

**ЕЛЕКТРОПРУЖНІ ОБ'ЄМНІ І НОРМАЛЬНІ ХВИЛІ ЗСУВУ В ШАРУВАТО -
ПЕРІОДИЧНОМУ СЕРЕДОВИЩІ ТИПУ МЕТАЛ – П'ЄЗОЕЛЕКТРИК –
ДІЕЛЕКТРИК**

***В. В. Левченко. кандидат фізико-математичних наук, доцент
Національний університет біоресурсів і природокористування***

E-mail: ylvv@ukr.net

Анотація. *Запропоновано спосіб побудови дисперсійних співвідношень для об'ємних і нормальних електропружних хвиль зсуву, що поширюються у шарувато-періодичних середовищах, утворених повторенням «породжуючого» металізованого пакету, що складається з шару п'єзоелектрика і шару діелектрика, який не має електричних властивостей. У результаті проведених аналітичних розрахунків отримано дисперсійні співвідношення для нормальних і об'ємних електропружних хвиль зсуву. Як п'єзоелектричні матеріали розглядалися CdS або ZnO, а шар діелектрика вибирався з параметрами GaIG. Було чисельно проаналізовано отриманні дисперсійні співвідношення для різної геометрії і фізичних властивостей матеріалів, що утворюють «породжуючий» пакет. Чисельний аналіз показав, що особливістю отриманого спектра об'ємних хвиль є те, що в діапазоні зміни хвильового числа і кругової частоти межі зон не перетинаються. Спектр нормальних хвиль локалізований в зонах пропускання об'ємних хвиль крім однієї дисперсійної кривої. Вивчено вплив фізико-механічних та геометричних параметрів шарів на структуру зон запирання та пропускання, а також досліджено вплив п'єзоефекту.*

На основі підходу, запропонованого в роботах М.О. Шульги, задачі про об'ємні і нормальні електропружні хвилі зведені до дослідження властивостей передавальних матриць «породжуючого» пакету шарів, через елементи яких виражаються шукані дисперсійні співвідношення. У роботі вдалося, використовуючи умову металізації на зовнішніх поверхнях пакета, записати дисперсійні співвідношення через елементи матриць другого порядку замість четвертого, що дозволяє спростити аналіз дисперсійних рівнянь..

Ключові слова: *об'ємні і нормальні хвилі зсуву, періодично-шарувата структура, п'єзоелектрик, діелектрик, зони пропускання, зони запирання об'ємних хвиль*

Актуальність. *Вивчення особливостей розповсюдження електропружних хвиль різної фізичної природи в шаруватих середовищах, які утворені періодичним «породжувальчого» повторенням пакету метал-п'єзоелектрик- діелектрик і створення приладів твердої електроніки в значній мірі пов'язані зі створенням нових*

матеріалів, що володіють новими властивостями в порівнянні з однорідними структурами. Логічним наслідком є тенденція до створення багат шарових і періодично шаруватих матеріалів з п'єзоелектричними властивостями, які володіють рядом принципово нових характеристик. Для їх опису недостатньо фундаментальних параметрів однорідних середовищ. Виникає необхідність використання ряду додаткових величин: геометричні розміри, орієнтація структури відносно напрямків розповсюдження електропружних хвиль, класу симетрії п'єзоелектриків та ін. Все це розширює можливість управління спектром електропружних хвиль в широкому діапазоні зміни частоти і хвильового числа.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У рамках концепцій електродинаміки суцільного середовища для побудови та аналізу дисперсійних рівнянь, що описують поширення об'ємних, поверхневих та нормальних мод різної поляризації в шарувато-періодичних середовищах різних класів анізотропії, було запропоновано цілу низку математичних підходів [1,2,6-10,12-15].

У роботах [3,7,8] був запропонований математичний метод для розв'язку відповідних задач і детально вивчені окремі випадки, отримані дисперсійні рівняння для об'ємних, поверхневих та нормальних хвиль зсуву в регулярно-шаруватих середовищах, утворених чергуванням пружних шарів,. У цих же роботах і [4,10] в розвиток попередніх досліджень представлені результати чисельного моделювання для дисперсійних співвідношень, що описують поширення акустоелектричних об'ємних, поверхневих і нормальних зсувних хвиль у шарувато-періодичних середовищах, утворених повторенням "породжувального" пакета, що складається з двох різних шарів: п'єзоелектричного і діелектричного (немає властивостей п'єзоелектрика) з металізованими зовнішніми поверхнями.

Мета дослідження – аналіз електропружних об'ємних і нормальних хвиль зсуву в шарувато -періодичному середовищі типу метал – п'єзоелектрик – діелектрик.

Матеріали та методи дослідження. Нехай в декартовій системі координат $Oxuz$ структура моделюється періодичним повторенням вздовж осі ox пакету шарів, що породжує структуру, яка складається з двох шарів: п'єзоелектричного шару

товщини h_p і діелектричного шару товщини h_d . Зовнішні поверхні пакету металізовані (покриті тонким металевим шаром, з нульовим потенціалом). Механічні властивості шару металу не беруться до уваги, а враховується лише екрануючий ефект металізації. Фізико-механічні властивості п'єзоелектричних шарів описуються матеріальними співвідношеннями для кристалів гексагонального класу $6mm$ з віссю симетрії Oz шостого порядку). Поширення зсувних акустоелектричних хвиль уздовж напрямку сталості властивостей середовища описуватиметься в п'єзоелектричному шарі системою рівнянь виду [3-5]:

$$\rho_p \partial_t^2 u_p = c_{44,p}^* \Delta u_p, \quad \Delta \psi_p = 0, \quad (\psi_p = \varphi_p - \frac{e_{15,p}}{\varepsilon_{11,p}} u_p), \quad (1)$$

а в шарі діелектрика, що не має п'єзоелектричних властивостей, системою рівнянь

$$\rho_d \partial_t^2 u_d = c_{44,d} \Delta u_d, \quad \Delta \varphi_d = 0. \quad (2)$$

Тут введені позначення: $c_{44,p}^* = c_{44,p} + \frac{e_{15,p}^2}{\varepsilon_{11,p}}$, – переміщення, $\psi_p, \varphi_p, \varphi_d$, –

електричні потенціали відповідно в п'єзоелектричного та діелектричного шарів; $c_{44,p}, c_{44,d}, \rho_p, \rho_d, e_{15,p}, \varepsilon_{11,p}, \varepsilon_{11,d}$ - фізико-механічні параметри шарів, що розглядаються.

Вважатимемо, що на внутрішніх границях розділу властивостей пакета виконуються умови безперервності, які запишемо так:

$$u_p = u_d, \quad \psi_p + \frac{e_{15,p}}{\varepsilon_{11,p}} u_p = \varphi_d, \\ c_{44,p}^* \partial_x u_p + e_{15,p} \partial_x \psi_p = c_{44,d} \partial_x u_d, \quad \varepsilon_{11,p} \partial_x \psi_p = \varepsilon_{11,d} \partial_x \varphi_d. \quad (3)$$

Оскільки зовнішні поверхні пакета металізовані (покриті нескінченно тонким металевим шаром з нульовим потенціалом), то на межі двох сусідніх пакетів повинні виконуватись умови

$$u_p = u_d, \quad \varphi_p = 0, \\ c_{44,p}^* \partial_x u_p + e_{15,p} \partial_x \psi_p = \partial_x u_d, \quad (4)$$

Рішення системи рівнянь (1)-(2) у кожному шарі пакета будемо шукати у вигляді

$$u_p = B_{p,n}^{(1)} \sin \Omega_p (x - x_{n,p}^*) + B_{p,n}^{(2)} \cos \Omega_{p1} (x - x_{n,p}^*),$$

$$\psi_p = D_{p,n}^{(1)} shk(x - x_{n,p}^*) + D_{p,n}^{(2)} chk(x - x_{n,p}^*),$$

$$x_{n-1,d}^* < x < x_{n,p}^* ;$$

$$u_d = B_{d,n}^{(1)} \sin \Omega_d (x - x_{n,d}^*) + B_{d,n}^{(2)} \cos \Omega_d (x - x_{n,d}^*),$$

$$\varphi_d = D_{d,n}^{(1)} shk(x - x_{n,d}^*) + D_{d,n}^{(2)} chk(x - x_{n,d}^*), \quad (5)$$

$$x_{n,p}^* < x < x_{n,d}^* ;$$

де $x_{n,p}^* = (n-1)h + h_p$, $x_{n,d}^* = nh$, $h = h_p + h_d$, $n = 0, \pm 1, 2, \dots$, $\Omega_d = (k_d^2 - k^2)^{1/2}$, $\Omega_p = (k_p^2 - k^2)^{1/2}$, $k_d^2 = \frac{\omega^2}{c_d^2}$,

$$k_p^2 = \frac{\omega^2}{c_p^2}, \quad c_d^2 = \frac{c_{44,d}}{\rho_d}, \quad c_p^2 = \frac{c_{44,p}^*}{\rho_p}.$$

У формулах (5) множник $\exp(iky - i\omega t)$ опущений. Підставивши рішення (5) в умови (3)-(4) поставлену задачу зведемо до системи рівнянь алгебри щодо невідомих $B_{p,n}^{(l)}$, $B_{d,n}^{(l)}$ и $D_{p,n}^{(l)}$, $D_{d,n}^{(l)}$ ($j, l = 1, 2$)

$$N(a_p; \theta_p) \vec{B}_{p,n} + N_u(e_{15,p}; \hat{k}_{p1}) \vec{D}_{p,n} = N(a_d; 0) \vec{B}_{d,n}$$

$$E(\varepsilon_{11,p}; \hat{k}_p) \vec{D}_{p,n} + N_{pu}(e_{15,p}; \theta_p) \vec{B}_{p,n} = E(\varepsilon_{11,d}; 0) \vec{D}_{d,n}$$

(6)

$$\vec{E}^{(2)}(\varepsilon_{11,p}; 0) \vec{D}_{p,n+1} + \vec{N}_{pu}^{(2)}(e_{15,p}; 0) \vec{B}_{p,n+1} = 0$$

$$N(a_d; \theta_d) \vec{B}_{d,n} = N(a_p; 0) \vec{B}_{p,n+1} + N_u(e_{15,p}; 0) \vec{D}_{p,n+1}.$$

де
$$N(a_p; \theta_p) = \begin{bmatrix} a_{pj} \cos \theta_p & a_{pi} \sin \theta_p \\ -\sin \theta_p & \cos \theta_p \end{bmatrix},$$

$$N(a_d; \theta_d) = \begin{bmatrix} a_d \cos \theta_d & a_d \sin \theta_d \\ -\sin \theta_d & \cos \theta_d \end{bmatrix}, \quad N_{pu}(e_{15,p}; \theta_p) = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -\frac{e_{15,p}}{\varepsilon_{11,p}} \sin \theta_p & \frac{e_{15,p}}{\varepsilon_{11,pj}} \cos \theta_p \end{bmatrix},$$

$$N_u(e_{15,p}; \hat{k}_p) = \begin{bmatrix} k e_{15,p} ch \hat{k}_p & -k e_{15,p} sh \hat{k}_p \\ 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$E(\varepsilon_{11,p}; \hat{k}_p) = \begin{bmatrix} \varepsilon_{11,p} ch \hat{k}_p & -\varepsilon_{11,p} sh \hat{k}_p \\ sh \hat{k}_p & ch \hat{k}_p \end{bmatrix}, \quad E(\varepsilon_{11,d}; \hat{k}_d) = \begin{bmatrix} \varepsilon_{11,d} ch \hat{k}_d & -\varepsilon_{11,d} sh \hat{k}_d \\ sh \hat{k}_d & ch \hat{k}_d \end{bmatrix},$$

$$\vec{B}_{p,n} = col(B_{p,n}^{(1)}, B_{p,n}^{(2)}), \quad \vec{D}_{p,n} = col(D_{p,n}^{(1)}, D_{p,n}^{(2)}), \quad a_d = c_{44,d} \Omega_d, \quad a_p = c_{44,p}^* \Omega_p, \quad \hat{k}_p = kh_p, \quad \hat{k}_d = kh_d.$$

Вектори-рядки $\vec{N}_{p,n}^{(i)}$, $\vec{E}^{(i)}$, утворені i рядком відповідної матриці,

Виконавши ряд перетворень у системі (6) можна виразити невідомі $\bar{D}_{p,n}$ через $\bar{B}_{p,n}$ так:

$$\bar{D}_{p,n} = P_{11}\bar{B}_{p,n} + P_{12}\bar{B}_{p,n}, \quad (7)$$

де P_{lm}^{ij} – елементи матриць P_{lm} і мають вигляд

$$\begin{aligned} \bar{P}_{11} &= \frac{1}{\varepsilon_{11,p1}E_{pe}} \left\{ \bar{E}^0 - \bar{E}_p^{(2)} E_0 M(e_{15,p}^*; \theta_p) \right\} \\ \bar{P}_{12} &= \frac{1}{\varepsilon_{11,p1}E_{pe}} \left\{ \bar{E}_p^{(2)} M(e_{15,p2}^*; 0) - \bar{M}^{(2)}(e_{15,p2}^*; \theta_{p2}) \right\}, \\ E_{pe} &= E_p E_0, \quad E_p = E(\varepsilon_{11,p}; \hat{k}_p) E^{-1}(\varepsilon_{11,p}; 0), \quad \bar{E}^{(0)} = [0; 1]. \end{aligned}$$

Підставивши вирази (7) в систему (6), отримаємо нову систему рівнянь щодо невідомих $\bar{B}_{p,n}$, $\bar{B}_{d,n}$

$$\begin{aligned} \bar{N}(a_p; \theta_p) \bar{B}_{p,n} + N_u(e_{15,p}; \hat{k}_p) P_{12} \bar{B}_{p,n} &= N(a_d; 0) \bar{B}_{d,n}, \\ N(a_d; \theta_d) \bar{B}_{d,n} &= \bar{N}(a_p; 0) \bar{B}_{p,n+1} + N_u(e_{15,p}; 0) P_{12} \bar{B}_{p,n+1}, \end{aligned} \quad (8)$$

У системі (8) використані позначення

$$\begin{aligned} N^*(a_p; \theta_p) &= \bar{N}(a_p; \theta_p) + N_u(e_{15,p}; \hat{k}_p) P_{12} K, \\ N^*(a_{p1}; 0) &= \bar{N}(a_p; 0) + N_u(e_{15,p}; \hat{k}_p) P_{21} K^{-1}, \\ K &= (N(a_d; \theta_d) (N(a_d; 0))^{-1} N(a_p; \theta_p)) \times (N_u(e_{15,p}; \hat{k}_p) P_{12})^{-1}. \end{aligned}$$

Рішення системи (8) в регулярно-шароватому просторі будемо шукати у вигляді

$$\begin{aligned} \bar{B}_{(n-1)Q+1} &= \sum_{j=1}^2 K_j \chi_j^n N^{-1}(a_p; 0) N(a_q; \theta_q) N^{-1}(a_q; 0) \bar{Y}_j, \\ \bar{B}_{nQ} &= \sum_{j=1}^2 K_j \chi_j^n N^{*-1}(a_p; 0) \bar{Y}_j. \end{aligned} \quad (9)$$

Тут χ_j і Y_j – характеристичні числа та власні вектори, відповідно,

передавальної матриці. $N_Q = \prod_{q=1}^Q N^*(a_p; \theta_p) N^{*-1}(a_p; 0) N^{-1}(a_q; 0) N(a_q; \theta_q)$. Характеристичне

рівняння матриці N_Q є зворотним і має вигляд

$$\chi^2 - 2b_Q \chi + 1 = 0, \quad (10)$$

де $b_Q = \text{spur} N_Q / 2$, а частотні зони пропускання для об'ємних хвиль зсуву в шаруватому середовищі визначаються нерівністю [6]

$$|b_Q(k, \omega)| \leq 1, \quad (11)$$

яка неявно пов'язує частоту ω та хвильове число k .

Результати досліджень та їх обговорення. Об'ємні хвилі. Зони пропускання ($|b(k, \omega)| \leq 1$) відповідають тим областям спектра, де гармонійні хвилі поширюються у напрямі осі ox без загасання. Ці хвилі будемо називати об'ємними електропружними хвилями зсуву. Навпаки, в зонах запирання ($|b(k, \omega)| > 1$) хвилі експотенційно згасають у напрямку нормалі до шарів.

Нормальні хвилі. Щоб отримати дисперсійні співвідношення для нормальних хвиль у загальному випадку припустимо, що новий пакет, який породжує структуру складається з M початкових «породжуючи» пакетів, а на зовнішніх границях x_0 і x_{MQ} відсутні зовнішні механічні напруги Виконавши перетворення, аналогічні проведеним вище, отримаємо характеристичне рівняння для передавальної матриці

$$\chi^2 - 2b_{MQ}\chi + 1 = 0,$$

де, $b_{MQ} = (N_{MQ}^{11} + N_{MQ}^{22})/2$, $N_{MQ} = (N_Q)^M$, $M = 1, 2, \dots$

Виходячи з виду характеристичного рівняння, дисперсійне рівняння для нормальних хвиль у цьому випадку можна записати у вигляді

$$(b_{MQ} - 1)(b_{MQ} + 1) = 0 \quad (12)$$

Використовуючи формулу Абелеса [1, 2]

$$(N_Q)^m = \begin{Bmatrix} N_Q^{11}U_{m-1}(b_Q) - U_{m-2}(b_Q) & N_Q^{12}U_{m-1}(b_Q) \\ N_Q^{21}U_{m-1}(b_Q) & N_Q^{22}U_{m-1}(b_Q) - U_{m-2}(b_Q) \end{Bmatrix}$$

дисперсійне рівняння (12) можна подати у вигляді

$$(b_Q U_{M-1}(b_Q) - U_{M-2}(b_Q) - 1)(b_Q U_{M-1}(b_Q) - U_{M-2}(b_Q) - 1) = 0 \quad (13)$$

Дисперсійне рівняння в цьому випадку для нормальних хвиль буде мати вигляд

$$N_Q^{12}(b_Q)U_{M-1}(b_{MQ}) = 0 \quad (14)$$

де $U_{M-1}(b_{NQ})$ поліноми Чебишева. Аналіз рівняння (14) дозволяє вивчити особливості поширення нормальних хвиль в періодично-шаруватій структурі.

Аналіз чисельних експериментів. У роботі було чисельно проаналізовано отримані дисперсійні співвідношення (11) і (14) для різної геометрії і фізичних властивостей матеріалів, що утворюють «породжуючий» пакет. Як п'єзоелектричні матеріали розглядалися CdS і ZnO [1], а шар діелектрика вибирався з параметрами GaYIG [1, 11]. Чисельний аналіз показав, що особливістю даного спектра об'ємних хвиль є те, що в діапазоні зміни хвильового числа і кругової частоти межі зон не перетинаються. Спектр нормальних хвиль локалізований в зонах пропускання об'ємних електропружних хвиль за виключенням кривої, яка отримується з розв'язку рівняння $N_Q^{12}(b_Q)=0$. Як було показано в роботах [4,7], це рівняння визначає поверхневі хвилі в регулярно шаруватому напівпросторі. Про вплив п'єзоефекту на дисперсійний спектр об'ємних і нормальних хвиль можна судити з результатів чисельних експериментів. Як показали розрахунки, у цьому випадку спектр об'ємних хвиль зміщується в область високих частот, не змінюючи при цьому суттєво свою структуру.

Висновки та перспективи. Таким чином, запропоновано спосіб побудови дисперсійних співвідношень для об'ємних акустоелектричних хвиль, що поширюються в шарувато-періодичних середовищах, утворених повторенням п'єзоелектричного і діелектричного металізованого "породжувального" пакета. На основі методу, запропонованого в [3,4,7], задача про об'ємні хвилі зведена до дослідження властивостей передавальних матриць «породжувального» пакету, через елементи яких виражаються необхідні дисперсійні співвідношення. У роботі вдалося, використовуючи умову металізації на зовнішніх поверхнях пакета, записати дисперсійні співвідношення через елементи матриць другого порядку замість четвертого. У широкому діапазоні зміни частоти та хвильового числа проведено чисельні дослідження та описано закономірності поширення об'ємних хвиль у різних структурах. Вивчено вплив фізико-механічних параметрів шарів на нормальні електропружні хвилі і структуру зон запирання та пропускання, а також досліджено вплив п'єзоефекту на розташування меж зон пропускання при зміні відносних товщин шарів у пакеті, що породжує структуру.

Список використаних джерел.

1. Богорош О. Т., Воронов С. О., Котовський В. Й. Нові речовини. Ч. 2. П'єзоелектричні та сегнетоелектричні матеріали: Навч. посіб. Київ: НТУУ «КПІ», 2015. 252 с.
2. Дьелесан Е., Руайє Д. Упругие волны в твердых телах. Перек. з франц.: Москва, Наука, 1982. 424 с.
3. Зінчук Л.П., Левченко В.В., Шульга М.О. Поширення об'ємних електропружних хвиль зсуву в регулярно-шаруватому середовищі типу метал - п'єзоелектрик. Мат. методи та фіз. - мат. поля. 1989. Вип. 30. С.4-8.
4. Зінчук Л.П., Подліпенець О.Н., Шульга М.О. Про побудову дисперсійних рівнянь для електропружних зсувних хвиль у шарувато-періодичних середовищах. Прикл. механіка. 1990. Т. 26, № 11. С.84-93.
5. Мэзон У. Физическая акустика: в 8 т. Перек. с англ. 1966. Т. 1. 585 с
6. Поплавко Ю.М., Якименко Ю.І. П'єзоелектрики. Навч. посіб., Київ: НТУУ «КПІ» 2013. 328 с.
7. Шульга М.О. Основи механіки шаруватих середовищ періодичної структури. Київ: Наукова думка, 1981. 200 с.
8. Шульга М.О., Подліпенець О.М. Об'ємні хвилі в шаруватих композитах. Динаміка та стійкість матеріалів, Т.2 Київ: Наук. думка, 1993. С. 35–83.
9. Шульга М.О. Поширення пов'язаних хвиль у періодично-неоднорідних середовищах при взаємодії з електромагнітним полем. Прикл. механіка. 2003. – Т.39, N10. С. 38 - 68.
10. Levchenko V.V. Localization of shear waves near layers separating two regularly laminated half-spaces Int. Appl. Mech. 2005. Vol.41, No 1 - P. 98-103.
11. Sapriel J., Djafari-Rouhani D. Vibrations in superlattices // Surf. SCI. Repts. 1989. Vol.10, No 5. P.189-227
12. H. van de Vaart. Magnetoelastic Love Wave propagation в metal-coated layered substrates . Journal of Applied physics. 1971, Vol. 48, No. 3. P. 5305 -5312.
13. Shul'ga N.A. Spatial Modes in Periodically Inhomogeneous Media. Int. Appl. Mech. 2005. Vol. 41, No 5. P. 463-468.
14. Shul'ga N.A. Effective magnetoelastic properties of laminated composites. Int. Appl. Mech. 2006. Vol.42, No 8. P. 879-885

References

1. Bogorosh, O. T., Voronov, S. O. Kotovsky, V. Y. (2015). Novi rehovyny. Ch. 2. P'iezelektrychni ta sehnetoelektrychni materialy [New substances. Part 2. Piezoelectric and ferroelectric materials]. Kyiv: NTYY «KPI», 252.
2. Dielesan, E., Royer, D. (1982). Uprugiye volny v tverdikh telakh [Elastic waves in solids]. Translated from French. Moscow: Nauka, 424,
3. Zinchuk, L.P., Levchenko, V.V., Shulga, N.A. (1989). Poshyrennia obiemnykh elektropruznyhykh khvyl zsuvu v rehuliarno-sharuvatому seredovyshchi typu metal - piezoelektryk [Propagation of bulk electroelastic shear waves in a regularly layered medium of the metal-piezoelectric type]. *Mat. methods and phys. - mat. Fields*, 30, 4-8.
4. Zinchuk, L.P., Podlipenets, A.N., Shulga, N.A. (1990), Pro pobudovu dyspersiinykh rivnian dlia elektropruznykh zsvnykh khvyl u sharuvato-periodychnykh

seredovyshchakh [On the construction of dispersion equations for electroelastic shear waves in layered-periodic media]. *Applied Mechanics*. 26(11), 84-93.

5. Maison, U. (1966), *Fizicheskaya akustika [Physical acoustics: in 8 volumes]*, Vol.1. Trans. with English. Moscow: Nauka, 585,

6. Poplavko, Yu.M., Yakymenko, Yu I. (2013). P'zoelektryky [*Piezoelectrics. Teaching manual*]. Kyiv: NTUU "KPI", 328.

7. Shulga, N.A. (1981). *Osnovy mekhaniky sharuvatykh seredovyshch periodychnoi struktury [Fundamentals of Mechanics of Layered Media of Periodic Structure]*. Kyiv: Naukova Dumka, 200.

8. Shulga, N .A., Podlipenets O. M. (1993). *Poshyrennia poviazanykh khvyl u periodychno-neodnorodnykh seredovyshchakh pry vzaiemodii z elektromahnitnym polem [Volume Waves in Layered Composites. Dynamics and Stability of Materials]*. Kyiv: Naukova Dumka, 35-83.

9. Shulga, N. A. (2003). *Poshyrennia poviazanykh khvyl u periodychno-neodnorodnykh seredovyshchakh pry vzaiemodii z elektromahnitnym polem [Propagation of coupled waves in periodically inhomogeneous media when interacting with an electromagnetic field]*. *Applied Mechanics*. 39(10), 38 - 68.

10. Levchenko, V.V. (2005). Localization of shear waves near layers separating two regularly laminated half-spaces. *Int. Appl. Mech.*, 41(1), 98-103.

11. Sapriel J. & Djafari-Rouhani D. (1989). *Vibrations in superlattices. Surf. SCI. Repts.*, 10(5), 189-227.

12. H. van de Vaart. (1971). Magnetoelastic Love-Wave propagation в metal-coated layered substrates. *Journal of Applied physics*, 48(3), 5305 -5312.

13. Shulga N.A. (2005). Spatial Modes in Periodically Inhomogeneous Media. *Int. Appl. Mech.*, 41(5), 463-468.

14. Shulga N.A (2006). Effective magnetoelastic properties of laminated composites *Int. Appl. Mech.*, 42(8),. 879-885.

ELECTROELASTIC BULK AND NORMAL SHEAR WAVES IN A LAYERED-PERIODIC MEDIUM OF THE TYPE METAL-PIEZOELECTRIC-DIELECTRIC

V. Levchenko

Abstract. *A method for constructing dispersion relations for bulk and normal electroelastic shear waves propagating in layered-periodic media formed by repeating a "generating" metallized package consisting of a piezoelectric layer and a dielectric layer that has no electrical properties is proposed. As a result of the analytical calculations, dispersion relations for normal and bulk electroelastic shear waves were obtained. CdS or ZnO were considered as piezoelectric materials, and the dielectric layer was chosen with the parameters GaYIG. The obtained dispersion relations were numerically analyzed for different geometries and physical properties of the materials forming the "generating" package. . Numerical analysis showed that a feature of the obtained bulk wave spectrum is that in the range of changes in the wave number and circular frequency, the zone boundaries do not intersect. The spectrum of normal waves is localized in the transmission zones of bulk waves except for one dispersion curve. The influence of physical, mechanical and geometric parameters of the layers on the structure of the blocking and transmission*

zones has been studied, as well as the influence of the piezoelectric effect has been investigated.

Based on the approach proposed in the works of M.O. Shulga, the problems of bulk and normal electroelastic waves are reduced to the study of the properties of the transmission matrices of the "generating" package of layers, through the elements of which the desired dispersion relations are expressed. In the work, it was possible, using the condition of metallization on the outer surfaces of the package, to write the dispersion relations through the elements of second-order matrices instead of the fourth, which allows simplifying the analysis of the dispersion equations.

Key words: *bulk and normal shear waves, periodic layered structure, piezoelectric, dielectric, transmission zones, bulk wave blocking zones*