

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI**

**ALISHER NAVOIY NOMIDAGI
SAMARQAND DAVLAT UNIVERSITETI**

MEXANIKA-MATEMATIKA FAKULTETI

“MEXANIKA” KAFEDRASI

ABDURAZZOQOV JAMSHID

**BIR JINSLIMAS STERJENDA TO'LQIN TARQALISHINING SONLI
TAHLILI**

“5440200-mexanika” ta'lim yo'nalishi bo'yicha
bakalavr darajasini olish uchun

BITIRUV MALAKAVIY ISHI

Ilmiy rahbar

ass. Burqutboyev Sh.M.

2014 yil “__” _____

Bitiruv malakaviy ishi “Mexanika” kafedrasida bajarildi.

Kafedraning 2014 yil “__” maydagi majlisida muhokama qilindi va himoyaga
tavsiya etildi (10-bayonnoma)

Fakultet dekani

prof. Soleev A.S.

Kafedra mudiri

dots. Berdiyev Sh.D.

Bitiruv malakaviy ishi YaDAKning 2014 yil “__” iyundagi majlisida himoya
qilindi va ____ball bilan baholandi. (____-bayonnoma)

YaDAK raisi: _____

A'zolari: _____

Samarqand 2014

MUNDARIJA

KIRISH.....	3
1-BOB. BIR JINSLI STERJENDA BO'YLAMA TO'LQIN TARQALISHI.....	5
1.1. Bo'ylama to'lqin tarqalish tezligi.....	5
1.2. Zarba ta'sirida sterjenning siqilishi.....	9
1.3. Sterjenning bo'ylama tebranish tenglamasi va uning yechimi	12
1.4. Chegaraviy shartlar.....	17
2-BOB. STERJEN MEXANIK XUSUSIYATLARINING UZLIKSIZLIGI BUZILGANDA TO'LQIN TARQALISHI.....	21
2.1. Qaytuvchi va sinuvchi to'lqinlar.....	21
2.2. Ikki va uch pog'onali sterjenda to'lqin tarqalishi.....	24
2.3. Ketma-ket ulangan sterjenlarda to'lqin tarqalishining sonli hisobi..	27
XULOSA.....	31
FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR.....	32
ILOVA.....	33

KIRISH

Mavzuning dolzarbligi. Bizga ma'lumki qattiq jismlarning tebranishi va ularda to'lqin tarqalishi masalalarini o'rganish har doim ham muhim ahamiyatga ega bo'lib kelgan. Chunki konstruksiyalarning tebranishlarga chidamliligi va zilzilabardoshliligini oldindan o'rganish dolzarb muammolardan hisoblanadi.

Masalaning qo'yilishi. Maskur bitiruv malakaviy ishida ko'ndalang kesimi o'zgaruvchan va mexanik xususiyatlari turlicha bo'lgan ketma-ket ulangan sterjenlarda bo'ylama elastik to'lqin tarqalish jarayonini o'rganish masalasi qo'yilgan.

Ishning maqsadi va vazifalari. Bitiruv malakaviy ishini bajarishda bir jinslimas sterjendagi to'lqin tarqalish jarayonini o'rganish maqsad qilib qo'yilgan. Shu sababli sterjenda to'lqin tarqalishi haqidagi ma'lumotlarni o'rganish, sterjenning tebranish tenglamasini keltirib chiqarish, ikki sterjen ulangan kesimlardagi ko'chishlarning o'zaro bog'lanish shartlarini topish va birjinslimas sterjenda to'lqin tarqalish jarayonini sonli tahlil qilish vazifasi belgilangan.

Ishning ilmiy tadqiqot usuli. Ishni bajarishda differensial va integral hisob usullaridan foydalanilgan. Sterjenning bo'ylama tebranish tenglamasi kuchlarning muvozanat shartlaridan keltirib chiqarilgan. Sterjenlar ulangan kesimda uzluksizlik shartidan foydalanilgan. Bir jinslimas sterjenda amplitudaning o'zgarishi Maple dasturi yordamida ifodalangan. Bir jinslimas sterjenda to'lqin tarqalish masalasini yechishda chekli ayirmalar usulidan foydalanilgan.

Ishning ilmiy ahamiyati. Ishda olingan natijalardan ularni yanada mukammallashtirgan holda muhitlarda to'lqin tarqalishi masalalarini yechishda foydalanish mumkin.

Ishning amaliy ahamiyati. Olingan natijalarni muhandislik qurilmalarining seysmik zarbalar va boshqa tashqi dinamik yuklanishlarga chidamliligini hisoblash ishlarida qo'llash mumkin.

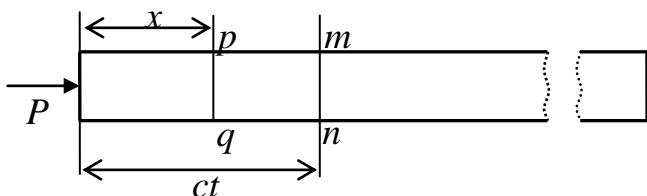
Ishning tuzilishi. Bitiruv malakaviy ishi 34 betdan iborat. U kirish, ikkita bob, xulosa va foydalanilgan adabiyotlar ro'yxatidan tashkil topgan.

Olingan natijalarning qisqacha mazmuni. Ishda sterjenda to'liq tarqalish jarayoni haqidagi asosiy tushunchalar keltirilgan. Sterjenda bo'ylama to'liq tarqalish tezligi uning fizik xususiyatlarini bildiruvchi o'zgarmaslar orqali ifodalandi. Sterjenning bo'ylama tebranish tenglamasi keltirib chiqarilgan. Sterjen uchlarining turli mahkamlanishlari uchun chegaraviy shartlar keltirilgan. Ko'ndalang kesimi va elastik xususiyatlari turlicha bo'lgan uchta ketma-ket ulangan sterjenlarda bo'ylama to'liq tarqalish jarayoni tekshirilgan. Ikkita ketma-ket ulangan sterjenda to'liq tarqalishi chekli ayirmalar usulidan foydalanib tadqiq etilgan. Olingan natijalar tahlil qilingan.

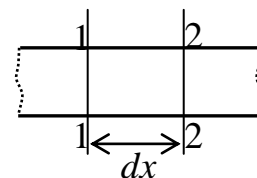
1-§. BIR JINSLI STERJENDA BO'YLAMA TO'LQIN TARQALISHI

1.1. Bo'ylama to'lqin tarqalish tezligi

Yarim cheksiz uzunlikdagi sterjen uchiga to'satdan o'zgarmas kuch qo'yilgan bo'lsin. Bu kuch ta'sirida sterjenda σ kuchlanish va e deformatsiya hosil bo'ladi. Kuchlanganlik holati sterjen bo'ylab o'zgarmas c tezlik bilan tarqaladi.



1.1-chizma



1.2-chizma

Kuch qo'yilgan momentdan boshlab t vaqt davomida qo'yidagi hodisa sodir bo'ladi. Sterjenning ct uzunlikdagi uchastkasi qo'yilgan kuch yo'nalishidan bog'liq holda bir xilda siqiladi yoki cho'ziladi. Sterjenning qolgan qismi esa kuchlanishsiz qoladi. mn kesim sterjenning kuchlangan va kuchlanmagan qismlari orasidagi chegara vazifasini bajaradi va elastik to'lqin fronti deb ataladi. Bu front c tezlik bilan harakatlanadi. Sterjenning biror x koordinatali pq kesimini olaylik. Berilgan t momentda u va to'lqin fronti orasidagi masofa $ct-x$ ga teng bo'ladi. $ct-x$ uzunlikdagi uchastka σ kuchlanish bilan tekis siqiladi, uning nisbiy deformatsiyasi $e \equiv \frac{\sigma}{E}$ bo'ladi. Bundan kelib chiqadiki pq kesim o'zining boshlang'ich holatidan

$$u = e(ct - x) = \frac{\sigma}{E}(ct - x) \quad (1.1)$$

masofaga siljiydi.

(1.1) ni vaqt bo'yicha differensiallab kesimning tezligini topamiz

$$g = \frac{du}{dt} = \frac{\sigma}{E} \quad (1.2)$$

(1.2) formuladan aniqlanuvchi tezlik $x < ct$ bo'lganda x dan bog'liq emas. $x > ct$ da esa $g = 0$ bo'lishi kerak.

Bunday hollarda sterjen uchiga qo'yilgan kuch o'zgarmas bo'lsa, to'lqin frontidagi tezlik va kuchlanishlarda uzilish sodir bo'ladi. Agar to'lqin frontidagi

kuchlanish va tezlikda uzilish sodir bo'lsa, bunday to'lqin zarbali to'lqin deb ataladi.

Topilgan (1.2) formuladan teskari xulosa ham chiqarish mumkin. Ya'ni sterjen uchiga o'zgarmas tezlik berilsa, to'lqin fronti orqasidagi kuchlanish o'zgarmas bo'ladi. Masalan, sterjen uchiga katta massali o'zgarmas v tezlik bilan harakatlanuvchi jism bilan zarba berilsin. U holda to'lqin fronti sterjen uchidan c tezlik bilan tarqaladi, zarralarning moddiy tezligi esa v ga teng bo'ladi. (1.2)

formulaga ko'ra $\sigma = \frac{Eg}{c}$. Biz to'lqin fronti tarqalish tezligini topishimiz kerak.

Buning uchun sterjenning 1-1 va 2-2 kesimlari orasidagi dx uchastkasini olamiz 1.2chizma. Vaqtning t momentida elastik to'lqin 1-1 kesimdan $t+\Delta t$ momentida esa 2-2 kesimdan o'tsin. Buning uchun $dx=cdt$ bo'lishi kerak. Sterjenning ajratilgan qismiga Nyutonning 2-qonunini qo'llaymiz. dt vaqt davomida 1-1 kesimga σF kuch ta'sir qiladi, 2-2 kesim esa kuchlanishsiz qoladi. Kuch impulsi esa $\sigma F dt$ ga teng bo'ladi. Boshlang'ich t momentda ajratilgan bo'lak tinch holatda turadi. $t+\Delta t$ da esa u v tezlik bilan harakatlanadi. Harakat miqdorining o'zgarishi

$$g\rho F dx = gFcdt, \quad (1.3)$$

bu yerda ρ - sterjen materialini zichligi, F - ko'ndalang kesim yuzasi. Kuch impulsini harakat miqdori o'zgarishiga tenglab

$$\sigma = g\rho c \quad (1.4)$$

ga ega bo'lamiz.

(1.4) ning umumiyroq ko'rinishi quyidagicha bo'ladi:

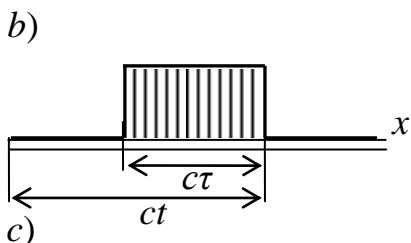
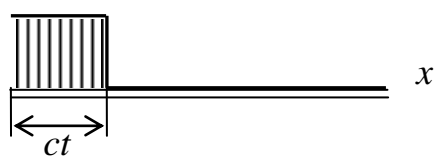
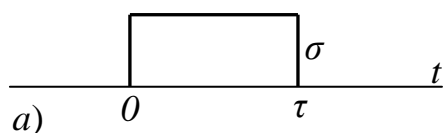
$$[\sigma] = [g]\rho c \quad (1.5)$$

Kvadrat qavslar mos kattaliklarning front chegarasidan o'tishdagi sakrashni (farqni) bildiradi. Masalan, to'lqin fronti oldi va orqasidagi kuchlanish $[\sigma]$. Bu agar biz yukni tinch turgan sterjenga emas, balki harakatlanuvchi va oldindan kuchlangan sterjenga qo'ysak juda tushunarli bo'ladi. Masalan, pog'onali o'zgaruvchi yuk boshlang'ich holatda $\sigma = \sigma^-$ kuchlanish bilan sterjen uchiga qo'yilgan bo'lsin, bundan so'ng kuchlanish sterjen uchida $\sigma = \sigma^+$ gacha tushsin. Natijada bir xil tezlik bilan ikkita to'lqin fronti tarqaladi va ikkinchi front uchuni (5) o'rinli bo'ladi.

$[\sigma] = \sigma^+ - \sigma^-$, $[v] = v^+ - v^-$. Bunda σ^+ va v^+ , σ^- va v^- (1.4) tenglamadan bog'liq. (1.4) va (1.5) tenglamalar harakat miqdori tenglamasidan hosil qilingan bo'lib, ixtiyoriy tutash muhitda tarqaluvchi to'lqin fronti uchun o'rinli. Bu tenglamalarda tezlikni (1.2) formula bo'yicha kuchlanish orqali ifodalab, elastik sterjen uchun quyidagini topamiz

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (1.6)$$

Endi sterjen uchiga o'zgarmas kuch biror τ vaqt davomida ta'sir etsin. Kuchning vaqtdan bog'liq grafigi 1.3a-chizmada keltirilgan bo'lib. $t < 0$ da $\sigma = 0$, $0 < t < \tau$ da $\sigma = const$, $t > \tau$ da $\sigma = 0$. 1.3b-chizmada σ



1.3-chizma

kuchlanishning sterjen uzunligi bo'ylab taqsimlanishi tasvirlangan: $t < \tau$ bo'lganda to'lqin fronti ct masofagacha kelishga ulguradi. To'lqin fronti orqasida kuchlanish o'zgarmas va σ ga teng. $t > \tau$ bo'lganda esa sterjen uchiga kuch ta'sir qilmaydi va bu yerda kuchlanish nolga teng bo'ladi. Kuchlanishsiz soha ham sterjen bo'ylab c tezlik bilan harakatlanadi, uning chegarasi to'lqin orqa frontidir. 1.3c-chizmada kuchlanishning sterjen uzunligi bo'ylab tarqalishi keltirilgan va u c tezlik bilan shaklini

o'zgartirmasdan o'ngga harakat qiladi. Bu grafik sterjen uchiga qo'yilgan kuchning vaqt bo'yicha o'zgarishini takrorlaydi va t o'ringa ct uzunlik olingan.

Olingan natijalarni sterjen uchiga qo'yilgan vaqt davomida ixtiyoriy qonun bo'yicha o'zgaruvchi R kuch uchun ham qo'llash mumkin. Biz yuqorida qisqa vaqt ichida o'zgarmas intensivlik bilan ketma-ket tarqalayotgan to'lqin tarqalish masalasini o'rganib chiqdik.

Bunda limit holatga o'tib, sterjen uzunligi bo'ylab kuchlanish taqsimotini vaqt o'tishi bilan takrorlanuvchi $P(t)$ o'zgaruvchan kuchlar qonuni bilan ifodalash mumkin.

Agar sterjenning x koordinatali biror kesimiga tenzometr ya'ni deformatsiyani o'lchovchi asbob qo'ysak, Guk qonuniga ko'ra deformatsiyaga proporsional σ kuchlanishni aniqlash mumkin. Ixtiyoriy kesimdagi kuchlanishning vaqtdan bog'liq o'zgarishi sterjen uchidagi kuchlanishning vaqtdan bog'liq o'zgarishini takrorlaydi.

Keltirilgan sterjenda to'lqin tarqalish nazariyasi ikkita sababga ko'ra aniq emas:

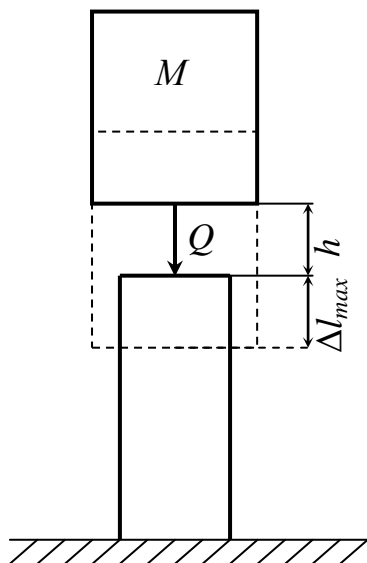
1. Sterjenning bo'ylama deformatsiyasi ko'ndalang kengayish yoki torayishni ham keltirib chiqaradi. Qat'iy nazariyada esa ko'ndalang harakat inersiyasi ham hisobga olinishi kerak;
2. To'lqin frontida kuchlanish sakrash bilan tez o'zgaradi va buning natijasida deformatsiya ham. Ko'ndalang deformatsiyalar bo'ylama deformatsiyalarni ham keltirib chiqaradi. Bu esa sterjen sirtida pog'onalar paydo bo'lishini bildiradi. Bunday bo'lishi mumkin emas, chunki pog'onali deformatsiyaning bitta nuqtada paydo bo'lishi cheksiz katta bo'ladi.

1.2. Zarba ta'sirida sterjenning siqilishi

Agar sterjen uchiga tezligi v bo'lgan jism bilan zarba berilsa, sterjendagi kuchlanishni (1.2) va (1.4) ga ko'ra quyidagicha yozish mumkin

$$\sigma = E \frac{g}{c}. \quad (1.7)$$

Katta bo'lmagan zarba beruvchi yuk chekli l uzunlikdagi sterjenga urilgan holni qaraylik. Aniqlik uchun sterjenning boshqa uchi qattiq mahkamlangan deb



1.4-chizma

hisoblaylik va yuk h balandlikdan tushsin (1.4chizma). Sterjen qarshiligiga uchragan yuk tezligi sekinlasha boradi, sterjen siqilishi eng katta qiymatga erishganda nolgacha kamayadi. Yukning kinetik energiyasi siqilgan sterjenda elastik va u bo'ylab tarqaluvchi to'lqin potensial energiyaga aylanadi. Bundan yuk sterjendan ajralmasdan yana dastlabki holatigacha yuqoriga ko'tariladi. Agar sterjen uzunligi uncha katta emas va massasi yuk massasi M dan juda kichik bo'lsa, zarba berish jarayoni l uzunlikdagi sterjendagiga nisbatan uzoqroq davom etadi. Bu vaqt davomida to'lqin sterjen

bo'ylab ko'p marta harakatlanadi.

Sterjenning zichligini ρ deb hisolaymiz va u holda to'lqin tarqalish tezligi cheksiz katta bo'ladi. Bu esa sterjenda defomasiyalanish juda tez tarqalishini bildiradi va vaqtning har bir momentida kesimlarda bir xil bo'ladi. Masalaning bunday soddalashgan qo'yilishida u energiya tenglamasini qo'llash orqali yechiladi

$$\tilde{T} + \tilde{U} = T_0 = \frac{Mg^2}{2} \quad (1.8)$$

Deformasiya ortib borishi bilan yuk tezligi kamayadi va deformasiya maksimal qiymatga erishgan onda nolga teng bo'ladi. Bu onda esa $\tilde{T} = 0$, (1.8) dan

$$\tilde{U} = T_0 = \frac{Mg^2}{2}$$

Bu holda elastik energiya deformasiya orqali quyidagicha topiladi

$$(\Delta l)_{\max} = \sqrt{\frac{2T_0 l}{EF}}$$

Agar Q og'irlikdagi yuk h balandlikdan tushsa. $T = Qh$ bo'ladi va

$$(\Delta l)_{\max} = \sqrt{\frac{2Qhl}{EF}} \quad (1.9)$$

Statik qo'yilgan kuch uchun

$$(\Delta l)_{cm} = \frac{Ql}{EF}$$

U holda maksimal deformatsiya quyidagicha yoziladi

$$(\Delta l)_{\max} = \sqrt{2h(\Delta l)_{cm}} \quad (1.10)$$

Agar Q yuk yetarlicha katta, h esa kichik bo'lsa (1.10) o'rinli bo'lmaydi. Chunki yukning Δl masofaga ko'chishi uchun bajargan qo'shimcha ishini tashlab yubora olmaymiz. $\Delta l = (\Delta l)_{\max}$ bo'lganda ish quyidagiga teng bo'ladi

$$Q[h + (\Delta l)_{cm}] = \frac{EF}{2l} (\Delta l)_{\max}^2$$

Bu $(\Delta l)_{\max}$ ga nisbatan kvadrat tenglama va uni quyidagicha yozish mumkin

$$(\Delta l)_{\max}^2 - 2(\Delta l)_{cm} (\Delta l)_{\max} - 2h(\Delta l)_{cm} = 0.$$

uning yechimi

$$(\Delta l)_{\max} = (\Delta l)_{cm} + \sqrt{(\Delta l)_{cm}^2 + 2h(\Delta l)_{cm}} \quad (1.11)$$

Tenglama yechimini tanlashda radikal oldidagi "+" ishora olingan, "-" ishora esa zarbadan keyingi yuqoriga ko'tarilishga mos keladi.

Agar $(\Delta l)_{cm} \ll h$ bo'lsa, u holda (1.10) kelib chiqadi ya'ni yuk to'satdan qo'yilsa

$$(\Delta l)_{\max} = 2(\Delta l)_{cm} \quad (1.12)$$

Zarba berish jarayonida sistemaga ta'sir etuvchi tashqi ta'sir kuchlar va inersiya kuchlaridan eng kattasi ko'chishga proporsional bo'ladi. Shu sababli tashqi dinamik ta'sir ostidagi kuchlanishni hisoblash statik hisob natijasini dinamik koeffitsiyentga ko'paytirish bilan olinadi

$$(\Delta l)_{\max} / (\Delta l)_{cm}$$

(1.8)(1.12) formulalar massasi zarba beruvchi yuk massasiga nisbatan yetarlicha kichik bo'lgan ixtiyoriy chiziqli-elastik sistema uchun o'rinli.

MASALA Uzunligi $l = 0,5 \text{ m}$, ko'ndalang kesim yuzasi $F = 10 \text{ cm}^2$ bo'lgan po'lat sterjenga 1 m balandlikdan massasi 200 kg bo'lgan yuk 20 m/c tezlik bilan kelib urildi. Buning natijasida sterjen ko'ndalang kesimidagi kuchlanishni, to'liq energiyani, maksimal cho'zilishni aniqlang.

YECHISH Po'lat uchun elastiklik moduli $E = 2 \cdot 10^{11} \text{ Pa}$, zichlik $\rho = 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. U holda sterjenda to'lqin tarqalish tezigi (1) ga ko'ra

$$c = \sqrt{\frac{2 \cdot 10^{11} \text{ Pa}}{7850 \text{ kg/m}^3}} \approx 5000 \frac{\text{m}}{\text{c}}$$

Endi sterjen ko'ndalang kesimidagi kuchlanishni aniqlaymiz

$$\sigma = 2 \cdot 10^{11} \text{ Pa} \frac{20 \text{ m/c}}{5000 \text{ m/c}} = 800000000 \text{ Pa} = 800 \text{ MPa}$$

Deformasiyalanish natijasida sterjenda to'plangan to'la energiya

$$T_0 = \frac{200 \text{ kg} \cdot (20 \text{ m/c})^2}{2} = 40 \text{ kJ}$$

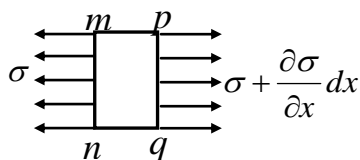
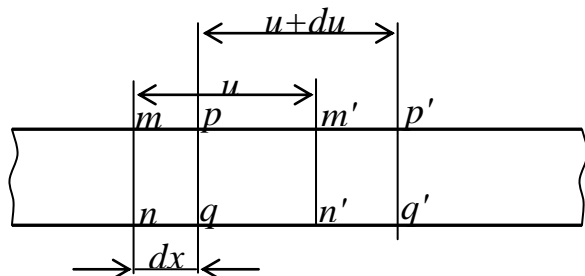
Massasi 200 kg bo'lgan yukning og'irlik kuchi $Q = Mg = 200 \text{ kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{c}^2} = 2000 \text{ H}$.

Buni hisobga olib sterjenning maksimal cho'zilishini (siqilishini) hisoblaymiz

$$(\Delta l)_{\max} = \sqrt{\frac{2Qhl}{EF}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2000 \text{ H} \cdot 1 \text{ m} \cdot 0,5 \text{ m}}{2 \cdot 10^{11} \text{ Pa} \cdot 0,01 \text{ m}^2}} = 0,001 \text{ m}$$

1.3. Sterjenning bo'ylama tebranish tenglamasi va uning yechimi

Massasi tekis (uzluksiz) taqsimlangan sistema tebranishlarini qaraylik. Dastlab ko'ndalang kesimi o'zgarmas bo'lgan sterjenning bo'ylama tebranish masalasini qarash mumkin. 1.5 - chizma sterjenning x va $x+dx$ koordinatali mn va



1.5-chizma

pq kesimlari orasida joylashgan deformatsiyalanmagan elementi keltirilgan.

Vaqtning biror fiksirlangan t momentida mn kesim $m'n'$, pq kesim $p'q'$ holatni egallaydi. Boshlang'ich koordinatasi x bo'lgan chap kesimning ko'chishini u orqali belgilaymiz. u siljish ikkita o'zgaruvchining ya'ni t vaqt va deformatsiyalanmagan holatdagi x koordinataning funksiyasidir, shuning

uchun $x+dx$ koordinatali kesimning ko'chishi $u + \frac{\partial u}{\partial x} dx$ bo'ladi. 1.5 - rasmda $m'n'p'q'$

element alohida ham tasvirlangan. $m'n'$ kesimga ta'sir qiluvchi kuchlanishni σ orqali belgilaymiz, u holda $p'q'$ kesimga ta'sir qiluvchi kuchlanish $\sigma + \frac{\partial \sigma}{\partial x} dx$

bo'ladi. Lekin tasvirlangan element harakatda, uning tezlanishi $\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$ ga teng,

massasi $\rho F dx$, bu yerda ρ - zichlik, F - ko'ndalang kesim yuzasi. Bu elementning harakat tenglamasini tuzamiz

$$\rho F dx \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = F \frac{\partial \sigma}{\partial x} dx .$$

Guk qonuniga ko'ra $\sigma = Ee$, elementning nisbiy deformatsiyasi $e = \frac{m'p' - mp}{mp} = \frac{\partial u}{\partial x}$.

Buni harakat tenglamasiga qo'yib, $F dx$ ga qisqartiramiz

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - c^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = 0 , \quad (1.13)$$

bunda
$$c = \sqrt{\frac{EA}{m}} = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (1.14)$$

tezlik o'lchoviga ega va bu yerda ρ -zichlik. Uning yechimini quyidagi ko'rinishda olish mumkin. c bo'ylama elastik to'lqin tarqalish tezligi.

(1.13) differensial tenglama to'lqin tenglamasi deb ataladi, u sterjendagi barcha dinamik jarayonlar, to'lqin tarqalishi va tebranishni tavsiflaydi.

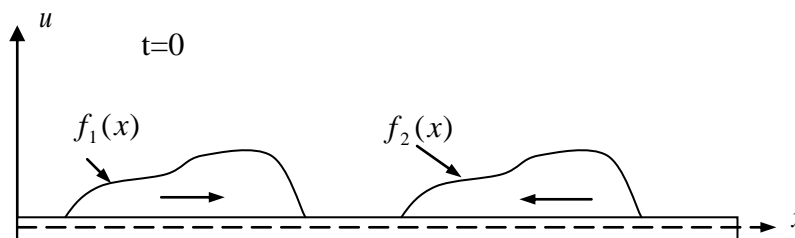
Uning yechimini quyidagi ko'rinishda olish mumkin.

$$U(x,t) = f_1(x-ct) + f_2(x+ct) \quad (1.15)$$

f_1 va f_2 lar mosh ravishda $x-ct$ va $x+ct$ parametrlarning ixtiyoriy funksiyalari.

Bu ifodalar musbat va manfiy yo'nilishlarda sterjin o'qi bo'ylab tarqaluvchi ko'chish to'lqini

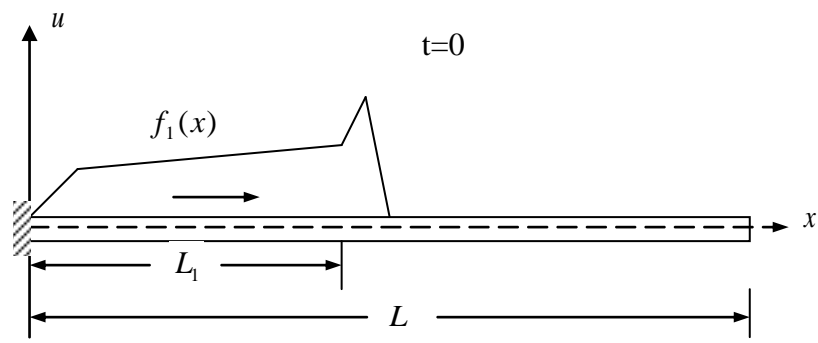
tarqalishini ifodalaydi.



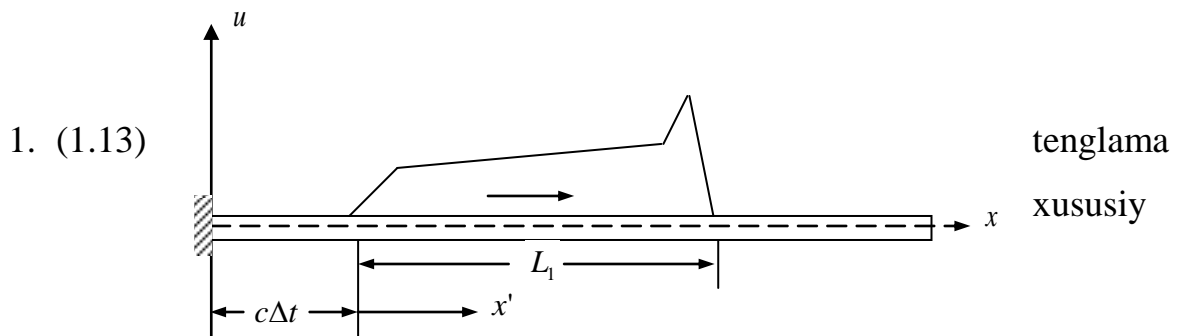
1.6-chizma

Bu chizmada vaqtning $t=0$ momentida berilgan funksiyalar ixtiyoriy holatni jamlagan, ya'ni bundan oldinroq sterjin 2 – uchidan ko'chishlar berilgan.

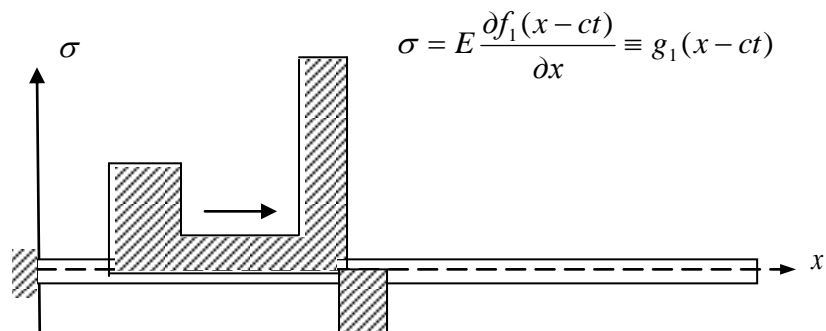
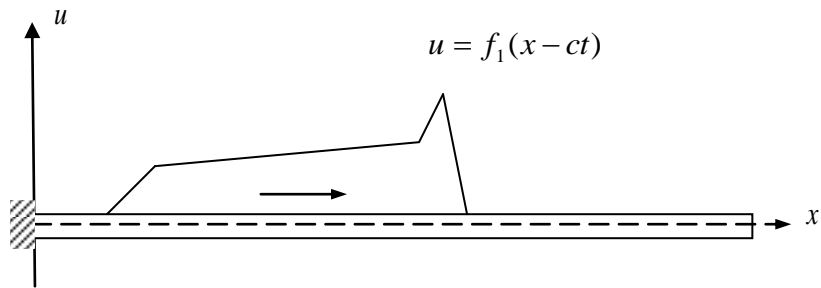
Bunda hadlar qarama-qarshi yo'nalishda bir xil tezlik bilan tarqaluvchi ikki to'lqinni ifodalaydi. (1.15) umumiy yechim bo'lib, sterjenning ixtiyoriy harakatini shu ko'rinishda olish mumkin. O'rnashgan tebranishlarni o'rganishda u noqulay, chunki xususiy tebranish chastotasini oddiy usullar bilan aniqlash imkonini bermaydi. Tebranish haqidagi masalani yechishda o'zgaruvchilarga ajratish yoki Furiye metodidan foydalanamiz. (1.13) tenglama uning va yechimlari quyidagi xossalarga ega:



1.7-chizma



1.8-chizma



14
1.9-chizma

yechimining ixtiyoriy o'zgarmas songa ko'paytmasi ham shu tenglama yechimi bo'ladi.

2. Ikkita (ixtiyoriy sondagi) xususiy yechimlar yig'indisi yana yechim bo'ladi.

Endi (1.13) tenglamaning xususiy yechimini $T(t)$ va $X(x)$ funksiyalar ko'paytmasi ko'rinishda izlaylik

$$u(x,t)=T(t)X(x). \quad (1.16)$$

(1.16)ni (1.13)ga olib borib qo'yamiz

$$\ddot{T}X - c^2TX'' = 0.$$

Bu yerda nuqta vaqt bo'yicha hosilani, shtrix koordinata bo'yicha hosilani bildiradi.

O'zgaruvchilarga ajratish tenglamani quyidagi ko'rinishda yozishga imkon beradi

$$\frac{\ddot{T}}{T} = \frac{c^2 X''}{X} = -\omega^2$$

Birinchi had faqat vaqtning, ikkinchi had faqat koordinataning funksiyasidir. Tenglik funksiyalarning o'zgarmas qiymatida o'rinli. Bundan ω^2 o'zgarماسligi kelib chiqadi. $T(t)$ va $X(x)$ funksiyalar uchun ham oddiy differensial tenglamalarga kelamiz

$$\ddot{T} + \omega^2 T = 0, \quad (1.17)$$

$$X'' + \frac{\omega^2}{c^2} X = 0 \quad (1.18)$$

(1.17) ning umumiy integrali

$$T = A \sin \omega t + B \cos \omega t \quad (1.19)$$

Bundan ko'rinadiki, ω xususiy tebranish doiraviy chastotasi. (1.18)ning umumiy integrali

$$X(x) = C_1 \sin \frac{\omega x}{c} + C_2 \cos \frac{\omega x}{c} \quad (1.20)$$

(1.18) va (1.19) tengliklar o'zgarماسlar boshlang'ich va chegaraviy shartlardan topiladi.

(1.8) chizmada ko'rsatilgan oldinga tarqaluvchi to'lqinning tarqalashini qaraymiz. Vaqtning $t = 0$ va $t = \Delta t$ momentlarida ular turlicha holatni egallaydi, yangi holatga o'tganda argument quyidagi holatda bo'ladi.

$$x' = x - c\Delta t$$

Bu holda $f_1(x - c\Delta t) \equiv f_1(x')$ va to'lqin formasi (1.8)chizmada ko'rsatilgan kabi x' o'zgaruvchidan bog'liq bo'ladi.

Bu to'lqinning tarqalish tezligi c ga teng. Xuddi shunday (1.9) dagi f_2 teskari yo'nalishda harakatlanadi.

To'lqin tarqaluvchi sterjen dinamik holatini ko'chishlar orqali ifodalaymiz.

Ma'lumki, $\sigma = E\varepsilon$ va $\varepsilon = \frac{\partial u}{\partial x}$ bundan esa

$$\sigma(x, t) = E \frac{\partial u}{\partial x} = E \frac{\partial f_1}{\partial x}(x - ct) + E \frac{\partial f_2}{\partial x}(x + ct) \quad (1.21)$$

ekanligi kelib chiqadi. Bu yerda $E \frac{\partial f_1}{\partial x}$ va $E \frac{\partial f_2}{\partial x}$ larni mos ravishda g_1 va g_2 lar orqali belgilab olsak, kuchlanishni quyidagicha yozishimiz mumkin.

$$\sigma(x, t) = g_1(x - ct) + g_2(x + ct) \quad (1.22)$$

Ixtiyoriy ko'chish to'lqini formasi va unga mos kuchlanish to'lqini orasidagi munosabat 1.9-chizmada tasvirlangan.

Ko'rinib turibdiki kuchlanish to'lqini ham o'zgarmas forma va c - tezlik bilan tarqaladi.

1.4. Chegaraviy shartlar

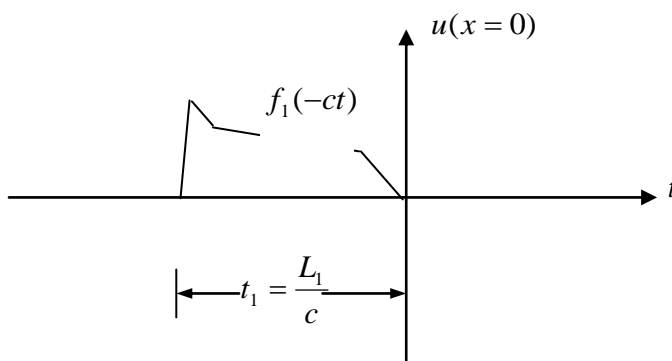
Ixtiyoriy sterjenda to'lg'in tarqalishi ifodasi ixtiyoriy funksiya uning uchlariga qo'yilgan chegaraviy shartlar orqali topiladi, ya'ni to'lg'in funksiyasi chegarada muvozanat va birgalik shartlarini qanoatlantiruvchi qilib tanlanadi.

Chap uchidan qaytuvchi to'lg'inlar ham chegaraviy shartlarni qanoatlantirishi kerak.

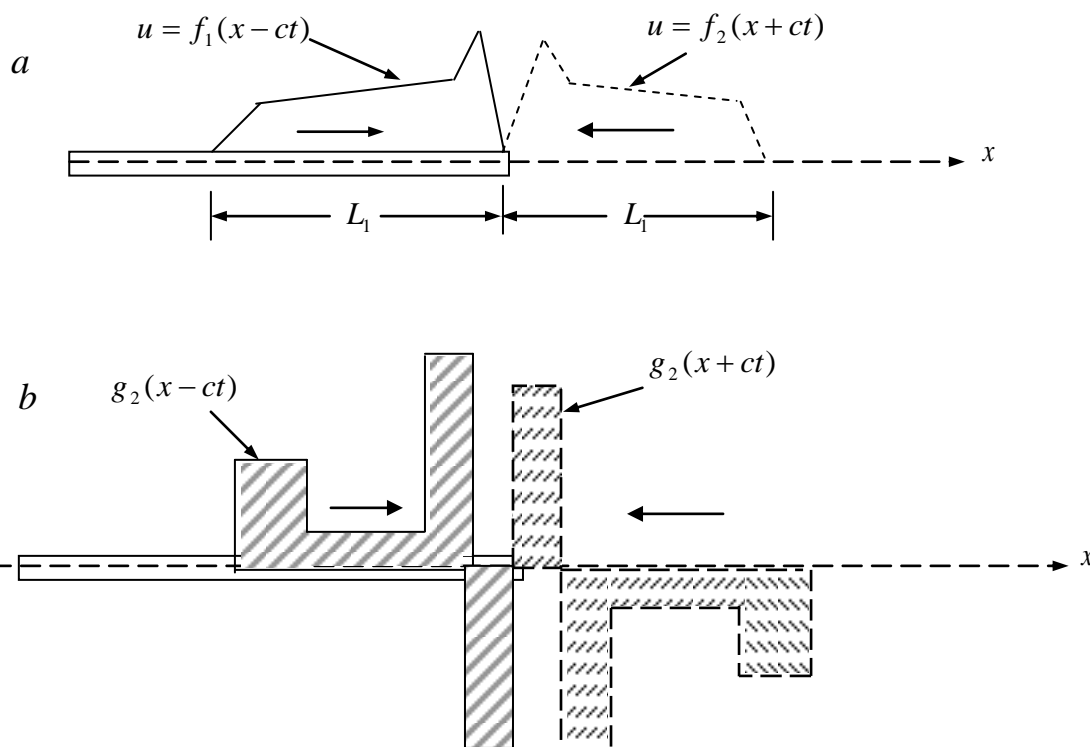
Misol uchun: (1-7a) chizmada ko'rsatilgan ko'chish to'lg'ini

formasi (1.10) chizmada ko'rsatilgan $x=0$ nuqtada $U = (0,t) = f_1(-ct)$ kabi belgilanadi.

Agar sterjining o'ng uchi ($x=L$) erkin bo'lsa, vaqtning hamma momentlarida bu uchda kuchlanishlar nolga teng bo'ladi.



1.10-chizma



1.11-chizma

Bu shart o'ngdan chapga qarab, tarqaluvchi 2– kuchlanish to'liqini uchun ham o'rinli bo'lishi kerak. Bu mulohazaning momentik ifodasi quyidagicha:

$$\sigma_{x=L} = 0 = E \frac{\partial f_1}{\partial x}(L - ct) + E \frac{\partial f_2}{\partial x}(L + ct)$$

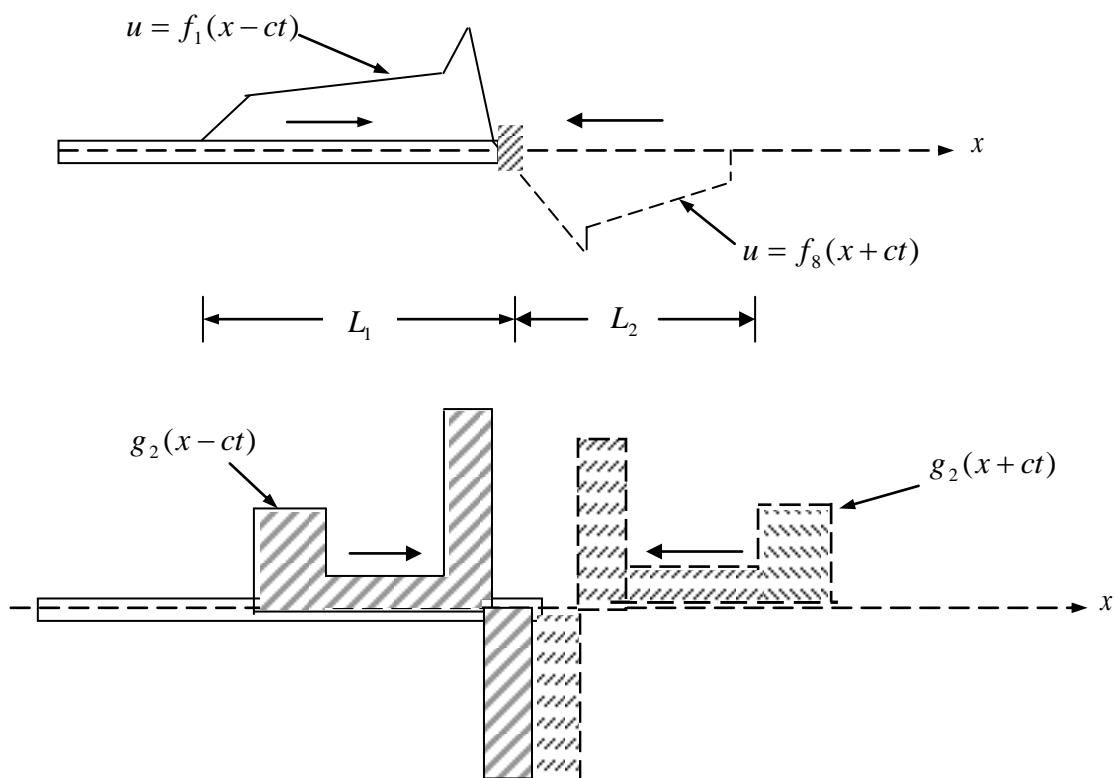
bundan esa

$$\frac{\partial f_1}{\partial x}(L - ct) = -\frac{\partial f_2}{\partial x}(L + ct) \quad (1.23)$$

ga kelamiz. ko'rinib turibdiki, sterjen erkin uchida $\frac{\partial u}{\partial x}$ deformatsiyada qaytuvchi to'liqin hosilasi tarqaluvchi to'liqin (+ _) qarama – qarshi ishora bilan olinganligiga teng bo'lar ekan. Ko'chish to'liqlari shu shart bilan tasvirlanib, 1.11a-chizmada tasvirlangan. Unga mos kuchlanish to'liqlari esa 1.11b-chizmada tasvirlangan.

Endi sterjenning o'ng uchi mahkamlangan holni qaraymiz. Unda quyidagi o'rinli bo'ladi

$$U_{x=L} = 0 = f_1(L - ct) + f_2(L + ct)$$



1.12-chizma

bundan kelib chiqadiki

$$f_2(L+ct) = -f_1(L-ct) \quad (1.24)$$

bunda tarqaluvchi to'liqin va qaytuvchi to'liqinlar joylashishi 1.12-chizmada keltirilgan va chegarada ko'chishning nolga tengligi qanoatlantiriladi.

MASALA. Uchiga bolg'a bilan zarba berilgan qoziqda bo'ylama to'liqin tarqalishini va uning qismlardagi kuchlanishni qaraymiz. Bunda zarba beruvchi kuch funksiyasi $P(t) = 10^5 \sin \frac{\pi t}{0,005} \pi a$ bo'lsin va $t_1 = 0,005c$ da kuchlanish epyurasi chizilsin. Bular pulat va beton uchun hisoblasin

YECHISH. Dastlab po'lat uchun masalani echamiz. (21.2) dan to'liqin tarqalish tezligini topamiz.

Berilgan: $E = 2 \cdot 10^{11} \pi a, A = 0,01m^2, \rho = 7850 \frac{kg}{m^3}$

$$C_s = \sqrt{\frac{E}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 10^{11} \pi a}{7850 \frac{kg}{m^3}}} \approx 5000 \frac{m}{s}$$

qoziqning impuls berilgan uchida kuchlanish

$$\sigma_0(t) = -\frac{P(t)}{A} = -\frac{10^5 \sin \frac{\pi t}{0,005} \pi a}{0,01m^2} = -10^7 \sin \frac{\pi t}{0,005}$$

lekin (21.4b) dan oldinga tarqaluvchi to'liqini uchun quyidagi munosabat o'rinli.

Bu $\sigma_0(t) = g_1(-C_s t)$ bunda g_1 biz qarayotgan hol uchun quyidagicha bo'ladi.

$$\sigma_0(t) = -10^7 \sin\left(-\frac{\pi}{3}\right) C_s t$$

umumiy holda oldingi tarqaluvchi to'liqin $\sigma(x,t) = -10^7 \sin \frac{\pi}{3} (c_s t - x)$

$$t_1 = 0,005 \text{ bo'lganda } \sigma(x,0,005) = -10^7 \sin \pi \left(1 - \frac{x}{3}\right)$$

Endi beton uchun masalani echamiz (21.2) dan to'liqin tarqalish tezligini topamiz.

Berilgan $E = 10^{10} \pi a, A = 0,1m^2, \rho = 2500 \frac{kg}{m^3}$

$$C_s = \sqrt{\frac{E}{\rho}} = \sqrt{\frac{10^{10}}{2500}} = 2000 \frac{m}{s} \text{ qoziqning impuls berilgan uchida kuchlanish}$$

$$\sigma_0(t) = -\frac{P(t)}{A} = -\frac{10^5 \sin \frac{\pi t}{0,005} \pi a}{0,1 m^2} = -10^6 \sin \frac{\pi t}{0,005} \pi a$$

lekin (21.4b) dan oldingi tarqaluvchi to'liqin uchun quydagi munosabat o'rinli. Bu

$$\sigma_0(t) = g_1(-c_s t)$$

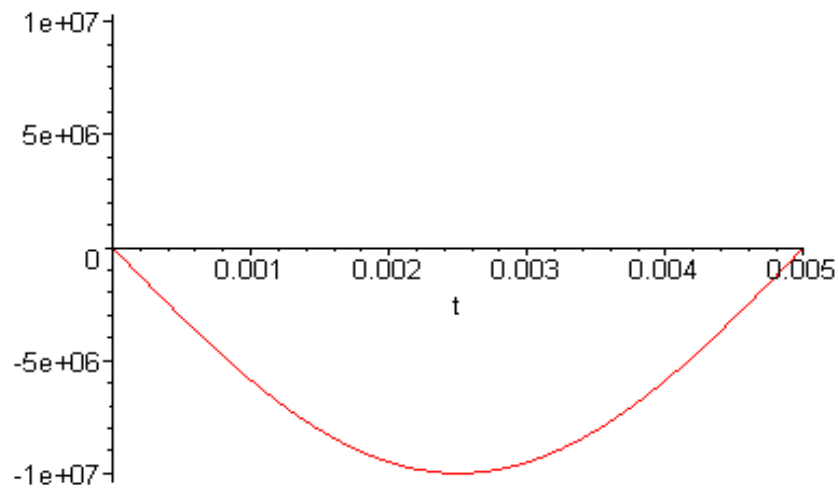
bunda g_1 biz qarayotgan hol uchun quydagicha bo'ladi

$$\sigma_0(t) = -10^6 \sin\left(-\frac{\pi}{3}\right) C_s t$$

umumiy holda oldinga tarqaluvchi to'liqin

$$\sigma(x, t) = -10^6 \sin \frac{\pi}{3} (C_s t - x)$$

$$t_1 = 0,005 \text{ bo'lganda } \sigma(x, 0,005) = -10^6 \sin \pi \left(1 - \frac{x}{3}\right).$$

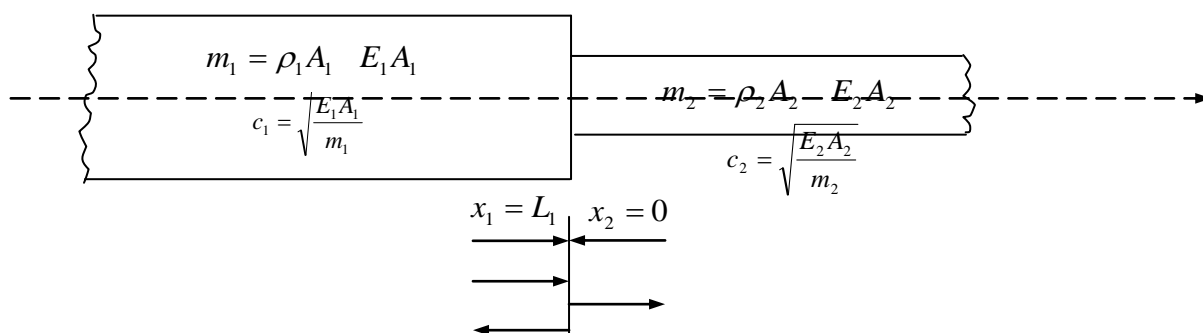


2-§. STERJEN MEXANIK XUSUSIYATLARINING UZLIKSIZLIGI BUZILGANDA TO'LQIN TARQALISHI

2.1. Qaytuvchi va sinuvchi to'lqinlar

Yuqorida bir jinsli sterjenning mahkamlangan yoki erkin uchlarida to'lqin tarqalishi holini qaradik. Sterjen xususiyatlarida uzulish bo'lgan sterjenlarda ham to'lqinning qaytishi va sinish hollari ham yuz beradi.

Turli xususiyatli bir – biriga ulangan sterjenlarning hamma nuqtalarida muvozanat va birgalik tenglamalari to'lqinlarning qaytish va sinishi bilan birgalikda bajariladi.



(2.1) chizmada tasvirlangan bir – biriga ulangan 1 va 2 – sterjenlarni qaraylik. Bu 2 ta sterjen turli xil zichlik va qatqlikka ega va u to'lqin tarqalish ham bu xususiyatlardan bog'liq holda turlicha.

1- sterjenda tarqaluvchi to'lqin U_a bog'lanish chegarasida U_b bo'lib qaytadi. Shuningdek 2- sterjen U_c da ham U_c sifatida tarqaladi. Bog'lanish chegarasida quyidagi uzviylik shartlari o'rinli.

Ko'chish:

$$U_1 = U_2 \quad U_a + U_b = U_c \quad (2.1)$$

Kuch:

$$N_1 = N_2 \quad N_a + N_b = N_c \quad (2.2)$$

bu yerda 2ta hol ham qaytuvchi to'lqin ham 1-sterjen uchun berilgan, chunki bu birgalik shartlari hamma vaqt bajariladi.

$$\frac{\partial U_a}{\partial t} + \frac{\partial U_b}{\partial t} = \frac{\partial U_c}{\partial t} \quad (2.3)$$

Ko'rinishlarga qo'yilgan shartlar ulardan vaqti bo'yicha olingan hosilaga teng. Lekin to'liqin tarqalishini quyidagicha yozamiz.

$$U_a = f_a(x - ct) \equiv f_a(\xi)$$

bu yerda ξ qulaylik uchun kiritilgan o'zgaruvchi. U_a ning hosilalari quyidagicha ifodalanadi.

$$\frac{\partial U_a}{\partial x} = \frac{\partial f_a}{\partial \xi} \quad \frac{\partial \xi}{\partial x} = \frac{\partial f_a}{\partial \xi} \quad \frac{\partial U_a}{\partial t} = \frac{\partial f_a}{\partial \xi} \quad \frac{\partial \xi}{\partial t} = -c_1 \frac{\partial f_a}{\partial \xi} \quad (2.4)$$

Bundan ko'rinadiki, vaqt va koordinatalar bo'yicha olingan hosilalar to'liqin tarqalish tezligi yordamida quyidagicha bog'langan.

$$\frac{\partial U_a}{\partial t} = -c_1 \frac{\partial U_a}{\partial x} \quad (2.5)$$

Xuddi shunday qaytuvchi va sinuvchi to'liqinlar uchun ham quyidagi munosabatlar o'rinli.

$$\frac{\partial U_b}{\partial t} = -c_1 \frac{\partial U_b}{\partial x} \quad (2.6)$$

$$\frac{\partial U_c}{\partial t} = -c_1 \frac{\partial U_c}{\partial x} \quad (2.7)$$

(2.6) musbat ishora qaytuvchi to'liqinning manfiy yo'nalishini bildiradi. (2.4) tenglamalarni (2.3) ga olib borib qo'ysak quyidagi (2.8) tenglamaga ega bo'lamiz.

$$-c_1 \frac{\partial U_a}{\partial x} + c_1 \frac{\partial U_b}{\partial x} = -c_2 \frac{\partial U_c}{\partial x} \quad (2.8)$$

Lekin $\frac{\partial U_a}{\partial x} = \varepsilon_a \dots$ hakoza deformatsiyalar kuchlar orqali ifodalasak (2.8)

tenglamani kuchlar orqali quyidagicha yozish mumkin

$$-\frac{c_1}{A_1 E_1} N_a + \frac{c_1}{A_1 E_1} N_b = -\frac{c_2}{A_2 E_2} N_c$$

yoki soddaroq ko'rinishda

$$N_c = \alpha(N_a - N_b) \quad (2.9)$$

bu yerda

$$\alpha = \frac{c_1}{c_2} \frac{A_2}{A_1} \frac{E_2}{E_1} = \sqrt{\frac{m_2 E_2 A_2}{m_1 E_1 A_1}} \quad (2.10)$$

Nihoyat (2.9) birgalik shartlari (2.1) va muvozanat shartlarga olib borib, qo'yilsa quyidagiga ega bo'lamiz.

$$N_a + N_b = \alpha(N_a - N_b)$$

bundan esa

$$N_b = N_a \frac{\alpha - 1}{\alpha + 1} \quad (2.11)$$

hamda (2.9) dan

$$N_c = N_a \frac{2\alpha}{\alpha + 1} \quad (2.12)$$

(2.11) va (2.12) larda kuchlarni quyidagicha ifolab olamiz.

$$N = AE \frac{\partial U}{\partial x} = \pm \frac{AE}{c} \frac{\partial U}{\partial t}$$

bularni (2.11) ga qo'yib va integrallab, quyidagiga ega bo'lamiz.

$$\frac{A_1 E_1}{c_1} U_b = - \frac{A_1 E_1}{c_1} U_a \frac{\alpha - 1}{\alpha + 1}$$

bundan

$$U_b = U_a \frac{\alpha - 1}{\alpha + 1} \quad (2.13)$$

ga kelamiz. Xuddi (2.12) ga olib borib, qo'yamiz va uni integrallaymiz

$$\frac{-A_2 E_2}{C_2} U_c = - \frac{A_1 E_1}{C_1} U_a \frac{2\alpha}{\alpha + 1}$$

bundan esa

$$U_c = U_a \frac{2}{\alpha + 1} \quad (2.14)$$

bo'ladi.

α -koeffisientni ikki sterjen orasidagi qaytuvchi va sinuvchi to'lqinlar amplitudasini xarakterlaydi.

Yuqoridagilarda qo'shni sterjenlar xususiyatlari turlicha. α -esa ulardan bog'liq holda (2.10) orqali topiladi. (2.1) jadvalga tushuvchi, qaytuvchi va sinuvchi to'lqinlar orasidagi munosabat, turli chegaraviy shartlardan keltirilgan.

Holat.	$\alpha = \sqrt{\frac{A_2 E_2 m_2}{A_1 E_1 m_1}}$	Kuch to'liqlari	Ko'chish to'liqlari
		$\vec{N}_a + \vec{N}_b = \vec{N}_c$	$\vec{u}_a + \vec{u}_b = \vec{u}_c$
1.Uzluksiz	1	1 0 1	1 0 1
2.Qattiq mahkamlangan	∞	1 1 2	1 -1 0
3.Erkin	0	1 -1 0	1 1 2
4. $\frac{A_2 E_2}{A_1 E_1} = \frac{m_2}{m_1} = 2$	2	1 1/3 4/3	1 -1/3 2/3
5. $\frac{A_2 E_2}{A_1 E_1} = \frac{m_2}{m_1} = \frac{1}{2}$	1/2	1 -1/3 2/3	1 1/3 4/3

2.2. Ikki va uch pog'onali sterjenda to'liqin tarqalishi

Bizga materiallari turlicha bo'lgan 2 ta ketma-ket ulangan sterjen berilgan bo'lsin. Bu 2 ta sterjen turli xil zichlik va qattqlikka ega ularda to'liqin tarqalishi ham bu xususiyatlardan bog'liq holda turlicha. Mana shu sterjenda to'liqin tarqalish jarayonini qaraymiz. 1-sterjenning ughidan $u_a = \sin \omega t$ qonuniyat bilan o'zgaruvchi ko'chish berilgan bo'lsin. Buning natijasida birinchi sterjenda tarqaluvchi to'liqin u_a bog'lanish chegarasida u_b ko'rinishda orqaga qaytsin, hamda ikkinchi sterjenda ham u_c ko'rinishda davom etsin.

Birinchi sterjenning xususiyatlarini quyidagicha tanlaymiz

$$E_1 = 2 \cdot 10^{11} \text{ Pa}, \quad \rho_1 = 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}, \quad A_1 = 0,01 \text{ m}^2$$

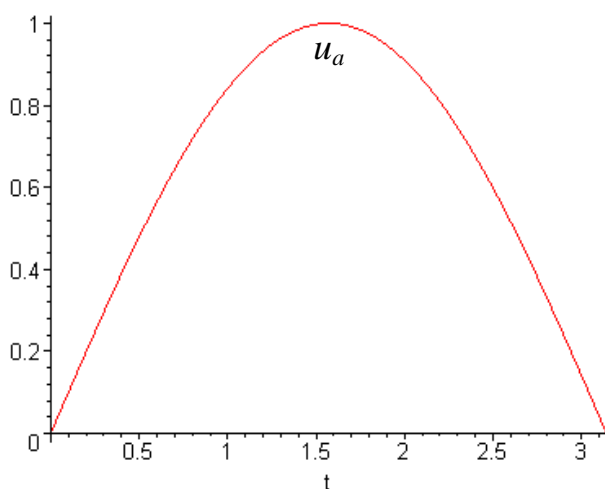
Ikkinchi sterjen uchun

$$E_2 = 10^{11} \text{ Pa}, \quad \rho_2 = 9000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}, \quad A_2 = 0,01 \text{ m}^2.$$

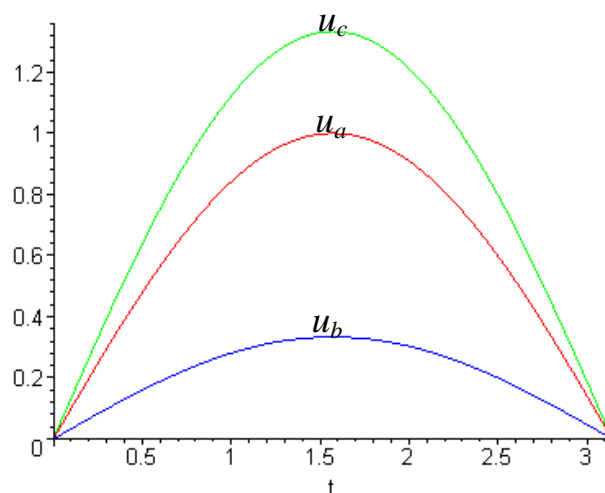
Bundan (2.10) ga ko'ra $\alpha = \frac{c_1 A_2 E_2}{c_2 A_1 E_1} = 0,75$.

Xuddi shunday sterjen xususiyatlarining turli variantlarida yuqoridagilarni bajarish mumkin.

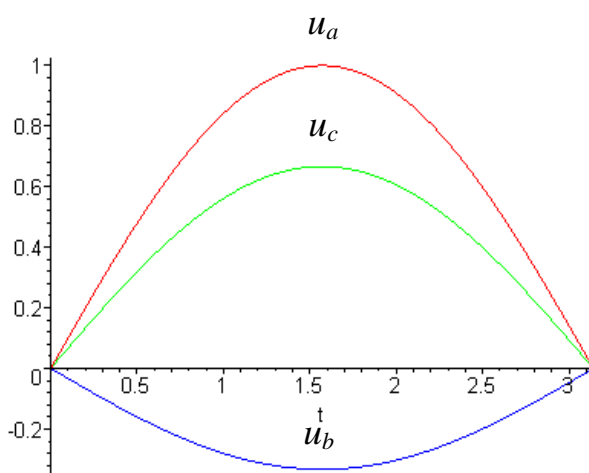
Quyida α parametrning turli qiymatlari uchun sterjenlar birlashtirilgan sohaga tushuvchi, qaytuvchi va ikkinchi sterjen bo'ylab tarqaluvchi to'lqinlar „Maple 7“ dasturi yordamida tasvirlangan (Ilova).



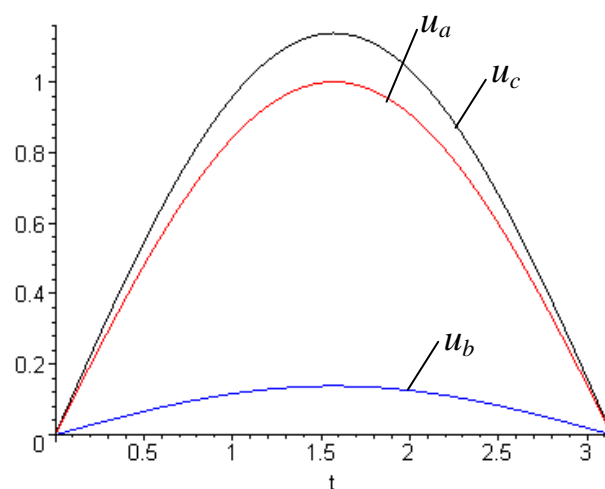
2.2-chizma. Bir jinsli sterjenda to'lqin tarqalishi.



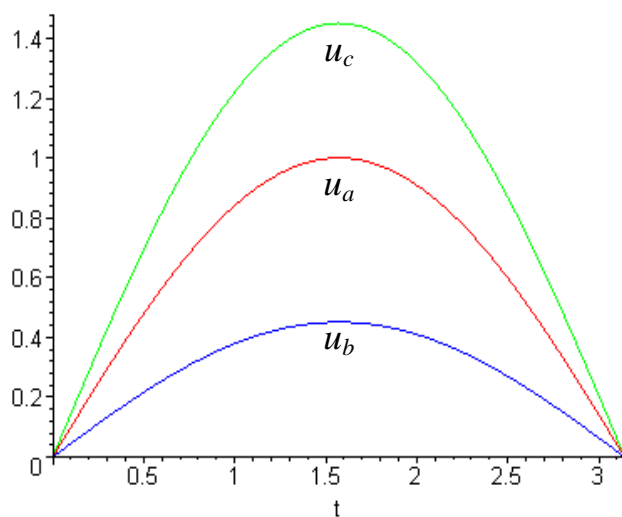
2.3-chizma. Materiali bir xil pog'onali sterjenda to'lqin tarqalishi $A_1=2A_2$.



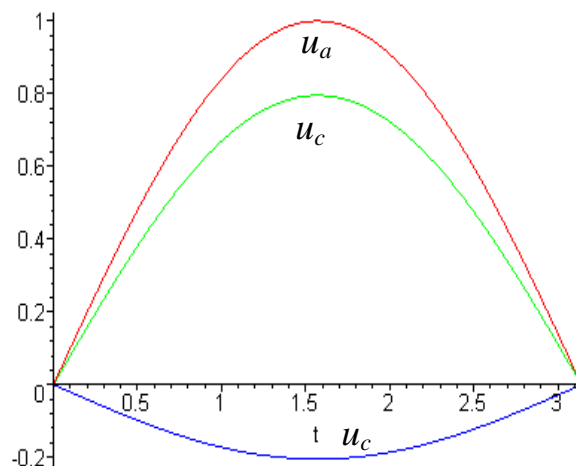
2.4-chizma. Materiali bir xil pog'onali sterjenda to'lqin tarqalishi $2A_1=A_2$.



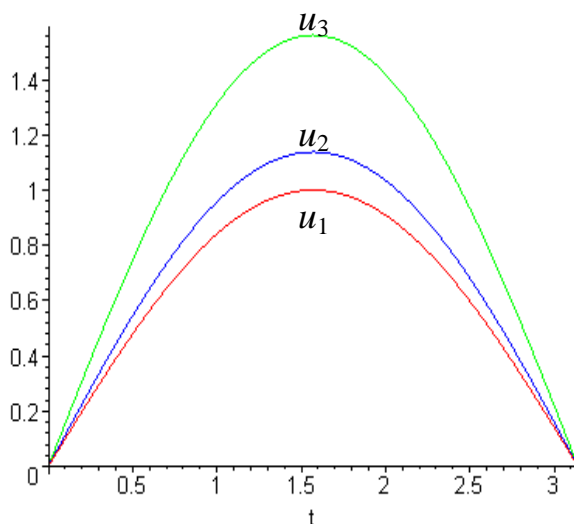
2.5-chizma. Turli xususiyatli, ko'ndalang kesimi bir xil sterjenda to'lqin tarqalishi (po'lat-mis).



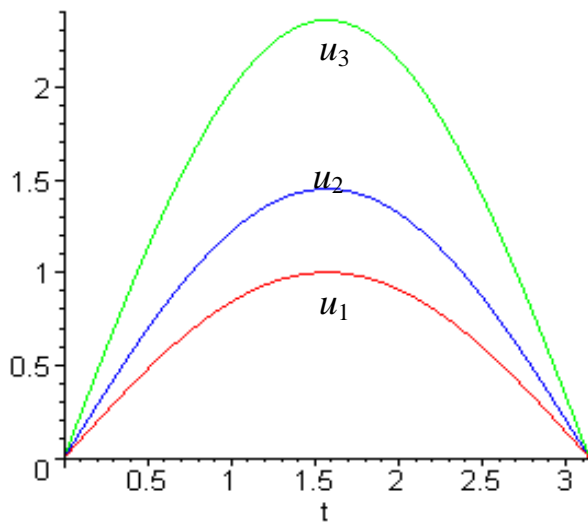
2.6-chizma. Pog'onali sterjenda to'lqin tarqalishi: po'lat-mis, $A_1=2A_2$



2.7-chizma. Pog'onali sterjenda to'lqin tarqalishi: po'lat-mis, $2A_1=A_2$



2.8-chizma. Uchta ketma-ket ulangan sterjenda to'lqin tarqalishi: $A_1=A_2=A_3$ po'lat-mis-alyuminiy.



2.9-chizma. Uchta ketma-ket ulangan sterjenda to'lqin tarqalishi: $A_1=2A_2=4A_3$ po'lat-mis-alyuminiy.

Endi uch pog'onali materiallari turlicha bo'lgan uchta ketma-ket ulangan sterjen berilgan bo'lsin. U holda birinchi bog'lanish chegarasida

$$\alpha_1 = \frac{c_1 A_2 E_2}{c_2 A_1 E_1}$$

ikkinchi bog'lanish chegarasida

$$\alpha_1 = \frac{C_2 A_3 E_3}{C_3 A_2 E_2},$$

bu yerda $c_1, c_2, c_3, E_1, E_2, E_3,$ va A_1, A_2, A_3 birinchi, ikkinchi va uchinchi sterjenlarning mexanik va gemetrik xususiyatlari.

2.2-2.7 – chizmalarda turli hollar uchu ikki pog'onali sterjenda to'lqin tarqalishi tasvirlangan.

2.8-2.9 – chizmalarda esa uch pog'onali sterjenda to'lqin tarqalishi tasvirlangan.

2.3. Ketma-ket ulangan sterjenlarda to'lqin tarqalishining sonli hisobi

Endi bundan oldingi paragraflarda keltirilgan mulohazalar asosida birining uzunligi l_1 ikkinchisidiki cheksi bo'lgan ketma-ket ulangan ikkita sterjenda bo'ylama elastik to'lqin tarqalishini chekli ayirmalar usuli yordamida yechib sonli natijalar olaylik. Bu holda sterjenlar uchun bo'ylama tebranish tenglamalari quyidagicha bo'ladi

$$\frac{\partial^2 U_a}{\partial t^2} - c_1^2 \frac{\partial^2 U_a}{\partial z^2} = 0, \quad 0 \leq z \leq l_1; \quad (2.15)$$

$$\frac{\partial^2 U_c}{\partial t^2} - c_2^2 \frac{\partial^2 U_c}{\partial z^2} = 0, \quad z > l, \quad (2.16)$$

Birinchi sterjenning uchi, mahkamlangan kesim va cheksizlikdagi ikkinchi uchda quyidagi chegaraviy shartlarni o'rinli deb qabul qilamiz

$$\begin{aligned} z = 0 \text{ da } U_a &= f(t, t_1); \\ z = l_1 \text{ da } U_c &= \frac{2}{1 + \alpha} U_a; \\ z \rightarrow \infty \text{ da } U_c &= 0. \end{aligned} \quad (2.17)$$

Boshlangich shartlar esa nolga teng

$$t = 0 \text{ da } U = \frac{\partial U}{\partial t} = 0. \quad (2.18)$$

(2.15)-(2.18) tenglamalarni chekli ayirmalar orqali ifodalaymiz

$$U_i^{n+1} = 2U_i^n - U_i^{n-1} + \frac{c_k \tau^2}{\Delta^2} (U_{i+1}^n - 2U_i^n + U_{i-1}^n), \quad i = 1 \dots N_k, N_{k+1} \dots N, n = 1, 2, \dots, k = 1, 2;$$

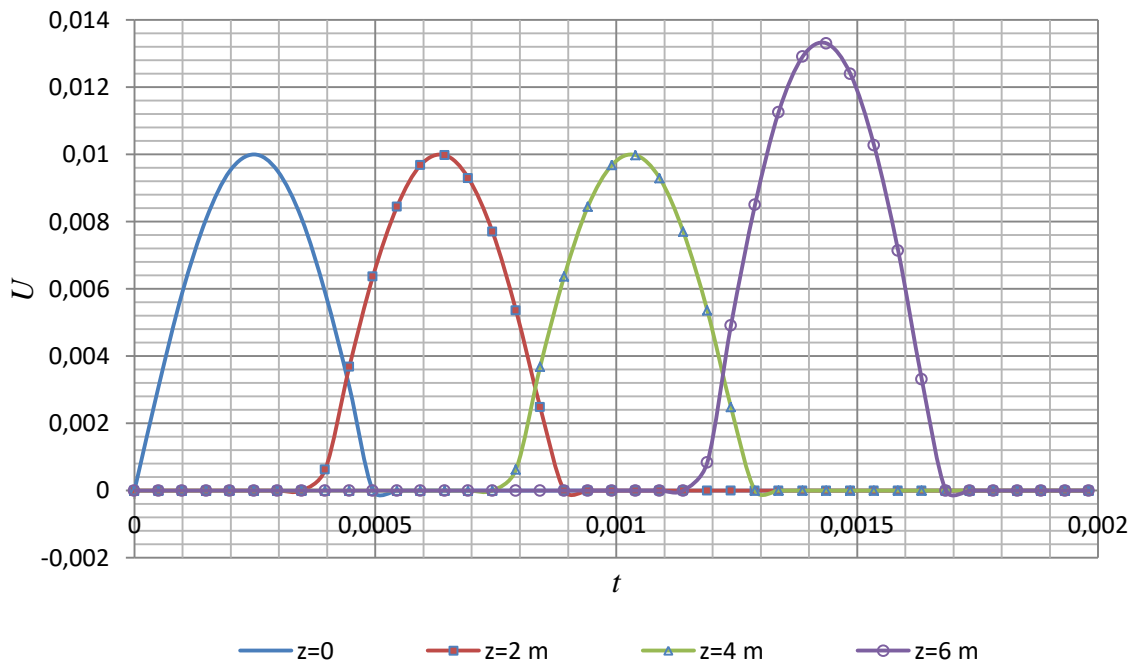
$$U_i^n = U_a, \quad k = 1 \text{ da}; \quad U_i^n = U_c, \quad k = 2 \text{ da}$$

$$U_0^N = f(t, t_1), \quad U_{N_{k+1}}^n = \frac{2}{1+\alpha} U_{N_k}^n, \quad U_i^{N+1} = U_i^N;$$

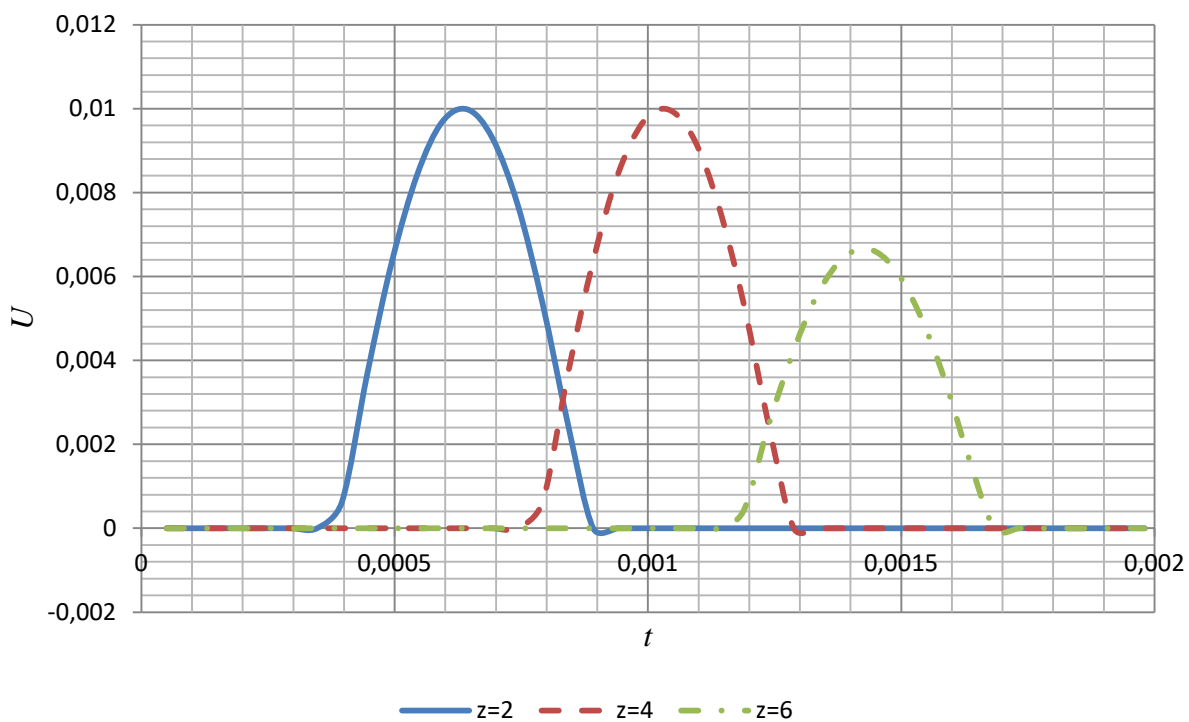
$$U_{i+1}^1 = U_i^1 = U_{i-1}^1.$$

(2.15)-(2.16) algebraik tenglamalar sistemasining ba'zi yechimlari 2.10-2.13-chizmalarda grafiklar ko'rinishida keltirilgan. Chizmalarda sterjenning chap uchidagi ($z=0$), birinchi sterjenning $z=2;4$, ikkinchi sterjenning $z=6;8$ kesimlaridagi ko'chishlarning vaqtdan bog'liq o'zgarish grafiklari keltirilgan. Bunda sterjen xususiyatlari quyidagicha tanlangan

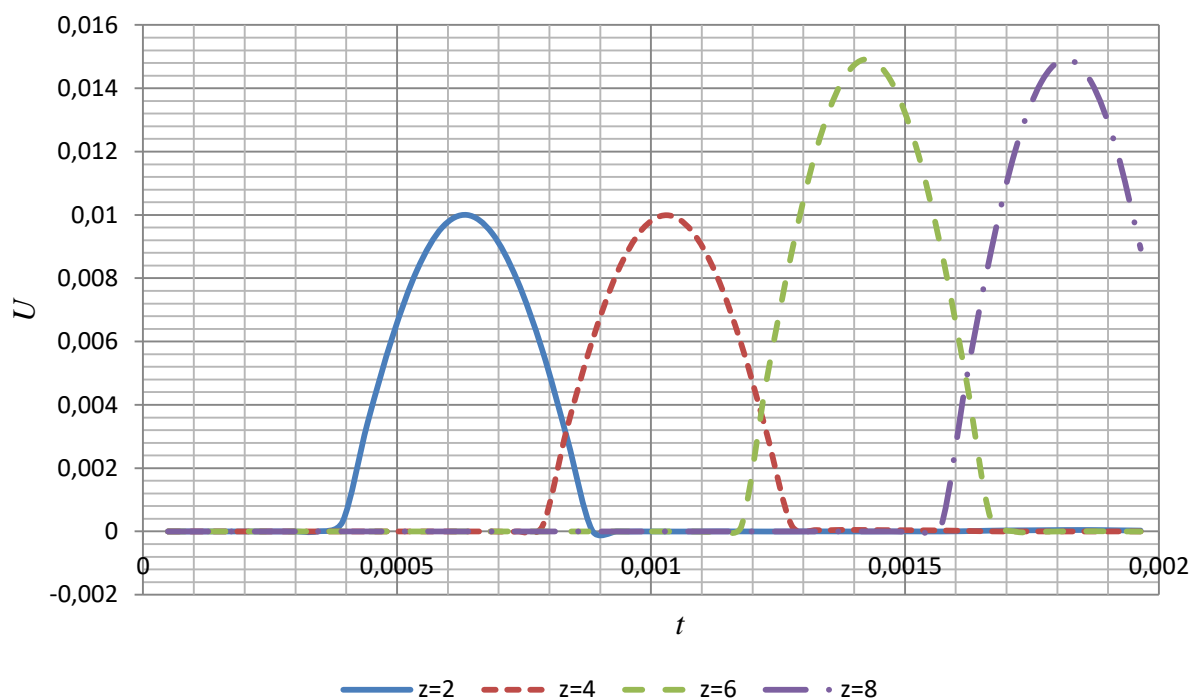
Po'lat $E_1 = 2 \cdot 10^{11} Pa$, $\rho_1 = 7850 \frac{kg}{m^3}$; Alyuminiy - $E_1 = 0.7 \cdot 10^{11} Pa$, $\rho_1 = 2700 \frac{kg}{m^3}$.



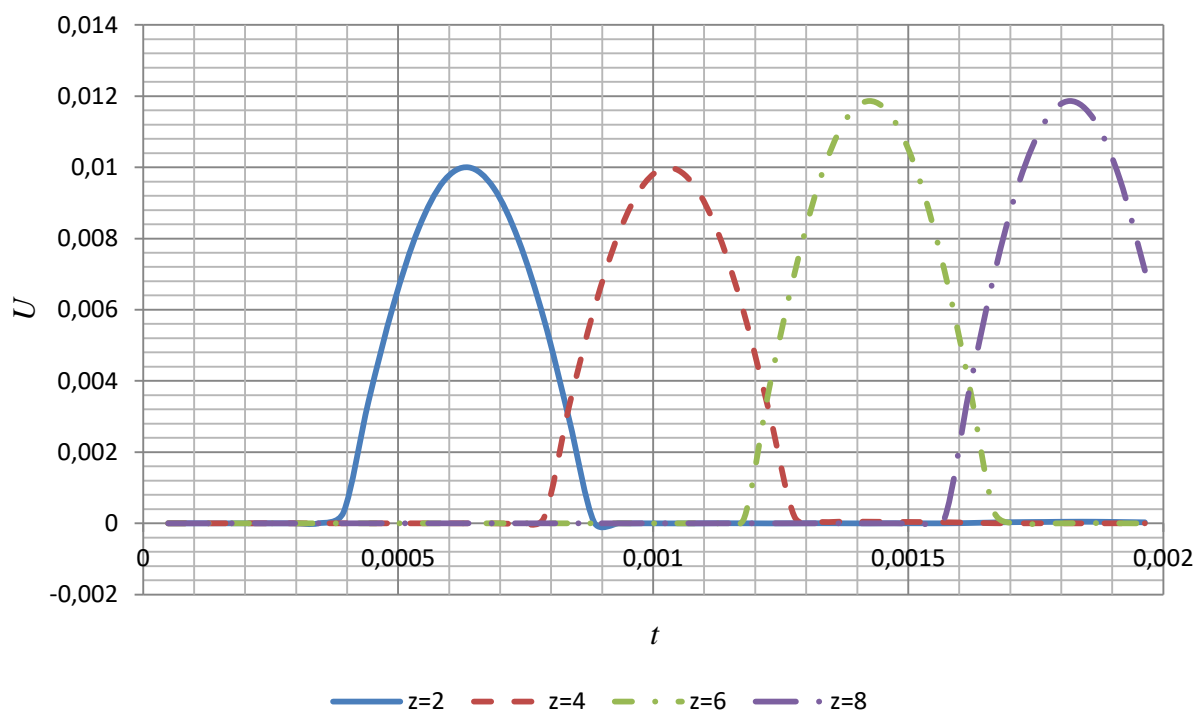
2.10-chizma. Materiali bir xil pog'onali sterjen ($A_1=2A_2$, Po'lat).



2.11-chizma. Materiali bir xil pog'onali sterjen ($A_2=2A_1$, Po'lat).



2.12-chizma. Ko'ndalang kesimi o'zgarmas bir jinlimas sterjen ($A_1=A_2$, po'lat-alyuminiy).



2.13-chizma. Ko'ndalang kesimi o'zgaruvchan bir jinslimas sterjen ($A_2=2A_1$, po'lat-alyuminiy).

Yuqorida keltirilgan grafiklarga ko'ra quyidagilarni aytish mumkin:

- turli xususiyatli ketma-ket ulangan sterjenlar chegarasida to'lqinning bir qismi orqaga qaytadi va yana bir qismi ikkinchi sterjen bo'ylab harakatlanishda davom etadi;
- to'lqin ko'ndalang kesimi katta bo'lgan sterjenda ko'ndalang kesimi kichik sterjenga o'tganda amplituda oshadi, ko'ndalang kesimi kichik bo'lgan sterjendan ko'ndalang kesimi katta bo'lgan sterjenga o'tganda amplituda pasayadi;
- turli materialli ketma-ket ulangan sterjenlarda to'lqin amplitudasining o'zgarishi materialning konkret xususiyatlaridan bog'liq bo'ladi.

XULOSA

Shunday qilib bitiruv ishini bajarish davomida olingan natijalardan quyidagilarni xulosa qilish mumkin:

- sterjenda to'liq tarqalish jarayoni haqidagi-to'liq fronti, to'liq tezligi kabi asosiy tushunchalar keltirildi;
- sterjenda bo'ylama to'liq tarqalish tezligi uning fizik xususiyatlarini bildiruvchi o'zgarishlar orqali ifodalandi.
- sterjenda zarbali to'liqning tarqalishi tekshirildi;
- sterjenning bo'ylama tebranish tenglamasini ifodalovchi xususiy hosilali differensial tenglama keltirib chiqarildi;
- sterjen uchlarining turli mahkamlanishlari uchun chegaraviy shartlarning qo'yilishi o'rganildi;
- ko'ndalang kesimi va elastik xususiyatlari turlicha bo'lgan uchta ketma-ket ulangan sterjenlarda bo'ylama to'liq tarqalish jarayoni tekshirildi;
- ikkita ketma-ket ulangan sterjenda to'liq tarqalishi chekli ayirmalar usulidan foydalanib tadqiq etildi;
- olingan natijalar tahlil qilindi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Ray W. Clough, Joseph Penzien. Dynamics of Structures. International Student Edition. 1975. p. 634 p.
2. Бидерман. Прикладная теория механических колебаний. М. 1972. Высшая школа.
3. Краскевич В. Е., Зеленский К. Х., Гречко В. И. Численные методы в инженерных исследованиях. – Киев: Вища школа. 1986. – 263с.
4. Маматкулов Ш.М. Колебания и волны в гидроупругих и и грунтовых средах. Ташкент: Фан, 1987.
5. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела. Москва «Наука» 1988 год.
6. Сагомаян А.Я. Волны напряжения в сплошных средах. Изд.: МГУ, 1979.
7. Худойназаров Х. Х. Нестационарное взаимодействие цилиндрических оболочек и стержней с деформируемой средой. Ташкент.: Абу Али ибн Сино. 2003. – 326 с.
8. Burqutboyev Sh.M., Abdurazzoqov J.N. Ko'ndalang kesimi o'zgaruvchan bir jinlimas sterjenda bo'ylama to'lqin tarqalishi. Yosh olimlar va talabalarning "XXI asr intellectual avlod asri" shiori ostida hududiy ilmiy-amaliy anjuman to'plami. 18-19 iyun 2013 yil – Buxoro. 208-211 betlar.
9. Xolmurodov R. I., Xudoynazarov X.X. Elastiklik nazariyasi. I, II qism. Toshkent.: Fan. 2004.

ILOVA

```
Program Bir_jinslimas_sterjen;
Uses crt;
const n=200; nt=200; jt=5;
var i,j,k,it      :integer;
    tj,u1,u2,u3,u4 : array[1..n+1] of real;
    l,d,ta,d2,ta1,ta2,t,t0,t1,E1,E2,rho1,rho2,c1,c2,c12,c22,
    A1,A2,al,aa :real;
    fli: text;
label met;
function f(t,t1:real): real;
var pi: real;
begin
    pi:=3.14159;
    if t<=t1 then f:=0.01*sin(pi*t/t1) else f:=0;
end;
begin
    clrscr;
    assign(fli,'Jamshid.dat');
    rewrite(fli);
    {Boshlang'ich ma'lumotlar}
    l:=10; E1:=2e11; E2:=2e11;
    rho1:=7850; rho2:=7850;
    c1:=sqrt(E1/rho1); c2:=sqrt(E2/rho2);
    A1:=0.01; A2:=0.005;
    {Boshlang'ich hisoblar}
    d:=l/n; ta1:=d/c1; ta2:=d/c2; t1:=nt*ta1/4;
    d2:=d*d;
    t:=0;
    c12:=sqr(c1); c22:=sqr(c2);
    al:=c2*rho2*A2/(c1*rho1*A1);
    aa:=2/(al+1);
    {Koeffitsientlar}
    j:=0; k:=0;
    {Boshlang'ich shartlar}
    for i:=0 to n do
        begin
            u1[i]:=0; u2[i]:=0; u3[i]:=0;
        end;
    for it:=1 to nt do
        begin
            if c1>c2 then ta:=ta1 else ta:=ta2;
            t:=t+ta;
            {1-Tenglamani yechish}
            for i:=1 to n do
                begin
                    if i<=100 then u3[i]:=2*u2[i]-u1[i]+c12*ta*ta/d2*(u2[i+1]-2*u2[i]+u2[i-1])
                    else u3[i]:=2*u2[i]-u1[i]+c22*ta*ta/d2*(u2[i+1]-2*u2[i]+u2[i-1]);
                end;
            {Chegaraviy shartlar}
            u3[1]:=f(t,t1); u3[n+1]:=u3[n];

            for i:=1 to n do
```

```

begin
u1[i]:=u2[i]; u2[i]:=u3[i];
end;
{Pechat}
j:=j+1;
if j=jt then
begin
j:=0; k:=k+1;
writeln(t:12:6,f(t,t1):10:6, u3[40]:10:6,
u3[80]:10:6,aa*u3[120]:10:6);
writeln(fli,t:12:6,f(t,t1):10:6, u3[40]:10:6,
u3[80]:10:6,aa*u3[120]:10:6);
end;
end;
close(fli);
end.

```