

TOK O`TKAZUVCHI MIKROELEMENTNING MAGNITOELASTIK TEBRANISHI

Javohir Shodmonov

Samarqand davlat universiteti Kattaqo'rg'on filiali Axborot texnologiyalari kafedrasida assistenti

Abdubakir Abdullaev

Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti assistenti

<https://doi.org/10.5281/zenodo.6873133>

Annotatsiya. Ishda elektromagnit maydoni ta'sirida bo'lgan yupqa tok o'tkazuvchi mikroelementning magnitoelastiklik tebranishi matematik modellashtirilgan. Lorents kuchining ta'sirini hisobga olingan holda olingan sonli natijalar tahlil qilingan.

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

МАГНИТОУПРУГИЕ КОЛЕБАНИЯ ТОКОПРОВОДЯЩЕГО МИКРОЭЛЕМЕНТА

Аннотация. В работе математически моделировано магнитоупругое колебания токопроводящего микроэлемента находящегося под воздействием электромагнитного поля. Проанализированы полученные результаты с учетом сил Лоренца.

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

MAGNETOELASTIC OSCILLATIONS OF A CONDUCTING MICROELEMENT

Abstract. The work mathematically simulates the magnetoelastic oscillations of a conductive microelement under the influence of an electromagnetic field. The obtained results are analyzed taking into account the Lorentz forces.

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

KIRISH

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'lichagich 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.

Elektronika kristal elementlari, mexanika, informatika va o'lichagich tizimlarining integrallashuvi, bu texnologiyalarning birlashishiga va mikrotizimli texnikaning yaratilishiga, hamda mikroelektromagnitomexanik tizimlarning paydo bo'lishiga olib keldi.

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 ahamiyatga ega.

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

Magnit maydonida tok o'tkazuvchi jismning elektromagnit kuchlar ta'sirida magnitoelastik deformatsiyalanish jarayoni matematik modelini quyidagicha yo`zamiz:

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

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

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

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

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

mos ravishda boshlang'ich va chegaraviy shartlar:

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

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

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; σ, ε, μ - 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 elastik jism magnitoelastiklikligi modelini tashkil etadi.

TADQIQOT NATIJALARI

Magnit maydonida yupqa tok o'tkazuvchi mikroelementning elektrodinamik kuchlar ta'siridagi magnitoelastik deformatsiyalanish jarayoni matematik modelini quyidagicha yo`zish mumkin:

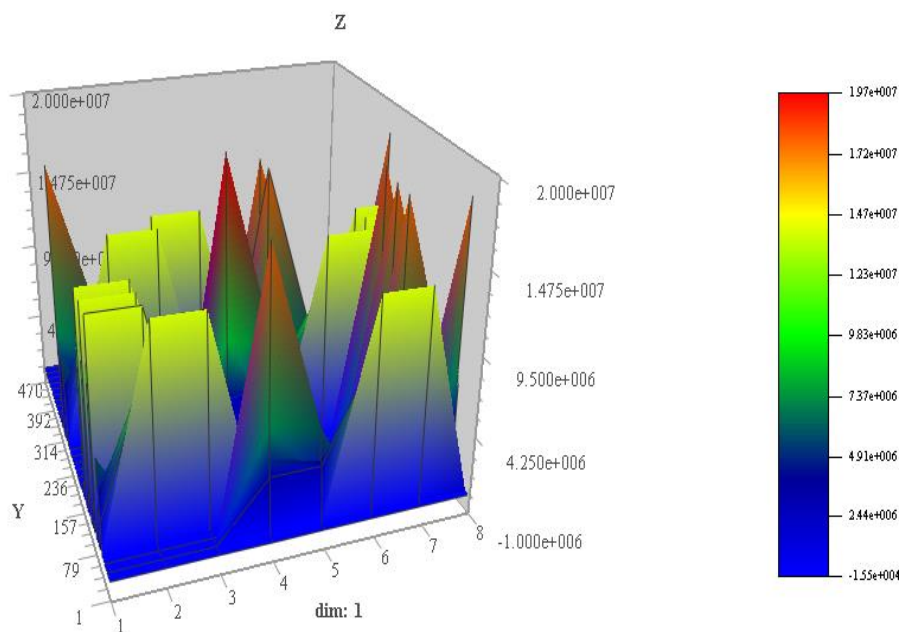
$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial s} &= \frac{1 - v_s v_\theta}{e_s h} N_s - \frac{v_\theta \cos \varphi}{r} u - \frac{v_\theta \sin \varphi}{r} w - \frac{1}{2} \theta_s^2; \quad \frac{\partial w}{\partial s} = -\theta_s; \\ \frac{\partial \theta_s}{\partial s} &= \frac{12(1 - v_s v_\theta)}{e_s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

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

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 chiziqlilashtirish usuli ta'luqlidir. Oxirgi bosqichda chiziqli chegaraviy masalalarning har biri diskret ortogonallashtirish usuli bilan yechildi.

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 mikroelementning deformatsiyalanishi

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

XULOSA

Bog'liqli maydonlar mehanikasida tutash muhit harakatini elektromagnit effektlarni hisobga olgan holda o'rganish muhim o'rinni egallaydi. Zamonaviy yangi texnika va texnologiyalarning rivojlanishi bu effektlarni hisobga olish kerakligi zaruriyatini keltirib chiqardi.

Toktashuvchi jism magnit maydonida harakatlanganda elektromagnit maydoni tomonidan shu jismga tasir qiluvchi hajmiy elektrodinamik kuch, yani Lorens kuchi paydo bo'ladi. 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. R. Indiaminov, "On the absence of the tangential projection of the Lorentz force on the axisymmetrical stressed state of current-carrying conic shells," *Int. Jour. Comp. Techn.* 13, 65–77 (2008). Google Scholar
3. Indiaminov, R., Narkulov, A., Butaev, R. Magnetoelastic strain of flexible shells in nonlinear statement // *Journal AIP Conference Proceedings*, 2021, 2365, 02 0002.
4. Indiaminov R., Abdullaev A., Ismailova N. Magnit maydonida to'k o'tkazuvchi jismning magnitoelastik deformatsiyalanishi modeli // Andijon davlat universiteti "Zamonaviy matematika-ning nazariy asoslari va amaliy masalalari" mavzusida Respublika miqyosidagi ilmiy-amaliy anjuman materiallari to'plami 2022 yil 26 mart.
5. Indiaminov R., Shodmonov J., Qarshiboyev N. Elektromagnit kuchlar ta'sirida yupqa mikroelementning magnitoelastik tebranishi matematik modeli // Andijon davlat universiteti "Zamonaviy matematikaning nazariy asoslari va amaliy masalalari" mavzusida Respublika miqyosidagi ilmiy-amaliy anjuman materiallari to'plami 2022 yil 26 mart.