

Вовкодав Н.І., к.ф.-м.н., доц.
Український державний університет харчових технологій
Киричок І.Ф., д.ф.-м.н., пров. наук. співроб.
Інститут механіки ім.С.П.Тимошенко НАН України
Михайленко В.В., д.ф.-м.н.
зав. кафедри вищої математики
Житомирського інженерно-технологічного інституту

ПРО РАДІАЛЬНІ КОЛИВАННЯ ТА РОЗІГРІВ ПОЛЯРИЗОВАНОЇ ПО ТОВЩИНІ КРУГЛОЇ П'ЄЗОПЛАСТИНИ З НЕОДНОРІДНО ЕЛЕКТРОДОВАНИМИ ЗОВНІШНІМИ ПЛОЩИНАМИ

Побудовано аналітичний розв'язок квазістатичної задачі про радіальні коливання та розігрів п'єзокерамічної круглої пластини з товщинною поляризацією при неоднорідному покриттю електродами зовнішніх площин, що навантажені гармонічною в часі різницею електричного потенціалу. Динамічна задача розв'язується чисельно з використанням методів дискретної ортогоналізації та кінцевих різниць.

Вплив зумовлених різними чинниками неоднорідностей на термоелектромеханічну поведінку п'єзоактивних елементів досліджувалось в працях [2,5-9] та ін. Більшість робіт, виконаних в квазістатичній та динамічній постановках, присвячена вивченню впливу часткової температурної деполаризації [2,5, 6,7] або шаруватості п'єзоелементів [8,9]. Змістовний огляд досліджень в цьому напрямку електротермомеханіки міститься в статті [6]. В даній роботі досліджується вплив неоднорідностей, зумовлених частковим покриттям електродами зовнішніх площин круглої п'єзокерамічної пластинки, на її термомеханічну поведінку при радіальних коливаннях.

Розглядається тонка кругла пластинка товщиною h та радіусом r_1 . Пластинка виготовлена з в'язкопружної п'єзокераміки, що поляризована в напрямку товщини. Зовнішні площини $z = \pm h/2$ вздовж радіуса r частково електродовані і навантажені різницею електричного потенціалу $\psi(h/2) - \psi(-h/2) = \text{Re}(V_0 e^{i\omega t})$, де $V_0 = \text{const}$; ω - колова частота; t - час. В пластинці реалізуються радіальні осесиметричні електромеханічні коливання і плоский напружений стан ($\sigma_z = 0$). Приймається, що складовими електричної індукції D_r, D_θ , які перпендикулярні напрямку поляризації, можна знехтувати [3]. Площини $z = \pm h/2$ теплоізоляовані, а край $r = r_1$ підтримується при постійній температурі $T = T_c$. Механічно край $r = r_1$ або вільний від напружень, або защемлений. Дисипативні властивості п'єзокераміки описуються концепцією комплексних електромеханічних характеристик, що не залежать від температури.

Розглянемо випадок, коли електродовані і не електродовані поверхні $z = \pm h/2$ пластинки розділені радіусом r_0 на дві області: колову ($0 \leq r \leq r_0$) і кільцеву ($r_0 \leq r \leq r_1$). При цьому всі польові величини, що описують електротермомеханічну поведінку, будемо супроводжувати індексами 1 і 2 відповідно. Тоді задача про гармонічні коливання і розігрів розглядуваної пластинки відносно комплексних польових величин (множник $e^{i\omega t}$ опускається) зводиться до розв'язку для кожної області рівнянь електромеханіки

$$\frac{d\sigma_r^{(k)}}{dr} + \frac{1}{r}(\sigma_r^{(k)} - \sigma_\theta^{(k)}) = -\rho \cdot \omega^2 u, \quad \frac{dD_z^{(k)}}{dz} = 0; \quad (1)$$

співвідношень електров'язкопружності

$$\varepsilon_r^{(k)} = S_{11}^E \sigma_r^{(k)} + S_{12}^E \sigma_\theta^{(k)} + d_{31} E_z^{(k)}, \quad \varepsilon_\theta^{(k)} = S_{12}^E \sigma_r^{(k)} + S_{11}^E \sigma_\theta^{(k)} + d_{31} E_z^{(k)},$$

$$D_z^{(k)} = \varepsilon_{33}^T E_z^{(k)} + d_{31}(\sigma_r^{(k)} + \sigma_\theta^{(k)}), \quad E_z^{(k)} = -\frac{d\psi^{(k)}}{dz}; \quad (2)$$

$$\varepsilon_r^{(k)} = \frac{du^{(k)}}{dr}, \quad \varepsilon_\theta^{(k)} = \frac{u^{(k)}}{r} \quad (3)$$

та усереднених за період коливань рівнянь теплопровідності з відомим джерелом тепла

$$\frac{\partial^2 T^{(k)}}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T^{(k)}}{\partial r} + \overline{W}^{(k)} = \frac{1}{a} \frac{\partial T^{(k)}}{\partial t} \quad (4)$$

Граничні механічні і теплові умови мають вигляд:

$$\begin{aligned} u^{(1)} \neq \infty \quad (r = 0); \quad u^{(1)} = u^{(2)}, \quad \sigma_r^{(1)} = \sigma_r^{(2)} (r = r_0); \\ \sigma_r^{(2)} = 0, \quad \text{або} \quad u^{(2)} = 0 \quad (r = r_1); \end{aligned} \quad (5)$$

$$T^{(1)} \neq \infty \quad (r = 0); \quad T^{(1)} = T^{(2)}, \quad \frac{dT^{(1)}}{dr} = \frac{dT^{(2)}}{dr} \quad (r = r_0), \quad (6)$$

$$T^{(2)} = T_c \quad (r = r_1).$$

В рівняннях (1) – (6) позначено:

$$\begin{aligned} \frac{2\lambda}{\omega} W^{(k)} = S_{11}'' \left[(\sigma_r^{(k)'})^2 + (\sigma_r^{(k)''})^2 + (\sigma_\theta^{(k)'})^2 + (\sigma_\theta^{(k)''})^2 \right] + \\ + 2S_{12}'' (\sigma_r^{(k)'} \sigma_\theta^{(k)'} + \sigma_r^{(k)''} \sigma_\theta^{(k)''}) + 2d_{31}'' E_z^{(k)'} (\sigma_r^{(k)'} + \sigma_\theta^{(k)'}) + \varepsilon_{33}'' (E_z^{(k)'})^2 \end{aligned} \quad (7)$$

- дисипативна функція;

$$S_{11}^E = S_{11}' - iS_{11}'', \quad S_{12}^E = S_{12}' - iS_{12}'', \quad d_{31} = d_{31}' - id_{31}'', \quad \varepsilon_{33}^T = \varepsilon_{33}' - i\varepsilon_{33}''$$

- комплексні податливості, п'єзомодуль і діелектрична проникливість відповідно;

$$u^{(k)} = u^{(k)'} + iu^{(k)''} \text{ - радіальні переміщення; } \sigma_r^{(k)} = \sigma_r^{(k)'} + i\sigma_r^{(k)''}, \quad \sigma_\theta^{(k)} = \sigma_\theta^{(k)'} + i\sigma_\theta^{(k)''}$$

- радіальні і колові напруження; $D_z^{(k)} = D_z^{(k)'} + iD_z^{(k)'}$, $E_z^{(k)} = E_z^{(k)'} + iE_z^{(k)'}$ - індукція і напруженість електричного поля; λ і a - коефіцієнти тепло- і температуропровідності; ρ - густина п'єзокераміки; штрих і два штрихи позначають відповідно дійсну і уявну складові комплексних величин.

З другого рівняння системи (1) витікає, що

$$D_z^{(k)} = C^{(k)} = \text{const}, \quad (k = 1, 2) \quad (8)$$

Тоді після інтегрування з врахуванням (8) і електричних умов на площинах $z = \pm h/2$ співвідношень (2) маємо

$$E_z = -\frac{V_0}{h}, \quad D_z = -\varepsilon_{33}^T \frac{V_0}{h} + d_{31}(\sigma_r + \sigma_\theta) \quad (9)$$

- для електродованої області;

$$E_z = -\frac{d_{31}}{\varepsilon_{33}^T} (\sigma_r + \sigma_\theta), \quad D_z = 0 \quad (10)$$

для не електродованої області.

В силу рівності $D_z = 0$ для не електродованої області у виразі (7) необхідно знехтувати останнім доданком.

1. Квазістатична задача. Розглянемо випадок стаціонарної температури дисипативного розігріву при квазістатичному гармонічному навантаженні, коли частота вимушених коливань значно менше власної частоти радіальної моди коливання пластинки. В такій постановці в рівняннях (1) і (4) праві частини покладаємо рівними нулю і нехтуємо впливом в'язкості п'єзокераміки при розв'язку квазістатичної задачі електромеханіки [4].

На основі цих допущень і залежностей (1) – (3), (9), (10) розв'язок квазістатичної задачі електромеханіки зводиться до інтегрування рівнянь

$$\frac{d^2 u^{(k)}}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{du^{(k)}}{dr} - \frac{u^{(k)}}{r^2} = 0, \quad (k = 1, 2) \quad (11)$$

з граничними умовами (5).

Після інтегрування рівнянь (11) та обчислення дисипативних функцій (7) з врахуванням співвідношень (9), (10) розв'язується задача теплопровідності (4), (6). В результаті маємо

$$\begin{aligned} u^{(1)} = \frac{V_0}{h} d_{31} d_{11} r, \quad \sigma_r^{(1)} = \sigma_\theta^{(1)} = V_* A_{11}, \\ T^{(1)} = -\frac{1}{4\lambda} W^{(1)} r^2 + B_2; \\ u^{(2)} = \frac{V_0}{h} d_{31} (d_{12} r + d_{22} r^{-1}), \\ \sigma_r^{(2)} = V_* (A_{12} - A_{22} r^{-2}), \quad \sigma_\theta^{(2)} = V_* (A_{12} + A_{22} r^{-2}), \\ T^{(2)} = -\frac{1}{4\lambda} (W_1 r^2 + W_2 r^{-2}) + B_3 \ln r + B_4. \end{aligned} \quad (12)$$

В розв'язках (12) позначено

$$V_* = \frac{V_0}{h} \mathbf{e}_{31}; \mathbf{e}_{31} = \frac{d'_{31}}{S'_{11}(1-v_E)}; v_E = -\frac{S'_{12}}{S'_{11}}; k_p^2 = \frac{d'_{31}{}^2}{S'_{11}\varepsilon'_{33}(1-v_E)};$$

$$B_2 = \frac{1}{4\lambda} [(W^{(1)} - W_1)r_0^{-2} - W_2r_0^{-2}] + B_3 \ln r_0 + B_4;$$

$$B_3 = \frac{1}{2\pi} [(W_1 - W^{(1)})r_0^{-2} - W_2r_0^{-2}];$$

$$B_4 = \frac{1}{2\lambda} (W_1r_1^2 + W_2r_1^{-2}) - B_3 \ln r_1 + T_c;$$

$$W_2 = \omega V_*^2 (S''_{11} - S''_{12}) A_{22}^2; A_{22} = \frac{1-v_E}{1+v_E} d_{22}.$$

Решта позначень в (12), якщо покрита електродами і електрично навантажена кругова область ($0 \leq r \leq r_0$), мають вигляд

$$W^{(1)} = \frac{\omega}{2} \left(\frac{V_0}{h} \right)^2 [2(S''_{11} + S''_{12}) \mathbf{e}_{31}^2 A_{11}^2 - 4d''_{31} \mathbf{e}_{31} A_{11} + \varepsilon''_{33}]; A_{11} = 1 + d_{11};$$

$$W_1 = \omega V_*^2 (S''_{11} + S''_{12} - \frac{2d''_{31}d'_{31}}{\varepsilon_{33}}) A_{12}^2; A_{12} = \frac{d_{12}}{(1-k_p^2)},$$

причому для вільного від напружень контура ($\sigma_r^{(2)}(r_1) = 0$)

$$d_{11} = d_{12} + d_{22}r_0^{-2}, \quad d_{12} = \frac{1-v_E}{1+v_E} (1-2k_p^2) d_{22}r_1^{-2};$$

$$d_{22} = \frac{\frac{1}{2}(1+v_E)}{[k_p^2(1-v_E)r_1^{-2} - r_0^{-2}]},$$

а для заземленого контура ($u^{(2)}(r_1) = 0$)

$$d_{11} = (r_0^{-2} - r_1^{-2}) d_{22}; \quad d_{12} = -r_1^{-2} d_{22};$$

$$d_{22} = -\frac{1}{2} (1+v_E) (1-2k_p^2) / [k_p^2(1+v_E)r_1^{-2} + (1-2k_p^2)r_0^{-2}].$$

Якщо електродована та електрично нагружена кільцева область ($r_0 \leq r \leq r_1$), то

$$W^{(1)} = \omega V_*^2 \left(S''_{11} + S''_{12} - 2d''_{31} d'_{31} / \varepsilon_{33} \right) A_{11}^2; \quad A_{11} = \frac{d_{11}}{(1-2k_p^2)}; \quad A_{12} = 1 + d_{12};$$

$$W_1 = \frac{\omega}{2} \left(\frac{V_0}{h} \right)^2 \left[2(S''_{11} + S''_{12}) \mathbf{e}_{31}^2 A_{12}^2 - 4d''_{31} \mathbf{e}_{31} A_{12} + \varepsilon''_{33} \right]$$

де для вільного контура

$$d_{11} = d_{12} + d_{22}r_0^{-2}, \quad d_{12} = \frac{1-v_E}{1+v_E} d_{22}r_1^{-2} - 1;$$

$$d_{22} = \frac{1}{2} (1+v_E) / [r_0^{-2} + k_p^2(1-v_E)(r_1^{-2} - r_0^{-2})],$$

а для заземленого контура

$$d_{11} = (r_0^{-2} - r_1^{-2}) d_{22};$$

$$d_{12} = -r_1^{-2} d_{22};$$

$$d_{22} = \left[\frac{1}{1-2k_p^2} (r_0^{-2} - r_1^{-2}) + (r_1^{-2} + \frac{1-v_E}{1+v_E} r_0^{-2}) \right]^{-1}$$

2. Динамічна задача. Задача про радіальні коливання та вібророзігрів п'єзоактивної пластинки в околі резонансних частот збудження розв'язується при збереженні правих частин в рівняннях (1) і (4) та врахуванні в'язкопружних властивостей п'єзокераміки.

Так як температурна залежність електромеханічних модулів п'єзоматеріалу не враховується, то задачі коливань і теплопровідності розв'язуються роздільно. Для розв'язку задачі коливань рівняння електромеханіки записуються відносно комплексних величин σ_r і u , що дозволяє задовольнити умови спряження та задавати граничні умови на контурі в напруженнях або переміщеннях. Після розділу їх на дійсну і уявну частини одержуємо систему чотирьох диференціальних рівнянь

$$\frac{dy_i}{dr} = \sum_{j=1}^4 A_{ij} y_j + f_i \quad (i = 1, \dots, 4) \quad (13)$$

з граничними умовами

$$b_{mj} y_j = 0 \quad (m = 1, 2; r = 0, r_1) \quad (14)$$

Тут $y_1 = \sigma_r'$, $y_2 = \sigma_r''$, $y_3 = u'$, $y_4 = u''$. Коефіцієнти A_{ij} , f_i , b_{ij} легко виписати на основі залежностей (1)-(3) з врахуванням співвідношень (9), (10) для електродованої і неелектродованої областей та граничних умов (5).

Для інтегрування системи звичайних диференціальних рівнянь (13), (14) використовується метод дискретної ортогоналізації, що реалізований в пакеті ФОРТРАН-програм [10]. Після обчислення дисипативної функції (7) задача теплопровідності розв'язується методом кінцевих різниць.

3. Числові розрахунки. В квазістатичній постановці розрахунки проводились на основі розв'язків (12) для пластинки із п'єзокераміки типу ЦТС₇ БС-2 при таких значеннях електромеханічних характеристик [1] і геометричних розмірів:

$$\begin{aligned} S_{11}' &= 12,5 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2/\text{Н}; S_{12}' = -4,62 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2/\text{Н}; d_{31}' = -1,6 \cdot 10^{-10} \text{ К/Н}; \\ \varepsilon_{33}' &= 21 \cdot 10^2 \varepsilon_0; \varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}; S_{11}'' = 0,16 \cdot 10^{-2} S_{11}'; \\ S_{12}'' &= 0,14 \cdot 10^{-2} S_{12}'; d_{31}'' = 0,4 \cdot 10^{-2} d_{31}'; \varepsilon_{33}'' = 0,35 \cdot 10^{-2} \varepsilon_{33}'; T_c = 0^\circ \text{C}; \\ \lambda &= 1,25 \text{ Вт/(м} \cdot \text{град)}; V_0/h = 10^6 \text{ В/м}; \omega = 5 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}; r_1 = 0,25 \cdot 10^{-2} \text{ м}, \\ \rho_s &= 7500 \text{ кг/м}^3 \end{aligned} \quad (15)$$

На рис. 1 показано розподіл вздовж радіуса $\rho = r/r_1$ радіальних σ_r (криві 1', 2', 3', 4') і колових σ_θ (криві 1, 2, 3, 4) напружень, розрахованих для електродованої по кільцю ($r_0 \leq r \leq r_1$) пластинки відповідно при $r_0 = 0,1r_1; 0,25r_1; 0,5r_1; r_1/\sqrt{2}$ у випадках а) вільного і б) защемленого зовнішнього контуру. Для таких же значень r_0 криві 1, 2, 3, 4 розподілу переміщень і температури саморозігріву п'єзопластинки, зовнішні площини якої електродовані по площі круга (сплошні лінії) або кільця (штрихові лінії), представлені на рис. 2 і рис. 3 відповідно. Відзначимо, що криві 4 ($r_0 = r_1/\sqrt{2}$) розраховані для випадку рівних площ електродованої і неелектродованої ділянок.

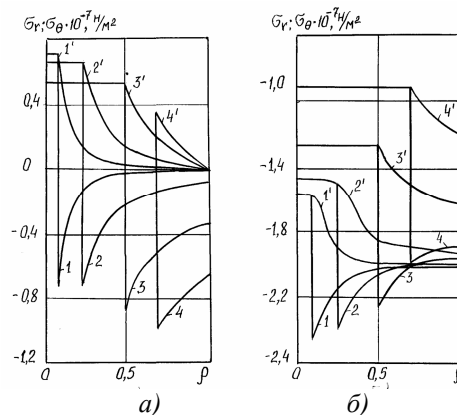


Рис.1

Аналіз проведених розрахунків показує, що на термомеханічний стан розглядуваної п'єзопластинки, крім механічних умов закріплення її контуру, суттєво впливають форма і розміри площі електродованої ділянки зовнішніх площин. Вплив граничних умов на напружено-деформований стан демонструють

криві рис. 1. Видно, що збільшення площі кільцевого електроду супроводжується концентрацією напружень у круговій неелектродованій ділянці ($0 \leq r \leq r_0$) у випадку вільного контуру (рис. 1а) та нарощуванням напружень стиснення вздовж радіусу при заземленому краї (рис. 1б). У випадку повністю покритих електродами зовнішніх площин у заземленій пластинці стискувальні радіальні та колові напруження стають рівними і досягають максимального значення. Останні можуть стати причиною статичної втрати стійкості пластинки [4], так як радіальні коливання в такій пластинці не збуджуються.

Порівняння кривих на рис. 2 показує, що характер розподілу переміщень вздовж радіусу при круговому (сплошні лінії) і кільцевому (штрихові лінії) покритті електродами зовнішніх площин пластинки кількісно і якісно різний. Так, наприклад, у випадку вільного зовнішнього контуру (рис.2 а) переміщення досягають максимуму на межі розділу $r = r_0$ при розміщенні електродів по площі круга ($0 \leq r \leq r_0$) і на зовнішньому контурі $r = r_1$ при їх розміщенні по площі кільця ($r_0 \leq r \leq r_1$).

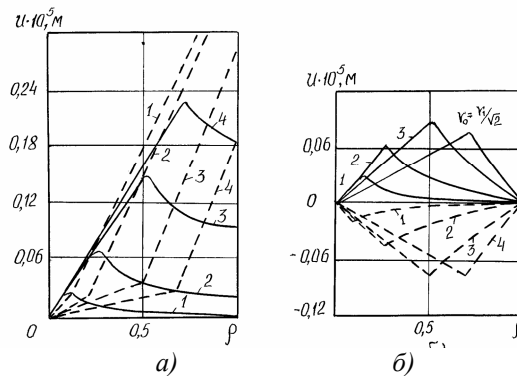


Рис 2

Форма покриття електродами зовнішніх площин, як і граничні умови на контурі пластинки, суттєво впливають і на рівень дисипативного розігріву. Як видно із рис. 3 температура саморозігріву п'єзопластинки при вільному контурі (рис.3а) значно вище від температури жорстко заземленої на контурі пластинки (рис. 3б). Вплив форми покриття електродами показує порівняння між собою, наприклад, кривих 4. Тут при рівних площах електродованої і неелектродованої ділянок електропружні коливання пластинки при круговому електродованні (сплошні лінії) супроводжуються більш високим рівнем температури саморозігріву ніж при кільцевому (штрихові лінії). Проте, для розглядуваного рівня електричного навантаження збільшення площі кільцевого електродовання для пластинки з вільним контуром (рис. 3а, штрихова крива 1) супроводжується підвищенням температури розігріву, що наближається до температури деполяризації п'єзокераміки [7].

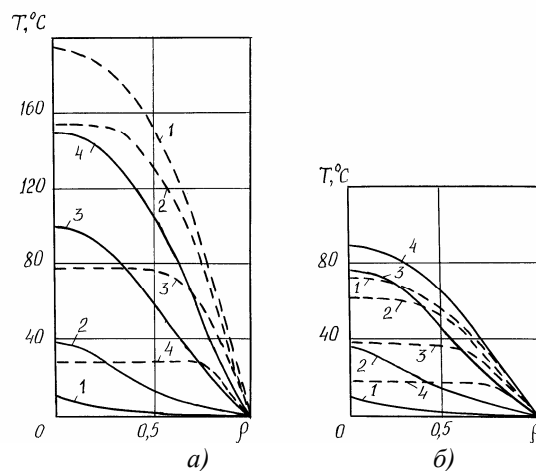


Рис 3

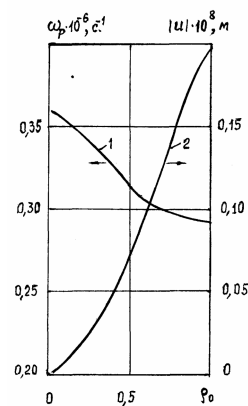


Рис 4

Вплив неоднорідного покриття електродами зовнішніх площин розглядуваної п'єзопластинки на її динамічні характеристики досліджувалось на основі чисельного розв'язку рівнянь електромеханіки (13),

(14) і теплопровідності (4), (6), (7) . Розглядалась пластинка з параметрами (15) у випадку вільного від напружень контура $r = r_1$ та кругових електродів ($0 \leq r \leq r_0$) на зовнішніх ($z = \pm h / 2$) площинах. На рис.4 показано як змінюється власна частота ω_p (крива 1) радіальних коливань та амплітуда переміщень

$|u| = (u'^2 + u''^2)^{\frac{1}{2}}$ контура пластинки на цій частоті при навантаженні $\frac{V_0}{h} = 1$ в/м. Видно, що резонансна частота зменшується, а амплітуда переміщень росте при збільшенні площі електродованих зовнішніх площин.

На закінчення відмітимо, що в діапазоні електричного навантаження, що не досягає величини електричного пробію п'єзокераміки, в залежності від умов закріплення пластинки та форми неоднорідного нанесення електродів на зовнішніх площинах втрата працездатності п'єзоелемента може бути обумовлена великим рівнем або механічних напружень, що може привести до втрати стійкості, або досягненням температурою розігріву значення температури деполяризації п'єзокераміки. Зміною величини площі електродованої поверхні можна впливати не тільки на рівень напружено-деформованого стану і температури саморозігріву, але і на величину власної частоти п'єзоактивної пластинки .

ЛІТЕРАТУРА:

1. Болкисев А.М., Карлаш В.Л., Шульга Н.А. О зависимости свойств пьезокерамических материалов от температуры // Прикл. механика. –К., 1984. – 20, №7. – с.70-74.

2. Венгренюк Ю.А., Киричок И.Ф., Обизюк Н.И. Резонансные колебания и диссипативный разогрев пьезоэлектрических сферических оболочек с учетом явления тепловой деполяризации // Акуст.вестник. – К.,1999. – 2, №2. – с.3-10.

3. Гринченко В.Т., Улитко А.Ф., Шульга Н.А. Механика связанных полей в элементах конструкций. Электроупругость. – Т.5. – К.: Наук. Думка, 1989. – 290с.

4. Карнаухов В.Г., Киричок И.Ф. Механика связанных полей в элементах конструкций. Электротермовязкоупругость. –Т.4 - К.: Наук. Думка, 1988. – 320 с.

5. Карнаухов В.Г., Киричок И.Ф., Венгренюк Ю.А. Электромеханические гармонические колебания и диссипативный разогрев оболочек вращения из вязкоупругих пьезоактивных материалов с учетом их деполяризации // Прикл. механика. – К.,1997. – 33 №9, - С.34-42.

6. Карнаухов В.Г., Киричок И.Ф., Козлов В.И. Электромеханические колебания и диссипативный разогрев вязкоупругих тонкостенных элементов с пьезоэффектом // Прикл. механика. – К.,2001. – 37, №2. – С.1-35.

7. Карнаухов В.Г., Козлов В.И., Михайленко В.В., Михайленко С.В. Планарные колебания пьезокерамической пластины с учетом деполяризации материала, вызванной температурой виброразогрева // Прикл. механика. – К.,1994. – 30, №3. – с.67-73.

8. Карнаухов В.Г., Михайленко В.В., Михайленко С.В. Осесимметричные колебания и диссипативный разогрев конструктивно-неоднородных пьезоэлектрических преобразователей энергии // Инженерно-физические проблемы новой техники: Тез.докл. III Международного совещания (Москва, 17-19 мая 1994 г.). – М., Изд. МГТУ, 1994. – с.106-107.

9. Киричок И.Ф., Венгренюк Ю.А. Колебания и диссипативный разогрев составной вязкоупругой кольцевой пластины с пьезоэффектом.// Прикл. механика. – К.,1991. – 27, №11. – с.61 – 67.

10. Шинкарь А.И., Китайгородский А.Б., Борщевская С.К. Решение линейных краевых задач для систем обыкновенных дифференциальных уравнений. Кн. Алгоритмы и программы решения задач механики твердого деформируемого тела . –К.: Наук. думка, 1976. -с.157-170.

Н.И. Вовкодав, И.Ф. Киричок, В.В. Михайленко. О радиальных колебаниях и разогреве поляризованной по толщине круглой пьезопластины с неоднородно электродированными плоскостями.

Построено аналитическое решение квазистатической задачи о радиальных колебаниях и разогреве пьезокерамической круглой пластинки с толщиной поляризации при неоднородном покрытии электродами внешних плоскостей, нагруженных гармонической во времени разностью электрического потенциала. Динамическая задача решается численно с использованием методов дискретной ортогонализации и конечных разностей .

I.F. Kirichok, V.V. Mihailenko, N.I. Vovkodav. On the radial oscillations and heating of a circular piezoceramic plate polarized along the thickness with the nonuniformly electroded planes.

The analytical solution of the quasistatical problem on the radial oscillations and heating of a circular piezoceramic plate with the thickness polarization at the nonuniform electrode coating of the external planes, under harmonical in time electric potential difference is constructed. Dynamic problem is solved numerically by the methods of discrete orthogonalization and finite differences .

КИРИЧОК Іван Федорович – доктор фіз.-мат. наук, ст. наук. співр., провідн. наук. співр. Інституту механіки ім. С.П. Тимошенко НАН України, т. 441-77-63.

Наукові інтереси:

– розробка теорії і методів розв'язку зв'язаних задач термомеханіки і електромеханіки пластин та оболонок із в'язкопружних пасивних і п'єзоактивних матеріалів з врахуванням взаємодії механічних, електричних і теплових полів при гармонічному навантаженні.

МИХАЙЛЕНКО Василь Васильович – доктор фіз.-мат. наук., зав. кафедри вищої математики Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

– термомеханіка в'язкопружних п'єзоелектричних матеріалів та елементів.

ВОВКОДАВ Наталія Іванівна – канд. фіз.-мат. наук, доцент Українського державного університету харчових технологій, т. 227-96-31.

Наукові інтереси:

– розв'язок зв'язаних задач електромеханіки пластин та оболонок із в'язкопружних п'єзоактивних матеріалів з врахуванням взаємодії механічних, електричних і теплових полів при гармонічному навантаженні.

Подано 21.02.2002