

10 – ma'ruza

Mavzu: Erkinlik darajasi 1 teng sistemalarni mebranishlari

Ma'ruza rejasi:

10.1. Mexanizmlarda tebranma harakat

10.2. Tebranuvchi sistemalarga ta'sir qiluvchi kuchlar

10.3. Tebranuvchi mexanizmlarni harakat tenglamalarini tuzish metodlari haqida

10.4. Bir massali tebranuvchi mexanizmlari mashina agregatini matematik modelini keltirib chiqarish

10.5. O'z- o'zini tekshirish savollari

Adabiyotlar:

1. В.А. Зиновьев, А.П. Бессонов. Основы динамики машинных агрегатов. Машиностроение, Москва, 1964, с. 101...108.
2. А. Джураев. Моделирование динамики машинных агрегатов хлопкоперерабатывающих машин. Фан, Ташкент, 1984, с. 103...112.
3. А. Джураев. Динамика рабочих механизмов хлопкоперерабатывающих машин. Фан, Ташкент, 1987, с. 102...111.

10.1. Mexanizmlarda tebranma harakat

Bo'g'inlar yoki mexanizmlar ishlash jarayonida, umuman, davriy yo'nalishda bo'ladi, bu esa bo'g'inlarning tebranishiga olib keladi. Qator hollarda davriy ta'sir bo'lmaganda ham tebranish sodir bo'ladi. Mexanizm va mashinalarda tebranish faol muammo bo'lmagan texnikaning biron bir sohasini ko'rsatish mumkin.

Tadqiqotchilarning diqqati turli konstruksiyalarning rotorlarni, trubinalarni, vallar va ichki yonar dvigatellarni, trubina parraklari, xavoli vintli grebnya, avtomobillar va temir yo'l vagonlari, kemalar, injener inshootlari, qoplovchilar, sanoat imoratlarining detallari, vibrotashuvchilar va h.k. Qator hollarda tebranish normal ekspluatatsiyaga xalaqit beradi yoki to'g'ridan- to'g'ri konstruksiyaning mustaxkamligiga xavf tug'diradi; asta-sekin toliqish yoriqlarini tayyorlaydi.

Bunday hollarda nazariy tebranishni kamaytirish yo'llarini, texnologik jarayonlarni optimallashtirish va asoslashni ko'rsatadi. Tebranishdan maqsadli, masalan, vibrotashish texnikasida qo'llashni tavsiya qiladi.

Qayishqoq tebranishlar nazariyasida quriladigan ko'p turli tuman masalalarda chuqur ichki bog'lanish bo'ladi. Birdek qonuniyatlarni bo'lishi birdaniga ayrim xususiy masalalarni qamrab olgan hodisalar sinflarini ko'rishga imkon beradigan nazariyaning prinsipial asosidir.

O'z tabiati bilan tebranuvchi jarayonlarning beshta kateqoriyalarini ko'rsatish mumkin:

- 1) Erkin tebranishlar, ya'ni tashqaridan energiya oqimi olmaydigan mexanik Sistema hosil qiladigan, agar Sistema muvozanat holatidan chiqqan bo'lib, o'z-o'zi bilan qolishi;
- 2) Aylanuvchi uzellar va rotorlarni to'satdan, aniq aylanish burchak tezligida (yoki tezliklarni aniq zonasida) piliklarni to'satdan oshishi;
- 3) Mexanik sistemaga tashqi o'zgaruvchan kuchlarni ta'siri natijasidagi majburiy tebranishlar;
- 4) Sistemaning parametrlarini (masalan, uning bikrligini) davriy o'zgarishini keltirib chiqargan parametric tebranishlar;
- 5) Avtotebranishlar – tebranmas xarakterdagi doimiy energiya manbai keltirib chiqaruvchi tebranish.

Tebranishni nazariy tahlilini murakkabligi ko'proq quriladigan mexanik sistemani erkinlik darajasi soniga bog'liq. Mexanik sistemaning erkinlik darajasi soni deganda bir-biriga bog'liq bo'lmagan, sistemaning hamma material nuqtalarini holatini bir xil aniqlash tushuniladi. Dinamik maslalarda, xususan, tebranishlar masalasida, vaqt o'tishi bilan Sistema nuqtalarining holatlari o'zgaradi, demak ko'rsatilgan koordinatalar vaqt funksiyasi hisoblanadi.

Dinamik tadqiqotning asosiy vazifasi bu funksiyalarni topish, ya'ni sistemaning harakatini aniqlash. Bundan so'ng osongina deformatsiyalar, kuchlanishlar va Sistema bog'lanishlaridagi ichki kuchlar topilishi mumkin.

Har qanday mexanik Sistema uzluksiz ko'p material nuqtalardan iborat, demak, erkinlik darajasi doimo cheksiz ko'p. ammo amaldagi masalalarni yechishda, odatda, erkinlik darajasi oxirgi yuki bilan xarakterlanadigan soddalashgan sxemalardan foydalaniladi. Bunday hisoblash sxemalarida sistemaning ba'zi (ko'proq yengil) qismlari massaga ega emas deb, deformatsiyalanuvchi inersiyasiz bog'lanishlar ko'rinishida tasavvur qilinadi, bunda hisoblash sxemasida inersiya xususiyati saqlanadi, material nuqta ("mujassamlangan massalar") deb hisoblanadi.

10.2. Tebranuvchi sistemalarga ta'sir qiluvchi kuchlar

Hisoblash sxemasini soddalashtirishga intilib, shuni bilish kerakki, berilgan sistemaning hamma inersion xususiyatlarini nazarga olmaslik natijasida dinamik spetsifik masala yechiladi. Mexanik sistemaga tashqi ta'sir qiluvchi kuchlar, shuningdek, uning bog'lanishlaridagi rivojlanuvchi ichki kuchlar o'z tabiati, tebranish jarayonidagi roli bilan turli tumandir.

Tiklanuvchi kuchlar – bu bog'lanishlarda sistemani muvozanat holatidan og'ishi va unga qaytarishiga intiluvchi kuchlardir. Shuni aytish mumkinki, mexanik sistemalarni tebranish xususiyati – bu faqat shu kuchlarning ta'siridir. Tiklanuvchi kuchning asosiy turi bu ***qayishqoqlik kuchi*** hisoblanadi. Oddiy holdagi chiziqli deformatsiyalanuvchi sistemaning tiklovchi qayishqoqlik kuchi sistemaning og'ishiga proporsionaldir; bunda qayishqoq bog'lanish xususiyati to'liq bitta son – ***bikrlik koeffitsiyenti*** bilan aniqlanadi. ***C bikrlik koeffitsiyenti*** deb, static yuklangan sistemani P kuch bilan, keltirib chiqargan og'ish X orasidagi bog'lanishdur: **$P = cx$** .

Mexanik sistemaning tebranishida, tiklovchi kuchlardan tashqari, tiklovchi kuchlardan tashqari, ishqalanish kuchlari ham bo'lishi kerak. Ular qaytmas ishni bajaradi, natijada mexanik energiyaning dissipatsiyasiga olib keladi, tegishlicha, bunday kuchlar ***dissipative kuchlar*** deyiladi. Bu kategoriyaga mexanik sistemaning tayanchlari va birikmalardagi ishqalanish kuchlari; muhitning qarshilik kuchlari kiradi. Ularda tebranishlar, Sistema elementi materialidagi ichki ishqalanish

kuchlari, va nihoyat, amortizatorlarni (dempferlarni) ytuklanishida hosil bo'ladigan kuchlar kiradi.

Tiklovchi va dissipative kuchlarning xarakteristikalarini faqat sistemaning o'zini xususiyatlari bilan aniqlanadi, tegishli kuchlar nafaqat harakatga ta'sir qilib qolmay, o'zlari ham bu harakat bilan boshqariladi, chunki X oshishiga va \dot{x} tezlikka bog'liq.

Mexanik sistemalarga ta'sir qiluvchi boshqa muhim kategoriyadagi kuchlar – bu **qo'zg'atuvchi kuchlar**, ya'ni vaqtni funksiyasida berilgan va shu sababli harakatga bog'liq bo'lmagan, ammo, albatta faol unga ta'sir qiladigan, masalan, muvozanatlanmagan, aylanuvchi rotordan hosil bo'ladigan va fundamentga uzatiladigan kuch. ω – rotorning burchak tezligi, m – uning massasi, e – eksentretiti bo'lsin. Bunda markazdan qochma kuchning kattaligi o'zgarmas va $m\omega^2 e$ ga teng, ammo kuchning tegishli bu kuchning ikkita tashkil etuvchisi, shuningdek, tayanch maydoni o'rtasiga nisbatan uning momkentini uzluksiz o'zgarib turadi.

Markazdan qochma kuchning vertical tashkil qiluvchisi quyidagicha:

$$P = m\omega^2 e \sin\omega t$$

Bunday kuchlar (va juftlar) mashina o'rnatilgan qayishqoq sistemaning tebratishini sababchisi hisoblanadi. Bunday qo'zg'atish turi **inersion** deyiladi.

Boshqa hollarda qo'zg'atuvchi kuchlar boshqa sabablardan, masalan, ichki yonuv dvigatelini silindridagi bosimni davriy o'zgarishi sababli yoki o'zgaruvchi tokda ishlaydigan elektromagnitlarni elektrovibro mashinalarda tortish kuchini davriy o'zgarishidan kelib chiqishi mumkin. Qo'zg'atuvchi kuchlarni vaqtga nisbatan o'zgarishi qonuni har xil.

10.3. Tebranuvchi mexanizmlarni harakat tenglamalarini tuzish metodlari haqida

Tebranuvchi sistemalarning harakatining differensial tenglamalarini tuzish quyidagi usullarda bajariladi:

- 1) *Lagranjning ikkinchi darajali tenglamasi*. Ko'p massali tebranuvchi sistemalarni o'rganishdagi usul qulay;

- 2) *To'g'ri usul*. Massalar sistemaning qayishqoq sistemasidan fikran ajratiladi va ularning har biri uchun harakatning differensial tenglamalari yoziladi, bunda qayishqoq bog'lanishlarning ta'siri ularni reaksiyasi bilan almashtiriladi. Usul shunday hollarda bog'lanish reaksiyalari (qayishqoqlik kuchi va qovushqoqlik) xarakterli siljishlar va tezliklar orqali, xususan, ko'p massali zanjirli sistemalarga erkin va majburiy tebranishlari tadqiq qilishda, undan murakkab ifodalanmaydigan hollarda qulay.
- 3) *Qaytma usul*. Usulni g'oyasi sistemani hamma massasini uning qayishqoq sistemadan ajratish va uning deformatsiyasini ajratilgan massalarni berilgan tashqi kuchlar (juftlar) va inersiya kuchlari (inersiya momentlari) ta'sirida o'rganish.

Ba'zida ikkita har xil obyektlarda va uni qayishqoq siljishi hisobiga fikralshda ikki xil fikr hosil bo'ladi. Inersiya kuchlari haqida aytilganda, shuni nazarga olish kerakki, ular qayishqoq skeletga qo'yilgan. Ya'ni berilgan sistemaning hamma massasi ajralgan bog'lanish sistemasida qo'yilgan. Qaytma usul balka tipidagi ko'p massali sistemalarni erkin va majburiy tebranishlarini taxlilida qulay. Bunday hollarda to'g'ri usul kamroq maqsadga muvofiqdir.

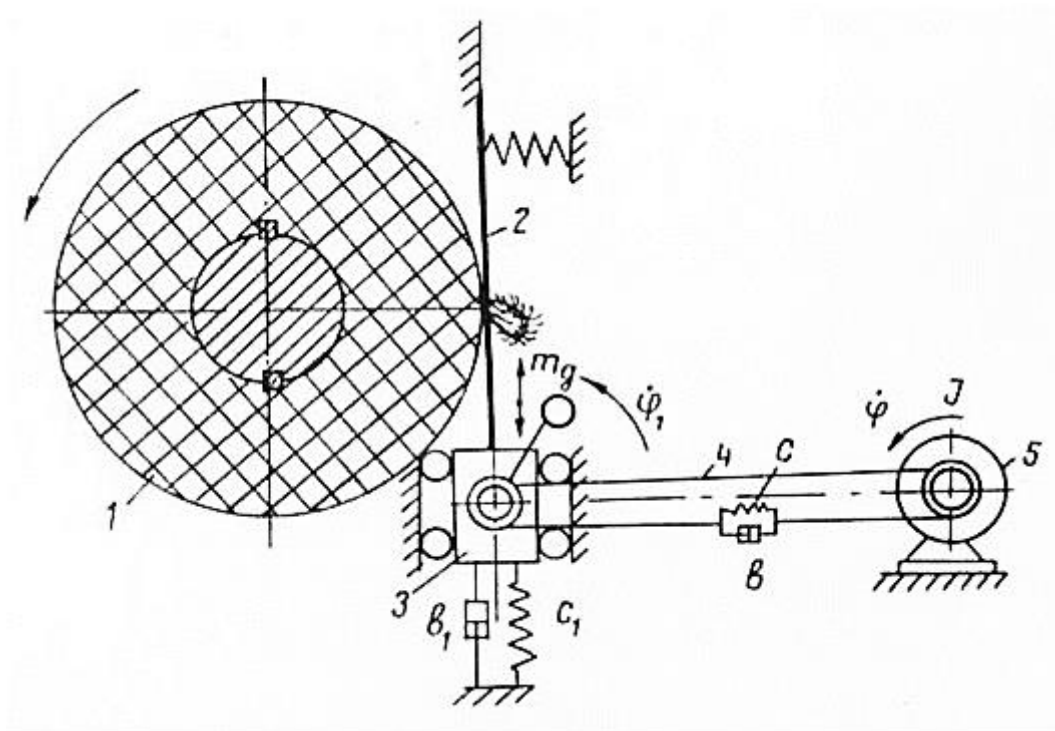
- 4) *Energetic usul* energiyani saqlanish qonuniga asoslangan. Unga muvofiq tebranishda patensial va kinetic energiyalarning yig'indisi o'zgarmas. Bu usul ba'zi erkinlik darajasi birga teng kanservativ sistemalari erkin tebranishi tahlilida qulay.

10.4. Bir massali tebranuvchi mexanizmli mashina agregatini matematik modelini keltirib chiqarish

Bir massali tebranuvchi mexanizmli mashina agregati *asinxron elektryurituvchi, qayishqoq uzatma va bir massali tebranma mexanizmdan* tashkil topgan. Ko'rastilgan Sistema uchun hisoblash sxemasi tuzilgan. Sxemada yurituvchining mexanik static xarakteristikasidan, yurituvchidan desbalansaga tasmlai uzatmani qayishqoq xususiyati, sistemani quruq va qovushqoq ishqalanish kuchlarini yengishdagi energiyani tarqalishi, texnologik qarshiliklar hisobga olinadi.

Berilgan Sistema murakkab tebranuvchi Sistema hisoblanadi, uning harakati chiziqsiz differensial tenglamada ifodalaniladi. Chiziqsizlik yuritmani xarakteristikasini noxiziqliqi, shuningdek, texnologik kuchlarni noxiziqliqi bilan tushuntiriladi.

Mashina agregatining harakatini matematik modelini tuzishda shuni inobatga olindiki, sistemada qayishqoq uzatma kichik bikrlikka ega; qayishqoq uzatmaning ikki tomonida joylashgan massalar debalans shkivning va yurituvchi rotori massasiga keltirilgan (10.1 - rasm).



10.1 – rasm

Tebranuvchi sistemaning harakati differensial tenglamasini keltirib chiqarishda Lagranjning ikkinchi darajali tenglamasidan foydalaniladi:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}_i} + \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} = Q_i(q) \quad (10.1)$$

bu yerda, q_i, \dot{q}_i - sistemaning umumlashgan koordinatasi va tezligi;

T, Π – sistemaning kinetic va potensial energiyasi;

Φ – Releynintg dissipative funksiyasi;

$Q_i(q)$ – umumlashgan koordinatalarga mos umumlashgan kuchlar.

Hisoblash sxemasi bo'yicha sistemaning T kinetic energiyasi quyidagicha:

$$T = \frac{1}{2} m \dot{x}^2 + \frac{1}{2} m_o (\dot{x}_\delta^2 + \dot{y}_\delta^2) + \frac{1}{2} I \dot{\varphi}^2 + \frac{1}{2} I_1 \dot{\varphi}_1^2 \quad (10.2)$$

bu yerda, $\dot{x}_\delta, \dot{y}_\delta$ – debalansni og'irlik markazini harakat tezligi.

Debalansning harakat tezligini uning proyeksiyasi bilan ifodalaymiz:

$$x_\delta = x + r_\delta \cos \varphi, y_\delta = r_\delta \sin \varphi \quad (10.3)$$

Vaqtga nisbatan differensiallab quyidagini olamiz:

$$\dot{x}_\delta = \dot{x} - r_\delta \dot{\varphi} \sin \varphi, \dot{y}_\delta = r_\delta \dot{\varphi} \cos \varphi \quad (10.4)$$

(10.4) ni (10.2) ga qo'yamiz:

$$T = \frac{1}{2} m \dot{x}^2 + \frac{1}{2} m_o \left[\dot{x}^2 - 2r_\delta \dot{x} \dot{\varphi} \sin \varphi + r_\delta^2 \dot{\varphi}^2 \sin^2 \varphi + r_\delta^2 \dot{\varphi}^2 \cos^2 \varphi \right] + \frac{1}{2} I \dot{\varphi}^2 + \frac{1}{2} I_1 \dot{\varphi}_1^2 \quad (10.5)$$

yoki

$$T = \frac{1}{2} m \dot{x}^2 + \frac{1}{2} m_o (\dot{x}^2 - 2r_\delta \dot{x} \dot{\varphi} \sin \varphi + r_\delta^2 \dot{\varphi}^2) + \frac{1}{2} (I \dot{\varphi}^2 + I_1 \dot{\varphi}_1^2) \quad (10.6)$$

Sistemaning potensial energiyasi quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$\Pi = m_o r_\delta \cos \varphi + \frac{1}{2} c_1 x^2 + \frac{1}{2} c (\varphi_1 - \varphi)^2 \quad (10.7)$$

Releynintg dissipative funksiyasi:

$$\Phi = \frac{1}{2} b_1 x^2 + \frac{1}{2} b (\varphi_1 - \varphi)^2 \quad (10.8)$$

Debalans shkivning tayanchidagi quruq ishqalanish kuchi formulasidan aniqlanadi:

$$F_{TP} = m_o f(r_\delta - |x|) [\dot{\varphi} \sin \varphi + \dot{\varphi}^2 \cos \varphi] \quad (10.9)$$

Lagranj tenglamasi (10.1) ni hadlarini aniqlaymiz:

1) Siljish bo'yicha xususiy hosila

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial x} = 0, \frac{\partial T}{\partial \varphi} = -m_o r_\delta x \cos \varphi, \frac{\partial T}{\partial \varphi_1} = 0, \frac{\partial \Pi}{\partial x} = c_1 x_1, \\ \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi} = -m_o g r_\delta x \sin \varphi - c (\varphi_1 - \varphi), \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi_1} = c (\varphi_1 - \varphi) \end{aligned} \quad (10.10)$$

2) Umumlashgan koordinata tezliklari bo'yicha xususiy hosila

$$\begin{aligned}\frac{\partial T}{\partial \dot{x}} &= m\dot{x} + m_{\delta}\dot{x} - m_{\delta}r_{\delta}\dot{\varphi}\sin\varphi, \\ \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} &= -m_{\delta}r_{\delta}\dot{x}\sin\varphi + m_{\delta}r_{\delta}^2\dot{\varphi} + I\dot{\varphi}, \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_1} = I\dot{\varphi}_1, \\ \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{x}} &= b_1\dot{x}, \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\varphi}} = -b(\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}), \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{\varphi}_1} = b(\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi})\end{aligned}\quad (10.11)$$

3) Vaqtga nisbatan differensiallash

$$\begin{aligned}\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}}\right) &= m\ddot{x} + m_{\delta}\ddot{x} - m_{\delta}r_{\delta}\ddot{\varphi}\sin\varphi - m_{\delta}r_{\delta}\dot{\varphi}^2\cos\varphi, \\ \frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}}\right) &= m_{\delta}r_{\delta}\ddot{x}\sin\varphi - m_{\delta}r_{\delta}\dot{x}\dot{\varphi}\cos\varphi + m_{\delta}r_{\delta}^2\ddot{\varphi} + I\ddot{\varphi}, \\ \frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}_1}\right) &= I\ddot{\varphi}_1\end{aligned}\quad (10.12)$$

Aniqlanganlarni Lagranjning ikkinchi darajali tenglamasiga (10.1) qo'yib, yurituvchini harakatlantiruvchi momentini va qarshilik kuchini nazarga olib, bir massali tebranuvchi mexanizmli mashina agregatini harakatini differensial tenglamalarini olamiz:

$$\begin{aligned}I_1\ddot{\varphi}_1 &= M_{\delta} - b_1(\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}) - c_1(\varphi_1 - \varphi), \\ (I + m_{\delta}r_{\delta}^2)\ddot{\varphi} - m_{\delta}r_{\delta}(\ddot{x} + g)\sin\varphi &= b_1(\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}) + c_1(\varphi_1 - \varphi) - M_{TP}, \\ (m + m_{\delta})\ddot{x} - m_{\delta}r_{\delta}(\ddot{\varphi}\sin\varphi + \dot{\varphi}^2\cos\varphi) + b_1x + c_1x &= -F_{h.c}\end{aligned}\quad (10.13)$$

bu yerda

$$\begin{aligned}M_{\delta} &= \frac{2M_{\kappa}(1 + \varepsilon_1)}{S/S_{\kappa} + S_{\kappa}/S + 2\varepsilon_1}, \varepsilon_1 = \frac{1}{\sqrt{r_1^2 + x_{\kappa}^2}}, \\ M_{TP} &= m_{\delta}r_{II}f(r - |x|)[\ddot{\varphi}\sin\varphi + \dot{\varphi}^2\cos\varphi]\end{aligned}$$

bu yerda, I_1, I – yurituvchi rotorning va debalans shkivning inersiya momentlari;

φ_1, φ – yurituvchi rotorning va debalans shkivning burilish burchaklari;

c, c_1 – qayishqoq uzatma va prujinaning bikrlilik koeffitsiyentlari;

b, b_1 – qayishqoq uzatma va prujinaning qovushqoq qarshilik koefitsiyentlari;

$F_{p.c}$ – qarshilik kuchlari yoki tashqi qo'zg'atuvchi kuch;

M_{TP} – detallari shkiv tayanchidagi quruq ishqalanish momenti;

m – tebranuvchi jism massasi;

m_δ – debalans massasi;

r_δ – debalans radiusi;

r_{II} – debalans shkivning podshipnikli tayanch radiusi;

x – m massani koordinata boshidan og'ishi, yuqoriga harakat ijobiy yo'nalish deb tanlangan;

x_k – yurituvchini qisqa tutashidagi induktiv qarshiligi;

r_l – yurituvchining aktiv qarshiligi;

f – po'latni po'latga ishqalanish koefitsiyenti.

10.5. O'z- o'zini tekshirish savollari

1. Qanday tebranish turlarini bilasiz?
2. Tebranuvchi mexanizmlarga qanday kuchlar ta'sir qiladi?
3. Tebranuvchi mexanizmlarni harakat tenglamalarini tuzishni qanday amaldagi metodlarini bilasiz.?
4. Zemenov debalansini tushuntirish.
5. Bir massali tebranma mexanizimli mashina agregatini matematik modeli qanday tuziladi?