ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ
ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК АРМЕНИИ

Մեխանիկա 48, № 3, 1995 Механика

О ПОВЕРХНОСТНЫХ ЭЛЕКТРОУПРУГИХ ВОЛНАХ ЛЯВА В ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОДЛОЖКАХ С МЕТАЛЛИЗИРОВАННЫМ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СЛОЕМ

Даноян З.Н., Манукян Г.А.

Դանոյան Զ.Ն., Մանուկյան Գ.Ա.

Մետաղացված դիէլեկտրիկ շերտով պյեզոէլեկտրիկ շերտերով Լյավի էլեկտրո-առաձգական մակերեւութային ալիքների մասին

[2] աշխատանքի արդյունքների հիման վրա ուսումնասիրված են էլեկտրոառաձգական Լյավի մակերեսութային ալիքների պյեզոէլեկտրիկ շերտավոր սիստեմում, որի հիմքի վրա անցկացված է մետաղացված շերտ: Քննարկված է նաեւ Լյավի էլեկտրոառաձգական ալիքների կապը սովորական Լյավի եւ Գուլյան-Բլյուստերի ալիքների հետ:

Z.N.Danoyan, G.A.Manookian

On Surface Electroelastic Waves of Love in Piezoelectric Substructures with Metalized Dielectric layer

Исходя из результатов работы [2] (уточняющей и дополняющей результаты работы [1], изучены поверхностные электроупругие волны Лява в пьезоэлектрических слоистых системах с металлизированным слоем. Обсужден также вопрос связи электроупругих волн Лява с обычными волнами Лява и волнами Гуляева - Блюстейна.

1. Как известно из [3-5], в полубесконечной изотропной подложке, на которую нанесен изотропный слой из другого материала, могут распространяться поверхностные сдвиговые упругие волны горизонтальной поляризации, называемые волнами Лява (УПВЛ). Волны Лява существуют только в слоистых системах с мягким слоем, то есть когда скорость сдвиговых объемных волн в слое S_{02} меньше, чем скорость сдвиговых объемных волн в подложке S_{01}, причем скорость волн Лява удовлетворяет условию

$$S_{02} < V < S_{01} \qquad (1.1)$$

Волны Лява многомодные, число мод и их скорости зависят от значения приведенной толщины слоя k ($k = ph = 2\pi h/\lambda$, p - волновое число, λ-длина волны, h - толщина слоя). Моды волны Лява являются трансформациями сдвиговых объемных волн, существующих в слоистой системе при определенных критических значениях параметра k. В частности, первая мода волны Лява возникает из сдвиговой объемной волны, существующей в подложке при отсутствии слоя и распространяющейся параллельно границе подложки. Известно также [4-7], что вышеуказанная сдвиговая объемная волна в подложке со свободной границей может трансформироваться в поверхностную волну горизонтальной поляризации при наличии у среды пьезоэлектрического свойства. Эти поверхностные электроупругие сдвиговые вол-

ны горизонтальной поляризации, существующие в пьезоэлектрических полубесконечных средах определенной симметрии, называются волнами Гуляева - Блюстейна (ПВГБ). Скорость волны Гуляева - Блюстейна $_{ГБ}$ меньше скорости объемной электроупругой сдвиговой волны S_1 в рассматриваемой среде.

Представляет интерес исследование поверхностных электроупругих сдвиговых волн горизонтальной поляризации в слоистых системах, когда или подложка, или слой, или обе вместе являются пьезоэлектриками [1, 2, 7-10]. Эти волны связаны как с волнами Лява, так и с волнами Гуляева - Блюстейна (если последние существуют при отсутствии слоя). В настоящей работе исследуются поверхностные электроупругие сдвиговые волны горизонтальной поляризации в слоистой системе из пьезоэлектрической подложки классов $6mm$ $4mm$, 622, 422, 6, 4 и изотропного металлизированного диэлектрического слоя. В дальнейшем, аналогично определению упругих волн Лява, поверхностные электроупругие сдвиговые волны горизонтальной поляризации, существующие в вышеуказанных слоистых системах с пьезоэлектрическими свойствами, будем называть поверхностными электроупругими волнами Лява (ЭУПВЛ).

Пусть слоистая система отнесена к прямоугольной декартовой системе координат $0x_1x_2x_3$ так, что граничная плоскость подложки и слоя совпадает с плоскостью $0x_2x_3$, ось $0x_3$ параллельна главной оси симметрии пьезоэлектрической подложки, ось $0x_1$ направлена в глубь подложки. Слой и подложка находятся в жестком контакте, граница $x_1 = 0$ электрически свободна, граница слоя $x_1 = -h$ металлизирована и механически свободна.

Решение электроупругой задачи Лява ищется в виде плоской гармонической волны, распространяюшейся в направлении оси $0x_2$, с вектором упругого перемещения $\vec{u}\left(0;0;u\left(x_1\right)\exp i\left(px_2-\omega t\right)\right)$, электрическим потенциалом $\varphi=\Phi\left(x_1\right)\exp i\left(px_2-\omega t\right)$, частотой $\omega>0$, волновым числом $p>0$, фазовой скоростью $=\omega/p$, амплитудами и Φ, зависящими от глубинной координаты x_1 и удовлетворяющими условию затухания:

$$_1\left(x_1\right)\to 0,\qquad \Phi_1\left(x_1\right)\to 0 \text{ при } x_1\to+\infty \tag{1.2}$$

Здесь и далее индексами 1-2 отмечаются величины подложки и слоя соответственно. Удовлетворяя соответствующим уравнениям и условию затухания (1.2), получаем решение вида:

в области $x_1>0$

$$u_1=U_1\exp\left(-p\beta_1x_1\right)\exp\left(i\left(px_2-\omega t\right)\right)$$

$$\varphi_1=\left(e_1\varepsilon_1^{-1}U_1\exp\left(-p\beta_1x_1\right)+\Phi_1\exp\left(-px_1\right)\right)\exp\left(i\left(px_2-\omega t\right)\right)$$

в области $-h<x_1<0$

$$u_2=\left(U_1^{+}\exp\left(ip\beta_2x_1\right)+U_2^{*}\exp\left(-ip\beta_2x_1\right)\right)\exp\left(i\left(px_2-\omega t\right)\right)$$

$$\varphi_2 = \left(\Phi_2^- \exp(px_1) + \Phi_2^- \exp(px_1)\right)\exp\left(i\left(px_2 - \omega t\right)\right)$$

где $_1, \Phi_1, U_1^+, U_2^+, \Phi_2^+, \Phi_2^-$ - произвольные постоянные, β_1 и β_2- коэффициенты затухания, определяемые по формулам:

$$\beta_1 = \sqrt{1 - V^2/S_1^2}, \quad \beta_2 = \sqrt{\left(V^2/S_2^2\right) - 1} \tag{1.4}$$

$$S_1 = \sqrt{\overline{c}_1/\rho_1}, \quad S_{02} = s_2 = \sqrt{c_2/\rho_2}, \qquad \overline{c}_1 = c_1\left(1 + \chi_1^2\right)$$

$$\chi_1^2 = e_1^2/\varepsilon_1\varepsilon_0 c_1, \qquad c_1 = c_{44}^{(1)}, \qquad c_2 = c_{44}^{(2)} \tag{1.5}$$

$$e_1 = e_{15}^{(1)}, \qquad d_1 = e_{14}^{(1)}, \qquad \varepsilon_1 = \varepsilon_{11}^{(1)}, \qquad \varepsilon_2 = \varepsilon_{11}^{(2)}$$

ρ_1, ρ_2- материальные плотности, c_1, c_2- упругие постоянные, $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ - относительные диэлектрические проницаемости, e_1, d_1- пьезоэлектрические постоянные, ε_0- диэлектрическая постоянная, χ_1^2- коэффициент электромеханической связи, S_1, S_2- фазовые скорости объемных сдвиговых волн, - фазовая скорость искомой поверхностной волны.

Из условия затухания поверхностной волны в глубине подложки следует, что β_1 всегда положительна, что дает следующее условие для скорости бегущей поверхностной волны:

$$0 < V < S_1 \tag{1.6}$$

Отсюда вытекает, что парциальная электроупругая волна в подложке всегда неоднородна. В отличие от β_1, величина β_2 может быть как действительной, так и мнимой, в частности, может обращаться в нуль. В случае действительной β_2, $V > S_2$ и в слое распространяются объемные (однородные) парциальные волны (как в случае обычной волны Лява). При мнимом $\beta_2, V < S_2$ и в слое распространяются неоднородные парциальные волны (обычные волны Лява, как видно из (1.1), с такими скоростями не распространяются).

Подставляя решение (1.3) в граничные условия задачи, из условия совместности полученных уравнений относительно амплитуд $_1, \Phi_1, \ldots, \Phi_2^-$, приходим к дисперсионному уравнению, которое определяет фазовую скорость поверхностной волны от относительной толщины слоя к [1,2]

$$\beta_1(V) = c\beta_2(V)\,tg\left[k\beta_2(V)\right] + R(k) \tag{1.7}$$

$$R(k) = \frac{R_1^2\varepsilon_2 - K_1^2\varepsilon_1 thk}{\varepsilon_2 + \varepsilon_1 thk} \tag{1.8}$$

$$c = \frac{c_2}{\overline{c}_1}, \qquad R_1^2 = \frac{c_1^2}{\varepsilon_1\varepsilon_0\overline{c}_1}, \qquad K_1^2 = \frac{d_1^2}{\varepsilon_1\varepsilon_0\overline{c}_1^2} \tag{1.9}$$

$R(k)$- коэффициент электромеханической связи для поверхностной волны,

R_1^2 и K_1^2 - коэффициенты электромеханической связи для объемных волн.

Таким образом, электроупругие волны Лява соответствуют решениям $=V(k)$ дисперсионного уравнения (1.7), удовлетворяющих условию (1.6). Структура поверхностной волны определяется по характеру решений $=V(k)$ в зависимости от относительной толщины слоя k и физико - механических характеристик слоистой системы.

Для решений $=V(k)$, удовлетворяющих условию $< S_2$, уравнение (1.7) преобразуется к виду

$$\beta_1(V) = -c\gamma_2(V)th\left[k\gamma_2(V)\right] + R(k) \qquad (1.10)$$

$$\gamma_2(V) = \sqrt{1 - V^2 / S_2^2} \qquad (1.11)$$

2. Для анализа дисперсионных уравнений (1.7) и (1.10) следует выяснить поведение функции $R(k)$ при $k \geq 0$ в зависимости от физико - механических характеристик среды. Так как производная функции $R(k)$

$$R'(k) = -\frac{\varepsilon_1\varepsilon_2\left(\varepsilon_1 k_1^2 + R_1^2\right)}{\varepsilon_2 + \varepsilon_1 thk} < 0 \qquad \text{при } k \geq 0 \qquad (2.1)$$

то функция $R(k)$ всегда монотонно убывает. Знак этой функции определяется ее значениями в концах промежутка $0 \leq k \leq \infty$:

$$R_0 \equiv R(0) = R_1^2, \qquad R_\infty \equiv R_\infty = \frac{R_1^2\varepsilon_2 - K_1^2\varepsilon_1}{\varepsilon_2 + \varepsilon_1} \qquad (2.2)$$

Согласно [11] можно показать, что численные величины R_0 и R_∞ для большинства пьезоэлектриков невелики, поэтому в дальнейшем принимается, как и в [1,2], что

$$\left|R(k)\right| << 1 \qquad (2.3)$$

Отсюда получается поведение функции $R(k)$ и с точки зрения этого поведения рассматриваемые слоистые системы разделяются на следующие группы:

а) при $e_1 > 0, \quad d_1 > 0$ (классы $6mm, 4mm$)

при $e_1 > 0, \quad d_1 > 0 \quad \left(e_1 / d_1\right)^2 > \left(\varepsilon_1\varepsilon_2^{-1}\right)$ (классы 6,4) (2.4)

$$R_0 > 0, \quad R_\infty > 0, \quad R(k) > 0, \quad k \in \left[0, +\infty\right]$$

б) при $e_1 > 0, \quad d_1 > 0 \quad \left(e_1 d_1^{-1}\right)^2 = \varepsilon_1\varepsilon_2^{-1}$ (классы 6,4) (2.5)

$$R_0 > 0, \quad R_\infty > 0, \quad R(k) \geq 0, \quad k \in \left[0, +\infty\right]$$

в) при $e_1 > 0, \quad d_1 > 0, \quad \left(e_1 d_1^{-1}\right)^2 < \varepsilon_1\varepsilon_2^{-1}$ (классы 6.4) (2.6)

$$R_0 > 0, \quad R_\infty < 0, \quad R(k) \geq 0, \quad k \in [0, k_*], \quad R(k) < 0, \quad k \in [k_*, +\infty]$$

г) при $e_1 = 0, \quad d_1 > 0$ (классы 622, 422) (2.7)

$$R_0 = 0, \quad R_\infty < 0, \quad R(k) \leq 0, \quad k \in [0, +\infty]$$

где k_* определяется из условия $R(k_*) = 0$.

Дисперсионное уравнение анализируется в следующих трех случаях: $S_2 < S_1$ (мягкий слой) , $S_2 > S_1$ (жесткий слой), $S_2 = S_1$ (промежуточный слой). При $k = 0$ (при отсутствии слоя), уравнения (1.7) и (1.10) совпадают и принимают вид $\beta_1(V) = R_0$, которое в силу (2.3), при $R_0 > 0$, всегда имеет решение [4,7]

$$= V_{\text{гб}} = S_1\sqrt{1 - R_0^2} < S_1 \tag{2.8}$$

Это - скорость сдвиговой поверхностной волны Гуляева-Блюстейна, которая при выполнении условия $R_0 > 0$ всегда существует и распространяется медленно, чем объемные сдвиговые электроупругие волны в той же среде. Очевидно, что в случае мягкого слоя $(S_2 < S_1)$, в зависимости от значений параметров слоистой системы, отношение скоростей $_{\text{гб}}$ иS_2 может быть произвольным,

при $\beta_1(S_2) > R_0 \quad V_{\text{гб}} > S_2$

при $\beta_1(S_2) = R_0 \quad V_{\text{гб}} = S_2$

при $\beta_1(S_2) < R_0 \quad V_{\text{гб}} < S_2$ (2.9)

где $\beta_1(S_2) = \sqrt{1 - \frac{S_2^2}{S_1^2}}$, и волновая картина будет зависеть от указанного отношения.

Исследуя дисперсионное уравнение задачи, приходим к следующему заключению:

1. В слоистой системе из пьезоэлектрической подложки классов $6, 4, 6mm, 4mm, 622, 422$ и изотропного диэлектрического металлизированного слоя поверхностная электроупругая волна может существовать как при мягком, так и при жестком и промежуточном слоях.

2. В случае мягкого слоя $S_2 < S_1$ ЭУПВЛ почти всегда существуют и возможны решения двух типов: электроупругие поверхностные волны обычного типа Лява, когда их составляющие парциальные упругие волны в слое однородны (скорость поверхностной волны больше скорости сдвиговых объемных волн S_2 в слое), и электроупругие поверхностные волны щелевого типа, когда их составляющие упругие волны в слое неоднородны (скорость поверхностной волны меньше скорости объемных волн S_2 в слое). В случае жесткого и промежуточного слоя $S_2 \geq S_1$ ЭУПВЛ не всегда существует, могут существовать лишь решения второго типа, то есть электроупругие по-

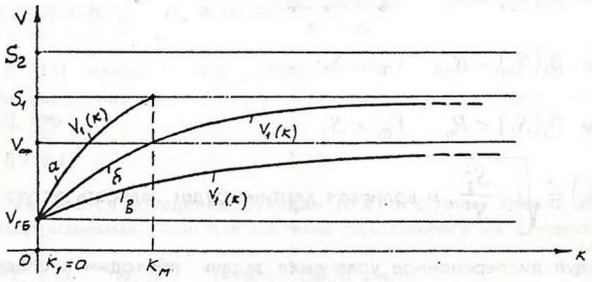
верхностные волны щелевого типа.

3. В случае мягкого слоя поверхностные электроупругие волны Лява многомодные (как и обычные волны Лява), а в случае жесткого и промежуточной - одномодные.

4. В случае мягкого слоя, независимо от поведения коэффициента электромеханической связи $R(k)$, высшие моды поверхностной волны, начиная со второй моды (как и обычных волн Лява), возникают из сдвиговых электроупругих объемных волн, существующих в слоистой системе при определенных критических значениях $k = k_n (n = 2,3,\ldots)$ параметра k и распространяющихся с одинаковой скоростью, равной скорости S_1 объемных сдвиговых волн в подложке:

$$_n(k_n) = S_1 (n = 2,3,\ldots)$$

При переходе через каждое критическое значение $k = k_n$ соответствующая объемная волна трансформируется в n-ую моду поверхностной волны, скорость $_n(k)$ которой с ростом k монотонно убывает и в пределе, когда $k \to \infty$ стремится асимптотически к значению $_n = S_2$ - скорости объемной сдвиговой волны в слое, причем для каждого фиксированного значения $k > k_n$ скорости $_n(k)$ мод удовлетворяют условию: $_2(k) < V_3(k) < \cdots < V_n(k)$. Число мод зависит от значения k скачкообразно и при $k \to \infty$ стремится к бесконечности.



Фиг. 1

В пределе $k = +\infty$, то есть в случае двух полупространств все эти моды, сливаясь между собой, образуют единственную так называемую объемно - поверхностную волну, которая и распространяется со скоростью $= S_2$.

Как следует из сказанного, все высшие моды ЭУПВЛ волны обычного типа Лява.

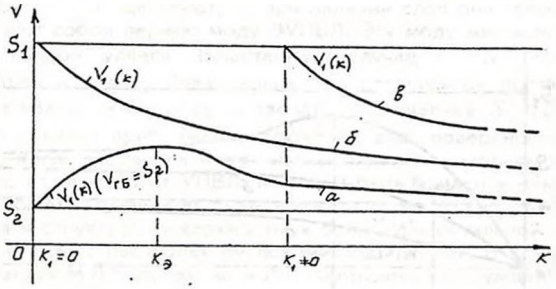
5. В случае мягкого слоя поведение первой моды ЭУПВЛ может быть различным, а именно:

а) для слоистых систем с $R_0 > 0$, то есть для слоистых систем, характеристики которых удовлетворяют условиям (2.4), (2.5) и (2.6), первая мода возникает от поверхностной волны Гуляева - Блюстейна, существующей при критическом значении $k = k_1 = 0$ (то есть при отсутствии слоя), имеющей

скорость $_{ГБ} \equiv V_1(0) = S_1\sqrt{1-R_S^2} < S_1$, и является трансформацией этой волны. Поэтому в этом случае, то есть когда первая мода ЭУПВЛ возникает от поверхностной волны ГБ, первая мода ЭУПВЛ представляет собой модифицированной волной Гуляева - Блюстейна.Поведение первой моды зависит от соотношения скоростей $_{ГБ}$ и S_2.

1) В случае $_{ГБ} > S_2$ в слоистых системах с условиями (2.4), (2.5) и (2.6) поведение первой моды описывается дисперсионной кривой, показанной на фиг.1,а. Эта мода при любых значениях обычного типа, она, в отличие от первой моды ПВЛ, которая возникает от объемной волны, возникает от поверхностной волны Гуляева - Блюстейна, но в пределе при $k \to \infty$, как и первая мода ПВЛ, со всеми остальными модами стремится к объемно - поверхностной волне, существующей в слоистой системе из двух полупространств.

2) В случае $_{ГБ} = S_2$ в вышеуказанных трех системах поведение первой моды описывается дисперсионной кривой, показанной на фиг.3,а. В этом случае скорость первой моды, в зависимости от k, меняется иначе, чем в предыдущем, имеется критические значение $k = k_э$, когда $_1(k)$ достигает экстремального значения. Волна - обычного типа.

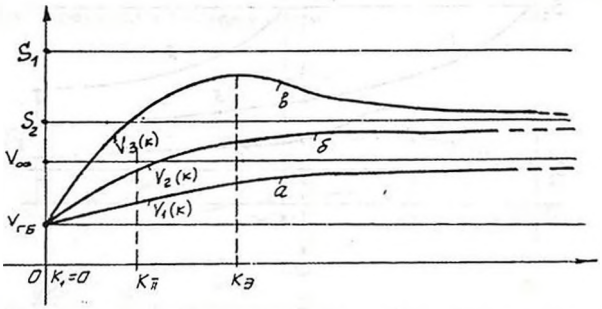


Фиг.2

3) В случае $_{ГБ} < S_2$ в слоистых системах (2.4), при выполнении условия $\beta_1(S_2) < R_\infty$, поведение первой моды описывается дисперсионной кривой, показанной на фиг.2,а, где $_{с)} < S_2$, $V_\infty = \lim_{k\to\infty} V_1(k)$. Здесь первая мода при любых значениях щелевого типа, при увеличении k, скорость волны монотонно возрастает, в пределе при $k \to \infty$ первая мода стремится к поверхностной волне, имеющей скорость $_\infty < S_2$, так что в случае двух полупространств существуют как объемные поверхностные волны, так и поверхностные волны. В слоистых системах (2.4) при дополнительном условии $\beta_1(S_2) = R_\infty$ первая мода описывается дисперсионной кривой, показанной на фиг.2,б. Этот случай отличается от предыдущего тем, что в предельном случае $k = \infty$ первая мода, сливаясь со всеми модами, образует единственную объемно - поверхностную волну. Если же при $_{ГБ} < S_2$ рассматривать слоистые системы (2.5), (2.6) или системы (2.4) с дополнительным условием

$\beta_1(S_2) > R_\infty$, то для первой моды получится дисперсионная кривая с характером, показанным на фиг.2,в. В этом случае существует критическое значение $k = k_\pi$ (точка перехода), при прохождении которой волна меняет свой характер, из щелевого типа превращается в тип обычный, $k_э$ - критическое значение k, когда скорость первой моды достигает максимального значения. В пределе при $k \to \infty$ первая мода со всеми модами образует объемно - поверхностную волну.

б) Для слоистой системы с $R_0 = 0$, то есть для слоистых систем, определяемых по (2.7), первая мода ЭУПВЛ обычного типа, она всегда начинается с объемной волны. Для таких слоистых систем с дополнительным условием $S_1 > S_2\sqrt{1+|R'(0)|/c}$ дисперсионная кривая первой моды начинается при $k = k_1 = 0$ и имеет вид, показанный на фиг.3,б. (Эта кривая такая же, как кривая первой моды обычных волн Лява). Если же удовлетворяется условие $S_1 < S_2\sqrt{1+|R'(0)|/c}$, то критическое значение $k_1 > 0$, в интервале $0 < k < k_1$ поверхностная волна не существует (зона молчания), при $k = k_1$ существует объемная волна, от которой возникает первая мода ЭУПВЛ. Дисперсионная кривая первой моды в этом случае имеет вид, показанный на фиг.3,в.

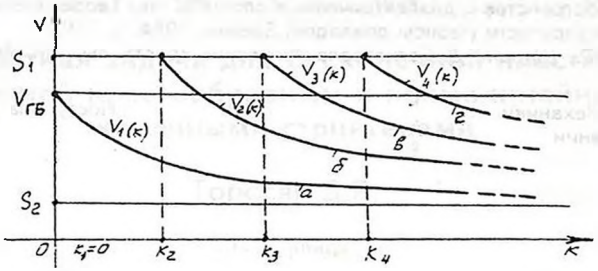


Фиг. 3

6. В случае жесткого и промежуточного слоев $S_2 \geq S_1$ ЭУПВЛ состоит из единственной моды, которая является волной щелевого типа и существует для сред, когда $R(k) > 0$. При $R_0 > 0$ волны Гуляева - Блюстейна существуют и ЭУПВЛ представляют собой модифицированные волны Гуляева - Блюстейна.

Для слоистых систем, определяемых условием (2.7) ($R_0 = 0, R_\infty < 0$), поверхностные волны не существуют. В слоистых системах (2.4) с дополнительным условием $\mu_\infty < 1\left(\mu_\infty = \mu(\infty), \mu_{(k)} = R(k)/c\gamma_2 S_1\right)$ ЭУПВЛ возникает из поверхностной волны ГБ и имеет дисперсионную кривую, показанную на фиг.4,а. При определенном конечном критическом значении $k = k_M$ волна становится объемной и при $k > k_M$ совсем исчезает ($k_m < k < \infty$ является зоной молчания). Для слоистых систем (2.4) с дополнительным условием

$\mu_\infty = 1$ дисперсионная кривая имеет вид, показанный на фиг.4,б, а с дополнительным условием $\mu_\infty > 1$ - на фиг.4,в. В последнем случае для двух полупространств существует поверхностная волна, скорость которой $_\infty < S_1 \le S_2$.



Фиг. 4

Связь ЭУПВЛ с волнами Гуляева - Блюстейна уже отметили: если при отсутствии слоя ПВГБ существуют, то при наличии слоя они трансформируются и представляют собой первую моду ЭУПВЛ. Эту моду мы называли модифицированной волной Гуляева - Блюстейна. В случае $S_2 \ge S_1$, если пренебречь пьезоэффектом и задачу Лява решать в чисто упругой постановке, то поверхностные волны не будут существовать. В случае же $S_2 < S_1$ есть случаи, когда чисто упругое приближение также не дает поверхностную волну, но есть случаи, когда в пределе имеет волны Лява. В последнем случае ЭУПВЛ могут сильно отличаться от УПВЛ, не могут быть близки к ним. Отсюда следует, что в общем случае учет пьезоэффекта очень важен для выяснения существования и структуры поверхностных волн горизонтальной поляризации в слоистых системах с пьезоэлектрическими подложками. В конце отметим полезность участия М.В.Белубекяна и А.С.Аветисяна в обсуждении результатов работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кессених Г.Г., Любимов В.Н., Шувалов Я.А.* О поверхностных волнах Лява в пьезоэлектриках. - Кристаллография, 1982, в. 3, т.27.
2. *Багдасарян Г.Е., Даноян З.Н., Манукян Г.А.* Поведение мод поверхностных сдвиговых электроупругих волн Лява в пьезоэлектрических подложках с диэлектрическим изотропным слоем. В кн.: Актуальные проблемы неоднородной механики (материалы ВН семинара), Ереван,1991, с.49-54.
3. *Новацкий В.* Теория упругости.- М.,Мир,1975.
4. *Олинер А.* Поверхностные акустические волны. - М.: Мир, 1981.
5. *Э.Руайе, Д.Дьелесан.* Упругие волны в твердых телах. - М.: Наука, 1982.
6. *Партон В.З., Кудрявцев Б.А.* Электромагнитоупругость пьезоэлектрических и электропроводных тел. - М.: Наука,1988.
7. *Балакирев М.К., Гилинский И.В.* Волны в пьезокристаллах. - Новосибирск: Наука, 1982.
8. *Curtis R.G.,Redvood M.* Transverse Surface Waves on a Piezoelectric Material Carryng a Metal Layer on Finite Thickness.- J.Appl. Phus.,1973, v. 44, № 5,

р. 2002-2007.
9. *Кессених Г.Г., Любимов В.Н., Филиппов В.В.* Поперечные поверхностные акустические волны для изотропной подложки с пьезоэлектрическим слоем. - Акуст.журн., 1985, т.31, № 4, с. 492-495.
10. *Аветисян А.С.* Поверхностные сдвиговые волны в пьезоэлектрическом полупространстве с диэлектрическим слоем. В кн.: Теоретические вопросы магнитоупругости (тезисы докладов),Ереван, 1984, с. 7-10.
11. *Иона Ф., Ширане Д.* Сегнетоэлектрические кристаллы. - М.:Мир, 1965.

Институт Механики
НАН Армении

Поступила в редакцию
6.05.199