

UDC 531:621-752:681

**NOMUKAMMAL ELASTIK STERJENNING CHIZIQLIMAS TEBRANISHLARI
USTUVORLIGI****DUSMATOV O. M.**SAMARQAND DAVLAT UNIVERSITETI, SAMARQAND
dusmatov62@bk.ru**XODJABEKOV M. U.**SAMARQAND DAVLAT ARXITEKTURA-QURILISH UNIVERSITETI, SAMARQAND
uzedu@inbox.ru**KASIMOVA F. U.**SAMARQAND DAVLAT UNIVERSITETI, SAMARQAND,
fkasimova988@gmail.com

REZYUME

Ushbu ishda kinematik qo'zg'alishlarda gisterezis tipidagi dissipativ xarakteristikali ko'ndalang kesimi o'zgaruvchan sterjenning chiziqlimas tebranishlari ustuvorligini tekshirish masalasi qaralgan. Lyapunovning birinchi yaqinlashish usulidan foydalanilib, ustuvorlik shartlari analitik ko'rinishda aniqlangan, hamda ustuvorlik sohalari va chegaralari tahlil qilingan.

Kalit so'zlar: nomukammal, elastik, sterjen, gisterezis, tebranish, amplituda-chastota xarakteristikasi, ustuvorlik sharti.

Kirish. Zamonaviy texnika va texnologiyalardagi: mashinalar, mexanizmlar, qurilmalar va ularning elementlari materialaridagi chiziqlimas dissipativ xarakteristikalarini hisobga olgan holda tebranishlarini o'rganish va ustuvorligini tekshirish natijasida dinamik xarakteristikalarini aniqlash uzoq muddat samarali ishlashini ta'minlash nuqtai nazaridan dolzarb muammolardan hisoblanadi.

Taqsimlangan parametrli sistemalarning chiziqlimas xarakteristikalarini hisobga olgan holda ularning tebranishlarini matematik modellashtirish va ustuvorligini tekshirishga oid ko'plab ilmiy tadqiqod ishlari mavjud.

[1]-ishda bir uchidan boshlab qalinligi bir xilda kamayib boradigan sterjenning ko'ndalang tebranishlari ko'rib chiqilgan. Tebranishlar tezligi tahlil qilingan. Olingan differensial tenglamalar aniq yechimga ega ekanligi ko'rsatilgan. Bu yechimlar asosida qalinligi o'zgarishi parabolik bo'lmaganda sterjen tenglamasini yechish uchun yangi usul taklif etilgan, xulosalar berilgan.

[2]-ishda o'zgaruvchan ko'ndalang kesimli sterjenlarning tebranishlarini tahlil qilishning sonli usullari keltirilgan. Ostrogradskiy - Gamilton printsipi sterjen bo'ylama, buralma va ko'ndalang tebranishlari tenglamalarini olish uchun qo'llanilgan. Turli xil chegaraviy shartlarda differensial hisoblashlar usullari bilan berilgan chegaraviy masalalar yechilgan, tahlil qilingan.

[3]-ishda diskret va uzluksiz sistemalarning chiziqli bo'lmagan erkin va majburiy tebranishlari o'rganilgan. Sistemalar Lagranj tenglamalari yordamida matematik modellashtirilgan, yechish metodikalari ishlab chiqilgan.

[4]-ishda chiziqli bo'lmagan sistemalarning harakat ustuvorligi parametrlarining o'zgarishiga bog'liq holda nazariy o'rganilgan. Sistema harakatining ustuvor va ustuvor bo'lmagan sohalari ajratishga doir teoremlar keltirilgan. Harakati davriy koeffisientli bir jinsli bo'lmagan differensial tenglamalar bilan ifodalangan sistemalarning harakat ustuvorligi tahlil qilingan.

[5]-ishda chiziqli bo'lmagan sistemalarni tebranma harakatlarini tekshirishda qo'llaniladigan garmonik balans usuli haqida nazariy ma'lumotlar berilgan. Sistema harakat differensial tenglamasidagi chiziqli bo'lmagan koeffisientlarning xarakteri tahlil qilingan. Bundan tashqari gisterezis tipidagi elastik dissipativ xarakteristikaga ega bo'lgan sistemalar uchun ularning xarakteristik tenglamasini aniqlash usuli ko'rsatilgan, asoslab berilgan.

[6-13]-ishlarda turli xil qo'zg'alishlar ta'siridagi chiziqli bo'lmagan sistemalar harakat ustuvorligini tekshirishning nazariy asoslari va qo'llanilishi keltirilgan, chiziqlimas xarakteristikalarini chiziqlashtirish masalalari qarang.

Nomukammal elastik - gisterezis tipidagi dissipativ xarakteristikali ko'ndalang kesimi o'zgaruvchan sterjenni kinematik qo'zg'alishlar ta'siridagi tebranishlarini matematik modellashirish va statsionar harakatlari ustuvorligini turli chegaraviy shartlarda tekshirish yechilishni talab etadigan dolzarb masalalardan hisoblanadi.

Masalaning qo'yilishi va yechish metodikasi. Ushbu ishda ko'ndalang kesimi o'zgaruvchan gisterezis tipidagi elastik dissipativ xarakteristikali sterjenning kinematik qo'zg'alishlardagi ko'ndalang tebranishlarini ustuvorligini tekshirish masalasini qaraymiz.

Gisterezis tipidagi elastik dissipativ xarakteristikali elastik sterjenning kinematik qo'zg'alishlar ta'siridagi ko'ndalang tebranishlarining keltirilgan harakat differensial tenglamasi asos tezlanishini $W_0 = -\varepsilon p_0 \cos \omega t$ ifodasini hisobga olganda quyidagicha bo'ladi (εp_0 va ω - mos ravishda asos tezlanishining amplitudaviy qiymati va chastotasi) [14]:

$$\ddot{q}_i + \{1 + N_* + jN_{**}\} p_i^2 q_i = d_i \varepsilon p_0 \cos \omega t, \quad (1)$$

bunda

$$\begin{aligned} N_* = & -\eta_1 C_0 - \frac{3E\eta_1}{\rho F d_{2i} p_i^2} \sum_{k=1}^n C_k q_{ia}^k \frac{h^k}{2^k(k+3)} \int_0^l I(x) u_i \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(\frac{\partial^2 u_i}{\partial x^2} \left| \frac{\partial^2 u_i}{\partial x^2} \right|^k \right) dx + \\ & + \frac{E}{\rho F d_{2i} p_i^2} \int_0^l \frac{\partial^2 I(x)}{\partial x^2} u_i \frac{\partial^2 u_i}{\partial x^2} \left[1 - \eta_1 C_0 - 3\eta_1 \sum_{k=1}^n C_k q_{ia}^k \frac{h^k}{2^k(k+3)} \left| \frac{\partial^2 u_i}{\partial x^2} \right|^k \right] dx + \\ & + \frac{2E}{\rho F d_{2i} p_i^2} \int_0^l \frac{\partial I(x)}{\partial x} u_i \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{\partial^2 u_i}{\partial x^2} [1 - \eta_1 C_0 - 3\eta_1 \times \right. \\ & \times \sum_{k=1}^n C_k q_{ia}^k \frac{h^k}{2^k(k+3)} \left| \frac{\partial^2 u_i}{\partial x^2} \right|^k] \Big] dx; \\ N_{**} = & C_0 \eta_2 + \frac{3E\eta_2}{\rho F d_{2i} p_i^2} \sum_{k=1}^n C_k q_{ia}^k \frac{h^k}{2^k(k+3)} \int_0^l I(x) u_i \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(\frac{\partial^2 u_i}{\partial x^2} \left| \frac{\partial^2 u_i}{\partial x^2} \right|^k \right) dx + \\ & + \frac{E}{\rho F d_{2i} p_i^2} \int_0^l \frac{\partial^2 I(x)}{\partial x^2} u_i \frac{\partial^2 u_i}{\partial x^2} \left[C_0 \eta_2 + 3\eta_2 \sum_{k=1}^n C_k q_{ia}^k \frac{h^k}{2^k(k+3)} \left| \frac{\partial^2 u_i}{\partial x^2} \right|^k \right] dx + \\ & + \frac{2E}{\rho F d_{2i} p_i^2} \int_0^l \frac{\partial I(x)}{\partial x} u_i \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{\partial^2 u_i}{\partial x^2} \left[C_0 \eta_2 + 3\eta_2 \sum_{k=1}^n C_k q_{ia}^k \frac{h^k}{2^k(k+3)} \left| \frac{\partial^2 u_i}{\partial x^2} \right|^k \right] \right] dx; \end{aligned}$$

$q_i(t)$ - vaqt funksiyasi; $j^2 = -1$; E - elastiklik moduli; $\eta_1, \eta_2 = \eta_{22} \text{sign}(\omega)$; lar sterjen materialining elastik dissipativlik xossalari bog'liq bo'lgan doimiy koeffitsientlar bo'lib, gisterezis sirtmog'idan aniqlanadi; $C_0, C_1, \dots, C_n$ - gisterezis tugunining tajribadan aniqlanadigan parametrlari bo'lib, sterjen materialining dempferlovchi xossalari bog'liq [11]; $l = \text{const}$, $b = b(x)$ va $h = \text{const}$ - mos ravishda sterjenning uzunligi, eni va qalinligi; ρ, F - mos ravishda sterjen materialining zichligi va ko'ndalang kesim yuzi; p_i, u_i - sterjenning xususiy chastotalar va tebranish formalari; $I = \frac{bh^3}{12}$; $d_i = \frac{d_{1i}}{d_{2i}}$; $d_{1i} = \int_0^l u_i dx$; $d_{2i} = \int_0^l u_i^2 dx$; $q_{ia} = |q_i|$.

(1) differensial tenglamaning yechimini quyidagicha izlaymiz:

$$q_i = D e^{-j\omega t} + P e^{-j\omega t}, \quad (2)$$

bu yerda $D = D(t)$; $P = P(t)$.

(2) ko'rinishda izlanayotgan yechimlarning amplitudaviy qiymatlari $q_{ia} = 2\sqrt{DP}$ shartni qanoatlantiradi.

(1) harakat differensial tenglamani (2) yechimni hisobga olib, standart ko'rinishida ifodalaymiz.

$$\begin{aligned}\dot{D} &= \frac{1}{2j\omega} \left(\frac{1}{2} \varepsilon p_0 d_i (e^{j\omega t} + e^{-j\omega t}) - (N_* + jN_{**}) p_i^2 q_i - (p_i^2 - \omega^2) q_i \right) e^{-j\omega t}; \\ \dot{P} &= -\frac{1}{2j\omega} \left(\frac{1}{2} \varepsilon p_0 d_i (e^{j\omega t} + e^{-j\omega t}) + (-N_* + jN_{**}) p_i^2 q_i - (p_i^2 - \omega^2) q_i \right) e^{j\omega t}.\end{aligned}\quad (3)$$

(3) differensial tenglamalarni o'rtalashtiramiz. U holda

$$\begin{aligned}\dot{D} &= \frac{1}{2j\omega} \left[\frac{1}{2} \varepsilon p_0 d_i - (N_* + jN_{**}) p_i^2 D - (p_i^2 - \omega^2) D \right]; \\ \dot{P} &= -\frac{1}{2j\omega} \left[\frac{1}{2} \varepsilon p_0 d_i + (-N_* + jN_{**}) p_i^2 P - (p_i^2 - \omega^2) P \right].\end{aligned}\quad (4)$$

$\dot{D} = \dot{P} = 0$ shart asosida (4) differensial tenglamalardan D_0 va P_0 statsionar yechimlarni aniqlanadi va ularga mos keladigan amplitudalarning qiymatlari quyidagicha ifodalanadi:

$$q_{ia} = \frac{\varepsilon p_0 d_i}{\sqrt{[(1 + N_*) p_i^2 - \omega^2]^2 + [N_{**} p_i^2]^2}}. \quad (5)$$

Aniqlangan yechimlar ustuvorligini tekshirish maqsadida (4) differensial tenglamalarni variatsialaymiz. Natijada quyidagi xarakteristik tenglamaga ega bo'lamiz:

$$\lambda^2 + l_1 \lambda + l_0 = 0, \quad (6)$$

bunda

$$l_1 = 2(p_i^2 - \omega^2) + \left(2N_* + q_{ia} \frac{\partial N_*}{\partial q_{ia}} \right) p_i^2; \quad (6')$$

$$l_0 = N_* \left(N_* + q_{ia} \frac{\partial N_*}{\partial q_{ia}} \right) p_i^4 + \left(2N_* + q_{ia} \frac{\partial N_*}{\partial q_{ia}} \right) p_i^2 (p_i^2 - \omega^2) + (p_i^2 - \omega^2)^2. \quad (6'')$$

Sterjenning chiziqlimas statsionar tebranishlari ustuvor bo'lishi uchun (6) xarakteristik tenglama ildizlarining haqiqiy qismi manfiy bo'lishi yetarli bo'ladi. Gurvis kriteriysiga asosan (6) xarakteristik tenglama ildizlarining haqiqiy qismi manfiy bo'lishini ko'rsatamiz.

$$l_1 > 0; \quad l_0 > 0. \quad (7)$$

(7) tengsizliklarning birinchi tengsizligini tahlil qilamiz. Buning uchun uni (6') ifodasini qo'yidagicha yozamiz:

$$1 + N_* + \frac{q_{ia}}{2} \frac{\partial N_*}{\partial q_{ia}} > \frac{\omega^2}{p_i^2}. \quad (8)$$

(8) tengsizlikning o'ng tomonidagi ifoda musbatligidan, chap tomonidagi ifoda ham musbatligi kelib chiqadi, ya'ni

$$1 + N_* + \frac{q_{ia}}{2} \frac{\partial N_*}{\partial q_{ia}} > 0. \quad (9)$$

(7) tengsizliklarning ikkinchi tengsizligi tahlil qilsak, u quyidagi shart bajarilganda o'rinli bo'ladi.

$$\left(2N_* + q_{ia} \frac{\partial N_*}{\partial q_{ia}} \right)^2 - 4 \left(N_* \frac{\partial q_{ia} N_*}{\partial q_{ia}} + N_{**} \frac{\partial q_{ia} N_{**}}{\partial q_{ia}} \right) > 0. \quad (10)$$

(10) shart gisterezis tipidagi elastik dissipativ xarakteristikali ko'ndalang kesimi o'zgaruvchan sterjenning kinematik qo'zg'alishlar ta'siridagi chiziqlimas stasionar tebranma harakatlarining ustuvorlik sharti hisoblanadi. Bu ifoda sistema parametrlarining turli qiymatlarida ustuvorlik sohalari hamda chegaralarini aniqlash imkonini beradi.

Sterjenning chap uchi qistirib mahkamlangan va bir uchi erkin bo'lgan holni qaraymiz. Bu hol uchun sterjenning ko'chishini quyidagicha olingan:

$$w_i(x, t) = \sum_{i=1}^{\infty} u_i(x) q_i(t). \quad (11)$$

Xususiy tebranishlar formalini quyidagicha olamiz:

$$u_i(x) = \Delta_1 K_1(k_i x) + \Delta_2 K_2(k_i x) + \Delta_3 K_3(k_i x) + \Delta_4 K_4(k_i x), \quad (12)$$

bunda $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \Delta_4$ - chegaraviy shartlardan aniqlanuvchi koeffitsiyentlar; $K_1(k_i x), K_2(k_i x), K_3(k_i x), K_4(k_i x)$ - Krilov funksiyalari, ya'ni

$$\begin{aligned} K_1(k_i x) &= \frac{1}{2} (\cosh(k_i x) + \cos(k_i x)); K_2(k_i x) = \frac{1}{2} (\sinh(k_i x) + \sin(k_i x)); \\ K_3(k_i x) &= \frac{1}{2} (\cosh(k_i x) - \cos(k_i x)); K_4(k_i x) = \frac{1}{2} (\sinh(k_i x) - \sin(k_i x)); \end{aligned} \quad (13)$$

$$k_i = \left(\frac{\rho F}{EI} p_i^2 \right)^{\frac{1}{4}}.$$

Qaralayotgan masala uchun chegaraviy shartlarni yozamiz.
 $x = 0$ bo'lgan sterjen uchi uchun:

$$w_i = w_0; \quad \frac{\partial w_i}{\partial x} = 0, \quad (14)$$

bunda w_0 - asosning ko'chishi.
 $x = l$ bo'lgan sterjen uchi uchun:

$$\frac{\partial^2 w_i}{\partial x^2} = 0; \quad \frac{\partial}{\partial x} \left(EI(x) \frac{\partial^2 w_i}{\partial x^2} \right) \Big|_{x=x_0} = 0. \quad (15)$$

Bu chegaraviy shartlarga asosan chastota tenglamasini quyidagicha aniqlash mumkin:

$$1 + \cosh(k_i l) \cos(k_i l) = 0. \quad (16)$$

1-rasmda (16) chastota tenglamasining grafigi (a) va uning birinchi (b) va ikkinchi (c) nollari keltirilgan. Bu grafiklardan $k_1 = 7.500416275$ va $k_2 = 18.77635$ ekanligini aniqlash mumkin.

Natijada tebranishlarning birinchi va ikkinchi xususiy formalari quyidagicha bo'ladi:

$$\begin{aligned} u_1(x) &= 999.668759(\cosh(7.500416275x) - \cos(7.500416275x)) - \\ &\quad - 773.8523515(\sinh(7.500416275x) - \sin(7.500416275x)); \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} u_2(x) &= -2.81762557 \cdot 10^5 (\cosh(18.7764x) - \cos(18.7764x)) + \\ &\quad + 2.869669872 \cdot 10^5 (\sinh(18.7764x) - \sin(18.7764x)). \end{aligned} \quad (18)$$

$k_1 = 7.500416275$ va $k_2 = 18.77635$ qiymatlar asosida sterjenning xususiy chastotalarini aniqlaymiz.

Faraz qilaylik sterjen 40X markali po'lat materialli bo'lsin. U holda

$$E = 2.08 \cdot 10^{11} \frac{\text{N}}{\text{m}^2}; \rho = 7810 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}.$$

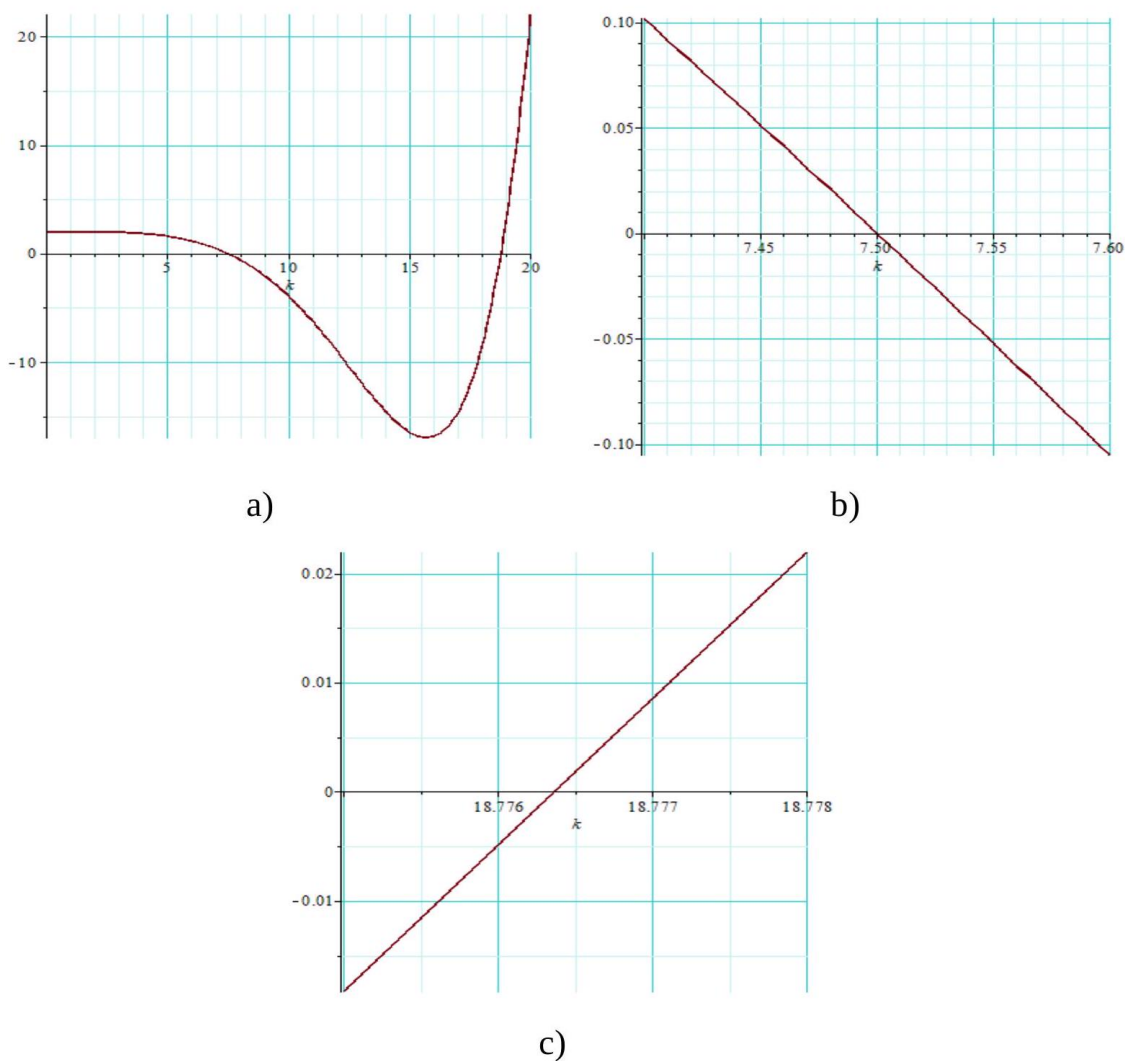


Рис. 1: (16) tenglamani aniqlovchi funksiyaning grafigi.

Birinchi va ikkinchi tebranishlar formalariga mos keladigan xususiy chastotalar quyidagicha bo'ladi:

$$p_1 = 167.6163034 \frac{1}{s},$$

$$p_2 = 1050.431816 \frac{1}{s}.$$

40X markali po'lat material uchun dissipativ xarakteristikalarini ifodalovchi parametrlarni quyidagicha olamiz [11]:

$$C_0 = 0; \eta_1 = \frac{3}{4}; \eta_2 = \frac{1}{\pi};$$

$$K = 4.805 \cdot 10^{-3} q_{1a} + 2.2787 \cdot q_{1a}^2 + 95.934 \cdot q_{1a}^3.$$

Sterjen eni va balandligi quyidagicha bo'lsin:
Ko'ndalang kesimi o'zgaruvchi bo'lgan hol uchun:

$$b = b_* + b_{*1} \sin(n_* x) = 0.02 + 0.01 \sin(80x) m; h = 2 \cdot 10^{-3} m.$$

$$I_{1l} = \frac{bh^3}{12} = \frac{(b_* + b_{*1} \sin(n_* x)) h^3}{12} = \frac{(0.02 + 0.01 \sin(20)) \cdot (2 \cdot 10^{-3})^3}{12} =$$

$$= \frac{0.02912945251 \cdot (2 \cdot 10^{-3})^3}{12} = 1.941963501 \cdot 10^{-11} m^4;$$

Asoslari $b_* + b_{*1} \sin(n_* x)$ qonuniyat bilan o'zgarayotgan S_l yuzini hisoblasak,

$$S_l = 2 \int_0^l (b_* + b_{*1} \sin(n_* x)) dx = 2 \int_0^{0.25} (0.02 + 0.01 \sin(80x)) dx =$$

$$= 2 \left(0.02x - \frac{0.01}{80} \cos(80x) \right) \Big|_0^{0.25} = 2(0.02 \cdot 0.25 -$$

$$- \frac{0.01}{80} \cdot \cos(20) + 0.01) = 0.02989797948 m^2.$$

Ko'ndalang kesimi o'zgarmas bo'lgan hol uchun:

$$I_{2l} = \frac{b_0 h^3}{12} = \frac{0.02 \cdot (2 \cdot 10^{-3})^3}{12} = 1.333333333 \cdot 10^{-11} m^4.$$

Parametrlarning keltirilgan qiymatlari asosida kinematik qo'zg'alishlar ta'siridagi gisterezis tipidagi dissipativ xarakteristikali ko'ndalang kesimi o'zgaruvchan elastik sterjen ko'ndalang tebranishlarida olingan (5) amplituda chastota xarakteristikasi va (10) ustuvorlik chegarasi ifodalarining grafiklarini chizamiz ($\varepsilon p_0 = 0.0001 m$).

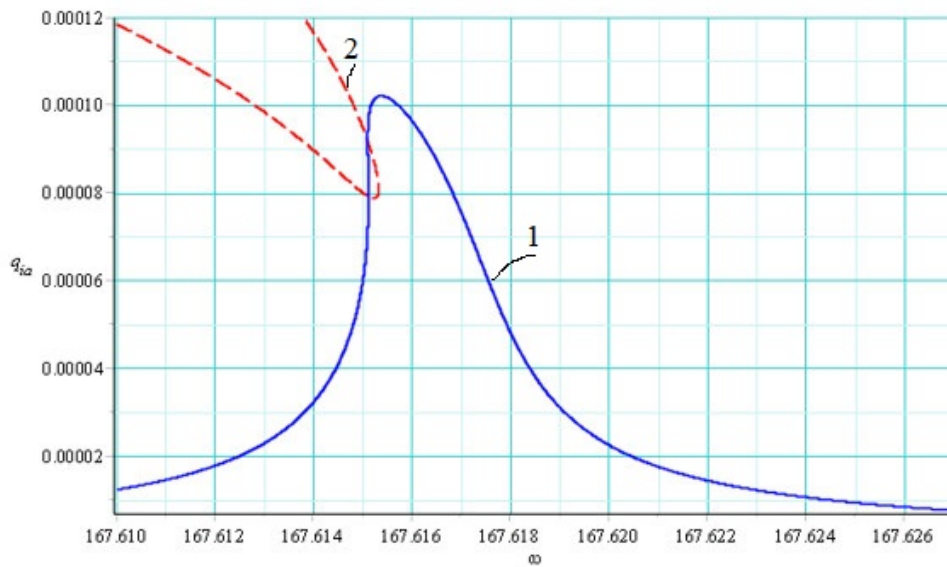


Рис. 2: Ko'ndalang kesimi o'zgaruvchan sterjen uchun (5) amplituda chastota xarakteristikasi (1-chiziq) va (10) ustuvorlik chegarasi (2-chiziq) ifodalarining grafiklari

2-rasmda ko'ndalang kesimi o'zgaruvchan sterjen uchun (5) amplituda chastota xarakteristikasi (1-chiziq) va (5) ustuvorlik chegarasi (2-chiziq) ifodalarining chastotaga bog'liq holda o'zgarish grafiklari keltirilgan. Bunda ustuvorlik chegarasi bilan chegaralangan ichki soha noustuvor, tashqi soha uchuvor soha hisoblanadi. $q_{ia} \in [0.00008; 0.00009]$ amplitudalar sohasida rezonans chastotasi atrofida tebranishlar noustuvor bo'ladi.

Parametrlarning keltirilgan qiymatlari asosida kinematik qo'zg'alishlar ta'siridagi gisterezis tipidagi dissipativ xarakteristikali ko'ndalang kesimi o'zgarmas elastik sterjen ko'ndalang tebranishlari uchun (5) amplituda chastota xarakteristikasi va (10) ustuvorlik chegarasi ifodalarining grafiklarini chizamiz ($\varepsilon p_0 = 0.0001$ m).

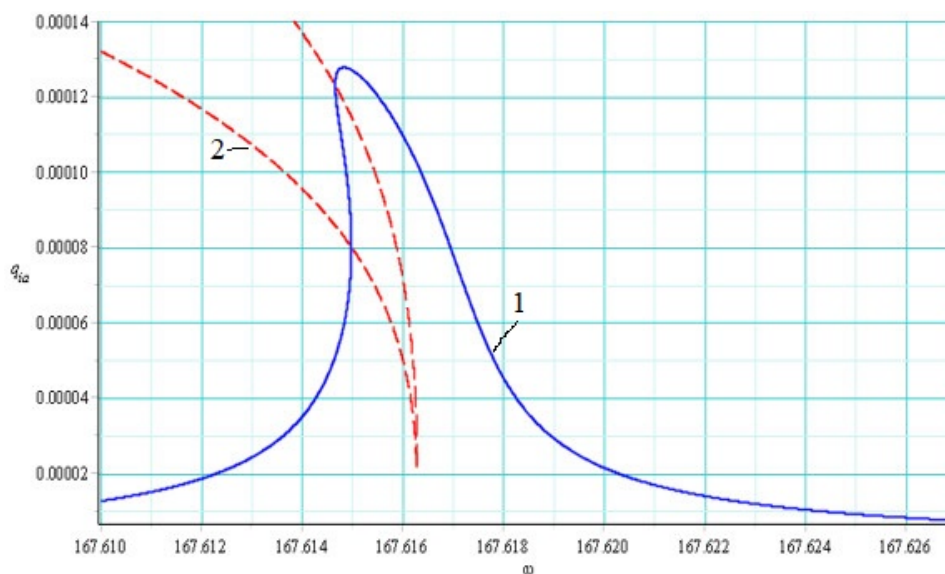


Рис. 3: Ko'ndalang kesimi o'zgarmas sterjen uchun (5) amplituda chastota xarakteristikasi (1-chiziq) va (10) ustuvorlik chegarasi (2-chiziq) ifodalarining grafiklari

3-rasmda ko'ndalang kesimi o'zgarmas sterjen uchun (5) amplituda chastota xarakteristikasi (1-chiziq) va (5) ustuvorlik chegarasi (2-chiziq) ifodalarining chastotaga bog'liq holda o'zgarish grafiklari keltirilgan. Bunda ustuvorlik chegarasi bilan chegaralangan ichki soha noustuvor, tashqi soha uchuvor soha hisoblanadi. $q_{ia} \in [0.00008; 0.00012]$ amplitudalar sohasida rezonans chastotasi atrofida tebranishlar noustuvor bo'ladi. 2 va 3 - rasmlarni taqqoslab, ko'ndalang kesimi o'zgarmas sterjenning noustuvor sohalari ko'ndalang kesimi o'zgaruvchi bo'lgan holga nisbatan katta bo'ladi. Ko'ndalang kesimi o'zgarmas sterjenning amplituda-chastota xarakteristikalarining vertikalidan og'ishi ko'ndalang kesimi o'zgaruvchi bo'lgan holga nisbatan katta bo'ladi. Ko'ndalang kesimi o'zgarmas sterjenning rezonans chastotasi atrofidagi amplitudalar ko'ndalang kesimi o'zgaruvchi bo'lgan holga nisbatan katta bo'ladi.

Xulosa. Kinematik qo'zg'alishlar ta'siridagi gisterezis tipidagi elastik dissipativ xarakteristikali ko'ndalang kesimi o'zgaruvchan sterjenning ko'ndalang tebranishlari ustuvorligi tekshirildi. Ustuvorlik shartlari, sohalari va chegaralari sistema parametrlariga bog'liq holda aniqlanib, sonli hisoblashlar asosida tahlil qilindi.

Ko'ndalang kesimi o'zgarmas sterjenning noustuvor sohalari ko'ndalang kesimi o'zgaruvchi bo'lgan holga nisbatan katta bo'lishi, ko'ndalang kesimi o'zgarmas sterjenning amplituda-chastota xarakteristikalarining vertikalidan og'ishi ko'ndalang kesimi o'zgaruvchi bo'lgan holga nisbatan katta bo'lishi hamda ko'ndalang kesimi o'zgarmas sterjenning rezonans chastotasi atrofidagi amplitudalar ko'ndalang kesimi o'zgaruvchi bo'lgan holga nisbatan katta bo'lishi ko'rsatildi.

ADABIYOTLAR

1. M.A. Мионов. Точные решения уравнения поперечных колебаний стержня со специальным законом изменения поперечного сечения. Акустический Журнал, 2017, том 63 № 1, с. 3-8.
2. A.T. Zhakash, E.A. Dzhakashova, O.M. Tursynbay. Numerical methods for calculating vibrations of straight rods of variable cross-section. International Scientific Journal Theoretical & Applied Science. Volume 75, 2019, pp.64-66.

3. Kelly S.G. Mechanical vibrations: Theory and applications, Global Engineering press, USA, 2012, p.898.
4. Migdalovici M., Baran D. Theoretical research regarding any stability theorems with applications, Proceedings of the 14th international congress on sound and vibration, July 9-12, 2007, Cairns, Australia, pp.575-581.
5. Ramon H., Siller E. Nonlinear modal analysis methods for engineering structures. A thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy, Imperial University of London, August 2004, p. 121.
6. Ляпунов А.М. Общая задача об устойчивости движения. М.:Гостехиздат, 1950. с. - 473.
7. Меркин Д.Р. Введение в теорию устойчивости движения. - М.: Наука, - 1971. с. - 312.
8. Пановко Я.Г., Губанова И.И. Устойчивость и колебания упругих систем. -М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. с. - 352.
9. Четаев Н.Г. Устойчивость движения. Работы по аналитической механике. - М.: АН СССР, 1962. с. - 176.
10. Dusmatov O.M., Khodjabekov M.U. Exploration of stability of hysteresis type dynamic systems which are protected from vibrations// Proceedings of International training-seminars on mathematics in conjunction with the joint mathematics meeting, 2011 between Samarkand State University and Malaysian Mathematical Sciences Society // Samarkand city, JUNE 2011.- pp.114-117.
11. Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В. Вибропоглощающие свойства конструкционных материалов. Справочник. - Киев: Наук.думка, 1971. с.- 327.
12. Павловский М.А., Рыжков Л.М., Яковенко В.Б., Дусматов О.М. Нелинейные задачи динамики виброзащитных систем. - К.: Техника, 1997. с. - 204.
13. Павловский М.А., Рыжков Л.М., Дусматов О.М., Осипчук С.Н. Исследование устойчивости стационарных колебаний систем с несовершенной упругостью материала// Рассеяние энергии при колеб. мех. систем. - К.: Наук. Думка, 1989. с. 51-57.
14. Dusmatov O.M., Kasimova F.U. Vibration of hysteresis-type elastic dissipative characteristic of beam with variable cross section. Science and innovation international scientific journal. Volume 2, issue 11, 2023. pp. 220-225.

РЕЗЮМЕ

В этой работе рассмотрена задача исследованию устойчивости нелинейных колебаний стержня переменного поперечного сечения с диссипативными характеристиками гистерезисного типа при кинематических воздействиях. Используя метода Ляпунова по первому приближению определены условия устойчивости в аналитическом виде, а также проанализированы области и границы устойчивости.

Ключевые слова: несовершенный, упругий, стержень, гистерезис, колебание, амплитудно - частотная характеристика, условие устойчивости.

RESUME

In this paper, the problem of studying the stability of nonlinear vibrations of a beam of variable cross-section with dissipative characteristics of hysteresis type under kinematic excitations is considered. Using the Lyapunov method, the stability conditions are determined in analytical form as a first approximation, and the stability regions and boundaries are analyzed.

Key words: imperfect, elastic, beam, hysteresis, vibration, amplitude-frequency characteristic, stability condition.