

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ
ОЛИЙ ВА ЎРТА ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ**

**“ТОШКЕНТ ИРРИГАЦИЯ ВА ҚИШЛОҚ ХЎЖАЛИГИНИ
МЕХАНИЗАЦИЯЛАШ МУХАНДИСЛАРИ ИНСТИТУТИ”
МИЛЛИЙ ТАДҚИҚОТЛАР УНИВЕРСИТЕТИ**

«МЕХАНИКА ВА КОМПЬУТЕРЛИ МОДЕЛЛАШТИРИШ» КАФЕДРАСИ

**ГИДРОТЕХНИКА ИНШООТЛАРИНИНГ ДИНАМИКАСИ ВА
ЗИЛЗИЛАБАРДОШЛИГИ ФАНИ**

МИРСАИДОВ МИРЗИЁД МИРСАИДОВИЧ

**МАВЗУ -9: ЭРКИНЛИК ДАРАЖАСИ БИР НЕЧТА БЎЛГАН СИСТЕМАЛАРИНИНГ ХУСУСИЙ
ТЕБРАНИШЛАРИНИ АНИКЛАШ УСУЛЛАРИ**

ТОШКЕНТ-2023.



TIQXMMI
"TOSHKENT IRRIGATSIYA VA QISHLOQ
XO'JALIGINI MEKANIZATSIYALASH
MUHANDISLARI INSTITUTI"
MTU
MILLIY TADQIQOT UNIVERSITETI



МИРСАИДОВ МИРЗИЁД МИРСАИДОВИЧ

т.ф.д., профессор

• 7-МАЪРУЗА

• РЕЖА:

1. Эркинлик даражаси бир нечта бўлган системаларнинг хусусий тебраниш частоталарини куч усули ёрдамида аниқлаш.
2. Эркинлик даражаси учга тенг бўлган системаларнинг хусусий тебраниш частоталарини куч усули ёрдамида аниқлаш.
3. Эркинлик даражаси “ n ” га тенг бўлган системаларнинг хусусий тебраниш частоталарини куч усули ёрдамида аниқлаш.
4. Эркинлик даражаси “ n ” га тенг бўлган системаларнинг хусусий тебраниш частоталарини кўчиш усули ёрдамида аниқлаш.
5. Эркинлик даражаси “ n ” га тенг бўлган системаларнинг хусусий тебранишларининг қуйи частотасини баҳолаш.

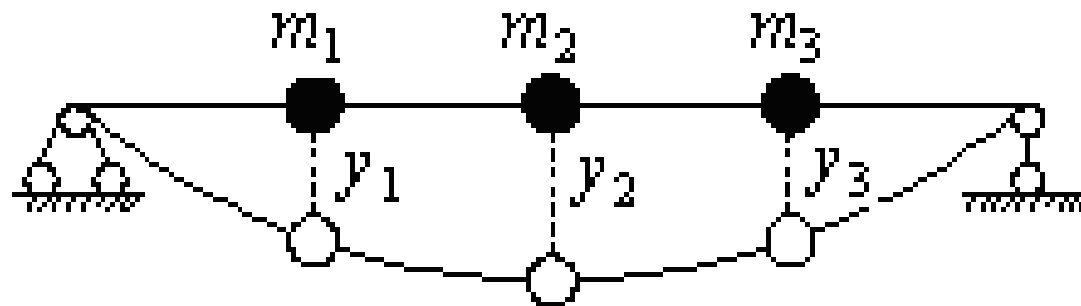
7.1. Эркинлик даражаси бир нечта бўлган системаларнинг хусусий тебранишларини куч усули ёрдамида аниқлаш.

Эластик системанинг хусусий тебраниш частоталари ва шакллари сони унинг эркинлик даражасига тенг бўлади. Ҳар бир тебраниш шаклининг ўз частотаси бор бўлиб, Бу частоталар мажмуаси хусусий частоталар спектри деб аталади. Амалиётда кўпинча энг кичик, яъни қуйи (биринчи) частотани аниқлаш билан кифояланилади. Бу частотада динамик кучлар таъсирида ҳосил бўладиган резонанс ҳолатининг вужудга келиш хавфи кўпроқ бўлади. Одатда, энг кичик хусусий частотада рўй берадиган биринчи резонанснинг динамик таъсири юқори бўлади, чунки бу частотадаги тебраниш катта қувватга эга бўлади.

Хаттоки, агар қўзғатувчи кучнинг частотаси системанинг хусусий тебранишларининг қуйи частотасидан анча юқори бўлган тақдирда ҳам, бу частотадан ўтаётганда барибир резонанс ходисаси содир бўлиб ўтади. Масалан, машина юргизилиб, айланишлар сони орта бораётганда, бундай ҳодиса рўй бериши мумкин. Зилзила вақтида ҳам шундай ҳодиса кузатилади, чунки бу ҳолда ҳам частоталар спектрининг диапазони (қамрови) катта бўлади. Шунинг учун, хусусий тебранишларнинг биринчи частотаси кўпинча тебранишларнинг асосий частотаси (ёки тони ҳам) деб аталади.

7.2. Эркинлик даражаси учга тенг бўлган системаларнинг хусусий тебраниш частоталарини куч усули ёрдамида аниқлаш.

Мисол тариқасида учта тўпланган m_1 , m_2 , m_3 массаларга эга бўлган оддий балкани хусусий тебранишини кўриб чиқамиз (7.1-расм).



7.1-расм. Уч массали система

Бу система учта хусусий тебраниш частоталари- $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ га эга булади.. Ушбу системанинг хусусий тебраниш частоталарини аниқлаш учун дифференциал тенгламалар системаси куйидаги курунишга эга булади :

$$y_1 = -\delta_{11}m_1\ddot{y}_1 - \delta_{12}m_2\ddot{y}_2 - \delta_{13}m_3\ddot{y}_3, \quad (7.1)$$

$$y_2 = -\delta_{21}m_1\ddot{y}_1 - \delta_{22}m_2\ddot{y}_2 - \delta_{23}m_3\ddot{y}_3,$$

$$y_3 = -\delta_{31}m_1\ddot{y}_1 - \delta_{32}m_2\ddot{y}_2 - \delta_{33}m_3\ddot{y}_3$$

Массаларнинг бирлик кучдан ҳосил бўлган кўчишлари $\delta_{11}, \delta_{12}=\delta_{21}, \delta_{13}=\delta_{31}, \delta_{22}, \delta_{23}=\delta_{32}, \delta_{33}$ Мор-Верешчагин усули билан аниқланади.

Бир жинсли оддий дифференциал тенгламалар системаси (7.1) қуйидаги ечимга эга бўлади:

$$\begin{aligned}y_1 &= a_1 \sin(\omega t + \varphi_0), \\y_2 &= a_2 \sin(\omega t + \varphi_0), \\y_3 &= a_3 \sin(\omega t + \varphi_0).\end{aligned}\tag{7.2}$$

Бу ерда: a_1, a_2, a_3 -массаларнинг тебраниш амплитудалари; φ_0 -тебранишнинг бошланғич фазаси.

Ҳар бир массанинг тезланиши қуйидагича бўлади:

$$\begin{aligned}\ddot{y}_1 &= -\omega^2 a_1 \sin(\omega t + \varphi_0) \\ \ddot{y}_2 &= -\omega^2 a_2 \sin(\omega t + \varphi_0) \\ \ddot{y}_3 &= -\omega^2 a_3 \sin(\omega t + \varphi_0).\end{aligned}\tag{7.3}$$

(7.2)-(7.3) ларни (7.1) тенгламалар системасига қўйиб, олинган натижани $[\omega^2 \sin(\omega + \varphi_0)]$ га қисқартирсак, қуйидаги бир жинсли алгебраик тенгламалар системасини эга бўламиз:

$$\begin{cases} (\delta_{11}m_1 - 1/\omega^2)a_1 + \delta_{12}m_2a_2 + \delta_{13}m_3a_3 = 0, \\ \delta_{21}m_1a_1 + (\delta_{22}m_2 - 1/\omega^2)a_2 + \delta_{23}m_3a_3 = 0, \\ \delta_{31}m_1a_1 + \delta_{32}m_2a_2 + (\delta_{33}m_3 - 1/\omega^2)a_3 = 0 \end{cases} \quad (7.4)$$

Агар $a_1 = a_2 = a_3 = 0$ деб олинса, система тинч ҳолатда бўлади, яъни тебраниш бўлмайди. Бу ҳол биз қараётган масаламизни шартига тўғри келмайди. **Хусусий тебраниш ҳосил бўлиши учун a_1, a_2, a_3 амплитудалар нолдан фарқли бўлиб, система коэффициентларидан ташкил топган аниқловчи (детерминант) нолга тенг бўлиши керак, яъни:**

$$D = \begin{vmatrix} \delta_{11}m_1 - 1/\omega^2 & \delta_{12}m_2 & \delta_{13}m_3 \\ \delta_{21}m_1 & \delta_{22}m_2 - 1/\omega^2 & \delta_{23}m_3 \\ \delta_{31}m_1 & \delta_{32}m_2 & \delta_{33}m_2 - 1/\omega^2 \end{vmatrix} = 0 \quad (7.5)$$

Бу характеристик аниқловчи бўлиб, уни нолга тенгласак, асрий тенглама деб аталувчи характеристик тенглама келиб чиқади. Бу тенгламадан **характеристик илдизлар $\omega^2_1, \omega^2_2, \omega^2_3$ ва уч массали системанинг (7.1-расм) хусусий частоталари $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ топилади.**

Частоталарнинг топилган қийматларини (7.4) тенгламалар системасига қўйиб, уни ечсак, массаларнинг тебраниш амплитудалари келиб чиқади. Топилган барча амплитудаларни максимал амплитудага бўлиш йўли билан системанинг **(2.29-расм)** хусусий тебраниш шакллари ҳосил қилинади.

7.3. Эркинлик даражаси “ n ” га тенг бўлган системаларнинг хусусий тебраниш частоталарини куч усули ёрдамида аниқлаш.

Эркинлик даражаси n га тенг бўлган системанинг характеристик тенгламаси умумий кўринишда қуйидагича ёзилади:

$$D = \begin{vmatrix} \delta_{11}m_1 - 1/\omega^2 & \delta_{12}m_2 & \dots & \delta_{1n}m_n \\ \delta_{21}m_1 & \delta_{22}m_2 - 1/\omega^2 & \dots & \delta_{2n}m_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \delta_{n1}m_1 & \delta_{n2}m_2 & \dots & \delta_{nn}m_n - 1/\omega^2 \end{vmatrix} = 0 \quad (7.6)$$

Характеристик тенгламалар системаси (7.6) нинг тартиби катта бўлмаса (яъни $n \leq 3$ бўлса), у ҳолда уни қўлда ечса ҳам бўлади, бошқа ҳолларда махсус дастурлар ёрдамида ЭХМ да ечилади.

Агарда куч усули қуланганда асосий система қулай қилиб танланиб, ёндош кўчишлар δ_{ik} ($i \neq k$) нолга айланса, бу ҳолда **характеристик тенглама (7.6) алоҳида тенгламаларга бўлиниб кетиши мумкин.** Бу алоҳида тенгламалар эса фақат бош кўчишлардан ташкил топади. Бу ҳолда u_1, u_2, \dots, u_n кўчишлар тебранишнинг бош координаталари деб аталади.

Бу ҳолда тебранишнинг бош шакллари бир бирига боғлиқ бўлмай, хар бири ўз частотасига эга бўлади ва бу частоталар қуйидаги формула ёрдамида аниқланади:

$$\omega_i = 1 / \sqrt{\delta_{ii} m_i} \quad (7.7)$$

Мазкур формула тузилишига кўра эркинлик даражаси бирга тенг бўлган системанинг формуласи га ўхшайди. Бироқ эркинлик даражаси икки-учдан ортиқ бўлган системалар учун **умумий ҳолда бош координаталарни танлаш анча қийин.**

Эркинлик даражаси иккига тенг бўлган система учун бу жуда осон масала ҳисобланади.

Симметрик системаларда массалар ҳам симметрик жойлашган бўлса, тебраниш шакллари ҳам симметрик ва тескари симметрик бўлади. Бунда инерция кучлари ҳам симметрик ва тескари симметрик бўлиб, улар куч усулида номаълумларни гуруҳлангандек гуруҳланади. Бу ҳолда кўчишлар симметрик ва бирлик кучдан ҳосил бўлган тескари симметрик жуфтлик гуруҳлар орқали ҳисобланади. Тўғри ва тескари симметрик инерция кучларини боғловчи, ёндош кўчишлар эса нолга айланади. Натижада частоталар тенгламаси (характеристик тенглама) иккига ажралади ва уларнинг биридан симметрик тебранишларнинг, иккинчисидан эса тескари симметрик тебранишларнинг частоталари аниқланади.

Гуруҳланган кўчишлар жуфтланган бирлик кучлар орқали тузилган тенгламалардан аниқланади. Бу ҳолда характеристик тенгламаларга киритилган массалар $1/2$ коэффицентга кўпайтирилган бўлиши керак.

7.4. Эркинлик даражаси “n” га тенг бўлган системаларнинг хусусий тебранишларини кўчиш усули ёрдамида текшириш.

Эркинлик даражаси кўп бўлган системаларнинг хусусий тебраниш частоталарини кўчишлар усулида аниқлаш учун инерция кучларини кўчишлар орқали ифодалаш керак бўлади. Масалан, 7.1-расмда кўрсатилган эркинлик даражаси учга тенг (яъни m_1, m_2, m_3 массали) бўлган системанинг массаларида вужудга келадиган инерция кучлари қуйидагича ифодаланилади:

$$\begin{aligned} -m_1 \ddot{y}_1 &= y_1 r_{11} + y_2 r_{12} + y_3 r_{13} \\ -m_2 \ddot{y}_2 &= y_1 r_{21} + y_2 r_{22} + y_3 r_{23} \\ -m_3 \ddot{y}_3 &= y_1 r_{31} + y_2 r_{32} + y_3 r_{33} \end{aligned} \quad (7.8)$$

Бу ердаги r_{11} , r_{22} , r_{33} , $r_{12} = r_{21}$, $r_{13} = r_{31}$, $r_{23} = r_{32}$ реакциялар, одатдагидек, бирлик кўчишлар орқали аниқланади.

Бу холда кўчишлар ва уларнинг иккинчи ҳосилалари учун (7.2) ва (7.3) ифодалар ўз кучида қолади. Уларни (7.8) га қўйиб, қуйидаги бир жинсли алгебраик тенламалар системасини ҳосил қиламиз:

$$\begin{aligned}(r_{11} - m\omega^2)a_1 + r_{12}a_2 + r_{13}a_3 &= 0 \\ r_{21}a_1 + (r_{22} - m_2\omega^2)a_2 + r_{23}a_3 &= 0 \\ r_{31}a_1 + r_{32}a_2 + (r_{33} - m_3\omega^2)a_3 &= 0\end{aligned}\tag{7.9}$$

(7.8) тенгламанинг коэффициентларидан (7.5) га ўхшаш характеристик тенгламалар системасини тузиб, қаралаётган система (7.1-расм) учун хусусий тебранишнинг частоталарини аниқлаш мумкин.

Худди шу принцип тамоили асосида эркинлик даражаси исталганча бўлган системаларнинг хусусий тебраниш частоталарини аниқлаш мумкин.

Бу усулда ҳам, қаралаётган система частоталарини топиш учун характеристик тенгламалар системасини тузиш тартиби куч усулидаги каби бўлади. Мазкур усул, куч усулига нисбатан кўпроқ меҳнат талаб қиладиган усулдир. Шунинг учун хусусий частоталарни топишда кўпроқ куч усулидан фойдаланилади.

7.5. Эркинлик даражаси “n” га тенг бўлган системаларнинг хусусий тебранишларининг қуйи частотасини баҳолаш

Кўпинча система хусусий тебранишининг дастлабки бир нечта частотасини аниқлаш билан кифояланиш мумкин. Кўп ҳолларда системанинг, фақат биринчи, яъни энг қуйи частотани аниқлаш етарли деб қаралади. Кўзгатувчи кучнинг частотаси конструкциянинг хусусий тебранишининг биринчи частотасидан кичик бўлганда шундай қилиниши тўғри бўлади, бинобарин, бунда юқори частотали резонанс содир бўлмайди.

Бу ҳолда биринчи частотани аниқлаш учун кўп меҳнат талаб қилмайдиган тақрибий усуллардан фойдаланилса бўлади.

Бу ҳолда, асосий частотаси (биринчи тони) нинг иккита чегарасини белгилаш мумкин. Бу чегаралар ω_{\min} частотанинг икки томонлама баҳоси дейилиб, қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$1 / \sqrt[4]{B_2} < \omega_{\min} < \sqrt{\frac{B_1}{B_2}} \quad (7.10)$$

$$B_1 = \sum \delta_{ii} m_i$$

$$B_2 = \sum \delta_{ii}^2 m_i^2 + 2 \sum \delta_{ik}^2 m_i m_k$$

Бу формуладаги δ_{ii} (бош) ва δ_{ik} (ёндош) кўчишлар m_i ва m_k массалар тўпланган нуқтага қўйилган бирлик кучлардан ҳосил бўлган кўчишлардир

ВЕДИО МАТЕРИАЛ



Why do certain buildings fall in earthquakes? Using *analogies* to understand *resonant frequency**

*Natural frequency of vibration determined by the physical parameters of the vibrating object.



НАЗОРАТ САВОЛЛАРИ

1. Хусусий частоталар спектри деб нимага айтилади?
2. Амалиётда купинчи қайси хусусий частота аниқланади ва бу нима учун?
3. Системанинг қайси частотаси асосий частота ҳисобланади?
4. Учта эркинлик даражаси булган системада нечта хусусий частота бўлиши мумкин?
5. Хусусий частоталарни топиш учун қандай алгебраик тенгламалар системасини ечиш керак бўлади?
6. Хусусий частоталарни топиш учун система коэффициентларидан тузилган аниқловчи қандай бўлиши керак?
7. Системанинг характеристик тенгламасидан нима топилади?
8. Бир жинсли алгебраик тенгламада эндош кучишлар $\delta_{ik} = 0$ ($i \neq k$) бўлса, у ҳолда характеристик тенглама қандай қуринишга эга бўлади?

НАЗОРАТ САВОЛЛАРИ

9. Ёндош кучишлари $\delta_{ik} = 0$ ($i \neq k$) булса, алгебраик тенгламани кучишлари нима деб аталади?
10. Агар системани ифодаловчи характеристик тенгламада ёндош кучишлар $\delta_{ik} = 0$ ($i \neq k$) булса, бу ҳолда системани хусусий тебраниш частотаси қандай аниқланади?
11. Агар симметрик системада массалар ҳам симметрик жойлашган булса бундай системанинг хусусий тебраниш шакллари қандай булади?
12. Эркинлик даражаси кўп бўлган системаларнинг хусусий тебраниш частоталарини кўчишлар усулида аниқлаш учун инерция кучларини нималар орқали ифодалаш керак?
13. Эркинлик даражаси кўп бўлган системаларнинг хусусий тебраниш частоталарини қайси усул билан аниқлаш қулай?

Фойдаланилган адабиётлар

1. Мирсаидов М.М., Султанов Т.З. Иншоотлар зилзилабардошлиги. Тошкент, “Фан”.- 2012. - 240 бет. (Монография).
2. Мирсаидов М.М., Годованников А.М. Сейсмостойкость сооружений. Ташкент: «Узбекистан», 2008. - 220 стр. (Учебное пособие).
3. Mirsaidov M.M., Sultanov T.Z. Inshootlar zilzilabardoshligi (O’quv qo’llanma). Toshkent, “Shams”.- 2013. - 244 бет. (O’quv qo’llanma).
4. Мирсаидов М.М. Теория и методы расчета грунтовых сооружений на прочность и сейсмостойкость. Ташкент: «Фан», 2010.- 312 стр. (Монография).
5. Бестужева А.С. Расчет сейсмостойкости сооружений. М.: Изд-во МИСИ-МГСУ. 2020. – 55 с.
6. Саркисов Д.Ю. Сейсмостойкость зданий и сооружений. Томск: Изд-во Том.гос.архит.-строит.ун-та. 2021. -364 с.
7. Немчинов Ю.И. Сейсмостойкость зданий и сооружений. Киев: 2008. – 480 с.
8. Поляков С.В. Последствия сильных землетрясений. М.: Стройиздат, 1978. 311 с.
9. Поляков С.В. Сейсмостойкие конструкции зданий. М.: Высшая школа, 1983. [304](#)



TIQXMMI
"TOSHKENT IRRIGATSIYA VA QISHLOQ
XO'JALIGINI MEKANIZATSIYALASH
MUHANDISLARI INSTITUTI"
MTU
MILLIY TADQIQOT UNIVERSITETI



ЭЪТИБОРИНГИЗ УЧУН РАХМАТ!



МИРСАИДОВ МИРЗИЁД МИРСАИДОВИЧ



 + 998 71 237 09 81

 theormir@mail.ru

**ГИДРОТЕХНИКА ИНШОТЛАРИНИНГ
ДИНАМИКАСИ ВА ЗИЛЗИЛАБАРДОШЛИГИ**