

## ТЕРМОМАГНІТОЕЛЕКТРОПРУЖНІСТЬ АНИЗОТРОПНОГО БІМАТЕРІАЛУ ІЗ НЕІДЕАЛЬНИМ МАГНІТОЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИМ КОНТАКТОМ СКЛАДОВИХ

Андрій Васишин, Ярослав Пастернак

Львівський національний університет імені Івана Франка, vasylyshyn.c.h@gmail.com  
Луцький національний технічний університет, iaroslav.m.pasternak@gmail.com

Швидкий розвиток розумних мікроелектромеханічних систем викликає значний інтерес до матеріалів, які можуть поєднувати поля різної фізичної природи. Зокрема, п'єзоелектричні, п'єзوماгнітні та магнітоелектричні матеріали, основною властивістю яких є зв'язок їх електричної, магнітної та механічної поведінки, широко використовуються в розумних системах, як датчики і перетворювачі [1]. При створенні таких структур часто використовують механічне поєднання матеріалів з різними електромагніто-механічними властивостями, які зокрема, можна у багатьох випадках моделювати біматеріальним середовищем. Унаслідок такого поєднання складових утворюється проміжний шар, який значно впливає на розподіл фізико-механічних полів. У науковій літературі [2, 3] його вплив зводять до неідеальних теплових та магнітоелектромеханічних крайових умов.

Одним із ефективних методів аналізу механіки руйнування таких біматеріалів, є дуже перспективний підхід, заснований на методах граничних елементів, функцій стрибка [4], формалізмі Стро і теорії функцій комплексної змінної. Він володіє високою точністю завдяки своєму напіваналітичному характеру.

У цій роботі розглянуто термомагнітоелектропружне анізотропне біматеріальне середовище, що складається з двох термпружних анізотропних півпросторів розташованих відповідно у півплощинах  $S_1(x_1 > 0)$  та  $S_2(x_2 < 0)$ . Ці півпростори поєднані уздовж межі  $x_2 = 0$ .

На межі поділу виконуються умови ідеального теплового контакту

$$\mathcal{G}^{(1)}(x_1, x_2) = \mathcal{G}^{(2)}(x_1, x_2) = \mathcal{G}(x_1), \forall x_2 = 0;$$

$$\theta^{(1)}(x_1, x_2) = \theta^{(2)}(x_1, x_2) = \theta(x_1), \forall x_2 = 0,$$

а також умови неідеального магнітоелектромеханічного контакту складових

$$\tilde{\mathbf{u}}^{(1)}(x_1, x_2) = \tilde{\mathbf{u}}(x_1) + \Lambda \tilde{\Phi}_{,1}(x_1), \quad \tilde{\mathbf{u}}^{(2)}(x_1, x_2) = \tilde{\mathbf{u}}(x_1), \quad \forall x_2 = 0;$$

**Конференція молодих учених «Підстригачівські читання – 2020»,  
26–28 травня 2020 р., Львів**

$$\tilde{\Phi}^{(1)}(x_1, x_2) = \tilde{\Phi}^{(2)}(x_1, x_2) = \tilde{\Phi}(x_1), \quad \forall x_2 = 0.$$

Тут  $\theta$ ,  $\vartheta$  – відповідно зміна температури та функція (потенціал) теплового потоку;  $\tilde{\mathbf{u}}$  – розширений потенціалами електричного та магнітного полів вектор переміщень;  $\tilde{\Phi}$  – відповідна йому розширена вектор-функція напружень;  $\Lambda$  – розширена матриця податностей інтерфейсу, що у разі ідеального контакту є нульовою. Індекси 1 і 2 використовуються для позначення величин полів, що діють у півпросторах  $S_1$  та  $S_2$  відповідно. Кожна складова біматеріального середовища містить систему гладких замкнутих контурів  $\Gamma_1 = \bigcup_i \Gamma_i^{(1)}$  та  $\Gamma_2 = \bigcup_i \Gamma_i^{(2)}$  на яких можна задавати ті чи інші теплові чи магнітоелектромеханічні крайові умови.

Для цих крайових умов, з використанням теорії функцій комплексної змінної і формалізму Стро, вдалося побудувати інтегральні формули типу Сомільяни та відповідні їм інтегральні рівняння для біматеріальних тіл із неідеальним контактом складових, які втім містять тріщини, тонкі й глобулярні вclusions та отвори. Ядра цих формул та рівнянь отримано явно у замкнутій формі. Отримані співвідношення разом із моделлю тонких вclusions були введені в модифікований метод граничних елементів. Це дало можливість розв'язувати задачі для біматеріалу із ідеальним тепловим та неідеальним магнітоелектромеханічним контактами його складових, що містять тріщини та тонкі деформівні вclusions.

1. *Benveniste Y.* Magnetolectric effect in fibrous composites with piezoelectric and piezomagnetic phases // *Physical Review B.* – 1995. – №51 – P. 16424–16427.
2. *Kaessmair S., Javili A., Steinmann P.* Thermomechanics of solids with general imperfect coherent interfaces // *Archive of Applied Mechanics.* – 2014. – 84, (9-11) – P. 1409–1426.
3. *Benveniste Y.* A general interface model for a three-dimensional curved thin anisotropic interphase between two anisotropic media // *J. Mech. Phys. Solids.* – 2006. – 54 – P. 708–734.
4. *Сулим Г. Т.* Основи математичної теорії термopружної рівноваги деформівних твердих тіл з тонкими вclusions. Монографія. – Львів: Дослідно-видавничий центр НТШ, 2007. – 716 с.

**THERMOMAGNETOELECTROELASTICITY OF ANISOTROPIC  
BIMATERIAL WITH IMPERFECT MAGNETOELECTROMECHANICAL  
CONTACT OF ITS COMPONENTS**

*This study presents the technique for derivation of boundary integral equations for thermomagnetoelastic anisotropic biomaterial solids with imperfect electromechanical contact of its components along the interface. The numerical analysis of new problems is held and results are presented.*