

## YUPQA QOBIQNING MAGNITOELASTIK TEBRANISHI

**Butayev Ruslan**

Abdulla Qodiriy nomidagi Jizzax davlat pedagogika instituti o'qituvchisi

**Yusupov Nuriddin**

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti  
Samarqand filiali

<https://doi.org/10.5281/zenodo.6891589>

*Annotatsiya.* Ishda nostatsionar magnit maydonida yupqa tok o'tkazuvchi qobiqning tebranishi matematik modellashtirilgan. Lorents kuchining tasirini hisobga olingan holda olingan sonli natijalar tahlil qilingan.

*Kalit so'zlar:* elektromagnit maydoni, magnitoelastiklik, Lorents kuchi, deformatsiya.

## МАГНИЭЛАСТИЧНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ТОНКИХ ОБОЛОЧЕК

*Аннотация.* В работе математически моделировано магнитоупругих колебаний тонких токопроводящих оболочек в нестационарном магнитном поле. Проанализированы полученные результаты с учетом сил Лоренца.

*Ключевые слова:* электромагнитная поля, магнитоупругость, сила Лоренца, деформация.

## MAGNETELASTIC VIBRATIONS OF THIN SHELLS

*Abstract.* The work mathematically simulates magnetoelastic vibrations of thin conductive shells in a non-stationary magnetic field. The obtained results are analyzed taking into account the Lorentz forces.

*Keywords:* electromagnetic field, magnetoelasticity, Lorentz force, deformation.

## KIRISH

Bog'liqli maydonlar mexanikasi muammolaridan bo'lgan elektromanito-elastikka oshib borayotgan qiziqishlar ishlab chiqarishning turli sohalaridagi zamonaviy texnik jarayonlar talablarini ta'minlash va yangi texnologiyalarni ishlab chiqish talablaridan kelib chiqadi. Deformatsiyalanuvchan jismlarda bog'liqli maydonlar mexanikasi bo'yicha tadqiqotlar olib borish ham fundamental, ham amaliy ahamiyatga ega bo'lib, ularga muhim dolzarblik kasb etadi.

Elektromagnit maydoni bilan elektr o'tkazuvchi jismlarning dinamik va mexanik ko'chishlarining bog'liqlik effektlari ponderomotor Lorens kuchlari orqali amalga oshiriladi. Elastik jisning elektromagnit maydoni bilan o'zaro ta'siri bo'yicha bajarilgan ishlarning ko'pchiligi masala chiziqi qo'yilganda qaralgan.

Magnitoelastiklik hozirgi davrga kelib juda muhim amaliy samara bermoqda va zamonaviy texnikaning turli sohalariga tadbiiq qilinmoqda. Jumladan: mikrotizimli texnikada, mikroelektro-magnitomexanik tizimlarda, real konstruktiv elementlarni hisoblashlarda, zamonaviy o'lchagich tizimlarini yaratishda, shuningdek, elektron avtomatik stansiyalarning elektron boshqaruv mashinalarida va mikroelektronika, radioelektronika, elektrotexnikaning har xil sohalarida uchraydigan elektromagnit maydoni ta'siri ostida ishlaydigan yupqa plastinka va qobiq shaklidagi konstruktiv elementlar tebranishi, mustahkamligi, kuchlanganlik holatlarini tadqiq qilishda.

## TADQIQOT MATERIALLARI VA METODOLOGIYASI

EHMning qo'llanish sohalaridan biri tabiatdagi turli jarayonlarni va ob'yektlarni matematik modellashtirishdir. Jarayonlarni kompyuter yordamida modellashtirish va tadqiq etish usuli turli fan sohalarida keng qo'llanilib kelmoqda.

Magnit maydonida elektr o'tkazuvchi jism deformatsiyalanish jaryonini matematik modellashtirish va jismda paydo bo'ladigan elektromagnit effektlarni tadqiq qilish amaliy jixatdan muhim axamiyatga ega.

Obyekt va jarayonlarni kompyuter yordamida tadqiq etish quyidagicha zanjirni namoyish qiladi: Obyekt –model–hisoblash algoritmi–EHM uchun dastur–hisoblash natijalari–hisoblash natijalarining taxlili– obyektни boshqarish.

Magnit maydonida tok o'tkazuvchi izotrop elastic jismning nostatsionar elektromagnit kuchlar ta'sirida magnitoelastik deformatsiyalanish jarayoni matematik modelini quyidagicha yo`zamiz [1-5]:

$$\operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}, \operatorname{rot} \vec{H} = \vec{J} + \vec{J}_{cm}, \operatorname{div} \vec{B} = 0, \operatorname{div} \vec{D} = 0. \quad (1)$$

$$\rho \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = \rho (\vec{F} + \vec{F}^{\wedge}) + \operatorname{div} \hat{\sigma}. \quad (2)$$

$$\vec{B} = \mu \vec{H}, \vec{D} = \varepsilon \vec{E}. \quad (3)$$

$$\vec{J} = \sigma (\vec{E} + \vec{V} \times \vec{B}). \quad (4)$$

$$\rho \vec{F}^{\wedge} = \sigma (\vec{E} + \vec{V} \times \vec{B}) \times \vec{B}. \quad (5)$$

mos ravishda boshlang'ich va chegaraviy shartlar:

$$v_k (t_{ki} + \tau_{ki}) \Big|_{S_1} = [P_i + v_k \tau_{ki}^{(c)}] \Big|_{S_1}. \quad (6)$$

$$\vec{u} = 0, \vec{\dot{u}} = 0, \vec{B} = 0, \vec{B}^{(c)} = 0, \vec{H} = 0, \vec{H}^{(c)} = 0. \quad (7)$$

Bu yerda  $\vec{E}$  - elektr maydoni kuchlanganligi vektori;  $\vec{H}$  - magnit maydoni kuchlanganligi vektori;  $\vec{D}$  - elektr induksiyasi vektori;  $\vec{B}$  - magnit induksiya-si vektori;  $\vec{J}_{cm}$  - begona elektr toki zichligi;  $\vec{F}$  - hajmiy kuch;  $\vec{F}^{\wedge}$  - hajmiy Lorens kuchi;  $\vec{J}$  - elektr toki zichligi;  $\hat{\sigma}$  - ichki kuchlanish tenzori;  $\sigma, \varepsilon, \mu$  - mos holda tok o'tkazuvchi jismning elektr o'tkazuvchanlik, dielektrik va magnit singdiruvchanlik;  $t_{ki}$  - kuchlanish tenzori;  $\tau_{ki}, \tau_{ki}^{(c)}$  - jism va vakumdagi Maksvell tenzorlari;  $P_i$  - sirt kuchlari tashkil etuvchilari;  $v_k$  - birlik normal vektor komponentalari;  $S_1$  - kuchlanishlar berilgan jism chegarasi qismi;  $\vec{u}$  - ko'chish vektori, (c) - indeks miqdorlarning tashqi muhitga tegishli ekanligini ko'rsatadi.

Shunday qilib, (1), (2) munosabatlar va (3)–(5), hamda (6), (7) bilan birgalikda tok o'tkazuvchi elastic jism magnitoelastikligi modelini tashkil etadi.

### TADQIQOT NATIJALARI

Nostatsionar magnit maydonida yupqa izotrop qobiqning elektrodinamik kuchlar ta'siridagi magnitoelastik deformatsiyalanish jarayoni matematik modelini quyidagicha yo`zish mumkin:

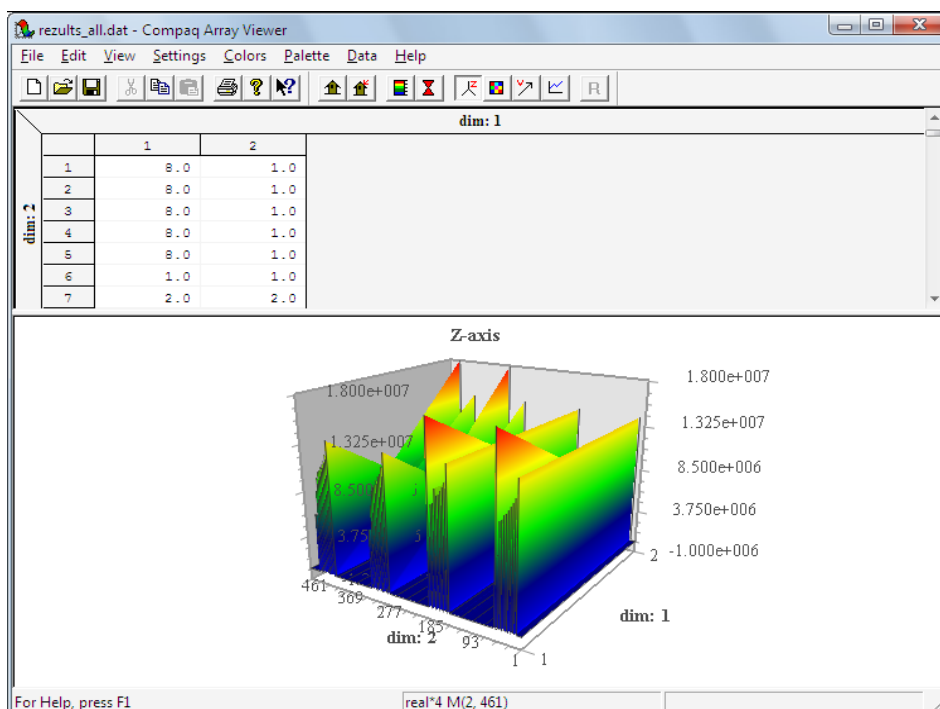
$$\frac{\partial u}{\partial s} = \frac{1 - v_s v_\theta}{e_s h} N_s - \frac{v_\theta \cos \varphi}{r} u - \frac{v_\theta \sin \varphi}{r} w - \frac{1}{2} \theta_s^2;$$

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial w}{\partial s} &= -\theta_s ; \quad \frac{\partial \theta_s}{\partial s} = \frac{12(1-\nu_s\nu_\theta)}{e_s h^3} M_s - \frac{\nu_\theta \cos \varphi}{r} \theta_s ; \\
 \frac{\partial N_s}{\partial s} &= \frac{\cos \varphi}{r} \left[ \left( \nu_s \frac{e_\theta}{e_s} - 1 \right) N_s + e_\theta h \left( \frac{\cos \varphi}{r} u + \frac{\sin \varphi}{r} w \right) \right] - \\
 &- P_s + h J_{\theta CT} B_\zeta - \sigma_1 h \left[ E_\theta B_\zeta + 0.5 \frac{\partial w}{\partial t} B_\zeta (B_s^+ + B_s^-) - \frac{\partial u}{\partial t} B_\zeta^2 \right] + \rho h \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} ; \\
 \frac{\partial Q_s}{\partial s} &= -\frac{\cos \varphi}{r} Q_s + \nu_s \frac{e_\theta}{e_s} \frac{\sin \varphi}{r} N_s + e_\theta h \frac{\sin \varphi}{r} \left( \frac{\cos \varphi}{r} u + \frac{\sin \varphi}{r} w \right) - P_\zeta - \\
 &- 0.5 h J_{\theta CT} (B_s^+ + B_s^-) - \sigma_3 h \left[ -0.5 E_\theta (B_s^+ + B_s^-) - 0.25 \frac{\partial w}{\partial t} (B_s^+ + B_s^-)^2 - \right. \\
 &- \left. \frac{1}{12} \frac{\partial w}{\partial t} (B_s^+ - B_s^-)^2 + 0.5 \frac{\partial u}{\partial t} B_\zeta (B_s^+ + B_s^-) + \frac{h}{12} \frac{\partial \theta_s}{\partial t} B_\zeta (B_s^+ + B_s^-) \right] + \rho h \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} ; \\
 \frac{\partial M_s}{\partial s} &= \frac{\cos \varphi}{r} \left[ \left( \nu_s \frac{e_\theta}{e_s} - 1 \right) M_s + \frac{e_\theta h^3}{12} \frac{\cos \varphi}{r} \theta_s \right] + Q_s + N_s \theta_s - \\
 &- \frac{\sin \varphi}{r} \left( \nu_s \frac{e_\theta}{e_s} M_s + \frac{e_\theta h^3}{12} \frac{\cos \varphi}{r} \theta_s \right) \theta_s + \frac{h^3}{12} \frac{\partial^2 \theta_s}{\partial t^2} ; \\
 \frac{\partial B_\zeta}{\partial s} &= -\sigma_2 \mu \left[ E_\theta + 0.5 \frac{\partial w}{\partial t} (B_s^+ + B_s^-) - \frac{\partial u}{\partial t} B_\zeta \right] + \frac{B_s^+ - B_s^-}{h} ; \\
 \frac{\partial E_\theta}{\partial s} &= -\frac{\partial B_\zeta}{\partial t} - \frac{\cos \varphi}{r} E_\theta .
 \end{aligned} \tag{8}$$

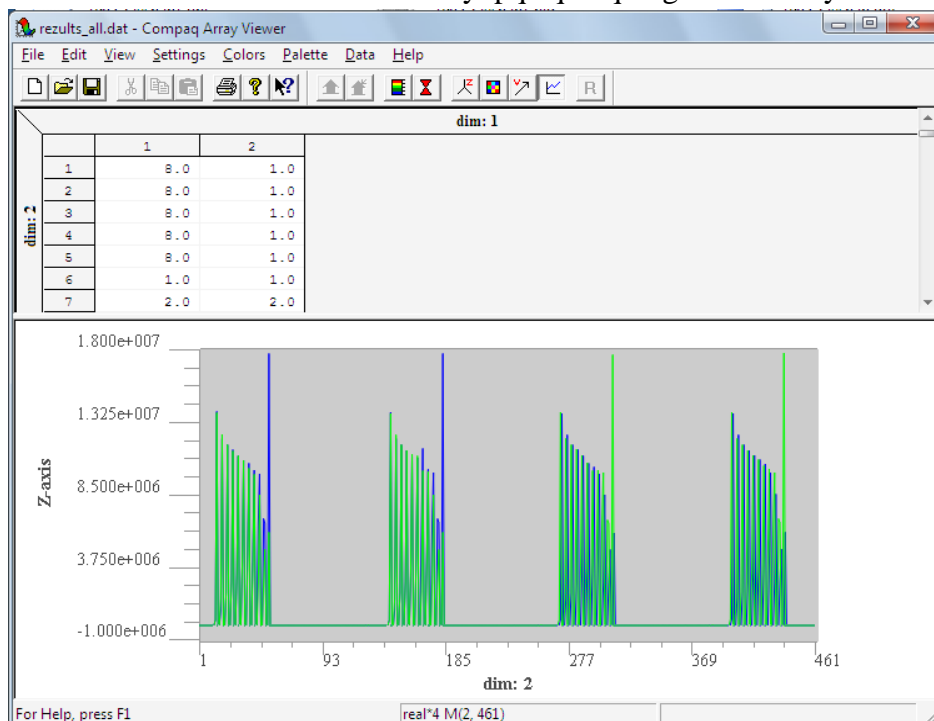
Nostasionar magnit va mexanik ta'sirlar ostida bo'lgan qobiqning kuchlanganlik – deformatsiyalanganlik holatini aniqlash masalasini fiksirlangan vaqt momentlari uchun yechamiz. Buning uchun tok tashuvchi qobiqning butun harakati jarayonini vaqt bo'yicha kichik bosqichlariga bo'lamiz va deformatsiyalanish tarixini kuzatamiz, ya'ni har bir vaqt qatlamida masalani ketma – ket yechgan holda. Vaqt bo'yicha o'zgaruvchilarni ajratish uchun turg'un bo'lgan chekli ayirmali Nyumark sxemasini qo'llaymiz. Qobiqlarning chiziqlimas chegaraviy masalalarni yechishda xar bir qadamda chiziqli chegaraviy masala yechiladigan interasion jarayonlarni qo'llash effektiv hisoblanadi. Chiziqlimas chegaraviy masalalarni yechishning bunday usullariga chiziqililashtirish usuli ta'luqlidir. Oxirgi bosqichda chiziqli chegaraviy masalalarning har biri diskret ortogonallashtirish usuli bilan yechildi [1-4].

### MUHOKAMA

Elektrodinamik kuchlarning plastinka va qobiq shaklidagi mikroelementlarning tebranishiga tasirini o'rganish maqsadida boroallyuminiydan yasalgan mikroelementni magnit maydonida qaraymiz.



1-rasm. Elektrodinamik kuchlar ta'sirida yupqa qobiqning deformatsiyalanishi



2-rasm. Ikki o'lchamli diagramma ko'rinishi

Olingan natijalar elektrodinamik kuchlarning toktashuvchi mikroelementning kuchlanganlik holatiga tasiri juda sezilarli ekanligini ko'rsatadi (1-rasm).

### XULOSA

Lorens kuchlari o'tkazuvchi tutaq muhit elementlarining harakati tezligi va tashqi magnit maydoni, tashqi magnit maydoniga nisbatan o'tkazish tokining yo'nalishi va miqdorlariga bogliq bo'ladi. Bu elektromagnit kuchlar jism holatini va uning elektromagnit maydonini o'zgartiradi. Deformatsiya jarayonida toktashuvchi jism sirti shakli o'zgaradi, bu esa tok yo'nalishining o'zgarishiga olib keladi, ya'ni jismdagi elektromagnit maydoni o'zgaradi va uyurmaviy tok paydo

bo`ladi. Bu uyurmaviy tokning tashqi elektomagnit maydoni bilan o`zaro ta`siri natijasida elektomagnit kuchlari, ya`ni Lorens kuchlari vujudga keladi. Bu elektrodinamik kuchlarning yupqa toktashuvchi egiluvchan plastinka va qobiq shaklidagi mikroelementlarga tasiri juda sezilarlidir.

#### REFERENCES

1. Y. M. Grigorenko and L. V. Mol'chenko, *Fundamentals of the Theory of Plates and Shells with Elements of Magnetoelasticity (Textbook)* (IPTs, 2010). Google Scholar
2. Indiaminov, R., Narkulov, A., & Butaev, R. (2021, July). Magnetoelastic strain of flexible shells in nonlinear statement. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2365, No. 1, p. 070015). AIP Publishing LLC.
3. Indiaminov, R., Narkulov, A., Yusupov, N., Rustamov, S., Butaev, R., Kholjigitov, S., & Isayev, N. (2022, June). Nonlinear oscillations of a current-carrying shell in magnetic field. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2467, No. 1, p. 020013). AIP Publishing LLC.
4. Indiaminov, R., & Narkulov, A. S. (2020). MATHEMATICAL MODELING OF MAGNETOELASTIC VIBRATIONS OF A ROD IN A MAGNETIC FIELD. *Theoretical & Applied Science*, (3), 327-332.
5. Indiaminov, R., & Yusupov, N. (2021, November). Mathematical Modeling of Magnetoelastic Vibrations of Current Conductive Shells in the Non Stationary Magnetic Field. In *2021 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT)* (pp. 1-4). IEEE.
6. Indiaminov, R. (2008). SH. On the absence of the tangential projection of the Lorenz force on the ax symmetrical stressed state of current-carrying conic shells. *International Journal Computational Technologies*, 1