

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

**ALISHER NAVOIY NOMIDAGI
SAMARQAND DAVLAT UNIVERSITETI**

MEXANIKA-MATEMATIKA FAKULTETI

“MEXANIKA” KAFEDRASI

XUDOYBERDIYEV OBID

**DOIRAVIY SHAKLDAGI PLASTINKANING O'QQA NISBATAN
SIMMETRIK EGILISHI HAQIDAGI SODDA MASALALAR**

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

BITIRUV MALAKAVIY ISHI

Himoyaga ruxsat berildi

Fakultet dekani:

prof. A.Soleev

Kafedra mudiri:

prof. X.Xudoynazarov

Ilmiy rahbar :

ass. O'. Nishonov

M.O'.

Samarqand 2012

**Alisher Navoiy nomidagi Samarqand Davlat Universiteti Mexanika-
matematika fakultetining 4 kurs talabasi Xudoyberdiyev Obidning “ Doiraviy
shakldagi plastinkaning o’qqa nisbatan simmetrik egilishi haqidagi sodda
masalalar ” mavzusidagi malakaviy bitiruv malakaviy ishiga**

M U L O H A Z A

Hozirgi zamon fan va texnikasining taraqqiyoti bir qancha muhandislik, konstruktorlik ishlarini rivojlantirishni talab qilmoqda. Qurilishda ko’p ishlatiladigan plastinkalarning har xil ko’rinishdagi yuklanishlar ta’sirida kuchlanganlik holatini o’rganishning qulay usullaridan foydalanish va bu usullarni takomillashtirish ehtiyojlari tug’ilmoqda.

Bitiruv malakaviy ish doirasida quyidagi ishlar amalga oshirilgan: plastinkalar nazariyasi asosiy tushuncha va gipotezalar haqida plastinkalar turlari haqida ma’lumotlar keldtirilgan; yupqa qattiq plastinka egilish tenglamalarini ular uchun o’rinli gipotezalar asosida keltirib chiqarish o’rganilgan; Shuningdek o’rganilgan tenglama yordamida momentli, taqsimlangan va jamlangan yuklanishlar ta’sirida doiraviy va halqali plastinkaning egilishi o’rganildi. Olingan yechimlar asosida plastinka turli kesimlarida hosil bo’ladigan radial va tangensial momentlar hamda ko’chishlar grafiklari tasvirlangan

Talaba Xudoyberdiyev Obidning “5440200-Mexanika” ta’lim yo’nalishi bo’yicha bakalavr darajasini olish uchun yozgan ushbu bitiruv malakaviy ishi qo’yilgan barcha talablarga javob beradi, agar u muvaffaqiyatli himoya qilinsa, “72 ball” bahoga loyiq deb hisoblayman.

Ilmiy rahbar:

ass. Nishonov O’. A.

**Alisher Navoiy nomidagi Samarqand Davlat Universiteti Mexanika-
matematika fakultetining 4 kurs talabasi Xudoyberdiyev Obidning “ Doiraviy
shakldagi plastinkaning o’qqa nisbatan simmetrik egilishi haqidagi sodda
masalalar ” mavzusidagi malakaviy bitiruv malakaviy ishiga**

T A Q R I Z

Plastinkalar nazariyasining qator masalalari berilgan chegaraviy shartli differensial tenglamalarga keltiriladi. Bu tenglamalarni yechish va olingan yechimlar asosida plastinkaning deformatsiyalanishini o’rganish muhim ahamiyat kasb etadi.

Bitiruv malakaviy ishida doiraviy plastinkaning simmetrik yuklanishlar ta’sirida deformatsiyalanishini o’rganish maqsad qilib qo’yilgan.

Ushbu bitiruv ishini bajarish davomida quyidagilar ishlarbajarilgan:

- Bitiruv ishning kirish qismida masalaning qo’yilishi ishning dolzarbligi ishning maqsad va vazifalari haqida tushunchalar berilgan.
- Ishining birinchi bobida plastinkalar nazariyasi asosiy tushuncha va gipotezalari hamda plastinka turlari bilan tanishildi. Shuningdek doiraviy plastinkalar kochish va deformatsiyalar, ichki zo’riqish kuchlari va ularning muvozanati shartiga ko’ra chiqarilgan muvozanat tenglamalarining egilishlar orqaliifodasi, doiraviy plastinka chetlarining turli xil mahkamlanishiga mos chegaraviy shartlar keltirib o’tildi.
- Ukkinci bobda esa tashqi yuklanish momentli, taqsimlangan va jamlangan hollar ta’sirida doiraviy va halqali plastinkaning egilishi o’rganildi. Olingan yechimlar asosida plastinka turli kesimlarida hosil bo’ladigan radial va tangensial momentlar hamda ko’chishlar grafiklari tasvirlangan

Bajarilgan ish bitiruv ishlari uchun qo’yilgan barcha talablarga javob beradi va mavzu yetarlicha darajada yoritilgan. Bitiruv ishini 74 ballga loyiq deb hisoblayman.

Taqrizchi:

***“Axborot texnologiyalari” kafedrası
dotsenti t. f. n Nomozov F.***

Mundarija

Kirish

I-BOB. PLASTINKALAR NAZARIYASINING ASOSIY TUSHUNCHA VA MUNOSABATLARI

§ 1.1. Plastinkalar nazariyasi asosiy tushuncha va gipotezalar

§ 1.2. Doiraviy plastinkada ko'chish, deformasiyalar va kuchlanishlar

**§ 1.3. Doiraviy plastinkada ichki zo'riqish kuchlari va ularning muvozanat
shartlari.**

II BOB. DOIRAVIY PLASTINKANING OQQA NISBATAN SIMMETRUK EGILISHI HAQIDAGI MASALARNI HISOBLASH

**§ 2.1 Qalinligi o'zgarmas sharnirli tayangan plastinkaning momentli
yuklanish ta'sirida egilishi**

§2.2 Chetlari momentli yuklangan halqali plastinka

§ 2.3. Tekis taqsimlangan yuklanish ta'siri ostidagi plastinka

§ 2.4. Tashqi tomoni qistirib mahkamlangan halqali plastinka

Xulosa

Foydalanilgan adabiyotlar royxati

Ilova

KIRISH

Masalaning qo'yilishi.

Ushbu bitiruv malakaviy ishini bajarish uchun turli ko'rinishdagi yuklanishlar ta'sirida doiraviy plastinkada hosil bo'ladigan zo'riqishlar va uning deformatsiyalanishini o'rganish masalasi qo'yilgan.

Mavzuning dolzarbligi.

Hozirgi zamon fan va texnikasining taraqqiyoti bir qancha muhandislik, konstruktorlik ishlarini rivojlantirishni talab qilmoqda. Qurilishda ko'p ishlatiladigan plastinkalarning yuklanishlar ta'sirida kuchlanganlik holatini o'rganishning qulay usullaridan foydalanish va bu usullarni takomillashtirish ehtiyojlari tug'ilmoqda.

Ishning maqsad va vazifalari.

Bitiruv malakaviy ishida doiraviy plastinkaning simmetrik yuklanishlar ta'sirida deformatsiyalanishini o'rganish maqsad qilib qo'yilgan. Buning uchun quyidagi vazifalar belgilab qo'yildi: plastinkalar nazariyasi uchun o'rinli asosiy munosabatlari bilan tanishish; plastinka egilishlarini ifodalovchi differensial tenglamarni o'rganish; differensial tenglamalarni taqribiy yechish usuli bilan atroflicha tanishish; o'rganilgan usul asosida doiraviy plastinka uchun uchun o'rinli tenglamalarni yechish, natijalarni olishda zamonaviy hisob mashinalaridan foydalanish olingan natijalar asosida grafiklar qurish.

Ilmiy tadqiqot metodlari.

Qurilish mexanikasi masalalarni yechish uchun berilgan jism cheksiz kichik elementining muvozanat tenglamasi hamda deformatsiya holatini ifodalovchi bir jinslimas differensial tenglamalarga keladi. Bu tenglamalar hususiy yechimlarga ega bo'lishi mumkin. Har bir hususiy yechim muayyan talablardan kelib chiqib jismga ta'sir etuvchi tashqi yukning xarakteri hamda chegaraviy shartlardan bog'liq holda aniqlanadi. Hususiy yechimlarni aniqlashda bu funksiyalar muvozanat tenglamalarini hamda berilgan jism sirtidagi shartlarni qanoatlantirishi kerak. Ishda burilish burchagiga nisbatan differensial tenglama keltirib chiqarilgan

va shu tenglam yechimlari orqali ko'chish va momentlarning ifodalari topilgan. Ularning radius bo'yicha o'zgarish grafiklari keltirilgan.

Ishning ilmiy ahamiyati.

O'rganilgan tenglama va munosabatlarni to'rtburchakli plastinka, sterjenlar va qobiqlarning tashqi kuchlar ta'sirida deformatsiyanishini o'rganish uchun rivojlantirish mumkin.

Ishning amaliy ahamiyati.

Muhandislik qurilmalari va ishlab chiqarishning bir qancha sohalarida ishlatiladigan doiraviy shakldagi plastinkalarning deformatsiyanish jarayonlarini matematik modellar yordamida tadqiq etish, mustahkamlikni tekshirish ularning ish qobiliyatini o'rganishda foydalanish mumkin.

Ishning tuzilishi.

Malakaviy bitiruv ishi hajmi 31 betdan iborat bo'lib, bular kirish, ikkita bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovadan tashkil topgan.

Ishning qisqacha mazmuni.

Bitiruv malakaviy ishida plastinkalar nazariyasidan asosiy ma'lumotlar keltirilgan. Plastinkaning egilishini ifodalovchi bir jinslimas differensial tenglama tashqi kuchlarning turli ko'rinishlari hisobga olingan holda yechilgan. Olingan yechimlar "Maple" dasturi yordamida grafik ko'rinishida tasvirlangan va plastinkaning tashqi kuch ta'sirida deformatsiyanish jarayoni o'rganilgan.

1-§. Asosiy tushuncha va gipotezalar

Plastinka deb bir o'lchami qolgan o'lchamlaridan yetarlicha kichik bo'lgan jismga aytiladi. Bu kichik o'lcham plastinkaning qalinligi deb ataladi. Plastinka o'rta sirti deb uning qalinligini teng ikkiga bo'luvchi sirtga aytiladi. O'rta sirtning chegarasidagi chiziqqa plastinka konturi deyiladi.

Bu esa plastinka o'rta sirti nuqtalari asosiy ko'chishlari vertikal ko'chishlar bo'lib w orqali ifodalanishini bildiradi. Bu ko'chish plastinka o'rta sirti egilishi deyiladi.

Plastinka qalinligi uni egilish xossasiga muhim ta'sir qiladi. Plastinkalarni a/δ -xarakterlovchi o'lchamiga qarab uchta turga ajratiladi. a -plastinka o'lchami δ -qalinligi.

Birinchi tur $a/\delta \geq 80 \dots 100$ bo'lganda plastinka membranaga aylanadi. Ular bilan ishlash ularning chetlarini maxkamlanishiga bog'liq bo'lib qoladi. Bunday plastinkalarning egilishiga qarshiligi juda kam va uning o'rta sirti cho'zilichida qo'yilgan ko'ndalang yuk ta'siri muhim rol o'ynaydi. Bu ta'sir membranaviy ta'sir deyiladi va membrana har bir elementiga qo'yilgan ko'ndalang yuklanishni z o'qiga proeksiyasidan tashkil topadi.

Juda ko'p ishlatiladigan o'rta oraliqdagi plastinkalar yupqa plastinkalar $5 \dots 10 \leq a/\delta \leq 80 \dots 100$ deb nomlanadi. Buko'rinishdagi plastinkalar ikki sinfga ajratiladi: 1) qattiq va 2) egiluvchan plastinkalar.

Agar yupqa plastinkalarda $w/\delta \leq 0,2 \dots 0,5$ bo'lsa bunday kichik ko'chishlarda asosiy rolni egishda kuch faktori o'ynaydi. (O'rta sirt deformasiyasini va membranaviy so'riqishlarni (kuchlarni) hisobga olmaslik mumkin) Bu turdagi plastinkalarga qattiq plastinka sinfiga kiradi.

Agar w/δ ko'rsatilgan xossalardan tashqari holda va o'rta sirt deformasiyasini hisobga olganda esa plastinkalar egiluvchan deyiladi. Masalan: temirbeton plastinkalar qattiq plastinkalarga oddiy misol bo'sa, yupqa temir list (tunuka) egilishi qo'yilgan yukka bog'liq qattiq ham egiluvchan.

Biz quyida yupqa qattiq plastinkalar egilishini hisobini qaraymiz. Bunday plastinkalar uchun o'rinli gipotezalar oddiy va chiziqli differensial tenglamalar bilan ifodalanadi. Egiluvchi plastinka (qobiq va membrana) tenglamalari nochiziqli ekanligi masalani qiyinlashtiradi.

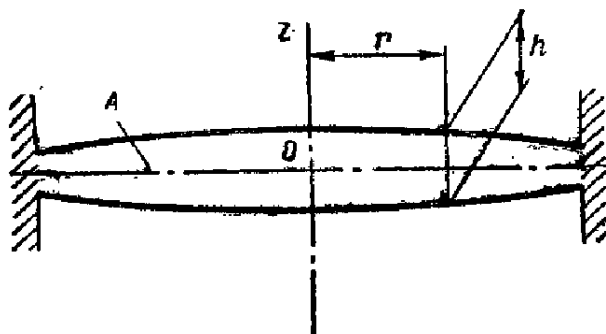
Qattiq yupqa plastinkalar nazariyasi faraz va cheklashlari quyidagicha ifodalanadi:

1. O'rta sirtga normal mn kesma deformatsiyalanganidan keyin ham o'rta sirtga normal va to'g'ri chiziqli element bo'lib qoladi. Bu holat "normal to'g'ri chiziq gipotezasi" deb nomlanadi.
2. Plastinka gorizontaal qatlamlarida kuchlanishni hisobga olmasa ham bo'ladi ($\sigma_z \approx 0$). Bu ikki faraz adabiyotlarda Kirxgof gipotezasi deb nomlanadi, qobiqlar uchun qo'llanilganda Kirxgof-Lyav gipotezasi deyiladi.
3. Uchinchi faraz haraktni cheklash bo'ladi. Ko'chishlar etarlicha kichik $w/\delta \leq 0,2 \dots 0,5$ va o'rta sirt membranaviy zo'riqishlarini hisobga olmasa ham bo'ladi.

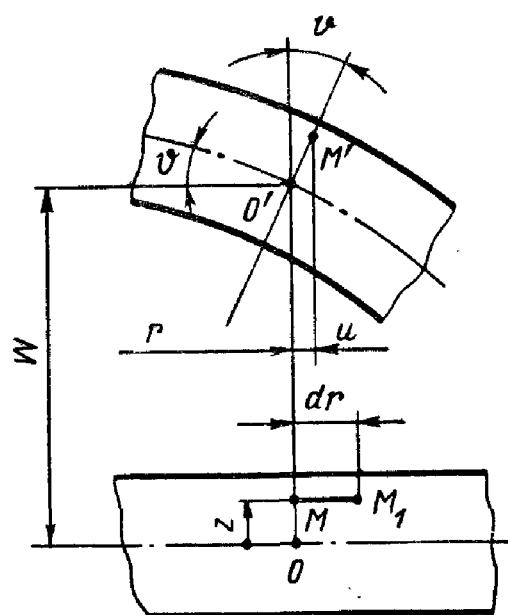
Doiraviy plastinkaning diametral kesimi sxematik tarzda 1.1-chizmada tasvirlangan. Bu yerda A - plastinka o'rta tekisligi, z -simmetriya o'qi h - simmetriya o'qidan r masofadagi plastinka qalinligi. Faraz qilamizki, radiusdan bog'liq ravishda yetarlicha sokin o'zgaradi, ya'ni

$\frac{dh}{dr} \ll 1$. Biz quyida o'rganadigan usulni

qalinligi keskin o'zgaruvchi plastinkalar (masalan, qalinligi pog'onali o'zgaruvchi plastinka) uchun ham qo'llash mumkin. Faqat



1.1-chizma



1.2-chizma

qalinligi o'zgaruvchi joylarda hisoblarda e'tiborga olinmaydigan kuchlanish konsentratsiyasi bo'ladi.

Birinchi gipotezaga ko'ra Deformatsiyagacha plastinka o'rta teksligiga normal bo'lgan OM element (1.2-chizma). Deformatsiyadan keyin ham egilgan o'rta sirtga noma'lumligicha qoladi. Kirxgoff gipotizalari nazariyaning faqat yupqa plastinkalar uchun qo'llanishi bilan chegaralaydi, ya'ni plastinkaning qalinligi h tashqi radius R ga nisbatan etarlicha kichik ($h/r < 0.2$).

Plastinkaning kichik egilishlarida o'rta sirtni har bir nuqtasi normal bo'lib siljiydi va o'rta sirtining cho'zilishi hisobga olinmaydi. Bu faraz plastinkaning chiziqli egilishi uchun ω/h nisbatni chegaraviy qiymati egilishlarining kichik gepotizasidan foydalaniladi plastinkaning mahkamlash usuli va yuklanishidan bog'liq bo'ladi.

§ 1.2. Doiraviy plastinkada ko'chish, deformatsiyalar va kuchlanishlar

Plastinkada deformatsiya kuchlanishni ifodalovchi asososiy munosabatlarni keltirib chiqaradi.

O'rta sirtning ko'chishi ω ni musbat deb hisoblaymiz, agar y z o'qining musbat yo'nalishi bilan bir xil yo'nalgan bo'lsa. O'rta sirtning burilish burchagi φ ni musbat deb hisoblaymiz, agar $z > 0$ bo'lganda plastinka nuqtalari simmetriya o'qidan uzoqlashsa. U holda kichik burchak uchun quyidagi munosabat bajariladi.

$$V = -\frac{d\omega}{dr} \quad (1.1)$$

Deformatsiya natijasida o'rta tekslikdan z masofada joylashgan M nuqta

$$U = Vz \quad (1.2)$$

radian ko'rinishni oladi.

Xuddi shunday o'rta sirtidan z masofada, lekin $r + dr$ radiusdagi M_1 nuqtada esa

$$U + \frac{\partial U}{\partial r} dr = (v + dv)z$$

ko'rinishni oladi.

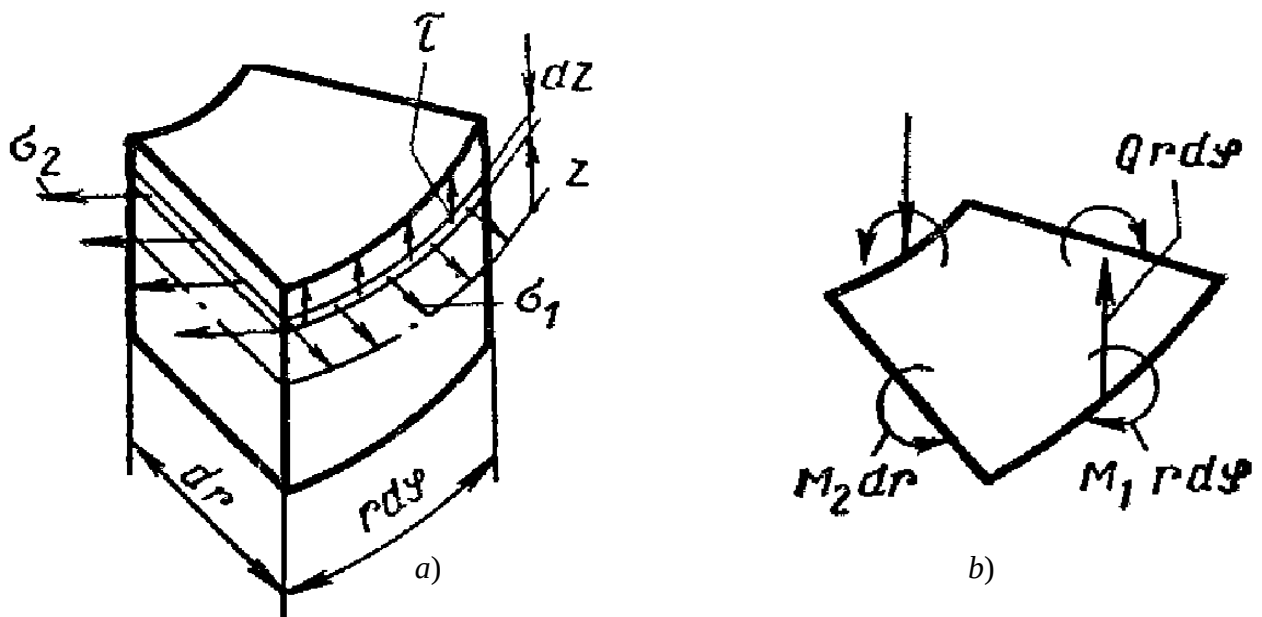
MM. radial tolaning nisbiy uzayishi

$$\varepsilon_r = \frac{(v + dv)z - vz}{dr} = \frac{dv}{dr}z. \quad (1.3)$$

M nuqtadan o'tuvchi, uzunligi deformatsiyalanishgacha $2\pi r$, deformatsiyalanishdan keyin esa $2\pi(r+u)$ halqali tolaning nisbiy uzayishini topamiz.

$$\varepsilon = \frac{2\pi(r+u) - 2\pi r}{2\pi r} = \frac{U}{r} = \frac{V}{r}z \quad (1.4)$$

(1.3) va (1.4) formuladan ko'rinadiki radial va doiraviy deformatsiyalar qalinlik bo'yicha chiziqli qonun bo'yicha o'zgaradi.



1.3-chizma

Plastinka o'rta sirtidan z masofada yotuvchi cheksiz kichik element yuzasiga ta'sir qiluvchi kuchlanishni qaraymiz (1.3 a – chizma). Uning radial kesimi sinmmetriya tekisligidan iborat bo'ladi, shuning uchun bu yerga faqat σ_2 normal kuchlanishlar ta'sir qiladi. Silindrik kesmlarda esa ham normal θ ham urunma σ_2 kuchlanishlar bo'ladi. Yuqorida qabul qilganimizga ko'ra o'rta tekislikka parallel kesmlarda σ_z normal kuchlanish e'tiborga olmaydigan darajada

kichik. Bu kesmlarda faqat urunma kuchlanishlar ahamiyatga ega (juftlik qonuniga ko'ra silindrik kesmdagi τ kuchlanishga teng).

Guk qonuniga ko'ra normal kuchlanishlar deformatsiyalar bilan quyidagicha bog'langan.

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{E}(\sigma_1 - \mu\sigma_2); \quad \varepsilon_2 = \frac{1}{E}(\sigma_2 - \mu\sigma_1)$$

yoki

$$\sigma_1 = \frac{E}{1-\mu^2}(\varepsilon_1 + \mu\varepsilon_2); \quad \sigma_2 = \frac{E}{1-\mu^2}(\varepsilon_2 + \mu\varepsilon_1).$$

Deformatsiya uchun (1.3) va (1.4) ifodalarni olib kelib qo'ysak

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{E}{1-\mu^2} \left(\frac{dv}{dr} + \mu \frac{v}{r} \right) z; \\ \sigma_2 &= \frac{E}{1-\mu^2} \left(\frac{dv}{dr} + \mu \frac{v}{r} \right) z. \end{aligned} \quad (1.5)$$

Qabul qilingan Kirxgoff gipotizasiga ko'ra τ urunma kuchlanishiga mos siljish deformatsiyasi hisobga olinmaydi, shuning uchun bu kuchlanishlarni Guk qonuniga ko'ra kuchlanishlar orqali ifodalash zarur emas.

§ 1.3. Doiraviy plastinkada ichki zo'riqish kuchlari va ularning muvozanat shartlari.

Plastinkaning doiraviy va radian kesmlarida birlik uzunlikka to'g'ri keluvchi, momentlar va kuchlarni (zo'riqishlarni) aniqlaymiz.

O'rta tekslik doiraviy kesimida birlik uzunlikka to'g'ri keluvchi ko'ndalang kuch

$$Q = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} r \, dz$$

va eguvch mament

$$M_1 = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \sigma_1 z dz.$$

Radian kesmga esa quyidagi eguvchi moment ta'sir etadi.

$$M_2 = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \sigma_2 z dz.$$

M_1 va M_2 lar uchun olingan formulalarga (1.5) munosabatlarni olib kelib qo'yamiz va plastinka qalinligi bo'yicha integrallashni bajarib, mamentlar va burilish burchagi V orasidagi bog'lanishni topamiz

$$\begin{aligned} M_1 &= D \left(\frac{dV}{dr} + \mu \frac{V}{r} \right); \\ M_2 &= D \left(\frac{dV}{dr} + \mu \frac{V}{r} \right). \end{aligned} \quad (1.6)$$

bu yerda D – silindrik qattiqlik

$$D = \frac{Eh}{12(1-\mu^2)} \quad (1.7)$$

Endi σ_1 va σ_2 normal kuchlanishlarni eguvchi momentlar orqali ifodalash mumkin.

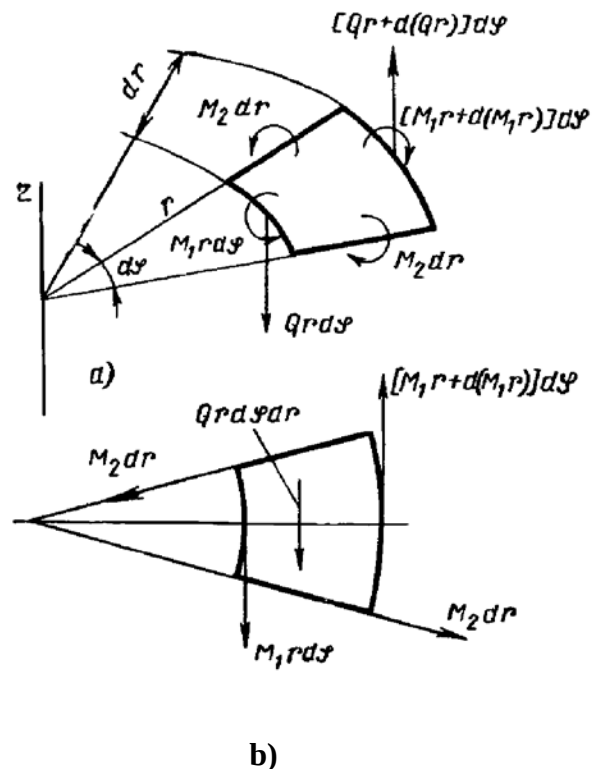
$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{12 M_1}{h^3} z; \\ \sigma_2 &= \frac{12 M_2}{h^3} z; \end{aligned} \quad (1.8)$$

Maksimal kuchlanishlar (absolyut qiymatga ko'ra) plastinkani tashqi sirtlarida $\left(z = \pm \frac{h}{2} \right)$ yuzaga keladi.

$$\sigma_1 \Big|_{\max}^{\min} = \pm \frac{GM_1}{h^2};$$

$$\sigma_2 \Big|_{\max}^{\min} = \pm \frac{GM_2}{h^2}$$

(1.9)



1.4 - rasm

Radian va doiraviy kesmlarning ikkita jufti bilan chegaralangan plastinka elementi muvozanatini qaraymiz.

Ichki kuchlar o'rta tekslikda keltirilganligi sababli o'rta sirtning elementni qarash yetarli (1.4–chizma). Chizmada ko'rsatilgan ichki kuchlardan tashqari elementga tashqi taqsimlangan $q(r)$ ta'sir qiladi. Agar y z o'qi bo'ylab yo'nalgan bo'lsa musbat, shuningdek ko'chish ω ham musbat hisoblanadi. Elementga qo'yilgan hamma kuchlarning aylanaga nisbatan momentlari yig'indisini tuzamiz 1.4 b rasmda momentlar vektor ko'rinishida keltirilgan. O'xshash hadlarni ixchamlab va dr $d\varphi$ ga bo'lganimizdan keyin quyidagi tenglamani hosil qilamiz

$$\frac{d}{dr}(M_1 r) - M_2 - Q_r = 0 \quad (1.10)$$

Momentlar tenglamasidan elementga ta'sir etuvchi tashqi kuch qatnashmaydi, chunki unga mos hadlar yuqori tartibli cheksiz kichik miqdordir. 1.4 - chizmada tasvirlangan elementga ta'sir etuvchi kuchlarning o'rta sirt normaliga proyeksiyalari yig'indisini qaraymiz. Unga mos tenglama $d\varphi$ dr ga qisqartirishdan keyin quyidagi ko'rinishni oladi.

$$\frac{d}{dr}(Qr) + q(r)r = 0 \quad (1.11)$$

(1.11) tenglamani integrallaymiz

$$Q = \frac{1}{r} \left[c - \int q(r)r dr \right] \quad (1.12)$$

Ko'rish qiyin emaski (1.2)tenglama plastinkaning radiusi r ga teng bo'lgan silindrik kesm bilan chegaralangan bo'lgani uchun muvozanat shartini ifodalaydi. Shu bo'lakka qo'yilgan kuchlarning plastinka simmitrik o'qiga proyeksiyalari yig'indisini tuzamiz va quyidagini topamiz (1.5 - chizma)

$$2\pi r Q - 2\pi r_0 Q_0 + \int_{r_0}^r q(r) 2\pi r dr = 0,$$

bundan esa

$$Q = \frac{1}{2\pi r} \left[Q_0 2\pi r_0 - 2\pi \int q(r) r dr \right] \quad (1.12 a)$$

(12 a) tenglik (12) dan integrallar o'zgarmasligini ifodalanishishi bilan farq qilladi. Ushbu

$$F(r) = 2\pi \int_{r_0}^r q(r) r dr - Q_0 2\pi r_0$$

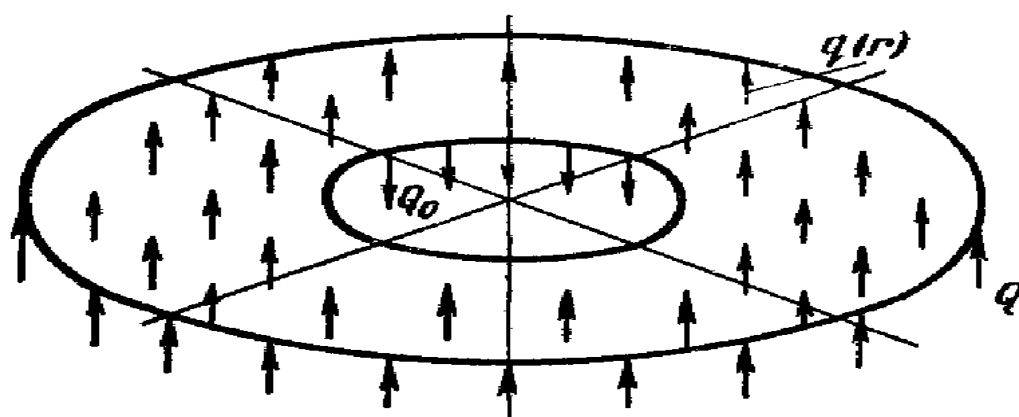
qattqlik r radiusli kesim bilan chegaralangan plastinka bo'lagiga ta'sir qiluvchi umumiy tashqi yuklanishni ifodalaydi. Bu qattiq radiusdan bog'liq bo'lgan ma'lum funksiyadir. Ko'ndalang kuch esa u bilan quyidagicha bog'langan

$$Q = -\frac{F(r)}{2\pi r} \quad (1.13)$$

Yuqorida olingan tenglamalar plastinka hisobining asosini tashkil qiladilar.

(1.10) muvozanat tenglamasiga (1.16) munosabatni qo'yib ayniy almashtirishdan keyin quyidagi differensial tenglamaga kelimiz.

$$\frac{d^2 V}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dV}{dr} - \frac{1}{r^2} V + \frac{1}{D} \frac{dD}{dr} \left(\frac{dV}{dr} + \mu \frac{V}{r} \right) = \frac{Q}{D} \quad (1.14)$$



1.5 – chizma

Bu tenglamaning o'ng tomoni bizga ma'lum radiusning funksiyasidir (1.13) formulaga ko'ra . 1.14 tenglamani integrallshda chegaraviy shartlardan

aniqlanishi kerak bo'lgan ikkita integrallash o'zgarmasi paydo bo'ladi. Bu shartlar ichki va tashqi konturlarda quyidagi ko'rinishga ega. Agar chegara qattiq mahkamlangan bo'lsa, u holda $V=0$;

Agar chegara erkin yoki sharnirli tanlangan bo'lsa, u holda

$$M_1 = D \left(\frac{dV}{dr} + \mu \frac{V}{r} \right) = 0;$$

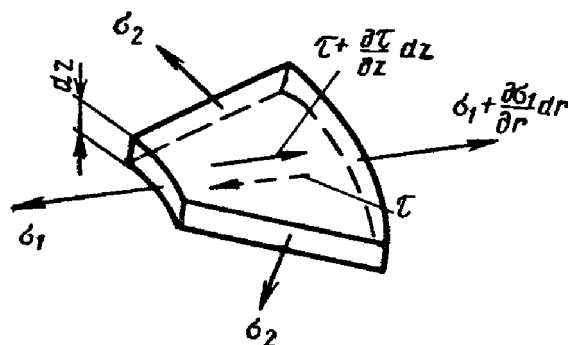
Elastik mahkamlangan holda chegara burilishlariga nisbatan

$$V \pm \delta M_1 = 0$$

bu yerda δ -elastik tayanchning egiluvchanligi (ya'ni birlik moment ta'sirida burilish burchagi);

“+” ishorasi tashqi konturga “-” ishora esa ichki konturga mos keladi.

Agar plastinka tutash bo'lsa (ya'ni markazida teshik bo'lmasa), uholda ichki konturdagi chegaraviy shart o'rniga $V|_{r=0} = 0$ shartdan foydalaniladi.



1.6-chizma

Plastinkaning ω egilishlarini topish uchun (1.1) tenglamani integrallash kerak bo'ladi. Bunda integrallash o'zgarmasi mahkamlangan konturda topiladi. Burish burchagi topilgandan keyin (1.6) formulalar yordamida egiluvchi momentlarni va (1.8),(1.9) formulalar yordamida σ_1, σ_2 normal kuchlanishlar. Yupqa plastinkada τ urunma kuchlanishlar normal kuchlanishlarga nisbatan e'tiborga olinmaydigan darajada kichik bo'ladi va mustahkamlikka tekshirishda e'tiborga olinmaydi.

Zarur bo'lgan hollarda urunma kuchlanishlar 1.6-chizmada tasvirlangan qalinligi dz ga teng bo'lgan elementlarning muvozanat shartidan topiladi.

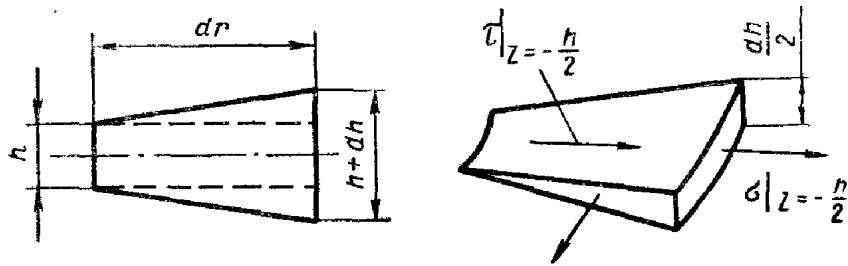
Elementga qo'yilgan kuchlarni muvozanati radial yo'nalishga proyeksiyalaymiz

$$\frac{\partial \tau}{\partial z} r d\varphi dr d\vartheta + \frac{\partial}{\partial r} (r\sigma_1) d\varphi dr d\vartheta - \sigma_2 d\varphi dr d\vartheta = 0,$$

bundan

$$\frac{\partial \tau}{\partial z} = \frac{1}{r} \left[\sigma_2 - \frac{\partial}{\partial r} (r\sigma_1) \right] \quad (1.15)$$

(1.5) tenglamani integrallashda $z = \pm h/2$ bo'lganidan chegaraviy shartlarni hisobga olish kerak bo'ladi.



1.7 - chizma

Qalinligi o'zgaruvchi plastinkalar uchun bu shartlar plastinka sirlari bilan chegaralangan ponasimon elementlar muvozanat tenglamalaridan olinadi.

$z = -\frac{h}{2}$ bo'lganda

$$\tau \Big|_{z=-\frac{h}{2}} r df dr + \sigma_1 \Big|_{z=-\frac{h}{2}} r df \frac{dh}{2} = 0,$$

bundan

$$\tau \Big|_{z=-\frac{h}{2}} = -\frac{1}{2} \frac{dh}{dr} \sigma_1 \Big|_{z=-\frac{h}{2}} \quad (1.16 a)$$

xuddi shunday

$$\tau \Big|_{z=\frac{h}{2}} = -\frac{1}{2} \frac{dh}{dr} \sigma_1 \Big|_{z=\frac{h}{2}}. \quad (1.16 b)$$

(1.15) ni (1.16) shrtlarni hisobga olib integrallaymiz

$$\tau = -\frac{1}{2} \frac{dh}{dr} \sigma_1 \Big|_{z=-\frac{h}{2}} + \frac{1}{r} \int_{-\frac{h}{2}}^z \left[\sigma_2 - \frac{\partial}{\partial r} (r \sigma_1) \right] dz$$

Bunga

$$\sigma_1 = \frac{12 M_1}{h^3} z; \quad \frac{\partial}{\partial r} (r \sigma_1) = \frac{12}{h^3} \frac{d}{dr} (r M_1) z - \frac{36}{h^4} r M_1 \frac{dh}{dr} z;$$

$$\sigma_2 = \frac{12 M_2}{h^3} z$$

qiymatlarni qo'yib integrallaymiz. U holda

$$\tau \frac{3 M_1}{h^2} \frac{dh}{dr} + \frac{1}{r} \left[\frac{d}{dr} (r M_1) - M_2 - 3 M_1 \frac{r}{h} \frac{dh}{dr} \right] \frac{6}{h^3} \left(\frac{h^2}{4} - z^2 \right)$$

yoki (1.10) muvozanat shartlarini hisobga olsak

$$\tau = \frac{3}{2} \frac{Q}{h} \left(1 - \frac{4 z^2}{h^2} \right) - \frac{3 M_1}{2 h^2} \frac{dh}{dr} \left(1 - 12 \frac{z^2}{h^2} \right) \quad (1.17)$$

Bu munosabatda birinchi had qalinligi o'zgarmas plastinkada urunma kuchlanishlarning taqsimlanishini ifodalaydi, ikkinchi had esa qalinligi o'zgarishidan kelib chiquvchi kuchlanishni ifodalaydi.

(1.14) diferensial tenglamani echishning ratsional yo'lini tanlash plastinka qalinligining o'zgarishi qonunidan bog'liq.

O'zgarmas qalinlikdagi plastinka uchun oddiy analitik yechimni olish mumkin. (2 - § da keltiriladi).

Murakkab bo'lmagan analitik yechimni qalinlik radiusining darajali funksiyasi bo'lganda ham yechish mumkin

$$h = h_0 \left(\frac{r}{r_0} \right)^\alpha,$$

bu yerda h_0, r_0, α – o'zgarmaslar .

Umumiy holda qalinlik analitik o'zgaruvchan bo'lganda sonli usullardan foydalanish to'g'ri keladi.

Chegaraviy shartlar

Chegaraviy shartlar qo'yilishi plastinkaning radial chiziqli chegaralarida va konsentrik aylanish chegaralarida plastinka tomonlari to'g'ri burchak kesishadi deb hisobga olinadi.

1. Erkin tomon . Plastinka muvozanatli tenglamalarini yechishda plastinka konturining har bir nuqtasida ichki zo'riqish kuchlari ifodasi beriladi. Bular M_r , M_φ , $M_{r\varphi} = M_{\varphi r}$ Q_r va Q_φ $r = const$ tomon to'liq tashqi zo'riqishlardan tashqari bo'lsin. Bu holda bu tomonda eguvchi moment ham ko'ndalang zo'riqish kuchlari ham hosil bo'lmaydi, yani

$$M_r = 0; \quad M_{r\varphi} = 0; \quad Q_r = 0$$

Bu uchta chegaraviy shartda masala aniqlanmagan (1.14) differensial tenglamalarni echishda har bir tomon uchun ikkitadan chegaraviy shart qanoatlantirilishi talab qilinadi. Bu holda buruvchi moment va ko'ndalang kuchni bitta chegaraviy shartda ifodalash mumkin. $M = \varphi$ buruvchi moment taqsimlanishini unga statik ekvivalent quyidagi ko'ndalang kuch intensivligi bilan almashtirish mumkin.

$$\frac{1}{r} \frac{\partial M_{2\varphi}}{\partial \varphi}$$

$r = const$ erkin tomon uchun chegaraviy shart quyidagicha ifodalanadi.

$$M_r = 0; \quad V_r = \pm \left(Q_r + \frac{1}{r} \frac{\partial M_{r\varphi}}{\partial \varphi} \right) = 0 \quad (1.18)$$

Xuddi shunday $\varphi = const$ tomon uchun ham chegaraviy shart quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi.

$$M_\varphi = 0; \quad V_\varphi = \pm \left(Q_\varphi + \frac{\partial M_{\varphi r}}{\partial r} \right) = 0 \quad (1.19)$$

bu erda V_r va V_φ keltirilgan ko'ndalang kuch. Ular oldiga ishora musbat agar uni yo'nalishi plastinka tashqi tomonida bo'lsa,

2. Sharnilli mahkamlangan tomon Agar $r = \text{const}$ bo'lgan plastinka tomoni sharnilli mahkamlangan bo'lsa bu tomonda V ko'chish bo'lmaydi. Bu tomon erkin buriladi, bu esa M_r etuvchi moment bu tomonda nolga teng bo'ladi.

Chegaraviy shart esa quyidagi ko'rinishda bo'ladi.

$$M_r = 0; \quad V = 0 \quad (1.20)$$

$\varphi = \text{const}$ tomon sharnilli mahkamlangan holda chegaraviy shart quyidagi ko'rinishda ifodalanadi.

$$M_\varphi = 0; \quad V = 0 \quad (1.21)$$

3. Qattiq mahkamlanganlik sharti. Agar $r = \text{const}$ tomon qattiq mahkamlangan bo'lasa bu tomon uchun ω ko'chish va uning hosilasi nolga teng bo'ladi.

$$V = 0; \quad \frac{\partial V}{\partial r} = 0 \quad (1.22)$$

Qattiq mahkamlangan plastinkaning $\varphi = \text{const}$ tomoni uchun chegaraviy shart esa quyidagicha ifodalanadi.

$$V = 0; \quad \frac{1}{r} \frac{\partial V}{\partial \varphi} = 0 \quad (1.23)$$

Qattiq mahkamlangan kontur yoyida buruvchi moment nolga teng. Ko'ndalang kuch esa haqiqiy ko'ndalang kuch bilan bir xil bo'ladi.

II BOB. DOIRAVIY PLASTINKANING OQQA NISBATAN SIMMETRUK EGILISHI HAQIDAGI MASALARNI HISOBLASH

§ 2.1 Qalinligi o'zgarmas sharnirli tayangan plastinkaning momentli

yuklanish ta'sirida egilishi

Qattiqligi o'zgarmas plastinkalar uchun silindrik qattiqlik ham o'zgarmas va (1.14) differensial tenglamalar quyidagi ko'rinishni oladi

$$\frac{d^2V}{dr^2} + \frac{1}{2} \frac{dV}{dr} - \frac{1}{r^2} V = -\frac{F(r)}{2\pi rD}. \quad (2.1)$$

(2.1) tenglamaning umumiy yechimi.

$$V = V_0 + C_1 r + C_2 r^{-2}$$

kabi ifodalanadi, bu erda V_0 (2.1) bir jinslimas tenglamaning xususiy yechimi, C_1 va C_2 lar esa integrallash o'zgaraslari.

Xususiy yechimni turli yusullar bilan topish mumkin, ulardan eng qulayi (2.1) tenglamaning chap tomonini quyidagi differensial operatorlar ko'rinishda ifodalaymiz

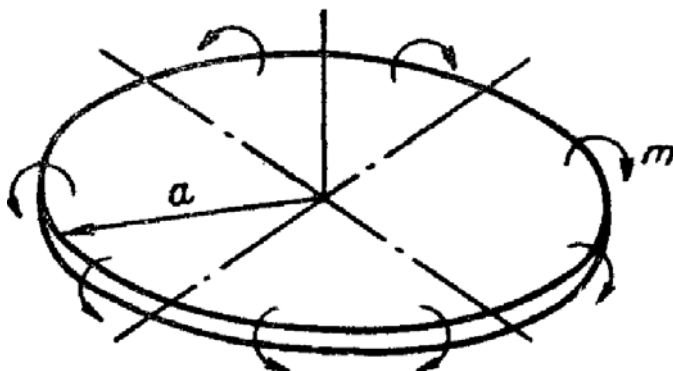
$$\frac{d}{dr} \left(\frac{1}{r} \frac{d}{dr} (rv) \right) = -\frac{F(r)}{2\pi rD}.$$

Bu tenglamani ikki marta integrallab xususiy yechimni olamiz

$$V_0 = -\frac{1}{2\pi D} \frac{1}{r} \int_{a_2}^r \left[r \int_{a_1}^r F(r) \frac{dr}{r} \right] dr, \quad (2.2)$$

bu yerda integrallarning pastki chegaralari (a_1 va a_2) o'zimizga qulay qilib topiladi; chunki ularning o'zgarishi faqat, C_1 va C_2 integrallash o'zgaraslarining o'zgarishiga olib keladi. Bu o'zgaraslar 1-§ da qaralgan plastinka chegaralaridagi mahkamlanishdan bog'liq chegaraviy shartlardan topiladi.

Sharnirli tayangan plastinkaning momentli yuklanish ta'sirida egilishi masalasini qaraymiz. Ushbu masalani yechishda doiraviy plastinkaning $r = a$



2.1 - cizma

chegaralarida moment qo'yilgan deb hisoblaymiz (2.1-chizma). Bu holda tashqi yuklanish $F(r) \equiv 0$ va (2.2) umumiy yechimda (2.1) differensial tenglamaga mos bir jinsli tenglamaning umumiy yechimi qoladi.

$$V = C_1 r + C_2 r^{-1}$$

Plastinka markazidan

$V|_{r=0} = 0$ shartdan $C_2 = 0$ ekanligi kelib chiqadi. C_1 o'zgaruvchi esa tashqi kontur ($z=a$) dagi M eguvchi momentning m ga tengligi shartidan topamiz.

$$M_1|_{r=a} = D \left(\frac{dv}{dr} + \mu \frac{V}{r} \right) \Big|_{r=a} = m.$$

$V = C_1 r$ ekanligidan $\frac{dv}{dr} = \frac{v}{r} = C_1$, u holda $M_1 = D(1 + \mu)C_1 r$ dan bog'liq emas.

Bu kattalikni tashqi moment m ga tenglashtirib topamiz.

$$V = C_1 r = \frac{m}{D(1 + \mu)} r.$$

Plastinka egilishlarini esa

$$\frac{d\omega}{dr} = -V = -\frac{m}{D(1 + \mu)} r$$

tenglamani tashqi konturdagi mahkamlanish sharti $\omega|_{r=a} = 0$ hisobga olgan holda integrallash bilan topish mumkin. U holda

$$\omega = \frac{m}{2D(1 + \mu)} (a^2 - r^2).$$

Biz qaragan masalada $\frac{dV}{dr} = \frac{V}{r} = m$ va $M_1 = M_2 = 0$ Plastinka materiali ikki o'qli tekis o'zgaruvchan (plastinkaning yuqori qismi) yoki siqilgan (unung

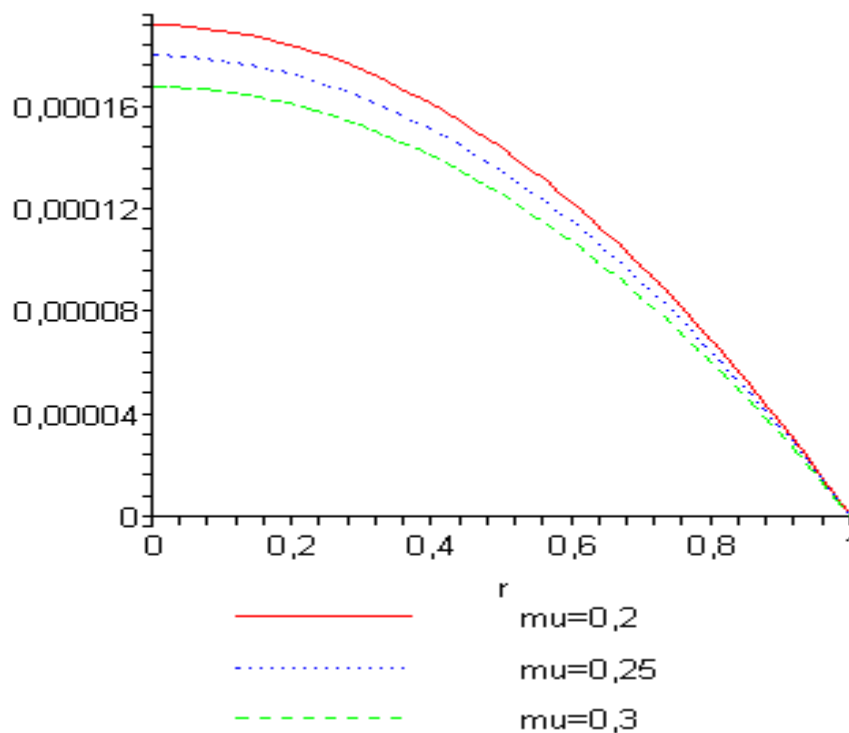
pastki qismi) holatda bo'ladi. Bunda maksimal kuchlanish $\sigma_1 = \sigma_2 = \frac{6m}{h^2}$ ga teng bo'ladi.

Qaralgan masalani quyidagi berilganlarga ko'ra plastinka egilishlari topilgan

$$\omega = \frac{m}{2D(1+\mu)}(a^2 - r^2).$$

echim asosida grafik ko'rinishida tasvirlaymiz.

$a := 1$ $h := 0.05$ $E := 200000000000$ $m1 := 0.2$ $m2 := 0.25$ $m3 := 0.3$ $m := 1000$



Qalinligi o'zgarmas sharnirli tayangan plastinkaning momentli yuklanish ta'sirida Puasson koeffitsienting turli qiymatlarida radius bo'yicha egilishlar o'zgarishi grafigi

§ 2.2 Chetlari momentli yuklangan halqali plastinka

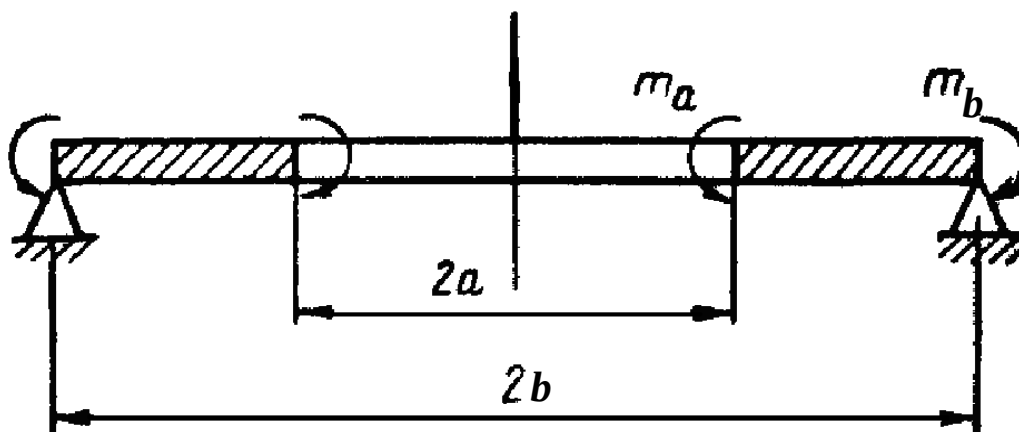
Tashqi va ichki konturlarida turli momentlar bilan yuklangan halqali plastinkani qaraymiz (2.2-chizma). Bu holda ham bundan oldingi masaladgi kabi burilish burchagi quyidagicha aniqlanadi.

$$V = C_1 r + C_2 r^{-1}$$

C_1 va C_2 o'zgarmaslar

$$M_1|_{r=a} = m_a; \quad M_1|_{r=b} = m_b$$

chegaraviy shartlar topiladi.



2.2 - chizma

Moment esa quyidagicha aniqlanadi.

$$M_1 = D \left(\frac{dV}{dr} + \mu \frac{V}{r} \right) = D [C_1(1 + \mu) - C_2(1 - \mu)r^{-2}].$$

U holda

$$C_1(1 + \mu) - C_2 a^{-2}(1 - \mu) \frac{m_a}{D},$$

$$C_1(1 + \mu) - C_2 b^{-2}(1 - \mu) \frac{m_b}{D}.$$

Bundan

$$C_1 = \frac{m_b b^2 - m_a a^2}{D(1 + \mu)(b^2 - a^2)}; \quad C_2 = \frac{(m_b - m_a)a^2 b^2}{D(1 - \mu)(b^2 - a^2)};$$

O'zgaruvchilarning bu qiymatlari hisobga olinib burilish burchagi $\mathcal{U}$ ni, keyin eguvchi momentni aniqlaymiz.

$$M_1 = \frac{b^2 / r^2 - 1}{b^2 / a^2 - 1} m_a + \frac{1 - a^2 / r^2}{1 - a^2 / b^2} m_b;$$

$$M_2 = \frac{b^2 / r^2 + 1}{b^2 / a^2 - 1} m_a + \frac{1 + a^2 / r^2}{1 - a^2 / b^2} m_b.$$

Hamda egilish uchun ifoda

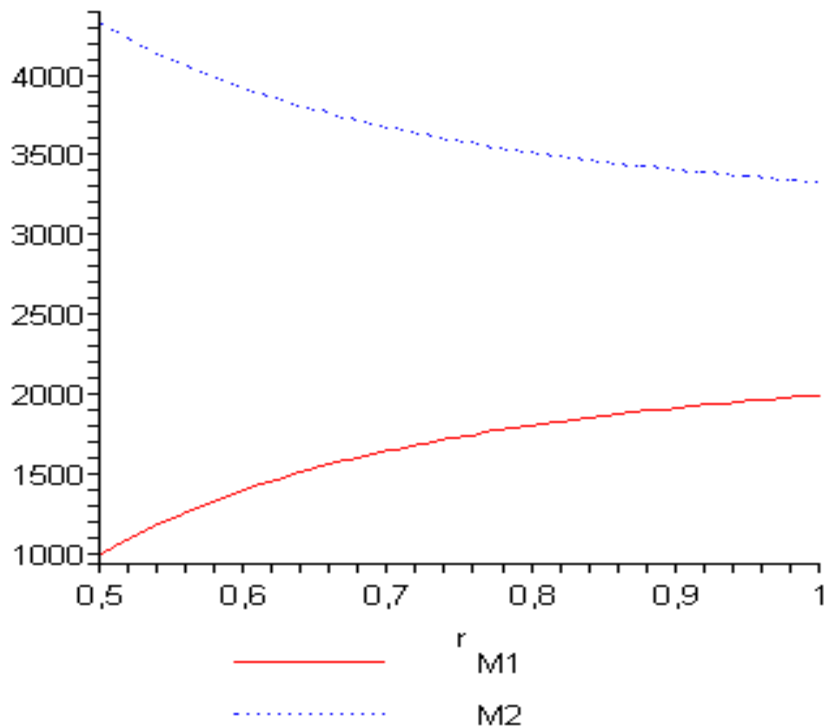
$$\omega = C_3 - \int V dr = C_1 \frac{1}{2}(b^2 - r^2) + C_2 \ln \frac{b}{r},$$

bu yerda C_3 - plastinkaning tashqi konturdagi mahkamlash sharti $W|_{r=b} = 0$ dan topilgan.

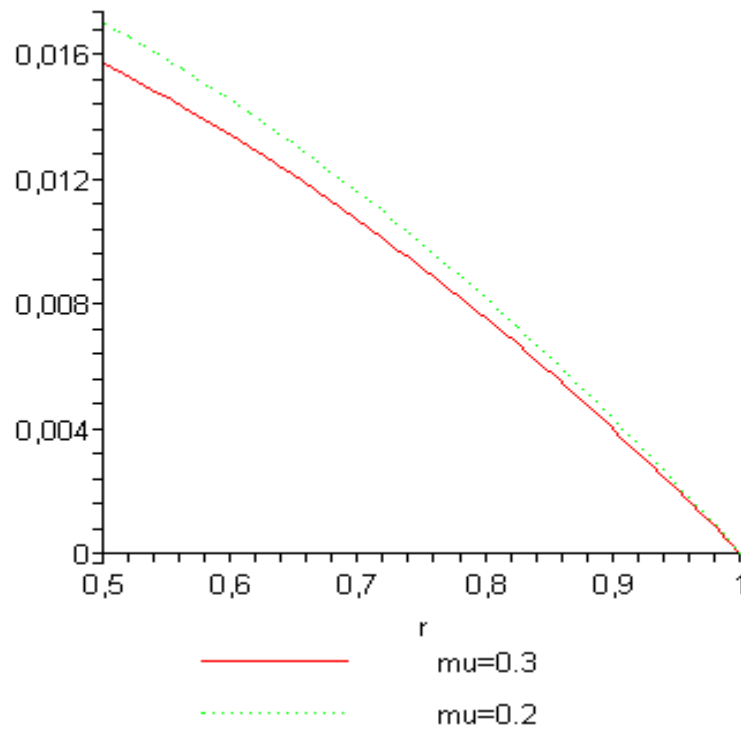
Tashqi va ichki konturlarida momentlar bilan yuklangan halqali plastinka uchun topilgan echim asosida quyida berilganlarga ko'ra eguvchi momentlar (a) va egilishlar (b) grafigini tasvirlaymiz.

$a := 0.5$ $b := 1$ $h := 0.01$ $E := 200000000000$ $m1 := 0.2$ $m2 := 0.25$ $m := 0.3$ $ma := 1000$ $mb := 1000$

$$M1 := 2333.333333 - \frac{333.3333332}{r^2} \quad M2 := 3000.000000 + \frac{333.3333332}{r^2}$$



(a)



(b)

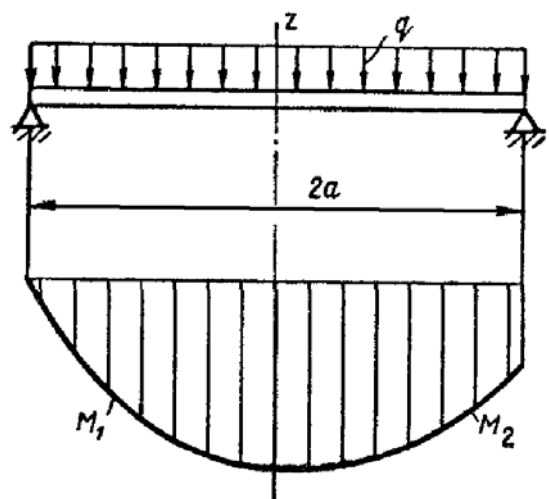
§ 2.3. Tekis taqsimlangan yuklanish ta'siri ostidagi plastinka

Plastinkaning teks taqsimlangan q bosim ta'sirida egilishini qaraymiz (2.3-chizma). Radiusi r ga teng plastinka qismida umumiy yuklanish quyidagicha aniqlanadi.

$$F(r) = -q\pi r^2.$$

“-” ishorasi z o'qqa qarama-qarshi yo'nalishdagi yuklanishga mos keladi.

(2.3) formulaga ko'ra (2.1) ning xususiy yechimini aniqlaymiz (integrallash chegaralari $a_1 = a_2 = 0$ bo'ladi)



2.3 - chizma

$$V_0 = \frac{1}{2\pi D} \frac{1}{r} \int_0^r \left[r \int_0^r q\pi r^2 \frac{dr}{r} \right] dr = \frac{q}{2D} \frac{1}{r} \int_0^r r \frac{r^2}{2} dr = \frac{qr^3}{16D}.$$

(2.2) umumiy yechimda $V|_{r=0} = 0$ shartga ko'ra C_2 o'zgarmas nolga teng, shuning uchun

$$V = C_1 r + \frac{q r^3}{16D}.$$

C_1 o'zgarmasni tashqi konturdagi sharnerli tayanish shartidan topamiz

$$M_1|_{r=a} = D = \left(\frac{dV}{dr} + \mu \frac{V}{r} \right)_{r=0} = D \left[C_1(1 + \mu) + \frac{q a^2}{16D} (3 + \mu) \right] = 0,$$

bundan

$$C_1 = -\frac{q a^2}{16D} \frac{3 + \mu}{1 + \mu},$$

va nihoyat

$$V = -\frac{q}{16D} \left[\frac{3 + \mu}{1 + \mu} r a^2 - r^3 \right].$$

Eguvchi momentlar

$$M_1 = D \left(\frac{dV}{dr} + \mu \frac{V}{r} \right) = -\frac{3 + \mu}{16} q (a^2 - r^2);$$

$$M_2 = D \left(\frac{V}{r} + \mu \frac{dV}{dr} \right) = -\frac{q}{16} [(3 + \mu) a^2 - (1 + 3\mu) r^2]$$

Momentlarning epyuralari 2.3-chizmada keltirilgan. Plastinka markazida

$$M_1 = M_2 = -\frac{3 + \mu}{16} q a^2.$$

Egilishni aniqlash uchun $\frac{d\omega}{dr} = -V$ tenglamani $\omega|_{r=a} = 0$ shartini hisobga olib integrallaymiz

$$W = -\int_a^r V dr = \int_r^a V dr = -\frac{q}{16D} \left[\frac{3 + \mu}{1 + \mu} a^2 \frac{a^2 - r^2}{2} - \frac{a^4 - r^4}{4} \right].$$

Plastinka markazidagi maksimal egilish (absolyut qiymatiga ko'ra)

$$\left| W \right|_{\max} = \frac{5 + \mu}{64(1 + \mu)} \frac{q a^4}{D}.$$

Tekis taqsimlangan q kuch ta'sirida doiraviy plastinkada quyida berilganlar asosida momentlar (a) va egilishlar (b) grafini topilgan yechim bo'yicha tasvirlaymiz

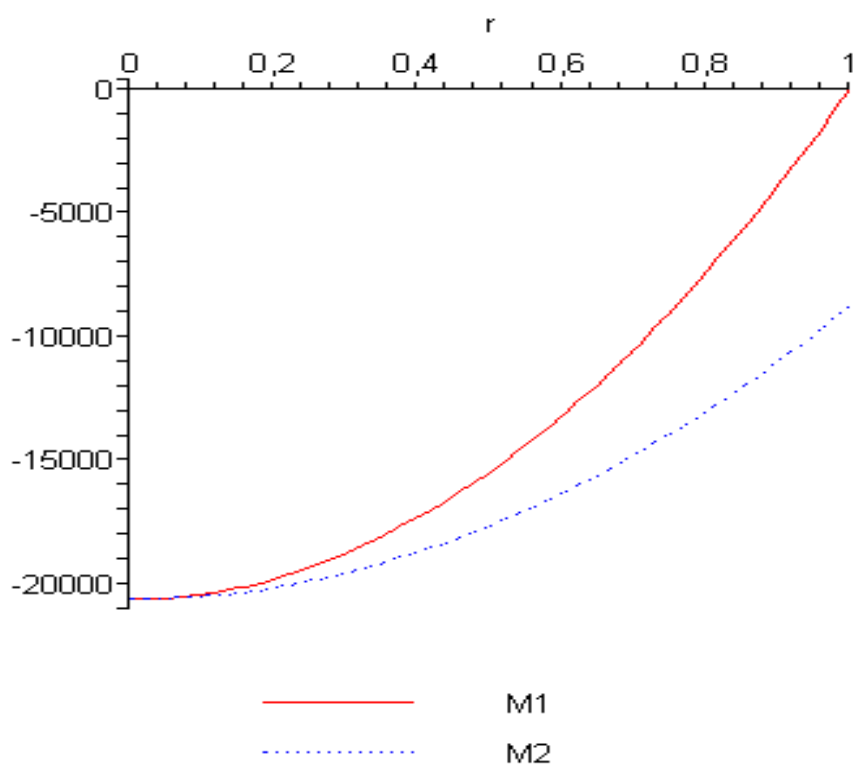
$$q := 100000 \quad a := 1 \quad m := 0.3 \quad h := 0.01 \quad E := 200000000000 \quad m1 := 0.2 \quad m2 := 0.25 \quad m3 := 0.3$$

$$M1 := -20625.00000 + 20625.00000 r^2 \quad M2 := -20625.00000 + 11875.00000 r^2$$

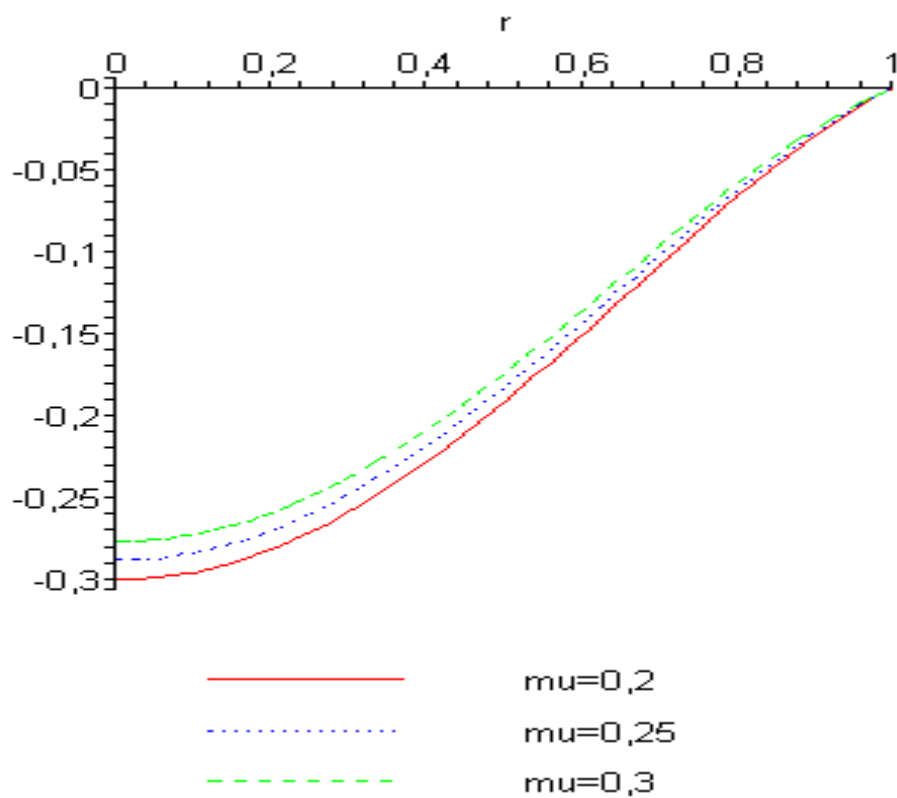
$$w1 := -0.30000000002 + 0.48000000002 r^2 - 0.18000000000 r^4$$

$$w2 := -0.28800000000 + 0.46800000000 r^2 - 0.18000000000 r^4$$

$$w3 := -0.2769230768 + 0.4569230768 r^2 - 0.18000000000 r^4$$



(a)

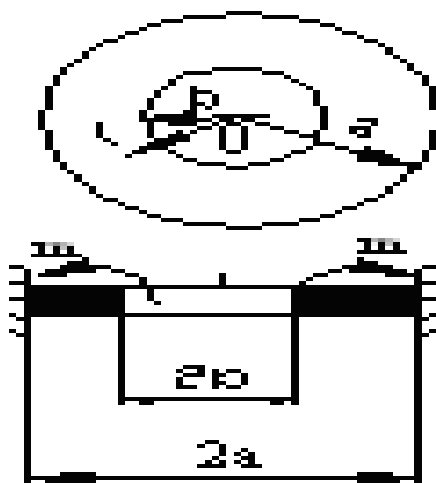


(b)

§ 2.4. Tashqi tomoni qistirib mahkamlangan halqali plastinka

Tashqi tomoni qistirib mahkamlangan halqali plastinka quyida 2.4-rasmda ko'rsatilgan. Ichki tomon konturi bo'ylab m radial eguvchi moment tekis taqsimlangan. Plastinka muvozanat tenglamasi (1.14) yechimini quyidagi ko'rinishda izlaymiz.

$$W = C \left(2 \ln \frac{r}{a} + \frac{a^2 - r^2}{a^2} \right). \quad a=8, \quad b=4, \quad \nu=0.3. \quad (a)$$



2.4-rasm

1. Chegaraviy shartlarni tekshiramiz.

$r = a$ bo'lganada $V = 0$, $\alpha_r = dV/dr = 0$.

$$V(r) = C \left(2 \ln \frac{a}{r} + \frac{a^2 - r^2}{a^2} \right) = 0;$$

$$\alpha_r = C \left(2 \frac{a}{r} \cdot \frac{1}{a} - \frac{2r}{a^2} \right) = 2C \left(\frac{1}{r} - \frac{r}{a^2} \right); \quad \alpha_r = 2C \left(\frac{1}{a} - \frac{a}{a^2} \right) = 0. \quad (b)$$

Chegaraviy shrtlar qanoatlantiriladi.

2. C o'zgarishini topamiz.

Buning uchun quyidagi shartdan foydalanamiz: $r = b$, bo'lganda $M_r = m$. (c)

(1.16) formuladagi hosilalarni topamiz:

$$\frac{d^2 V}{dr^2} = 2C \left(-\frac{1}{r^2} - \frac{1}{a^2} \right); \quad \frac{\nu}{r} \frac{dV}{dr} = 2C \frac{\nu}{r} \left(\frac{1}{r} - \frac{r}{a^2} \right) = 2C \nu \left(\frac{1}{r^2} - \frac{1}{a^2} \right).$$

$$M_r = -2CD \left(-\frac{1}{r^2} - \frac{1}{a^2} + \frac{\nu}{r^2} - \frac{\nu}{a^2} \right) = 2CD \frac{a^2(1-\nu) + r^2(1+\nu)}{a^2 r^2} \quad (d)$$

Bunga ko'ra

$$2CD \frac{a^2(1-\nu) + b^2(1+\nu)}{a^2 b^2} = m;$$

$$C = \frac{m a^2 b^2}{2D [a^2(1-\nu) + b^2(1+\nu)]} \cdot \left(\frac{\frac{KH \cdot M}{M} \cdot M^4}{\frac{M}{KH \cdot M \cdot M^2}} = M \right). \quad (e)$$

3. (1.16) formulaga ko'ra M_r, M_θ eguvchi momentlarni topamiz.

$$M_r = \frac{mb^2}{[a^2(1-\nu) + b^2(1+\nu)]} \left[(1+\nu) + (1-\nu) \frac{a^2}{r^2} \right].$$

$$\frac{1}{r} \frac{dW}{dr} = 2C \left(\frac{1}{r^2} - \frac{1}{a^2} \right);$$

$$\nu \frac{d^2W}{dr^2} = 2C \nu \left(-\frac{1}{r^2} - \frac{1}{a^2} \right).$$

$$M_\Theta = -2CD \left(\frac{1}{r^2} - \frac{1}{a^2} - \frac{\nu}{r^2} - \frac{\nu}{a^2} \right) = \frac{mb^2}{[a^2(1-\nu) + b^2(1+\nu)]} \left[(1+\nu) + (-1+\nu) \frac{a^2}{r^2} \right].$$

4. M_r, M_Θ momentlar epyralarini quramiz (2.5-rasm).

Quidagini hisoplaymiz:

$$\frac{b^2}{[a^2(1-\nu) + b^2(1+\nu)]} = \frac{4^2}{8^2(1-0,3) + 4^2(1+0,3)} = 0,244.$$

$$M_r = 0,244m \left(1,3 + \frac{44,8}{r^2} \right);$$

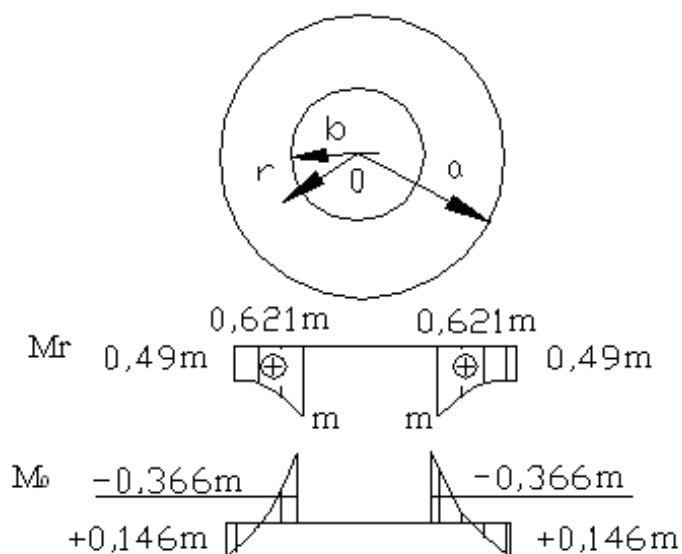
$$M_\Theta = 0,244m \left(1,3 - \frac{44,8}{r^2} \right).$$

Bu ifodalardan:

$$r = 4, \text{ bo'lganda } M_r = m; M_\Theta = -0,366m;$$

$$r = 6, \text{ bo'lganda } M_r = 0,621m; M_\Theta = 0,014m;$$

$$r = 8, \text{ bo'lganda } M_r = 0,488m; M_\Theta = 0,146m.$$



XULOSA

Ushbu bituruv ishini bajarish davomida simmetrik yuklangan doiraviy plastinkaning deformatiyalanishi tahlil qilindi va quyidagilar bajarildi:

- Ishning kirish qismida masalaning qo'yilishi ishning dolzarbligi ishning maqsad va vazifalari haqida tushunchalar berilgan. Shuningdek masalaning ilmiy va amaliy ahamiyati elastiklik nazariyasi masalalarini yechish usullari haqida malumotlar keltirilgan
- Bitruv ishining birinchi bobida plastinkalar nazariyasi asosiy tushuncha va gipotezalari hamda plastinka turlari bilan tanishildi. Shuningdek doiraviy plastinkalar kochish va deformatsiyalar, ichki zo'riqish kuchlari va ularning muvozanati shartiga ko'ra chiqarilgan muvozanat tenglamalarining egilishlar orqaliifodasi, doiraviy plastinka chetlarining turli xil mahkamlanishiga mos chegraviy shartlar keltirib o'tildi.
- Ukinchi bobda o'rganilgan tenglama yordamida momentli, taqsimlangan va jamlangan yuklanishlar ta'sirida doiraviy va halqali plastinkaning egilishi o'rganildi. Olingan yechimlar asosida plastinka turli kesimlarida hosil bo'ladigan radial va tangensial momentlar hamda ko'chishlar grafiklari tasvirlangan

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Амензаде Ю. А. Теория упругости. – М.: Высшая школа. 1976. – 272 с.
2. Безухов Н.И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести. – М.: Высш., 1968-512 с.
3. Самуль В.И. Основы теории упругости и пластичности: Учеб. пособие для вузов/В.И. Самуль.- 2-е изд., перераб. и доп. – М.:Высш. шк., 1982.-264с.
4. Безухов Н.И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести: Учеб./Н.И. Безухов.- 2-е изд., перераб. и доп. – М.:Высш. шк., 1968.- 512с.
5. Кутуков Б.Н., Кац М.М. Сопротивление материалов с основами теории упругости и пластичности: Метод. указания и контрольные задания для студентов-заочников инж. - строит. спец. высш. учеб. заведений/Б.Н. Кутуков, М.М. Кац.- 3-е изд., – М.:Высш. шк., 1990.- 80с.
6. Xolmurodov R. I., Xudoynazarov X. X. Elastiklik nazariyasi. I, II qism. Toshkent.: Fan. 2004.

ILOVA

```
> restart;
"2.1-masala";
a:=1; h:=0.05; E:=2*10^11; mu1:=0.2; mu2:=0.25; mu3:=0.3;
m:=10^3;
D1:=E*h^3/(12*(1-mu1^2));
D2:=E*h^3/(12*(1-mu2^2));
D3:=E*h^3/(12*(1-mu3^2));

w1:=m/(2*D1*(1+mu1))*(a^2-r^2);
w2:=m/(2*D2*(1+mu2))*(a^2-r^2);
w3:=m/(2*D3*(1+mu3))*(a^2-r^2);
plot([w1,w2,w3],r=0..a,linestyle=[1,2,3],color=[red,blue,green],
legend=["mu=0,2","mu=0,25","mu=0,3"]);
```

"2.1-masala"

$a := 1 \quad h := 0.05 \quad E := 200000000000 \quad m1 := 0.2 \quad m2 := 0.25 \quad m3 := 0.3 \quad m := 1000$

$D1 := 2.170138889 \cdot 10^6 \quad D2 := 2.222222222 \cdot 10^6 \quad D3 := 2.289377289 \cdot 10^6$

$w1 := 0.0001920000000 - 0.0001920000000 r^2$

$w2 := 0.0001800000000 - 0.0001800000000 r^2$

$w3 := 0.0001680000000 - 0.0001680000000 r^2$

```
> restart;
"2.2-masala";
a:=0.5; b:=1; h:=0.01;
E:=2*10^11; mu1:=0.2; mu2:=0.25; mu:=0.3;
ma:=10^3;mb:=1*10^3;

M1:=(b^2/a^2-1)*ma/(b^2/a^2-1)+(1-a^2/r^2)*mb/(1-a^2/b^2);
M2:=(b^2/a^2+1)*ma/(b^2/a^2-1)+(1+a^2/r^2)*mb/(1-a^2/b^2);
plot([M1,M2],r=a..b,linestyle=[1,2],color=[red,blue],legend=["M1",
"M2"]);
```

```
D1:=E*h^3/(12*(1-mu^2));
C1:=(mb*b^2-ma*a^2)/(D1*(1+mu)*(b^2-a^2));
C2:=(mb-ma)*a^2*b^2/(D1*(1-mu)*(b^2-a^2));
C11:=(mb*b^2-ma*a^2)/(D1*(1+mu1)*(b^2-a^2));
C21:=(mb-ma)*a^2*b^2/(D1*(1-mu1)*(b^2-a^2));
w:=C1*0.5*(b^2-r^2)+C2*ln(b/r);
w1:=C11*0.5*(b^2-r^2)+C21*ln(b/r);
plot([w,w1],r=a..b,legend=["mu=0.3","mu=0.2"],linestyle=[1,2]);
```

"2.2-masala"

$a := 0.5 \quad b := 1 \quad h := 0.01 \quad E := 200000000000 \quad m1 := 0.2 \quad m2 := 0.25 \quad m := 0.3 \quad ma := 1000 \quad mb := 1000$

$$M1 := 2333.333333 - \frac{333.3333332}{r^2} \quad M2 := 3000.000000 + \frac{333.3333332}{r^2}$$

$$D1 := 18315.01832 \quad C1 := 0.04199999999 \quad C2 := 0. \quad C11 := 0.04549999999 \quad C21 := 0.$$

$$w := 0.02100000000 - 0.02100000000 r^2$$

$$w1 := 0.02275000000 - 0.02275000000 r^2$$

```
> restart;
"2.3-masala";
q:=100000;a:=1;mu:=0.3;h:=0.01; E:=2*10^11;
mu1:=0.2; mu2:=0.25; mu3:=0.3;
D1:=E*h^3/(12*(1-mu1^2));
D2:=E*h^3/(12*(1-mu2^2));
D3:=E*h^3/(12*(1-mu3^2));
M1:=- (3+mu)/16*q*(a^2-r^2);
M2:=-q/16*((3+mu)*a^2-(1+3*mu)*r^2);
plot([M1,M2],r=0..a,linestyle=[1,2],color=[red,blue],legend=["M1",
"M2"]);
w1:=-q/(16*D1)*((3+mu1)/(1+mu1)*a^2*(a^2-r^2)/2-(a^4-r^4)/2);
w2:=-q/(16*D1)*((3+mu2)/(1+mu2)*a^2*(a^2-r^2)/2-(a^4-r^4)/2);
w3:=-q/(16*D1)*((3+mu3)/(1+mu3)*a^2*(a^2-r^2)/2-(a^4-r^4)/2);
plot([w1,w2,w3],r=0..a,linestyle=[1,2,3],color=[red,blue,green],
legend=["mu=0,2","mu=0,25","mu=0,3"]);
```

"2.3-masala"

$$q := 100000 \quad a := 1 \quad m := 0.3 \quad h := 0.01 \quad E := 200000000000 \quad m1 = 0.2 \quad m2 = 0.25 \quad m3 = 0.3$$

$$D1 := 17361.11111 \quad D2 := 17777.77778 \quad D3 := 18315.01832$$

$$M1 := -20625.00000 + 20625.00000 r^2 \quad M2 := -20625.00000 + 11875.00000 r^2$$

$$w1 := -0.30000000002 + 0.48000000002 r^2 - 0.18000000000 r^4$$

$$w2 := -0.28800000000 + 0.46800000000 r^2 - 0.18000000000 r^4$$

$$w3 := -0.2769230768 + 0.4569230768 r^2 - 0.18000000000 r^4$$