



ВЕСТНИК НАУКИ

Сборник научных статей по материалам
Международной научно-практической конференции

**ИНТЕГРАЦИЯ НАУКИ, ОБРАЗОВАНИЯ,
ОБЩЕСТВА, ПРОИЗВОДСТВА И ЭКОНОМИКИ**



ОГЛАВЛЕНИЕ

СЕКЦИЯ 1. ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ..... 8

О МАТРИЦЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТЕРМОУПРУГИХ ВОЛН, РАСПРОСТРАНЯЮЩИХСЯ В АНИЗОТРОПНОЙ СРЕДЕ МОНОКЛИННОЙ СИСТЕМЫ (В СЛУЧАЕ НЕОДНОРОДНОСТИ СРЕДЫ ВДОЛЬ ОСИ X)

А.К. Бектазинова, Н.А. Испулов, К.К. Абишев,

К.Р. Досумбеков, А.Ж. Жумабеков 8

СЕКЦИЯ 2. БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ 17

САНИТАРНО-МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДУХА

О.В. Манченкова, В.Е. Соколова, О.Н. Сочинская..... 17

ДЕФИЦИТ ОСТЕОТРОПНЫХ МИНЕРАЛОВ КАК ФАКТОР РАЗВИТИЯ НЕЗАРАЗНОЙ ПАТОЛОГИИ У СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПТИЦЫ

А.А. Власенко, К.А. Семененко, О.И. Василиади..... 21

СЕКЦИЯ 3. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ 30

ПРОВЕДЕНИЕ РЕМОНТНО-ИЗОЛЯЦИОННЫХ РАБОТ КАК МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ ПЛАСТОВ

А.Н. Екимов 30

ОПТИМИЗАЦИЯ СУШКИ ПОЖАРНЫХ РУКАВОВ В БАШЕННОЙ СУШИЛКЕ

Л.И. Романов, В.Е. Иванов 33

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ И ОСОБЕННОСТЕЙ АНТИРЕЗОНАНСНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ

А.Д. Терешина..... 37

ПРОЕКТНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ В СОВРЕМЕННОМ ОБРАЗОВАНИИ

Е.М. Краснов, Д.Л. Харичева..... 42

СЕКЦИЯ 4. СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ 48

ПРИНЦИПЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

А.Г. Максимов, Н.В. Урюпина, Н.А. Максимов 48

МЕТОДЫ РАЗВЕДЕНИЯ ОВЕЦ

А.Г. Максимов, Н.В. Урюпина, Н.А. Максимов 50

ЭКОЛОГИЯ И ИНТЕНСИФИКАЦИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

А.Г. Максимов, Н.В. Урюпина, Н.А. Максимов 53

ВЛИЯНИЕ БЕРЕМЕННОСТИ НА ОРГАНИЗМ САМКИ

А.Г. Максимов, Н.В. Урюпина, Н.А. Максимов 57

СЕКЦИЯ 1. ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 539.3:534.2

**О МАТРИЦЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТЕРМОУПРУГИХ ВОЛН,
РАСПРОСТРАНЯЮЩИХСЯ В АНИЗОТРОПНОЙ СРЕДЕ
МОНОКЛИННОЙ СИСТЕМЫ (В СЛУЧАЕ
НЕОДНОРОДНОСТИ СРЕДЫ ВДОЛЬ ОСИ X)**

А.К. Бектазинова,

магистрант 2 курса, спец. «Физика»

Н.А. Испулов,

к.ф.-м.н., доц., проф.

К.К. Абишев,

к.т.н., доц., проф.

К.Р. Досумбеков,

ст. преп.

А.Ж. Жумабеков,

ст. преп.,

НАО «Торайгыров университет»,

г. Павлодар, Республика Казахстан

Аннотация: В работе исследуется распространение термоупругих волн в анизотропной среде моноклинной системы, с тензорными характеристиками, зависящими от одной из пространственных координат (выбрана ось X). Получена матрица коэффициентов и проведен анализ распространения взаимосвязанных тепловых и упругих (механических) волн в случае неоднородности вдоль оси X.

Ключевые слова: анизотропная среда, моноклинная система, уравнения движения упругой среды, уравнения теплопроводности Фурье, уравнение притока тепла, термоупругие волны, матричный метод

Введение. Исследование закономерностей волновых процессов в упругих средах с термомеханическим эффектом связано с необходимостью решения теоретических и прикладных задач

геофизики, сейсмологии, механики композитных материалов и т.д. Связанные уравнения термоупругости отличаются сложностью и обилием физико-механических параметров. Являясь разделом механики деформируемого твердого тела, теория термоупругости, опираясь на использование определенных физических свойств естественных кристаллов и керамик искусственного происхождения, изучает механику связанных тепловых и механических полей.

Волновые явления в кристаллах, т.е. в средах с ярко выраженной анизотропией целого ряда физических свойств, характеризуются более сложными закономерностями по сравнению с изотропным случаем.

В связи со сказанным, развитие и применение аналитических методов исследования, а также формирование представлений о поведении термоупругих волн в анизотропных средах с учетом термомеханического эффекта являются актуальным.

На основе метода матрицанта [1], ранее рассматривались волновые процессы в упругих анизотропных средах, в анизотропных диэлектрических средах, электромагнитные волны в средах с пьезомагнитным и магнитоэлектрическим эффектом [2, 3], распространение волн в жидких кристаллах и в термоупругих средах [4-7].

Метод исследования – метод матрицанта, который позволяет получать точные аналитические решения дифференциальных уравнений, описывающих распространение электромагнитных и упругих волн в средах с пьезоэлектрическими, пьезомагнитными, термоупругими и термопьезоэлектрическими свойствами.

Основная часть. Распространение термоупругих волн в анизотропных средах описывается уравнениями движения (без учета массовых сил) [8]:

$$\begin{aligned}\frac{\partial \sigma_{XX}}{\partial X} + \frac{\partial \sigma_{XY}}{\partial Y} + \frac{\partial \sigma_{XZ}}{\partial Z} &= \rho \frac{\partial^2 U_X}{\partial t^2}, \\ \frac{\partial \sigma_{XY}}{\partial X} + \frac{\partial \sigma_{YY}}{\partial Y} + \frac{\partial \sigma_{YZ}}{\partial Z} &= \rho \frac{\partial^2 U_Y}{\partial t^2}, \\ \frac{\partial \sigma_{XZ}}{\partial X} + \frac{\partial \sigma_{YZ}}{\partial Y} + \frac{\partial \sigma_{ZZ}}{\partial Z} &= \rho \frac{\partial^2 U_Z}{\partial t^2},\end{aligned}\tag{1}$$

решаемых совместно с уравнением теплопроводности Фурье и уравнением притока тепла, которые соответственно имеют вид:

$$\lambda_{ij} \frac{\partial \theta}{\partial x_j} = -q_i, \quad (2)$$

$$\frac{\partial q_i}{\partial x_i} = -i\omega \beta_{ij} \varepsilon_{ij} - i\omega \frac{c_\varepsilon}{T_0} \theta, \quad (3)$$

где σ_{ij} – тензор напряжения;

ρ – плотность среды;

λ_{ij} – тензор теплопроводности;

q_i – вектор притока тепла;

ω – круговая частота;

β_{ij} – термомеханические постоянные $\beta_{ij} = \beta_{ji}$;

ε_{ij} – тензор деформации;

c_ε – теплоемкость при постоянной деформации;

$\theta = T - T_0$ – приращение температуры по сравнению с температурой естественного состояния T_0 , принимается допущение, что изменение температуры мало $\left| \frac{\theta}{T_0} \right| \ll 1$ для малых деформаций.

Физико-механические величины связаны соотношением Дюгамеля – Неймана:

$$\sigma_{ij} = c_{ijkl} \varepsilon_{kl} - \beta_{ij} \theta, \quad (4)$$

где c_{ij} – упругие параметры, подчиняющиеся условию симметрии: $c_{ijkl} = c_{jikl} = c_{ijlk} = c_{klij}$; ε_{kl} – тензор малых деформаций Коши $\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2}(u_{i,j} + u_{j,i})$.

Уравнения (1)-(4) определяют взаимосвязь механических напряжений и температуры как функции независимых переменных – теплового поля и деформации.

Таким образом, соотношения (1)–(4) составляют замкнутую систему уравнений термоупругости, которая описывает распространение термоупругих волн.

На основе метода разделения переменных в случае гармонической зависимости от времени [1]:

$$\begin{aligned} [U_i(x, y, z, t); \sigma_{ij}(x, y, z, t); \theta; q_z] \\ = [U_i(z), \sigma_{ij}(z), \theta; q_z] e^{i(\omega t - mx - ny)}. \end{aligned} \quad (5)$$

Система уравнений (1)-(4) приводится к системе дифференциальных уравнений 1-го порядка с переменными

коэффициентами, описывающей распространение гармонических волн:

$$\frac{d\vec{W}}{dz} = B\vec{W}. \quad (6)$$

Здесь $B = B[c_{ijkl}(z), \beta_{ij}(z), \omega, m, n]$ - матрица коэффициентов, элементы которой содержат в себе параметры среды, в которой распространяются термоупругие волны; m, n -компоненты волнового вектора $\vec{k}$.

Вектор $\vec{W}$ имеет вид:

$$\vec{W}(x, y, z, t) = [u_z(z), \sigma_{zz}, u_x(z), \sigma_{xz}, u_y(z), \sigma_{yz}, \theta, q_z]^t \exp(i\omega t - imx - iny). \quad (7)$$

Символ t означает операцию транспонирования вектора – строки в вектор – столбец.

Неоднородность среды предполагается вдоль оси X . При построении матрицы коэффициентов B используется представление решения в виде (5), из системы уравнений (1)-(4) выделяются производные по X и исключаются компоненты тензора напряжения, не входящие в граничные условия. Множитель $\exp(i\omega t - imx - iny)$ всюду опущен.

Для анизотропной среды моноклинной сингонии характерно наличие оси симметрии второго порядка. Структуры матрицы B и вектор – столбец граничных условий в объемном случае для моноклинной сингонии в случае оси симметрии второго порядка ($z \parallel A_2$) и неоднородности вдоль оси X :

$$B = \begin{bmatrix} 0 & b_{12} & b_{13} & b_{14} & b_{15} & 0 & b_{17} & 0 \\ b_{21} & 0 & 0 & b_{24} & 0 & b_{26} & 0 & 0 \\ b_{24} & b_{14} & b_{33} & b_{34} & b_{35} & 0 & b_{37} & 0 \\ 0 & b_{13} & b_{43} & b_{33} & b_{45} & b_{46} & b_{47} & 0 \\ b_{26} & 0 & b_{46} & 0 & b_{55} & b_{56} & 0 & 0 \\ 0 & b_{15} & b_{45} & b_{35} & b_{65} & b_{55} & b_{67} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & b_{78} \\ 0 & -i\omega b_{17} & -i\omega b_{37} & 0 & -i\omega b_{47} & 0 & b_{87} & 0 \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Ось Z параллельна оси симметрии второго порядка.

Элементы b_{ij} матрицы имеют следующий вид:

$$\begin{aligned}
 b_{12} &= c_{66} / \delta; b_{13} = inb_3; b_{15} = ila; b_{14} = -c_{16} / \delta; \\
 b_{17} &= \left(1 + \frac{c_{12}^2}{\delta}\right) \frac{\beta_{11} + \beta_{12}}{c_{11}}; \\
 b_{21} &= -\omega^2 \rho; b_{24} = in; b_{26} = il; \\
 b_{33} &= ind; b_{34} = \frac{c_{11}}{\delta}; b_{35} = ilc; \\
 b_{37} &= \frac{c_{16}(\beta_{11} + \beta_{12})}{\delta}; \\
 b_{43} &= l^2 \left(c_{44} - \frac{c_{45}^2}{c_{55}}\right) + n^2(c_{11}c_{12}b - c_{26}d) - \omega^2 \rho; \\
 b_{45} &= nl \left(c_{23} + c_{44} - bc_{13} - dc_{36} - \frac{c_{45}^2}{c_{55}}\right); \\
 b_{46} &= ilc_{45}/c_{55}; \\
 b_{47} &= \frac{1}{\delta c_{11}} \left[(\delta + c_{16})(\beta_{11} + \beta_{12})c_{12} - \delta c_{11}(\beta_{12} + \beta_{22}) - \right. \\
 &\quad \left. - c_{11}c_{16}c_{26}(\beta_{11} + \beta_{12}) \right]; \\
 b_{55} &= \frac{inc_{45}}{c_{55}}; \\
 b_{56} &= \frac{1}{c_{55}}; \\
 b_{65} &= l^2(c_{33} - ac_{13} - cc_{16}) + n^2 \left(c_{44} - \frac{c_{45}^2}{c_{55}}\right) - \omega^2 \rho; \\
 b_{67} &= \frac{1}{\delta c_{11}} [(\delta c_{13} + c_{13}c_{16}^2 - c_{11}c_{16}c_{36})(\beta_{11} + \beta_{12}) - \delta c_{11}\beta_{33}]; b_{78} = \\
 &\quad - \frac{1}{\lambda_{11}}; \\
 b_{87} &= -i\omega \left(1 + \frac{c_{16}^2}{\delta}\right) \frac{\beta_{11} + \beta_{12}}{c_{11}}; \\
 \delta &= c_{11}c_{66} - c_{16}^2; \\
 a &= \frac{c_{13}c_{66} - c_{16}c_{36}}{\delta}; \\
 b &= \frac{c_{12}c_{66} - c_{16}c_{26}}{\delta}; \\
 c &= \frac{c_{11}c_{36} - c_{13}c_{16}}{\delta}; \\
 d &= \frac{c_{11}c_{26} - c_{12}c_{16}}{\delta}.
 \end{aligned}$$

Из структур матриц коэффициентов (8) следует, что в пространственном случае упругие волны различной поляризации взаимосвязаны между собой и с тепловой волной (наличие коэффициентов b_{17} , b_{26} , b_{35} , b_{37} , b_{45} , b_{47} , b_{67}).

Отличные от нуля элементы матрицы B – b_{13} , b_{24} определяют взаимную трансформацию продольной и поперечной X – поляризованной волн. Элементы b_{15} , b_{26} описывают взаимосвязь поперечной Y -поляризации с продольной волной. Отличный от нуля элемент b_{45} определяет взаимную трансформацию между волнами поперечной поляризации.

При распространении термоупругих волн в плоскости XZ ($n=0$) матрица коэффициентов (8) имеет вид:

$$B' = \begin{pmatrix} 0 & b_{12} & b_{13} & 0 & b_{17} & 0 \\ b_{21} & 0 & 0 & b_{24} & 0 & 0 \\ b_{24} & 0 & 0 & b_{34} & 0 & 0 \\ 0 & b_{13} & b_{43} & 0 & b_{47} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & b_{78} \\ 0 & -i\omega b_{17} & -i\omega b_{47} & 0 & b_{87} & 0 \end{pmatrix};$$

$$B'' = \begin{pmatrix} 0 & b_{34} \\ b_{65} & 0 \end{pmatrix}. \quad (9)$$

Из матрицы (9) следует, что упругая продольная волна Z -поляризации и упругая поперечная X -поляризации связаны и обладают термоупругим эффектом, т.е. являются затухающими), это доказывает наличие в структуре коэффициентов b_{17} , b_{47} , b_{78} , b_{87}), поперечная волна Y - поляризации является незатухающей, т.к. выделяется отдельной матрицей 2-го порядка.

Элементы матриц коэффициентов (9) имеют вид:

$$b_{12} = \frac{1}{c_{11}}; b_{13} = \frac{c_{12}}{c_{11}} im; b_{17} = \frac{\beta_{11}}{c_{11}};$$

$$b_{21} = -\omega^2 \rho; b_{24} = im;$$

$$\begin{aligned}
 b_{34} &= \frac{l}{c_{44}}; b_{43} = \left(c_{11} - \frac{c_{12}^2}{c_{11}} \right) m^2 - \omega^2 \rho; \\
 b_{47} &= \left(\frac{c_{13}}{c_{33}} \beta_{11} - \beta_{11} \right) im; \\
 b_{65} &= -c_{44} m^2 - \omega^2 \rho; \\
 b_{78} &= -\frac{1}{\lambda_{33}}; \\
 b_{87} &= -i\omega \left(\frac{\beta_{11}^2}{c_{11}} + \frac{c_\varepsilon}{T_0} \right).
 \end{aligned}$$

В плоскости YZ ($m=0$) структура (8) примет следующий вид:

$$\begin{aligned}
 B' &= \begin{pmatrix} 0 & b_{12} & b_{15} & 0 & b_{17} & 0 \\ b_{21} & 0 & 0 & b_{26} & 0 & 0 \\ b_{26} & 0 & 0 & b_{34} & 0 & 0 \\ 0 & b_{15} & b_{65} & 0 & b_{67} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & b_{78} \\ 0 & -i\omega b_{17} & -i\omega b_{67} & 0 & b_{87} & 0 \end{pmatrix}, \\
 B'' &= \begin{pmatrix} 0 & b_{34} \\ b_{43} & 0 \end{pmatrix}.
 \end{aligned} \tag{10}$$

Из данных матриц коэффициентов можно сделать вывод, что Y-поперечная и Z – продольная упругие волны подвержены термоупругому эффекту и затухают (наличие коэффициентов b_{17} , b_{67} , b_{78} , b_{87}), X – упругая поперечная волна распространяется независимо и не затухает, откуда следует, что Y – упругая поперечная волна не подвержена термомеханическому эффекту. Этот факт известен из экспериментальных исследований [9]. Эти исследования говорят об отсутствии термоупругого эффекта у одномерных волн поперечной поляризации и наличия термоупругого эффекта у продольной волны. При распространении по образцу упругой продольной волны между областями сжатия и растяжения будут возникать градиенты температуры. Это приведет к потоку тепла и в

результате к диссипации энергии, т.е. к затуханию волны, которое зависит от частоты.

Закключение. В статье, для термоупругих волн, распространяющихся в анизотропной среде моноклинной системы, построена матрица коэффициентов в объемном случае и проведен анализ матриц коэффициентов. Получены структуры матриц коэффициентов при распространении термоупругих волн в анизотропных средах вышеперечисленных классов в плоскости XZ и YZ, определены типы волн и взаимная трансформация волн различной поляризации.

Данная работа выполнена в рамках научно-исследовательского гранта AP08856290, финансируемого Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан.

Список литературы

- [1] Тлеукунов С.К. Метод матрицанта. / С.К. Тлеукунов. – Павлодар, ПГУ им. С. Торайгырова, 2004. 172 с.
- [2] О поверхностных волнах в пьезомагнитных средах. / С.К. Тлеукунов, Т.С. Досанов, Н.А. Испулов, А.Д. Гутенко [и др.]. // Материалы Международной конференции «Инновационные подходы к решению технико-экономических проблем». – Москва, 2019. 104-110 с.
- [3] Tleukenov S.K. Propagation of electromagnetic waves in anisotropic magnetoelectric medium. / S.K. Tleukenov, M.K. Zhukenov, N.A. Ispulov. // Bulletin of the university of karaganda-physics. 2019. Vol. 2. Iss. 94. 29-34 pp.
- [4] Тлеукунов С.К. Изучение распространения электромагнитных волн в жидких холестерических кристаллах. / С.К. Тлеукунов, К.Р. Досумбеков. // Вестник ПГУ, серия физико-математическая. – Павлодар: НИЦ ПГУ им. С. Торайгырова, 2004. № 4. 148 с.
- [5] Reflection of thermoelastic wave on the interface of isotropic half-space and tetragonal syngony anisotropic medium of classes 4, 4/m with thermomechanical effect. / N.A. Ispulov, A. Qadir, M.A. Shah, K. Ainur [et al.]. // CHINESE PHYSICS B, Number of article: 038102, DOI: 10.1088/1674-1056/25/3/038102 – 2016. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.researchgate.net/>

publication/294682450 Reflection of thermoelastic wave on the interface of isotropic half-space and tetragonal syngony anisotropic medium of classes 4_4m_m_m_with thermomechanical effect. (дата обращения: 15.01.2021).

[6] The Propagation of Thermoelastic Waves in Anisotropic Media of Orthorhombic, Hexagonal, and Tetragonal Syngonies. / N.A. Ispulov, A. Qadir, M.A. Shah, K. Ainur [et al.]. // ADVANCES IN MATHEMATICAL PHYSICS, Number of article: 4898467, DOI: 10.1155/2017/4898467 – 2017. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35711935>. (дата обращения: 15.01.2021).

[7] The Analytical Form of the Dispersion Equation of Elastic Waves in Periodically Inhomogeneous Medium of Different Classes of Crystals. / N.A. Ispulov, A. Qadir, M.A. Shah, K. Ainur [et al.]. // ADVANCES IN MATHEMATICAL PHYSICS. Number of article: 5236898, DOI: 10.1155/2017/5236898 – 2017. [Электронный ресурс]. – URL: <https://downloads.hindawi.com/journals/amp/2017/5236898.pdf>. (дата обращения: 15.01.2021).

[8] Новацкий В. Теория упругости. / В. Новацкий – М.: Мир, 1986. 556 с.

[9] Труэлл Р. Ультразвуковые методы в физике твердого тела. / Р. Труэлл, Ч. Эльбаум, Б. Чик. – М.: Мир, 1972. 307 с.

© А.К. Бектазинова, Н.А. Испулов, К.К. Абишев,
К.Р. Досумбеков, А.Ж. Жумабеков, 2021