

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI
ALISHER NAVOIY NOMIDAGI
SAMARQAND DAVLAT UNIVERSITETI

Qo'lyozma huquqida

UDK 539.3

YAXSHILIKOV BEGZOD

IMPULSLI YUKLANISHLAR TA'SIRIDAGI HALQALAR BILAN
KUCHAYTIRILGAN DOIRAVIY PLASTINKANING KUCHLANGANLIK
–DEFORMASIYALANGANLIK HOLATINI TADQIQ QILISH

5A140302 – Deformatsiyalanuvchi qattiq jism mexanikasi

Magistr

akademik darajasini olish uchun yozilgan

dissertatsiya

Ilmiy rahbar:
dots. Sh.Berdiyev

Samarqand – 2015

	MUNDARIJA	
	KIRISH	3
I-BOB.	HALQALAR BILAN KUCHAYTIRILGAN PLASTINKA DINAMIK HARAKATINI MATEMATIK MODELLASHTIRISH	
1.1-§.	Halqalar bilan kuchaytirilgan plastinkalar uchun fizik va geometrik chisiqlimas munosabatlar	10
1.2-§.	Impulslı yuklanishlar ta'siridagi halqali plastinkaning harakat differentsial tenglamalari	12
	1-bob bo'yicha xulosa	21
II-BOB	HALQALI PLASTINKANING HARAKAT TENGLAMALARINI SONLI YECHISH	
2.1-§.	Chekli ayirmalar usuli haqida asosiy tushunchalar	22
2.2-§.	Harakat tenglamalari va asosiy munosabatlar uchun sonli usul	37
2.3-§.	Masalani hisoblash algoritmi va dasturlar majmuasi	41
	II-bob bo'yicha xulosa	42
III-BOB	IMPULSLI YUKLANISHLAR TA'SIRIDAGI HALQALI DOIRAVIY PLASTINKANI HISOBLASHDAN OLINGAN NATIJALAR	
3.1-§.	Halqalar bilan kuchaytirilgan plastinkaning unga mahkamlangan halqalarning ko'ndalang kesimlari o'zgarishidan bog'liq kuchlangan-deformatsiyalangan holati	43
3.2-§.	Halqalar bilan kuchaytirilgan plastinkaning kuchlangan- deformatsiyalangan holatining unga mahkamlangan halqalar soni va joylashishidan bog'liq hollar	47
	III-bob bo'yicha xulosa	61
	XULOSA	62

	FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI	64
	ILOVA	66

KIRISH

Halqalar bilan kuchaytirilgan plastinka va qobiqlar dinamikasini o'rganishda mustahkamlangan halqalarni hisobga olish usuli bilan ajratiladigan ikkita asosiy yondashishdan foydalaniladi. Bulardan nisbatan ko'proq tarqalgan yondashish bu halqalangan halqali plastinka yoki qobiqni konstruktiv-ortotrop konstruksiya sifatida hisobga olish va ortotrop plastinka va qobiqlar nazariyasini bo'yicha o'rganishishgan iborat bo'ladi.

Bunday yondashish S.A.Ambarsumyan, A.S.Vol'mir, E.I.Grigorlyuk, A.P.Kolodyajniy, A.P.Kopmishin va boshqalar ishlarida foydalanilgan.

Konstruktiv-ortotropiyaning kiritilishi halqalar va qobiq o'rtasidagi o'zaro ta'sir xususiyatlaridan chetlashishga imkon beradi hamda masalani oddiylashtiradi. Ayni vaqtda bu yondashish yetarli darajada katta sondagi halqalar bo'lgan chog'da ham ahamiyatli xatolarga olib keladi.

Plastinka va qobiqqa mustahkamlangan halqalarini joylashishida diskretlikni hisobga olish ikkinchi xil yondashish bo'ladi va katta umumiylikni kasb etadi. Halqalarning diskret joylashishini hisobga olgan holdagi halqali plastinka va qobiqlar dinamikasi sohasidagi asosiy natijalar I.A.Amiro, V.A.Zarutskiy, V.G.Palamarchuk, Y.P.Jigalko, I.V.Adrianov va boshqalar ishlarida o'z aksini topgan. Shaxsan plastinka yoki qobiq va u bilan kontakt chizigi bo'yicha birlashtirilgan halqalardan tuzilgan sistema, mana shu yondashishlarga asosan ko'riladi.

Plastinka va qobiqning kuchlangan-deformasiyalangan holati Kirgof-Lyav yoki Timoshenko gipotezalarida yupqa qobiqlar nazariyasi asosida qabul qilinadi, halqalarni hisoblash uchun esa Kirxgof-Klebsha gipotezasiga asoslangan egri chiziqli sterjenlar nazariyasi foydalanilishi mumkin, yoki shuningdek normal elementning siljish deformatsiyasi va aylanish inersiyasini hisobga olgan holda halqalarning plastinka bilan tutashtirish holati Dirakning del'ta funksiyasi yordamida keltirib chiqariladi. Halqali plastinka va qobiqlar nazariyasining

kompakt-diffetensial tenglamalarini olishga imkon bergan tutashtirish holatining integral ko'ri nishi I.A.Amirov va V.A.Zarutskiylarning ishlarida taklif etilgan.

Halqali konstruksiyaning zinasimon-o'zgaruvchan qalinlikdagi plastinka qobiqlar sifatidagi ko'rinishi bilan bog'liq yana bir uchinchi yondashish ham bor. Bunday yondashish mustahkamlanayotgan halqalarning enini hisoblashga imkon beradi va enli halqalar qo'yilgandagi qobiqlarning kuchlanganlik-deformasiyalanganlik holatini to'laqonli aniqlaydi. Halqalarning joylashgan joyini va ularning enini belgilash uchun yagona ustunsimon funksiyalar qo'llaniladi. Bu funksiyalar birlik funksiyalarning ular argumentining halqa eniga teng o'zgarishdagi halqa orttirmasiga teng. Birlik funksiyalar zinali-o'zgaruvchan qalinlikdagi plastinka va qobiqlar uchun hisoblash ishlarda qo'llanilgan. Birlik ustunli funktsiya qo'llanilishi plastinka yoki qobiqning halqalar soniga bog'lanmagan yechimli tenglamalar olishga imkon beradi.

Halqali plastinka va qobiqlar dinamikasi bo'yicha ishlar analizi shuni ko'rsatadiki, keyingi yillarning aksariyat nazariy izlanishlar, halqalarni diskret joylashuvini hisobga olish usullari asosida bajarilgan. Halqali plastinkarning impul's yuklanish ostidagi kuchlangan-deformasiyalanlik holatini aniqlash usullari quyidagi [7, 9, 13] va boshqa ishlarda qarab chiqilgan. Bu ishlarning aksariyatida masalalar geometrik va fizik chiziqli bo'lgan holda yechilgan. Geometrik chiziqlimas qo'yish esa quyidagi [13] ishlarda foydalanilgan. Bir necha ishlardagina plastinkaning impul'sli yuklanishlar ta'siridagi plastic egiluvchanlik deformatsiyasi qarab chiqilgan.

Belgilash joizki, ancha ma'lum bo'lgan ishlarda asosan, bir yo'nalishda mustahkamlangan silindrik qobiqlar tadqiq qilingan. Xuddi shunday [11] silindrik qobiqlarning halqalar bilan kuchaytirilganligi kuzatiladi. Yon tomondan bo'ladigan zarba to'lqini ostidagi halqali qobirgalar bilan mustahkamlangan qo'sh qatlamli silindrik qobiqlarning deformatsiyanishi [11] ishda o'rganilgan. Pirovard natijada bitta qatlamning egilmasligi belgilanib, qobiqning halqali halqalar bilan mustahkamlanganligi natijasida maksimal deformatsiyanishning pasayganligi baholangan. [11, 13] ishlarda mustahkamlangan halqalar parametrining tashqi

dinamik bosim ostidagi silindrik qobiqning harakatiga bo'lgan tasiri sistematik tadqiqot qilinishi berilgan. Yechimga asos qilib [7] ishda berilgan yondashish olingan, ya'ni bunga ko'ra, qobiqning silliq qismlari uchun qurilgan yechimlar halqa joylashgan chiziqda yopishishadi, jipslashadi. [7, 11] ishlarda bo'ylama halqalar bilan kuchaytirilgan silindrik qobiqlarning tadqiqot natijalari berilgan. [13] ishda halqalar bilan mustahkamlangan sferik qobiqlar berilgan. Halqli qobiqlarning qisqa vaqtli yuklanishdagi dinamik holatini tadqiq qilishga Y. B. Nemirovskiy, A. E. Bogdanovich, T. B. Koshkina, A. K. Mishonkovalarning ishlari bag'ishlangan.

Ko'pchilik ishlarda dinamik jarayonni ta'riflash uchun plastinka va halqalar harakatining klassik tenglamalaridan foydalanilgan. T. Z. Lugovoy va V. F. Meyshalarning ishlarida stringer yoki shpangautlar bilan mustahkamlangan silindrik qobiqlarda to'lqinlarning tarqalish qonuniyatini tadqiq qilish haqidagi Timoshenko tipidagi nazariya qo'llanilgan. Xullas, yuqorida aytib o'tilgan ishlarning natijalarini, hamda bu yerda ko'rsatib o'tilmagan ko'pgina tadqiqotlarni tahlil qilib ko'rib, nostatsionar yuklanishlardagi kuchlanganlik deformasiyalanganlik holatini aniqlab ta'riflashdek vazifa yechimini topdi desak bo'ladi, bu asosan bir yo'nalishda halqalar bilan kuchaytirilgan silindrik qobiqlar uchun tadbiq etiladi.

Dissertatsiya ishining tadqiqot predmeti. Keyingi vaqtlarda fan va texnikaning rivojlanishi ko'pgina muhandislik konstruksiyalariga dinamik tasirlarini hisoblash metodlarini takomillashtirishni talab qilmoqda. Bu sohada keyingi yillarda qilinayotgan ishlar plastinkalar va qobiqlarning turli fizik mexanik xususiyatlarini hisobga olingan nostatsionar holatlarini o'rganishga qaratilgan. Buning uchun qo'yilgan noxiziqli masalani echish usullari bilan tadqiqotlar o'tkazish mexanikaning murakkab masalalari jumlasiga kiradi. Shu maqsadda magistirlilik dissertatsiyasida shunga yaqin masalani yechilishi o'rganilib bir necha holatlar uchun tadqiqotlar o'tkazish ko'zda tutilgan.

Dissertatsiya ishining tadqiqot ob'ekti. Tomonlari qistirib mahkamlangan impulsli yuklanishlar ta'siridagi turli ko'ndalang kesimli halqalar bilan

kuchaytirilgan doiraviy plastinka kuchlanganlik deformasiyalanganlik holatlarini taqribiy usullardan chekli ayirmalar usuli yordamida o'rganish masalasi qo'yilgan. Halqa ko'ndalang kesimi to'g'ri to'rtburchak shaklda va plastinka ichki sirtiga mahkamlangan. Doiraviy plastinka tashqi sirtiga eksponensial qonun bo'yicha vaqtdan bog'liq o'zg'aruvchi impulsli yuklanish qo'yilgan bo'lsin. Plastinka va mahkamlanayotgan halqalar materiali bir xil deb qabul qilamiz. Plastinka deformatsiyalangan-kuchlangan holatini plastinkaga biriktirilgan halqalarning ko'ndalang kesimini yuzini o'zgartirmasdan ko'ndalang kesim eni va bo'yini o'zgarishidan bog'liq holini hamda halqalar soni va koordinatalarini o'zgartirilgan turli variantlarini tadqiq qilish masalalari qo'yildi.

Mavzuning dolzarbligi Texnika va xalq xo'jaligining ko'plab sohalarida, jumladan qurilish inshootlarida, aviasozlik, kemasozlik, yo'l qurilishlarida plastinka ko'rinishidagi yoki halqalar bilan kuchaytirilgan konstruksiyalar qo'llaniladi. Bu konstruksiyalarni deformasiyalanganlik kuchlanganlik holatlarini o'rganish, mustahkamligini oshirish, mustahkamligini saqlagan holda uning materialini tejash masalalari fan va texnikaning dolzarb masalalari hisoblanadi. Fan va texnikaning rivojlanishi ko'pgina injienerlik konstruksiyalariga dinamik tasirlarini hisoblash metodlarini takomillashtirishni talab qilmoqda. Bu sohada keyingi yillarda qilinayotgan ishlar plastinka va qobiqlarning turli fizik mexanik xususiyatlarini hisobga olingan nostasionar holatlarini o'rganishga qaratilgan. Bu masalalar bilan ishlash dinamik jarayonlarni chuqur o'rganish, bu jarayonlarda qatnashayotgan muhandislik konstruksiyalari elementlarining, deformasiyalanganlik holatlarini etarli darajada aniqliqda o'rganish muhim ahamiyatga ega .

Ishning maqsad va vazifalari. Halqalar bilan kuchaytirilgan qobiqning impulsli yuklanishlar ta'siridagi nostasionar holatlari tadqiq etish biriktirilgan halqalar turlicha shaklda bo'lgan holat uchun va biriktirilgan halqalar soni va joylashish nuqtalarining turli variantlari uchun ko'chish, zo'riqish kuchlari va momentlar graviklarini tasvirlash yordamida konstruksiya deformatsiyalangan kuchlangan holatlari o'rganish maqsad qilib qoyildi.

Muammoning ishlab chiqilish darajasi. Halqali plastinkalar dinamikasini o'rganishda mustahkamlangan halqalarni hisobga olish usuli plastinkaga mustahkamlangan halqlarning joylashishida diskretlikni hisobga olish ikkinchi xil yondashish bo'ladi va katta umumiylikni kasb etadi.

Plastinka va qobiqlarning kuchlangan-deformasiyalangan holati Kirgof-Lyav yoki Timoshenko gipotezalari asosida qabul qilingan yupqa qobiqlar nazariyasi bo'yicha o'rganiladi.

Bu sohada qilingan ishlar va olingan natijalarni bir qanchasida chiziqli fizik masalalar qaralgan, halqalar bilan kuchaytirilgan plastinka va qobiqlarning nostasionar holatlarini o'rganish, va buning uchun qo'yilgan nochiziqli masalani echish usullari bilan tadqiqotlar o'tkazish mexanikaning murakkab masalalari jumlasiga kiradi. Hisoblashlarning maqsadi halqa bilan kuchaytirilgan plastinka harakati tenglamasini sonli integrallash aniqligi va barqarorligini asoslashdir. Halqali plastinka va qobiq dinamikasi masalasini sonli yechish aniqligi analitik tekshirish ko'pgina matematik qiyinchiliklarni bartaraf etish bilan bog'liqdir. Amaliyotda masalani yechishni baholash uchun nisbatan oddiy usullar, masalan turli usullarda, turli sonli sxemalarda olingan natijalarni solishtirishga asoslangan usullardan yoki yaqinlashishlardan foydalaniladi.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi. Bitiruv ishida qo'yilgan masalani yechishda zamonaviy hisob usullari va hisob algoritmligiga tayanilgan holda, halqalar bilan kuchaytirilgan plastinkaning nochiziqli tebranishlarini chekli ayirmalar usulidan foydalanib tahlil qilish, dinamik yuklanishlarning simmetrik deformasiyaga ta'sirini aniqlash, chegaraviy masalaga sonli hisob usulining qo'llanilganligidan iborat.

Tadqiqotning amaliy ahamiyati. Hozirgi zamon texnikasi, qurilish, yer osti va yer usti inshootlari, aviatsiya, kemasozlik va boshqa juda ko'plab sohalarda ko'ndalang kesimi doiraviy bo'lgan muhandislik qurilmalarining asosiy elementlaridan biri sifatida ishlatiladi. Qo'llanilish jarayonida bunday qatlamlar intensiv va impulsiv dinamik yuklar ta'siri ostida bo'ladilar hamda juda ko'p

hollarda ularning dinamik chidamlilik darajasini tajribadan emas, balki hisoblashlar yordamida aniqlashga to'g'ri keladi.

Halqalar bilan kuchaytirilgan doiraviy plastinka ko'rinishidagi qurilmalar xalq xo'jaligida ko'p qo'llaniladi va ularni mustahkamligini oshirish va konstruksiyalarni defomasiyalanganlik kuchlanganlik holatlarini uning turli mexanik va fizik xossalarini hisobga olgan holda o'rganish, mustahkamligini soqlagan holda uning materialini tejash masalalari dolzarb masalalardan hisoblanadi.

Dissertatsiya ishining tuzilishi. Ushbu magistrlik dissertatsiya ishi kirish, uchta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovadan iborat bo'lib jami 72 betni tashkil qiladi.

Dissertatsiya asosiy bo'limlarining qisqacha mazmuni. Dissertatsiya ishining kirish qismida ishning predmeti va dolzarbligi tavsiflashga atroflicha to'xtalib o'tilgan. Ishning predmeti ishonarli dalillar asosida ko'rsatilgan va shu asosda uning ob'yekti aniqlashtirilgan.

Halaqalar bilan kuchaytirilgan doiraviy elastik plastinkaning kuchlanganlik holatini biriktirilgan halqalar soni va geometrik xarakteristikalarining o'zgarishidan bog'liq hollari klassik tenglamalar asosida tadqiq qilish zamonaviy mexanikaning o'ta dolzarb mavzularidan ekanligi isbotlangan. Dissertatsiya ishining maqsadi va bu maqsadni amalga oshirish uchun bajarilishi kerak bo'lgan vazifalar belgilab olingan.

Dissertatsiya ishida hal qilinishi kerak bo'lgan muammo tahlil qilingan. Olingan natijalarning ilmiy va amaliy ahamiyatlari aniq misollarda sodda qilib tushuntirib berilgan.

Dissertatsiya ishining birinchi bobi " Halqalar bilan kuchaytirilgan plastinka dinamik harakatini matematik modellashtirish" deb ataladi va o'z ichiga ikkita paragrafni olgan. Birinchi paragrafda halqalar bilan kuchaytirilgan plastinkalar uchun fizik va geometrik chisiqlimas munosabatlari o'rganilgan.

Ikkinchi paragrafdai impulsli yuklanishlar ta'siridagi halqali plastinkaning harakat differentsial tenglamalari keltirilgan.

Dissertatsiya ishining ikkinchi bobi differentsial tenglamalarni yechishning chekli ayirmalar usuli, xususiyl hosilali differentsial tenglamalarni taqribiy yechish, doiraviyl elastik qobiqlarning buralma tebranishlarini klassik (ikkinchi tartibli) tenglamasi asosida sonli tatbiq etishga bag'ishlangan. Konstruksiya uchun o'rinli bo'lgan Timoshenko tipidagi harakat differentsial tenglamalarini yechishda sonli usullardan chekli ayirmalar usulidan foydalaniladi. Ishda bu usul haqida ma'lumotlar keltirib o'tiladi. Chekli ayirmalar usuli yordamida masalani yechish algoritmi kiritiladi. Umuman olganda bu bob aniq amaliyl masalalarni yechish uchun qo'llaniladigan sonli usullarni, xususan chekli ayirmalar usulini qoyilgan masala uchun qo'llashga bag'ishlangan.

Dissertatsiya ishining uchinchi bobi "Impulsli yuklanishlar ta'siridagi halqali doiraviyl plastinkani hisoblashdan olingan natijalar" deb nomlangan. Ushbu bobda plastinkaga ornatilgan halqalarning ko'dalang kesimini yuzini o'zgartirmasdan kesim eni va bo'yini o'zgarishi uch xil variantda qaralgan. Bu variantlarda plastinka nuqtalari ko'chishlari ichki so'riqish kuchlari va momentlari grafiklar yordamida taqqoslanadi. Shuningdek halqasiz plastinka, plastinkaga bitta halqa turli joylarda o'rnatilgan hollar uchun plastinka kuchlanganlik deformasiyalanganlik holatlari sonli tadqiq qilingan va olingan natijalar grafiklar ko'rinishida tasvirlanib xulasalar qilingan. Plastikaga ikkita halqa bilan mustahkamlangan holatda 3 ta variant, plastinka markaziga yaqin, markaz va chegara o'rtasida va halqalar chegaraga yaqin joylashgan variantlarda plastinka markaziy nuqtasi ko'chishlari va ichki zo'riqish kuchlarini aniqlashlandan olingan natijalarning grafiglarda tasvirlangan. Olingan natijalar asosida xulosalar chiqarilgan.

I-BOB. HALQALAR BILAN KUCHAYTIRILGAN PLASTINKA DINAMIK HARAKATINI MATEMATIK MODELLASHTIRISH

1.1-§. Halqalar bilan kuchaytirilgan plastinkalar uchun fizik va geometrik chisiqlimas munosabatlar

1. Umumlashgan funksiyalar haqida tushuncha. Umumlashgan funksiyalar Xevisayd funksiyasi, birlik funksiya Dirakning delta funksiyalari hisoblanadi.

Xevisayd funksiyasi quidagicha aniqlangan.

$$H(x-x_i)=\begin{cases} 0 & \text{agar } x < x_i \\ 1 & \text{agar } x \geq x_i \end{cases} \quad (1.1)$$

bu erda x_i tasir nuqtasi koordinatasi Xevisayd funksiyasi ko'paytmasi tasirni tasvirlaydi. Balka yoki plitaga q -kuch qo'yilgan bo'lsa, uning tasiri quyidagicha beriladi.

$$q(x,y)=q(y)H(x-x_i)$$

Delta funksiya bilan Xevisayd funksiyasini bog'liqligi quyidagicha

$$\delta(x-x_i)=\begin{cases} 0 & \text{agar } x \neq x_i \\ \infty & \text{agar } x = x_i \end{cases} \Rightarrow \int_{-\infty}^{\infty} f(x)\delta(x-x_i)dx = f(x)$$

Delta funksiya integrali qiymati chekli va birga teng

$$\int_{-\infty}^{\infty} \delta(x-x_i)dx = 1$$

Birluk funksiyaning hosilasi mavjud va u delta funksiya teng

$$H'_x(x-x_i)=\delta(x-x_i) \quad \text{bundan} \quad \int_0^x \delta(x-x_i)dx = H(x-x_i)$$

Har qanday uzluksiz funksiya ko'paytirilgan bu funksiya uni muayyan (x_i) nuqtada to'xtatib beradi.

$$f(x)\delta(x-x_i)=f(x_i)\delta(x-x_i)$$

demak $\int_0^x f(x)\delta(x-x_i)dx = f(x_i)dx = f(x_i)H(x-x_i)$ Xuddi shunday delta va

Xevisayd funksiyalarini ikkita, uchta va n ta argumentga bog'lik hollarini ifodalash mumkin

$\delta(x-x_i)\delta(y-y_i)=\delta(x-x_i;y-y_i)$ bitta o'zgargan holat uchun

$$\int_a^b \int_c^d \delta(x-x_i;y-y_i)dxdy=1 \quad a < x_i < b \quad c < y_i < d$$

Bu ikkala Dirak va Xevisayid funksiyalaridan foydalanib chiziqqa yoilgan kuch, to'plangan kuch va eguvchi moment tasirini ifodalasak bo'ladi.

$$q(x)=q^0(x)+q_1(x)[H(x-x_1)-H(x_2-x)+P\delta(x-x_2)+M\delta'(x-x_3)] \quad (1.2)$$

Bu erda $q^0(x)$ -balka uzunligida tekis taqsimlangan kuch $\delta'(x-x_3)$ -delta funksiya hosilasi. $q_1(x)-x_1 < x < x_2$ oraliqdagi kuch $P-x_i$ nuqtada to'plangan kuch. M-to'plangan eguvchi moment yoki juft kuch. x_3 nuqtaga qo'yilgan.

Bu uchala tasirni l uzunlikdagi proeksiyasi.

$$\begin{aligned} \int_0^\ell q(x)dx &= \int_0^\ell q^0(x)dx + \int_0^\ell q_1(x)[H(x-a_1)-H(b_1-x)]dx + \\ & \int_0^\ell P\delta(x-x_2)dx + \int_0^\ell M\delta'(x-x_2)dx = \int_0^\ell q^0 dx + \int_0^\ell q_1 dx + P \end{aligned}$$

Agar $q^0=const$ va $q_1=const$ desak

$$\int_0^\ell q(x)dx = q^0 \ell + (b_1 - a_1)q_1 + P \quad (1.3)$$

Bu formula balkadagi kuchlar yig'indisi. Xuddi shunday momentlar yig'indisi

$$\int_0^{\ell} q(x)x dx = \int_0^{\ell} q^0(x) dx + \int_{a_1}^b q_1(x) dx + \int_0^{\ell} P(x)\delta(x-x_2) dx + \int_0^{\ell} M\delta'(x-x_2)x dx =$$

$$= \frac{q^0 \ell^2}{2} + q_1 \left(\frac{b_1^2}{2} - \frac{a_1^2}{2} \right) + Pb_1 + M = q^0 \frac{\ell^2}{2} + q_1(b_1 - a_1) \frac{b_1 + a_1}{2} + Pb_1 + M \quad (1.4)$$

Bu erdagi integrallarni hisoblashda $\int_0^{\ell} M\delta'(x-x_3) dx$ va $\int_0^{\ell} M\delta'(x-x_3)x dx$ larga

$$\int_0^{\ell} f(x)\delta'(x-x_3) dx = \int_0^{\ell} f'(x)\delta(x-x_3) dx = -f'(x_3) \quad (1.5)$$

Kuchlar qo'yilishi rasmda tasvirlangan $x=x_\ell$ da $q=q(y)\delta(x-x_1)$ $x=x_2$ nuqtadagi

P kuch ta'siri $y=y_2$ $q(x,y)=P\delta(x-x_2)\delta(y-y_2)$ $x=x_3$ $y=y_3$ nuqtaga OX o'qi bo'yicha eguvchi moment tasviri $q(x,y)=M\delta'(x-x_3)\delta(y-y_3)$ OY yo'nalishida esa

$$q(x,y)=M\delta(x-x_3)\delta'(y-y_3)$$

Agar yuk chiziqda ixtiyoriy ko'rinishda taqsimlansa tenglama ko'rinishi $y=f(x)$ yoki

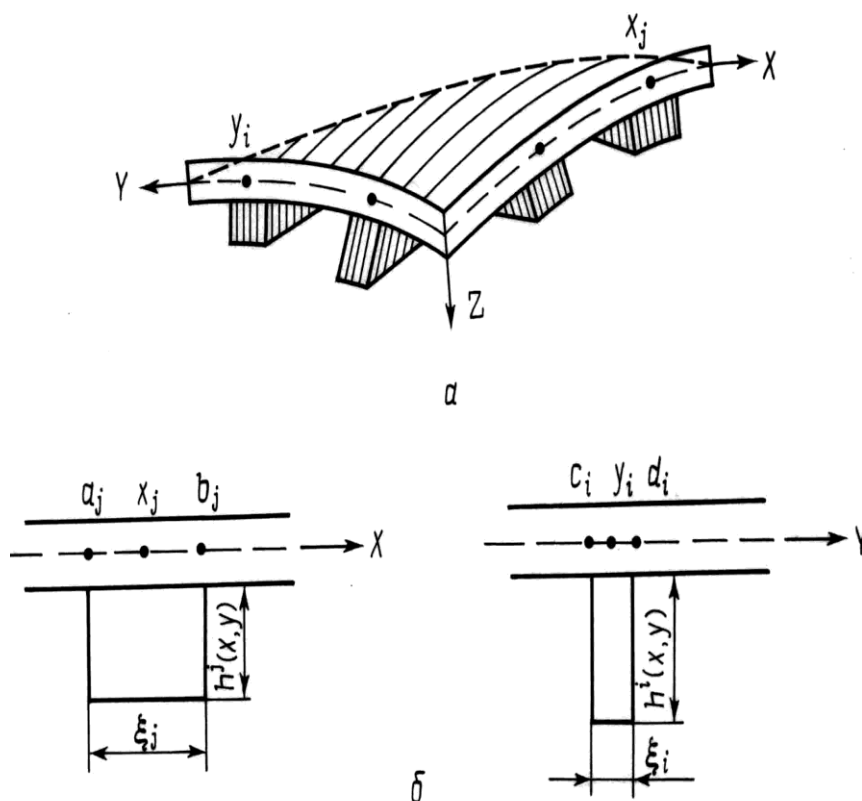
$$y-f(x)=0$$

kuch esa

$$q(x,y)=q\delta(y-f(x)).$$

2.Masalaning qo'yilishi.

Halqali bilan mustahkamlangan doiraviy plastinkani qaraymiz. Halqa ko'ndalang kesimi to'g'ri to'rtburchak shaklda va plastinka ichki sirtiga mahkamlangan. Plastinka tashqi sirtiga eksponensial qonun bo'yicha vaqtdan bog'liq o'zg'aruvchi impulsli P yuklanish qo'yilgan bo'lsin.



1.1. Rasm (a) halqalar bilan kuchaytirilgan plastinkaning umumiy ko'rinishi (b) o'rnatilgan halqaning ko'ndalang kesimi

Plastinka deformatsiyalangan-kuchlangan holatini o'rnatilgan halqalar sonidan va ularning ko'ndalang kesiminig o'zgarishidan bog'liq hollarini tadqiq qilamiz.

3. Masalaning matematik modeli

Qulaylik uchun plastinka holatini qutb koordinatalar sistemasida qaraymiz. Konstruksiyani plastinka tashkil qilgan qatlam va mustaxkamlangan halqalar qatlamidan iborat deb hisoblaymiz. Plastinka va halqa materiali bir xil va Guk qonuniga bo'ysunadi deb hisoblaymiz. Plastinka kuchlangan-deformatsiyalangan holatini Timoshenko tipidagi chiziqlimas yupqa plastinkalar nazariyasi bo'yicha ifodalaymiz. Plastinka ixtiyoriy nuqtasining plastinka o'rta sirti normal bo'yicha ko'chishlari z koordinatada

$$\begin{aligned}u^z &= u + z \psi \\w^z &= w\end{aligned}\tag{1.6}$$

ga teng va o'qqa nisbatan yuklanishni simmetrikligini hisobga olsak $v^z = v = 0$, bu erda u, v, w – plastinka o'rta sirti nuqtalarining koordinat o'qlari yo'nalishi bo'yicha ko'chishlari; ψ - plastinka o'rta sirti normalining burilish burchagi.

O'rta surt deformasiyasini ko'rinishi quyidagicha ifodalanadi.

$$\begin{aligned}\varepsilon_1 &= \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial w}{\partial r} \right)^2; \\ \varepsilon_2 &= u / r;\end{aligned}\tag{1.7}$$

Plastinka qalinlida ixtiyoriy nuqtaning deformatsiyasi esa quyidagicha bo'ladi.

$$\begin{aligned}\varepsilon_1^z &= \varepsilon_1 + z \frac{\partial \psi}{\partial r}; \\ \varepsilon_2^z &= \varepsilon_2 + z \frac{\psi}{r}.\end{aligned}\tag{1.8}$$

Plastinka nuqtalarida kuchlanishlarni deformatsiyalar ifodasi quyidagicha ifodalanadi:

$$\begin{aligned}\sigma_1^0 &= \frac{E}{1-\mu^2} (\varepsilon_1^z + \mu \varepsilon_2^z); \\ \sigma_2^0 &= \frac{E}{1-\mu^2} (\varepsilon_2^z + \mu \varepsilon_1^z); \\ \sigma_{13}^0 &= \frac{E}{2(1+\mu)} \varepsilon_{13}^z,\end{aligned}\tag{1.9}$$

$$\text{bunda, } \varepsilon_{13}^z = f(z) \left(\frac{\partial w}{\partial r} + \psi \right);$$

Bu erda E, μ - plastinka materialining elastiklik moduli va Puasson koeffitsienti; $f(z)$ – funktsiya, σ_{13}^0 kuchlanishni plastinka qalinligi bo'yicha $f(z) = f_0(z)$ plastinka uchun $f(z) = f_1(z)$ esa halqa joylashgan nuqtalarda taqsimlanish qonunini bildiradi.

$$f_o(z) = 6[0,25 - \left(\frac{z}{h}\right)^2], \quad k^2 = 5/6;$$

$$f_1(z) = \frac{3h(h+2H)}{2(h+H)^2} \cdot \left(1 + 2 \frac{z}{h}\right) \left[1 - 2 \frac{z}{h(h+2H)}\right],$$

bu erda H – halqa balandligi.

Halqalar bilan kuchaytirilgan plastinka birlik kesimiga to'g'ri keladigan zo'riqish kuchlari, ko'ndalang kuchlar va momentlar ko'rinishi quyidagicha olinadi.

$$\begin{aligned} N_1 &= N_1^0 + N_1^R, & N_2 &= N_2^0 + N_2^R, \\ M_1 &= M_1^0 + M_1^R, & M_2 &= M_2^0 + M_2^R, & Q &= Q^0 + Q^R. \end{aligned}$$

Plastinka uchun zo'riqish kuchlari, ko'ndalang kuchlar va momentlar ko'rinishi quyidagicha aniqlanadi.

$$\begin{aligned} N_1^0 &= \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_1^0 dz = \frac{Eh}{1-\mu^2} (\varepsilon_1 + \mu \varepsilon_2); \\ N_2^0 &= \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_2^0 dz = \frac{Eh}{1-\mu^2} (\varepsilon_2 + \mu \varepsilon_1); \\ M_1^0 &= \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_1^0 z dz = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)} \left(\frac{\partial \psi}{\partial r} + \mu \frac{\psi}{r} \right); \\ M_2^0 &= \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_2^0 z dz = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)} \left(\frac{\psi}{r} + \mu \frac{\partial \psi}{\partial r} \right); \\ Q^0 &= \int_{-h/2}^{h/2} \sigma_{13}^0 dz = \frac{5}{6} \frac{Eh}{2(1+\mu)} \varepsilon_{13}; \end{aligned} \tag{1.10}$$

Halqa kesimiga zo'riqish kuchlari, momentlar va ko'ndalang kuchlar ta'siri butun konstruksiyada qalinligi pog'anali o'zgaruvchi plastinka kabi qaraladi. Halqa balandligi $H(r)$ birlik ustinsimon $\delta(r-r_i)$ funksiya orqali ifodalanadi:

$$H(r) = \sum_{i=1}^m h^i \delta(r-r_i).$$

Bu erda
$$\delta(r-r_i) = \begin{cases} 0, & r < a_i, \ r > b_i, \\ 1, & a_i < r < b_i, \end{cases}$$

$a_i = r_i - c_i/2$, $b_i = r_i + c_i/2$, i -chi halqa va plastinka tutatish nuqtasi ko'ordinatalari; $h^i(r)$, c_i – i -chi halqa balandligi va kengligi; m – halqalar soni.

Halqalar uchun kuchlanishlar quyidagi ko'rinishdagi formula orqali ifodalanadi

$$\begin{aligned}\sigma_2^R &= G_2(\varepsilon_2^z + \nu_2 \varepsilon_1^z); \\ \sigma_{13}^R &= G_{13} \varepsilon_{13}^z;\end{aligned}\tag{1.11}$$

$$G_1 = \frac{E_1}{1 - \nu_1 \nu_2}; \quad G_2 = \frac{E_2}{1 - \nu_1 \nu_2}; \quad G_{13} = \frac{5}{6} \frac{E}{2(1 + \nu)},$$

bu erda $E_1, E_2, \nu_1, \nu_2, G_{13}$ – plastinka materiali elastik o'zgarmaslari.

Halqa uchun uchun zo'riqish kuchlari, ko'ndalang kuchlar va momentlar ko'rinishi quyidagicha aniqlanadi.

$$\begin{aligned}N_1^R &= \int_{h/2}^{h/2+H} \sigma_1^R dz = A_{11}(\varepsilon_1 + \nu_2 \varepsilon_2) + B_{11} \left(\frac{\partial \psi}{\partial r} + \nu_2 \frac{\psi}{r} \right); \\ N_2^R &= \int_{h/2}^{h/2+H} \sigma_2^R dz = A_{22}(\varepsilon_2 + \nu_1 \varepsilon_1) + B_{22} \left(\frac{\psi}{r} + \nu_1 \frac{\partial \psi}{\partial r} \right); \\ M_1^R &= \int_{h/2}^{h/2+H} \sigma_1^R z dz = B_{11}(\varepsilon_1 + \nu_2 \varepsilon_2) + C_{11} \left(\frac{\partial \psi}{\partial r} + \nu_2 \frac{\psi}{r} \right); \\ M_2^R &= \int_{h/2}^{h/2+H} \sigma_2^R z dz = B_{22}(\varepsilon_2 + \nu_1 \varepsilon_1) + C_{22} \left(\frac{\psi}{r} + \nu_1 \frac{\partial \psi}{\partial r} \right); \\ Q^R &= \int_{h/2}^{h/2+H} \sigma_{13}^R dz = D_{13} \left(\frac{\partial w}{\partial r} + \psi \right).\end{aligned}\tag{1.12}$$

bu erda,

$$\begin{aligned}A_{11} &= G_1 F, & B_{11} &= G_1 S, & D_{13} &= G_{13} H(x, y); \\ A_{22} &= G_2 F, & B_{22} &= G_2 S, \\ C_{11} &= G_1 J, & C_{22} &= G_2 J, \\ F &= \sum_{i=1}^m F^i(r) \delta(r - r_i); & S &= \sum_{i=1}^m S^i(r) \delta(r - r_i); & J &= \sum_{i=1}^m J^i(r) \delta(r - r_i);\end{aligned}$$

$F^j(r), S^i(r), J^i(r)$ - mos ravishda i – chi halqa ko'ndalang kesim yuzasi, statik va inertsia momentlari.

1.2-§. Impulsli yuklanishlar ta'siridagi halqali plastinkaning harakat differentsial tenglamalari

Plastinka harakatini $[t_0, t_1]$.vaqt oralig'ida qaraymiz. Bu vaqt oralig'ida sistema nuqtalari harakat traektoriyasi quyidagi sjartlarni qanoatlantiradi.

$$\int_{t_0}^{t_1} \delta E \alpha t = \int_{t_0}^{t_1} (\delta K - \delta \Pi) dt = 0, \quad (1.13)$$

bu erda P - plastinka deformasiya potensial energiyasi va tashqi kuch potentsiali yug'indisi. K – sistema kinetik energiyasi.

Konstruksiyaning to'liq energiya variatsiyasi δP halqali plastinka ehergiyasi variatsiyasi δE va tashqi kuch potentsiali variatsiyasi δA ga teng.

$$\delta \Pi = \delta E + \delta A. \quad (1.14)$$

Tashqi kuch potentsiali variatsiyasi δA quyidagi formula bilan ifodalanadi.

$$\delta A = \int_0^a \int_0^b q(x, y, t) \delta w dx dy \quad (0 \leq x \leq a, 0 \leq y \leq b).$$

Halqalar bilan kuchaytirilgan plastinka deformasiyasi potensial energiyasi variatsiyasi quyidagi ko'rinishda aniqlandi.

$$\begin{aligned} \delta \mathcal{O} = & \int_0^a \int_0^b \int_{\sum H} \left[\sigma_x \delta \epsilon_x^z + \sigma_y \delta \epsilon_y^z + \sigma_{xy} \delta \epsilon_{xy}^z + \sigma_{xz} \delta \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \Psi_x \right) + \right. \\ & \left. + \sigma_{yz} \delta \left(\frac{\partial w}{\partial y} + \Psi_y \right) \right] dx dy dz = \int_0^a \int_0^b \left[N_x \delta \epsilon_x + N_y \delta \epsilon_y + N_{xy} \delta \epsilon_{xy} + \right. \\ & + M_x \delta \frac{\partial \Psi_x}{\partial x} + M_y \delta \frac{\partial \Psi_y}{\partial y} + M_{xy} \delta \left(\frac{\partial \Psi_x}{\partial y} + \frac{\partial \Psi_y}{\partial x} \right) + \\ & \left. + Q_x \delta \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \Psi_x \right) + Q_y \delta \left(\frac{\partial w}{\partial y} + \Psi_y \right) \right] dx dy, \end{aligned} \quad (1.15)$$

bu erda $\sum H$ - konsntuksiya qalinlari yig'indisi. Bir necha soddalashtirishlardan keyin (1.14) uchun quidagilarni olish mumkin .

$$\begin{aligned}
\delta\Pi = & \int_0^a \int_0^b \left[N_x \delta \frac{\partial u}{\partial x} + N_{xy} \delta \frac{\partial u}{\partial y} + N_y \delta \frac{\partial v}{\partial y} + N_{xy} \delta \frac{\partial v}{\partial x} + \right. \\
& + N_x \left(\frac{\partial w}{\partial x} \delta \frac{\partial w}{\partial x} \right) + N_y \left(\frac{\partial w}{\partial y} \delta \frac{\partial w}{\partial y} \right) + \\
& + N_{xy} \left(\delta W + \frac{\partial w}{\partial x} \delta \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial y} \delta \frac{\partial w}{\partial x} \right) + Q_x \delta \frac{\partial w}{\partial x} + Q_y \delta \frac{\partial w}{\partial y} + \\
& + M_x \delta \frac{\partial \psi_x}{\partial x} + M_y \delta \frac{\partial \psi_y}{\partial y} + M_{xy} \delta \frac{\partial \psi_x}{\partial y} + M_{xy} \delta \frac{\partial \psi_y}{\partial x} + \\
& \left. + Q_x \delta \psi_x + Q_y \delta \psi_y - q \delta W \right] dx dy.
\end{aligned}$$

K kinenik energiya esa quyidagicha kurinishda bo'ladi,

$$\begin{aligned}
K = & \frac{1}{2} \cdot \frac{\nu}{g} \int_{\Sigma H} \int_0^a \int_0^a \left\{ \left(\frac{\partial u}{\partial t} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial t} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial t} \right)^2 + 2z \left(\frac{\partial u}{\partial t} \frac{\partial \psi_x}{\partial t} \frac{\partial v}{\partial t} \frac{\partial \psi_y}{\partial t} \right) + \right. \\
& \left. + z^2 \left[\left(\frac{\partial \psi_x}{\partial t} \right)^2 + \left(\frac{\partial \psi_y}{\partial t} \right)^2 \right] \right\} dx dy dz.
\end{aligned} \tag{1.16}$$

Bu erda γ , g –materialning solishtirma og'rliklari. Agar bu ifodani halqalar joylashishidan bog'liq z bo'yicha qalinlik o'zgarishini hisobga olib integrallasak,

$$\begin{aligned}
K = & \frac{1}{2} \cdot \frac{\nu h}{g} \int_0^a \int_0^b \left\{ \left(\frac{\partial u}{\partial t} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial t} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial t} \right)^2 + \frac{h^2}{12} \times \right. \\
& + \frac{1}{2} \cdot \frac{\nu}{g} \int_0^a \int_0^a \left\{ \left[\left(\frac{\partial u}{\partial t} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial t} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial t} \right)^2 \right] \bar{F} + \right. \\
& \left. + 2 \left(\frac{\partial u}{\partial t} \frac{\partial \psi_x}{\partial t} \frac{\partial v}{\partial t} \frac{\partial \psi_y}{\partial t} \right) \bar{S} + \left[\left(\frac{\partial \psi_x}{\partial t} \right)^2 + \left(\frac{\partial \psi_y}{\partial t} \right)^2 \right] \bar{J} \right\} dx dy.
\end{aligned} \tag{1.17}$$

bu erda $\bar{F}, \bar{S}, \bar{J}$ - halqa ko'ndalang kesim yuzasi, statik va inersiya momentlari.

δK va δP ifodalarni yuqoridagilarni hisobga olib, uch karrali integral orqali quyidagi variatsion tenglama ko'rinishida yozish mumkin.

$$\begin{aligned}
& - \int_{t_0}^{t_1} \int_0^a \int_0^b \left\{ \left[\frac{\partial N_x}{\partial x} + \frac{\partial N_{xy}}{\partial y} - \frac{v}{g} \frac{\partial^2 V}{\partial t^2} (h + \bar{F}) - \frac{v}{g} \frac{\partial^2 \psi_x}{\partial t^2} \bar{S} \right] \delta u + \right. \\
& + \left[\frac{\partial N_y}{\partial y} + \frac{\partial N_{xy}}{\partial x} - \frac{v}{g} \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} (h + \bar{F}) - \frac{v}{g} \frac{\partial^2 \psi_y}{\partial t^2} \bar{S} \right] \delta v + \\
& + \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(N_x \frac{\partial w}{\partial x} + N_{xy} \frac{\partial w}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \times \right. \\
& \times \left(N_y \frac{\partial w}{\partial y} + N_{xy} \frac{\partial w}{\partial x} \right) + \frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial y} + q - \frac{v}{g} \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} (h + F) \left. \right] \delta w + \\
& + \left[\frac{\partial M_x}{\partial x} + \frac{\partial M_{xy}}{\partial y} - Q_x - \frac{v}{g} \frac{\partial^2 \psi_x}{\partial t^2} \left(\frac{h^3}{12} + J \right) - \frac{v}{g} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \bar{S} \right] \delta \psi_x + \\
& + \left[\frac{\partial M_y}{\partial y} + \frac{\partial M_{xy}}{\partial x} - Q_y - \frac{v}{g} \frac{\partial^2 \psi_y}{\partial t^2} \left(\frac{h^3}{12} + J \right) - \frac{v}{g} \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} \bar{S} \right] \delta \psi_y \left. \right\} dx dy dz - \\
& - \frac{v}{g} \int_0^a \int_0^b \left\{ \left[\frac{\partial u}{\partial t} (h + F) + \frac{\partial \psi_x}{\partial t} \bar{S} \right] \delta u + \left[\frac{\partial V}{\partial t} (h + F) + \frac{\partial \psi_y}{\partial t} \bar{S} \right] \times \right. \\
& \times dv + \frac{\partial w}{\partial t} (h + F) \delta w + \left[\frac{\partial \psi_x}{\partial t} \left(\frac{h^3}{12} + J \right) + \frac{\partial u}{\partial t} \bar{S} \right] \delta \psi_x + \\
& + \left[\frac{\partial \psi_y}{\partial t} \left(\frac{h^3}{12} + J \right) + \frac{\partial v}{\partial t} \bar{S} \right] \delta \psi_y \left. \right\} \Big|_{t_0}^{t_1} dx dy + \\
& + \int_{t_0}^{t_1} \int_0^b \left\{ \left[N_x \delta u + N_{xy} \delta v \left(N_x \frac{\partial W}{\partial x} + N_{xy} \frac{\partial W}{\partial y} + Q_x \right) \times \right. \right. \\
& \times \delta w + M_x \delta \psi_x + M_{xy} \delta \psi_y \left. \right] \Big|_{x=0}^{x=a} \left. \right\} dy dt + \\
& + \int_{t_0}^{t_1} \int_0^a \left\{ \left[N_{xy} \delta u + N_y \delta v \left(N_y \frac{\partial w}{\partial y} + N_{xy} \frac{\partial w}{\partial x} + Q_y \right) \times \right. \right. \\
& \times \delta w + M_{xy} \delta \psi_x + M_y \delta \psi_y \left. \right] \Big|_{y=0}^{y=b} \left. \right\} dx dt = 0.
\end{aligned} \tag{1.18}$$

Bundan quyidagi harakat differensial tenglamalarini olishimiz mumkin bo'ladi.

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial N_x}{\partial x} + \frac{\partial N_y}{\partial y} - \frac{v}{g} \left[\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} (h + \bar{F}) + \frac{\partial^2 \psi_x}{\partial t^2} \bar{S} \right] = 0; \\
& \frac{\partial N_y}{\partial y} + \frac{\partial N_{xy}}{\partial x} - \frac{v}{g} \left[\frac{\partial^2 v}{\partial t^2} (h + \bar{F}) + \frac{\partial^2 \psi_y}{\partial t^2} \bar{S} \right] = 0; \\
& \frac{\partial}{\partial x} \left(N_x \frac{\partial w}{\partial x} + N_{xy} \frac{\partial w}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(N_y \frac{\partial w}{\partial y} + N_{xy} \frac{\partial w}{\partial x} \right) + \\
& + \frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial y} + q - \frac{v}{g} \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} (h + F) = 0; \\
& \frac{\partial M_x}{\partial x} + \frac{\partial M_{xy}}{\partial y} - Q_x - \frac{v}{g} \left[\frac{\partial^2 \psi_x}{\partial t^2} \left(\frac{h^3}{12} + J \right) + \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \bar{S} \right] = 0; \\
& \frac{\partial M_y}{\partial y} + \frac{\partial M_{xy}}{\partial x} - Q_y - \frac{v}{g} \left[\frac{\partial^2 \psi_y}{\partial t^2} \left(\frac{h^3}{12} + J \right) + \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} \bar{S} \right] = 0.
\end{aligned} \tag{1.19}$$

(1.19) variatsion tenglamalar uchun quyidagi chegaraviy va boshang'ich shartlarni olamiz.

Qulaylik uchun (1.19) plastinka harakat tenglamalarini qutb koordinatalar sistemasida qaraymiz. Masalani o'qqa nisbatan simmetrikligini hisobga olib plastinka harakat tenglamasini quyidagi ko'rinishda olamiz:

$$\begin{aligned}
& (N_1 r)' - N_2 = r \rho \left[\ddot{u} (h + F) + \ddot{\psi} S \right]; \\
& (rQ)' + (N_1 r w)' = r \rho \ddot{w} (h + F) - rP; \\
& (rM_1)' - M_2 - rQ = r \rho \left[\ddot{\psi} (h^3 / 12 + J) + \ddot{u} S \right],
\end{aligned} \tag{1.20}$$

bu erda ρ - plastinka materiali zichligi; h - plastinka qalinligi; R - plastinka radiusi.

Konstruksiya uchun chegaraviy sartlar quyidagicha ifodalanadi

a) Plastinka tamonlari qistirib maxkamlanganlik sharti

$$u = w = \psi = 0;$$

b) plastinka markaziga nisbatan simmetriklik sharti:

$$u = \frac{\partial w}{\partial r} = \psi = 0 \quad \text{bunda } r = 0$$

Boshlang'ich shartlar $t = 0$ da plastinka holati nolga teng deb harakterlanadi:

$$u = w = 0 .$$

Shunday qilib, halqali plastinkalar dinamik deformatsiasi haqidagi masalaning to'liq matematik qo'yilishi berilgan chegaraviy va boshlang'ich shartlarda (1.7)-(1.12) va (1.20) tenglamalar sistemasining birgalikdagi yechimidan iborat.

I-bob bo'yicha xulosa

Dissertatsiya ishining birinchi bobi “ Halqalar bilan kuchaytirilgan plastinka dinamik harakatini matematik modellashtirish” deb ataladi va o'z ichiga ikkita paragrafni olgan. Birinchi paragrafda halqalar bilan kuchaytirilgan plastinkalar uchun fizik va geometrik chisiqlimas munosabatlari o'rganilgan hamda impulsli yuklanishlar ta'siridagi halqali plastinkaning harakat differentsial tenglamalari keltirilgan.

II.BOB. HALQALI PLASTINKANING HARAKAT TENGLAMALARINI SONLI YECHISH

2.1-§. Chekli ayirmalar usuli haqida asosiy tushunchalar

Plastinkalar va qobiqlar nazariyasining qator masalalari berilgan chegaraviy shartli xususiy xosilali differensial tenglamalarga keltiriladi. Bu tenglamalar oddiy masalalar hamda chegaralar va tashqi yuklarning oddiy shakllaridagina aniq yechiladilar. Ko'p hollarda aniq yechimlarni topish qiyin bo'ladi shuning uchun sonli usullarga murojaat qilinadi. Xususan shunday sonli usullardan biri differensial tenglamalarni tegishli chekli ayirmalar qatnashgan ayirmalar qatnashgan tenglamalar bilan almashtirishdan iboratdir.

Chekli ayirmalar metodining imkoniyati EHM paydo bo'lishi bilan oshib ketdi. Plastinkalar va qobiqlar nazariyasi masalalarini chekli ayirmalar usuli yordamida yechishga doir ilmiy ishlar keskin ko'paydi.

Xususiy xosilali differensial tenglamalarni taqribiy yechishda turlar yoki chekli ayirmalar metodining asosiy g'oyasi quyidagilardan iborat:

- yechim qidirilayotgan G soha turli G_λ soha bilan almashtiriladi;
- berilgan differensial tenglama sohaning ichki nuqtalarida tegishli chekli ayirmalar qatnashgan tenglamalar bilan almashtiriladi;
- chegaraviy shartlar asosida qidirilayotgan yechimning qiymatlari G_λ soha tugunlarida topiladi.

Bunday almashtirish natijasida ko'p noma'lum algebraik tenglamalar sistemasiga kelimiz, bunda noma'lumlar soni tenglamalar soni va tugunlar soni ko'paytmasiga teng bo'ladi. Bu sistemani yechib izlanayotgan funksiyaning nuqtalardagi sonli qiymatlarini hosil qilamiz. Funksiyaning boshqa nuqtalaridagi qiymatlari interpoliyasion formulalardan topiladi.

To'rtli G_λ sohani tanlash har bir aniq masalaga qarab amalga oshiriladi, biroq hamma vaqt G_λ kontur G ni yaxshiroq approksimatsiya qilishga intiladi.

To'rtli soha kvadrat, to'rtburchak, uchburchak, oltiburchak va boshqa elementlardan iborat bo'lishi mumkin.

Alohida elementning o'lchamlaridan R_n qoldiq hadning qiymatlari bog'liq bo'ladi. Ya'ni o'lchamlar qancha kichik olinsa R_n qoldiq had shuncha kichik bo'ladi. Ammo tugunlar soni ortib ketishi natijasida tenglamalar soni ko'payadi va uni EHM da yechish amalda mumkin bo'lmay qoladi.

Ma'lumki $y = f(x)$ funksiuani x_0 nuqtadagi hosilasi quyidagicha topiladi:

$$y'_\lambda(x_0) = \lim_{\lambda \rightarrow 0} \frac{f(x_0 + \lambda) - f(x_0)}{\lambda}, \text{ yoki } y'_\lambda(x_0) = \lim_{\lambda \rightarrow 0} \frac{f(x_0) - f(x_0 - \lambda)}{\lambda}$$

Bu yerda λ - argumentning chekli orttirmasi. $\lambda > 0$ bo'lganda birinchi formulaga o'ng hosila, ikkinchi formulaga esa chap hosila deyiladi.

Yuqorida berilgan formulada limit simvolini tushurib qoldirsak o'ng va chap hosilalar uchun ushbu taqribalar formulalarni olamiz.

$$y'_\lambda(x_0) = \frac{f(x_0 + \lambda) - f(x_0)}{\lambda}, \text{ yoki } y'_\lambda(x_0) = \frac{f(x_0) - f(x_0 - \lambda)}{\lambda} \quad (2.1)$$

Amalda x_0 nuqtada markaziy ayirmalardan ham foydalanadi

$$y'_\lambda(x_0) = \frac{f(x_0 + \lambda) - f(x_0 - \lambda)}{2\lambda}, \quad (2.2)$$

Ikkinchi tartibli chekli ayirma xosila uchun

$$y''_\lambda(x_0) = \frac{f(x_0 + \lambda) - 2f(x_0) + f(x_0 - \lambda)}{\lambda^2}, \quad (2.3)$$

formuladan foydalanish qulay. Yuqoridagi (2.2) va (2.3) ifodalar asosida yuqori tartibli chekli ayirmali xosilalar uchun formulani keltirish mumkin

$$y'''_\lambda(x_0) = \frac{d}{dx} [y''_\lambda(x_0)] = \frac{f(x_0 + 2\lambda) - 2f(x_0 + \lambda) + 2f(x_0 - \lambda) - f(x_0 - 2\lambda)}{2\lambda^3},$$

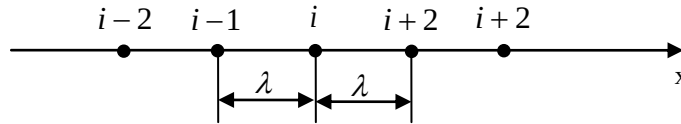
Hosilalarning almashtirishning bu usuli uning aniqligini baholashga imkon bermaydi.

Funksiya hosilalarining uning diskret nuqtalaridagi qiymatlari orqali almashtirib approssimatsiya xatosining bahosini ham beruvchi turli usullar mavjud. Quyida Teylor formulalariga asoslanuvchi usuldan foydalanamiz.

**O`ng chekli ayirmali hosila.** Teng uzoqlikda joylashgan  $x_i = x_0 + i\lambda$  nuqtalar uchun  $y_i = f(x_i) = f(x_0 + i\lambda)$ ,  $(i = 0, 1, 2, 3, \dots, n)$  qiymatlari ma'lum bo'lsin. bunda  $\lambda$  -x o`qi bo'yicha qadam (1-rasm)

$$\Delta y_i = y_{i+1} - y_i, \quad (i = 0, 1, 2, \dots, n); \quad (2.4)$$

kattalikka $f(x)$ funksiyaning x_i nuqtadagi o`ng ayirmasi deyiladi.



2.1-rasm

Ikkinchi o`ng ayirma esa birinchi ayirmadan olingan ayirma hisoblanadi.

$$\Delta^2 y_i = \Delta(\Delta y_i) = \Delta(y_{i+1} - y_i) = (y_{i+2} - y_{i+1}) - (y_{i+1} - y_i) = y_{i+2} - 2y_{i+1} + y_i;$$

Xuddi shu yo`l bilan yuqori tartibli ayirmalarni ham topish mumkin. Shunday qilib  $x_i$  nuqtada  $m$ -o`ng ayirmani topish uchun ushbu formuladan foydalanamiz.

$$\Delta^m y_i = \Delta^{m-1}(y_{i+1} - y_i) = \dots = \sum_{j=0}^m (-1)^j C_m^j y_{i+m-j} \quad (2.5)$$

Bu yerda Δ - simvol chiziqli operator ekanligini qayd etamiz. x_i nuqtada Δ ayirmali operator va $\frac{d}{dx} = D$ differensial operator orasidagi bog`lanishni aniqlaymiz. Buning uchun $f(x)$ va $e^{\alpha x}$ funksiyalarni Teylor qatoriga yoyiladi

$$\begin{aligned} f(x + \Delta x) &= f(x) + \frac{f'(x)}{1!} \Delta x + \frac{f''(x)}{2!} \Delta x^2 + \dots; \\ e^{\alpha x} &= 1 + \frac{\alpha x}{1!} + \frac{\alpha^2 x^2}{2!} + \dots; \end{aligned} \quad (2.6)$$

Ushbu belgilashlarni olamiz $\Delta x = \lambda$, $x = x_i$, $f^n(x_i) = D^n f(x_i)$, u holda

$$y_{i+1} = f(x_i + \lambda) = f(x_i) + \frac{\lambda}{1!} Df(x_i) + \frac{\lambda^2}{2!} D^2 f(x_i) + \dots = \left(1 + \frac{\lambda}{1!} D + \frac{\lambda^2}{2!} D^2 + \dots \right) f(x_i)$$

Hosil qilingan bu ifodaga (2.6) formulani ikkinchisini qo'llab quyidagicha yozish mumkin

$$y_{i+1} = e^{\lambda D} y_i; \quad (2.7)$$

(2.7) ni (2.4) ga qo'yib quyidagini olamiz

$$\Delta y_i = y_{i+1} - y_i = e^{\lambda D} y_i - y_i = (e^{\lambda D} - 1) y_i$$

Bu yerdan Δ, D operatorlar orasidagi quyidagi bog'lanishga ega bo'lamiz.

$$\Delta = (e^{\lambda D} - 1) \quad (2.8)$$

yoki

$$\lambda D = \ln(1 + \Delta) \quad (2.9)$$

(2.9) ni n-darajaga ko'tarib n-tartibga hosila operatori orasida bog'lanishni topamiz.

$$(\lambda D)^n = \ln^n(1 + \Delta) \quad (2.10)$$

(2.9), (2.10) formulalarni amalda tadbqiq etish uchun $\ln(1 + \Delta)$ bo'yicha ni Δ bo'yicha qatorga yoyamiz.

$$\ln(1 + \Delta) = \Delta - \frac{\Delta^2}{2} + \frac{\Delta^3}{3} - \dots$$

Shunday qilib

$$D^n = \frac{1}{\lambda^n} \left[\Delta - \frac{\Delta^2}{2} + \frac{\Delta^3}{3} - \dots \right], \quad (n=1,2,3,\dots) \quad (2.11)$$

Bu formula yordamida $f(x)$ funksiyaning x_i nuqtadagi xosilasi ixtiyoriy aniqlikda o'ng ayirmalar orqali ifodalash mumkin.

Agar funksiya bo'lakli uzluksiz bo'lsa (2.11) ning bitta hadini qoldirib R_n qoldiq hadli o'ng hosilani olamiz. U λ kabi nolga intiladi. Agar $f(x)$ funksiya bo'laklar uzluksiz bo'lsa, qatorda ikki hadni qoldirib λ^2 kabi nolga intiluvchi R_n qoldiq hadli o'ng ayirmali hosilani olamiz.

Chap ayirmali hosilalar. $y = f(x)$ funksiyaning x_i nuqtadagi birinchi chap ayirmasi yoki chap ayirmasi deb ushbuga aytamiz.

$$\nabla y_i = y_i - y_{i-1}, \quad (i=0,1,2,\dots,n); \quad (2.12)$$

yuqori tartibli ayirmalar

$$\nabla^2 y_i = \nabla(\nabla y_i) = \nabla(y_i - y_{i-1}) = (y_i - y_{i-1}) - (y_{i-1} - y_{i-2}) = y_i - 2y_{i-1} + y_{i-2};$$

$$\nabla^m y_i = \nabla^{m-1}(\nabla y_i) = \nabla^{m-1}(y_i - y_{i-1}) = \dots = \sum_{j=0}^m (-1)^j C_m^j y_{i-m+j}; \quad (2.13)$$

Yuqoridagi (2.6) yoyilmani $\Delta x = -\lambda$, $x = x_i$, $f^n(x_i) = D^n f(x_i)$, lar uchun ishlatsak:

$$y_{i-1} = f(x_{i-1}) = e^{-\lambda D} y_i; \quad (2.14)$$

hosil qilingan (2.14) ni (2.12) ga qo'ysak

$$\nabla y_i = y_i - y_{i-1} = y_i - y_i e^{-\lambda D} = (1 - e^{-\lambda D}) y_i$$

U holda ∇ va D operatorlari orasida bog'lanish topiladi:

$$\nabla = 1 - e^{-\lambda D} \text{ yoki } \lambda D = -\ln(1 - \nabla); \quad (2.15)$$

$\ln(1 - \nabla)$ ni ∇ ning darajalari bo'yicha qatorga yoyib, hosila operatorini chap ayirmalar operatori orqali ifodalaymiz:

$$\lambda D = \nabla + \frac{\nabla^2}{2} + \frac{\nabla^3}{3} + \dots \quad (2.16)$$

n -tartibli chap ayirmali hosilalarni chap ayirmalar orqali (2.15) ni m -darajaga ko'tartish yo'li bilan hosil qilamiz:

$$(\lambda D)^m = [-\ln(1 - \nabla)]^m = \left[\nabla + \frac{\nabla^2}{2} + \frac{\nabla^3}{3} + \dots \right]^m, m = 1, 2, 3, \dots \quad (2.17)$$

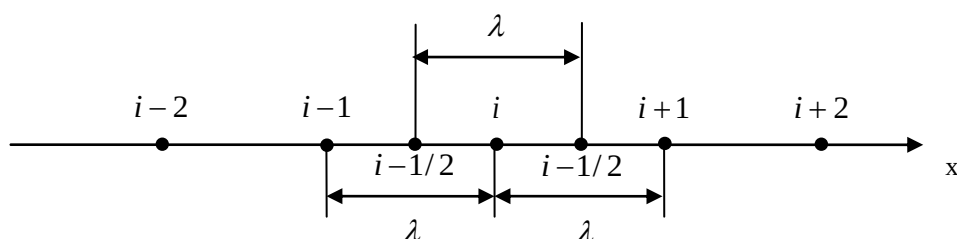
Masalan aniqlikda quyidagicha yozamiz.

Bu yerda $\nabla^m y_i$ ayirma λ^m tartibga egaligini ta'kidlaymiz. Δ va ∇ operatorlar orasida ushbu bog'lanish mavjud

$$1 + \Delta = (1 - \nabla)^{-1}. \quad (2.18)$$

Markaziy ayirmali hosilalar. $y = f(x)$ funksiyaning x_i nuqtadagi birinchi markaziy ayirmasi yoki markaziy ayirmasi deb ushbu ifodagi aytiladi

$$\delta y_i = f\left(x_i + \frac{\lambda}{2}\right) - f\left(x_i - \frac{\lambda}{2}\right) = y_{i+\frac{1}{2}} - y_{i-\frac{1}{2}} \quad (2.19)$$



2.2-rasm

Yuqoridagi kabi yuqori tartibli ayirmalarni ham kiritish mumkin.

Masalan

$$\delta^2 y_i = \delta(\delta y_i) = \delta \left(y_{i+\frac{1}{2}} - y_{i-\frac{1}{2}} \right) = (y_{i+1} - y_i) - (y_i - y_{i-1}) = y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}, \quad (2.20)$$

$$\begin{aligned} \delta^3 y_i = \delta(\delta^2 y_i) &= \delta(y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}) = \left(y_{i+\frac{3}{2}} - y_{i+\frac{1}{2}} \right) - 2 \left(y_{i+\frac{1}{2}} - y_{i-\frac{1}{2}} \right) + \left(y_{i-\frac{1}{2}} - y_{i-\frac{3}{2}} \right) = \\ &= y_{i+\frac{3}{2}} - 3y_{i+\frac{1}{2}} + 3y_{i-\frac{1}{2}} - y_{i-\frac{3}{2}} \end{aligned}$$

Barcha toq tartibli markaziy ayirmalar funksiyaning $x_{i+\frac{1}{2}}$ nuqtalardagi qiymatlari orqali, barcha juft tartibli markaziy ayirmalar esa funksiyaning x_i nuqtalaridagi qiymatlari orqali hisoblanadi. Bunday yozuvdan qutulish uchun o`rtalashgan markaziy ayirma tushunchasi kiritiladi.

O`rtalashtirish operatorini quyidagicha kiritamiz.

$$\mu y_i = \frac{1}{2} \left(y_{i+\frac{1}{2}} + y_{i-\frac{1}{2}} \right) \quad (2.21)$$

Buning yordamida birinchi tartibli o`rtalashgan ayirma quyidagicha yoziladi.

$$\mu \delta y_i = \frac{1}{2} (y_{i+1} - y_{i-1}) \quad (2.22)$$

O`rtalashgan uchinchi ayirma (2.21) va (2.22) ga asosan

$$\mu \delta^3 y_i = \frac{1}{2} (y_{i+2} - 2y_{i+1} + 2y_{i-1} - y_{i-2}) \quad (2.23)$$

Barcha toq o`rtalashgan ayirmalar ayirma yuqoridagi kabi topiladi.

μ va δ operatorlarni o`zaro bog`lash mumkin

$$\begin{aligned} \mu^2 y_i = \mu(\mu y_i) &= \frac{\mu}{2} \left(y_{i+\frac{1}{2}} + y_{i-\frac{1}{2}} \right) = \frac{1}{4} [(y_{i+1} + y_i) + (y_i + y_{i-1})] = \\ &= \frac{1}{4} [(y_{i+1} - 2y_i + y_{i-1}) + 4y_i] = \frac{1}{4} (\delta^2 + 4) y_i \end{aligned}$$

bundan

$$\mu^2 = \frac{\delta}{4} + 1 \quad (2.24)$$

Ikkinchi tomondan $y = f(x)$ funksiyani $x_{i+\frac{1}{2}}$ va $x_{i-\frac{1}{2}}$ nuqtalarda Teylor qatoriga yoyib ushbuni olamiz:

$$\begin{aligned} \delta y_i &= \left[e^{\frac{\lambda D}{2}} - e^{-\frac{\lambda D}{2}} \right] y_i = 2sh \frac{\lambda D}{2} y_i; \\ \mu y_i &= \frac{1}{2} \left[e^{\frac{\lambda D}{2}} + e^{-\frac{\lambda D}{2}} \right] y_i = ch \frac{\lambda D}{2} y_i; \\ \delta \mu y_i &= 2sh \frac{\lambda D}{2} ch \frac{\lambda D}{2} = sh \lambda D. \end{aligned} \quad (2.25)$$

birinchi tartibli hosila operatori o`rtallashgan markaziy ayirma orqali quyidagicha ifodalanadi

$$\lambda D = arsh(\mu \delta) \quad (2.26)$$

bunda ushbu yoyilmadan foydalanamiz

$$arsh x = x - \frac{x^3}{2 \cdot 3} + \frac{1 \cdot 3x^3}{2 \cdot 4 \cdot 5} - \frac{1 \cdot 3 \cdot 5x^3}{2 \cdot 4 \cdot 6 \cdot 7} - \dots + (-1)^n \frac{(2n-1)!!}{(2n)!!(2n+1)} + \dots,$$

$$\lambda D = \mu \delta - \frac{1}{6} (\mu \delta)^3 + \frac{3}{40} (\mu \delta)^5 - \frac{5}{112} (\mu \delta)^7 + \dots$$

(2.25) tenglikni hisobga olsak bu ifodani ko`rinishi quyidagicha bo`ladi

$$\lambda D = \mu \delta \left(1 - \frac{1}{6} \left(1 + \frac{\delta^2}{4} \right) \delta^2 + \frac{3}{40} \left(1 + \frac{\delta^2}{4} \right)^2 \delta^4 - \frac{5}{112} \left(1 + \frac{\delta^2}{4} \right)^3 \delta^6 + \dots \right)$$

Bu ifodani δ ni darajasini o`sib borish tartibida yozamiz

$$\lambda D = \mu \delta \left(1 - \frac{\delta^2}{6} + \frac{\delta^4}{30} - \frac{\delta^6}{140} - \frac{129\delta^8}{4480} + \dots \right) \quad (2.27)$$

Oxirgi yoyilmadan foydalanib ixtiyoriy tartibli markaziy ayirmani topish mumkin. (2.27) dan ko`rinadiki yoyilmaning bitta hadining qo`shilishi appraksimatsiya aniqligini λ^2 ga oshiradi. Bundan tashqari markaziy ayirmali hosilalar bir tomonli hosilalarga nisbatan aniqlik darajasi katta .

Yuqori tartibli hosilalarni (2.27) dan uning o'ng va chap tomonlarini n -darajaga ko'tarish yo'li bilan hosil qilamiz, bunda juft darajalarda (2.24) ni hisobga olamiz.

$$(\lambda D)^n = (\mu \delta)^n \left(1 - \frac{\delta^2}{6} + \frac{\delta^4}{30} - \frac{\delta^6}{140} + \frac{129\delta^8}{4480} - \dots \right)^n \quad (2.28)$$

Oxirgi formulada $n = 2, 3, 4$ bo'lganda

$$(\lambda D)^2 = \delta^2 \left(1 - \frac{\delta^2}{12} + \frac{\delta^4}{90} - \frac{\delta^6}{560} + \dots \right);$$

$$(\lambda D)^3 = \mu \delta^3 \left(1 - \frac{\delta^2}{4} - \frac{\delta^4}{120} + \dots \right)$$

$$(\lambda D)^4 = \delta^4 \left(1 - \frac{\delta^2}{8} + \frac{376\delta^4}{720} + \dots \right)$$

Keltirib chiqarilgan (2.28) formuladan ixtiyoriy tartibli markaziy ayirmali hosilani aniqlashimiz mumkin.

Xususiy hosilali differentsial tenglamalarni taqribiy yechish

Xususiy hosilali differentsial tenglamalar haqida. Ikki noma'lumli o'zgaruvchiga bog'liq bo'lgan $u = u(x, y)$ funktsiyaning ikkinchi tartibli xususiy hosilali differentsial tenglamasini quyidagi ko'rinishda yozamiz.

$$F(x, y, u, u_x, u_y, u_{xx}, u_{xy}, u_{yy}) = 0 \quad (2.29)$$

Bu yerda x, y erkli o'zgaruvchilar, u izlanayotgan noma'lum funktsiya, $u_x, u_y, u_{xx}, u_{xy}, u_{yy}$ lar x, y erkli o'zgaruvchilar bo'yicha birinchi va ikkinchi tartibli xususiy hosilalar.

(2.29) tenglamaning yechimi deb, uni ayniyatga aylantiruvchi $u = u(x, y)$ funktsiyaga aytiladi. Bu yechim grafigi Oxyu fazoda sirtini ifodalaydi.

Agar (3.29) tenglamada u izlanayotgan noma'lum funktsiya va uning xususiy hosilalari $u_x, u_y, u_{xx}, u_{xy}, u_{yy}$ ning darajalari birinchi bo'lsa hamda ularning

ko'paytmalari ishtrok etmasa bunday tenglamani chiziqli deb ataladi. Uni quyidagicha yozish mumkin:

$$A \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + 2B \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} + C \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + a \frac{\partial u}{\partial x} + b \frac{\partial u}{\partial y} + cu = F(x, y) \quad (2.30)$$

Bu yerda A, B, C, a, b, c koeffitsientlar o'zgarmas yoki x, y erkli o'zgaruvchilarning funktsiyalari bo'lishi mumkin.

(**) o'zgarmas koeffitsientli tenglama bo'lsin. (2.30) tenglama diskriminanti $D=AC-B^2$ ni tuzamiz, buning ishorasiga qarab tenglama turini aniqlaymiz:

agar $D > 0$ (2.30) elliptik turdagi tenglama;

agar $D = 0$ (2.30) parabolik turdagi tenglama;

agar $D < 0$ (2.30) giperbolik turdagi tenglama.

1. Agar (2.30) da $A=1, B=0, C=1$ bo'lsa, $\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = 0$ elliptik turdagi

Laplas tenglamasi deyiladi. Bu tenglama $u=u(x,y)$ issiqlikni 'lastinkaning (x,y) nuqtasda vaqtga bog'liq bo'lmagan holda tarqalishini ifodalaydi.

2. Agar (**) da $A=-a^2, a=1, B=0, C=0, b=0, c=0$ bo'lsa, $\frac{\partial u}{\partial t} - a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = F(x, t)$

bu parabolik turdagi tenglama bo'lib, u t vaqt birligi ichida x koordinata bilan ingichka bir jinsli sterjen bo'yicha $u=u(x,t)$ issiqlikni tarqalishini ifodalaydi. $F(x,t)$ –issiqlikni jisim bo'yicha manbadan tarqalish zichligi bilan bog'liq funktsiya, agar bu funktsiya ishtrok etmasa bu tenglama bir jinsli bo'ladi. a -sterjenning fizik xossasiga bog'liq bo'lgan o'zgarmas.

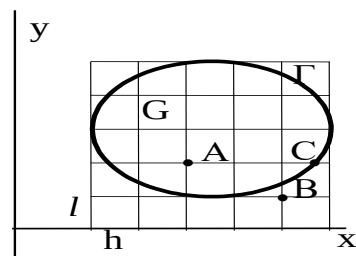
Chekli ayirmalar yoki to'r usuli

Chekli ayirmalar usuli xususiy hosilali tenglamalarning sonli yechimini topishda eng qulay usullardan biridir.

Bu usulining asosida hosilarni chekli ayirmalar nisbati bilan almashtirish qoidasi yotadi.

Aytaylik, Oxy koordinatalar tekisligida chegarasi Γ chiziq bilan chegaralangan yo'ik G soha berilgan bulsin. G sohani kesib o'tuvchi o'qlarga parallel bo'lgan to'g'ri chiziqlar oylasini quramiz :

$$\begin{aligned}x_i &= x_0 + ih, \\i &= 0, \pm 1, \pm 2, \dots, n \\y_i &= y_0 + kh \\k &= 0, \pm 1, \pm 2, \dots, m\end{aligned}$$

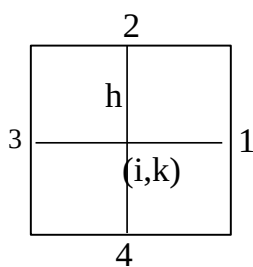


2.3-rasm

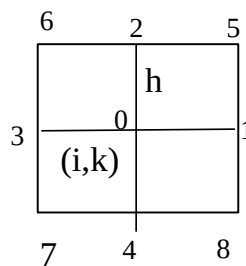
Bu to'g'ri chiziqlarning kesishish nuqtalarni tugunlar deb ataladi. Hosil bo'lgan turda ikki tugunni qo'shni tugun deb ataladi. Agar ular biri ikinchisidan OX yoki OY koordinata o'qlari yunalishida h yoki l masofada joylashgan bo'lsa $G+\Gamma$ sohaga tegishli bo'lgan va sohaning chegarasi G dan, qadamdan kichik masofada turgan tugunlarni ajratamiz.

Sohaning biror tuguni va unga qo'shni bo'lgan turtta tugun ajratilgan tugunlariga tegishli bo'lsa, bu tugunni ichki tugun deb ataladi. (2-rasm, A tugun). Ajratilganndan qolganlari chegara tugunlari deb ataladi(2-rasm, B, C tugunlar).

Noma'lum $u = u(x, y)$ funktsiyaning to'ring 5 yoki 9 tugunli sxemalarining



2.4-rasm



2.5-rasm

tugunlaridagi qiymatini $u_{ik} = u(x_0 + ih, y_0 + kl)$ orkali belgilaymiz. Har bir $(x_0 + ih, y_0 + kl)$ ichki nuqtadagi xususiy hosilalarni ayirmalar nisbati bilan quyidagicha almashtiramiz:

$$\begin{aligned}\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)_{ij} &\approx \frac{u_{i+1,k} - u_{i-1,k}}{2h} \\ \left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)_{ik} &\approx \frac{u_{i,k+1} - u_{i,k-1}}{2l}\end{aligned}\quad (2.31)$$

CHegaraviy nuqtalarda esa aniqligi kamroq bo'lgan quyidagi formulalar bilan almashtiramiz:

$$\begin{aligned}\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)_{ik} &\approx \frac{u_{i+1,k} - u_{ik}}{h} \\ \left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)_{ik} &\approx \frac{u_{ik,k+1} - u_{ik}}{l}\end{aligned}\quad (2.32)$$

Xuddi shuningdek, ikkinchi tartibli xususiy hosilarni quyidagicha almashtiramiz:

$$\begin{aligned}\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}\right)_{ik} &\approx \frac{u_{i+1,k} - 2u_{ik} + u_{i-1,k}}{h^2}, \\ \left(\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right)_{ik} &\approx \frac{u_{i,k+1} - 2u_{ik} + u_{i,k-1}}{l^2} \\ \left(\frac{\partial^2 u}{\partial xy}\right)_{ik} &\approx \frac{u_{i+1,k+1} - u_{i+1,k-1} - u_{i-1,k+1} + u_{i-1,k-1}}{4hl}\end{aligned}\quad (2.33)$$

Yuqorida ketirilgan almatiririshlar xususiy hosilasi tenglamalarni o'rniga chekli ayirmali sistemasini yechishga olib keladi.

Yuqorida ko'rsatilgan sohada quyidagi masalani ko'ramiz.

$$Lu = a \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + b \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + c \frac{\partial u}{\partial x} + d \frac{\partial u}{\partial y} + gu = f(x, y) \quad (2.34)$$

bu yerda a, c, d, e, g lar x va y larning funktsiyalari. (x_i, y_k) tugunda $f(x, y)$ funksiya va koeffitsentlarni a_{ij} , b_{ij} , c_{ij} , d_{ij} , g_{ij} , f_{ij} , u_{ij} kabi belngilab, besh nuqtali tugunlar sxemasi bo'yicha (2.31), (2.32) formulalar asosida chekli ayirmalar yordamida (2.31) tenglamani quyidagicha yozamiz.

$$\begin{aligned}a_{ik} \frac{u_{i+1,k} - 2u_{ik} + u_{i-1,k}}{h^2} + b_{ik} \frac{u_{i,k+1} - 2u_{ik} + u_{i,k-1}}{l^2} + c_{ik} \frac{u_{i+1,k} - u_{i-1,k}}{2h} + \\ + d_{ik} \frac{u_{i,k+1} - u_{i,k-1}}{2l} - g_{ik} u_{ik} = f_{ik}\end{aligned}\quad (2.35)$$

Shuningdek G chegara chiziq funktsiyasi $\varphi(x, y)$ asosida chegara tugunlari $(\tilde{o}_i \pm \theta h, y_i)$ yoki $(\tilde{o}_i, y_i \pm \theta h)$ ($0 < \theta < 1$) uchun quyidagi munosabatlarni yozamiz:

$$u(x_i \pm \theta h, y_k) \approx \frac{\theta u(x_{i+1}, y_k) + \varphi(x_i \pm \theta h, y_k)}{\theta + 1} = \frac{1}{\theta + 1}(\theta u_{i+1,k} + \varphi_{i \pm \theta, k})$$

yoki

$$u(x_i, y_k \pm \theta h) \approx \frac{\theta u(x_i, y_{k+1}) + \varphi(x_i, y_k \pm \theta h)}{\theta + 1} = \frac{1}{\theta + 1}(\theta u_{i, k+1} + \varphi_{i, k \pm \theta}).$$

Agar tenglama tarkibida $2e \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y}$ ishtrok etsa uni to'qqiz nuqtali tugunlar sxemasi bo'yicha chekli ayirmalar bilan quyidagicha almashtirib (2.35) tenglamaga qo'shamiz.

$$(j \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y})_{ik} = e_{ij} \frac{u_{i+1,k+1} - u_{i+1,k-1} - u_{i-1,k+1} + u_{i-1,k-1}}{2hl}$$

Chekli ayirmalar yordamida (2.34) tenglamani, (x_i, y_k) tugunga nisbatan hosilbo'ladigan tenglamalar sistemasini quyidagicha yozamiz:

$$A_{i,k}u_{i,k} + B_{i,k}u_{i,k-1} + C_{i,k}u_{i,k+1} + D_{i,k}u_{i+1,k} + E_{i,k}u_{i,k+1} = f_{i,k} \quad (2.36)$$

$$A_{i,k} = \frac{b_{i,k}}{h^2} - \frac{d_{i,k}}{2h}, \quad B_{i,k} = \frac{a_{i,k}}{h^2} - \frac{c_{i,k}}{2h}, \quad C_{i,k} = \frac{2(a_{i,k} + b_{i,k})}{h^2} + g_{i,k},$$

$$D_{i,k} = \frac{a_{i,k}}{h^2} + \frac{c_{i,k}}{2h}, \quad E_{i,k} = \frac{b_{i,k}}{h^2} + \frac{d_{i,k}}{2h}$$

Farazimizga asosan $a(x,u) > 0$, $b(x,u) < 0$, $g(x,u) < 0$ lar silliq funktsiyalar bo'lsa,

etarlicha kichik h uchun

$$g_{i,k} < 0, A_{i,k} > 0, B_{i,k} > 0, C_{i,k} < 0, D_{i,k} > 0, E_{i,k} > 0$$

bo'lganda quyidagi tenglikka ega bo'lamiz:

$$A_{i,k} + B_{i,k} + C_{i,k} + D_{i,k} + E_{i,k} = g_{i,k}.$$

Hosil bo'lgan chiziqli tenglamalar sistema (2.36) si uchun yuqoridagi shartlar bajarilganda bu sohaning ichki tugunlarida sistemani yechimini topishda iteratsiya usulini qullash uchun uni quyidagi ko'rinishga keltiramiz.

$$u_{i,k} = -\frac{A_{i,k}}{C_{i,k}}u_{i,k+1} - \frac{B_{i,k}}{C_{i,k}}u_{i-1,k} - \frac{D_{i,k}}{C_{i,k}}u_{i+1,k} - \frac{E_{i,k}}{C_{i,k}}u_{i,k+1} + \frac{f_{i,k}}{C_{i,k}}$$

SHuningdek chegaraviy tugunlar uchun

$$u_{i,k} \approx \frac{\theta}{\theta+1} u_{i+1,k+1} + \frac{1}{\theta+1} \varphi_{i\pm\theta,k\pm\theta}$$

Berilgan boshlang'ich $u_{i,k}^{(0)}$ echim asosida aniq yechimga yaqinlashish jarayonini oddiy iteratsiya usulida quyidagicha hisoblaymiz:

$$u_{ik}^{(p+1)} = -\frac{A_{i,k}}{C_{i,k}} u_{i,k+1}^{(p)} - \frac{B_{i,k}}{C_{i,k}} u_{i-1,k}^{(p)} - \frac{D_{i,k}}{C_{i,k}} u_{i+1,k}^{(p)} - \frac{E_{i,k}}{C_{i,k}} u_{i,k+1}^{(p)} + \frac{f_{i,k}}{C_{i,k}}$$

$$u_{i,k}^{(p+1)} \approx \frac{\theta}{\theta+1} u_{i+1,k+1}^{(p)} + \frac{1}{\theta+1} \varphi_{i\pm\theta,k\pm\theta}, \quad i=0,1,2,\dots$$

Yuqoridagi shartlar asosida bu jarayonni $u_{i,k}$ aniq yechimga yaqinlashish sharti quyidagicha tanlanadi:

Ixtiyoriy tartibli hosilalarni o'zgarmas qadamli to'rlarda

ayrilmali tasvirlash

Yuqori tartibli hosilalar ayrilmasi ko'rinishda yuqoridagi birinch va ikkinch tartibli ayirmali ehtimollar yordamida ifodalanadi.

Juft darajali ayrilmali hosilalar

Ikkinch tartibli ayrilmali hosilalar $i-1, i, i+1$ nuqtalarda h o'zgarmas qadam bilan hisoblanish bizga malum. Bu ayirmali munosabat yordamida to'rtinchi tartibli ikkinchi nuqtada quyidagicha yozish mumkin

$$\begin{aligned} y_i^{(4)} &= \frac{\Delta^2 y_i''}{h^2} = \frac{\Delta^2}{h^2} \frac{y_{i-1} - 2y_i + y_{i+1}}{h^2} = \frac{\Delta^2 y_{i-1} - 2\Delta^2 y_i + \Delta^2 y_{i+1}}{h^4} = \\ &= \frac{y_{i-2} - 2y_{i-1} + y_i - 2(y_{i-1} - 2y_i + y_{i+1}) + y_{i+1} - 2y_{i+2} + y_{i+3}}{h^4} = \\ &= \frac{y_{i-2} - 4y_{i-1} + 6y_i - 4y_{i+1} + y_{i+2}}{h^4} = \frac{\Delta^4 y_i}{h^4}. \end{aligned} \quad (2.37)$$

Hosil qilingan (2.37) munosabatlarga ikkinchi tartibli ayirmali sixemani qo'llab olishginitartibli xosilani ayirmali tasvirlaymiz четвертую разностную

$$y_i^{(6)} = \frac{\Delta^2 y_i}{h^2} \frac{\Delta^4 y_i}{h^4} = \frac{1}{h^6} [y_{i-3} - 2y_{i-2} + y_{i-1} - 4(y_{i-2} - 2y_{i-1} + y_i) +$$

$$+ 6(y_{i-1} - 2y_i + y_{i+1}) - 4(y_i - 2y_{i+1} + y_{i+2}) + y_{i+1} - 2y_{i+2} + y_{i+3}] = \\ = \frac{1}{h^6} (y_{i-3} - 6y_{i-2} + 15y_{i-1} - 20y_i + 15y_{i+1} - 6y_{i+2} + y_{i+3}) = \frac{\Delta^6 y_i}{h^6}.$$

Yuqoridagi ikkinchi, to'rtinchi, oltinchi tartibli hosilalarni ayirmali ko'rinishlardan ko'rinishi mumkinki tugun nuqtalaridan koeffisientlar Nyuton koeffisientlariga mos tushadi,

$$(a-b)^2 = a^2 - 2ab + b^2; \quad (a-b)^4 = a^4 - 4a^3b + 6a^2b^2 - 4ab^3 + b^4; \\ (a-b)^6 = a^6 - 6a^5b + 15a^4b^2 - 20a^3b^3 + 15a^2b^4 - 6ab^5 + b^6. \quad (2.38)$$

k-chi darajali binom quydagi formula bilan ifodalanadi

$$(a-b)^k = \sum_{m=0}^k (-1)^m C_m^k a^{k-m} b^m, \quad C_m^k = \frac{k!}{m!(k-m)!}. \quad (2.39)$$

Juft tartibli hosilalarning I nuqtadagi ayirmali ko'rinishi Nyuton binomi kabi quydagicha yoziladi

$$y_i^{(2k)} = \frac{\Delta^{2k} y_i}{h^{2k}}, \quad (2.40)$$

$$\Delta^{2k} y_i = \sum_{m=0}^{2k} (-1)^m C_m^{2k} y_{i-k+m} \quad (2.41)$$

2k ayirmali operator tartibi (2.4) formulani matematik indiksiya metodi bilan isbotlash mumkin yani k=1,2 uchun o'rinli ekanligini ko'rsatib k+1 hol uchun ham o'rinli ekanligidan ixtiyoriy k uchun to'g'ri deb qo'bul qilamiz .

$$C_m^k = \frac{k!}{m!(k-m)!},$$

Nyuton binomi koeffitsientlarini formulaga ko'ra hisoblash uchun quydagi Paskal uchburchigidan foydalanamiz

k	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	1										
1	1	1									
2	1	2	1								
3	1	3	3	1							
4	1	4	6	4	1						
5	1	5	10	10	5	1					
6	1	6	15	20	15	6	1				
7	1	7	21	35	35	21	7	1			
8	1	8	28	56	70	56	28	8	1		
9	1	9	36	84	126	126	84	36	9	1	
10	1	10	45	120	210	252	210	120	45	10	1
11	1	11	55	165	330	462	462	330	165	55	11
12	1	12	66	220	495	792	924	924	792	495	220

va hakoza

8-chi tartibli ayirmali operatorni yozish uchun (2.41) formula va Paskal uchburchagi koeffitsientlaridan foydalanamiz.

$$\Delta^8 y_i = y_{i-4} - 8y_{i-3} + 28y_{i-2} - 56y_{i-1} + 70y_i - 56y_{i+1} + 28y_{i+2} - 8y_{i+3} + y_{i+4}.$$

Toq darajali ayirmali operator

Toq tartibli $2k + 1$ ayirmasi operatorni ifodalash uchun juft tartibli ayirmasi operatorga birinchi tartibli ayirmali operatorni tasir etamiz .

$$\Delta^{2k+1} y_i = \Delta(\Delta^{2k} y_i) = -\Delta^{2k} y_{i-1} + \Delta^{2k} y_{i+1}. \quad (2.42)$$

Toq tartibli ayirmali hosila quyidag formula bo'yicha ifodalanadi

$$y_i^{(2k+1)} = \frac{\Delta^{2k+1} y_i}{2h^{2k+1}}. \quad (2.43)$$

Xuddi shunday 8-chi tartibli ayirmasi operatorga yordamida 9-chi tartibli ayirmali operatorni hosi qilamiz

$$\begin{aligned} \Delta^9 y_i &= \Delta \Delta^8 y_i = -\Delta^8 y_{i-1} + \Delta^8 y_{i+1} = \\ &= -[y_{i-5} - 8y_{i-4} + 28y_{i-3} - 56y_{i-2} + 70y_{i-1} - 56y_i + 28y_{i+1} - \\ &\quad - 8y_{i+2} + y_{i+3}] + \\ &\quad + y_{i-3} - 8y_{i-2} + 28y_{i-1} - 56y_i + 70y_{i+1} - \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& -56y_{i+2} + 28y_{i+3} - 8y_{i+4} + y_{i+5} = \\
& = -y_{i-5} + 8y_{i-4} - 27y_{i-3} + 48y_{i-2} - 42y_{i-1} + \\
& + 42y_{i+1} - 48y_{i+2} + 27y_{i+3} - 8y_{i+4} + y_{i+5}.
\end{aligned}$$

2.2-§. Harakat tenglamalari va asosiy munosabatlar uchun sonli usul

Hisoblashlarning maqsadi halqali plastinka harakati tenglamasini sonli integrallash aniqligi va barqarorligini asoslashdir. Halqali plastinka dinamikasi masalasini sonli yechish aniqligi analitik tekshirish ko'pgina matematik qiyinchiliklarni bartaraf etish bilan bog'liqdir. Amaliyotda masalani yechishni baholash uchun nisbatan oddiy usullar, masalan turli usullarda, turli sonli sxemalarda olingan natijalarni solishtirishga asoslangan usullardan yoki yaqinlashishlardan foydalaniladi.

Sonli tajriba yordamida elastik doiraviy plastinkaning impulsli deformatsiyasi haqidagi masalani yechish aniqligi tekshiriladi. Plastinka modeli va ikkita sonli sxemadan foydalaniladi. Olingan natijalarni solishtirilishi asosida hisoblashlar aniqligini oshirish borasida amaliy tavsiyalar beriladi.

Masalani chekli ayirmalar usuli yordamida yechish

Halqali plastinka tenglamasi (1.7)-(1.12) munosabatlar uchun chekli ayirmalar usulini qo'llash mumkin. (1.20) tenglamalar sistemasini chekli ayirmali sxema ko'rinishda to'laligicha tasvirlash mumkin. Plastinka o'rta sirtini halqali ko'rinishdagi to'r bilan qoplaymiz.

Ko'chishlar va burilish burchaklari to'rlar tugunlarida nuqtasida, deformasiyalar, kuchlar, momentlar va ko'ndalang kuchlar markaziy elementda olinadi.

Elementda hosilaning aproksimatsiasi quyidagi ko'rinishga ega:

$$\left[\frac{\partial N}{\partial r} \right]_{\left(i+\frac{1}{2}\right)} = \frac{N_{i+1} - N_i}{\Delta r_i}; \quad (2.44)$$

bu erda $\Delta r_i = r_i - r_{i-1}$; N_i - r_i nuqtadagi funksiyaning qiymati $1 \leq i \leq M + 1$.

Harakat tenglamasini markaziy kesishish nuqtalarida maraziy ayrmalar bilan approksimatsiyalash uchun

$$\left[\frac{\partial f}{\partial r} \right]_i = \frac{f_{i+1/2} - f_{i-1/2}}{\Delta r_{i+1/2}}; \quad (2.45)$$

(1.20) tenglamandagi hosila qatnashmagan hadlar esa quyidagicha approksimatsiyalanadi:

$$f_i = \frac{f_{i+1/2} + f_{i-1/2}}{2}. \quad (2.46)$$

Vaqt bo'yicha olingan hosilalar quyidagi ifoda orqali approksimatsiyalanadi:

$$\left[\frac{\partial^2 w}{\partial t^2} \right]_i^n = \frac{1}{\tau^2} [w_i^{n+1} - 2w_i^n + w_i^{n-1}], \quad (2.47)$$

Bu erda τ vaqt buyicha qadam ; n - indeks vaqt oraliqlarini ifodalaydi. (1.20) tenglamalar sistemasining 1chi, 3chi tenglamalarning o'ng qisimlari ikkita noma'lum funksiya iborat. Shuning uchun chekli ayirmaga o'tganda 1 va 3 ni $\partial^2 u / \partial t^2$ va $\partial^2 \psi_x / \partial t^2$ ga nisbatan algebraik tenglamalar sistemasi yechimlari kabi yechish zarur.

Differensial tenglamalardagi hosilalar (2.44)-(2.45) munosabatlar bilan almashadi .

Olingan (1.20) sistemani chekli ayirmali shaklda ko'rinishi quyidagi formada boladi.

$$\begin{aligned} u_i^{n+1} &= 2u_i^n - u_i^{n-1} + \tau^2 \{ U_i^n / a - b \times (\psi_i^n - bU_i^n / a) / (ac - b^2) \}; \\ w_i^{n+1} &= 2w_i^n - w_i^{n-1} + \tau^2 W_i^n / a; \\ \psi_i^{n+1} &= 2\psi_i^n - \psi_i^{n-1} + \tau^2 \times (\psi_i^n - bU_i^n) / a / (c - b^2 / a) \end{aligned} \quad (2.48)$$

bu erda $a = \rho(h + F)$, $b = \rho S$, $c = \rho(h^3 / 12 + J)$;

$$U_i^n = \frac{(rN_1)_{(i+1/2)}^n - (rN_1)_{(i-1/2)}^n}{\Delta r_{i+1/2} r_{i+1/2}} + \frac{(N_2)_{(i+1/2)}^n - (N_2)_{(i-1/2)}^n}{2r_{i+1/2}};$$

$$\begin{aligned}
W_i^n &= \frac{(rQ)_{(i+1/2)}^n - (rQ)_{(i-1/2)}^n}{\Delta r_{i+1/2} r_{i+1/2}} + \left(\frac{w_i^n - w_{i-1}^n}{\Delta r_i} \right) \frac{1}{\Delta r_{i+1/2}} \times \frac{(rN_1)_{(i+1/2)}^n - (rN_1)_{(i-1/2)}^n}{\Delta r_{i+1/2}} + \\
&\quad + \frac{w_{i+1}^n - 2w_i^n + w_{i-1}^n}{(\Delta r_i)^2} \times \frac{(N_1)_{(i+1/2)}^n + (N_1)_{(i-1/2)}^n}{2} + P_{i+1/2}^n ; \\
\psi_i^n &= \frac{(rM_1)_{i+1/2}^n - (rM_1)_{i-1/2}^n}{\Delta r_{i+1/2} r_{i+1/2}} - \frac{(M_2)_{i+1/2}^n + (M_2)_{i-1/2}^n}{2r_{i+1/2}} - \frac{Q_{i+1/2}^n + Q_{i-1/2}^n}{2} ;
\end{aligned}$$

(1.7) va (1.8) munosabatlarini chekli-ayirmali ifodasi, deformasiylarni xisoblash uchun,

$$\begin{aligned}
(\varepsilon_1)_{(i+1/2)}^n &= \frac{u_{i+1}^n - u_i^n}{\Delta r_{i+1/2}} + \frac{1}{2} \left(\frac{w_{i+1}^n - w_i^n}{2\Delta r_{i+1/2}} \right)^2 ; \\
(\varepsilon_2)_{(i+1/2)}^n &= \frac{u_{i+1}^n + u_i^n}{2r_{i+1/2}} ;
\end{aligned} \tag{2.49}$$

$$(\varepsilon_1^z)_{i+1/2}^n = (\varepsilon_1)_{i+1/2}^n + z \frac{\psi_{i+1}^n - \psi_i^n}{\Delta r_{i+1/2}} ;$$

$$(\varepsilon_2^z)_{i+1/2}^n = (\varepsilon_2)_{i+1/2}^n + z \frac{\psi_{i+1}^n + \psi_i^n}{2r_{i+1/2}} ;$$

$$(\varepsilon_{13}^z)_{i+1/2}^n = f(z) \left(\frac{w_{i+1}^n - w_i^n}{\Delta r_{i+1/2}} + \frac{\psi_{i+1}^n + \psi_i^n}{2} \right).$$

Kuchlanishlar, kuchlar, momentlar va ko'ndalang kuchlar (1.9)-(1.12) ifodalarga (2.49) ifodani qo'llab topiladi. Chegara nuqtalardagi qistirib maxkamlanganlik sharti qiymatini hisoblash yuqoridagi formulalar kabi approksimasiyalanadi. Simmetriya sharti quyidagi korinishda chekli ayirmalar bilan ifodalanadi.

$$\left[\frac{\partial w}{\partial r} \right]_1^n = \frac{3w_1^n - 4w_2^n + w_3^n}{2\Delta r_2} . \tag{2.50}$$

To'rtli hisoblashning boshlanishi uchun ikki aralash vaqtli qadamlarda boshlang'ich shartlar beriladi. Ulardan quyidagi ko'rinishli tenglamani olamiz.

$$w_i^1 = w_i^2 = 0 . \tag{2.51}$$

Keltirilgan tengliklar bo'yicha $u_{i,k}^n$, $v_{i,k}^n$, $w_{i,k}^n$, $(\psi_y)_{i,k}^n$, $(\psi_y)_{i,k}^n$ larni istalgan momentlari, istalgan to'rtli nuqtalari uchun topish mumkin.

Ko'rsatilgan tengliklardan ayirmali to'rtli ixtiyoriy momenti va ixtiyoriy nuqtasi uchun u_i^n , w_i^n , ψ_i^n larni topish mumkin.

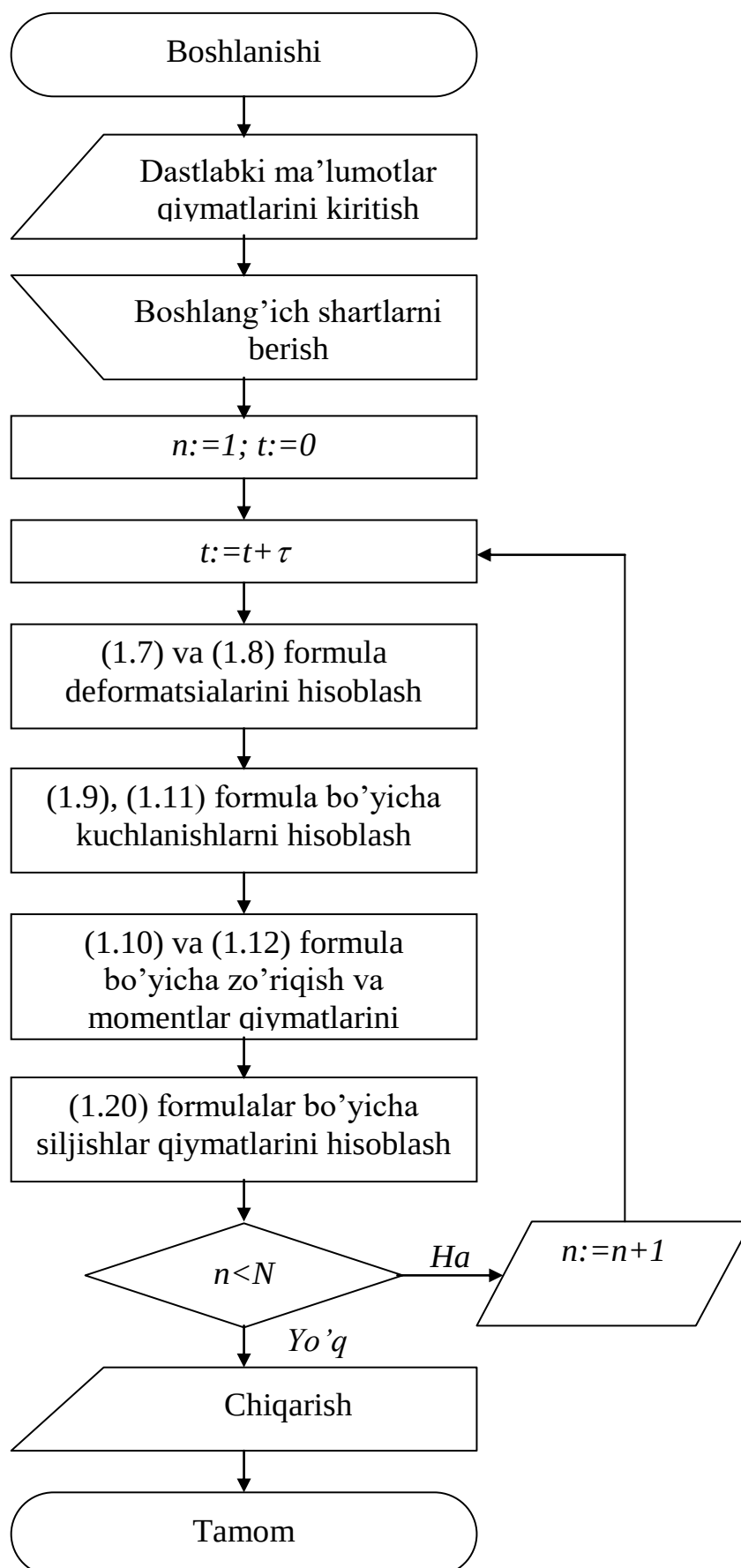
Shunday qilib (1.20) differensial tenglamaning yechimi (2.48) rekkurent formula bo'yicha hisoblashlarga olib keladi.

Differensial tenglamalarni chekli ayirmalar metodi bo'yicha sonli hisoblash nazariyasidan ma'lumki, differensialga masalaning ayirmalar bo'yicha yechimini o'xshashligi va barqarorlik xossasi zarurdir. Bunday holda tenglamaning ayirmalar yechimi to'rtli qadami kamayganda haqiqiy qiymatga yaqinlashuviga olib keladi.

Qaralayotgan chegaraviy masala chekli ayirmali sxema yordamida approksimasiyasida umumiy xatolik $O(\Delta r^2 + \tau^2)$ dan oshmaydi. To'rtli qadamlari nolga intilganda xatolik ham nolga intiladi. Demak ayirmali tenglamalar boshlang'ich differensial tenglamani aproksimatsiyalaydi.

2.3-§. Masalani hisoblash algoritmi va dasturlar majmuasi

Masalani hisoblash algoritmi



Amaliy dasturlar paketining bayoni

Hisoblash algoritmi asosida Turbo Paskal tilida yozilgan dasturlar paketi tuzildi. Paket quyidagi dasturlar modullaridan tashkil topgan.

Sopls	—	Boshqaruvch modul
Vvod	—	Dastlabki ma'lumotlarni kiritish kiritish moduli
Vv_Nach	—	Dastlabki shartlarni shakllantirish moduli
M_Pere	—	Siljishlar qiymatlarini hisoblash moduli
M_Def	—	Deformatsialar qiymatlarini hisoblash moduli
M_Nap	—	Kuchlanishlar qiymatlarini hisoblash moduli
M_Y_M_P	—	Zo'riqish, momentlar va kesuvchi kuchlar qiymatlarini hisoblash moduli
Vivod	—	Natijalarni chiqarish moduli

II-bob bo'yicha xulosalar

Dissertatsiya ishining ikkinchi bobi differentsial tenglamalarni yechishning chekli ayirmalar usuli, xususiy hosilali differentsial tenglamalarni taqribiy yechish, doiraviy halqalar bilan kuchaytirilgan elastik plastinka kuchlanganlik deformasiyalanganlik holatini geometrik noxiziqli tenglamalar asosida sonli tatbiq etishga bag'ishlangan. Konstruksiya uchun o'rinli bo'lgan Timoshenko tipidagi harakat differensial tenglamalarini yechishda sonli usullardan chekli ayirmalar usulidan foydalaniladi. Ishda bu usul haqida ma'lumotlar keltirib o'tiladi. Chekli ayirmalar usuli yordamida masalani yechish algoritmi kiritiladi. Umuman olganda bu bob aniq amaliy masalalarni yechish uchun qo'llaniladigan sonli usullarni, xususan chekli ayirmalar usulini qoyilgan masala uchun qo'llashga bag'ishlangan.

III-BOB. IMPULSLI YUKLANISHLAR TA'SIRIDAGI HALQALI DOIRAVIY PLASTINKANI HISOBLASHDAN OLINGAN NATIJALAR

3.1-§. Halqalar bilan kuchaytirilgan plastinkaning unga mahkamlangan halqalarning ko'ndalang kesimlari o'zgarishidan bog'liq kuchlangan- deformatsiyalangan holati.

(2.33) tenglamalar orqali halqalar bilan kuchaytirilgan doiraviy plastinka kuchlangan-deformatsiyalanganlik holatini hisoblash quyidagi holatlar olingan.

Olingan (2.33) tenglamalar yordamida tomonlari qistirib mahkamlangan halqali doiraviy plastinkaga $P = P_0 e^{-\frac{t}{\alpha}}$, bu yerda $P_0 = 2,5 \text{ MPa}$, $\alpha = 10^{-3} \text{ s}$. yuklanish qo'yilgandagi kuchlanganlik deformatsiyalanganlik holatini o'rganamiz. Doiraviy plastinka geometrik va fizik xarakteristikalarini quyidagicha: $R = 0,5 \text{ m}$; $h = 1 \text{ cm}$; $E = 75600 \text{ MPa}$; $\nu = 0,3$; $\rho = 2640 \text{ kg/m}^3$.

Halqalar bilan kuchaytirilgan plastinka kuchlangan-deformatsiyalangan holatini plastinkaga mahkamlangan halqalarning ko'ndalang kesimlari o'zgarishidan bog'liqligi quyidagi hollarini o'rganamiz.

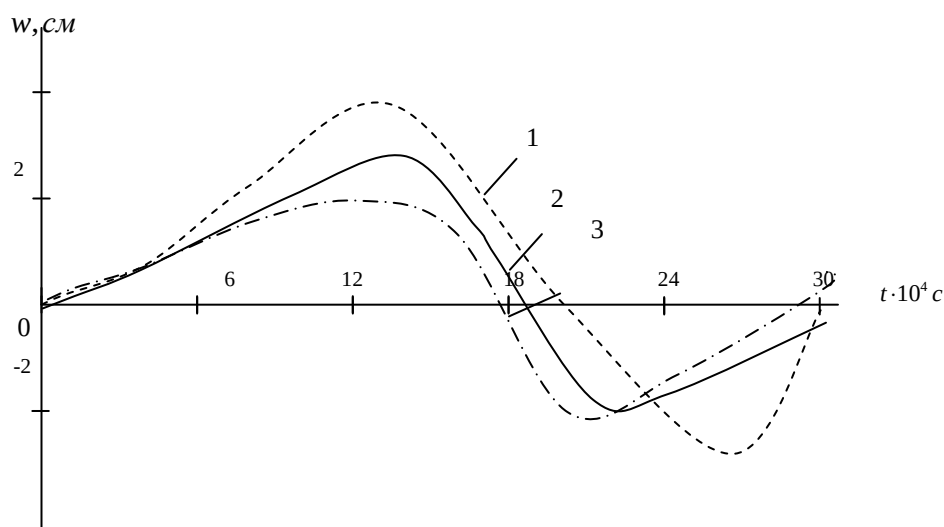
Doiraviy plastinkaga oralaridagi masofa bir xil 10 sm dan bo'lgan to'rtta halqa o'rnatilgan bo'lsin. Halqalar ko'ndalang kesimi yuzasini o'zgartirmasdan qalinlik va enini o'zgartirilgan quyidagi hollarni qaraymiz:

1-variant halqalar qalinlik va eni mos ravishda $h^p = 2 \text{ sm}$; $c = 6,66 \text{ sm}$;

2-variant halqalar qalinlik va eni mos ravishda $h^p = 4 \text{ sm}$; $c = 3,33 \text{ sm}$;

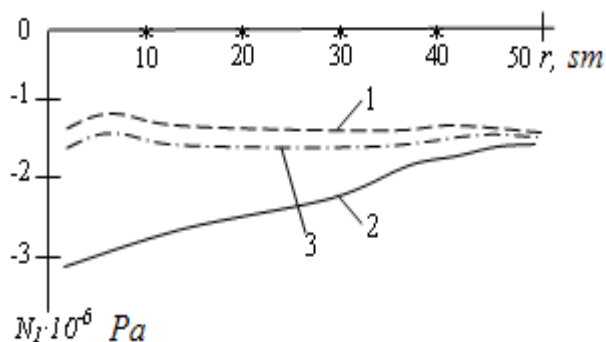
3-variant halqalar qalinlik va eni mos ravishda $h^p = 6,66 \text{ sm}$; $c = 2 \text{ sm}$.

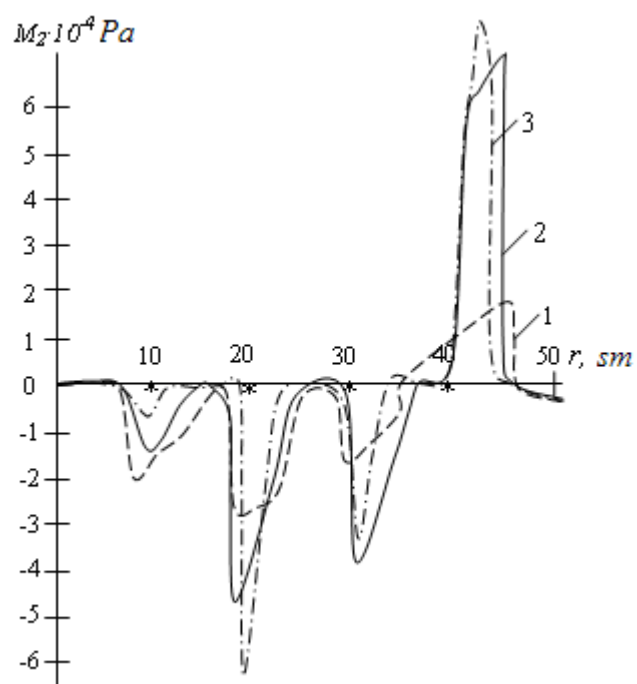
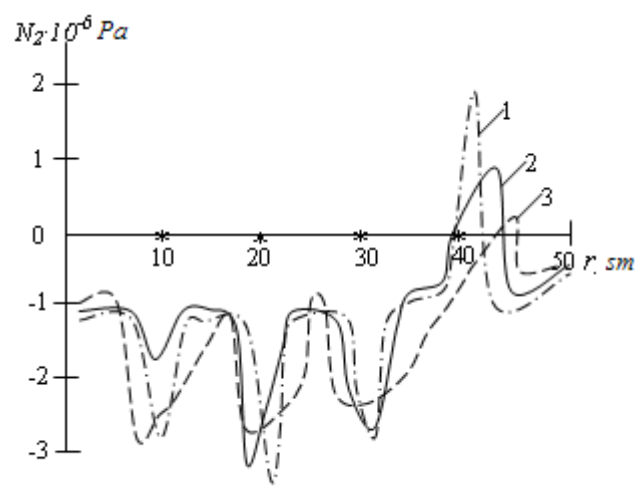
Yuqoridagi algoritm bo'yicha bu variantlar uchun hisoblashlardan olingan natijalarni grafiklarda tasvirlaymiz.



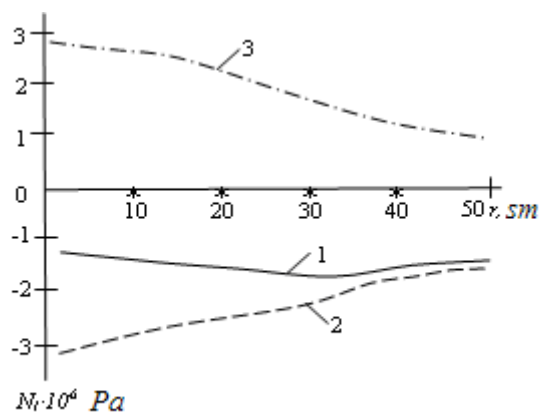
3.1-rasm. Halqa geometrik o'lchamlari 1- $h^p = 2 \text{ sm}$; $c = 6,66 \text{ sm}$; 2- $h^p = 4 \text{ sm}$; $c = 3,33 \text{ sm}$; 3- $h^p = 6,66 \text{ sm}$; $c = 2 \text{ sm}$ bo'lgan holatlar uchun plastinka markaziy nuqtalari ko'chishlari

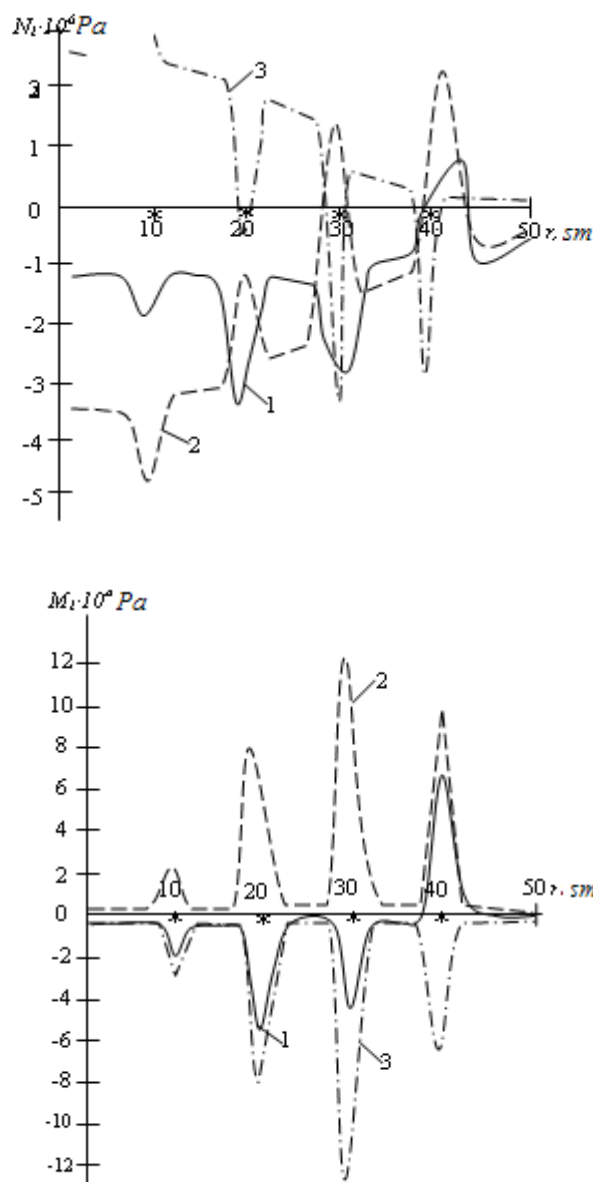
3.1-rasmdan ko'rish mumkinki, doiraviy plastinka markaziy nuqtasi ko'chishlarining maksimal qiymati kichik bo'ladigan variant bu kichik enli balandligi katta halqalar o'rnatilgan 3-variantda kuzatiladi. Bundan shunday xulosa qilish mumkinki, halqa material hajmini o'zgartirmasdan ko'ndalang kesimi yuzasini saqlagan holda balandligini oshirish hisobiga konstruktsiya mustahkamligini oshirish mumkin.





3.2-rasm. $t=0,6 \text{ Mks}$ bo'lgan vaqt momentida ichki zo'riqish kuchlaridan normal kuchlar va radial momentlarning radius bo'yicha o'zgarishi (* -halqa kordinatalari).





3.3-rasm. Vaqtning turli 1- $t=0,6 \text{ Mks}$; 2- $t=1,2 \text{ Mks}$; 3- $t=2,4 \text{ Mks}$; momentlarida halqa geometrik o'lchamlar $h^p = 4 \text{ sm}$; $c = 3,33 \text{ sm}$; bo'lgan 4ta halqa o'rnatilgan holat uchun normal zo'riqish kuchlari va radial momentlarning radius bo'yicha ozgarishi grafigi. (* - halqalar koordinatalari).

3.2- va 3.3- rasmlarda konstruksiyadagi zo'riqish kuchlari va momentlarni xarakterlovchi jarayonlar ko'rsatilgan. Ulardan ko'rinadiki N_1 normal zo'riqish kuchi radius bo'yicha o'zgarishi turli vaqt momentlarida qaralgan uchala variantda ham bir tekis ekanligi kuzatiladi. N_2 normal kuch va M_2 eguvchi moment notekis o'zgaruvchi bo'lib radial zo'riqishlar halqa o'rnatilgan joylarda pog'anali ravishda oshadi.

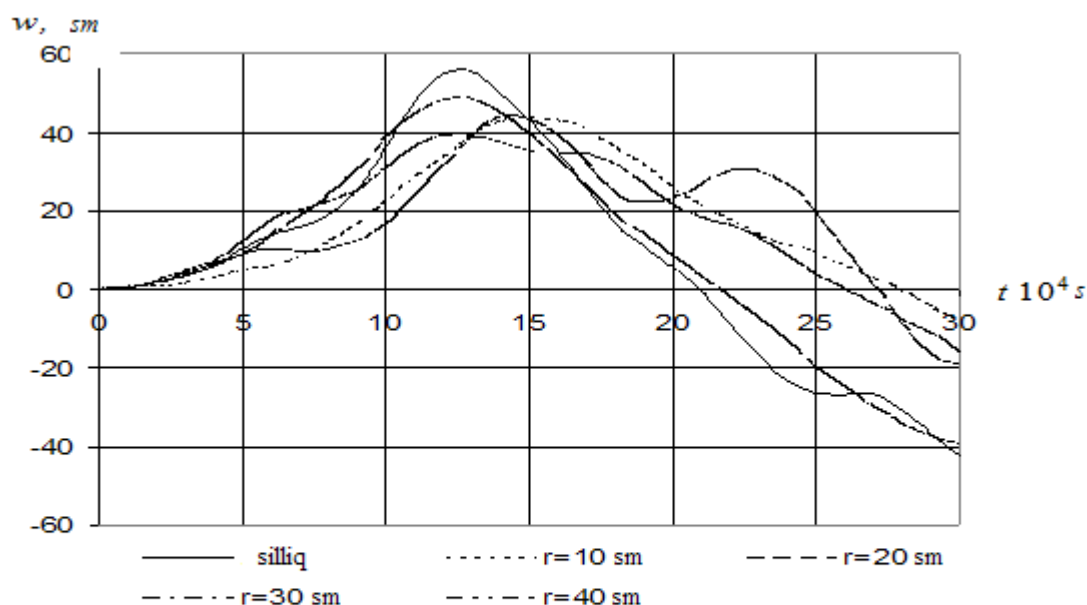
3.2-§. Halqalar bilan kuchaytirilgan plastinkaning kuchlangan-deformatsiyalangan holatining unga mahkamlangan halqalar soni va joylashishidan bog'liq hollar.

Chekli ayirmali sxemadagi koordinata va vaqt bo'yicha qadamlarni o'lchamlarini tanlashda tenglamalardagi uzlukli umumlashgan funksiyalarni hisobga olgan holda ifodalaymiz.

(3.5) tenglamalar orqali kuchlangan-deformatsiyalanganlik holatini hisoblash quyidagi holatlar olingan.

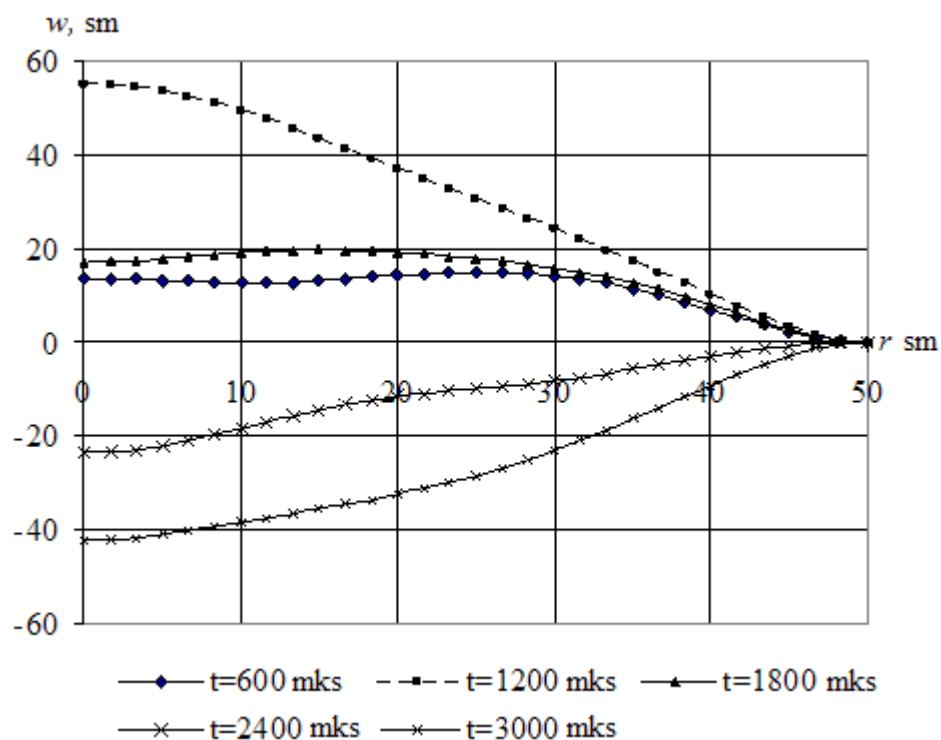
Olingan (3.5) tenglamalar yordamida tomonlari qistirib mahkamlangan halqali doiraviy plastinkaga $P = P_0 e^{-\frac{t}{\alpha}}$, bu yerda $P_0 = 1 \text{ MPa}$, $\alpha = 10^{-3} \text{ s}$. yuklanish qo'yilgandagi kuchlangan deformatsiyalangan holatini o'rganamiz. Plastinka geometrik va fizik xarakteristikolari quyidagicha: $R = 0,5 \text{ m}$; $h = 1 \text{ sm}$; $E = 75600 \text{ MPa}$; $\nu = 0,3$; $\rho = 2640 \text{ kg/m}^3$.

Halqalar bilan kuchaytirilgan plastinka kuchlangan-deformatsiyalangan holatini plastinkaga mahkamlangan halqalar sonidan va halqalar joylashishidan

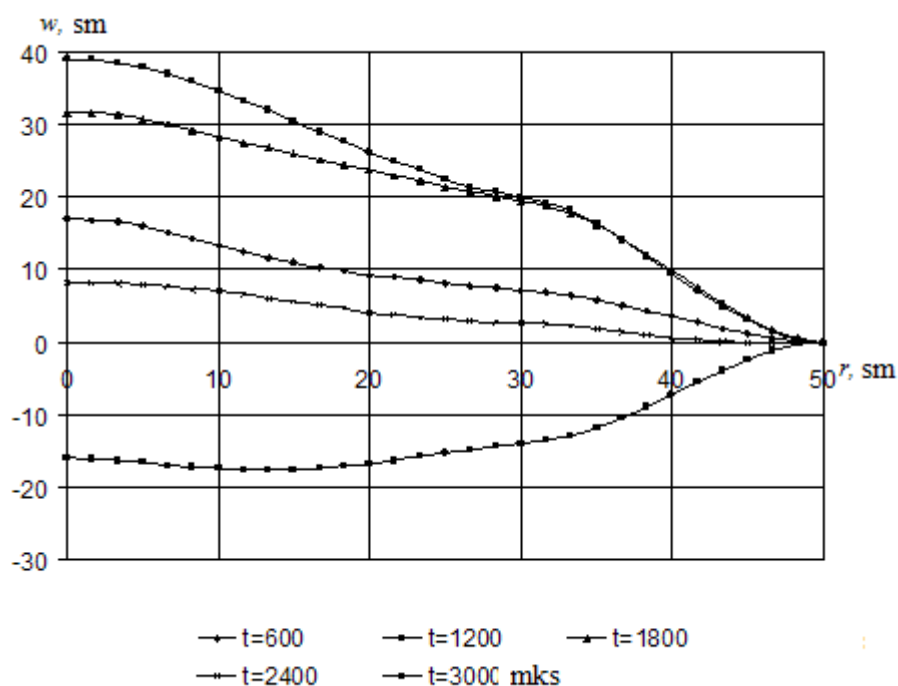


3-4-rasm. Plastinka markaziy nuqtasining haqasiz va bitta halqa markazdan har xil uzoqliklarda $r = 10 \text{ sm}$, $r = 20 \text{ sm}$, $r = 30 \text{ sm}$, $r = 40 \text{ sm}$ da joylashgan holar uchun vaqtdan bo'g'liq ko'chishlari.

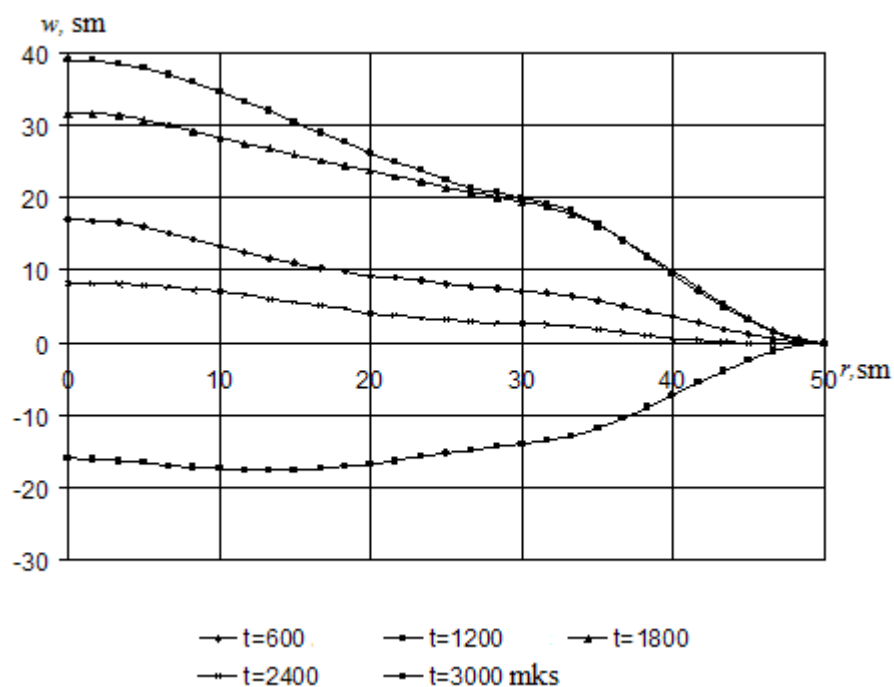
bog'liqligi quyidagi hollarini o'rganamiz. Halqasiz va bitta halqa bilan mustahkamlangan holatlar 3.4-rasmdan ko'rinadiki halqa markazga yaqin joylashganda markaziy nuqta tebranishlari davri va amplitudasi kamayadi. chastotasi esa deyarli ikki marta kamayadi. Halqa chegaraga yaqin joylashganda tebranish amplitudasi maksimal qiymati kamayadi.



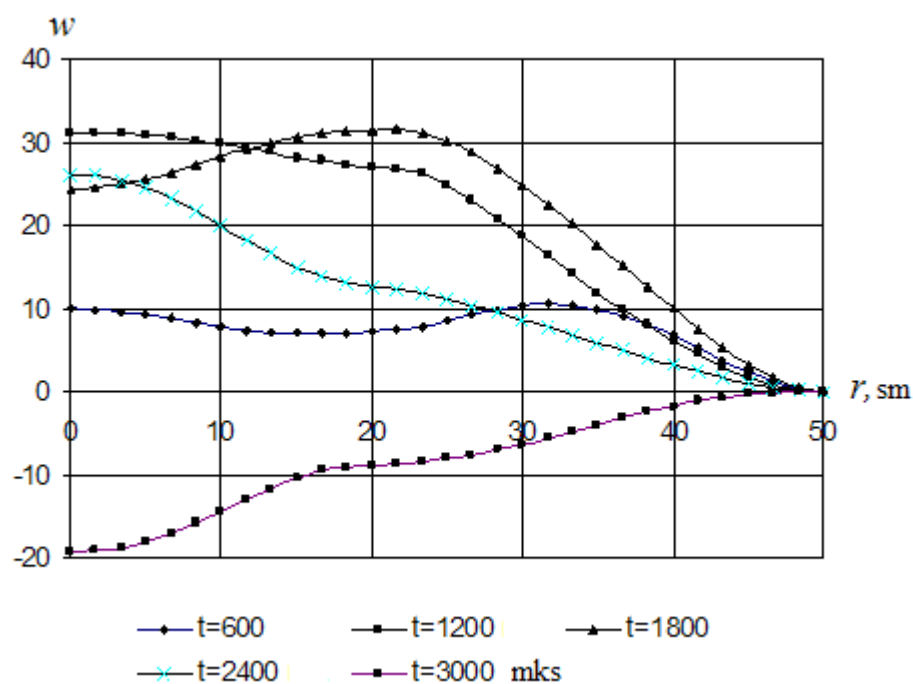
a)



b)



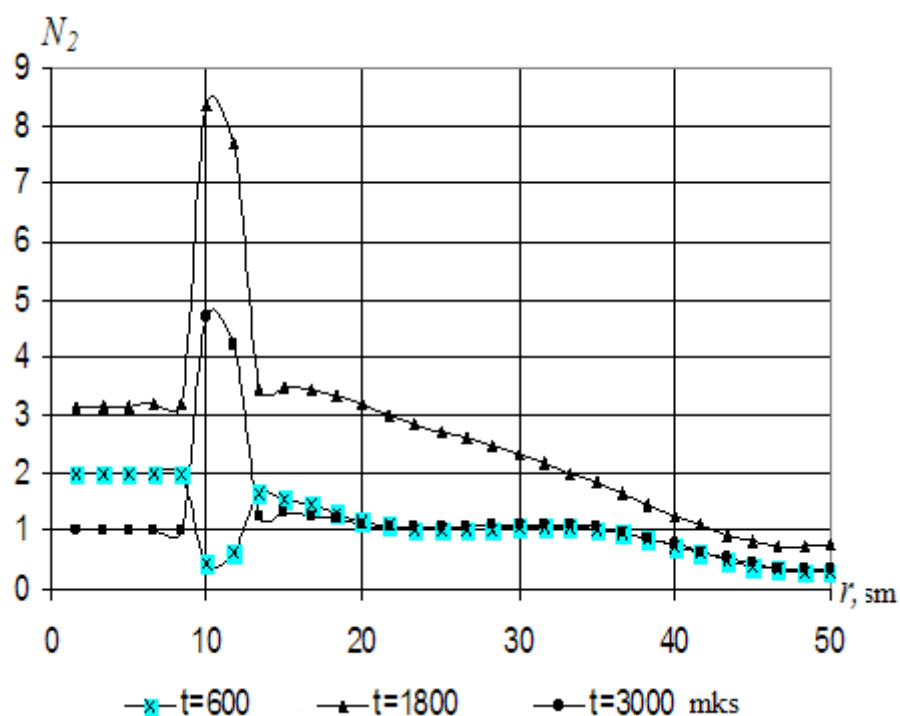
v)



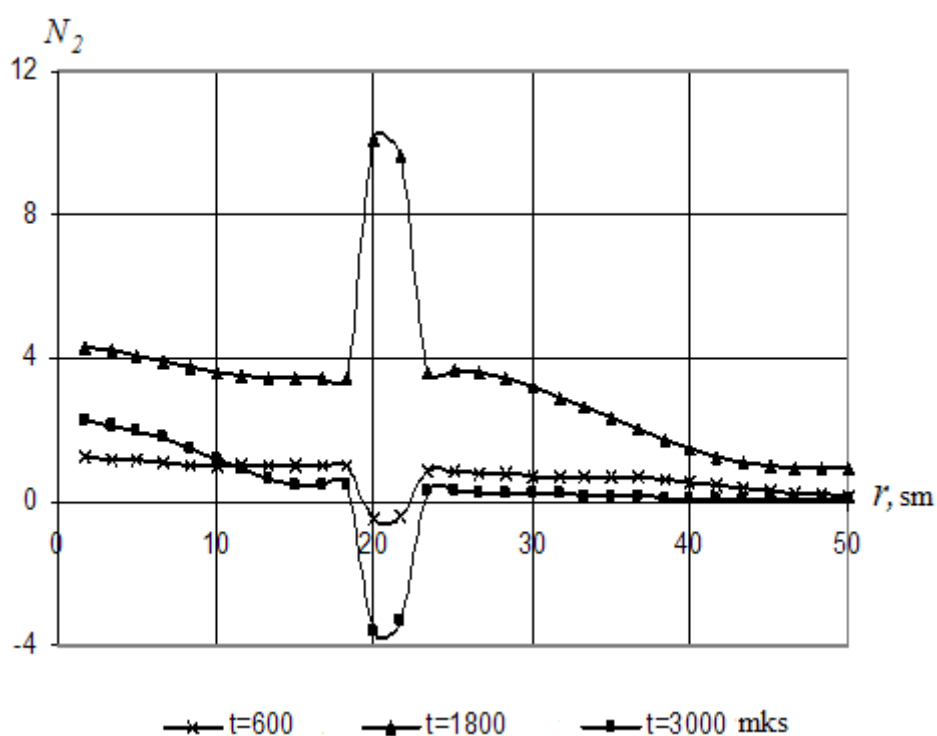
g)

3.5-rasm. Radius bo'yicha halqasiz (a), bitta halqa plastinka markaziga yaqin $r=10 \text{ cm}$ masofada joylashgan holat (b), bitta halqa markazdan $r=20 \text{ cm}$ masofada joylashgan holat (v) va bitta halqa chegaraga yaqin $r=40 \text{ cm}$ da joylashgan holat (g) vaqtning har xil momentlari: 1 - 0,6 mks; 2 - 1,2 mks; 3 - 1,8 mks; 4 - 2,4 mks; 5 - 3mks (*-halqa joylashgan nuqta) uchun ko'chishlar

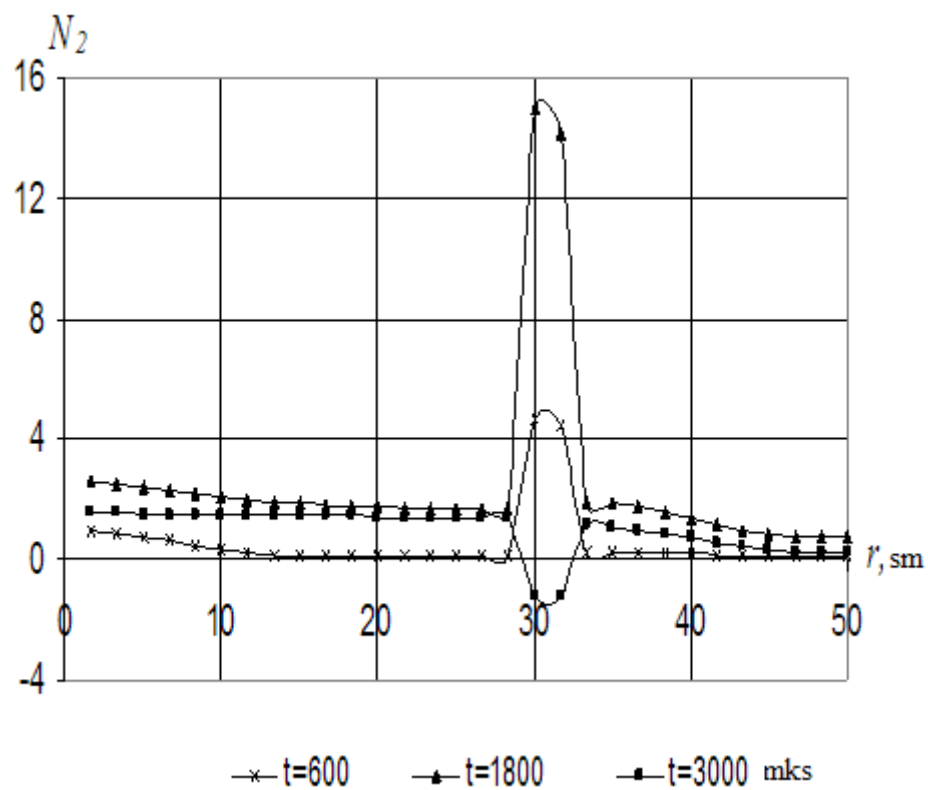
3.5-rasmdagi grafiklarni solishtirishdan ko'rinadiki, halqa markazga yaqin joylashganda plastinkani halqa joylashgan nuqtalarga yaqin qismlardagi egilish deformatsiyasi halqasiz holatga nisbatan kamayadi. Halqa chegaraga yaqin hol 3.5. b) rasmdagi grafiklarni 3.5. a) rasm grafiklari bilan solishtirishdan ham radius bo'yicha ko'chishlar halqasiz holatga nisbatan halqa joylashgan qismlarda sezilarli darajada kamayishini kuzatish mumkin.



a)

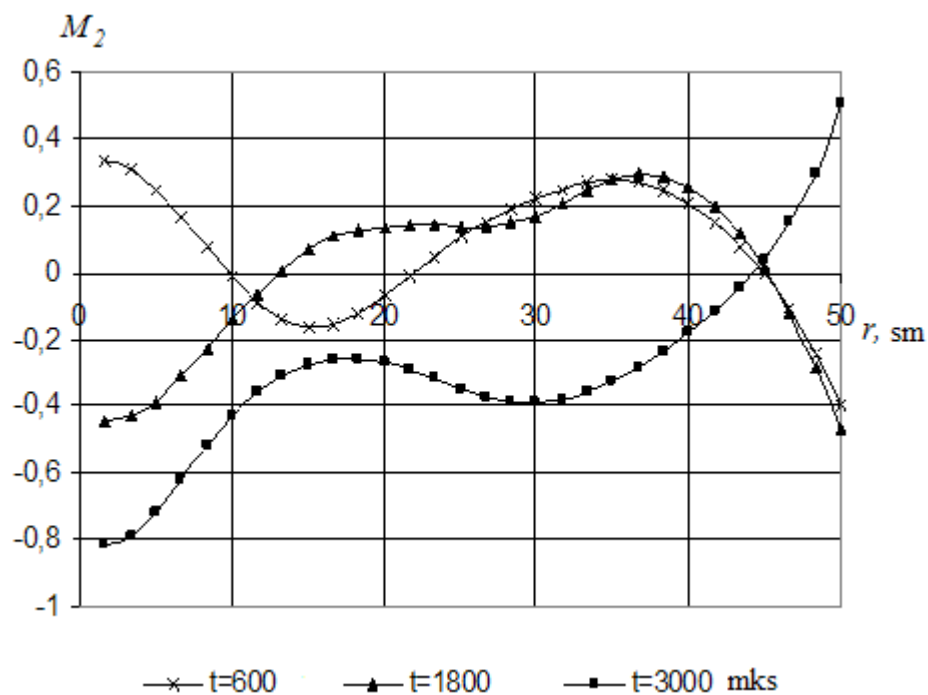


b)

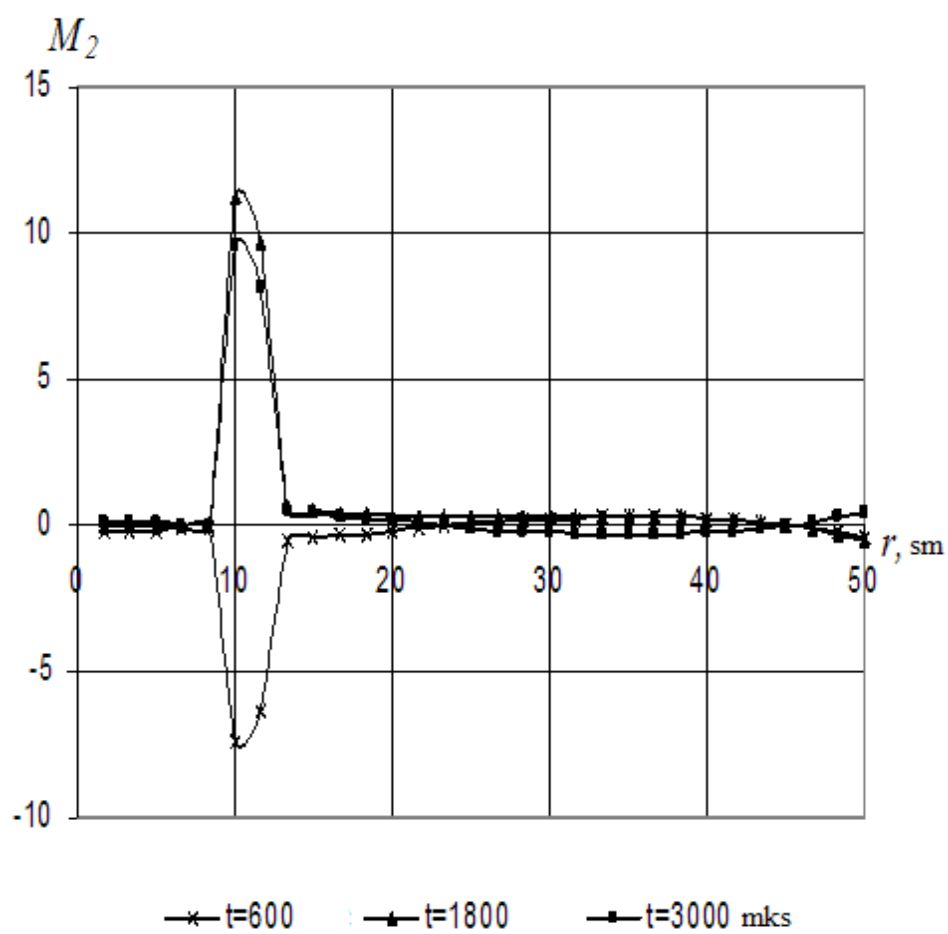


v)

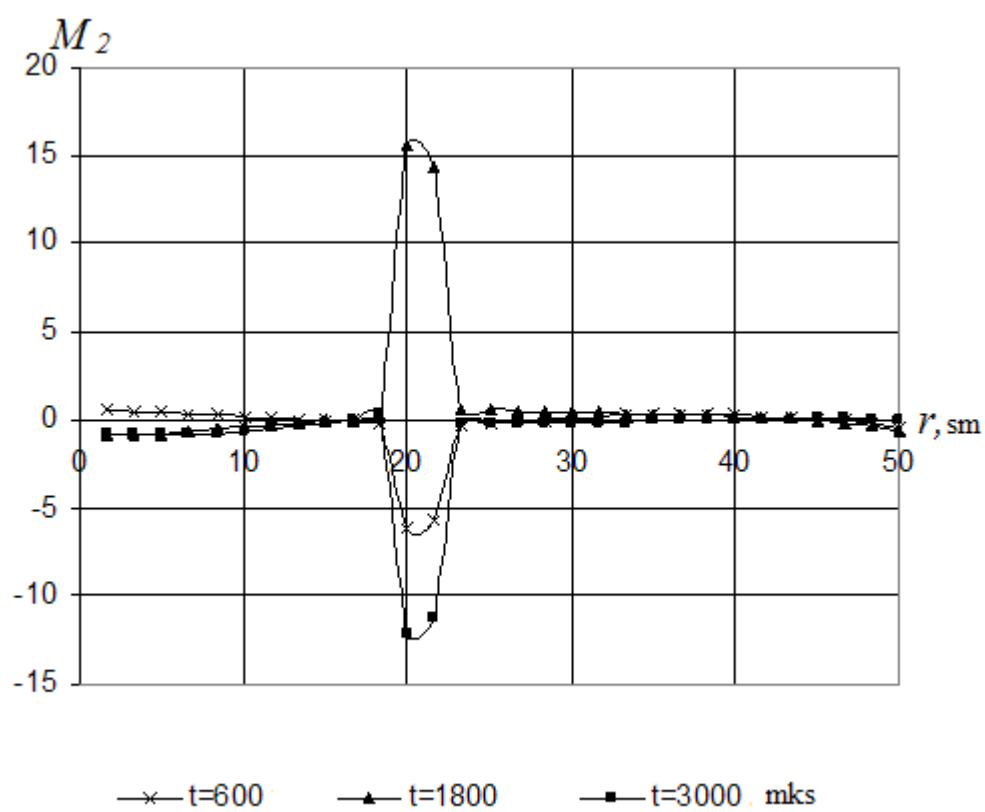
3.6-rasm. N_2 zo'riqish kuchining halqasiz va halqa turli nuqtalarda joylashgan holatlardagi grafigi.



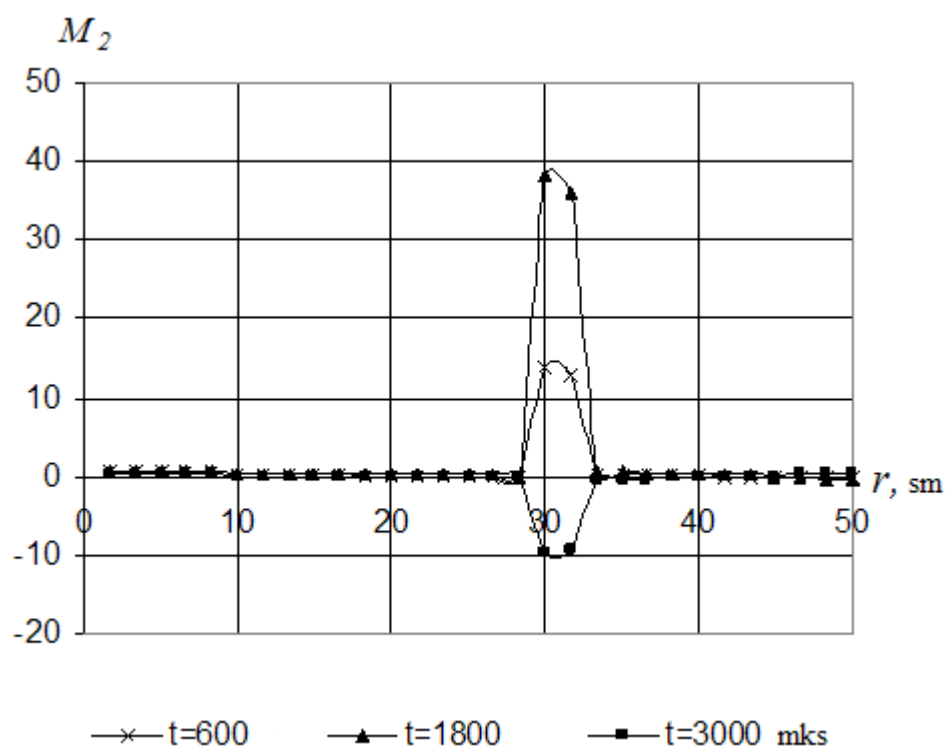
a)



b)

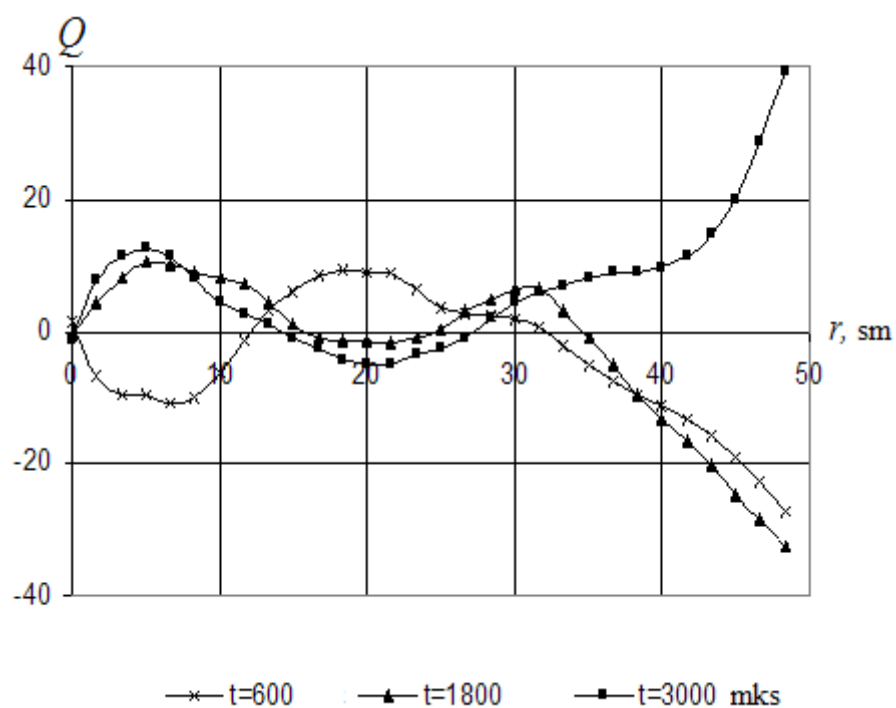


v)

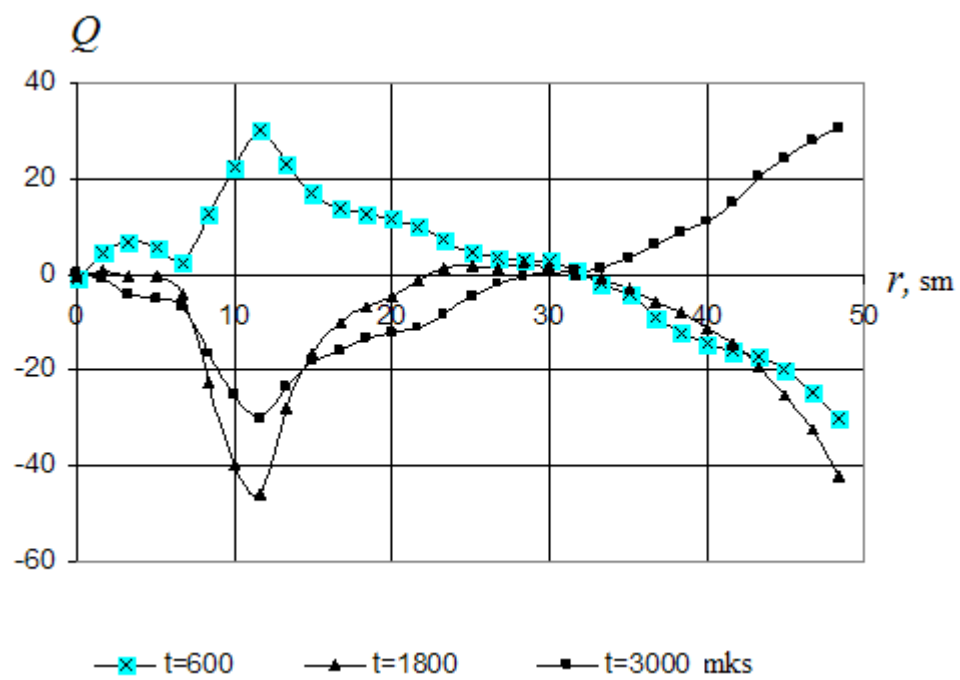


g)

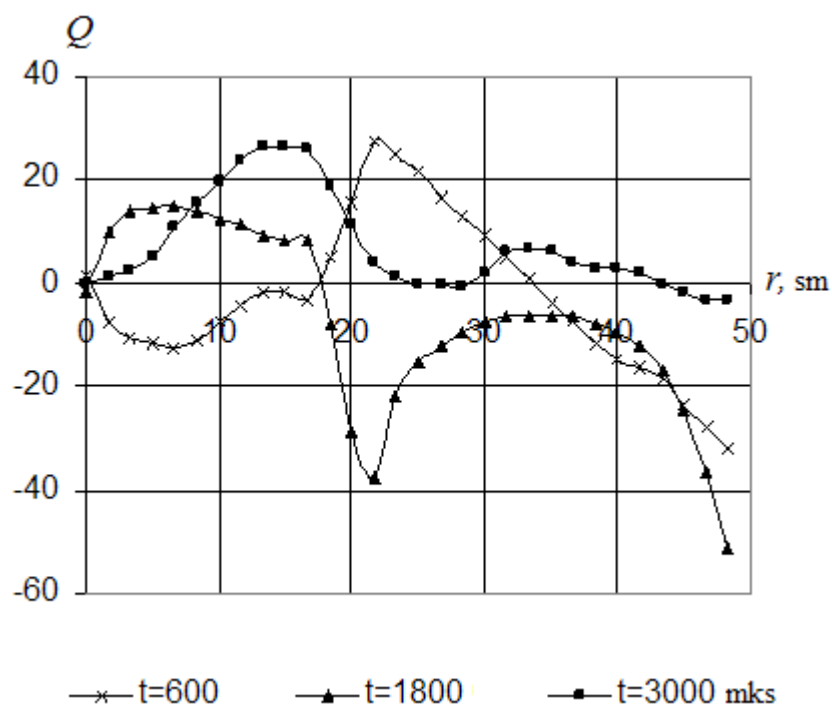
3.7- rasm M_2 eguvchi momentning halqasiz va halqa turli nuqtalarda joylashgan holatlar uchun grafik.



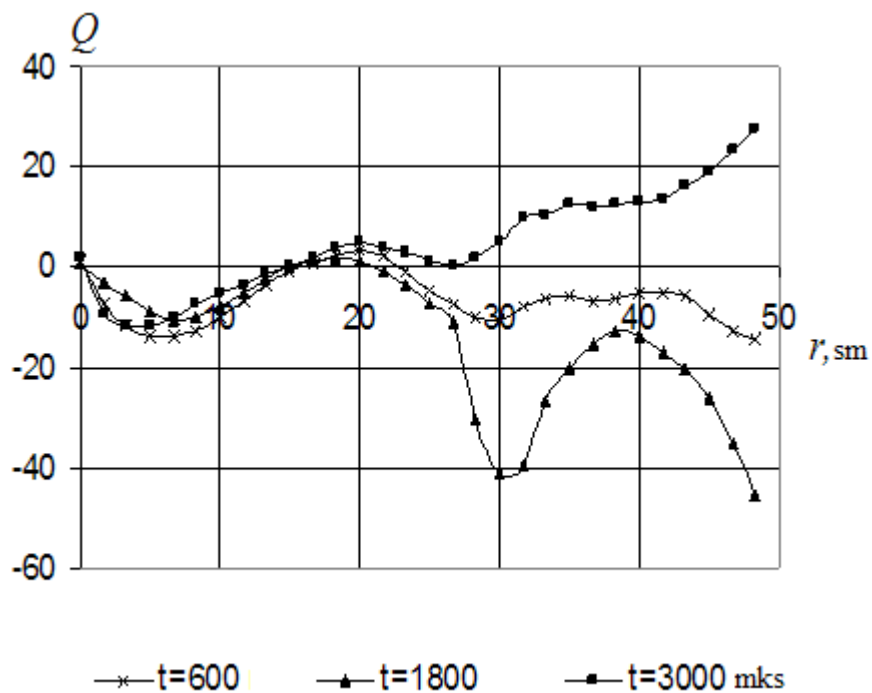
a)



b)



v)



g)

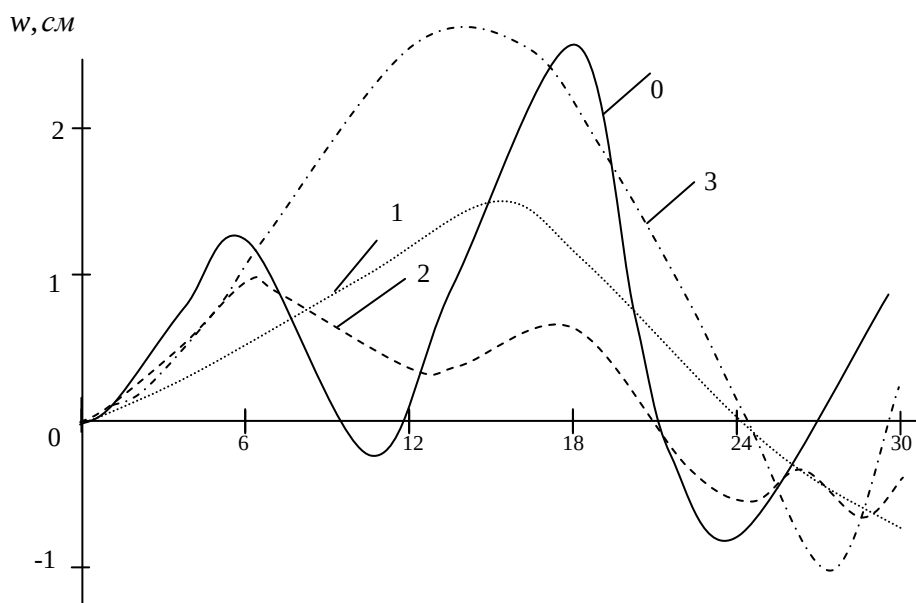
3.8-rasm. Q ko'ndalang kuch halqasiz va halqa turli nuqtalarda joylashagan holat grafiklari.

Plastinka ikkita halqa bilan mustahkamlangan holatda 3 ta variantni qaraymiz.

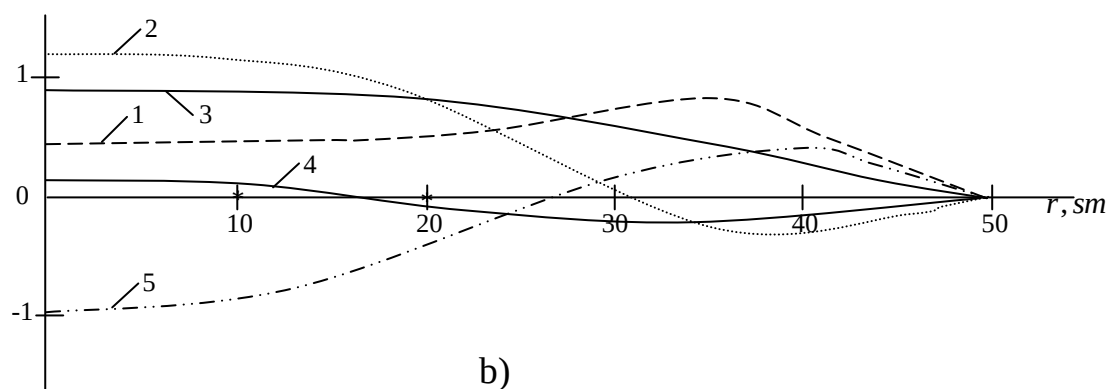
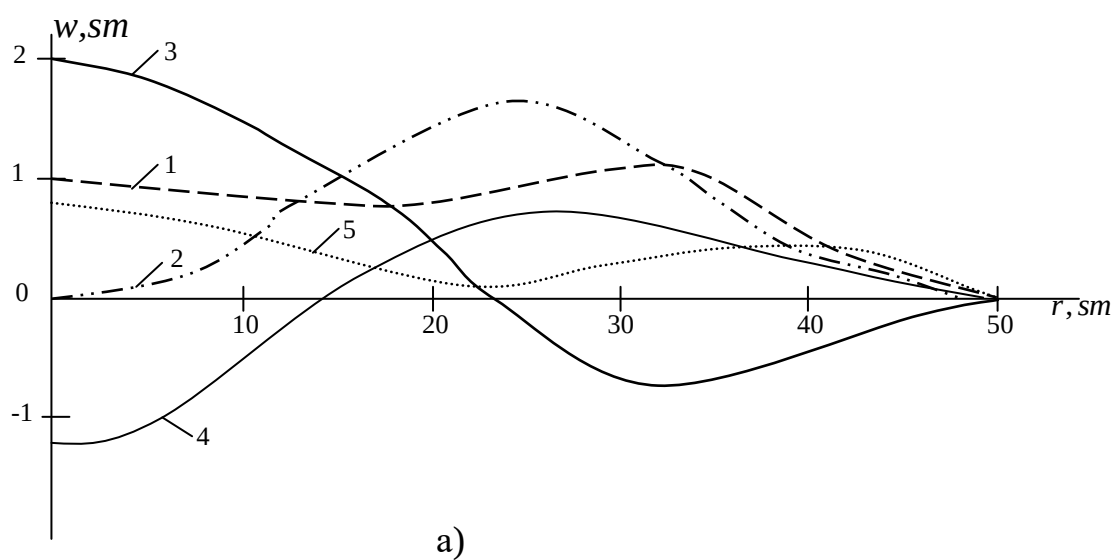
- 1) Halqalar plastinka markaziga yaqin koordinatalari $r_1 = 10\text{sm}$ va $r_2 = 20\text{sm}$ ga teng.
- 2) Halqalar markaz va chegara o'rtasida $r_1 = 20\text{sm}$ va $r_2 = 30\text{sm}$; koordinatalarda.
- 3) Halqalar chegaraga yaqin $r_1 = 30\text{sm}$ va $r_2 = 40\text{sm}$ koordinatalarda joylashgan.

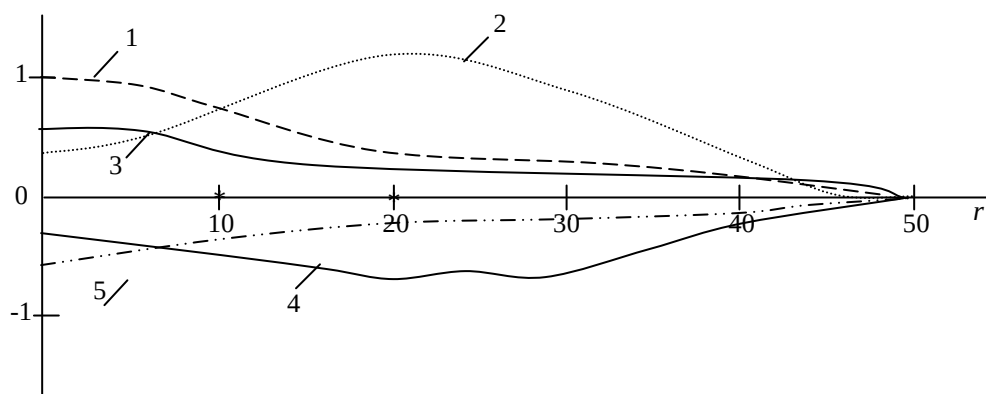
Bu variantlarda plastinka markaziy nuqtasi ko'chishlarini aniqlashda olingan natijalarning 3.9- rasmdagi grafiglaridan ko'rinadiki plastinka markaziy nuqtasi tebranishlari amplitudasi qiymatini o'zgarishi halqasiz holatga nisbatan ko'chishlarning maksimum qiymati ikki marta kamayadi. Uchinchi variant ko'chishlarining maksimum qiymati halqasiz plastinka markaziy nuqtasi ko'chishlari maksimum qiymatidan ham kattaroq ekanligini grafiklardan ko'rish mumkin.

3.10-3.13- rasmlardan zo'riqish kuchlari, momentlar va ko'ndalang kuchlar ta'sirini grafiklarida halqa joylashgan nuqtalarda o'zgarishini kuzatish mumkin.



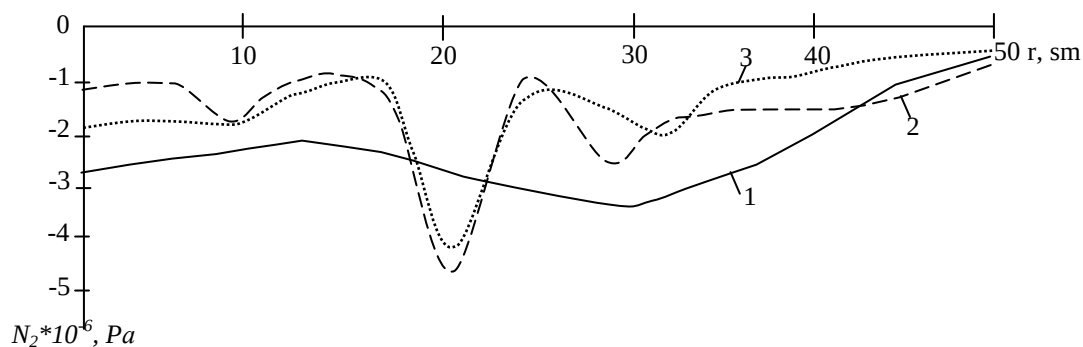
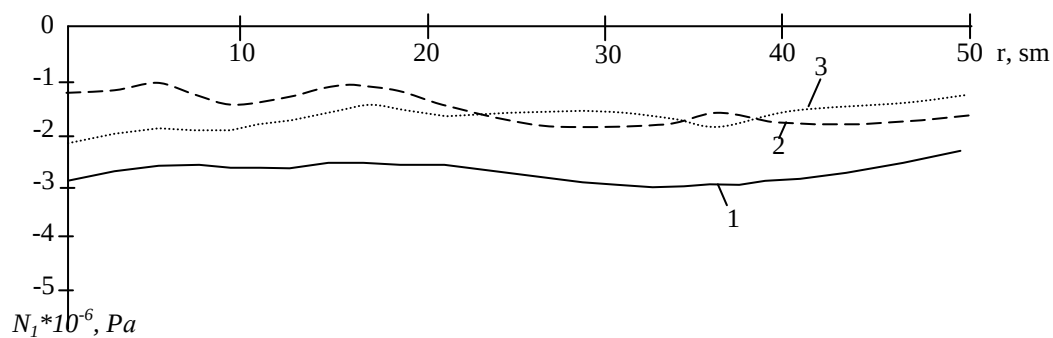
3.9-rasm. Plastinka markaziy nuqtasi ko'chishlari, halqa o'rnatilmagan holat holat (0 chiziq), 2 ta halqa mahkamlangan, halqalar markazga yaqin (1-chiziq), o'rtada (2-chiziq) va chegaraga yaqin (3-chiziq).



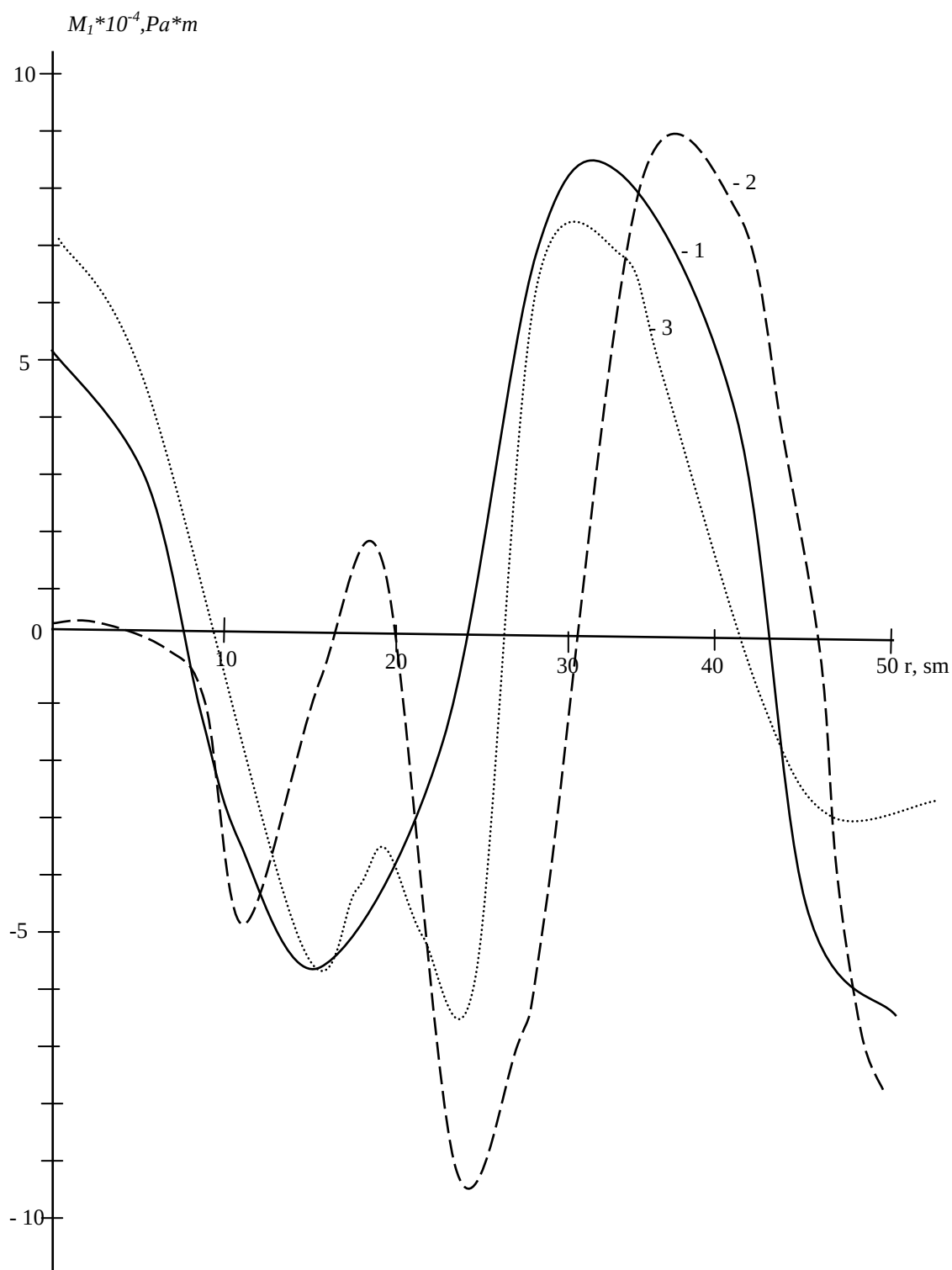


v)

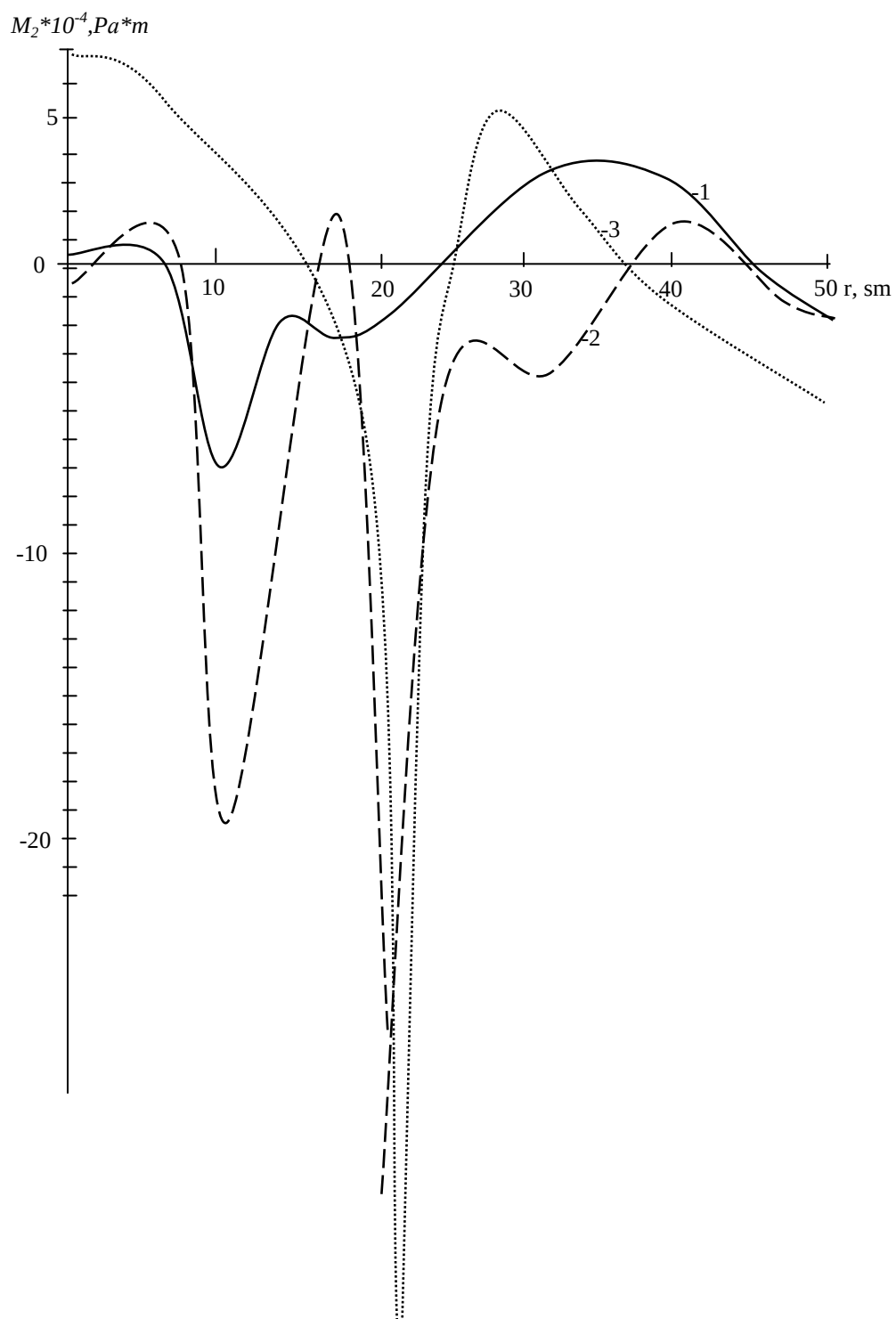
3.10. Radius bo'yicha ko'chishlar grafigi; halqa ornatilmagan (a), 2 ta halqa markazga yaqin (b) va chegaraga yaqin (e) joylashgan holat vaqtning har xil momentlari uchun: 1 - 0,6 ms; 2 - 1,2 ms; 3 - 1,8 ms; 4 - 2,4 ms; 5 - 3 ms (* - halqa joylashgan nuqta).



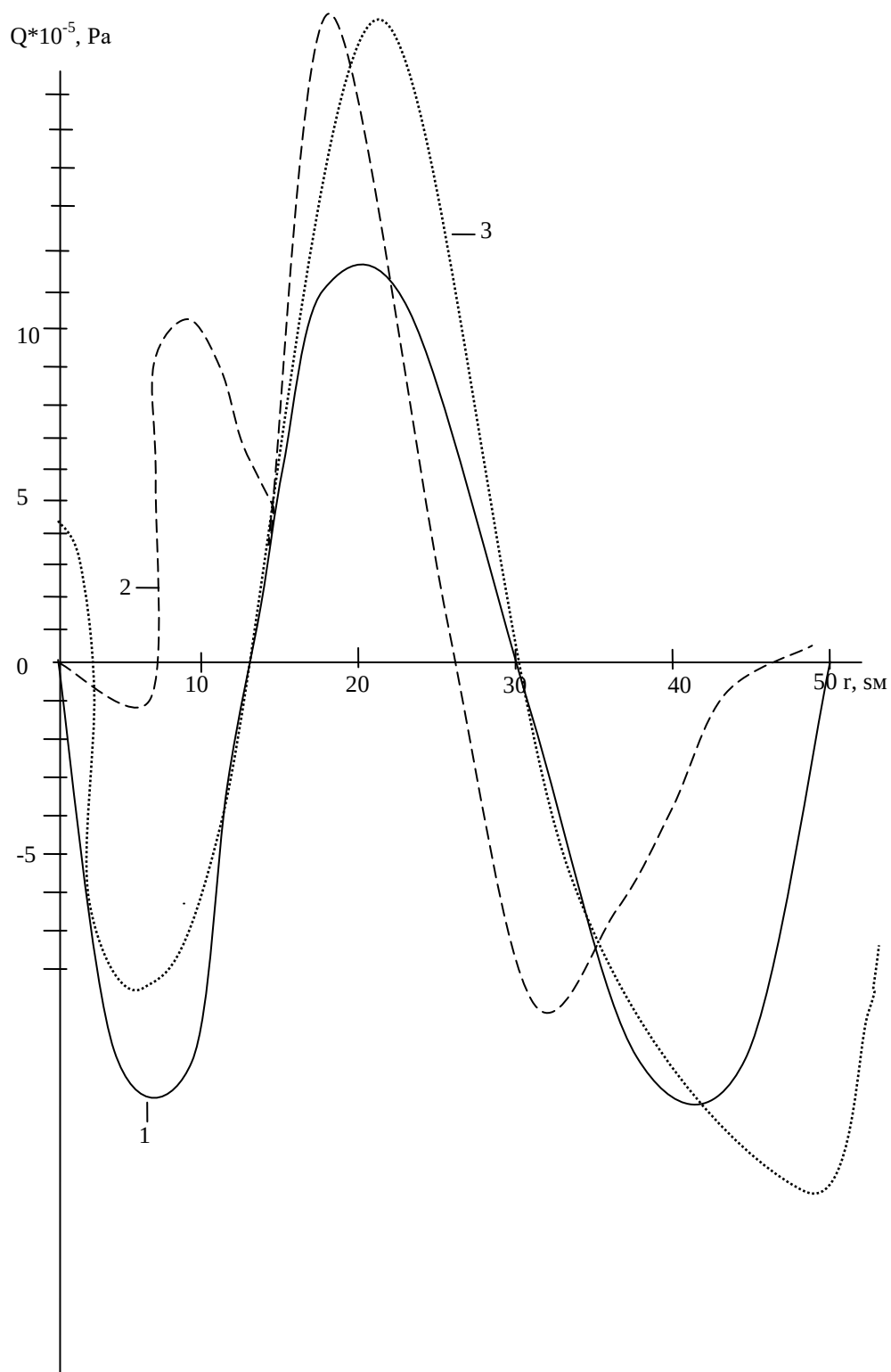
3.11-rasm. Plastinka radiysi bo'yilab N_1 va N_2 kuchlarning vaqtning $t=6 \cdot 10^{-4}$ s momenti uchun ta'siri, 2 ta halqa plastinkaga mahkamlangan, halqalar markazga yaqin (1-chiziq), o'rtada (2-chiziq) va chegaraga yaqin (3-chiziq).



3.12-rasm. Plastinka radiusi bo'yilab M_1 momentning vaqtning $t=6 \cdot 10^{-4}$ s. momenti uchun ta'siri, 2 ta halqa plastinkaga mahkamlangan, halqalar markazga yaqin (1-chiziq), o'rtada (2-chiziq) va chegaraga yaqin (3-chiziq).



3.13-rasm. Plastinka radiysi bo'yilab M_2 momentning vaqtning $t=6 \cdot 10^{-4}$ s. momenti uchun ta'siri, 2 ta halqa plastinkaga mahkamlangan, halqalar markazga yaqin (1-chiziq), o'rtada (2-chiziq) va chegaraga yaqin (3-chiziq)



3.14- rasm. Plastinka radiusi bo'yilab Q ko'ndalang kuchning vaqtning $t=6 \cdot 10^{-4}$ s. momenti uchun ta'siri, 2 ta halqalar plastinkaga mahkamlangan, halqalar markazga yaqin (1-chiziq), o'rtada (2-chiziq) va chegaraga yaqin (3-chiziq).

III-bob bo'yicha xulosalar

Dissertatsiya ishining uchinchi bobi “Impulsli yuklanishlar ta'siridagi halqali doiraviy plastinkani hisoblashdan olingan natijalar” deb nomlangan. Ushbu bobda plastinkaga o'rnatilgan halqalarning ko'dalang kesimini yuzini o'zgartirmasdan kesim eni va bo'yini o'zgarishi uch xil variantda qaralgan. Bu variantlarda plastinka nuqtalari ko'chishlari ichki so'riqish kuchlari va momentlari grafiklar yordamida taqqoslanadi. Shuningdek halqasiz plastinka, plastinkaga bitta halqa turli joylarda o'rnatilgan hollar uchun plastinka kuchlanganlik deformasiyalanganlik holatlari sonli tadqiq qilingan va olingan natijalar grafiklar ko'rinishida tasvirlanib xulosalar qilingan. Plastikaga ikkita halqa bilan mustahkamlangan holatda 3 ta variant, plastinka markaziga yaqin, markaz va chegara o'rtasida va halqalar chegaraga yaqin joylashgan variantlarda plastinka markaziy nuqtasi ko'chishlari va ichki zo'riqish kuchlarini aniqlashlandan olingan natijalarning grafiglarda tasvirlangan.

XULOSA

Magistrlik dissertatsiyasi doirasida quydagi asosiy ishlar bajarildi:

- Kirish qismida masalaning qo'yilishi ishning dolzarbligi ishning maqsad va vazifalari haqida tushunchalar berilgan. Shuningdek masalaning ilmiy va amaliy ahamiyati yechish usullari haqida ma'lumotlar keltirildi;

- Umumlashgan funksiyalardan Dirakning delta va Hevisaid funksiyalari xossalari va qo'llanilishi o'rganildi;

- Doiraviy plastinkalar uchun asosiy gipoteza va munosabatlar o'rganildi;

- Halqali doiraviy plastinkalar chiziqlimas nazariyasidagi asosiy munosabatlar; ko'chishlar, kuchlanishlar, deformasiyalar va kuchlarni ifodalanishi qarab chiqilgan;

- Halqalar bilan kuchaytirilgan plastinka harakat tenglamalari va ulardagi munosabatlar chekli ayirmalar usuli yordamida almashtiriladi. Sonli approksimasiya kuchlarga, deformasiyalarga, kuchlanishlar ifodasiga nisbatan qo'llanilgan;

- Plastinkaga o'rnatilgan halqalar ko'ndalang kesimining o'zgarishi plastinka markaziy nuqtasining vaqt bo'yicha ko'chishlari grafirlarini taqqoslashdan plastinka nuqtalarining ko'chishlari unga joylashgan halqalar soni va joylashishidan bog'liqligi ko'rsatilgan;

- Plastinkaga ornatilgan halqalarning ko'dalang kesimini yuzini o'zgartirmasdan kesim eni va bo'yini o'zgarishi uch xil variantda qaraldi. Bu variantlarda plastinka nuqtalari ko'chishlari ichki so'riqish kuchlari va momentlari grafiklar yordamida taqqoslanadi. Grafiklardan ko'rish mumkinki, plastinka markaziy nuqtasi ko'chishlarining maksimal qiymati kichik bo'ladigan variant bu kichik enli balandligi katta halqalar o'rnatilgan variantda kuzatiladi. Bundan shunday xulosa qilish mumkinki, halqa material hajmini o'zgartirmasdan kondalang kesimi yuzasini saqlagan holda balandligini oshirish hisobiga konstruksiya mustahkamligini oshirish imkoniyati mavjud ekan.

Konstruksiyadagi zo'riqish kuchlari va momentlarni xarakterlovchi grafiklardan ko'rinadiki N_1 normal zo'riqish kuchi radius bo'yicha o'zgarishi turli

vaqt momentlarida qaralgan uchala variantda ham bir tekis ekanligi kuzatiladi. N_2 normal kuch va M_2 eguvchi moment notekis o'zgaruvchi bo'lib radial zo'riqishlar halqa o'rnatilgan joylarda pog'anali ravishda oshadi.

- halqasiz plastinka plastinkaga bitta halqa turli joylarda o'rnatilgan va hollar uchun olingan natijalardan ko'rinadiki, halqa markazga yaqin joylashganda markaziy nuqta tebranishlari davri va amplitudasi oshadi, chastotasi esa deyarli ikki marta kamayadi. Halqa chegaraga yaqin joylashganda tebranish amplitudasi maksimal qiymati kamayadi.

Radius bo'yicha egilishlar grafiklarini solishtirishdan ko'rinadiki, halqa markazga yaqin joylashganda plastinkaning halqa joylashgan nuqtalarga yaqin qismlardagi egilish deformatsiyasi halqasiz holatga nisbatan kamayadi. Halqa chegaraga yaqin holda ham halqasiz holat bilan solishtirishdan ham radius bo'yicha ko'chishlar halqasiz holatga nisbatan sezilarli darajada kamayishini kuzatish mumkin.

- Plastikaga ikkita halqa bilan mustahkamlangan holatda 3 ta variant plastinka markaziga yaqin, markaz va chegara o'rtasida va halqalar chegaraga yaqin joylashgan variantlarda plastinka markaziy nuqtasi ko'chishlarini aniqlashda olingan natijalarning grafiglaridan ko'rinadiki, plastinka markaziy nuqtasi tebranishlari amplitudasi qiymatini o'zgarishi halqasizsiz holatga nisbatan ko'chishlarning maksimum qiymati ikki marta kamayadi. Halqalar chegaraga yaqin joylashgan variant ko'chishlarining maksimum qiymati halqasiz plastinka markaziy nuqtasi ko'chishlari maksimum qiymatidan ham kattaroq ekanligini ko'rish mumkin. Zo'riqish kuchlari, momentlar va ko'ndalang kuchlar ta'sirini grafiklarida halqa joylashgan nuqtalarda keskin o'zgarishini kuzatish mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

Normativ-huquqiy hujjatlar:

1. O'zbekiston Respublikasi prezidentining 2012 yil 24-iyuldagi PF-4456 farmoni "Oliy malakali ilmiy va ilmiy-pedagog kadrlar tayyorlash va attestatsiyadan o'tkazish tizimini yanada takomillashtirish to'g'risida"
2. Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirining 2012 yil 29 oktyabrdagi 418-son buyrug'I bilan tasdiqlangan O'zbekiston Respublikasi Adliy vazirligida 2012 yil 18 dekabrda №2405-son bilan davlat ro'yxatidan o'tkazilgan "Magistratura to'g'risidagi nizom".

Darslik va o'quv qo'llanmalar:

1. Вольмир А.С. Нелинейная динамика пластин и оболочек. – М.: Наука, 1972. – 432 с.
2. Вольмир А.С. Устойчивость деформируемых систем. – М.: Наука, 1967. – 984 с.
3. Галиев Ш.У. Динамика гидроупругопластических систем. – Киев: Наук. думка, 1981. – 275 с.
4. Галиев Ш.У., Каршиев А.Б. Особенности неожиданного поведения плоских и искривленных пластин после снятия импульсной нагрузки// Пробл. прочности. – 1990. – № 3. – С. 95-98.
5. Галиев Ш.У., Каршиев А.Б. Численный анализ точности моделей ребристого сферического купола, подверженного импульсному нагружению // Пробл. прочности. – 1990. - №5. – С. 83-86.
6. Галиев Ш.У., Каршиев А.Б., Абдирашидов А. Особенности деформирования сферического купола при импульсном нагружении// Пробл. прочности. – 1989.- № 3. –С. 91-94.

7. Галиев Ш.У., Нечитайло Н.В. Динамика формоизменения тонких пластин в оболочки вращения. – Киев, 1985. –48 с.(Препр./ АН УССР. Ин-т пробл. прочности).
8. Дресвянников В.И. О численной реализации нелинейных уравнений динамики упругопластических оболочек// Прикл. пробл. прочности и пластичности. – Вып. 3. – С. 82-91.
9. Карпов В. В. Устойчивость ребристых оболочек при больших перемещениях.-Л.: Стройиздат. Ленингр. Отд-ние, 1986.-168с.
- 10.Лаврентев М.А., Шабат Б.В. Проблемы гидродинамики и их модели. – М.:Наука,1973.
11. Мышонков А. К. Поведение цилиндрической оболочки, подкрепленной кольцевыми ребрами жесткости, при действии осесимметричной динамической нагрузки// Прикл. Механика.-1985.-21, №7-с.116-119.
- 12.Фиалко С. Ю. Исследование влияния начальной погиби на частоты собственных колебаний ребристых конических оболочек // Прикл. механика.-1982.-18, №11.-С. 118-122.
- 13.Холмуродов Р.И., Каршиев А.Б. Расчет элементов конструкций с нарушениями регулярности структуры.-Тошкент, Издательство имени Абу Али ибн Сино, 2002.-288с.

Internet saytlari

<http://www.edu.uz-ta'lim> sayti

<http://www.edu.ru-ta'lim> sayti

<http://www.exponenta.ru-ta'lim> sayti

<http://www.ziyonet.uz>- adabiyotlarning elektron variantlari

Dasturlar

Unit Common;

INTERFACE

Type

```

Dt={double}real;
Mas1=array[1..31] of Dt;
Mas2=array[1..31,1..5] of DT;
MasR=array[1..10] of real;

```

Var

```

R,Rc,H,Hb,Lc:Dt;
E,Ro,Pu:Dt;
E1,E2,St,Et:Dt;
w,w1,w2,u,u1,u2,pc,pc1,pc2:mas1;
hn1,hn2,hm1,hm2,hq:mas1;
e10,e20,eg0,zk1,zk2:mas1; wp1,wp2:mas1;
eax,eay,ebx,eby,ezx:mas1;
ex,ey,ei,exz:mas2;
sigx,sigy,sigxz,sigi,kki:mas2;
rm,q:Mas1;
j,n1,n2,n3,ivk,Icd1,Icd,kg,m,N,Nz,m1,m1m1,k:integer;
tt,Tkt,Tau,Tk,Hr,HZ,Cs,P0,A1:Dt;
Ak,eh,eh3,ehk,roh,roh3,ek1,ek2,hr2,h2r,tau2,r12:Dt;
ij,ij1,jp1,ij2,mp1,mm1:integer;
pi2,wpp,wpr:Dt;
{halqani hisoblaganda}
ir,kk,igp:integer;
A02j,E1r,E2r,Gr13,Pur1,Pur2,hreb,Creb,Crebd2,Ror:real;
Rmej,rkor:real;
Rka,Rkb:MasR;
ikav:Mas1;

```

IMPLEMENTATION

begin

END.{Common}

```

□Unit RUnit;
INTERFACE
  Uses Common;
  Procedure Psoreb(ir:integer;E,ro,pu,R,Rc,H:Dt;
                  A02j:real; igp:integer; ikav:Mas1;
                  kkr,izr:integer;
                  elr,e2r,gr13,pur1,pur2,hreb,creb,rmej:Dt;
                  rka,rkb:MasR;
                  hr,tau:Dt;
                  m1,j:integer; rm,Q:Mas1;
                  Var u1,u2,u,w1,w2,w,pc1,pc2,pc,
e10,e20,eg0,zk1,zk2,hn1,hn2,hm1,hm2,hq:Mas1);
IMPLEMENTATION
  Procedure Psoreb(ir:integer;E,ro,pu,R,Rc,H:Dt;
                  A02j:real; igp:integer; ikav:Mas1;
                  kkr,izr:integer;
                  elr,e2r,gr13,pur1,pur2,hreb,creb,rmej:Dt;
                  rka,rkb:MasR;
                  hr,tau:Dt;
                  m1,j:integer; rm,Q:Mas1;
                  Var u1,u2,u,w1,w2,w,pc1,pc2,pc,
e10,e20,eg0,zk1,zk2,hn1,hn2,hm1,hm2,hq:Mas1);
  Var
    ww1,w2r,hh,F1,F2,F3:Dt;
    tau2,t2au,hr2,h2r,hrd2,r12,r22:Dt;
    hd2,a0r,pkav,bir,bir12,ref,rej,res:Dt;
    elf,els,e1j,e2f,e2s,e2j,g13f,rof,ros,roj,bda:Dt;
    cdre,ikab,f11,f22,f33,a0t,rp1,rp2,rp3,rp4:Dt;
    rpi,rp5,rp6,rp7,rp8:Dt;
    m2,mp1,mml,m,i:integer;
Begin
  hd2:=h/2;
  tau2:=tau*tau; t2au:=2*tau;
  hr2:=hr*hr; h2r:=2*hr; hrd2:=hr/2;
  m2:=m1-1;
  a0r:=a02j*tau/2; pkav:=-0.2e+6;
  {Hamma modellerar uchun umumiy blok}
  bir:=1-pu*pu; Eh:=E*h/bir; Eh3:=E*h*h*h/bir/12;
  Ehk:=(5/6)*E*h/(1+pu)/2;
  Roh:=ro*h; Roh3:=Roh*h*h/12;
  Ref:=hreb; Res:=(h*hreb+hreb*hreb)/2;
  Rej:=(hd2*hd2+hd2*hreb+sqr(hreb)/3)*hreb;
  {модель Ir=1}
  If Ir=1 then begin
    Bir12:=1-pur1*pur2;
    Elf:=Elr*Ref/bir12; Els:=Elr*Res/bir12;
    E2f:=E2r*Ref/bir12; E2s:=E2r*Res/bir12;
    E1j:=Elr*Rej/bir12; E2j:=E2r*Rej/bir12;
    G13f:=Gr13*hreb*5/6; Rof:=Ro*(hreb+h);
    Ros:=Ro*res; Roj:=Ro*rej+Roh3; bda:=Ros/rof;
  end;{If Ir=1 ....}
  {Model Ir=2}
  If Ir=2 then begin

```

```

cdre:=creb; rp1:=cdre*hreb;
Rof:=Roh+Ro*rp1; Roj:=Roh3+Ro*cdre*rej;
Elf:=Elr*hreb*cdre; E2f:=E2r*hreb*cdre;
Els:=Elr*cdre*res; E2s:=E2r*cdre*res;
Elj:=Elr*cdre*rej; E2j:=E2r*cdre*rej;
G13f:=gr13*hreb*cdre*5/6;
end;{If Ir=2 .....}
{Model Ir=3}
If Ir=3 then begin
  Rof:=Roh+Ro*creb*hreb; Roj:=Roh3+Ro*creb*rej;
  Elf:=Elr*hreb*creb/hr; E2f:=E2r*hreb*creb/hr;
  Els:=Elr*creb*res/hr; E2s:=E2r*creb*res/hr;
  Elj:=Elr*creb*rej/hr; E2j:=E2r*creb*rej/hr;
  G13f:=gr13*hreb*creb*5/6;
end;{If Ir=3 .....}
{j- vaqt qadami}
for m:=2 to m2 do
begin
  mp1:=m+1; mm1:=m-1;      ikab:=ikav[m];
  r12:=(rm[m]+rm[mm1])/2; r22:=(rm[mp1]+rm[m])/2;
  hh:=(r22*hn1[mp1]-r12*hn1[m])/hr;
  F1:=hh/rm[m]-(hn2[mp1]+hn2[m])/2/rm[m];
  F2:=(r22*hq[mp1]-r12*hq[m])/hr/rm[m];
  F2:=F2+(w2[mp1]-2*w2[m]+w2[mm1])/hr2+1/R)*(hn1[mp1]+hn1[m])/2;
  F2:=F2+(w2[mp1]-w2[mm1])/h2r/rm[m]+1/R)*hh+Q[m]*ikab;
  F3:=(r22*hm1[mp1]-r12*hm1[m])/hr/rm[m];
  F3:=F3-(hm2[mp1]+hm2[m])/2/rm[m]-(hq[mp1]+hq[m])/2;
  If Ir<>2 then begin
    {qobirg'a yo'q nuqtalarda}
    f11:=f1/roh; f22:=f2/roh; f33:=f3/roh3; A0t:=a0r/roh;
  end else begin
    f11:=F1/rof; f22:=f2/rof; f33:=f3/roj;
  end;{if}
  If (Ir=1) or (Ir=3) then begin
    For i:=1 to kkr do begin
      If (rm[m]>=rka[i]-2.0e-3) and (rm[m]<=rkb[i]+2.0e-3)
then begin
        rp1:=(F3-F1*bda*izr)/(roj-izr*bda*ros);
        f11:=f1/rof-izr*bda*rp1; f22:=f2/rof; f33:=rp1;
      end;{If }
    end;{For i:=1.....}
  End;{For (Ir=1)....}
  {Ko'chishlar va burilish burchaklari}
  u[m]:=2*u2[m]-u1[m]+tau2*F11;
  w[m]:=2*w2[m]-w1[m]+tau2*F22;
  pc[m]:=2*pc2[m]-pc1[m]+tau2*F33;
end;{If j<>1}
{Chegaraviy shartlar}
w[1]:=(4*w[2]-w[3])/3; w[m1]:=0.0;
u[1]:=0.0; u[m1]:=0.0;
pc[1]:=0.0; pc[m1]:=0.0;
{deformasiyalar}

```

```

For m:=2 to m1 do
begin
  mm1:=m-1; r12:=(rm[m]+rm[mm1])/2;
  ww1:=(w[m]-w[mm1])/hr; w2r:=(w[m]+w[mm1])/2/R;
  e10[m]:=(u[m]-u[mm1])/hr-w2r+ww1*ww1/2;
  e20[m]:=(u[m]+u[mm1])/2/r12-w2r;
  eg0[m]:=ww1+(pc[m]+pc[mm1])/2;
  zk1[m]:=(pc[m]-pc[mm1])/hr;
  zk2[m]:=(pc[m]+pc[mm1])/2/r12;
end;{For m:=2}

For m:=2 to m1 do
begin
  r12:=(rm[m]+rm[m-1])/2;
  rp1:=e10[m]+Pu*e20[m];
  rp2:=e20[m]+Pu*e10[m];
  rp3:=zk1[m]+Pu*zk2[m];
  rp4:=zk2[m]+Pu*zk1[m];
  hn1[m]:=Eh*rp1;
  hn2[m]:=Eh*rp2;
  hm1[m]:=Eh3*rp3;
  hm2[m]:=Eh3*rp4;
  hq[m]:=Ehk*eg0[m];
  {model Ir=1}
  If ir=1 then begin
    For i:=1 to kkr do begin
      If (r12>=rka[i]-2.0e-3) and (r12<=rkb[i]+2.0e-3) then
        begin rpi:=1;
          rp5:=e10[m]+Pur2*e20[m];
          rp7:=e20[m]+Pur1*e10[m];
          rp6:=zk1[m]+Pur2*zk2[m];
          rp8:=zk2[m]+Pur1*zk1[m];
        {
          Write(hn1[m],hn2[m],hm1[m],hm2[m],hq[m]); writeln;
          hn1[m]:=hn1[m]+rpi*(e1f*rp5+e1s*rp6);
          hn2[m]:=hn2[m]+rpi*(e2f*rp7+e2s*rp8);
          hm1[m]:=hm1[m]+rpi*(e1s*rp5+e1j*rp6);
          hm2[m]:=hm2[m]+rpi*(e2s*rp7+e2j*rp8);
          hq[m]:=hq[m]+rpi*g13f*eg0[m];
        {
          Write(hn1[m],hn2[m],hm1[m],hm2[m],hq[m]); writeln; }
        end;{If (r12>=rka...}
      end;{for i:}
    end;{if ir=1..}
    If Ir=2 then begin
      hn1[m]:=hn1[m]+e1f*e10[m]+e1s*zk1[m];
      hn2[m]:=hn2[m]+e2f*e20[m]+e2s*zk2[m];
      hm1[m]:=hm1[m]+e1j*zk1[m]+e1s*e10[m];
      hm2[m]:=hm2[m]+e2j*zk2[m]+e2s*e20[m];
    end;{If ir=2}
  end;{For m:=2}
End;{Psoreb}

end.{Obl}

```

```

program soreb;
  Uses Crt, Common, RUnit;
  Var
    Fayl1, Fayl2: Text;
    NameF: string;
    il0, ijml, i: integer;
    V: array[1..100, 1..6] of real;
begin
  ClrScr;
  Writeln(' ', ':');
  Readln(NameF);
  Assign(Fayl1, NameF);
  Rewrite(Fayl1);
  Assign(Fayl2, 'grafik.da` `
t');
  Rewrite(Fayl2);
  {Plastinka geometric xarakteritikalari}
  H:=1.0e-2; {H:=(1.0e-2)+(4*(13.32e-4))/(50e-2);} Rc:=0.5;
  R:=2.0; { Hb:=5.0e-3;}
  Hb:=R-sqrt(R*R-Rc*Rc); {R:=(Rc*Rc+Hb*Hb)/2/Hb;}
  Writeln(Fayl1, 'R=', R, ' Rc=', Rc, ' Hb=', Hb, ' H=', H);
  {Qobirg'a o'lchamlari}
  Hreb:=4.0e-2; Creb:=3.33e-2;
  {?} If ir<>0 then writeln(Fayl1, 'Hreb=', Hreb:8:3, '
Creb=', Creb:8:3);
  {plastinka elastiklik xarakteristikalar}
  E:=71500.0e+6; Ro:=2800.0; Pu:=0.3;
  Writeln(Fayl1, 'E=', E, ' Ro=', Ro, ' Pu=', Pu);
  {Plastinka elastiklik xarakteristikalar}
  E1R:=E; E2r:=E; Gr13:=E/2/(1+pu);
  Pur1:=pu; pur2:=pu; Ror:=ro;
  n1:=200; n3:=10; n2:=2;
  For kg:=2 to n2 do
  begin
    {Ayirmali sxema}
    m1:=31; m1m1:=m1-1; Hr:=Rc/m1m1; Cs:=sqrt(E/Ro/(1.0-
Pu*Pu));
    hr2:=hr*hr; Writeln('hr=', hr);
    Tau:=1.5e-6;
    N:=2000; {vaqt bo'yicha qadamlar soni}
    Tk:=N*Tau;
    Icd1:=200; Icd:=20;
    { yuklanish parametrlari }
    P0:=2.50e+6; A1:=1.0e-3; igp:=0;
    For i:=1 to m1 do ikav[i]:=1;
    {Boshlang'ich shartlar}
    For m:=1 to m1 do
    begin
      u1[m]:=0; u2[m]:=0; U[m]:=0;
      w1[m]:=0; w2[m]:=0; w[m]:=0;
      pc1[m]:=0; pc2[m]:=0; pc[m]:=0;
      hn1[m]:=0; hn2[m]:=0; hm1[m]:=0; hm2[m]:=0; hq[m]:=0;
      eax[m]:=0; eay[m]:=0; ebx[m]:=0; eby[m]:=0; ezx[m]:=0;

```

```

For k:=1 to Nz do
begin
  ei[m,k]:=0;ex[m,k]:=0;ey[m,k]:=0;exz[m,k]:=0;
  sigx[m,k]:=0;sigy[m,k]:=0;sigxz[m,k]:=0;sigi[m,k]:=0;
end;{For k}
end;{For m}
  Ek1:=E/(1-Pu*Pu); Ek2:=E/2/(1+Pu);
For m:=1 to m1 do rm[m]:=(m-1)*hr;
  ij1:=0; ij:=1; jp1:=1; ij2:=1;
{Halqalarning joylashishi}
  kkr:=2; Rmej:=10.0e-2; Crebd2:=creb/2;
  Rkor:=10.0e-2;
For i:=1 to kkr do
begin
  rkor:=rkor+Rmej;
  {if i=1 then rkor:=rmej/2;}
  Rka[i]:=Rkor-crebd2; Rkb[i]:=Rkor+crebd2;
  writeln(Fayl1,1.0e+2*Rka[i]:8:3,' ',1.0e+2*Rkb[i]:8:3);
end;
For j:=1 to N do
begin
  tt:=j*Tau;
  {tashqi yuklanish}
  For m:=1 to m1 do q[m]:=P0*exp(-tt/al);
  {deformatsiyalarni hisoblash}
  Psoreb(kg-1,E,ro,pu,R,Rc,H,A02j,igp,ikav,kkr,1,
    elr,e2r,gr13,pur1,pur2,hreb,creb,rmej,
    rka,rkb,hr,tau, m1,j, rm,Q,
    u1,u2,u,w1,w2,w,pc1,pc2,pc,
    e10,e20,eg0,zk1,zk2,hn1,hn2,hm1,hm2,hq);
{
  writeln('j=',j);
}
  If j=ij*icd then
  begin
    V[ij,1]:=tt*1.0e+4;
    V[ij,kg]:=w[1]*1.0e+3;
    ij:=ij+1;
  End;{If j=.....}
  If j=ij2*icd1 then
  begin
    ij2:=ij2+1; Writeln(Fayl1,j:6,'
      (t=',(1.0e+6*tt):6:2,'Mká');
    Writeln(Fayl1,' ');
    For m:=1 to m1 do
    begin
      If (m=11) or (m=21) or (m=31) or (m=41) or (m=51) then
        writeln(Fayl1);
      Write(Fayl1,(1.0e+3*w[m]):7:3,' ');
      Write(Fayl1,(1.0e-6*hn2[m]):7:3,' ');
    end;
    writeln(Fayl1); Writeln(Fayl1,' ');
    i10:=ij-9; ijm1:=ij-1;
    For i:=i10 to ijm1 do Write(Fayl1, V[i,kg]:7:3,'
      ');writeln(Fayl1);
  end;
}

```

```

end;{If j=ij2.....}
      {vaqtning keyingi qadamlari uchun massivlarni
ifodalanishi}
For m:=1 to m1 do
begin
    w1[m]:=w2[m]; w2[m]:=w[m];      u1[m]:=u2[m]; u2[m]:=u[m];
    pc1[m]:=pc2[m]; pc2[m]:=pc[m];
end;{For m}
end;{For j}
end;{For kg}
Close(Fayl1);
For i:=1 to 100 do
    Writeln(Fayl2,V[i,1]:10:3,V[i,3]:10:3);
    {,V[i,2]:10:3,V[i,4]:10:3);}
    Close(Fayl2);
    Wrintln (ə===== TAMOM =====)
end.

```