

УДК 539.3:534.222

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СЕЙСМІЧНОГО ПРОЦЕСУ, ЩО ВРАХОВУЄ ПОВІЛЬНІ ВІДОКРЕМЛЕНІ ХВИЛІ ДЕФОРМАЦІЇ

Ю. В. Турбал

Національний університет водного господарства та природокористування
вул. Соборна, 11, м. Рівне, Україна. E-mail: turbaly@gmail.com

Запропонована математична модель процесу виникнення послідовностей землетрусів, що враховує вплив повільних відокремлених хвиль (збурень) солітонного типу як “спускових механізмів” окремих поштовхів. Відповідна методологія ґрунтується на знаходженні солітонних розв’язків рівнянь руху для анізотропного пружного тіла. Методи побудови прогнозу ґрунтуються на оцінці траєкторій окремих солітонів. Для оцінки траєкторій хвиль запропоновано процедуру, що базується на певних узагальненнях інтерполяційних многочленів Лагранжа від трьох просторово-часових змінних і використанні функцій типу сум логарифмічних спіралей. При цьому показано, що задача оцінки параметрів прогнозних кривих зводиться до розв’язання проблеми моментів Маркова у випадку, коли відповідна система функцій Чебишева є сукупністю функцій експоненційного виду.

Ключові слова: землетрус, динамічна система, магнітуда, солітон.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА, УЧИТЫВАЮЩАЯ МЕДЛЕННЫЕ УЕДИНЕННЫЕ ВОЛНЫ ДЕФОРМАЦИИ

Ю. В. Турбал

Национальный университет водного хозяйства и природопользования
ул. Соборная, 11, г. Ровно, Украина. E-mail: turbaly@gmail.com

Предложена математическая модель процесса возникновения последовательностей землетрясений, которая учитывает роль медленных уединенных волн (“возмущений”) солітонного типа как “спусковых механизмов” отдельных толчков. Рассмотрены методы нахождения солітонных решений уравнений движения для анізотропного упругого тела, методы построения прогноза, базирующиеся на оценке траєкторий отдельных солітонов. При этом для оценки траєкторий отдельных волн предложена процедура, базирующаяся на использовании некоторых обобщений интерполяционных многочленов Лагранжа для двумерного случая, а также использовании для прогнозирования функций типа сум логарифмических спиралей. При этом показано, что задача оценки параметров прогнозных кривых сводится к проблеме моментов Маркова для случая экспоненциальной системы функций Чебишева.

Ключевые слова: землетрясение, динамическая система, магнитуда, солітон.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. На сьогоднішній день відомі сотні передвісників землетрусів та низка теорій, що пояснюють їх виникнення. Однак, проблема прогнозування в багатьох її аспектах залишається відкритою. Специфікою сейсмічних процесів у певному регіоні є наявність деякої кількості поштовхів, серед яких, як правило, є поштовх найбільшої енергії (магнітуди). Часто перед основним поштовхом відбувається декілька поштовхів значно меншої магнітуди (їх називають форшоками). Після основного поштовху, як правило, відбувається серія поштовхів меншої магнітуди (афтершоки). Зауважимо, що трапляються випадки, коли форшоки чи афтершоки є відсутніми, чи їх неможливо ідентифікувати.

Таким чином, сейсмічний процес у деякому регіоні, як правило, є серією поштовхів певної магнітуди, які мають гіпоцентр, зосереджений на деякій глибині. Відзначимо, що для багатьох регіонів ця глибина сягає поверхні Мохоровичича.

Дослідженню відокремлених хвиль деформації в твердому тілі останнім часом присвячена значна кількість робіт, зокрема [1, 2]. Це зумовлено тим, що відокремлені хвилі – солітони – мають низку специфічних властивостей, які пов’язані зі здатністю зберігати форму та локалізовану природу при проходженні на значні відстані, специфічною взаємодією

між собою та з перешкодами. Аномально високі сейсмічні хвилі деформації виявлені і експериментально [3].

Мета роботи – створення математичної моделі сейсмічного процесу з урахуванням повільних відокремлених хвиль деформації.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.

1. Методика знаходження солітонних розв’язків рівнянь руху анізотропного пружного середовища.

Серії поштовхів, які виникають під час сейсмічного процесу, виглядають хаотичними. Пояснити та спрогнозувати їх дуже складно. Про неможливість прогнозу серед сейсмологів ведуться дискусії впродовж останніх десяти років.

Основна проблема, яка виникає при аналізі сейсмічних процесів полягає в складності пояснення, що є причиною окремих поштовхів. Чому після проходження поздовжніх та поперечних хвиль (які самі могли б бути генераторами), виникають поштовхи з певним часом затримки, який може сягати кількох годин?

На нашу думку, причиною окремих поштовхів можуть служити саме солітони. Дійсно, солітон може рухатись в твердому тілі з довільною швидкістю, яка залежить від щільності середовища та початкових параметрів його генерації. Незважаючи

на малість збурення, при проходженні через зони накопичення сейсмічної енергії солітон може стати спусковим механізмом поштовхів.

Ідея солітонних механізмів у сейсмічних процесах була описана в ряді робіт, зокрема [1, 2].

Зауважимо, що знаходження солітонних розв'язків навіть відносно нескладних рівнянь є складним завданням. У роботі [3] було знайдено клас точних часткових розв'язків системи рівнянь руху для анізотропного пружного середовища, яка має вигляд:

$$\begin{aligned} \rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} &= ((c_{11}, c_{66}, c_{55}, 2c_{16}, 2c_{15}, 2c_{56}), \Theta u) + ((c_{16}, c_{26}, c_{45}, \\ &c_{12} + c_{66}, c_{14} + c_{56}, c_{46} + c_{25}), \Theta v) + \\ &+ ((c_{15}, c_{46}, c_{35}, c_{14} + c_{56}, c_{13} + c_{55}, c_{36} + c_{45}), \Theta w), \\ \rho \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} &= ((c_{16}, c_{26}, c_{45}, c_{66} + c_{12}, c_{56} + c_{14}, c_{25} + c_{46}), \Theta u) + \\ &+ ((c_{66}, c_{22}, c_{44}, 2c_{26}, 2c_{46}, 2c_{24}), \Theta v) + \\ &+ ((c_{56}, c_{24}, c_{34}, c_{46} + c_{25}, c_{36} + c_{45}, c_{23} + c_{44}), \Theta w), \quad (1) \\ \rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} &= ((c_{15}, c_{46}, c_{35}, c_{14} + c_{56}, c_{13} + c_{55}, c_{45} + c_{36}), \Theta u) + \\ &+ ((c_{56}, c_{24}, c_{34}, c_{46} + c_{25}, c_{45} + c_{36}, c_{23} + c_{44}), \Theta v) + \\ &+ ((c_{55}, c_{44}, c_{33}, 2c_{45}, 2c_{35}, 2c_{34}), \Theta w), \end{aligned}$$

де u, v, w – зміщення вздовж відповідних осей в декартовій системі координат,

$$\Theta = \left(\frac{\partial^2}{\partial x_1^2}, \frac{\partial^2}{\partial x_2^2}, \frac{\partial^2}{\partial x_3^2}, \frac{\partial^2}{\partial x_2 \partial x_1}, \frac{\partial^2}{\partial x_3 \partial x_1}, \frac{\partial^2}{\partial x_2 \partial x_3} \right),$$

$C = \|c_{ij}\|_{i,j=1,6}$ – матриця пружних сталей, $\rho(x_1, x_2, x_3)$ – густина.

Розв'язок системи (1) будемо знаходити у вигляді:

$$\begin{aligned} (u^{(1)}, u^{(2)}, \dots, u^{(m)})^T &= (\psi_1(t), \psi_2(t), \dots, \psi_m(t))^T \times \\ &\times W(x_1, x_2, \dots, x_n, t) \\ &\text{де} \\ W(x_1, x_2, \dots, x_n, t) &= \\ &\exp(-\mu((x_1, x_2, \dots, x_n), (\tilde{x}_1(t), \tilde{x}_2(t), \dots, \tilde{x}_n(t)))) / \varepsilon) \end{aligned} \quad (2)$$

$\mu(a, b)$ – довільна міра, визначена на множині інтервалів $\{[a, b], a, b \in \mathbb{R}^n\}$, $(\mu(\alpha, \beta) = 0 \text{ при } \alpha = \beta)$, $\psi_1(t), \psi_2(t), \dots, \psi_m(t)$ – функції, які визначають компоненти амплітуди відповідного збурення, ε – параметр, що визначає локалізацію збурення, $\tilde{x}_1(t), \tilde{x}_2(t), \dots, \tilde{x}_n(t)$ – функції, що визначають траєкторію максимального збурення.

Зауважимо, що в силу довільності міри μ , у вигляді (2) можемо записати будь-який розв'язок, що має характер унімодальної відокремленої хвилі незмінної в часі форми. При цьому функція міри μ

визначає форму збурення в кожному конкретному випадку.

Часткові розв'язки системи (1) в роботах [1, 2] знайдено у вигляді:

$$\begin{pmatrix} u(x_1, x_2, x_3, t) \\ v(x_1, x_2, x_3, t) \\ w(x_1, x_2, x_3, t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \psi_u(t) \\ \psi_v(t) \\ \psi_w(t) \end{pmatrix} W(x_1, x_2, x_3, t), \quad (3)$$

де

$$W(x_1, x_2, x_3, t) = e^{-\frac{g(x_1 - \tilde{x}_1(t))}{\varepsilon_1} - \frac{g(x_2 - \tilde{x}_2(t))}{\varepsilon_2} - \frac{g(x_3 - \tilde{x}_3(t))}{\varepsilon_3}},$$

$g(x)$ – довільна додатня неперервно-диференційовна функція, яка має мінімум точці 0 і $g(0) = 0$, $\psi_u(t), \psi_v(t), \psi_w(t)$ – функції, які визначають компоненти амплітуди відповідного збурення, $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ – параметри, що визначають локалізацію збурення.

У роботі [2] були знайдені необхідні та достатні умови, яким повинні задовольняти пружні сталі, щоб розв'язок у формі (1) існував.

2. Загальна модель сейсмічного процесу.

Для побудови математичної моделі сейсмічного процесу формалізуємо поняття землетрусу. Під землетрусом (поштовхом) розумітимемо вектор (x, t, μ) , де x – гіпоцентр, $(x \in \Omega)$, t – час поштовху $(t \in \mathbb{R}^+)$, μ – енергія $(\mu \in M)$.

Як модель будемо розглядати динамічну систему виду:

$$\Sigma = \{T, \Omega, G_0, E, X, S, I\}, \quad (4)$$

де $T = [t_0, t_1] \subset \mathbb{R}$ – часовий інтервал; $\Omega \subset \mathbb{R}^3$ – фазовий простір; $G_0 \subset \Omega \times T \times M$ – початкова множина землетрусів; E – функція розподілу накопичення сейсмічної енергії; $\Omega(E)$ – відповідний простір функцій; $X: T \times G \rightarrow G$ – оператор, що визначає траєкторії солітонів; $S_t \subset \Omega$ – множина координат солітонів в момент часу t , $S = \{S_t, t \in [t_0, t_1]\}$; $I: \Omega \times \Omega(E) \times S \times T \times M(T) \rightarrow [0, 1]$ – функціонал, який описує ймовірність виникнення землетрусу певної магнітуди в заданий момент часу в заданій точці.

Очевидно, що для побудови моделі необхідно визначити її компоненти. Початкова множина поштовхів повинна бути заданою. Це є основні вихідні дані для побудови прогнозу. Функція накопичення сейсмічної енергії може бути побудована за рахунок збору експериментальних даних, аналізу передвісників. Зауважимо, що описана далі методика прогнозування може і не враховувати останню функцію. Залишається побудувати оцінки траєкторій солітонів і визначити функціонал I .

Таким чином, модель, з однієї сторони, враховує процеси накопичення сейсмічної енергії, з іншої – роль відокремлених хвиль як спускових механізмів окремих поштовхів. Фундаментальну роль у моделі відіграє інформація про рух окремих солітонів.

3. *Метод прогнозування траєкторій на основі аналізу швидкостей.* Отже, в основі запропонованої моделі лежить гіпотеза про те, що окремий поштовх спричиняє появу однієї чи кількох відокремлених хвиль, які рухаються в різних напрямках від гіпоцентру землетрусу. Кожна така хвиля, проходячи через зону накопичення сейсмічної енергії, спричиняє новий землетрус, який, в свою чергу, може породити нові солітони. Отримуємо ланцюговий процес процес породження солітонів та афтершокових землетрусів

Метод прогнозування, що пропонується, полягає у виділенні із загальної сукупності землетрусів під-послідовностей, викликаних одним і тим самим солітоном та побудові гіпотетичної траєкторії для кожного такого солітона. Знаючи відстань між окремими поштовхами вздовж траєкторії солітона, можна оцінити його швидкість. Знаючи окремі точки його траєкторії, можна зробити оцінку самої траєкторії. Маючи оцінки швидкості та траєкторії кожного солітона, можна оцінити його положення в будь-який момент часу. Тоді загальний прогноз для будь-якого моменту часу буде являти собою сукупність оцінок положень солітонів. Таким чином, можемо будувати оцінки множини S_t .

Зауважимо, що солітон не у кожній точці своєї траєкторії спричиняє землетрус. Будь-яка допоміжна інформація про характер будови земної кори в точці можливого землетрусу, накопичення сейсмічної енергії чи наявність будь-якого з передвісників землетрусу дозволить з високим рівнем надійності визначити час і місце землетрусу при наявності інформації про траєкторію солітона-генератора.

Відзначимо, що аналогічно можна аналізувати і форшоки. При їх наявності можна робити прогнози стосовно можливих наступних поштовхів.

3. *Деякі підходи до проблематики побудови прогнозної траєкторії солітона.*

Нехай маємо інформацію про траєкторію солітона, який проявляє себе через послідовність поштовхів.

Як вихідні дані будемо розглядати послідовність виду: $(x_1, t_1, \mu_1), (x_2, t_2, \mu_2), \dots, (x_k, t_k, \mu_k)$, где x_1, x_2, \dots, x_k – гіпоцентри землетрясений, $t_1 \leq t_2 \leq \dots \leq t_k$ – моменти толчков, $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_k$ – магнитуды.

Будемо вважати, що $x_k = (x_k^1, x_k^2)$. Тоді можемо розглянути функцію виду:

$$f(x) = \sum_{l=2}^k \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq l-1}}^k \frac{\rho(x, x_j)}{\rho(x_{l-1}, x_j)} x_l, \quad (3)$$

де $\rho(x, y)$ – відстань між точками у просторі відповідної розмірності.

Очевидно, що остання функція задає відображення $x_k \rightarrow x_{k+1}$.

Аналогічно можемо розглянути простір-час:

$$f(x, t) = \sum_{l=2}^k \prod_{\substack{j=1 \\ j \neq l-1}}^k \frac{\rho(x, t, x_{i_j}, t_{i_j})}{\rho(x_{i_{l-1}}, t_{i_{l-1}}, x_{i_j}, t_{i_j})} (x_{i_l}, t_{i_l}) \quad (4)$$

де $\rho(x, t_1, y, t_2)$ – відстань між точками у просторі-часі відповідної розмірності. Очевидно, що вона задає відображення $(x_{i_k}, t_{i_k}) \rightarrow (x_{i_{k+1}}, t_{i_{k+1}})$.

Будемо апроксимувати траєкторію солітона як суму логарифмічних спіралей. Нехай траєкторія солітона в полярній системі координат описується функцією виду:

$$r(t) = \alpha_1 e^{-\mu_1 \varphi(t)} + \alpha_2 e^{-\mu_2 \varphi(t)} + \dots + \alpha_m e^{-\mu_m \varphi(t)} \quad (5)$$

Нехай $x_i = r_i e^{\varphi_i}$. Тоді можемо записати систему співвідношень:

$$\begin{aligned} \alpha_1 e^{-\mu_1 \varphi_1} + \alpha_2 e^{-\mu_2 \varphi_1} + \dots + \alpha_m e^{-\mu_m \varphi_1} &= r_1 \\ \alpha_1 e^{-\mu_1 \varphi_2} + \alpha_2 e^{-\mu_2 \varphi_2} + \dots + \alpha_m e^{-\mu_m \varphi_2} &= r_2 \\ \dots & \\ \alpha_1 e^{-\mu_1 \varphi_k} + \alpha_2 e^{-\mu_2 \varphi_k} + \dots + \alpha_m e^{-\mu_m \varphi_k} &= r_k \end{aligned} \quad (6)$$

Позначимо $e^{-\mu_i} = \beta_i, i = \overline{1, k}$.

Тоді система матиме вигляд:

$$\begin{aligned} \alpha_1 \beta_1^{\varphi_1} + \alpha_2 \beta_2^{\varphi_1} + \dots + \alpha_m \beta_m^{\varphi_1} &= r_1 \\ \alpha_1 \beta_1^{\varphi_2} + \alpha_2 \beta_2^{\varphi_2} + \dots + \alpha_m \beta_m^{\varphi_2} &= r_2 \\ \dots & \\ \alpha_1 \beta_1^{\varphi_k} + \alpha_2 \beta_2^{\varphi_k} + \dots + \alpha_m \beta_m^{\varphi_k} &= r_k \end{aligned} \quad (7)$$

У загальному випадку систему будемо розв'язувати наближеними методами.

Розглянемо систему функцій $\{t^{\varphi_i}, i = \overline{1, k}\}$. Нехай параметри φ_i такі, що остання система є системою Чебишева. Як відомо, система функцій $\{u_i(t), i = \overline{1, k}\}$ утворює систему Чебишева на $[a, b]$,

якщо кожний многочлен $P(t) = \sum_0^n \alpha_k u_k(t) (\sum_0^n \alpha_k^2 > 0)$ має на $[a, b]$ не більше n коренів.

В такому випадку, система (6) фактично визначає проблему моментів Маркова для функцій $\{t^{\varphi_i}, i = \overline{1, k}\}$. Очевидно, що такі функції визначені на інтервалі $[0, 1]$ у випадку, коли $\mu_i > 0, i = \overline{1, m}$. Дійсно, систему (6) можемо записати у вигляді:

$$\int_0^1 t^{\varphi_i} d\sigma(t) = r_i, i = \overline{1, k}, \quad (8)$$

$$\sigma(t) = \begin{cases} \alpha_i, \text{ при } t = \beta_i \\ 0, \text{ в інших випадках.} \end{cases}$$

Отже, задача ідентифікації параметрів $\alpha_i, \mu_i, i = \overline{1, m}$ звалась до проблеми моментів Маркова. Проблема моментів Маркова є розв'язаною для багатьох випадків. Зокрема, у випадку $\varphi_i = i - 1, i = \overline{1, k}$ отримуємо ступеневу проблему моментів. Як відомо [4], ступенева проблема моментів Маркова має розв'язок. Основний результат можна переформулювати так: якщо послідовність чисел $r_1, r_2, \dots, r_{2m-1}$ строго позитивна, то існує одне і тільки одне її нижнє головне зображення, причому точки зосередження мас співпадають з коренями многочлена:

$$\det | r_i r_{i+1} \dots r_{i+m-1} t^i |_{i=0}^m.$$

Точки зосередження мас в нашому випадку - це $\beta_i, i = \overline{1, m}$. Тоді $\alpha_i, i = \overline{1, m}$ легко знайти, розв'язавши СЛАР. Зауважимо, що система функцій $\{t^{\varphi_i}, i = \overline{1, k}\}$ утворює T_+ систему (систему Чебишева) при виконанні умови $\varphi_1 < \varphi_2 < \dots < \varphi_k$. Як відомо, в цьому випадку проблема моментів є визначеною тоді і тільки тоді, коли послідовність $r_1, r_2, \dots, r_{2m-1}$ є сингулярно позитивною [4].

Відомо, що оскільки перевірка строгої позитивності послідовності є досить складним завданням. Тому в даному випадку можемо скористатись результатами, отриманими в роботі [5], де доведено строго позитивність відповідної послідовності у випадку сумісності системи (7). Критерій перевірки сумісності системи (7) та алгоритм перевірки також наведені в роботі [5].

5. Результати моделювання. Розглянемо результати моделювання (рис. 1), які були отримані при аналізі кількох землетрусів, що відбулись в районі Японських островів за 3 доби перед землетрусом магнітудою 8,9 (який відбувся 11 березня 2011 року). На рис. 1 цифрами від 0 до 12 позначені епіцентри форшоків, епіцентр головного поштовху позначено кругом максимального радіусу (він знаходиться поблизу епіцентру форшоку з номером 1). Кривими та прямими лініями позначено прогнозні траєкторії δ -солітонів, розраховані за допомогою розробленого програмного забезпечення до моменту основного поштовху. При оцінці траєкторій солітонів враховані гіпотетичні швидкості δ -солітонів та можливість їх відбивання від областей з підвищеною густиною порід. Як бачимо, форшоки розташувались таким чином, що велика кількість можливих траєкторій солітонів проходить через область, де відбувся максимальної магнітуди поштовх. Явно прослідковується своєрідний ефект самофокусування солітонів у точці, де відбувся основний поштовх.

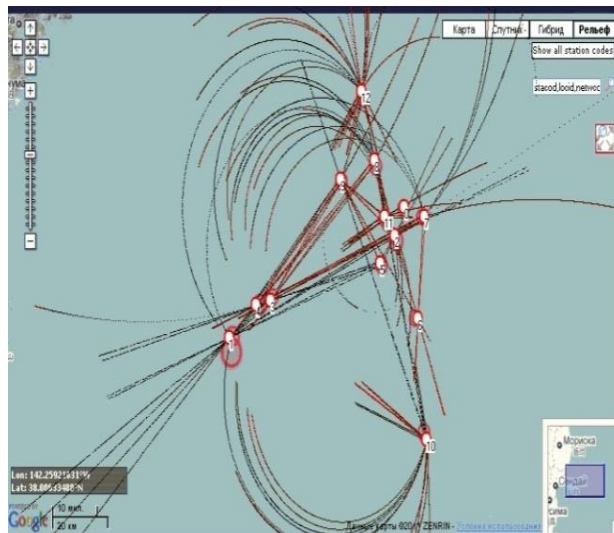


Рисунок 1 – Результати моделювання виникнення послідовностей землетрусів

Відзначимо, що за характером траєкторій хвиль-генератори можна поділити на дві групи: що мають гладкі криволінійні траєкторії та ламані, утворені за рахунок відбивань (на ділянках, що безпосередньо граничать з гіпоцентром основного поштовху). Аналіз швидкостей показує, що до моменту основного поштовху саме хвилі другого типу досягли точки гіпоцентру, хвилі ж першого типу не встигли до цього моменту часу (відзначимо,

що оцінки були взяті досить грубі і окремі з хвиль першого типу насправді також могли дійти до точки, де відбувся основний поштовх). Однак, хвилі, що досягли точки фокусування пізніше, могли бути генераторами численних афтершоків, які відбулись після основного поштовху під час японського землетрусу 11 березня.

ВИСНОВКИ. Таким чином, у роботі запропонована математична модель процесу виникнення послідовностей землетрусів, що враховує вплив повільних відокремлених хвиль солітонного типу як “спускових механізмів” окремих поштовхів.

У результаті моделювання показано, що саме відокремлені хвилі солітонного типу можуть бути генераторами поштовхів у випадку їх самофокусування. Запропонована теорія дозволяє будувати прогнози у випадках, коли геофізика сейсмічного процесу аналогічна тому, який відбувався в районі Японських островів у 2011 році.

Також чисельні експерименти підтверджують переваги використання сум логарифмічних спіралей для побудови прогнозних траєкторій.

Для випадку логарифмічних спіралей показано, що задача оцінка параметрів прогнозних кривих зводиться до проблеми моментів Маркова для експоненційного випадку системи функцій Чебишева.

ЛІТЕРАТУРА

1. Турбал Ю.В. О необходимых и достаточных условиях существования решений уравнений движения для анизотропных упругих тел в виде уединенных волн типа δ -солитонов // Проблемы прикладной математики и математического моделирования. – 2012. – Вып. 1. – С. 78–86.

2. Турбал Ю.В. Дослідження анізотропії пружних властивостей матеріалів з точки зору існування відокремлених хвиль типу δ -солітонів // Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій. – 2012. – Вип. 18. – С. 76–90.

3. Ерофеев В.И. Волновые процессы в твердых телах с микроструктурой. – М.: Издательство Московского университета, 1999. – 328 с.

4. Крейн М.Г., Нудельман А.А. Проблема моментов Маркова и экстремальные задачи. – М.: Наука, 1963. – 553 с.

5. Турбал Ю.В. Про необхідні та достатні умови сумісності деяких систем нелінійних рівнянь // Волинський математичний вісник. – 1999. – № 6. – С. 135–138.

SEISMIC MATHEMATICAL MODEL TAKING INTO ACCOUNT SLOW DEFORMATION SOLITARY WAVES

Yu. Turbal

National University of Water Management and Rational Resource Use

vul. Soborna, 11, 36022, Rivne, Ukraine. E-mail: turbaly@gmail.com

The author has suggested a mathematical model of a seismic process that takes into account the influence of such slow solitary soliton waves as shocks "trigger". The author has considered a new methodology of the motion equations solutions in the form of solitary wave for the case of anisotropic elastic body. The methods of forecast development are based on the prediction of individual solitons' trajectories. Thus, to predict the waves trajectories it was proposed some approaches based on certain generalizations of the Lagrange interpolation polynomials for two-dimensional case and on use of such special functions as sums of logarithmic spirals in the prediction purpose. It was shown that in the case of logarithmic spirals the problem of the predicted curves parameters estimation would be reduced to the Markov moment problem for the case of exponential Chebyshev functions.

Key words: earthquake, dynamic system, magnitude, soliton.

REFERENCES

1. Turbal, Y.V. (2012), "The necessary and sufficient conditions for the existence of motion equations solution for the anisotropic elastic bodies in the form of structurally stable solitary waves", *Problems of applied mathematic and mathematic modelling*, pp. 78–86.

2. Turbal, Y.V. (2012), "Elastic anisotropy from the standpoint of the solitary waves existence like δ -solitone", *Problemy obchyslyval'noyi mekhaniky i mitsnosti konstruktsiy*, iss. 18, pp. 78–86.

3. Erofeev, V.I. (1999), *Volnovye protsessy v tverdykh telakh s mikrostrukturoid* [Wave processes in solids with microstructure], Moscow University Publishing House, Moscow, Russia.

4. Krein, M.G., Nudelman, A.A. (1963), *Problema momentov Markova i ekstremalnye zadachi* [Markov moment and extremal problems], Nauka, Moscow, Russia.

5. Turbal, Y.V. (1999), "On necessary and sufficient conditions for the compatibility of certain systems of nonlinear equations", *Volyn mathematical bulletin*, no. 6, pp. 135–138.

Стаття надійшла 15.08.2013.