatunni harakatini va boshqalarni ko'rsatish mumkin.

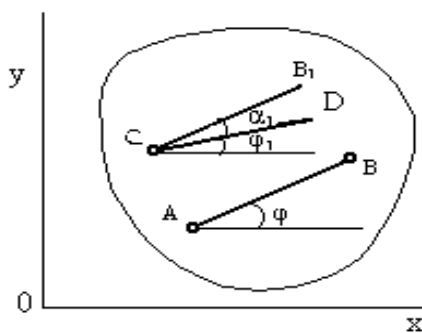
Jismning tekis parallel harakatini aniqlash uchun jismni P qo'zg'almas tekislikka parallel bo'lgan Π_1 tekislik bilan fikran kesamiz. Kesish natijasida hosil bo'lgan kesimni S bilan belgilab, uni tekis shakl deb ataymiz (48-rasm).

Tekis parallel harakat ta'rifi ko'ra, jismning harakati davomida bu tekis shakl doimo qo'zg'almas Π tekislikka parallel bo'lgan Π_1 tekislikda harakatlanadi. Π_1 tekislikka utkazilgan M M^1 perpendikulyar kesma, jism harakatlanganda doimo o'z-o'ziga parallel ko'chadi, demak bu kesma ilgarilanma harakat qiladi. Demak, jismning M M^1 kesmada yotuvchi barcha nuqtalari bir xil traektoriya chizadi, hamda har onda bir xil tezlik va bir xil tezlanishga ega bo'ladi.

Shunday qilib, jismning M M^1 chiziqda yotuvchi nuqtalarining harakatini o'rganish urniga M M^1 kesmaning tekis shaklga taallo'qli M nuqtasining harakatini aniqlash etarlidir. Boshqacha aytganda, jismning tekis parallel harakatini o'rganish urniga S tekis shaklning Π_1 tekislikdagi harakatini aniqlash etarli bo'ladi.

S tekis shaklning OXY tekislikdagi holati, kesimda utkazilgan AB kesmaning holati bilan aniqlanadi. AB kesmaning holati esa A nuqtaning X_A, Y_A koordinatalari va AB kesmaning X o'qi bilan tashkil qilgan φ burchak bilan aniqlanadi. (49-rasm).

S kesmaning holatini aniqlash uchun tanlangan A nuqtani bundan keyin qutb deb ataymiz.



49-rasm

Jismning harakati davomida x_A, y_A va φ_1 larning qiymatlari t vaqtga bog'liq ravishda o'zgaradi, demak x_A, y_A va φ lar t vaqtning funksiyasidan iborat ekan, shunga ko'ra quyidagilarni yozamiz:

$$x_A = f_1(t); \quad y_A = f_2(t); \quad \varphi = f_3(t); \quad (80)$$

Bu jism tekis parallel harakatining tenglamalari deyiladi.

NAZORAT SAVOLLARI:

1. Kuch impulsi deb nimaga aytiladi?
2. Nuqtaning kinetik energiyasi deb nimaga aytiladi?
3. Sistemaning kinetik energiyasi deb nimaga aytiladi?
4. Oq atrofida aylanma harakatdagi jismning kinetik energiyasi qanday bo'ladi?
5. Qattiq jismning tekis parallel harakati deb qanday harakatga aytiladi?
6. Tekis parallel harakat deganda siz qanday harakatlarni tushunasiz?
7. Tekis parallel harakat tenglamalari qanday ko'rinishda bo'ladi?
8. Tekis shakl nima?
9. Qutb deganda nimani tushinasiz.
10. Tekis shaklning istalgan nuqtasi qutb bo'la oladimi.

15- Ma'ruza.

Siljish. Sof siljish.

Reja:

1. Sof siljish haqida tushuncha.
2. Sof siljishdagi Go'q qonuni.
3. Siljishdagi va cho'zilishdagi elastik moduli bilan Puasson koeffisienti orasidagi bog'lanish.
4. Siljishdagi ruxsat etilgan kuchlanish.
5. Siljishdagi potensial energiya.

Adabiyotlar:

Tayanch iboralar: siljish, elastiklik moduli, urinma kuchlanish.

10.1. Agar 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 elemaentar 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. Biz o'tgan paragraflarning birida eng katta urinma kuchlar bosh yuzalar bilan 45° va 135° burchak hosil qilgan yuzalarda vujudga kelishini aytib o'tgan edik.

Tekshirilayotgan xususiy hol uchun bu xildagi yuzalarda bo'ladigan urinma va normal kuchlanishlar formulalardan topiladi:

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{\sigma - (-\sigma)}{2} = \sigma.$$

Demak,

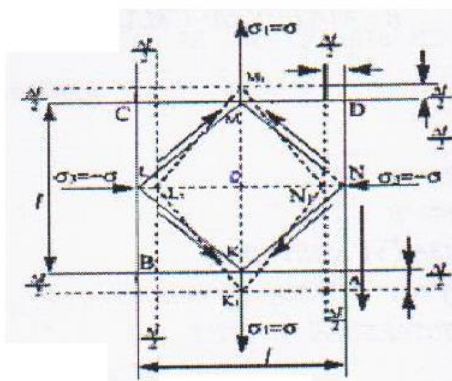
$$\sigma_1 = -\sigma_3 = \sigma = \tau$$

bo'ladi, normal kuchlanishlar esa quyidagicha topiladi:

$$\sigma_\alpha = \sigma_1 \cos^2 45^\circ + \sigma_3 \sin^2 45^\circ = \sigma \left(\sqrt{\frac{2}{2}} \right)^2 + (-\sigma) \left(\sqrt{\frac{2}{2}} \right)^2 = 0,$$

$$\sigma_\beta = \sigma \cos^2 135^\circ + (-\sigma \sin^2 135^\circ) = \sigma \frac{1}{2} - \sigma \frac{1}{2} = 0.$$

Shunday qilib, biz tekshirayotgan xususiy holda sterjendan ajratilgan kubning bosh yuzlari bilan 45° burchak hosil qilgan MLKN elementning tomonlariga faqat urinma kuchlanishlar ta'sir qilar edi. Demak, bu element sof siljish holatida bo'ladi. Natijada sof siljish holati tekis kuchlanish holatining xususiy xolati bo'lib chiqdi.



Rasm 10.1

10.2. Cho'zilgan yoki siqilgan sterjenlarning qiya yuzlarida urnma kuchlanishlar vujudga kelganligidan, ularda siljish deformasiyasi orasida biror bog'lanish bor degan xulosaga kelamiz. Yuqorida tekshirilgan kubning AD,BC tomonlari bosh kuchlanishlar ta'siridan cho'ziladi. AB,CD tomonlari esa bosh kuchlanishlar ta'sirida siqiladi. Ularning absolyut cho'zilish yoki siqilishlari absolyut qiymat jixatidan teng bo'ladi.

$$\Delta l = \varepsilon_1 l = |\varepsilon_2 l|.$$

KLMN element siljib, $K_1L_1M_1N_1$ romb shaklini oladi. Deformasiyadan ilgari KLM o'tmas burchakka aylanadi; bu burchaklarning ayirmasi siljish burchagi γ bo'ladi.

$$\varepsilon_1 = \frac{\gamma}{2}$$

Tekshirilayotgan hol tekis kuchlanish holati bo'lganligidan nisbiy cho'zilish bilan bosh kuchlanishlar orasidagi bog'lanishni umumlashgan Go'q qonunidan topishimiz mumkin:

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

Endi formulalardan bir-biriga taqqoslab quyidagini hosil qilamiz:

$$\frac{\gamma}{2} = \frac{\sigma}{E}(1+\mu).$$

Sof siljishda kubning tomoniga ta'sir qilgan urinma kuchlanish formulaga asosan, bosh normal kuchlanishga teng ekanligini ko'rgan edik, shu sababli, bog'lanishni quyidagi tarzda ifodalash mumkin:

$$\frac{\gamma}{2} = \frac{\tau}{E}(1+\mu) \quad \text{yoki} \quad \tau = \frac{E}{2(1+\mu)} \cdot \gamma$$

Agar formulaning o'ng tomonidagi γ oldiga yozilgan o'zgaras miqdorni G bilan belgilasak, formulani quyidagicha yozish mumkin bo'ladi:

$$\tau = G\gamma,$$

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

10.3. Bu formuladagi G siljishdagi elastiklik moduli yoki ikkinchi tartibli elastiklik moduli deb ataladi.

Bu formula esa siljishdagi elastiklik moduli bilan cho'zilish yoki siqilishdagi elastiklik modullari hamda Puasson koeffisienti orasidagi bog'lanishlarni ko'rsatadi. Ba'zan bu formula uchta o'zgaras miqdor orasidagi matematik bog'lanish deb ataladi. Biror materialning Puasson koeffisientiga qarab, G bilan E orasidagi son qiymat ham o'zgaradi: agar

$$\mu = \frac{1}{4} \quad \text{bo'lsa} \quad G = \frac{2}{5}E \quad \text{agar} \quad \mu = \frac{1}{8} \quad \text{bo'lsa,} \quad G = \frac{3}{8}E \quad \text{bo'ladi.}$$

10.4. Siljishdagi ruxsat etilgan kuchlanishni tanlash cho'zilish yoki siqilishdagi ruxsat etilgan kuchlanishni tanlashga qaraganda murakkabroqdir.

Murakkab kuchlanish sinovini mexanik laboratoriyalarda o'tkazib bo'lmaydi, shuning uchun siljishdagi ruxsat etilgan kuchlanish Mustahkamlik nazariyalari asosida aniqlanadi.

Siljish uchun ruxsat etilgan kuchlanish Mustahkamlikning ikkinchisi, uchinchi va to'rtinchi nazariyalar asosida topiladi.

Ikkinchi nazariyaga muvofiq:

$$[\sigma] \geq \sigma_1 - \mu\sigma_3 = \tau + \mu\tau = \tau(1+\mu),$$

Agar po'lat uchun $\mu = 0,3$ deb olsak, u holda siljish uchun ruxsat etilgan kuchlanish:

$$[\tau] \cong 0,77[\sigma]$$

bo'ladi.

Uchinchi nazariyaga ko'ra :

$$[\sigma] \geq \sigma_1 - \sigma_3 = \tau - (-\tau) = 2\tau \quad \text{ёки} \quad [\tau] = 0,5[\sigma]$$

bo'ladi.

$$[\tau] = 0,57[\sigma]$$

10.5. Sof siljish deformasiyasi tekis kuchlanish holatining xususiy holi bo'lganligidan uni deformasiyaning tekis kuchlanish holati uchun chiqarilgan solishtirma potensial formulasi, ya'ni yuqoridagi formula asosida yozamiz. Biz tekshirayotgan hol uchun $\sigma_2 = 0$ bo'lganidan bu formula shunday yoziladi

$$a = \frac{1}{2E} (\sigma_1^2 + \sigma_3^2 - 2\mu\sigma_1\sigma_3)$$

Bosh kuchlanishlar : $\sigma_1 = -\sigma_3 = \sigma = \tau$ ni formulaga qo'ysak

$$a = \frac{\tau^2}{E} (1 + \mu)$$

hosil bo'ladi Bu formulaga ko'ra, $\frac{1+\mu}{E} = \frac{1}{2G}$ bo'lganligi uchun formula quyidagicha ifodalanadi:

$$a = \frac{\tau^2}{2G}$$

Sof siljishdagi Guk qonuniga asosan, siljishdagi solishtirma potensial energiyani quyidagicha yoziladi.

$$a = \frac{1}{2} G \gamma^2$$

Demak, siljishdagi deformasiyaning solishtirma potensial energiyasi urinma kuchlanishning yoki nisbiy deformasiyaning kvadrat funksiyasidir.

N a z o r a t s a v o l l a r i :

1. Qanday kuchlanish holati sof siljish deyiladi?
2. Tekis kuchlanish holati bilan sof siljish orasida qanday matematik bog'lanishlar bor?
3. Siljishdagi Go'q qonuni qanday ifodalanadi?
4. E va G elastiklik modullari orasida qanday matematik bog'lanishlar bor?
5. Siljishdagi ruxsat etilgan kuchlanishlar bilan cho'zilish yoki siqilishdagi ruxsat etilgan kuchlanishlar orasida qanday bog'lanish bor?
6. Qanday deformasiya ezilish deb aytiladi?

Reja: 16-Ma'ruza.
Buralish.

1. Asosiy tushuncha.
 2. Burovchi moment epyurasini chizish.
 3. Burovchi momentni quvvat orqali ifodalash.
 4. Qabul qilinadigan gipotezalar.
- Adabiyotlar: 1.2.3.4.5

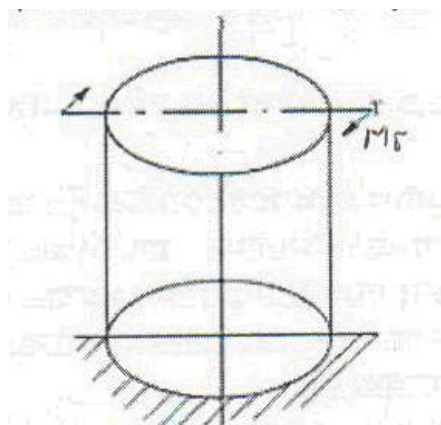
13.1. Silindrik sterjenning bir uchini mahkamlab, ikkinchi uchining ko'ndalang kesimiga juft kuch ta'sir ettirilsa, sterjen buraladi: uning ko'ndalang kesimlari mahkamlangan kesimga nisbatan aylanadi. Ta'sir ettirilgan juft kuch momentini burovchi moment bo'ladi. Buralgan sterjenning istalgan kesimidagi burovchi momentni topishda kesish metodidan foydalaniladi.

Sterjen biror kesimining bir tomonidagi qolgan tashqi momenlar algebraik yig'indisi shu kesimdagi burovchi moment deb ataladi.

Slindrik sterjen buralishga ishlasa, bunday sterjen val deyiladi.

Valning mustahkamligini tekshirish uning xavfli kesimini topish uchun burovchi momentning o'zgarishini ifodalovchi grafik chizish kerak. Agar sterjenning o'qi bo'ylab ko'ndalang kesim yuzi o'zgarmas bo'lsa, u holda sterjenning maksimal burovchi moment hosil bo'lgan kesimi xavfli bo'ladi. Bunday grafik burovchi moment epyurasi deyiladi. Bu epyurani chizish, prinsip jihatidan olganda, bo'ylama kuch yupyurasini chizishdan farq qilmaydi. Burovchi moment epyurasini chizish uchun burovchi momentni hisoblash qoidasidan foydalaniladi. Slindrik sterjenlarning buralish nazariyasidan, ko'pincha, turli vallarni hisoblashda foydalaniladi. Tashqi va ichki momentlarni tekislikda ko'rsatish uchun tegishli kesimlarga vertikal kesma chizib, uning uchlariga ikkita aylana qo'yiladi. Bu aylanalarning biriga nuqta ikkinchisiga krest qo'yiladi, bu esa birinchi holda strelka uchi bizga qarab yo'nalganini va ikkinchi holda strelka bizdan nariga yo'nalganligini ko'rsatadi. Bunda a-a kesimda hosil bo'lgan burovchi moment M_{ϕ} tashqi burovchi yo'nalishiga teskari yo'nalgan bo'ladi.

$$M_{\phi} = -M$$



Rasm 13.1

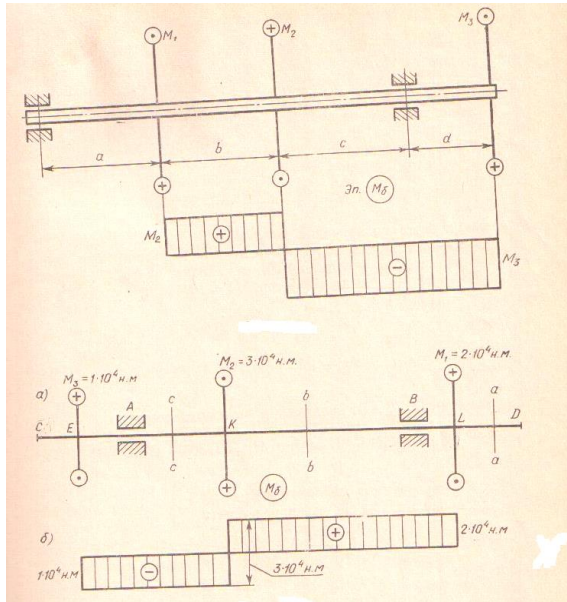
13. 2. Burovchi moment epyurasini chizganda valning har bir uchastkasida

kesim olib, uning bir tomoniga qolgan tashqi burovchi momentlarning algebraik yig'indisining tenglamasini tuzamiz. Burovchi momentlarining ishoralar qoidasini quyidagicha tanlaymiz: agar kesim tomondan qaraganda tashqi burovchi moment valni soat strelkasining harakat yo'nalishiga qarshi aylantirsa musbat, strelkaning harakat yo'nalishi bo'yicha aylantirsa manfiy deb olamiz. Endi 129-shaklda ko'rsatilgan val uchun burovchi moment epyurasini chizamiz. Tasmalarni etaklovchi qimslarning topish kuchlarni T ergashuvchi qismdagi tortish kuchi t dan katta bo'ladi.

$$M_1 = (T_1 - t_1)D_1, \quad M_2 = (T_2 - t_2)D_2, \quad M_3 = (T_3 - t_3)D_3.$$

Yuqorida bayon qilingan qoidalarga asoslanib, chizilgan valning epyurasi 131-shaklda ko'rsatilgan. Bunda 129-shaklda fazoviy ko'rsatilgan tashqi burovchi momentlar 130-shaklda ko'rsatilgandek tekislikda tasvirlangan. Misol A va V podshipniklarga o'rnatilgan SAVD valning EKL nuqtalarga qo'yilgan momentlar ta'sirida muvozanatda bo'lsa shu val uchun burovchi moment epyurasi chizilsin.

Yuqoridagi qiymatlar bo'yicha chizilgan burovchi moment epyurasi ikkita to'g'ri to'rtburchakdan iborat bo'ladi. Tashqi momentlar qo'yilgan nuqtalarga epyura ordinatalari shu moment miqdoriga sakrab o'zgaradi.



Rasm 13.1

13. 3. Har bir shkivga ta'sir qilgan burovchi moment shu shkivga bog'langan stanok quvvati va aylanish tezligi orqali ifodalanadi. Shu sababdan valni hisoblaganda unga shkivlardan o'tadigan burovchi momentlar bevosita berilmaydi, balki shu shkivlar ulangan dvigatel va stanoklarning pasportida quvvatlari yozilgan bo'ladi. Ana shu quvvat va valning aylanish tezligi orqali valga o'tadigan burovchi momentlarni aniqlashga to'g'ri keladi.

Quvvat ot kuchi orqali quyidagichi

$$N = \frac{Pv}{75} = \frac{P \cdot 2\pi R \cdot n}{75 \cdot 60}$$

ifodalanishi bizga mexanikadan ma'lum.

Bunda v val sirtidagi nuqta tezligi, n valning bir minutdagi aylanish soni, P Valga qo'yilgan aylana kuch, u 129-shaklga asosan $T-t$ ga teng, shu tufayli $M=PR$ teng bo'ladi.

Bir ot kuchi 0,736 kVt ekanligini e'tiborga olsak,

$$M_m = \frac{7162}{0,736} \frac{K}{n} N \cdot m \quad \text{yoki} \quad M_m = 9736 \frac{K}{n} N \cdot m.$$

bo'ladi.

Bunda K –quvvatning kilovatt qiymati

SI o'lchov birliklari sistemasida quvvat:

$$1 \frac{kg}{s} = 10 \frac{N \cdot m}{s}$$

bo'lgani uchun

$$M_b = 7162 \frac{N}{n} N \cdot m..$$

13. 4. Buralishda hosil bo'ladigan deformasiyalarni aniqlashdan oldin bu bu sohada o'tkazilgan tajribalarning natijalari bilan tanishib chiqamiz.

Doiraviy kesimli silindrik sterjenlar buralishga sinalganda quyidagi xulosalar chiqarilgan:

1. Sterjenning deformasiyagacha bo'lgan tekis ko'ndalang kesim yuzi, deformasiyadan keyin ham tekisligicha qoladi.

2. Har bir ko'ndalang kesim qo'shni kesimga nisbatan sterjen o'qi atrofida ma'lum burchakka aylanadi. Bu burchak buralish burchagi deyiladi. Buralish burchagi burovchi momentga va ko'ndalang kesimlar oralig'iga proporsionaldir.

3. Sterjenning barcha yasovchilari bir xil burchakka og'adi va silindrik sirtiga chizilgan kvadratlar bir xilda qiyshayib, romb shaklini oladi.

N a z o r a t s a v o l l a r i:

1. Qanday sterjenga val deyiladi?
2. Burovchi moment qanday aniqlanadi?
3. Burovchi moment o'lchov birligi qanday?
4. Agar quvvat kilovattga o'lchansa burovchi moment qiymati qanday aniqlanadi?
5. Burovchi moment eprasi nima?
6. Burovchi moment bilan val uzatadigan quvvat va aylanish orasida qanday bog'lanish bor?
7. Silindrik sterjenlarning buralishida qanday cheklanishlarga yo'l qo'yiladi?

MA'RUZA 25. Tishli uzatmalar.

Reja:

1. Tishli uzatmalarni afzalligi, kamchiligi va ishlatilish joylari.
2. Tishli uzatmani tasnifi.
3. Tishli uzatmani sirtini eyilishi.
4. Tishlarni tayyorlashda ishlatiladigan materiallar.
5. Tishlarni tayyorlash usullari va aniqlik darajasi.

Tayanch iboralar: Shesternya, evolvent, modul, buluv diametri.

Adabiyotlar: 1. 2. 3. 4.

Harakatning bir valdan ikkinchi valga tishli g'ildiraklar vositasida uzatish mexanizmi tishli uzatma deb ataladi.

Aniq asbobsozlikda diametri 1mm dan kichik bulgan tishli g'ildiraklar ishlatilgan bir vaqtda, ogir sanoatda diametri bir necha 10m ga etadiganlarini kurish mumkin. 1760 yilda Eyler tavsiya etgan evolventa buyicha ilashuvchi profilli tishlardir.

Afzalliklar.

Sekundiga 150m gacha tezlik bilan katta (bir necha ming kVt)quvvat uzata oladi va uzatish soni bir necha yuzga etadi:

Sirtki ulchamlari nisbatan kichik bo'ladi:

Tayachnchlariga tushadigan kuch uncha katta bulmaydi:

Foydali ish koeffisienti yo'qori (0,97...0,98):

Uzatish soniga salbiy ta'sir etadigan sirpanish xodisasi bulmaydi:

Xilma-xil materiallardan foydalanishga imkon beradi:

Kamchiliklari.

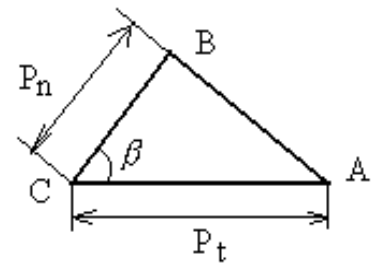
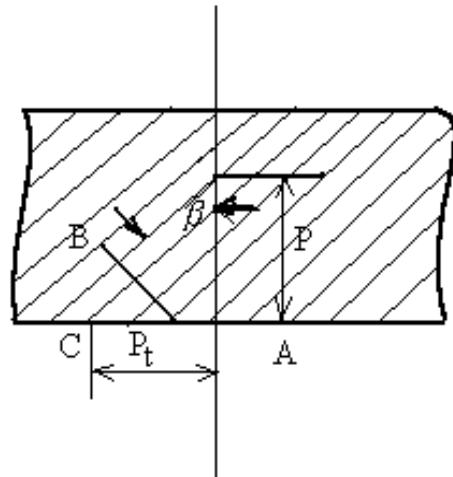
Tayyorlashning nisbatan murakkabligi:

Ishlayotgan vaqtda shovkin chikarishi:

Zarb bilan ta'sir etuvchi kuchlarning zarari ko'prok sezilishi kiradi.

Qiya tishli uzatmani geometriyasining uziga xos xususiyatlari.

Uzatmadagi aylana tezlik $V > 6m/c$ bulganda qiya yoki shevron tishli g'ildiraklardan foydalanish tavsiya etiladi, chunki to'g'ri tishli g'ildiraklarning bunday tezlik bilan konikarli ishlashi uchun ularni tayyorlanish aniqligi juda yo'qori bo'lishi kerak.



$$m_t = \frac{m_n}{\cos \beta}; \quad P_t = \frac{P_n}{\cos \beta};$$

bu erda: m_n - normal modul

m_t - yon sirt moduli

P_n - normal kadam

P_t - yon sirt kadami

β - tish ogish burchagi.

Aytilganlarga kura qiya tishli g'ildirakning buluvchi diametri

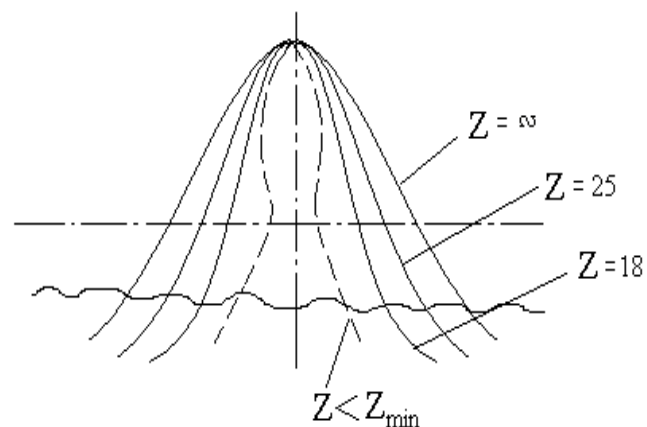
$$d_0 = m_t z = \frac{m_n z}{\cos \beta}$$

1. bu erda z - tishlar soni
 - 2.
 3. Tishli uzatmani tasnifi (klassifikasiyasi).
 4. O'qlarini joylashishiga qarab tishli uzatmalar quyidagicha bo'ladi:
 5. Silindrik - o'qlar paralel joylashgan:
 6. Konusli - o'qlar 90° ostida kesishadi:
 7. Chervyakli - o'qlar bir - birini ustidan utadi.
- Tishlariniprofiliga qarabqo'yidagicha bo'linadi:
 Evolventali, sikloidalli, Novikov tishli uzatmasi.
 Tishlashishiga qarab 2 xil bo'ladi:
 Ichki va tashki tishlashish.
 Konstro'qsiyasiga qarab, yopik va ochik bo'ladi.
 Tish kirkuvchi reykani siljitish xisobiga tish shaklini uzgartirish.

Kam tishli shesterniyalar mustaxkamligi zaiflashuvining oldini olish maqsadida, ulardagi tishlar shakli.23-rasmda kursatilgan.

Tishli uzatmani geometrik ulchamlarini ixchamlashtirish maqsadida tishlar sonini kamaytirishga harakat qilinadi. Tishlar sonining kamayishi esa koplanish koeffisientining kamayishiga, bu esa uz navbatida, tish mustaxkamligini pasayishiga olib keladi. Odatda, bu kiymat quyidagicha bo'ladi. $Z_{\min} = 17 \div 18$

Tishli g'ildiraklar tayyorlashda ishlatiladigan materiallar.



23-расм

Hozirgi vaqtda tishli g'ildiraklar, asosan, pulat, chugun va plastmassalardan tayyorlanadi. Tishli g'ildiraklarning katta quvvatli mashinalarda ishlatilishida ulchamlarini kichraytirish talab etilganligi uchun ularni ko'pi xil pulatlardan, masalan 40, 45, 50, 40, Γ^2 , 50 Γ , 40X, 30 X Γ C va boshqa markali pulatlardan tayyorlanadi. Zarb bilan ta'sir etadigan va yunalishi yoki tezligi uzgarib turadigan kuch ta'sirida ishlaydigan uzatmalarning g'ildiraklari 18 X Γ T, 20 X2H4A, 15X, 20X, 12X3A markali pulatlardan ishlangani ma'kul.

Tishli uzatmalarning ishlash qobiliyati va ularning emirilishi.

Ilashishda bulgan tishlarga asosan ikkita kuch ta'sir etadi.

Ulardan biri ilashish chizigi A_1 , A_2 , buylab, tishlarning evolventoviy sirtlariga tik yunalgan kuch.

Ikkinchisi tishlar orasida sirpanish xodisasi ruy berishidan xosil bo'ladigan ishqalanish kuchi:

Ulardan tishlarning ishlash qobiliyatini belgilovchi asosiy kuchlanishlar tish sirtida xosil bo'ladigan kontakt kuchlanish σ_{μ} va tishning tubida paydo bo'ladigan eguvchi kuchlanishdir, σ_F .

Tishlarning sirtining emirilishi deganda quyidagilarni tushinilish lozim.

- a) Charchash okibatida uvalanib ketishi.
- b) Abrziv zarrachali muxitda va oddiy ishqalanish sharoitida emirilishi.
- v) Katta nagruzka bilan ishlayotgan uzatmalarda bir g'ildirak tishi sirtning yulinib, ikkinchi g'ildirak tishi sirtiga yopishib kolish xollari:
- g) plastik deformatsiyalanish okibatida siljishi:
- d) termik ishlangan tishlar sirtki kattik katlamining kuchib ketish xollari:

NAZORAT SAVOLLARI

1. Tishli uzatmani tasnifini ayting?
2. Tishli uzatmani asosiy afzalligi nimadan iborat, boshqa uzatmaga nisbatan?
3. Nima uchun evolvent profilli tishli uzatma keng ishlatiladi?
4. Tishlashish moduli nima?
5. Tishni geometrik ulchamlarini yozib bering?
6. Tishni minimal qiymati qanday topiladi?
7. Evolvent profilli tishni korregirovaniyasi nima uchun bajariladi?
8. Tishga ta'sir qiladigan kuchlar qanday aniqlanadi?
9. Tishli uzatmani qaysi parametrlari standartlashtirilgan?
10. Termik va termioximik ishlov kachon qo'llaniladi?

MA'RUZA 26.

Tishli uzatmani tishlashish nazariyasi.

Reja:

1. Tishli uzatmani tishlashish nazariyasi.
2. Tishni kontakt mustaxkamligiga xisoblash.
3. Tishli uzatmani geometrik parametrlari.
4. Tishga ta'sir qiladigan kuchlarni aniqlash.
5. Novikov tishini afzalliklari va kamchiliklari.

Tayanch iboralar: Evolvent tish, modul, kontakt mustaxkamligi.

Adabiyotlar: 1. 2. 3

Tishli uzatmada bir g'ildirak tishi ikkinchi g'ildirak tishiga ilashish xisobida xosil bo'ladi. Aylanishlar sonini uzgarmas saklash tishlashish nazariyasini ta'minlaydi. Tishlashish nazariyasida.

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_2}{r_1} = \text{const}$$

bu erda: ω_1 - shesternyani burchak tezligi

ω_2 - g'ildirakning burchak tezligi

r_1 - shesternyani aylanma radiusi

r_2 - g'ildirakning aylanma radiusi.

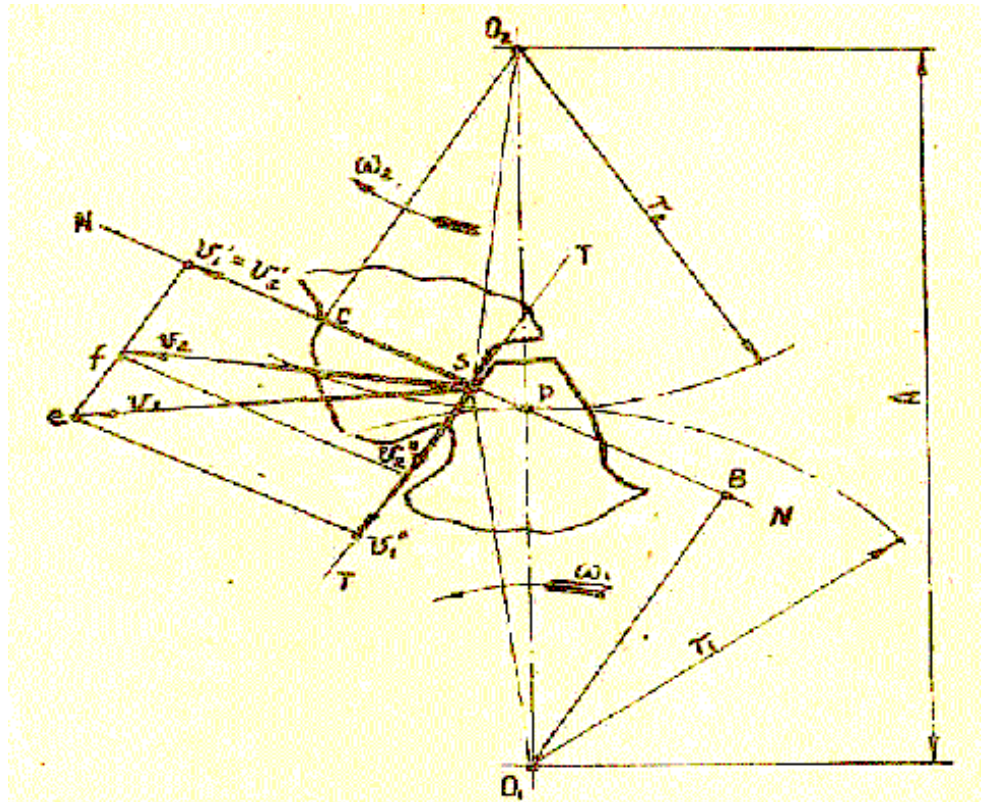
Tish elementlarini geometrik ulchamlarini aniqlash uchun bulish aylanasi asos qilib olinadi. Xar bir g'ildirakdagi ana shu aylananing uzunligi uchun quyidagi tenglikni tuzish mumkin:

$$\pi d = z\rho_t$$

bu erda: z - g'ildirakdagi tishlar soni:

P_z - tish kadami:

d - buluvchi aylanani diametri.



Rasm.24. Tishlashish nazariyasini isbotlash sxemasi.

O_1 va O_2 markazlarga nisbatan S no'qtani aylanma tezliklari.

$$V_1 = O_1 S \omega_1$$

$$v_2 = O_2 S \omega_2$$

Uchburchak AEC ba BCO₁ uxshashligidan foydalanamiz, ya'ni

$$\frac{V_1^1}{V_1} = \frac{O_1 B}{O_1 S}$$

$$\text{bu erdan } V_1^1 = \frac{V_1}{O_1 S} O_1 B = \omega_1 O_1 B$$

ΔafS ba ΔCSO_2 uxshashlikdan foydalanamiz

$$\frac{V_2^1}{V_2} = \frac{O_2 C}{O_2 S}$$

$$\text{bu erdan} \quad V_2^1 = \frac{V_2}{O_2 S} O_2 C = \omega_2 O_2 C$$

$$V_1^1 = V_2^1 \quad \text{u xolda} \quad \omega_1 O_1 B_1 = \omega_2 O_2 C$$

$$\text{aylanalar soni} \quad i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{O_2 C}{O_1 B}$$

$\Delta O_2 pC$ va $\Delta O_1 pB$ dan foydalanib

$$\frac{O_2 C}{O_1 B} = \frac{O_2 P}{O_1 P} = \frac{r_2}{r_1}$$

$$\text{U xolda} \quad i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_2}{r_1} = \text{const}$$

Kontakt $[\sigma_H]$ va egilishdagi $[\sigma_F]$ kuchlanishlarni joiz qiymatlari.

$$[\sigma_H] = K_{HL} [\sigma_{H0}] \text{ MPa}$$

$$[\sigma_F] = K_{FL} [\sigma_{F0}] \text{ MPa}$$

bu erda: $[\sigma_{H0}]$; $[\sigma_{F0}]$ - larning qiymati jadvaldan tishli g'ildiraklarning materiali, ularning termik kayta ishlashi xamda tish yuzasina kattaligiga nisbatan olinadi.

K_{HL} ; K_{FL} - uzatmani ishlash muddatini xisobga oluvchi koeffisientlari.

$$[\sigma]_H = \frac{\sigma_{H \lim} K_H}{[n]}, \quad \sigma_{H \lim} = 2HB + 70$$

Uzatmani asosiy ulchamlari.

O'qlararo masofa.

$$a_w = K_a (i + 1) \sqrt{\frac{K_{H\beta} T_2}{\psi_a i^2 [\sigma_H]^2}}, \quad \text{mm}$$

bu erda: K_a - o'qlararo masofa koeffisienti (qiya tishli uzatmalar uchun $K_a = 430$; to'g'ri tishli uzatma uchun $K_a = 495$)

T_2 - etaklanuvchi g'ildirak validagi burovchi moment, $H \cdot m$;

$K_{H\beta}$ - yo'qlanishning tish yuzasida notekis taksimlanishini xisobga oluvchi koeffisient.

ψ_a - uzatma g'ildiragini tayanch no'qtalarga nisbatan joylashishini xisobga oluvchi koeffisient simmetrik xolatda bo'lsa $\psi_a = 0,4 \dots 0,5$ nosemmitrik xolatda $\psi_a = 0,25 \dots 0,4$ konsol xolatda $\psi_a = 0,2 \dots 0,25$

1. Uzatmani moduli .

$$m = (0,01 \dots 0,02) a_w, \quad \text{mm}$$

Uzatma g'ildiraklarining umumiy tishlar soni va qiyalik burchagi.

Qiya tishli g'ildiraklar uchun qiyalik burchagining eng kichik qiymati.

$$\beta_{\min} = \arcsin 4m / \phi_2$$

Uzatma gildirak tishlarining umumiy soni.

$$Z_{\Sigma} = 2a_w \cos \beta_{\min} / m$$

$$\beta = 8^\circ \dots 18^\circ \text{ булиши керак}$$

Yetaklovchi va etaklanuvchi tishli g'ildiraklarni tishlar soni.

$$Z_1 = Z_{\Sigma} / (i + 1) > Z_{\min};$$

z₁-ning xisoblab topilgan qiymati yaxlitlanib, to'g'ri tishli silindrsimon g'ildiraklar uchun qiya tishli silindrsimon g'ildiraklar uchun

$$Z_{\min} \geq 17$$

$$Z_{\min} \geq 17(\cos \beta)^3$$

Yetaklanuvchi g'ildirak tishlar soni.

$$Z_2 = Z_1 i$$

Uzatma g'ildiraklarining aylanma diametrlari.

a) *Buluvchi aylananing diametri.*

$$d_1 = m_n z_1 / \cos \beta; \quad d_2 = m_n z_2 / \cos \beta$$

6) *Tashqi diametr.*

$$d_{a_1} = d_1 + 2m_n \quad d_{a_2} = d_2 + 2m_n$$

6) *Ichki diametr.*

$$d_{f_1} = d_1 - 2,4m_n \quad d_{f_2} = d_2 - 2,4m_n$$

Tishli uzatmada xosil bo'ladigan kuchlar.

Aylana kuch $F_t = 2T_2 / d_2$

Markazga intiluvchi kuch $F_r = F_t \tan \alpha \cos \beta$

Buylama kuch $F_a = F_t \tan \beta$

G'ildirak tishlarning egilishdagi kuchlanish.

A) Yetaklanuvchi g'ildirak uchun

$$\sigma_{F_2} = K_{F\alpha} K_{F\beta} K_{Fv} Y_{F_2} Y_{\beta} F_t / \sigma_2 m, \quad \text{MPa}$$

6) *Yetaklovchi g'ildirak uchun*

$$\sigma_{F_1} = \sigma_{F_2}; \quad \frac{Y_{F_2}}{Y_{F_1}}; \quad \text{MPa}$$

NAZORAT SAVOLLARI

1. Tishli uzatmani tishlashish nazariyasi deganda nimani tushunasiz?
2. Hozirgi vaqtda tishlarni qanday usullari bor?
3. Konussimon tishli uzatmada modul qanday xisoblanadi?
4. Novikov tishli uzatmani afzalligi nimada, u kay vaqtda ishlatiladi?
5. Nima uchun tish qiya qilib tayyorlanadi?
6. Uzatmada aylanma termik qanchadan oshganda tish qiya qilib tayyorlanadi?
7. Tishni minimal qiymati qancha bo'lishi kerak?
8. Tishlar qanday materilalardan tayyorlanadi?
9. Tish sirtini eyilishi qanday xolda sodir bo'ladi?

MA'RUZA 27.

Chervyakli uzatmalar.

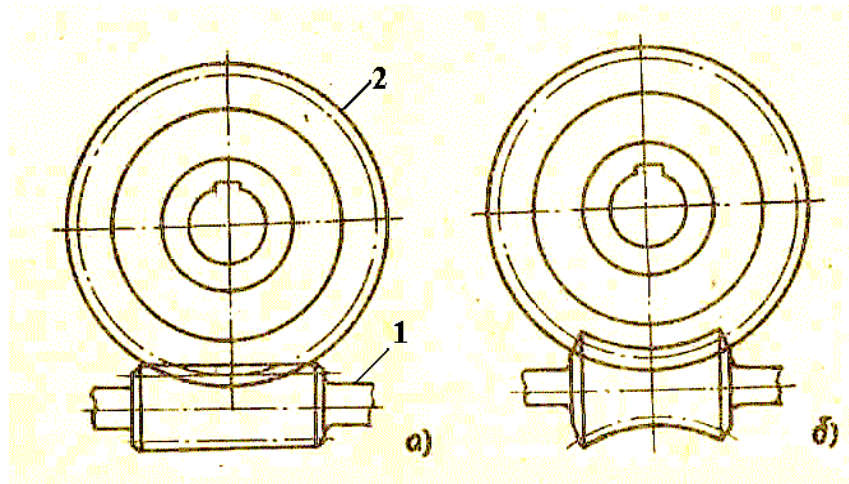
Reja:

1. Chervyakli uzatmalarni afzalliklari va kamchiliklari va ishlatilish joylari.
2. Chervyakli uzatmani tasnifi.
3. Uzatmani sirpanish tezligi.
4. Uzatmani mustaxkamlikka xisoblash.
5. Chervyakli uzatmada ishlatiladigan materiallar.

Tayanch iboralar: Chervyak, chervyak g'ildiragi, sirpanish tezligi.

Adabiyotlar: 1. 2. 3

Vallarning geomerik o'qlari X-X va Y-Y fazoda odatda, to'g'ri burchak ostida kesishgan xollarda chervyakli uzatma ishlatiladi.



*1 – silindrli chervyak
globaidli chervyak.*

YEtaklovchi zveno – chervyak silindrik (a) va globaid formasida bo'lishi mumkin.

Afzalliklari:

Silliq va shovqinsiz ishlashi.

Ixcham uzatma bilan katta uzatish soni olish mumkinligi.

Chervyakni uzatma o'zi tormozlanish xususiyatiga ega ekanligi.

Katta aylanishlar soni olish mumkinligi.

(ayrim xollarda aylanishlar soni 1000 gacha)

Kamchiliklari:

Boshqa uzatmalarga nisbatan F.I.K. kamligi ($\epsilon = 0,8 \dots 0,82$)

Ishlash vaqtida tishlashish zonasida katta issiklik ajralib chiqishi.

Chervyak g'ildirak tishlarini yoyilishga chidamli kattik materiallardan tayyorlash zarurligi.

Uzatmada katta eyilish bo'lishi va tishlarini yopishib kolish xollari.

Ishlatilish joylari.

Chervyakli uzatmalar asosan quvvati unga katta bulmagan joylarda ishlatiladi.

Quvvati 50 kVt dan oshmagan joylarda. Ular asosan, stanoklarda kutarish – tashish mashinalarida, tralleybuslarda ko'prok ishlatiladi.

Aylanishlar soni quyidagicha topiladi.

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1}$$

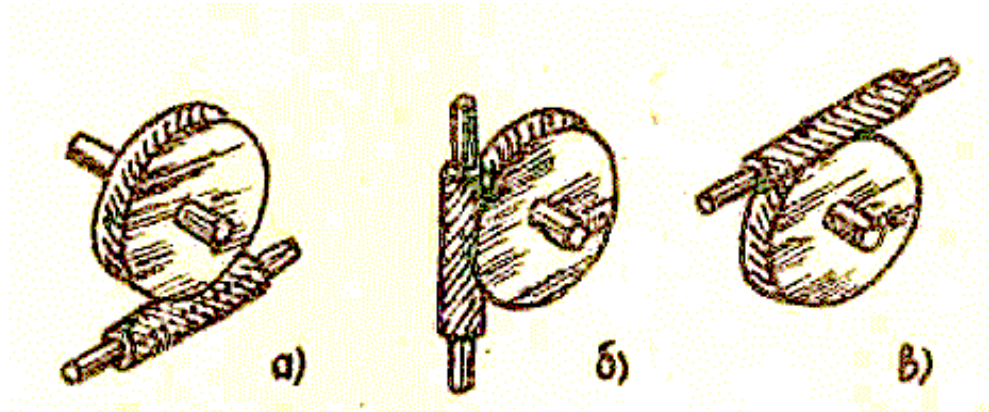
bu erda z_1 va z_2 – chervyak kirimlar soni va chervyak g'ildiragini tishlar soni.

n_1 va n_2 – chervyak aylanishlar soni va chervyak g'ildiragini aylanishlar soni.

Chervyakli uzatmalarni tasnifi.

Chervyaklarni tashki yuzasi buyicha silindrik va globoid bo'lishi mumkin. Globoid chervyaklarni tayyorlash kiyin, shuni uchun tannarxi kimmat. Chervyaklar aylanishiga qarab o'ng va chap bo'ladi.

Chervyakli, chervyak g'ildiragiga nisbatan joylashishiga qarab 3 xil bo'ladi.



Rasm 25. chervyakli g'ildirakka nisbatan joylashishi.

a) pastga, b) yonboshga, v) yo'qoriga: Chervyak vintlarni turiga qarab, arximedli, konvolentli va evolvent bo'lishi mumkin.

Uzatmani ishdan chiqish sabablari.

Materiallari.

Chervyakli uzatmani asosiy xarakterlaridan biri unda xosil bo'ladigan sirpanish tezligini kattaligi, bu uz navbatida gidrodinamik moylashga salbiy ta'sir qiladi. Asosiy ishdan chiqish – yuzasini buzilishi yopishib kolishi va tishlarini eyilishi.

Chervyaklar (15X, 15XA, 20X, 12 XH3, 20 XΦ sementlangan pulatlardan tayyorlanadi). Ularni kattaligi HRC – 56 – 62

Ayrim xollarda 40,45,40X, 40XH pulatlardan tayyorlanadi. Bunday uzatma kul bilan harakatlangan mexanizmlarda ishlatiladi.

Uzatmani mustaxkamlikka xisoblash.

Chervyak g'ildirak tishi egilishga xisoblanadi.

$$\sigma_{\sigma_2} = \frac{X_H P_2 \cos \gamma}{1,3 m^2 q} \leq [\sigma_2]$$

bu erda m - tish moduli

X_H - chervyak g'ildiragi tishini mustaxkamlik koeffisienti.

$\cos \gamma$ - kontakt chizigini ogish burchagi.

Kontakt mustaxkamligiga Gers formulasi yordamida xisoblanadi.

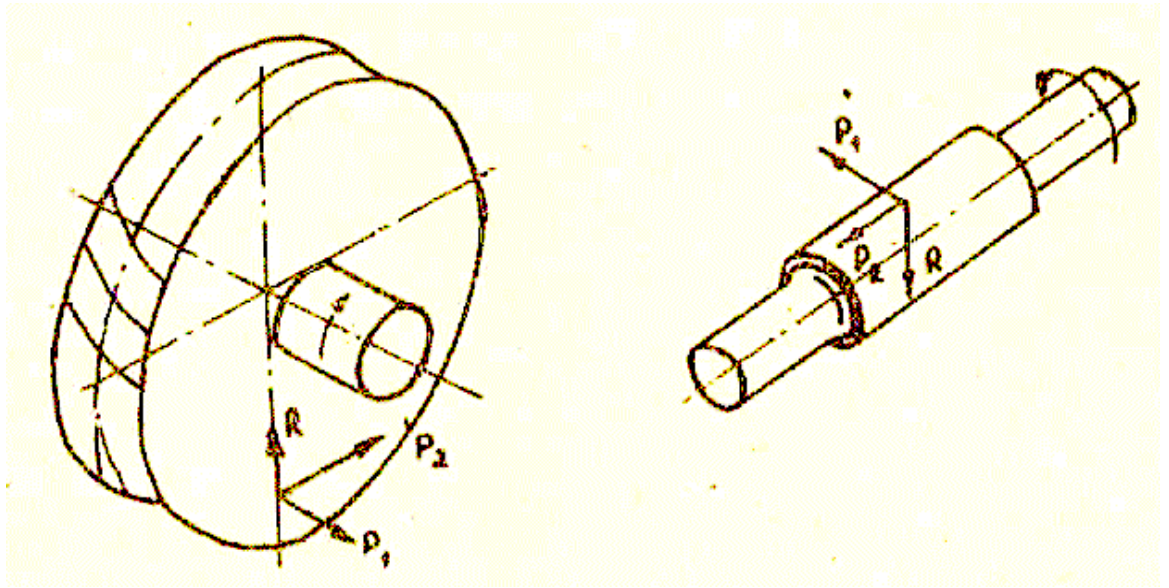
$$\sigma_H = 0,418 \sqrt{q \frac{E_{kel}}{\rho_{kel}}} \leq [\sigma_H]$$

q - kontakt chizigi buyicha ta'sir kiluvchi normal nagruzka

E_{kel} - keltirilgan elastiklik moduli.

ρ_{kel} - keltirilgan radius kiyshikligi.

Chervyakli uzatmada ta'sir kiluvchi kuchlar.



Rasm.26

G'ildirakdagi aylanma kuch, chervyakdagi o'q kuchiga teng bo'ladi.

$$P_2 = 2M_2 / d_2$$

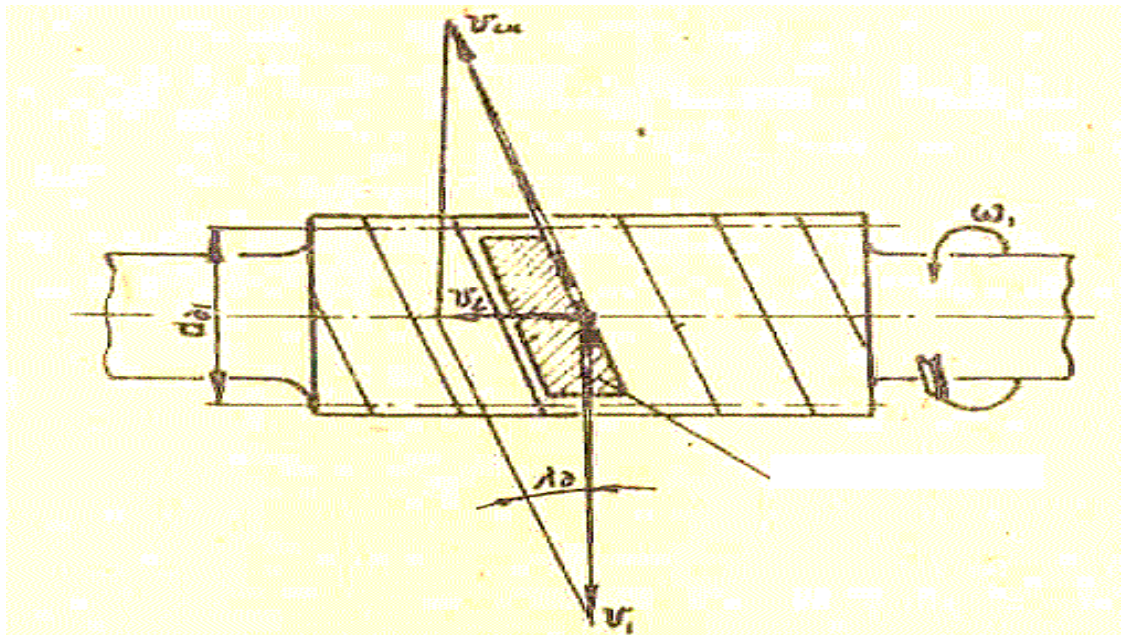
chervyakdagi aylanma kuch, g'ildirakdagi o'q kuchiga teng bo'ladi.

$$P_1 = 2M_1 / d_1$$

radial kuch, bu ajratuvchi kuch.

$$R = P_2 \tan \alpha$$

Uzatmada sirpanish tezligi



Rasm 27

Chervyakni aylanma tezligi.

$$V_1 = \frac{\omega_1 d_1}{2 \cdot 1000}, \text{ m/c}$$

G'ildirakning aylanma tezligi

$$V_2 = \frac{\omega_2 d_{\partial_2}}{2 \cdot 1000}, \text{ m/c}$$

bu erda: d_{∂_1} ba d_{∂_2} - chervyak va g'ildirakni buluv diametrlari, mm

ω_1 ba ω_2 -chervyak va g'ildirakni burchak tezliklari, mm

$$V_{cup} = \sqrt{V_1^2 + V_2^2} = \frac{V_1}{\cos \lambda_0} = \frac{\omega_1 d \partial}{2000 \cos \lambda_0}$$

bu erdan shu narsa ma'lumki

$$V_{cuu} > V_1$$

Sirpanish tezligini katta bo'lishi uzatmani tez eyilishiga olib keladi.

Foydali ish koefisienti (F.I.K.)

$$\eta_{uep} = \eta_n^n \eta_p \eta_{3.3} \eta_{e.n}$$

bu erda: n - uzatmadagi juft podshipniklar soni.

η_n - podshipniklarni F.I.K. $\eta_n = 0,999$

η_p - gidravlik yo'qotishlarni xisobga oluvchi F.I.K. $\eta_p = 0,97 \dots 0,98$

$\eta_{3.3}$ - tishlashishni xisobga oluvchi $\eta_{3.3} = 0,97 \dots 0,98$

$\eta_{e.n}$ - vintli juftdagi F.I.K.

$$\eta_{e.n} = \frac{tg \lambda_{\delta}}{tg(\lambda_{\delta} + \rho^1)}.$$

NAZORAT SAVOLLARI

- 1.Chervyakli uzatmani qanday afzalliklari bor, tishli uzatmaga nisbatan?
- 2.Chervyakli uzatmada sirpanish tezligi qanday aniqlanadi?
- 3.Uz – uzidan tormozlanish sharti kay vaqtda bajariladi?
- 4.Chervyak va chervyak g'ildiraklari qanday materiallardan tayyorlanadi?
- 5.Chervyak g'ildiragini kontakt mustaxkamligiga xisoblaganda qanday parametrlardan foydalaniladi?
- 6.Chervyakli uzatmani xisoblash tartibi nimadan iborat?
- 7.Chervyakli uzatmani foydali ish koefisienti qanday aniqlanadi?
- 8.Qay vaqtda ko'p kirimli chervyaklar qo'llaniladii?
- 9.Chervyakli uzatmani qanday parametrlari standartlashgan?
- 10.Moyni issikligini qanday yullar bilan pasaytirish mumkin?

MA'RUZA 28

Zanjirli uzatmalar.

Reja:

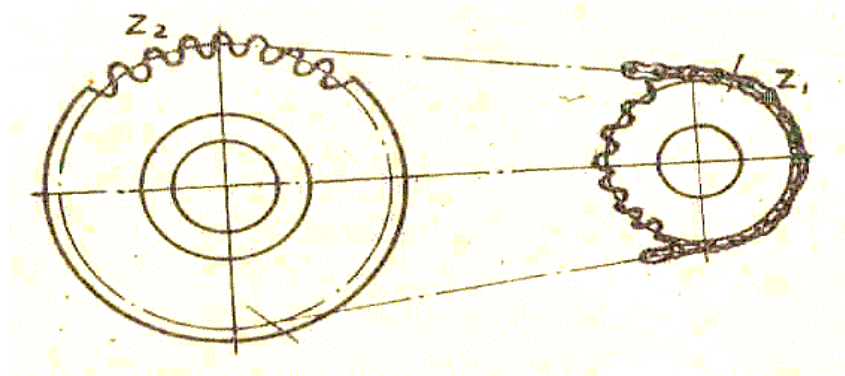
Zanjirli uzatmalarni afzalliklari va kamchiliklari va ishlatilish joylari.

Uzatmani tasnifi.
Uzatmani geometrik ulchamlari.
Uzatmani eyilishga xisoblash.
Uzatmalarni taranlash moslamalari.

Tayanch iboralar: zanjir, rolik, karter.

Adabiyotlar: 1. 2. 3

Zanjirli uzatma etakchi va etaklanuvchi ikkita parallel valga utkazilgan ikkita tishli g'ildirak (yulduzcha) dan iborat bulib, ular shu yulduzchalarga kiydirilgan cheksiz, zanjir bilan bir-biriga boglangandir.



Rasm 28

Afzalliklari.

1. O'qlaroaro orasidagi masofa ancha uzun bo'lishi mumkin ($A_{max}=5m$)
2. F.I.K. yo'qori ($\eta=0,97...0,98$)
3. Vallarda kam nagruzka bo'ladi, tasmali uzatmaga nisbatan.
4. Bir valdan bir necha vallarga harakat olib berish mumkin.

Kamchiliklari.

1. Nisbatan narxi yo'qori.
2. Harakat vaqtida aylanish bir tekis bulmaydi.
3. Ishlaganda shovkin chikaradi.
4. Uzatmani yigish vaqtida aniqlik talab kilishi.

Zanjir uzatmalar asosan, stanoklarda, tarnsporterlarda va kishlok xujalik mashinalarida ko'prok qo'llaniladi.

Uzatmani tasnifi. (Klassifikatsiyasi).

Zanjirlar turiga qarab (rolikli, vtulkali va tishli) bo'ladi.

Nagruzkalarni olib berishiga qarab (bir katorli va ko'p katorli) zanjirlarga bo'linadi.

Yetaklanuvchi yulduzchalar soniga qarab (normal – bir yulduzchali va maxsus – bir necha yulduzchali) bo'lishi mumkin.

Uzatma ochik yoki yopik bo'lishi mumkin.

Zanjirli uzatma detallari.

Zanjirlar – vtulkali, rolikli va tishli bo'ladi. Rolikli zanjir xam, tishligi xam bir xil tarkalgandir. Lekin rolikli zanjirlar sharnir yoyilganda chuzilishga (kadamning ortishiga) sezuvchan, tishli zanjirlarga nisbatan ko'prok shovkin chikarib ishlaydi, lekin ogirligi kamdir. Umuman, katta tezliklarda yaxshisi tishli zanjirni ishlatgan ma'kuldir.

Gost buyicha quyidagi zanjirlar ishlab chikariladi: rolikli bir katorli normal (IIP), rolikli bir katorli kuchaytirilgan (IIPY), bir katorli vtulkali (IIB), rolikli bir katorli ogir (IIPT), va undan tashkari 2-3-4-5-6 katorli zanjirlar ishlab chikariladi.

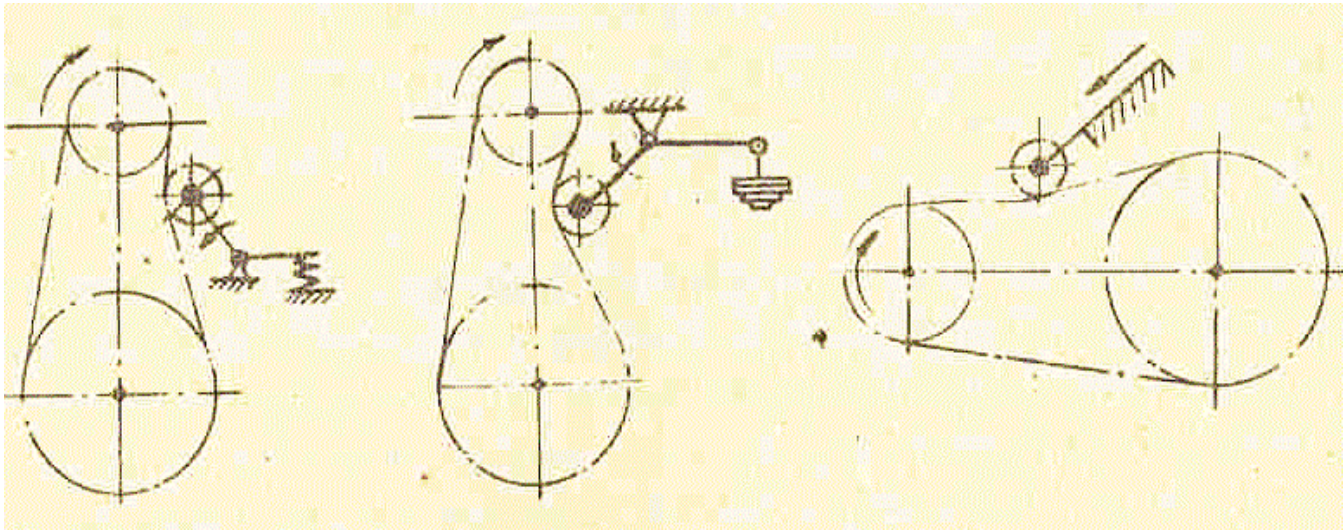
Yulduzchalar – ular asosan chuyarlardan tayyorlanadi. (Cr 18-36, Cr-21-40, Cr 24 –44, Cr 28-48) va pulatlardan (15,15X) va toblangan pulat (40,40X) tayyorlanadi.

Karter – uni asosiy vazifasi uzatmani changlardan saklash va moylashni ta'minlash uchun ishlatiladi.

Zanjirlar maxsus taranglovchi kurilmalar bilan ta'minlangan bo'lishi kerak:

Taranglovchi kurimalar.

Rasm 29



Zanjirli uzatmani aylanishlar soni.

Yulduzcha bir marta aylanganda zanjirni bosib utgan yuli $t \cdot Z$, u xolda zanjirni tezligi

$$V = \frac{tz_1\omega_1}{2\pi 1000} = \frac{tz_2\omega_2}{2\pi 1000},$$

bu erda: t -zanjir kadami

$z_1; z_2$ - etaklovchi va etaklanuvchi yulduzchalarni tishlar soni.

$\omega_1; \omega_2$ - etaklovchi va etaklanuvchi yulduzlarni burchak tezligi.

Aylanishlar soni

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{z_2}{z_1}; \quad i \leq 8$$

Zanjirli uzatmani asosiy geometrik ulchamlari:

O'qlararo masofa

$$A = (30 \dots 50)t$$

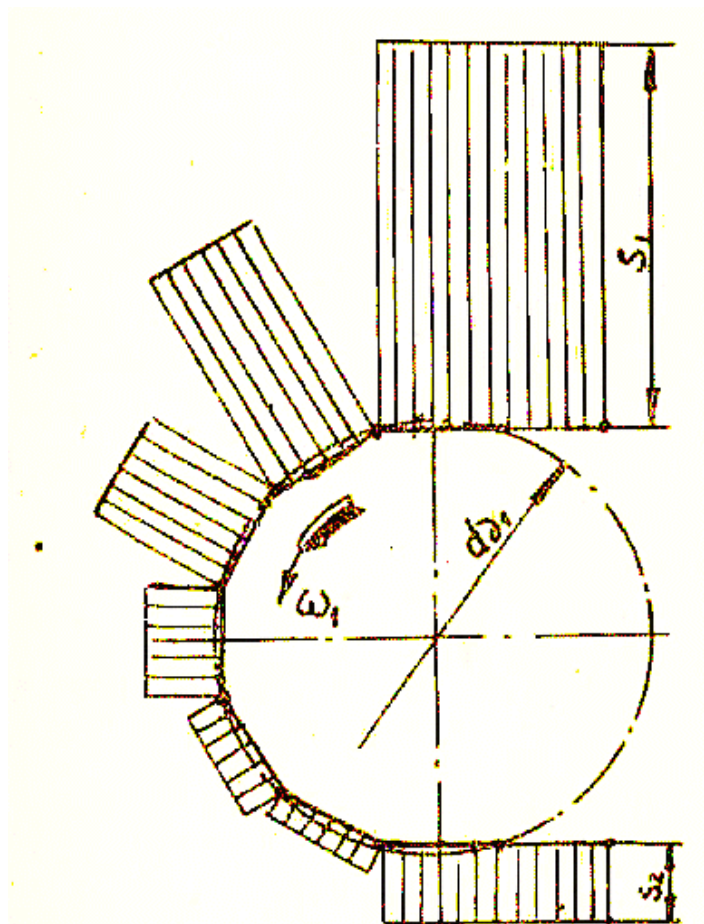
Zanjir uzunligi

$$L_t = \frac{2A}{t} + \frac{z_1 + z_2}{2} + \left(\frac{z_2 - z_1}{2\pi} \right)^2 \frac{t}{A}$$

1. Zanjir kadami tanlangandan keyin o'qlararo orasidagi masofa quyidagicha topiladi.

$$A = \frac{t}{4} \left[L_t - \frac{z_1 + z_2}{2} + \sqrt{\left(L_t - \frac{z_1 + z_2}{2} \right)^2 - 8 \left(\frac{z_2 - z_1}{2\pi} \right)^2} \right]$$

Zanjir tarmoqlariga ta'sir qiladigan kuchlar.



Rasm.30 Zanjir tarmoklarida ta'sir qiladigan kuchlar epyurasi.
Aylanma kuch

$$P = \frac{2M}{d_{\partial 1}}$$

bu erda: $d_{\partial 1}$ - yulduzchani buluv diametri.

Zanjirni taranglashda xosil bo'ladigan kuch.

$$S_0 = KfqA$$

bu erda: q - *Inoz.M* zanjirni ogirligi.

K_f - zanjirni osilish koeffisienti.

Markazdan kochma kuch ta'siridagi zo'riqish.

$$S_v = \frac{q}{g} v^2$$

bu erda: $g=9,81$; v - zanjir tezligi.

Zanjirni etaklovchi (ishchi) tarmogidagi zo'riqish.

$$S_1 = P + S_0 + S_v$$

valdagi zo'riqish. $S_2 = S_0 + S_v$; $Q = K_e P + S_0$

K_e - valdagi zo'riqish koeffisient

Zanjirli uzatmani eyilishga xisoblash.

Zanjirning eyilishga chidamliligi valik bilan vtulka orasidagi solishtirma bosim «P» buyicha tekshiriladi.

$$P = \frac{PK}{F} \leq [\rho]$$

bu erda: P- zanjir zvenosidagi urta bosim.
P- aylana kuch.
F - zanjir sharnirini kesim yuzasi.
K - zanjirni ishlatish koefitsienti.

$$K = K_{\text{дин}} K_A K_C K_O K_P K_{\text{пер}}.$$

Bu erda:

$K_{\text{дин}}$ – dinamik zo'riqish koefitsienti
 K_A – o'qlararo koefitsienti
 K_C - moylash sistemasini xisobga oluvchi koefitsient
 K_O - zanjirni ogish burchagini xisobga oluvchi koefitsient
 K_P – zanjirni ishlash rejimini xisobga oluvchi koefitsient
 $K_{\text{пер}}$ – zanjirni taranglash turini xisobga oluvchi koefitsient.

NAZORAT SAVOLLARI

- 1.Zanjirli uzatmani afzalliklari va kamchiliklari nimadan iborat?
- 2.Zanjirlarni taranglashishini qanday turlari bor?
- 3.Zanjirli uzatmani geometrik ulchamlari qanday aniqlanadi?
- 4.Zanjirlar eyilishga qanday xisoblanadi?
- 5.Zanjirli uzatmani aylanishlar soni qanday aniqlanadi?
- 6.Zanjir tamogida ta'sir qiladigan kuchlar qanday aniqlanadi?
- 7.Zanjir uzunligi qanday aniqlanadi?
- 8.Tishli zanjirlar qanday materiallardan tayyorlanadi?
- 9.Yulduzchani buluv diametri qanday aniqlanadi?
- 10.O'qlararo masofa qanday aniqlanadi?

MA'RUZA. 29
Muftalar.

Reja:

- 1.Muftalarni vazifasi va tasnifi.
- 2.Bikr va kompensiruyuiy muftalar.
- 3.Kulachok – diskli muftalar.
- 4.Sharnirli muftalar.
- 5.Tishli muftalar va ularni xisoblash.

Tayanch iboralar: Mufta, sharnir, kulachok, flanes.

Adabiyotlar: 1. 2. 3

Umumiy ma'lumotlar va klassifikasiyasi. Muftalarning klassifikasiyasi.

Muftalarni asosiy vazifasi - aylanuvchi momentning uzatish uchun valning aloxida qismlarining uzunligi buylab bir – biriga ulab yaxlit valga aylantirishdir.

Oddiy muftalardan biri ajralmas muftadir, bu mufta fakat bitta vazifaga ikki – bulak valni birlashtirib, bitta yaxlit val qilib aylantirishga muljallangan.

Ta'sir kilishiga qarab.

Uzgarmas muftalar, vallar uzgarmasdan yaxlit xolda ushlab turadi.

Ssepny muftalar, maxsus boshqarish sistemasi yordamida vallarni kushib ajratadi.
 Uz – uzidan boshqaruvchi muftalar, ish rejimi uzgarganda avtomatik ravishda ajratib yuboradi.

Ishlash xarakteriga qarab quyidagilarga bo'linadi:

Kattik muftalar, bu muftalar bir valdan ikkinchi valga harakat berish davomida, birinchi valdagi zarb va titrashlarni uzgartirmay olib beradi.

Elastik muftalar, bunday muftalar harakatni ochib berish davrida birinchi valdagi, zarb, titrash va tebranishlarni ikkinchi valga kamaytirib olib beradi.

Muftalarning asosiy xarakteristikasi uni olib beradigan burilish momentidir.

$$M_{xuc} = KM$$

Bu erda: K – muftani ishlash rejimini xisobga oluvchi koeffitsient.

Elektrodvigateldan harakat olib berish vaqtida:

Nagruzka tekis bo'lsa $K=1,15 \dots 1,4$

Nagruzka uzgaruvchan bo'lsa $K=1,5 \dots 2,0$

Nagruzka zarbli bo'lsa $K=2,5 \dots 4,0$

Muftalar val diametriga va burilish momentiga qarab GOST dan tanlanadi.

Bikr va kompensiruyuiy muftalar.

Uzgarmas muftalar bikr va kompensasiya kiluvchi guruhlariga bo'linadi. Ular valni bir o'qqa kattik xolda birlashtiriladi. Asosan sekin aylanadigan vallarga urnatiladi. Eng ko'p ishlatiladigan bikr muftalar vtulkali va flaneslidir.

Vtulkali muftalar. Vallarni vtulka yordamida shponka yoki shlisl yordamida ushlab turadi.

Vtulka mustaxkamlikka tekshiriladi.

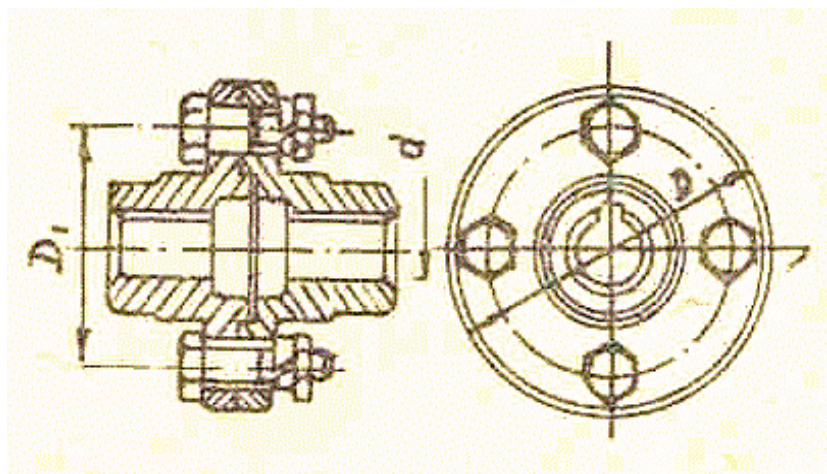
$$\tau = \frac{M_{xuc}}{W} = \frac{M_{xuc} \cdot D}{0,2(D^4 - d^4)} \leq [\tau]$$

bu erda D va d – muftani diametrlari.

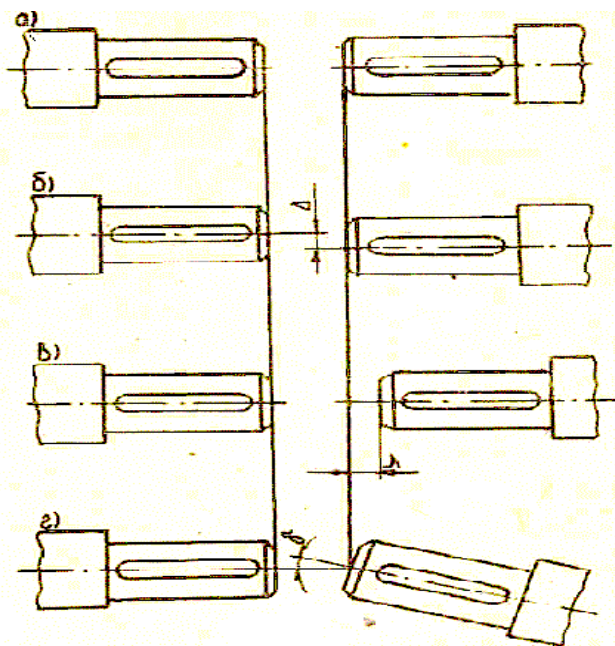
$[\tau] = 22 \dots 25 \frac{H}{mm^2}$ - ruxsat etiladigan buralishdagi kuchlanish (45 pulat).

Flanesli muftalar.

Bunday muftalar ikkita yarim muftadan iborat. Ular bolt yordamida birlashtiriladi.



Kompensasiya kiluvchi mufta. Bunday muftalar montaj vaqtida xosil bo'ladigan radial, uq buyicha va burchak siljishlarini kompensasiya qiladi.



a – radial siljishi.

δ – o'q buylab siljish.

ϵ – burchak siljishlarini kompensasiya qiladi.

Tishli muftalar. Ular ikki yarim muftadan iborat bulib, ichki qismida evolvent profili tishlar bo'ladi. Tish kirib turganda mufta ishlaydi. Tishli mufta GOST 5006 – 55 buyicha tashlanadi.

$$M_{\text{ГОСТ}} \geq K_1 M K_2$$

bu erda: $M_{\text{ГОСТ}}$ – ГОСТ buyicha tanlangan maksimal buralish momenti.

K_1 – xavfsizlik koeffisienti.

(Agar yarim mufta mashinani tuxtatishiga sabab bo'lsa, u xolda $K_1 = 1,0$ avariya xoliga kelsa $K_1 = 1,2$).

K_2 – mashinani ishlash sharoitini xisobga oluvchi koeffisient (tekis ishlanganda $K_2 = 1,0$ uzgaruvchan nagruzkada $K_2 = 1,2$; ogir sharoitda zarb bilan ishlaganda $K_2 = 1,5$).

Kulachok – diskli mufta. Ular ikkita yarim muftalardan iborat, ular ichiga suzuvchi disklar urnatilgan. F.I.K. $\eta = 0,97 \dots 0,98$.

Disklar asosan 45 II pulatlardan tayyorlanadi.

Bir kulachok uzatadigan kuch,

$$P = \frac{1}{2} p \frac{D-d}{2} h = P \frac{D-d}{4} h$$

bu erda P – maksimal bosim. $P \geq [P]$

h – kulachok balandligi.

$$[P] = 15 \dots 30 \frac{H}{\text{mm}^2}$$

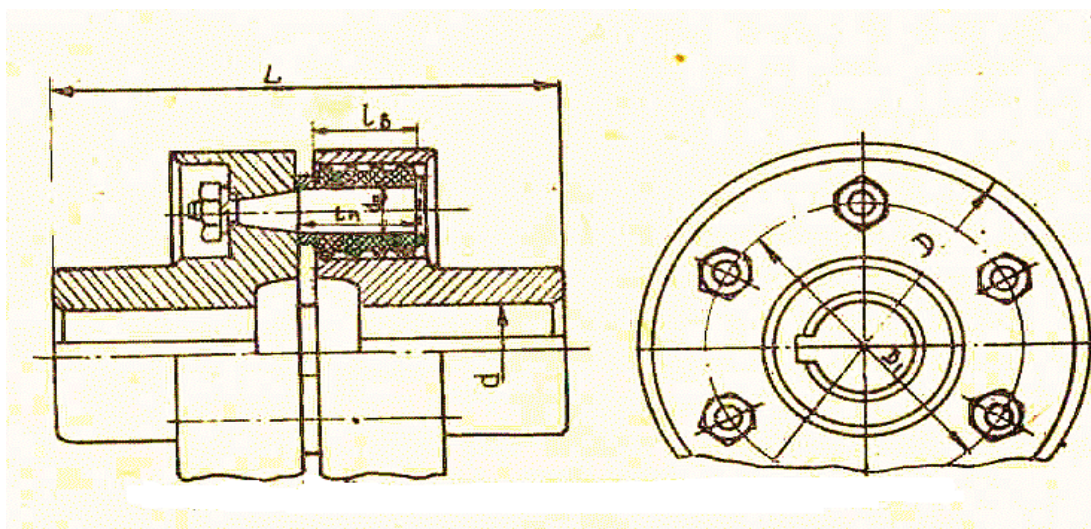
Sharnirli mufta. Val o'qlar $\delta = 45^\circ$ ostida kesishgan vaqtda urnatiladi. Ular ikki vilka va krestovinadan iborat. Birinchi valni burchak tezligi uzgarmaganda, ikkinchi valni burchak tezligi bir aylanish vaqtida uzgaradi. Ular mashina kardanlarida keng ishlatiladi. Val diametrlari $d = 10 \dots 40$ mm bulganda (GOST – 5147 - 69) tanlanadi.

$$M_{\text{xuc}} \leq M_{\text{ГОСТ}} \cdot \cos \delta$$

bu erda $M_{\text{ГОСТ}}$ – mufta uchun ruxsat etiladigan burovchi moment GOST buyicha $\delta = 0$ bulgan xolda.

Ionsimon prujinali muftalar.

U val uchlariga tigiz utkazilgan va shponkalar kuyib maxkamlangan ikki bir xil yarim muftalardan iborat. Yarim muftalarning tashki yuzalarida tishlar bulib, ular oraligiga 5 – 8



seksiyali ilonsimon lenta prujina qo'yiladi.

Prujinalar tushib ketmasligi uchun mufta boltlar bilan biriktirilgan ikki palladan iborat kojux ichiga olinadi. Kojux (kornus) bilan tishli yarim mufta orasiga zichlagich qo'yiladi.

Ilonsimon prujinali muftalarning tishlariga tegishli shakl berilib doimiy yoki uzgaruvchan birlikka ega bulgan elastik bog'lanish olinadi. Shu tufayli notekis ishlash vaqtida (etaklanuvchi valda uzgaruvchan nagruzka) xosil bo'ladigan zarblarni yumshatishga erishiladi.

NAZORAT SAVOLLARI

1. Muftalar ishlash prinsipiga qarab qanday guruhlariga bo'linadi?
2. O'zgarmas muftalar qanday tuzilgan?
3. Maxsus muftalar qanday tuzilgan?
4. Muftalar qanday tanlanadi?
5. Saqlovchi va obgon muftalarni ishlash prinsipini ayting?
6. Maxsus muftalar qanday tuzilgan va qanday ishlaydi?
7. Elastik muftalar kaerda ishlatiladi?
8. Saqlovchi va obgon muftalar qanday tuzilgan?
9. Muftani ulchamlari qanday aniqlanadi?
10. Ssepnoy muftalar kachon ishlatiladi?

MA'RUZA 30

Podshipniklar. dumalash podshipniklari.

Reja:

1. Dumalash podshipniklarini afzalliklari, kamchiliklari va ishlatish joylari.
2. Podshipniklarni tasnifi va markirovkasi.
3. Asosiy nazariyasi.
4. Podshipniklarni xisoblash.
5. Podshipniklarni yo'q kutaruvchanligini aniqlash.

Tayanch iboralar: Podshipnik, sharik, rolik, konussimon, ignasimon urama.

Adabiyotlar: 1. 2. 3

Dumalash podshipniklarida dumalash elementlarini shariklar yoki roliklar bajaradi. Podshipnik xalqalari, sharik va roliklari IIIXB, IIIX9, IIIX15, IIIX 15 ГС xromli pulatlardan tayyorlanadi. Ularni kattikligi 62-65, ular shlifovat kilinib keyin polirovat qilinadi.

Hozirgi vaqtda ichki diametri 1,5 mm dan 2,6m – gacha, ogirligi 0,5 gr. dan 3,6 tonna bulgan podshipniklar ishlab chikariladi.

Afzalliklari.

1. Ishkalishga kam quvvat talab qiladi.
2. Yeyilishga, yonginga chidamli.
3. Moylash materiallarinini kam sarf qiladi.
4. Nisbatan arzon, chunki ular standart buyicha ishlab chikariladi.
5. Xizmat kursatish arzon.

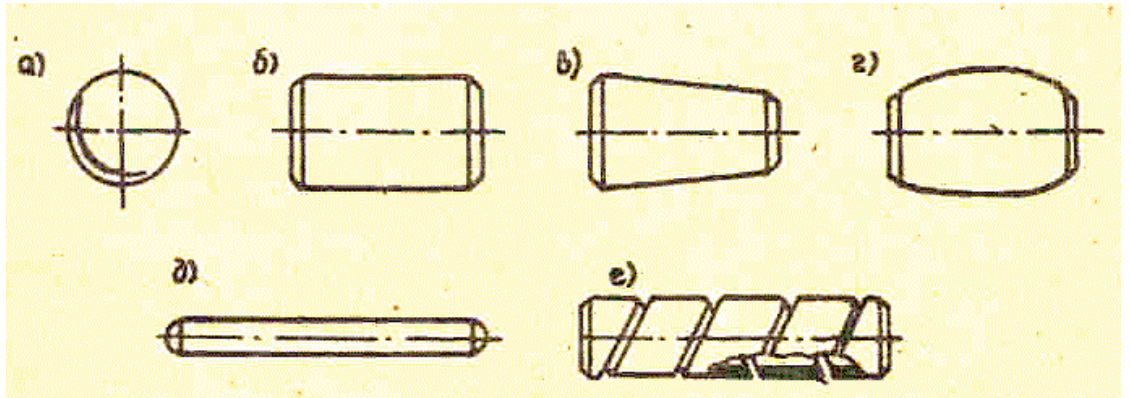
Kamchiliklari.

Katta kattiklikka ega chunki ishchi kontakt yuzasi oz.

*Katta nagruzkalarda ishlash muddati ozrok.
 Bir rejimda ishlaydigan podshipniklarni ishlash muddati xar xilligi.
 Ayrim detallarga o'rnatish kiyinligi (misol tirsakli vallarda).*

Klassifikatsiyasi va markirovkalari.

Quyidagi belgilar buyicha dumalash podshipniklari klasslarga bo'linadi.
 dumalash detallari formasi buyicha sharikli va rolikli. Roliklilar uz navbatida, silindrsimon (b),



konussimon (v), bochkasimon (g), iynasimon (d), urama (e) roliklar.

Nagruzkalarni qabul kilishiga qarab – radial, radial – tirgak va tirgak podshipniklarga bo'linadi. Dumalash shariklariga qarab- bir katorli va ko'p katorlilar bo'ladi. Uz – uzidan urnashmovchi va uz –uzidan urnashadigan (sferik) bo'ladi.

Tashqi ulchamlariga nisbatan – seriyalarga bo'linadi. Tashki diametri buyicha, uta engil seriya, engil seriya, urta seriya va ogir seriyalar.

Eni buyi - ingichka, urta, keng va uta keng seriyalarga bo'linadi.

Hamma podshipniklar markalanadi, misol podshipnik «1121», oxirgi 2- siftni, beshga ko'paytirilsa, podshipnikni ichki diametri kelib chikadi, ya'ni $21 \times 5 = 105$ mm. Oxiridan 3 – sifr seriyasini, 4 – sifr tipini bildiradi.

Asosiy nazariyasi.

Podshipnik shariklarida nagruzkalar bir tekis tarkalmaydi.

Agar podshipnikka R nagruзка ta'sir kilsa, u xolda shariklarga tushadigan nagruzkalar $R_0; R_1; R_2 \dots R_n$ desak podshipnikka tushadigan umumiy nagruзка quyidagicha topiladi.

$$R = R_0 + 2R_1 \cos 2\gamma + 2R_2 \cos 2\gamma + \dots + 2R_n \cos n\gamma$$

bu erda: $\gamma; 2\gamma; \dots n\gamma$ - kuchlar orasidagi burchaklar.

Radial podshipnikdagi tebranish elementlari orasida nagruzkaning taksimlanishi.

$$\sigma_{\max} = 1320 \sqrt[3]{\frac{R}{(D^2 - d^2) \cos \beta}}$$

bu erda: R- podshipnikka ta'sir qiladigan radial nagruзка (kg):

D va d – tashki xalqaning tashki diametri va ship diametri sm xisobida:

β - tutash burchagi: radial podshipnik uchun

ishqalanishdagi yo'qotish, ular asosan xalqalar, shariklar va separatorlar orasida bo'ladi.

$$M_{uu} = \frac{Qf\pi dn}{1000 \cdot 60 \cdot 102} = 17 \cdot 10^{-10} Qf\pi dn, \kappa Bm$$

bu erda: Q – podshipnikka ta'sir kiluvchi kuch, kg.

f – keltirilgan ishqalanish koeffisienti $f = 0,002 \dots 0,02$.

d – val diametri, mm.

n – valni aylanishlar soni, ayl/min.

Podshipniklarni ishdan chiqish sabablari. Dumalash podshipniklarining elementlari asosan shikastlanish xisobida ishdan chikadi. Ular yaxshi urnatilsa va urtacha rejimda ishlatilsa ularni uzok ishlashi ta'minlanadi. Agar podshipnik katta nagruzkada ishlasa, uni tashki xalqalari tezda ishdan chikadi.

Separatorlarni ishdan chiqishi asosan shariklar tomonidan katta bosim xosil bo'lishi, bu bosim katta aylanishlarda ko'p bo'ladi, markazdan kochma kuch xisobida. Abraziv ishdan chiqish, asosan podshipniklar yaxshi yopilmaganidan xosil bo'ladi.

Podshipniklarni xisoblash.

Dumalash podshipniklarining katologlarida xar bir tiporazmerdagi podshipnik uchun ishlash qobiliyati koefisienti deb ataluvchi va C (jadvaldagi) bilan belgilanuvchi chidamlilik va yo'qlanish qobiliyatining xarakteristikasi keltiriladi.

Ishlash qobiliyati koefisientining talab kilingan mikdori C quyidagi empirik formula bilan topiladi.

$$C_{max} = Q(nh)^{0,3}$$

bu erda : Q – shartli nagruzka xisobida.

n – aylanuvchi xalqani minutiga aylanish soni:

h - chidamlilik, soat xisobida.

Q – radial sharikli podshipniklar uchun quyidagi formuladan topiladi.

$$Q = (RK_x + mA)K_B K_T$$

bu erda: R – haqiqiy radial nagruzka,

A – o'q buylab yunalgan haqiqiy nagruzka,

m – A – nagruzkani R nagruzkaga aylantiruvchi koefisient.

K_B – xavfsizlik koefisienti.

K_x - ichki yoki tashki xalqa aylanishiga chidamlilikning boglikligini xisobga oluvchi koefisient.

K_T – yo'qori temperaturada ishlagan vaqtda podshipnik chidamliligining kamayishini xisobga oluvchi koefisient.

Tirak podshipnikni tanlashda quyidagi formuladan foydalaniladi.

$$C_{max} = A(nh)^{0,3} K_B K_T$$

Masalan valdagi o'q buylab yunalgan nagruzka A birinchi podshipnikka, ta'sir kilsin, bu xolda uning keltirilgan nagruzkasi.

$$Q_1 = [R_1 K_x + m(A - s_1 + s_2)] K_B K_T$$

ikkinchi podshipnik uchun

$$Q_2 = [R_2 K_x + m(s_1 - s_2)] K_B K_T$$

Radial nagruzkani o'q buylab yunalgan tashkil etuvchisining qiymati quyidagi formula bilan topiladi.

$$S \approx 1,3Rtg\beta$$

bu erda: β – kontakt burchagi.

Dumalash podshipniklarida ishlatiladigan moylarni ikki guruhga bulish mumkin:

A – suyuq moylar – mineral moylar:

B – konsistent moylar – quyuq moylar:

Aylanuvchi xalqaning minutiga aylanishlar soni 50 dan kam bulganda va val nagruzkasi bilan tuxtab – tuxtab ishlasa (masalan, yo'q kutaruvchi mashinalarda) podshipniklarni statik yo'q kutara olish qobiliyatiga xisoblash kerak.

Statik yo'q kutara olish qobiliyatiga qarab podshipniklar quyidagiga asosan tanlanadi:

$$Q \leq Q_{cr}$$

Bu erda Q – podshipnikka ta'sir kiluvchi nagruzka.
 Q_{cr} – podshipnikning statik yo'q kutara olish qobiliyati (ruxsat etiladigan statik nagruzka), uning qiymati jadvalda beriladi.

NAZORAT SAVOLLARI

1. Dumalash podshipniklari qanday markirovka qilinadi?
2. Dumalash podshipniklarni tasnifini aytib bering?
3. Podshipniklar qanday xisoblanadi?
4. Dumalash podshipniklarni asosiy nazariyasi nimalardan iborat?
5. Podshipniklar qanday materiallardan tayyorlanadi?
6. Dumalash podshipniklari qanday seriyalarga bo'linadi?