Аналогично, исследование трёхпротонной системы показало наличие узкого пика при $M_{(ppp)}$= 2920 МэВ с шириной Г = 2.1 ± 0.8 МэВ и временем жизни $t=3.1\cdot10^{-22}$ с [7]. Этот резонанс наблюдался только в событиях с четырьмя протонами в конечном состоянии, что указывает на влияние α-кластерной структуры ядра углерода на механизм образования трёхпротонных состояний.

Заключение. В данной работе представлен обзор и объединение экспериментальных данных по образованию многопротонных резонансных состояний в адрон-ядерных и ядро-ядерных столкновениях при промежуточных и высоких энергиях. Основные выводы следующие:

1. Дипротонные резонансы с массами около 2117 МэВ и узкими ширинами Г=4 МэВ подтверждают возможность образования краткоживущих двухпротонных кластеров, которые могут захватывать мезоны для образования более сложных систем.
2. Трёхпротонные резонансы при $M_{(ppp)}$ = 2920 МэВ обнаружены в событиях с четырьмя протонами в конечном состоянии. Их образование объясняется α-кластерной структурой ядра углерода и механизмом объединения двухпротонных молекул с дополнительным протоном.
3. Все наблюдаемые многопротонные состояния характеризуются узкими ширинами масс, что указывает на существование запретов на быстрый распад на отдельные нуклоны в соответствии с законами сохранения спина, изотопического спина и четности.
4. Совокупность результатов экспериментов позволяет предложить единый механизм формирования многопротонных состояний: разрушение α-кластеров ядра-мишени приводит к образованию двух- и трёхпротонных кластеров, которые взаимодействуют друг с другом и с мезонами, формируя устойчивые на короткое время коллективные состояния.

Таким образом, проведённое исследование подтверждает существование краткоживущих многопротонных резонансов и открывает перспективы для дальнейших экспериментов по изучению мультикварковых состояний и кластеризации нуклонов в ядрах. Эти данные имеют важное значение для понимания динамики сильного взаимодействия, структуры ядер и возможных механизмов образования сложных адронных состояний в высокоэнергетических столкновениях.

Список использованной литературы:

(1). В.Н.Батурин и др., Препринт ЛИЯФ 1750, с. 29 (1991).
(2). Jaffe R.L. Phys. Rev. Lett., 1977, v. 38, № 5, p. 195.
(3). Auer I.P. et al., Phys. Lett., B, 1977, v. 67, № 113, p. 113.
(4). Доркин С.М. и др., Препринт ОИЯИ 34-81-791, Дубна, 1981, с. 13.
(5). S.K.Choi et al., Phys. Rev. Lett. 91, 262001 (2003).
(6). R.Aaij et al., Phys. Rev. Lett. 115, 072001 (2015).
(7). К. Олимов и др. “Namangan davlat universiteti ilmiy axborotnomasi”, [2025-7], с. 35
(8). K.Olimov, O.Esanmurodov, Kh.K.Olimov, Sherzod Kholbutaev and B.S.Yuldashev. International Journal of Modern Physics E. Vol. 32, № 9 (2023) 2350051 (11 pages).

Yalg‘ashev Burxon Fayzullayevich (Chirchiq davlat Pedagogika universiteti “Boshlang‘ich ta’limda matematika va tabiiy fanlar” kafedrasi mudiri, fan doktori, dotsent),
Xudayberdiyev Zokir Bozorboyevich (Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat unversiteti “Nazariy va injenerlik mexanikasi” kafedrasi dotsenti (PhD); E-mail: xudayberdiyevz@mail.ru),
Isroilov Sherzod Narkazakovich (Samarqand davlat Texnika universiteti mustaqil tadqiqotchisi, Navoiy innovatsiyalar univeristeti katta o‘qituvchisi; E-mail: sherzodisroilov780@gmail.com)

UCH QATLAMLI TRANSVERSAL-IZOTROP KONUSSIMON QOBIQNING KUCHLANGANLIK-DEFORMATSIYALANGANLIK HOLATI VA BO‘YLAMA-RADIAL TEBRANISHLARI

Annotatsiya. *Ushbu ishda uch qatlamli transversal-izotrop konussimon qobiqning bo‘ylama-radial tebranishlari masalasi qaralgan. Uch qatlamli konussimon qobiq qatlamlari transversal-izotrop materialdan iborat deb faraz qilinib, elastiklik nazariyasining asosiy tenglamalari asosida bo‘ylama-radial tebranish tenglamalari sistemasi keltirib chiqarilgan. Qobiq qatlamlari ixtiyoriy nuqtalaridagi ko‘chishlar va kuchlanishlar uchun analitik ifodalar olingan hamda ular qatlamlar orasidagi kontakt shartlari va chegaraviy shartlar orqali o‘zaro bog‘langan. Hosil qilingan bo‘ylama-radial tebranish tenglamalari sistemasi yechilgan va olingan natijalar asosida ko‘chishlar hamda kuchlanishlarning qobiq bo‘ylab taqsimlanishi grafiklar ko‘rinishida tasvirlangan. Olingan natijalar qatlamli konussimon konstruksiya elementlarini dinamik hisoblashda va loyihalashda qo‘llanilishi mumkin.*

Kalit so'zlar: *qatlam, transversal-izotrop material, bo'ylama-radial tebranish, chegaraviy shart, tebranish tenglamasi, ko'chish, kuchlanish.*

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОДОЛЬНО-РАДИАЛЬНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ТРЕХСЛОЙНОЙ ТРАНСВЕРСАЛЬНО-ИЗОТРОПНОЙ КОНИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ

Аннотация. *В данной работе рассматривается задача продольно-радиальных колебаний трехслойной трансверсально-изотропной конической оболочки. Предполагая, что слои трехслойной конической оболочки состоят из трансверсально-изотропного материала, на основе основных уравнений теории упругости выведена система уравнений продольно-радиальных колебаний. Получены аналитические выражения для перемещений и напряжений в произвольных точках слоев оболочки, которые связаны между собой условиями контакта между слоями и граничными условиями. Полученная система уравнений продольно-радиальных колебаний решена, и на основе полученных результатов распределение перемещений и напряжений по оболочке представлено в виде графиков. Полученные результаты могут быть использованы при динамическом расчете и проектировании элементов слоистых конических конструкций.*

Ключевые слова: *слой, поперечно-изотропный материал, продольно-радиальное колебание, граничное условие, уравнение колебания, перемещение, напряжение.*

STRESS-STRAIN STATE AND LONGITUDINAL-RADIAL OSCILLATIONS OF A THREE-LAYER TRANSVERSAL-ISOTROPIC CONICAL SHELL

Annotation. *This work examines the problem of longitudinal-radial oscillations of a three-layer transverse-isotropic conical shell. Assuming that the layers of the three-layer conical shell consist of transversally isotropic material, a system of longitudinal-radial oscillation equations was derived based on the fundamental equations of elasticity theory. Analytical expressions for displacements and stresses at arbitrary points in the shell layers were obtained, which are related to the contact conditions between the layers and the boundary conditions. The resulting system of longitudinal-radial oscillation equations is solved, and based on the obtained results, the distribution of displacements and stresses across the shell is presented in the form of graphs. The obtained results can be used in the dynamic calculation and design of elements of layered conical structures.*

Keywords: *layer, transverse-isotropic material, longitudinal-radial oscillation, boundary condition, oscillation equation, displacement, voltage.*

Kirish. Zamonaviy mashinasozlik, aviatsiya va raketa texnikasi, kemasozlik hamda qurilish sohalarida qatlamli qobiqsimon konstruksiya elementlari keng qo'llanilmoqda. Bunday elementlar yuqori mustahkamlik va bikrlikni kichik massa bilan uyg'unlashtirgani sababli muhandislik amaliyotida alohida ahamiyat kasb etadi. Xususan, konussimon qobiqlar reaktiv dvigatellarning soplolari, uchish apparatlarining burun qismlari, rezervuarlar, quvurlarning o'tish uchastkalari va turli akustik qurilmalarda asosiy konstruktiv element sifatida uchraydi. Ekspluatatsiya jarayonida bunday konstruksiyalar dinamik yuklanishlar ta'siriga uchraydi, shu sababli ularning tebranish jarayonlarini ishonchli matematik modellar asosida o'rganish dolzarb masala hisoblanadi [13].

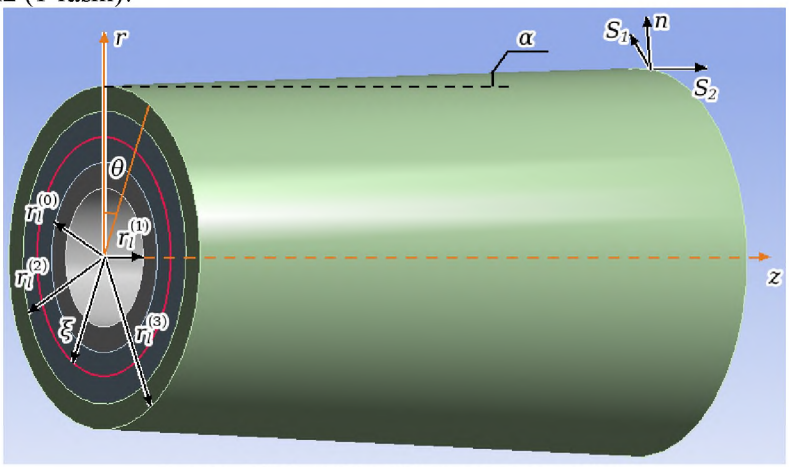
Qatlamli qobiqlarni tayyorlashda, ko'pincha, kompozit materiallar ishlatiladi. Bunday materiallarning ko'pchiligi xossalari bir yo'nalishda boshqa yo'nalishlardan farq qiladigan, ya'ni, transversal-izotrop muhit sifatida modellashtiriladi. Materialning anizotropiyasi va qatlamlarning turli fizik-mexanik xossalarga ega bo'lishi qobiqdagi kuchlanganlik-deformatsiyalanganlik holatiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Shu bois klassik izotrop qobiqlar nazariyasiga asoslangan yondashuvlar bunday konstruksiyalarning dinamik xattiharaka-tini yetarli aniqlikda tavsiflay olmaydi [4].

Anizotrop va qatlamli qobiqlar nazariyasini rivojlantirishga S.G.Lexnitskiy, S.A.Ambarsumyan, E.I. Grigolyuk va boshqa olimlar katta hissa qo'shgan. Elastik jismlarning tebranish tenglamalarini elastiklik nazariyasining uch o'lchovli tenglamalari asosida aniq yechimlardan kelib chiqib qurish usuli I.G.Filippov va uning shogirdlari tomonidan ishlab chiqilgan. Ushbu yondashuv keyinchalik transversal-izotrop silindrik qobiqlar va sterjenlarning tebranishlarini o'rganishda qo'llanilgan jumladan, X.X.Xudoynazarov tadqiqotlari. Biroq uch qatlamli transversal-izotrop konussimon qobiqlarning bo'ylama-radial tebranishlari masalasi hozirga qadar yetarlicha o'rganilmagan. Konussimon geometriya tenglamalarning koeffitsiyentlari koordinataga bog'liq bo'lishiga olib keladi, bu esa masalani silindrik qobiqlarga nisbatan ancha murakkablashtiradi [5–6].

Ushbu maqolaning maqsadi uch qatlamli transversal-izotrop konussimon qobiqning bo'ylama-radial tebranish tenglamalarini keltirib chiqarish, qobiq qatlamlaridagi ko'chishlar va kuchlanishlar uchun ifoda-

larni aniqlash, hosil bo‘lgan tenglamalar sistemasini yechish hamda olingan natijalarni grafik ko‘rinishda tahlil qilishdan iborat.

Masalaning qo‘yilishi. Ichki hamda tashqi sirtlariga bo‘ylama va radial kuchlar ta’sir qiluvchi uch qatlamli transversal-izotrop konussimon qobiqning bo‘ylama-radial tebranishlarini tadqiq qilamiz. (r, θ, z) silindrik koordinatalar sistemasi boshini uch qatlamli konussimon qobiqning kichik ko‘ndalang kesimiga joylashtiramiz (1-rasm).



1-rasm. Uch qatlamli konussimon qobiq.

Bunda Oz – o‘qini uch qatlamli konussimon qobiqning simmetriya o‘qi bo‘ylab, Or – o‘qini uch qatlamli konussimon qobiqning ko‘ndalang kesimi radiusi bo‘ylab yo‘naltiramiz. Bu yerda z-bo‘ylama, r-radial va θ-burchak koordinatalaridir [6]. Uch qatlamli konussimon qobiqning qatlamlari materiallari transversal-izotrop deb hisoblaymiz. Konussimon qobiqning yasovchisi bilan markaziy o‘qi orasidagi burchakni α bilan, uzunligini l bilan va $z = 0$ kichik ko‘ndalang kesimi ichki radiusini r_0 bilan belgilaymiz. Ichki qatlamning qalinligi h_1, o‘rta qatlamning qalinligi h_0 va tashqi qatlamning qalinligi h_2 bo‘lsin deb faraz qilamiz. U holda $z = 0$ kesimdan l masofadagi kesim uchun ichki radius, ya’ni, ichki qatlamning ichki radiusi $r_l^{(1)} = r_0 + l\tan\alpha$, ichki qatlamning tashqi radiusi, o‘rta qatlam uchun ichki radius $r_l^{(0)} = r_0 + l\tan\alpha + h_1$, o‘rta qatlamning tashqi radiusi, tashqi qatlam uchun ichki radius $r_l^{(2)} = r_0 + l\tan\alpha + h_1 + h_0$ va tashqi qatlam uchun tashqi radius $r_l^{(3)} = r_0 + l\tan\alpha + h_1 + h_0 + h_2$ bo‘ladi. Ushbu uch o‘lchovli uch qatlamli konussimon qobiq jismi elastiklik nazariyasi qonunlariga bo‘y-sinadi deb hisoblaymiz.

Masala o‘qqa nisbatan simmetrik bo‘lganligi uchun uch qatlamli konussimon qobiq nuqtalari ko‘chish vektorlarining bo‘ylama va radial komponentlari, kuchlanish tenzori komponentalarining bo‘ylama, radial, buralma hamda bo‘ylama-radial komponentalari, deformatsiya tenzorining esa $\varepsilon_{rr}^{(m)}, \varepsilon_{\theta\theta}^{(m)}, \varepsilon_{zz}^{(m)}$ va $\varepsilon_{rz}^{(m)}$ komponentalari noldan farqli bo‘ladi. Qolgan komponentlari esa nolga teng bo‘ladi.

Transversal-izotrop uch qatlamli konussimon qobiq nuqtalarida kuchlanishlar va deformatsiyalar orasida quyidagi bog‘lanishlar mavjud bo‘ladi [3]:

$$\begin{aligned}
\sigma_{rr}^{(m)} &= C_{11}^{(m)}\frac{\partial U_r^{(m)}}{\partial r} + C_{12}^{(m)}\frac{U_r^{(m)}}{r} + C_{13}^{(m)}\frac{\partial U_z^{(m)}}{\partial z};\\
\sigma_{\theta\theta}^{(m)} &= C_{12}^{(m)}\frac{\partial U_r^{(m)}}{\partial r} + C_{11}^{(m)}\frac{U_r^{(m)}}{r} + C_{13}^{(m)}\frac{\partial U_z^{(m)}}{\partial z};\\
\sigma_{zz}^{(m)} &= C_{13}^{(m)}\left(\frac{\partial U_r^{(m)}}{\partial r} + \frac{U_r^{(m)}}{r}\right) + C_{33}^{(m)}\frac{\partial U_z^{(m)}}{\partial z};\\
\sigma_{rz}^{(m)} &= C_{44}^{(m)}\left(\frac{\partial U_r^{(m)}}{\partial z} + \frac{\partial U_z^{(m)}}{\partial r}\right).
\end{aligned} \tag{1}$$

bu yerda $C_{ij}^{(m)}$–transversal-izotrop material uchun elastiklik o‘zgarmaslari.

Harakat tenglamalariga (1) ifodalarni qo‘yish orqali, uch qatlamli konussimon qobiq qatlamlari nuqtalarining $U_z^{(m)}$– bo‘ylama va $U_r^{(m)}$– radial ko‘chishlarini ifodalovchi quyidagi harakat tenglamalari sistemasiga ega bo‘lamiz:

$$\tilde{C}_{11}^{(m)}\left(\frac{\partial^2\tilde{U}_r^{(m)}}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial\tilde{U}_r^{(m)}}{\partial r}-\frac{1}{r^2}\tilde{U}_r^{(m)}\right)-$$
$$-\tilde{C}_{44}^{(m)}k^2\tilde{U}_r^{(m)}-k\left(\tilde{C}_{13}^{(m)}+\tilde{C}_{44}^{(m)}\right)\frac{\partial\tilde{U}_z^{(m)}}{\partial r}=\rho_m p^2\tilde{U}_r^{(m)};$$
$$\tilde{C}_{44}^{(m)}\left(\frac{\partial^2\tilde{U}_z^{(m)}}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial\tilde{U}_z^{(m)}}{\partial r}\right)-k^2\tilde{C}_{33}^{(m)}\tilde{U}_z^{(m)}+ \tag{2}$$
$$+k\left(\tilde{C}_{44}^{(m)}+\tilde{C}_{13}^{(m)}\right)\left(\frac{\partial\tilde{U}_r^{(m)}}{\partial r}+\frac{\tilde{U}_r^{(m)}}{r}\right)=\rho_m p^2\tilde{U}_z^{(m)};$$

Uch qatlamli konussimon qobiqning bo‘ylama-radial tebranishlari ichki va tashqi $f_n^{(i)}(z,t)$, $f_{S_2}^{(i)}(z,t)$ dinamik kuchlar ta'siri natijasida vujudga keladi, deb faraz qilinadi. Shu sababli transversal-izotrop xususiyatga ega uch qatlamli konussimon qobiqning $r_l^{(3)}$-tashqi va $r_l^{(1)}$– ichki sirtlarida quyidagi chegaraviy shart o‘rinli bo‘ladi:

$$\sigma_{rr}^{(i)}-2F_i'(z)\sigma_{rz}^{(i)}+\left(F_i'(z)\right)^2\sigma_{zz}^{(i)}=\left(1+\left(F_i'(z)\right)^2\right)f_n^{(i)};$$
$$F_i'(z)\left(\sigma_{rr}^{(i)}-\sigma_{zz}^{(i)}\right)+\left(1-\left(F_i'(z)\right)^2\right)\sigma_{rz}^{(i)}=\left(1+\left(F_i'(z)\right)^2\right)f_{S_2}^{(i)}. \tag{3}$$

(3) ifoda $i=1$ da ichki sirt uchun chegaraviy shartni va $i=2$ da tashqi sirt uchun chegaraviy shartni ifodalaydi.

Bundan tashqari, o‘rta qatlam bilan ichki va tashqi qatlamlar orasida quyidagi dinamik va kinematik kontakt shartlar o‘rinli bo‘ladi:

$r_l^{(0)}$ sirtda

$$U_r^{(1)}=U_r^{(0)};\ U_z^{(1)}=U_z^{(0)};\ \sigma_{rr}^{(1)}=\sigma_{rr}^{(0)};\ \sigma_{zz}^{(1)}=\sigma_{zz}^{(0)}. \tag{4}$$

$r_l^{(2)}$ sirtda

$$U_r^{(0)}=U_r^{(2)};\ U_z^{(0)}=U_z^{(2)};\ \sigma_{rr}^{(0)}=\sigma_{rr}^{(2)};\ \sigma_{zz}^{(0)}=\sigma_{zz}^{(2)}. \tag{5}$$

bu yerda: $U_r^{(m)}(r,z,t)$ va $U_z^{(m)}(r,z,t)$ uch qatlamli konussimon qobiq qatlamlari nuqtasi radial va bo‘ylama ko‘chishlari.

Demak, uch qatlamli konussimon qobiqning ichki va tashqi dinamik yuklanishlar ta’siri ostida yuzaga keladigan bo‘ylama-radial tebranishlari haqidagi masalani yechish (3) tenglamalarni (4) va (5) kinematik va dinamik kontakt shartlarhamda nolga teng boshlang‘ich shartlar bilan yechishdan iborat bo‘lar ekan.

Masalaning yechimi. Uch qatlamli transversal-izotrop konussimon qobiqning bo‘ylama-radial tebranish tenglamalarini chiqarish uchun (2) harakat differensial tenglamalar sistemasini (3) chegaraviy, (4) va (5) kontakt shartlar bilan birgalikda yechamiz. Bir qancha matematik amallar va soddalashtirishlarni bajarganimizdan so‘ng quyidagi differensial tenglamalar sistemasini hosil qilamiz:

$$\left\{Q_{11}\frac{\partial^4}{\partial t^2\partial z^2}+Q_{12}\frac{\partial^4}{\partial z^4}+Q_{13}\frac{\partial^3}{\partial t^2\partial z}+Q_{14}\frac{\partial^3}{\partial z^3}\right\}U_{r,0}^{(0)}+\left\{P_{11}\frac{\partial^4}{\partial t^2\partial z^2}+\right.$$
$$\left.+P_{12}\frac{\partial^4}{\partial z^4}+P_{13}\frac{\partial^3}{\partial t^2\partial z}+P_{14}\frac{\partial^3}{\partial z^3}\right\}\xi U_{r,1}^{(0)}+\left\{R_{11}\frac{\partial^4}{\partial t^2\partial z^2}+R_{12}\frac{\partial^4}{\partial z^4}\right\}U_{z,0}^{(0)}+ \tag{6}$$
$$+\left\{J_{11}\frac{\partial^4}{\partial t^2\partial z^2}+J_{12}\frac{\partial^4}{\partial z^4}\right\}\xi U_{z,1}^{(0)}=\left\{H_{11}\frac{\partial^3}{\partial t^2\partial z}+H_{12}\frac{\partial^3}{\partial z^3}\right\}f_n^{(1)};$$
$$\left\{Q_{21}\frac{\partial^4}{\partial t^2\partial z^2}+Q_{22}\frac{\partial^4}{\partial z^4}+Q_{23}\frac{\partial^3}{\partial t^2\partial z}+Q_{24}\frac{\partial^3}{\partial z^3}\right\}U_{r,0}^{(0)}+\left\{P_{21}\frac{\partial^4}{\partial t^2\partial z^2}+\right.$$
$$\left.+P_{22}\frac{\partial^4}{\partial z^4}+P_{23}\frac{\partial^3}{\partial t^2\partial z}+P_{24}\frac{\partial^3}{\partial z^3}\right\}\xi U_{r,1}^{(0)}+\left\{R_{21}\frac{\partial^4}{\partial t^2\partial z^2}+R_{22}\frac{\partial^4}{\partial z^4}\right\}U_{z,0}^{(0)}+ \tag{7}$$
$$+\left\{J_{21}\frac{\partial^4}{\partial t^2\partial z^2}+J_{22}\frac{\partial^4}{\partial z^4}\right\}\xi U_{z,1}^{(0)}=\left\{H_{21}\frac{\partial^3}{\partial t^2\partial z}+H_{22}\frac{\partial^3}{\partial z^3}\right\}f_n^{(1)};$$
$$\left\{Q_{31}\frac{\partial^2}{\partial t^2}+Q_{32}\frac{\partial^2}{\partial z^2}+Q_{33}\frac{\partial}{\partial z}+Q_{34}\right\}U_{r,0}^{(0)}+\left\{P_{31}\frac{\partial^4}{\partial t^4}+P_{32}\frac{\partial^4}{\partial t^2\partial z^2}+\right.$$

$$+P_{33}\frac{\partial^4}{\partial z^4}+P_{34}\frac{\partial^3}{\partial t^2\partial z}+P_{35}\frac{\partial^3}{\partial z^3}+P_{36}\frac{\partial^2}{\partial t^2}+P_{37}\frac{\partial^2}{\partial z^2}+$$
$$+P_{38}\frac{\partial}{\partial z}+P_{39}\Big\}\xi U_{r,1}^{(0)}+\Big\{R_{31}\frac{\partial}{\partial z}+R_{32}\Big\}U_{z,0}^{(0)}+\Big\{J_{31}\frac{\partial^3}{\partial t^2\partial z}+ \tag{8}$$
$$+J_{32}\frac{\partial^3}{\partial z^3}+J_{33}\frac{\partial^2}{\partial z^2}+J_{34}\frac{\partial}{\partial z}+J_{35}\Big\}\xi U_{z,1}^{(0)}=\Big(1+\big(F_2'(z)\big)^2\Big)f_n^{(2)};$$
$$\Big\{Q_{41}\frac{\partial^2}{\partial t^2}+Q_{42}\frac{\partial^2}{\partial z^2}+Q_{43}\frac{\partial}{\partial z}+Q_{44}\Big\}U_{r,0}^{(0)}+\Big\{P_{41}\frac{\partial^4}{\partial t^4}+P_{42}\frac{\partial^4}{\partial t^2\partial z^2}+$$
$$+P_{43}\frac{\partial^4}{\partial z^4}+P_{44}\frac{\partial^3}{\partial t^2\partial z}+P_{45}\frac{\partial^3}{\partial z^3}+P_{46}\frac{\partial^2}{\partial t^2}+P_{47}\frac{\partial^2}{\partial z^2}+$$
$$+P_{48}\frac{\partial}{\partial z}+P_{49}\Big\}\xi U_{r,1}^{(0)}+\Big\{R_{41}\frac{\partial}{\partial z}+R_{42}\Big\}U_{z,0}^{(0)}+\Big\{J_{41}\frac{\partial^3}{\partial t^2\partial z}+ \tag{9}$$
$$+J_{42}\frac{\partial^3}{\partial z^3}+J_{43}\frac{\partial^2}{\partial z^2}+J_{44}\frac{\partial}{\partial z}+J_{45}\Big\}\xi U_{z,1}^{(0)}=\Big(1+\big(F_2'(z)\big)^2\Big)f_{S_2}^{(2)};$$

bu yerda Q_{ij}, P_{ij}, R_{ij}, J_{ij} va H_{ij} uch qatlamli konussimon qobiqning geometrik hamda fizik parametrlariga bog‘liq bo‘lgan o‘zgarmas koeffitsiyenlar. Masalan:

$$Q_{11}=\rho_1F_1'(z)r_l^{(1)}\frac{\left(C_{13}^{(1)}+C_{44}^{(1)}\right)}{C_{11}^{(1)}C_{11}^{(1)}}\left(C_{13}^{(1)}+2C_{44}^{(1)}\right);\ \ldots\ldots$$

(6)-(9) tenglamalar sistemasidagi $U_{r,0}^{(0)}$, $U_{z,0}^{(0)}$, $U_{r,1}^{(0)}$ va $U_{z,1}^{(0)}$ izlanuvchi funksiyalar. Ular uch qat-lamli konussimon qobiqning markaziy o‘qidan ξ masofada joylashgan o‘rta qatlamdan tanlangan sirtdagi ko‘chish vektorining komponentalari hisoblanadi. Uch qatlamli konussimon qobiqning qatlamlaridagi ko‘-chish va kuchlanishlarni topish uchun qatlamlardagi ko‘chish va kuchlanishlarni ham $U_{r,0}^{(0)}$, $U_{z,0}^{(0)}$, $U_{r,1}^{(0)}$ va $U_{z,1}^{(0)}$ izlanuvchi funksiyalar orqali ifodalaymiz:

Uch qatlamli konussimon qobiqning ichki qatlamidagi ko‘chishlar quyidagicha:

$$U_z^{(1)}=U_{z,0}^{(0)}+\xi\ln\left(r_l^{(0)}/\xi\right)U_{z,1}^{(0)};$$
$$U_r^{(1)}=\frac{r}{2}\Bigg[U_{r,0}^{(0)}+\Bigg(\rho_0\frac{1}{C_{11}^{(0)}}\left(\ln\left(\frac{r_l^{(0)}}{\xi}\right)-\frac{1}{2}\right)\frac{\partial^2}{\partial t^2}-\frac{C_{44}^{(0)}}{C_{11}^{(0)}}\left(\ln\left(\frac{r_l^{(0)}}{\xi}\right)- \tag{10}$$
$$-\frac{1}{2}\Big)\frac{\partial^2}{\partial z^2}+\frac{2}{\left(r_l^{(0)}\right)^2}\Bigg)\xi U_{r,1}^{(0)}+\left(\ln\left(\frac{r_l^{(0)}}{\xi}\right)-\frac{1}{2}\right)\frac{\partial}{\partial z}B_1^{(0)}\xi U_{z,1}^{(0)}\Bigg];$$

Uch qatlamli konussimon qobiqning o‘rta qatlamidagi ko‘chishlar quyidagicha:

$$U_z^{(0)}=U_{z,0}^{(0)}+\frac{\xi}{2}U_{z,1}^{(0)};$$
$$U_r^{(0)}=\frac{r}{2}U_{r,0}^{(0)}-\frac{r}{4}\frac{\partial}{\partial z}B_1^{(0)}\xi U_{z,1}^{(0)}-\left(\frac{r\rho_0}{4}\frac{1}{C_{11}^{(0)}}\frac{\partial^2}{\partial t^2}-\frac{r}{4}\frac{C_{44}^{(0)}}{C_{11}^{(0)}}\frac{\partial^2}{\partial z^2}-\frac{1}{r}\right)\xi U_{r,1}^{(0)}; \tag{11}$$

Uch qatlamli konussimon qobiqning tashqi qatlamidagi ko‘chishlar quyidagicha:

$$U_z^{(2)}=U_{z,0}^{(0)}+\ln\left(r_l^{(2)}/\xi\right)\xi U_{z,1}^{(0)};$$
$$U_r^{(2)}=\frac{\left(r_l^{(2)}\right)^2}{2r}U_{r,0}^{(0)}+\Bigg(\rho_0\frac{1}{C_{11}^{(0)}}\frac{\left(r_l^{(2)}\right)^2}{2r}\left(\ln\left(\frac{r_l^{(2)}}{\xi}\right)-\frac{1}{2}\right)\frac{\partial^2}{\partial t^2}-$$
$$-\frac{C_{44}^{(0)}}{C_{11}^{(0)}}\frac{\left(r_l^{(2)}\right)^2}{2r}\left(\ln\left(\frac{r_l^{(2)}}{\xi}\right)-\frac{1}{2}\right)\frac{\partial^2}{\partial z^2}+\frac{1}{r}\Bigg)\xi U_{r,1}^{(0)}+ \tag{12}$$
$$+\frac{\left(r_l^{(2)}\right)^2}{2r}\left(\ln\left(\frac{r_l^{(2)}}{\xi}\right)-\frac{1}{2}\right)\frac{\partial}{\partial z}\tilde{B}_1^{(0)}\xi U_{z,1}^{(0)}.$$

$\sigma_{\theta\theta}^{(1)}$, $\sigma_{zz}^{(1)}$ va $\sigma_{rz}^{(1)}$ kuchlanishlar ham xuddi shunday ifodalanadi. Xuddi shunday uch qatlamli konussimon qobiqning orta qatlamidagi ko‘chish va kuchlanishlar quyidagicha:

$$\sigma_{rr}^{(1)} = q_{11}^{(1)}U_{r,0}^{(0)} + n_{11}^{(1)}\frac{\partial}{\partial z}U_{z,0}^{(0)} + \left\{p_{11}^{(1)}\frac{\partial^2}{\partial t^2} + p_{12}^{(1)}\frac{\partial^2}{\partial z^2} + p_{13}^{(1)}\right\}\xi U_{r,1}^{(0)} + j_{11}^{(1)}\frac{\partial}{\partial z}\xi U_{z,1}^{(0)};$$

$$\sigma_{\theta\theta}^{(1)} = q_{21}^{(1)}U_{r,0}^{(0)} + n_{21}^{(1)}\frac{\partial}{\partial z}U_{z,0}^{(0)} + \left\{p_{21}^{(1)}\frac{\partial^2}{\partial t^2} + p_{22}^{(1)}\frac{\partial^2}{\partial z^2} + p_{23}^{(1)}\right\}\xi U_{r,1}^{(0)} + j_{21}^{(1)}\frac{\partial}{\partial z}\xi U_{z,1}^{(0)};$$

$$\sigma_{zz}^{(1)} = q_{31}^{(1)}U_{r,0}^{(0)} + n_{31}^{(1)}\frac{\partial}{\partial z}U_{z,0}^{(0)} + \left\{p_{31}^{(1)}\frac{\partial^2}{\partial t^2} + p_{32}^{(1)}\frac{\partial^2}{\partial z^2} + p_{33}^{(1)}\right\}\xi U_{r,1}^{(0)} + j_{31}^{(1)}\frac{\partial}{\partial z}\xi U_{z,1}^{(0)};$$

$$\sigma_{rz}^{(1)} = \left\{n_{41}^{(1)}\frac{\partial^5}{\partial t^4\,\partial z} + n_{42}^{(1)}\frac{\partial^5}{\partial t^2\,\partial z^3} + n_{43}^{(1)}\frac{\partial^5}{\partial z^5}\right\}U_{z,0}^{(0)} + \left\{j_{43}^{(1)}\frac{\partial^5}{\partial t^2\,\partial z^3} + \right.$$
$$\left. + j_{44}^{(1)}\frac{\partial^5}{\partial z^5} + j_{45}^{(1)}\frac{\partial^4}{\partial t^4} + j_{46}^{(1)}\frac{\partial^4}{\partial t^2\,\partial z^2} + j_{47}^{(1)}\frac{\partial^4}{\partial z^4}\right\}\xi U_{z,1}^{(0)};$$

Uch qatlamli konussimon qobiqning bo‘ylama-radial tebranishlarida hosil bo‘ladigan o‘rta qatlamning qolgan $\sigma_{\theta\theta}^{(0)}$, $\sigma_{zz}^{(0)}$ va $\sigma_{rz}^{(0)}$ larni ham izlanuvchi $U_{r,0}^{(0)}$, $U_{z,0}^{(0)}$, $U_{r,1}^{(0)}$ va $U_{z,1}^{(0)}$ funksiyalar orqali ifo-dalaymiz:

$$\sigma_{rr}^{(0)} = \left\{q_{14}^{(0)}\frac{\partial^2}{\partial z^2} + q_{15}^{(0)}\right\}U_{r,0}^{(0)} + n_{11}^{(0)}\frac{\partial}{\partial z}U_{z,0}^{(0)} +$$
$$+ \left\{p_{11}^{(0)}\frac{\partial^3}{\partial t^2\,\partial z} + p_{12}^{(0)}\frac{\partial^3}{\partial z^3} + p_{13}^{(0)}\frac{\partial}{\partial z}\right\}\xi U_{r,1}^{(0)} + j_{11}^{(0)}\frac{\partial}{\partial z}\xi U_{z,1}^{(0)};$$

$$\sigma_{\theta\theta}^{(0)} = \left\{q_{21}^{(0)}\frac{\partial^6}{\partial t^4\,\partial z^2} + q_{22}^{(0)}\frac{\partial^6}{\partial t^2\,\partial z^4} + q_{23}^{(0)}\frac{\partial^6}{\partial z^6} + q_{24}^{(0)}\frac{\partial^2}{\partial z^2} + q_{25}^{(0)}\right\}U_{r,0}^{(0)} +$$
$$+ n_{21}^{(0)}\frac{\partial}{\partial z}U_{z,0}^{(0)} + \left\{p_{21}^{(0)}\frac{\partial^2}{\partial t^2} + p_{22}^{(0)}\frac{\partial^2}{\partial z^2}\right\}\xi U_{r,1}^{(0)} + j_{21}^{(0)}\frac{\partial}{\partial z}\xi U_{z,1}^{(0)};$$

$$\sigma_{zz}^{(0)} = q_{31}^{(0)}U_{r,0}^{(0)} + \left\{p_{31}^{(0)}\frac{\partial^2}{\partial t^2} + p_{32}^{(0)}\frac{\partial^2}{\partial z^2} + p_{33}^{(0)}\right\}\xi U_{r,1}^{(0)} +$$
$$+ n_{31}^{(0)}\frac{\partial}{\partial z}U_{z,0}^{(0)} + j_{31}^{(0)}\frac{\partial}{\partial z}\xi U_{z,1}^{(0)};$$

$$\sigma_{rz}^{(0)} = \left\{n_{41}^{(0)}\frac{\partial^5}{\partial t^4\,\partial z} + n_{42}^{(0)}\frac{\partial^5}{\partial t^2\,\partial z^3} + n_{43}^{(0)}\frac{\partial^5}{\partial z^5}\right\}U_{z,0}^{(0)} +$$
$$+ \left\{p_{41}^{(0)}\frac{\partial^4}{\partial t^2\,\partial z^2} + p_{42}^{(0)}\frac{\partial^4}{\partial z^4} + p_{43}^{(0)}\frac{\partial^2}{\partial z^2}\right\}\xi U_{r,1}^{(0)} +$$
$$+ \left\{j_{41}^{(0)}\frac{\partial^5}{\partial t^4\,\partial z} + j_{42}^{(0)}\frac{\partial^5}{\partial t^2\,\partial z^3} + j_{43}^{(0)}\frac{\partial^5}{\partial z^5} + j_{44}^{(0)}\frac{\partial^3}{\partial t^2\,\partial z} + j_{45}^{(0)}\frac{\partial^3}{\partial z^3}\right\}\xi U_{z,1}^{(0)};$$

Uch qatlamli konussimon qobiqning tashqi qatlamida hosil bo‘ladigan kuchlanishlarni ham $U_{r,0}^{(0)}$, $U_{z,0}^{(0)}$, $U_{r,1}^{(0)}$ va $U_{z,1}^{(0)}$ izlanuvchi funksiyalar orqali ifodalaymiz.

$$\sigma_{rr}^{(2)} = \left\{q_{11}^{(2)}\frac{\partial^2}{\partial t^2} + q_{12}^{(2)}\frac{\partial^2}{\partial z^2} + q_{13}^{(2)}\right\}U_{r,0}^{(0)} + n_{11}^{(2)}\frac{\partial}{\partial z}U_{z,0}^{(0)} + \left\{p_{11}^{(2)}\frac{\partial^4}{\partial t^4} + p_{12}^{(2)}\frac{\partial^4}{\partial t^2\,\partial z^2} + \right.$$
$$\left. + p_{13}^{(2)}\frac{\partial^4}{\partial z^4} + p_{14}^{(2)}\frac{\partial^2}{\partial t^2} + p_{15}^{(2)}\frac{\partial^2}{\partial z^2} + p_{16}^{(2)}\right\}\xi U_{r,1}^{(0)} + \left\{j_{11}^{(2)}\frac{\partial^3}{\partial t^2\,\partial z} + j_{12}^{(2)}\frac{\partial^3}{\partial z^3} + j_{13}^{(2)}\frac{\partial}{\partial z}\right\}\xi U_{z,1}^{(0)};$$

$$\sigma_{\theta\theta}^{(2)} = \left\{q_{21}^{(2)}\frac{\partial^2}{\partial t^2} + q_{22}^{(2)}\frac{\partial^2}{\partial z^2} + q_{23}^{(2)}\right\}U_{r,0}^{(0)} + n_{21}^{(2)}\frac{\partial}{\partial z}U_{z,0}^{(0)} + \left\{p_{21}^{(2)}\frac{\partial^4}{\partial t^4} + p_{22}^{(2)}\frac{\partial^4}{\partial t^2\,\partial z^2} + \right.$$
$$\left. + p_{23}^{(2)}\frac{\partial^4}{\partial z^4} + p_{24}^{(2)}\frac{\partial^2}{\partial t^2} + p_{25}^{(2)}\frac{\partial^2}{\partial z^2} + p_{26}^{(2)}\right\}\xi U_{r,1}^{(0)} + \left\{j_{21}^{(2)}\frac{\partial^3}{\partial t^2\,\partial z} + j_{22}^{(2)}\frac{\partial^3}{\partial z^3} + j_{23}^{(2)}\frac{\partial}{\partial z}\right\}\xi U_{z,1}^{(0)};$$

$$\sigma_{zz}^{(2)} = \left\{q_{31}^{(2)}\frac{\partial^2}{\partial t^2} + q_{32}^{(2)}\frac{\partial^2}{\partial z^2} + q_{33}^{(2)}\right\}U_{r,0}^{(0)} + n_{31}^{(2)}\frac{\partial}{\partial z}U_{z,0}^{(0)} + \left\{p_{31}^{(2)}\frac{\partial^4}{\partial t^4} + p_{32}^{(2)}\frac{\partial^4}{\partial t^2\,\partial z^2} + \right.$$
$$\left. + p_{33}^{(2)}\frac{\partial^4}{\partial z^4} + p_{34}^{(2)}\frac{\partial^2}{\partial t^2} + p_{35}^{(2)}\frac{\partial^2}{\partial z^2} + p_{36}^{(2)}\right\}\xi U_{r,1}^{(0)} + \left\{j_{31}^{(2)}\frac{\partial^3}{\partial t^2\,\partial z} + j_{32}^{(2)}\frac{\partial^3}{\partial z^3} + j_{33}^{(2)}\frac{\partial}{\partial z}\right\}\xi U_{z,1}^{(0)};$$

$$\sigma_{rz}^{(2)} = q_{41}^{(2)} \frac{\partial}{\partial z} U_{r,0}^{(0)} + n_{41}^{(2)} U_{z,0}^{(0)} + \left\{ p_{41}^{(2)} \frac{\partial^3}{\partial t^2 \partial z} + p_{42}^{(2)} \frac{\partial^3}{\partial z^3} + p_{43}^{(2)} \frac{\partial}{\partial z} \right\} \xi U_{r,1}^{(0)} +$$
$$+ \left\{ j_{41}^{(2)} \frac{\partial^2}{\partial z^2} + j_{42}^{(2)} \right\} \xi U_{z,1}^{(0)};$$

bu yerda q_{ij}, p_{ij}, n_{ij} va j_{ij} uch qatlamli konussimon qobiqning geometrik va fizik parametrlariga bog‘liq bo‘lgan o‘zgarmas koeffitsiyenlar.

Xulosa. Ushbu maqolada transversal-izotrop uch qatlamli konussimon qobiqning bo‘ylama-radial tebranishlari masalasining to‘liq matematik modeli ishlab chiqildi. Matematik amallar va soddalashtirishlar natijasida qobiqning bo‘ylama-radial tebranishlarini to‘liq tavsiflovchi yakuniy tenglamalar sistemasi va uch qatlamli konussimon qobiqning ichki, o‘rta hamda tashqi qatlamlaridagi ko‘chish va kuchlanishlarni aniqlovchi ifodalar keltirib chiqarildi. Uch qatlamli konussimon qobiqning bo‘ylama-radial tebranish tenglamalari sistemasi yechilib izlanuvchi funksiyalar topiladi. Topilgan izlanuvchi funksiyalar ko‘chish va kuchlanishlarning ifodalariga qo‘yilib, har bir qatlamning ko‘chish va kuchlanishlari aniqlanadi.

Olingan natijalar uch qatlamli konussimon qobiqlarning dinamik xususiyatlarini nazariy jihatdan chuqurroq tushunishga xizmat qilib, aviatsiya, gidrotexnika inshootlari, transport vositalari va qurilish sanoatida qo‘llaniladigan yengil va yuqori mustahkamlikka ega ko‘p qatlamli konstruksiyalarni loyihalashda muhim amaliy ahamiyatga ega.

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati:

(1). Григолюк Э.И., Чулков П.П. Устойчивость и колебания трехслойных оболочек. М., Машиностроение, 1973, 170 с.

(2). Григолюк Э.И., Чулков П.П. Критические нагрузки трехслойных цилиндрических и конических оболочек. Новосибирск, Зап. Сиб. кн. изд-во, 1966, 221 с.

(3). Ильгамов М.А., Иванов В.А., Гулин Б.А. Прочность, устойчивость и динамика оболочек с упругим заполнителем. М., “Наука”, 1977, 331 с.

(4). Латифов Ф.С. Колебания оболочек с упругой и жидкой средой. Баку, “Элм”, 1999, 164 с.

(5). Худойназаров Х.Х., Халмурадов Р.И., Ялгашев Б.Ф. Продольно-радиальные колебания упругой цилиндрической оболочки с вязкой сжимаемой жидкостью // КиберЛенинка, 2021.

(6). B.F.Yalgashev, E.A.Ismoilov, Z.B.Khudayberdiyev Torsional Vibrations of Layered Cylindrical Viscoelastic Shells and Rods // AIP Conference Proceedings 2637, 030023 (2022); https://doi.org/10.1063/5.0118588. Published Online: 20 October 2022.

Qurbonov Ergash Qurolovich (Jizzax davlat Pedagogika universiteti dotsenti; ergash_qurbonov68@mail.ru)

LOBACHEVSKIY TEKISLIGINING PUANKARE YARIM TEKISLIK MODELI VA UNING GEODEZIK CHIZIQLARI

Annotatsiya. *Uch o‘lchovli yevklid fazosida regulyar holida Lobachevskiy tekisligi to‘laligicha mavjud emas. Shuning uchun bu geometriyani uning modellari yordamida o‘rganish qulayroqdir. Maqolada Lobachevskiy tekisligining Puankare yuqori yarim tekislik modeli hamda uning geodezik chiziqlari aniqlangan. Avvalo modelning asosiy tushunchalari hamda metrikasi aniqlangan. Puankarening yuqori yarim tekislik modeli metrikasidan foydalanib, Eyler-Logranj tenglamalari vositasida modelning geodezik chiziqlari aniqlangan. Natija shundan iboratki, modelning geodezik chiziqlari aylana yoylaridan hamda vertikal to‘g‘ri chiziqlardan iborat.*

Kalit so‘zlar: *Puankare modeli, giperbolik to‘g‘ri chiziq, vertikal to‘g‘ri chiziq, Eyler-Logranj tenglamalari, yuqori yarim tekislik.*

МОДЕЛЬ ВЕРХНЕЙ ПОЛУПЛОСКОСТИ ПУАНКАРЕ, ПЛОСКОСТИ ЛОБАЧЕВСКОГО И ЕЁ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ЛИНИИ

Аннотация. *В трёхмерном евклидовом пространстве плоскость Лобачевского в обычном виде не существует целиком. Поэтому изучать эту геометрию более удобно с помощью её моделей. В статье рассматриваются модель верхней полуплоскости Пуанкаре плоскости Лобачевского и её геодезические линии. Прежде всего определены основные понятия и метрика модели. С использованием метрики модели верхней полуплоскости Пуанкаре геодезические линии модели определены посредством уравнений Эйлера–Лагранжа. Полученный результат показывает, что геодезические линии модели состоят из дуг окружностей и вертикальных прямых линий.*

Ключевые слова: *модель Пуанкаре, гиперболическая прямая, вертикальная прямая, уравнения Эйлера–Лагранжа, верхняя полуплоскость.*