

*10-MA`RUZA.*

*Erkinlik darajasi 1 teng sistemalarni mebranishlari*

Джураев А.Дж.

## ▶ **REJA:**

- ▶ *Mexanizmlarda tebranma harakat*
- ▶ *Tebranuvchi sistemalarga ta'sir qiluvchi kuchlar*
- ▶ *Tebranuvchi mexanizmlarni harakat tenglamalarini tuzish metodlari haqida*
- ▶ *Bir massali tebranuvchi mexanizimli mashina agregatini matematik modelini keltirib chiqarish*
- ▶ *O'z- o'zini tekshirish savollari*

## ▶ ADABIYOTLAR:

- ▶ В.А. Зиновьев, А.П. Бессонов. Основы динамики машинных агрегатов. Машиностроение, Москва, 1964, с. 50-56
- ▶ А. Джураев. Моделирование динамики машинных агрегатов хлопкоперерабатывающих машин. Фан, Ташкент, 1984, с. 47-87
- ▶ А. Джураев. Динамика рабочих механизмов хлопкоперерабатывающих машин. Фан, Ташкент, 1987, с. 212

## ► 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 imoratlarning 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 kategoriyalarini 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 **dissipativ 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 xarakteristikalari 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 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.  $\omega$  - rotorning burchak tezligi,  $m$  - uning massasi,  $e$  - eksentretiti bo'lsin. Bunda markazdan qochma kuchning kattaligi o'zgarmas va  $m\omega^2e$  ga teng, ammo kuchning tegishlicha bu kuchning ikkita tashkil etuvchisi, shuningdek, tayanch maydoni o'rtasiga nisbatan uning momkentini uzluksiz o'zgarib turadi.

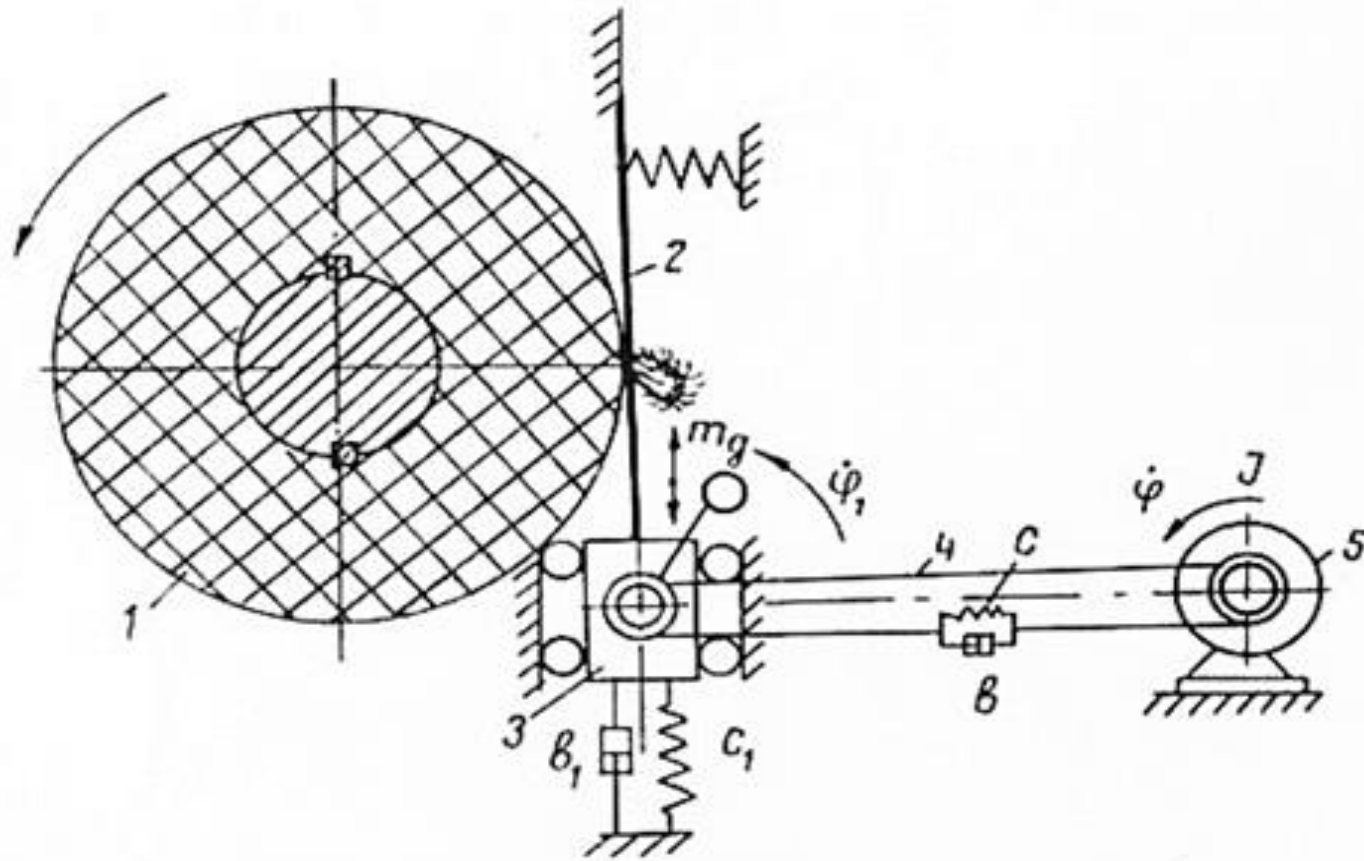
### ▶ **10.3. Tebranuvchi mexanizmlarni harakat tenglamalarini tuzish metodlari haqida**

- ▶ Tebranuvchi sistemalarning harakatining differensial tenglamalarini tuzish quyidagi usullarda bajariladi:
- ▶ **Lagranjning ikkinchi darajali tenglamasi.** Ko'p massali tebranuvchi sistemalarni o'rganishdagi usul qulay;
- ▶ **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.
- ▶ **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.
- ▶ **Energetic usul** energiyani saqlanish qonuniga asoslangan. Unga muvofiq tebranishda potentsial va kinetic energiyalarning yig'indisi o'zgarmas. Bu usul ba'zi erkinlik darajasi birga teng konservativ sistemalari erkin tebranishi tahlilida qulay.

► **10.4. Bir massali tebranuvchi mexanizmlı mashına agregatını matematik modelini keltirib chiqarish**

- Bir massali tebranuvchi mexanizmlı mashına agregatı *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 nochiziqligi, shuningdek, texnologik kuchlarni nochiziqligi 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 diffensial tenglamasini keltirib chiqarishda

Lagranjning ikkinchi darajali tenglamasidan foydalaniladi:

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

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

$T, \Pi$  – sistemaning kinetic va potensial energiyasi;

$\Phi$  – Releynintg dissipative funksiyasi;

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

Hisoblash sxemasi bo' yicha sistemaning  $T$  kinetic energiyasi quyidagicha:

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

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:

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

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

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

yoki

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

Sistemaning potentsial energiyasi quyidagi ifodadan aniqlanadi:

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

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:

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

Lagranj tenglamasi (10.1) ni hadlarini aniqlaymiz:

1) Siljish bo'yicha xususiy hosila

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

2) Umumlashgan koordinata tezliklari bo'yicha xususiy hosila

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

### 3) Vaqtga nisbatan differensiallash

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

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

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

## *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?