

МЕХАНИКА

УДК 539.3

В. В. Тагворян

Об одной трехмерной динамической задаче теории упругости по прогнозу землетрясений

(Представлено академиком Л. А. Агаловяном 22/XI 2018)

Ключевые слова: литосферная плита, слоистость, упругость, трехмерная динамическая неклассическая задача, асимптотическое решение.

Введение. Планета Земля ($R_{\text{зем.}} = 6378$ км.) слоиста, неоднородна и состоит из земной коры, верхней и нижней мантий, внешнего и внутреннего ядер. Основной отличительной чертой между этими слоями является то, что скорости распространения продольных P и сдвиговых S волн в этих слоях существенно разные. В пределах верхней мантии на глубине $100 \div 250$ км существует слой «астеносфера». Земная кора и часть верхней мантии до границы с астеносферой составляют литосферу, которая разбита на несколько больших блоков, называемых плитами.

В XX в. исследования по прогнозу землетрясений показали, что подавляющее большинство сильных землетрясений является результатом тектонических движений литосферных плит Земли ($\approx 95\%$ землетрясений) [1-3]. Выделяются две основные стадии тектонических движений, связанные с землетрясениями: медленные (вековые) и быстротечные (скачкообразные). Вековые движения являются квазистатическими и могут длиться десятки лет. В результате в литосферных плитах Земли и отдельных блоках земной коры накапливаются деформации, которые, достигнув критического значения порядка 10^{-4} , а по данным Рикитаке [1] порядка $4.7 \cdot 10^{-5}$, приводят к глобальному разрушению (землетрясению) и основная часть накопленной потенциальной энергии деформации выделяются в виде объемных упругих продольных P и сдвиговых S волн, а также поверхностных волн Релея и Лява. Скорость продольных волн всегда больше скорости сдвиговых волн, что позволяет определить расстояние очага землетрясения от заданной сейсмостанции.

Быстротечные (скачкообразные) движения являются динамическими, и для их описания необходимо решить динамическую трехмерную задачу

теории упругости для пластинчатого пакета, которая является неклассической.

Сейсмологами замечено, что внешние (в основном атмосферные) воздействия могут влиять на данные наклономеров, деформографов и других измерительных средств, если они помещены на поверхности Земли (слоистого пакета), и поэтому эти измерительные средства начали помещать на некотором расстоянии от лицевой поверхности пакета.

Неклассическая квазистатическая задача для однослойных и многослойных пластин с учетом также влияния изменения температурного поля, когда лицевая поверхность пакета свободна и известны значения компонент вектора перемещения ее точек как данные проводимых измерений, решена в [4, 5]. Та же задача решена для слоистого пакета, когда данные измерений сняты с поверхности контакта между слоями под номерами k и $(k+1)$ [6].

Трехмерная динамическая задача теории упругости для слоистого пакета, когда лицевая поверхность пакета свободна, а компоненты перемещения точек поверхности являются гармоническими по времени функциями, решена в [7]. Случай, когда значения компонент перемещения сняты с поверхности контакта между вторым и третьим слоями, рассмотрен в [8].

В данной работе с помощью асимптотического метода решения сингулярно возмущенных дифференциальных уравнений [9] решена динамическая трехмерная задача теории упругости для многослойного пакета, когда измерительные приборы (наклонометры, деформографы и др.) помещены на поверхности контакта между слоями под номерами $(n-1)$ и n .

2. Основные уравнения и постановка краевой задачи. Рассмотрим слоистый пакет из N ортотропных пластин, занимающий область $D = \{(x, y, z) : 0 \leq x \leq a, 0 \leq y \leq b, 0 \leq z \leq h, h = h_1 + h_2 + \dots + h_N, \min(a, b) = l, h \ll l\}$, где h_n ($1 \leq n \leq N$) – толщины пластин (рис. 1).

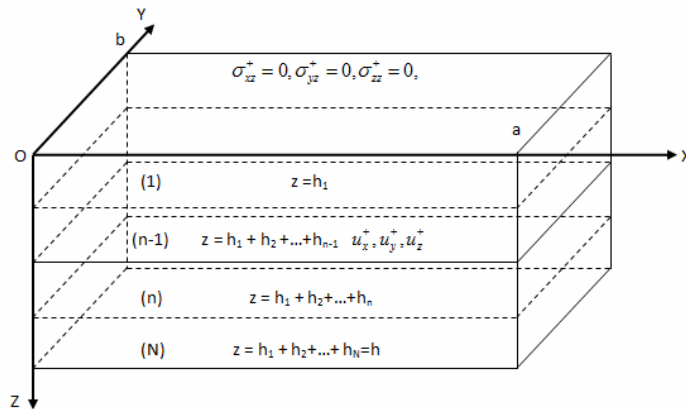


Рис. 1. Слоистый пакет из ортотропных пластин.

Требуется найти для пластинчатого пакета решение уравнений движения трехмерной задачи теории упругости

$$\frac{\partial \sigma_{jx}^{(k)}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{jy}^{(k)}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{jz}^{(k)}}{\partial z} = \rho_k \frac{\partial^2 u^{(k)}}{\partial t^2}, \quad (j = x, y, z; u, v, w) \quad (k = 1, 2, \dots, N) \quad (2.1)$$

и соотношений упругости Гука для ортотропного тела

$$\begin{aligned} \frac{\partial u^{(k)}}{\partial x} &= a_{11}^{(k)} \sigma_{xx}^{(k)} + a_{12}^{(k)} \sigma_{yy}^{(k)} + a_{13}^{(k)} \sigma_{zz}^{(k)}, \quad (u, v, w; 1, 2, 3; x, y, z) \\ \frac{\partial u^{(k)}}{\partial y} + \frac{\partial v^{(k)}}{\partial x} &= a_{66}^{(k)} \sigma_{xy}^{(k)}, \quad \frac{\partial w^{(k)}}{\partial x} + \frac{\partial u^{(k)}}{\partial z} = a_{55}^{(k)} \sigma_{xz}^{(k)}, \quad \frac{\partial w^{(k)}}{\partial y} + \frac{\partial v^{(k)}}{\partial z} = a_{44}^{(k)} \sigma_{yz}^{(k)}, \end{aligned} \quad (2.2)$$

при граничных условиях при $z = 0$ (лицевая поверхность свободна)

$$\sigma_{jz}^{(1)}(x, y, 0, t) = 0, \quad j = x, y, z, \quad (2.3)$$

когда заданы значения перемещений точек поверхности контакта между слоями под номерами $(n-1)$ и n как данные наклономеров и других измерительных средств:

$$u^{(n-1)}(x, y, H_{n-1}, t) = u^{(+)}(x, y) \exp(i\Omega t), \quad (u, v, w) \quad (2.4)$$

и при условиях полного контакта между всеми слоями, которые для произвольного (k) -го слоя записываются:

$$\begin{aligned} \sigma_{jz}^{(k)}(z = H_k) &= \sigma_{jz}^{(k+1)}(z = H_k), \quad H_k = \sum_{i=1}^k h_i, \quad k = 1, 2, \dots, N-1, \quad j = x, y, z, \\ u^{(k)}(z = H_k) &= u^{(k+1)}(z = H_k), \quad (u, v, w) \end{aligned} \quad (2.5)$$

где Ω – частота колебаний точек поверхности контакта между слоями под номерами $(n-1)$ и n , которая фиксируется наклономерами, сейсмостанциями и GPS. Постоянные упругости a_{ik} , толщины h_k и плотности ρ_k слоев считаются известными.

Для решения сформулированной задачи в системах (2.1), (2.2) переходим к безразмерной системе координат. В результате получается сингулярно возмущенная малым параметром $\varepsilon = h/l$ система, решение которой $(I^{(k)})$ состоит из решений внутренней задачи $(I^{(k)int})$ и пограничного слоя $(I_b^{(k)})$, где $I^{(k)int} = \varepsilon^{q_r+s} I^{(k,s)}$, $q_{\sigma_j} = -1$, $q_{u,v,w} = 0$, $s = \overline{0, S}$.

Асимптотическим методом [7] можно найти следующее общее решение внутренней задачи:

$$\begin{aligned} \sigma_{11}^{(k,s)} &= -A_{23}^{(k)} \frac{\partial W^{(k,s)}}{\partial \zeta} + A_{22}^{(k)} \frac{\partial U^{(k,s-1)}}{\partial \xi} - A_{12}^{(k)} \frac{\partial V^{(k,s-1)}}{\partial \eta}, \quad (1, 2; \xi, \eta; 22, 33; U, V) \\ \sigma_{33}^{(k,s)} &= A_{11}^{(k)} \frac{\partial W^{(k,s)}}{\partial \zeta} - A_{23}^{(k)} \frac{\partial U^{(k,s-1)}}{\partial \xi} - A_{13}^{(k)} \frac{\partial V^{(k,s-1)}}{\partial \eta}, \\ \sigma_{12}^{(k,s)} &= \frac{1}{a_{66}^{(k)}} \left[\frac{\partial U^{(k,s-1)}}{\partial \eta} + \frac{\partial V^{(k,s-1)}}{\partial \xi} \right], \quad (2.6) \\ \sigma_{13}^{(k,s)} &= \frac{1}{a_{55}^{(k)}} \left[\frac{\partial W^{(k,s-1)}}{\partial \xi} + \frac{\partial U^{(k,s)}}{\partial \zeta} \right], \quad (\xi, \eta; 1, 2; U, V; a_{55}, a_{44}) \end{aligned}$$

где $A_{ij}^{(k)}$ выражаются через $a_{ij}^{(k)}$ по формулам:

$$A_{11}^{(k)} = a_{11}^{(k)} a_{22}^{(k)} - (a_{12}^{(k)})^2 / \Delta, \quad A_{22}^{(k)} = a_{22}^{(k)} a_{33}^{(k)} - (a_{23}^{(k)})^2 / \Delta,$$

$$\begin{aligned}
A_{33}^{(k)} &= a_{11}^{(k)} a_{33}^{(k)} - \left(a_{13}^{(k)}\right)^2 / \Delta, \quad A_{13}^{(k)} = \left(a_{11}^{(k)} a_{23}^{(k)} - a_{12}^{(k)} a_{13}^{(k)}\right) / \Delta, \\
A_{23}^{(k)} &= \left(a_{22}^{(k)} a_{13}^{(k)} - a_{12}^{(k)} a_{23}^{(k)}\right) / \Delta, \quad A_{12}^{(k)} = \left(a_{12}^{(k)} a_{33}^{(k)} - a_{13}^{(k)} a_{23}^{(k)}\right) / \Delta, \quad (2.7) \\
\Delta &= a_{11}^{(k)} a_{22}^{(k)} a_{33}^{(k)} + 2 a_{12}^{(k)} a_{13}^{(k)} a_{23}^{(k)} - a_{11}^{(k)} \left(a_{23}^{(k)}\right)^2 - a_{22}^{(k)} \left(a_{13}^{(k)}\right)^2 - a_{33}^{(k)} \left(a_{12}^{(k)}\right)^2
\end{aligned}$$

Для компонент вектора перемещения имеем

$$\begin{aligned}
U^{(k,s)} &= C_{u1}^{(k,s)}(\xi, \eta) \sin \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(k)}} \rho_k \zeta + C_{u2}^{(k,s)}(\xi, \eta) \cos \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(k)}} \rho_k \zeta + u_*^{(k,s)}(\xi, \eta, \zeta) \quad (2.8) \\
&\left(U, V, W; a_{55}^{(k)}, a_{44}^{(k)}, \frac{1}{A_{11}^{(k)}} \right),
\end{aligned}$$

где u_*, v_*, w_* – частные решения неоднородных дифференциальных уравнений, решениями которых являются (2.8).

Удовлетворив граничным условиям (2.3)-(2.5), получим окончательное решение внутренней задачи. Поскольку решение пограничного слоя экспоненциально убывает при удалении от боковой поверхности во внутрь пластинки, в задачах такого типа решением пограничного слоя обычно пренебрегают. Однако при необходимости решение пограничного слоя тоже можно определить.

3. О математически точных решениях. Можно показать, что если входящие в граничные условия (2.4) функции являются многочленами от тангенциальных координат, то итерационный процесс определения искомых величин обрывается на некотором приближении и получается математически точное решение внутренней задачи.

В качестве иллюстрации приведем математически точное решение для пятислойного пакета, когда на поверхности контакта между третьим и четвертым слоями заданы значения перемещений точек как данные измерений наклономеров и других измерительных средств.

Граничными условиями задачи будут:

$$\sigma_{jz}(x, y, 0, t) = 0, \quad j = x, y, z, \quad \text{при} \quad \zeta = 0, \quad (3.1)$$

$$\begin{cases} \sigma_{jz}^{(m)} = \sigma_{jz}^{(m+1)} \\ u^{(m)} = u^{(m+1)} \end{cases} \quad j = x, y, z, \quad (u, v, w), \quad \text{при} \quad \zeta = \zeta_m = \frac{1}{h} \sum_{k=1}^m h_k, \quad m = 1, 2, 4 \quad (3.2)$$

$$\begin{cases} \sigma_{jz}^{(3)} = \sigma_{jz}^{(4)} \\ u^{(3)} = u^{(4)} = u^+ = const \end{cases} \quad j = x, y, z, \quad (u, v, w), \quad \text{при} \quad \zeta = \zeta_3 = \frac{h_1 + h_2 + h_3}{h}, \quad (3.3)$$

Поскольку входящие в граничные условия функции взяты постоянными, итерационный процесс обрывается на исходном приближении, и получается математически точное решение во внутренней задаче.

Величины первого слоя ($0 \leq \zeta \leq \zeta_1$):

$$\begin{aligned}
u^{(1)} &= C_{u2}^{(1,0)} \cos \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(1)}} \rho_1 \zeta \exp(i\Omega t), \quad \left(u, v, w; a_{55}^{(1)}, a_{44}^{(1)}, \frac{1}{A_{11}^{(1)}} \right) \\
\sigma_{13}^{(1)} &= -\Omega \sqrt{\frac{\rho_1}{a_{55}^{(1)}}} C_{u2}^{(1,0)} \sin \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(1)}} \rho_1 \zeta \exp(i\Omega t),
\end{aligned}$$

$$\left(u, v, w, a_{55}, a_{44}, \frac{1}{A_{11}}; \sigma_{13}, \sigma_{23}, \sigma_{33} \right), \quad (3.4)$$

$$C_{u2}^{(1,0)} = \frac{u^+}{M_u^1 - M_u^2 - M_u^3}, \quad (u, v, w),$$

где приняты следующие обозначения:

$$M_u^1 = D_u^{+(3)} \left(D_u^{+(2)} \cos \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(1)} \rho_1} \zeta_1 - D_u^{-(2)} \sqrt{\frac{a_{55}^{(2)} \rho_1}{a_{55}^{(1)} \rho_2}} \sin \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(1)} \rho_1} \zeta_1 \right),$$

$$M_u^2 = D_u^{-(3)} D_u^{+(2)} \sqrt{\frac{a_{55}^{(3)} \rho_1}{a_{55}^{(1)} \rho_3}} \sin \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(1)} \rho_1} \zeta_1,$$

$$M_u^3 = D_u^{-(2)} D_u^{-(3)} \sqrt{\frac{a_{55}^{(3)} \rho_2}{a_{55}^{(2)} \rho_3}} \cos \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(1)} \rho_1} \zeta_1, \quad (u, v; a_{55}, a_{44})$$

$$M_w^1 = D_w^{+(3)} \left(D_w^{+(2)} \cos \Omega_* \sqrt{\frac{\rho_1}{A_{11}^{(1)}}} \zeta_1 - D_w^{-(2)} \sqrt{\frac{A_{11}^{(1)} \rho_1}{A_{11}^{(2)} \rho_2}} \sin \Omega_* \sqrt{\frac{\rho_1}{A_{11}^{(1)}}} \zeta_1 \right),$$

$$M_w^2 = D_w^{-(3)} D_w^{+(2)} \sqrt{\frac{A_{11}^{(1)} \rho_1}{A_{11}^{(3)} \rho_3}} \sin \Omega_* \sqrt{\frac{\rho_1}{A_{11}^{(1)}}} \zeta_1, \quad M_w^3 = D_w^{-(2)} D_w^{-(3)} \sqrt{\frac{A_{11}^{(2)} \rho_2}{A_{11}^{(3)} \rho_3}} \cos \Omega_* \sqrt{\frac{\rho_1}{A_{11}^{(1)}}} \zeta_1,$$

$$D_u^{+(2)} = \cos \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(2)} \rho_2} (\zeta_2 - \zeta_1), \quad D_u^{+(3)} = \cos \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(2)} \rho_3} (\zeta_3 - \zeta_2),$$

$$D_u^{-(2)} = \sin \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(2)} \rho_2} (\zeta_2 - \zeta_1), \quad D_u^{-(3)} = \sin \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(3)} \rho_3} (\zeta_3 - \zeta_2),$$

$$\left(u, v, w; a_{55}, a_{44}, \frac{1}{A_{11}} \right);$$

величины второго слоя ($\zeta_1 \leq \zeta \leq \zeta_2$):

$$u^{(2)} = \left[P_{u1}^{(2)} \sin \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(2)} \rho_2} \zeta + P_{u2}^{(2)} \cos \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(2)} \rho_2} \zeta \right] \exp(i\Omega t),$$

$$\left(u, v, w; a_{55}, a_{44}, \frac{1}{A_{11}} \right) \quad (3.5)$$

$$\sigma_{13}^{(2)} = \left[P_{\sigma_{13}1}^{(2)} \cos \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(2)} \rho_2} \zeta - P_{\sigma_{13}2}^{(2)} \sin \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(2)} \rho_2} \zeta \right] \exp(i\Omega t),$$

$$\left(\sigma_{13}, \sigma_{23}, \sigma_{33}; a_{55}, a_{44}, \frac{1}{A_{11}} \right),$$

где

$$P_{u1}^{(2)} = C_{u2}^{(1,0)} (S_1^{u1} - S_2^{u1}), \quad P_{u2}^{(2)} = C_{u2}^{(1,0)} (S_1^{u2} + S_2^{u2}), \quad P_{\sigma_{13}1}^{(2)} = \Omega \sqrt{\frac{\rho_2}{a_{55}^{(2)}}} C_{u2}^{(1,0)} (S_1^{u1} - S_2^{u1}),$$

$$P_{\sigma_{13}2}^{(2)} = \Omega \sqrt{\frac{\rho_2}{a_{55}^{(2)}}} C_{u2}^{(1,0)} (S_1^{u2} + S_2^{u2}), \quad S_1^{u1} = \cos \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(1)} \rho_1} \zeta_1 \sin \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(2)} \rho_2} \zeta_1,$$

$$S_2^{u1} = \sqrt{\frac{a_{55}^{(2)} \rho_1}{a_{55}^{(1)} \rho_2}} \sin \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(1)} \rho_1} \zeta_1 \cos \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(2)} \rho_2} \zeta_1,$$

$$S_1^{u2} = \cos \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(1)} \rho_1} \zeta_1 \cos \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(2)} \rho_2} \zeta_1,$$

$$S_2^{u2} = \sqrt{\frac{a_{55}^{(2)} \rho_1}{a_{55}^{(1)} \rho_2}} \sin \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(1)} \rho_1} \zeta_1 \sin \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(2)} \rho_2} \zeta_1, \quad \left(u, v, w; a_{55}, a_{44}, \frac{1}{A_{11}} \right);$$

величины третьего слоя ($\zeta_2 \leq \zeta \leq \zeta_3$):

$$u^{(3)} = \left[\begin{aligned} & u^+ \frac{\sin \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(3)} \rho_3} \zeta_2}{D_u^{+(3)}} + l \frac{\sigma_{13}^{(2,0)}(\zeta_2) \cos \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(3)} \rho_3} \zeta_3}{\Omega_* \sqrt{\frac{\rho_3}{a_{55}^{(3)}}} D_u^{+(3)}} \sin \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(3)} \rho_3} \zeta + \\ & + u^+ \frac{\cos \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(3)} \rho_3} \zeta_2}{D_u^{+(3)}} - l \frac{\sigma_{13}^{(2,0)}(\zeta_2) \sin \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(3)} \rho_3} \zeta_3}{\Omega_* \sqrt{\frac{\rho_3}{a_{55}^{(3)}}} D_u^{+(3)}} \cos \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(3)} \rho_3} \zeta \end{aligned} \right] \exp(i\Omega t),$$

$$\left(u, v, w; a_{55}, a_{44}, \frac{1}{A_{11}}; \sigma_{13}, \sigma_{23}, \sigma_{33} \right) \quad (3.6)$$

$$\sigma_{13}^{(3)} = \left[\begin{aligned} & \Omega \sqrt{\frac{\rho_3}{a_{55}^{(3)}}} \left(u^+ \frac{\sin \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(3)} \rho_3} \zeta_2}{D_u^{+(3)}} + l \frac{\sigma_{13}^{(2,0)}(\zeta_2) \cos \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(3)} \rho_3} \zeta_3}{\Omega_* \sqrt{\frac{\rho_3}{a_{55}^{(3)}}} D_u^{+(3)}} \right) \cos \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(3)} \rho_3} \zeta - \\ & - \Omega \sqrt{\frac{\rho_3}{a_{55}^{(3)}}} \left(u^+ \frac{\cos \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(3)} \rho_3} \zeta_2}{D_u^{+(3)}} - l \frac{\sigma_{13}^{(2,0)}(\zeta_2) \sin \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(3)} \rho_3} \zeta_3}{\Omega_* \sqrt{\frac{\rho_3}{a_{55}^{(3)}}} D_u^{+(3)}} \right) \sin \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(3)} \rho_3} \zeta \end{aligned} \right] \exp(i\Omega t),$$

$$\left(u, v, w; a_{55}, a_{44}, \frac{1}{A_{11}}; \sigma_{13}, \sigma_{23}, \sigma_{33} \right)$$

Используя (2.6)-(2.8), (3.4)-(3.6) и удовлетворив граничным условиям (3.2), несложно найти величины для последних двух слоев.

Институт механики НАН РА
e.mail: varuzh1993@gmail.com

В. В. Тагворян

**Об одной трехмерной динамической задаче теории упругости
по прогнозу землетрясений**

Решена динамическая неклассическая трехмерная задача теории упругости для пластинчатого пакета асимптотическим методом решения сингулярно возмущенных дифференциальных уравнений. Предполагается, что измерительные приборы (наклонометры, деформографы и др.), при помощи которых измеряются данные по перемещениям точек, помещены на поверхности контакта между слоями под номерами $(n-1)$ и n . Указаны случаи, когда решение внутренней задачи становится математически точным. Приведен иллюстрационный пример для пяти-слойного пакета из ортотропных пластин.

Վ. Վ Թագվորյան

**Երկրաշարժերի կանխատեսման համար առաձգականության
տեսության մեկ եռաչափ դինամիկ խնդրի մասին**

Շերտավոր փաթեթի համար սինգուլյար գրգռված դիֆերենցիալ հավասարումների լուծման ասիմպտոտիկ մեթոդով լուծված է առաձգականության տեսության եռաչափ, դինամիկ, ոչ դասական խնդիր: Ենթադրվում է, որ չափիչ սարքերը (թեքաչափեր, դեֆորմոգրաֆներ և այլն, որոնց միջոցով չափվում են տվյալներ կետերի տեղափոխությունների վերաբերյալ, տեղակայված են $(n-1)$ -րդ և n -րդ շերտերի կոնտակտի մակերևույթի վրա: Ցույց են տրված այն դեպքերը, երբ ներքին խնդրի լուծումը դառնում է մաթեմատիկորեն ճշգրիտ: Բերված է ցուցադրական օրինակ օրթոտրոպ սալերից բաղկացած հնգաշերտ փաթեթի համար:

V. V. Tagvoryan

**On One Three-Dimensional Dynamic Problem of the Theory
of Elasticity on the Forecast of Earthquakes**

By the asymptotic method for solving singularly perturbed differential equations solved a dynamic non-classical three-dimensional problem of the theory of elasticity for a layered packet. It is assumed that measuring instruments (tiltmeters, deformographs, etc.) with the help of which data are obtained on the movement of points are placed on the contact surface between the layers with numbers $(n-1)$ and n . cases when the solution of the internal problem becomes mathematically exact are indicated. An illustrative example for a five-layer package of orthotropic plates is given.

Литература

1. *Rikitake T.* Earthquake Prediction. Amsterdam. Elsevier. 1976. 357 p.
2. *Касахара К.* Механика землетрясений. М. Мир. 1985. 264 с.
3. *Пишон К. Л., Франито Ж., Боннин Ж.* Тектоника плит. М. Мир. 1977. 288 с.

4. *Aghalovyan L. A.* – Proceedings of A.Razmadze Mathematical Institute of Georgia. 2011. V. 155. P. 3-10.
5. *Aghalovyan L. A., Aghalovyan M. L.* In: Proceedings of the 5th European Conference on Structural Control – EACS 2012, Genoa, Italy. 18-20 June 2012. Paper N # 069. P. 1-8.
6. *Агаловян Л. А., Тагворян В. В.* В кн.: Проблемы механики деформируемого твердого тела. Ереван. Гитутюн. 2017. С. 24-35.
7. *Агаловян Л. А., Агаловян М. Л.* В кн.: Тр. Междунар. конф., посв. 100-летию академика НАН РА Н.Х. Арутюняна. 08-12 октября 2012, Цахкадзор, Армения. Ереван. 2012. Т. 1. С. 42-46.
8. *Тагворян В. В.* Проблемы динамики взаимодействия деформируемых сред. Тр. IX междунар. конф. 01-06 октября 2018, Горис, Армения. Ереван. НУАСА. 2018. С. 296-300.
9. *Aghalovyan L. A.* Asymptotic Theory of Anisotropic Plates and Shells. Singapore – London. World Scientific. 2015. 376 p. (*Агаловян Л. А.* Асимптотическая теория анизотропных пластин и оболочек. М. Наука, Физматлит. 1997. 414 с.).