

УДК 539.3

DOI: 10.23885/2500-0640-2017-13-3-10-17

ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ СЛОИСТОЙ ПРЕДНАПРЯЖЕННОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТОУПРУГОЙ СРЕДЫ

© 2017 г. М.О. Леви^{1,2}, В.В. Калинин^{1,2}, К.Л. Агаян³

Аннотация. Рассмотрена задача об установившихся гармонических колебаниях слоистой предварительно напряженной среды, представляющей собой электромагнитоупругий слой, жестко сцепленный с электромагнитоупругим полупространством. Начальные напряжения в среде определяются величиной деформации слоя или полупространства. В частности, исследованы случаи одновременного сжатия или растяжения слоя и полупространства. Для описания динамического процесса в среде использовали линеаризованные приближения уравнений движения и квазистатических уравнений Максвелла. Построена функция Грина среды с учетом непрерывности механических, электрических и магнитных полей. В качестве исследуемой среды был выбран композит, выполненный из широко используемых материалов: верхний слой композита выполнен из пьезоэлектрика BaTiO_3 , а подстилающее полупространство из пьезомагнетика CoFe_2O_4 .

Рассчитаны фазовые скорости среды при различных величинах начальных деформаций пьезоэлектрической и пьезомагнитной компонент среды. В качестве вариативных условий для задания начальных напряжений были использованы различные режимы начальной деформации: одноосный, двухосный и трехосный (гидростатический). Полученные результаты могут быть полезны при проектировании высоконагруженных устройств на базе электромагнитоупругих материалов.

Ключевые слова: начальные напряжения, электромагнитоупругость, гетероструктура, функция Грина.

PECULIARITIES OF DYNAMICS OF A LAYERED PRESTRESSED ELECTROMAGNETOELASTIC MEDIA

M.O. Levi^{1,2}, V.V. Kalinchuk^{1,2}, K.L. Agayan³

Abstract. The problem of steady harmonic oscillations of a layered prestressed medium, which is an electromagnetoelastic layer rigidly coupled to an electromagnetoelastic half-space, is considered. The initial stresses in the medium are determined by the amount of deformation of the layer or half-space. In particular, the cases of simultaneous compression or extension of a layer and a half-space are investigated. The dynamic process in the medium was described by linearized approximations of the equations of motion and quasistatic Maxwell equations. The Green's function of the medium is constructed with allowance for the continuity of mechanical, electric, and magnetic fields. As the studied medium, a composite made of widely used materials was chosen: the upper layer of the composite is made of the piezoelectric BaTiO_3 , and the underlying half-space from the piezomagnetic CoFe_2O_4 .

The phase velocities of the medium are calculated for different values of the initial deformations of the piezoelectric and piezomagnetic components of the medium. As various conditions for setting initial stresses, different initial strain modes were used: uniaxial, biaxial and triaxial (hydrostatic). The obtained results can be useful in the design of highly loaded devices based on electromagnetoelastic materials.

Keywords: initial stresses, electromagnetoelasticity, heterostructure, Green's function.

¹ Южный научный центр Российской академии наук (Southern Scientific Centre, Russian Academy of Sciences, Rostov-on-Don, Russian Federation), Российская Федерация, 344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41, e-mail: kalin@ssc-ras.ru

² Южный федеральный университет (Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russian Federation), 344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, д. 200/1, e-mail: mlevi@mindonline.ru

³ Институт механики Национальной академии наук Республики Армения (Institute of Mechanics of National Academy of Sciences of the Republic of Armenia, Yerevan, Republic of Armenia), Республика Армения, 375019, г. Ереван, пр. Маршала Баграмяна, 246

1. Zhang Rong, Pang Yu, Feng Wenjie. 2014. Propagation of Rayleigh Waves in a Magneto-Electro Elastic Half-Space with Initial Stress. *Mechanics of Advanced Materials and Structures*. 21(7): 538–543. doi: 10.1080/15376494.2012.699595
2. Li Li, Wei P.J. 2014. Surface wave speed of functionally graded magneto-electro-elastic materials with initial stresses. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*. 44(3): 49–64. doi: 10.2478/jtam-2014-0016
3. Du J., Xu Jun-Jie, Wang Ji. 2007. Love wave propagation in layered magneto-electro-elastic structures with initial stress. *Acta Mechanica*. 192(1): 169–189. doi: 10.1007/s00707-006-0435-3.
4. Zhang J., Shen Y.P., Du J.K. 2008. The effect of inhomogeneous initial stress on Love wave propagation in layered magneto-electro-elastic structures. *Smart Materials and Structures*. 17(2): 9–18. doi: 10.1088/0964-1726/17/2/025026
5. Shikha Kakar, Rajneesh Kakar. 2013. Love wave propagation in electro-magneto non-homogeneous elastic media. *Intern. Journal of Materials Science and Applications*. 2(2): 61–67. doi: 10.11648/j.ijmsa.20130202.15
6. Baljeet Singh. 2013. Rayleigh wave in a rotating initially stressed piezoelectric half-space. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*. 43(2): 55–68. doi: 10.2478/jtam-2013-0014
7. Белянкова Т.И., Зайцева И.А., Калинин В.В., Пузанов Ю.Е. 2001. Динамика пьезоактивной структурно неоднородной среды. *Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки*. Спецвыпуск: 33–35.
8. Белянкова Т.И., Лыжов В.А. 2010. Некоторые особенности динамики слабонеоднородных пьезоактивных структур. *Вестник Южного научного центра*. 6(2): 3–10.
9. Белянкова Т.И., Калинин В.В., Лыжов В.А. 2010. Связанная смешанная задача для системы электродов на поверхности преднапряженного электроупругого структурно неоднородного полупространства. *Прикладная математика и механика*. 74(6): 897–910.
10. Белянкова Т.И., Калинин В.В., Лыжов В.А. 2011. Роль размерных параметров в формировании волновых полей в неоднородных пьезоактивных структурах. *Вестник Южного научного центра*. 7(3): 3–12.
11. Широков В.Б., Юзюк Ю.И., Калинин В.В., Леманов В.В. 2013. Материальные константы твердых растворов (Ba,Sr) TiO₃. *Физика твердого тела*. 55(4): 709–714.
12. Калинин В.В., Белянкова Т.И., Леви М.О., Агаян К.Л. 2013. Некоторые особенности динамики слабонеоднородного магнитоупругого полупространства. *Вестник Южного научного центра*. 9(4): 13–17.

13. Леви М.О. 2011. Динамическая задача для электромагнитоупругого слоя. *Вестник Южного научного центра*. 7(4): 5–10.
14. Леви М.О., Анджинович И.Е., Ворович Е.И., Агаян К.Л. 2012. Влияние граничных условий на динамику электромагнитоупругой полуграниченной среды. *Вестник Южного научного центра*. 8(4): 14–19.
15. Белянкова Т.И., Калинин В.В. 2016. Уравнения динамики предварительно напряженной магнитоэлектроупругой среды. *Известия Российской академии наук. Механика твердого тела*. 5: 101–110.

REFERENCES

1. Zhang Rong, Pang Yu, Feng Wenjie. 2014. Propagation of Rayleigh Waves in a Magneto-Electro Elastic Half-Space with Initial Stress. *Mechanics of Advanced Materials and Structures*. 21(7): 538–543. doi: 10.1080/15376494.2012.699595
2. Li Li, Wei P.J. 2014. Surface wave speed of functionally graded magneto-electro-elastic materials with initial stresses. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*. 44(3): 49–64. doi: 10.2478/jtam-2014-0016
3. Du J., Xu Jun-Jie, Wang Ji. 2007. Love wave propagation in layered magneto-electro-elastic structures with initial stress. *Acta Mechanica*. 192(1): 169–189. doi: 10.1007/s00707-006-0435-3
4. Zhang J., Shen Y.P., Du J.K. 2008. The effect of inhomogeneous initial stress on Love wave propagation in layered magneto-electro-elastic structures. *Smart Materials and Structures*. 17(2): 9–18. doi: 10.1088/0964-1726/17/2/025026
5. Shikha Kakar, Rajneesh Kakar. 2013. Love wave propagation in electro-magneto non-homogeneous elastic media. *Intern. Journal of Materials Science and Applications*. 2(2): 61–67. doi: 10.11648/j.ijmsa.20130202.15
6. Baljeet Singh. 2013. Rayleigh wave in a rotating initially stressed piezoelectric half-space. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*. 43(2): 55–68. doi: 10.11648/j.ijmsa.20130202.15
7. Belyankova T.I., Zaytseva I.A., Kalinchuk V.V., Puzanov Yu.E. 2001. [The dynamics of a piezoactive structurally inhomogeneous medium]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Seriya: Estestvennyye nauki*. Special issue: 33–35. (In Russian).
8. Belyankova T.I., Lyzhov V.A. 2010. [Some features of dynamics for weakly inhomogeneous piezo-active structures]. *Vestnik Yuzhnogo nauchnogo tsentra*. 6(2): 3–10. (In Russian).
9. Belyankova T.I., Kalinchuk V.V., Lyzhov V.A. 2010. A coupled mixed problem for a system of electrodes on the surface of a prestressed electroelastic structurally inhomogeneous half-space. *Journal of Applied Mathematics and Mechanics*. 74(6): 637–647. doi: 10.1016/j.jappmathmech.2011.01.003

10. Belyankova T.I., Kalinchuk V.V., Lyzhov V.A. 2011. [Role of dimensioned parameters in formation of wave fields in heterogeneous piezoactive structures]. *Vestnik Yuzhnogo nauchnogo tsentra*. 7(3): 3–12. (In Russian).
11. Shirokov V.B., Yuzyuk Yu.I., Kalinchuk V.V., Lemanov V.V. 2013. Material constants of (Ba,Sr)TiO₃ solid solutions. *Physics of the Solid State*. 55(4): 773–779. doi: 10.1134/S1063783413040276
12. Kalinchuk V.V., Belyankova T.I., Levi M.O., Agayan K.L. 2013. [Some specific features of dynamics of slightly heterogeneous magneto-elastic half-space]. *Vestnik Yuzhnogo nauchnogo tsentra*. 9(4): 13–17. (In Russian).
13. Levi M.O. 2011. [Dynamic task for electromagnetoelastic layer]. *Vestnik Yuzhnogo nauchnogo tsentra*. 7(4): 5–10. (In Russian).
14. Levi M.O., Andzhikovich I.E., Vorovich E.I., Agayan K.L. 2012. [The influence of boundary conditions on the dynamics of semibounded electromagneto-elasticity media]. *Vestnik Yuzhnogo nauchnogo tsentra*. 8(4): 14–21. (In Russian).
15. Belyankova T.I., Kalinchuk V.V. 2016. Dynamic equations of a prestressed magnetoelectroelastic medium. *Mechanics of Solids*. 51(5): 588–595. doi: 10.3103/S0025654416050125

Поступила 03.07.2017