НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

Інститут геофізики ім. С. І. Субботіна

На правах рукопису

УДК 550. 344

МАЛИЦЬКИЙ
Дмитро Васильович

МЕТОДИ І АЛГОРИТМИ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ОБЕРНЕНОЇ ДИНАМІЧНОЇ ЗАДАЧІ СЕЙСМІКИ ТОНКОШАРУВАТИХ СЕРЕДОВИЩ

04. 00. 22 — геофізика

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата фізико-математичних наук

КИЇВ — 1994

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Карпатському відділенні Інституту геофізики ім. С.І.Субботіна НАН України

Науковий керівник - кандидат геолого-мінералогічних наук,
старший науковий співробітник
Вербицький Тарас Зиновійович

Офіційні опоненти - доктор геолого-мінералогічних наук,
чл.-кор. Академії наук України
Харитонов Олег Матвійович;
- доктор фізико-математичних наук,
професор Молотков Лев Анатолійович.

Провідна організація - ДГП "Укргеофізика".

Захист відбудеться "29" вересня 1994 р. о 14 30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 016.02.01 при Інституті геофізики ім.С.І.Субботіна НАН України /м.Київ, просп. Палладіна, 32/.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Інституту геофізики ім. С.І.Субботіна НАН України.

Автореферат розісланий "5" серпня 1994 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради В.С.ГЕЙКО

МЕТОДИ І АЛГОРИТМИ РОЗВ"ЯЗУВАННЯ ОБЕРНЕНОЇ ДИНАМІЧНОЇ ЗАДАЧІ СЕЙСМІКИ ТОНКОШАРУВАТИХ СЕРЕДОВИЩ

Актуальність. Характерною особливістю геологічної будови розрізу осадових відкладень - його тонкошаруватість. За даними акустичного каратажу основних нафтогазоносних провінцій України, переважаючі товщини однорідних по швидкостях пластів, в тому числі пластів-колекторів, складають 2-20 метрів. У зв"язку з цим питання визначення параметрів тонкошаруватих середовищ за даними сейсморозвідки представляє великий інтерес.

Питання теорії обернених динамічних задач сейсміки в останні роки постійно розглядаються, як вітчизняними так і зарубіжними вченими /Акі К., Річардс П., Молотков Л.А., Трапезнікова Н.А., Льовшин А.Л., Гринь М.Є., Лоссовський Є.К., Тимошин Ю.В./. Пропонуються різні методи, які знаходять своє застосування в геофізиці. Як один із перспективних пропонується рекурентний метод. Даний підхід забезпечує визначення параметрів середовища за результатами сейсмічних спостережень методом відбитих хвиль.

Теоретичні основи застосування рекурентних методів для розв"язування як прямих, так і обернених динамічних задач сейсміки були закладені в роботах Е.Робінсона, Ж.Сеа та інших. Але на практиці при застосуванні даного підходу виникали серйозні труднощі, пов"язані з стійкістю і єдиністю розв"язків.

Мета даної роботи - розробка методики /алгоритмів і програми/ відновлення моделі розрізу тонкошаруватого середовища по відомому хвильовому полю на вільній границі горизонтально-шаруватого півпростору і значеннях фізичних параметрів його верхнього шару.

Для досягнення поставленої мети розв"язано такі задачі:

- з використанням матричного методу Томсона-Хаскелла отримані рекурентні співвідношення для розв"язування прямої задачі сейсміки, коли імпульсне джерело знаходиться на вільній границі;
- на основі розв"язування прямої задачі виведені рекурентні формули для розв"язування оберненої динамічної задачі сейсміки горизонтально-шаруватого /вертикально-неоднорідного/ середовища. Доведена коректність розглянутих задач;
- проведена серія чисельних експериментів по визначенню характеристик пружного тонкошаруватого середовища з використанням сейсмічних сигналів в частотному діапазоні від 0 до 250 Гц. В результаті зроблено вибір оптимального частотного діапазону для розв"язування обернених задач.

<u>Наукова новизна</u>. За допомогою рекурентних співвідношень одержано розв"язок оберненої динамічної задачі сейсміки для тонкошаруватих середовищ.

На захист виносяться:

I. Методика розв"язування двовимірної прямої динамічної задачі сейсміки з використанням матричного методу Томсона-Хаскелла для випадку, коли імпульсне джерело знаходиться на вільній границі півпростору.
2. Методика визначення інтервальних значень швидкостей поширення поздовжньої і поперечної сейсмічних хвиль, товщин шарів та модуля зсуву, коли значення цих параметрів для вищележачого шару відомі.
3. Програми реалізації розроблених методик на ЕОМ.

<u>Практична цінність роботи</u>. Розроблена нова методика визначення характеристик пружності тонкошаруватого геологічного розрізу. Запропонований підхід дозволяє уточнити значення характеристик

пружності шарів товщиною від декількох метрів до I-2 км. При цьому слід зауважити, що розроблена методика забезпечує визначення границь і товщини шарів, а також розподіл швидкостей в градієнтних шарах. При розв"язуванні оберненої динамічної задачі сейсміки на основі рекурентного підходу її коректність забезпечується шляхом обмеження розв"язків діапазоном фізично можливих значень.

Апробація роботи. Основні результати роботи доповідались на конференції молодих вчених інституту прикладних проблем механіки і математики АН України /1988 р./, на Міжнародній конференції "Условно-корректные задачи математической физики и анализа" /Новосибірськ, 1992 р./, а також на семінарах Обчислювального центру СВ РАН, КВ ІГФ, ІГФ АН України.

Публікації. По темі дисертації опубліковано 4 роботи.

Структура і об"єм роботи. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків і списку літератури з 63 найменувань. Загальний об"єм 80 сторінок, в тому числі 10 рисунків, таблиць 9.

Зміст роботи.

У вступі обгрунтована актуальність роботи і сформульовані основні задачі дослідження.

В першому розділі проведено літературний огляд робіт по методах розв"язування обернених динамічних задач сейсміки. Коротко розглядаються матричний метод, метод регуляризації, а також методи, які базуються на мінімізації функціоналів.

Оскільки, для обернених задач сейсміки /як динамічних, так і кінематичних/ характерна некоректність їх постановки, А.Н.Тихонов, В.Я.Арсенін, В.Б.Гласко і інші пропонують метод регуляризації. Розв"язок одержується за допомогою регуляризуючого оператора, який при відповідному виборі параметра регуляризації забезпечує побудову розв"язку оберненої задачі. Відомі також методи розв"язування обернених задач, які базуються на мінімізації функціоналів. Зокрема, пропонується оптимізаційний підхід, який автоматично забезпечує регуляризацію розв"язків /Вербицький Т.З., Починайко Р.С./. Процес пошуку мінімуму функціоналу пов"язаний з необхідністю багаторазового розв"язування прямої задачі.

В літературі відомий також рекурентний метод розв"язування оберненої динамічної задачі сейсміки, який розглядався рядом авторів /Робінсон Е., Сеа Ж., Трапезникова Н.А./ і успішно використовується в геофізиці. Правда, на практиці даний підхід має один важливий недолік - на кожному кроці слід перевіряти умови стійкості і збіжності розв"язку, що не завжди вдається.

Аналізуючи методи розв"язування оберненої динамічної задачі сейсміки, можна говорити про перспективність рекурентного підходу. Зокрема, Акі К. і Річардс П. вивчали будову Землі по сейсмограмах відбитих хвиль для простішого випадку одномірної моделі. Йдеться про плоскі хвилі, що падають на середовище, властивості яких змінюються в напрямі поширення хвиль. Цей приклад має практичне значення, хоча сейсмограма відбитих хвиль не дозволяє визначити пружні постійні, в тому числі і модуль зсуву, як функцію глибини. По цій методиці можна знайти залежність хвильового опору від часу пробігу хвиль. Акі К., Річардс П. вивели строгі аналітичні формули для визначення хвильового опору для випадку нормального падіння плоскої хвилі на горизонтально-шарувате середовище.

Таким чином рекурентні співвідношення для випадку, коли плоска хвиля падає під кутом на середовище представляють великий інтерес. На основі проведеного аналізу методів розв"язування обернених динамічних задач сейсміки автор дає перевагу рекурентному підходу, оскільки він має ряд переваг в порівнянні з розглянутими вище методами:

1/ відпадає проблема багаторазового розв"язування прямої задачі;

2/ одержані строгі аналітичні співвідношення для розв"язування оберненої задачі;

3/ відновлюється середовище по більшому числу параметрів;

4/ скорочуються затрати машинного часу.

<u>В другому розділі</u> розглядається рекурентний метод розв"язування прямої і оберненої динамічних задач сейсміки. В основі розв"язку прямої задачі лежить матричний метод Томсона-Хаскелла і його модифікації /Kennet B.L.N, Молотков Л.А., Льовшин А.Л./.

Вважається, що на вільній границі середовища, яке складається з n паралельних ізотропних і однорідних пружних шарів на півпросторі, збуджується довільно орієнтована плоска хвиля. На границях $z = H_i$ задаються умови жорсткого контакту /неперервність зміщень і напружень/:

$$U_{ri} = U_{ri+1}, \quad U_{zi} = U_{zi+1}, \quad t_{rzi} = t_{rzi+1}, \quad t_{zzi} = t_{zzi+1}.$$

В розглядуваній циліндричній системі координат потенціали поздовжніх і поперечних хвиль в кожному і-ому шарі задовільняють хвильовому рівнянню і описуються інтегралами Фур"є-Бесселя і Мелліна. В результаті для n-шаруватого середовища на однорідному півпросторі одержуємо матричне рівняння:

$$Z_{n+1} = F \cdot W_1(0), \qquad /1/$$

де $Z_i = (X_i^+, X_i^-, Y_i^+, Y_i^-)^T$ - компоненти амплітуд падаючих і відбитих p і S хвиль в і-ому шарі

$F = A_{n+1}^{-1} A_n L_n A_n^{-1} A_{n-1} L_{n-1} \ldots A_i^{-1} A_1 L_1 A_1^{-1}$ характеристична матриця

n - шаруватого середовища.

Оскільки $Y^{+}_{n+1}=X^{+}_{n+1}=0$, тобто сейсмічні хвилі $3(n+1)$ шару не повертаються, то із /I/ одержуємо рівняння:

$$\left.\begin{aligned} U_z^{(0)} &= \frac{A}{B} T_{rz}^{(0)} + \frac{M}{B} T_{zz}^{(0)} \\ U_r^{(0)} &= \frac{N}{B} T_{rz}^{(0)} + \frac{R}{B} T_{zz}^{(0)} \end{aligned}\right\}, \qquad /2/$$

де $T_{rz}^{(0)}$, $T_{zz}^{(0)}$ - параметри джерела; A, B, R, M, N - рекурентні співвідношення, що залежать від параметрів середовища. Таким чином, були одержані характеристики хвильового поля $U_z^{(0)}$ і $U_r^{(0)}$ на вільній границі, тобто розв"язок прямої задачі. При розв"язуванні оберненої динамічної задачі сейсміки систему алгебраїчних рівнянь /2/ розв"язуємо відносно невідомих α_{i+1}, β_{i+1}, які входять у вирази для визначень A,B,R,M,N,

$$\alpha_i = \left(1+\frac{\eta^2}{v_{p_i}^2}\right)^{\frac{1}{2}}, \qquad \beta_i = \left(1+\frac{\eta^2}{v_{s_i}^2}\right)^{\frac{1}{2}},$$

де v_{p_i}, v_{s_i} - швидкості поздовжньої p-і поперечної SV -хвиль, η - змінна Мелліна.

Рівняння /2/, які дають розв"язок прямої задачі, приведено до рекурентного вигляду

$$A=\frac{1}{\alpha_1} S_3 \overset{①}{P}{}^{13}_{12} - \frac{1}{2} C_2 \left(\overset{①}{P}{}^{13}_{13} e^{\bar{\alpha}_1+\bar{\beta}_1} + \overset{①}{P}{}^{13}_{24} e^{-(\bar{\alpha}_1+\bar{\beta}_1)}\right) - \frac{1}{2} S_2 \left(\overset{①}{P}{}^{13}_{14} e^{\bar{\alpha}_1-\bar{\beta}_1} + \overset{①}{P}{}^{13}_{23} e^{-(\bar{\alpha}_1-\bar{\beta}_1)}\right),$$

$$M=\frac{1}{2\beta_1} S_1 \left(\overset{①}{P}{}^{13}_{13} e^{\bar{\alpha}_1+\bar{\beta}_1} - \overset{①}{P}{}^{13}_{24} e^{-(\bar{\alpha}_1+\bar{\beta}_1)} - \overset{①}{P}{}^{13}_{14} e^{\bar{\alpha}_1-\bar{\beta}_1} + \overset{①}{P}{}^{13}_{23} e^{-(\bar{\alpha}_1-\bar{\beta}_1)}\right)$$

$$N=\frac{1}{2\alpha_1}S_1\left(\overset{①}{P}{}^{13}_{13}e^{\bar{\alpha}_1+\bar{\beta}_1}-\overset{①}{P}{}^{13}_{24}e^{-(\bar{\alpha}_1+\bar{\beta}_1)}+\overset{①}{P}{}^{13}_{14}e^{\bar{\alpha}_1-\bar{\beta}_1}-\overset{①}{P}{}^{13}_{23}e^{-(\bar{\alpha}_1-\bar{\beta}_1)}\right),$$

$$R=A,$$

$$B=\frac{2g_1}{\alpha_1}\overset{①}{P}{}^{13}_{12}+C_1\left(\overset{①}{P}{}^{13}_{13}e^{\bar{\alpha}_1+\bar{\beta}_1}+\overset{①}{P}{}^{13}_{24}e^{-(\bar{\alpha}_1+\bar{\beta}_1)}\right)-C_3\left(\overset{①}{P}{}^{13}_{14}e^{\bar{\alpha}_1-\bar{\beta}_1}-\overset{①}{P}{}^{13}_{23}e^{-(\bar{\alpha}_1-\bar{\beta}_1)}\right),$$

$$C_1=\frac{g_1^2}{4\alpha_1\beta_1}-1;\quad C_2=\frac{1}{\mu_1}\left(1-\frac{g_1}{2\alpha_1\beta_1}\right),\quad C_3=1+\frac{g_1^2}{4\alpha_1\beta_1},$$

$$S_1=\frac{1}{\mu_1}\left(1-\frac{g_1}{2}\right),\quad S_2=\frac{1}{\mu_1}\left(1+\frac{g_1}{2\alpha_1\beta_0}\right),\quad S_3=\frac{1}{\mu_1}\left(1+\frac{g_1}{2}\right),$$

$$\overset{①}{P}{}^{mr}_{lk}=\overset{(i-1)}{P}{}^{12}_{lk}\overset{①}{a}{}^{mr}_{12}+\overset{(i-1)}{P}{}^{13}_{lk}\overset{①}{a}{}^{mr}_{13}e^{\bar{\alpha}_i+\bar{\beta}_i}+\overset{(i-1)}{P}{}^{14}_{lk}\overset{①}{a}{}^{mr}_{14}e^{\bar{\alpha}_i-\bar{\beta}_i}+$$

$$+\overset{(i-1)}{P}{}^{23}_{lk}\overset{①}{a}{}^{mr}_{23}e^{-(\bar{\alpha}_i-\bar{\beta}_i)}+\overset{(i-1)}{P}{}^{24}_{lk}\overset{①}{a}{}^{mr}_{24}e^{-(\bar{\alpha}_i+\bar{\beta}_i)}+\overset{(i-1)}{P}{}^{34}_{lk}\overset{①}{a}{}^{mr}_{34},$$

$$g_i=1+\beta_i^2;\quad \overset{①}{P}{}^{mr}_{lk}=\overset{①}{a}{}^{mr}_{lk};\quad \overset{①}{a}{}^{mr}_{lk}=a^{(i)}_{ml}\cdot a^{(i)}_{rk}-a^{(i)}_{mk}\cdot a^{(i)}_{rl};$$

$$(i=1,\dots,n);\quad m,l,k,r=1\div 4;\quad \bar{\alpha}_i=kh_i\alpha_i;\quad \bar{\beta}_i=kh_i\beta_i$$

$$a^{(i)}_{ml}=\begin{pmatrix}1 & 1 & -\beta_i & \beta_i\\ \alpha_i & -\alpha_i & -1 & -1\\ 2\mu_i\alpha_i & -2\mu_i\alpha_i & -\mu_i g & -\mu_i g_i\\ \mu_i g_i & \mu_i g_i & -2\mu_i\beta_i & 2\mu_i\beta_i\end{pmatrix}$$

В дисертаційній роботі показано, що з кожного із р-нь /2/ можна визначити α_{i+1}, через β_{i+1}, α_i, β_i, $U_z^{(0)}$, $U_r^{(0)}$, $T_{rz}^{(0)}$, $T_{zz}^{(0)}$, а саме:

$$\left.\begin{aligned} \alpha_{i+1} &= -\frac{A_{11}^{(i)}\beta_{i+1}^4 + A_{12}^{(i)}\beta_{i+1}^3 + A_{13}^{(i)}\beta_{i+1}^2 + A_{14}^{(i)}\beta_{i+1} + A_{15}^{(i)}}{B_{11}^{(i)}\beta_{i+1}^2 + B_{12}^{(i)}\beta_{i+1} + B_{13}^{(i)}} \\ \alpha_{i+1} &= -\frac{C_{11}^{(i)}\beta_{i+1}^4 + C_{12}^{(i)}\beta_{i+1}^3 + C_{13}^{(i)}\beta_{i+1}^2 + C_{14}^{(i)}\beta_{i+1} + C_{15}^{(i)}}{D_{11}^{(i)}\beta_{i+1}^2 + D_{12}^{(i)}\beta_{i+1} + D_{13}^{(i)}} \end{aligned}\right\} \quad /3/$$

де $A_{11}^{(i)}$, $A_{12}^{(i)}$, ..., $B_{13}^{(i)}$, $C_{11}^{(i)}$, ..., $D_{13}^{(i)}$ – рекурентні співвідношення, що залежать від α_i, β_i, X_i, $U_{zr}^{(0)}$, $U_r^{(0)}$, $T_{rz}^{(0)}$, $T_{zz}^{(0)}$

$$X_i = \frac{\mu_i}{\mu_{i+1}}.$$

В результаті прирівнювання між собою правих частин в /3/, одержано рівняння:

$$P_2'(\beta_{i+1})X_i^2 + P_1'(\beta_{i+1})X_i + P_0'(\beta_{i+1}) = 0 \quad /4/$$

де

$$P_2'(\beta_{i+1}) = P_{22}\beta_{i+1}^2 + P_{21}\beta_{i+1} + P_{20}$$

$$P_1'(\beta_{i+1}) = P_{13}\beta_{i+1}^3 + P_{12}\beta_{i+1}^2 + P_{11}\beta_{i+1} + P_{10}$$

$$P_0'(\beta_{i+1}) = P_{04}\beta_{i+1}^4 + P_{03}\beta_{i+1}^3 + P_{02}\beta_{i+1}^2 + P_{01}\beta_{i+1} + P_{00}$$

$$P_{lk} = \mathrm{const} \ (k = 0 \div 2, \ l = 0 \div 4).$$

Оскільки $X_i > 0$, β_{i+1} – комплексна величина, то розклад рівняння /4/ на дійсну і уявну частини дає можливість визначити X_i і β_{i+1}:

$$\left.\begin{aligned} P_2(\tilde{\beta}_{i+1})X_i^2 + P_1(\tilde{\beta}_{i+1})X_i + P_0(\tilde{\beta}_{i+1}) &= 0 \\ Q_2(\tilde{\beta}_{i+1})X_i^2 + Q_1(\tilde{\beta}_{i+1})X_i + Q_0(\tilde{\beta}_{i+1}) &= 0 \end{aligned}\right\} \quad /5/$$

де $\tilde{\beta}_{i+1}$ – дійсна величина; $\tilde{\beta}_{i+1} = j\beta_{i+1}$; $j = \sqrt{-1}$

Із системи рівнянь /5/ визначено результант

$$R(\tilde{\beta}_{i+1}) = (P_2Q_0 - Q_2P_0) - (P_1Q_0 - P_0Q_1)(P_2Q_1 - P_1Q_2) = 0,$$

або $$a_{12}\tilde{\beta}_{i+1}^{12} + a_{11}\tilde{\beta}_{i+1}^{11} + a_{10}\tilde{\beta}_{i+1}^{10} + a_9\tilde{\beta}_{i+1}^{9} + \dots + a_0 = 0. \qquad /6/$$

Таким чином, з рівняння /6/ одержано $\tilde{\beta}_{i+1}$ за схемою Горнера або методом перебору, а отже і β_{i+1}. Як показують експериментальні дані, виходячи з фізичного змісту задачі, значення $\tilde{\beta}_{i+1}$ змінюються в певних загально відомих межах

$$\tilde{\beta}_{i+1}^{min} < \tilde{\beta}_{i+1} < \tilde{\beta}_{i+1}^{max}. \qquad /7/$$

Визначаючи $\tilde{\beta}_{i+1}$ числовими методами з /6/ та враховуючи /7/, можна знайти з будь-якого із рівнянь /5/ X_i :

$$X_i = -\frac{P_1}{2P_2} + \sqrt{\frac{P_1^2}{4P_2^2} - \frac{P_0}{P_2}}. \qquad /8/$$

Підстановка β_{i+1}, X_i в одне з рівнянь /3/ дає α_{i+1}. Крім того, слід відзначити, що

$$X_i^{min} < X_i < X_i^{max}$$
$$\alpha_{i+1}^{min} < \alpha_{i+1} < \alpha_{i+1}^{max}. \qquad /9/$$

В цьому випадку гарантується компактність розв"язків, а відповідно і коректність постановки оберненої динамічної задачі сейсміки по Тихонову. Слід ще раз підкреслити, що розв"язок оберненої задачі α_{i+1}, β_{i+1}, X_i одержуємо, коли відомі α_i, β_i, μ_i.

Оскільки, товщини шарів невідомі, то для їх визначення рекомендується сейсмограму відбитих хвиль ділити на "фрагменти" з кроком дискретизації сейсмограми по часу $\Delta t = const$. Це дає можливість, використовуючи знайдені швидкості, і закони геометричної оптики, визначати товщини шарів.

Таким чином, по даному розділу можна зробити такі висновки:

I/. Розглядається двовимірна пряма і обернена динамічні задачі сейсміки тонкошаруватого середовища для випадку, коли довільно орієнтована плоска хвиля збуджується на його вільній границі.

2/. Коректність постановки оберненої задачі забезпечується заданням меж можливих значень розв"язку.

3/. Одержані строгі аналітичні формули для визначення швидкості поздовжньої хвилі і модуля зсуву за допомогою формул /8/ і /3/. Швидкість поперечної хвилі визначаємо числовими методами /схема Горнера або методом перебору в заданому діапазоні $[\beta_{i+1}^{min}, \beta_{i+1}^{max}]$, використовуючи /6/.

4/. Розбивка середовища на "фіктивні" елементарні шари дозволяє визначати товщини фізичних шарів і уточнювати розподіл швидкостей.

<u>В третьому розділі</u> дається опис алгоритму і програми визначення спектру сейсмічного сигналу /пряма задача/ для двох компонент $U_z^{(0)}$, $U_r^{(0)}$, коли довільно орієнтована плоска хвиля збуджується на вільній границі n шаруватого середовища. Приведено алгоритм і програму для уточнення швидкісного розрізу моделі, а також модуля зсуву і товщин шарів. Обчислення проводяться в діапазоні частот від 0 до 250 Гц з кроком Δf = 0,243 Гц. Для переходу з частотної області в часову і навпаки використовуються програми швидкого перетворення Фур"е. Слід відзначити, що всі обчислення проводяться при відомих значеннях параметрів попереднього шару. Тестові дослідження показали, що розроблена методика дозволяє уточ-

няти окремі інтервали досліджуваного тонкошаруватого сейсмогеологічного розділу за даними сейсморозвідки відбитих хвиль.

Четвертий розділ містить опис серії числових експериментів, приведених для різних моделей, коли імпульсна плоска хвиля падає на середовище під кутом від 7^0 до 30^0. Розв"язок оберненої задачі шукається в діапазоні частот від 0 до 250 Гц з кроком 0,243 Гц.

При числових розрахунках по визначенню β_{i+1} за допомогою /6/ розв"язок в заданому діапазоні $[\beta_{i+1}^{min}\ \beta_{i+1}^{max}]$ знаходиться не на всіх частотах. Пропонується визначати значення β_{i+1} на таких частотах шляхом інтерполяції. Далі проводиться апроксимація розв"язків рівняння /6/ поліномом I-го порядку по частоті. Апроксимовані значення β_{i+1} усереднюються. Одержане значення β_{i+1} на кожній частоті використовується для визначення χ_i, α_{i+1}, згідно /3/ і /8/. Як і β_{i+1} характеристики середовища χ_i, α_{i+1} також апроксимуються поліномом I-го порядку і усереднюються.

В цьому ж розділі приведено серію експериментів для моделей, в яких товщини шарів змінюються від декількох одиниць до десятків і сотень метрів. Показано, що знайдені значення характеристик середовище за даною методикою не залежить від вибору товщин шарів.

Проведено серію експериментів для моделей, в яких значення швидкостей v_p, v_s і модуля зсуву μ суттєво відрізняються. Показано, що запропонована методика дає кращі результати для слабоконтрастних шарів.

У висновках підсумовані основні результати роботи, описані можливості їх застосування, показані шляхи розвитку розробленої методики.

Основні результати дисертації опубліковані в таких працях:

1. Малицький Д.В., Рубаха Г.В. К вопросу об автоматизации обработки сейсмических данных при моделировании тонкослоистых структур.- Материалы 13 Конференции молодых ученых Института прикладных проблем механики и математики АН УССР,- Деп. в ВИНИТИ 06.12.89 № 1742-В89 /5 ст./.
2. Малицкий Д.В. Решение обратных задач теории распространения волн в вертикально-неоднородной среде на основе рекурентного подхода. - В кн.: Условно-корректные задачи математической физики и анализа: Тезисы докладов Международной конференции Новосибирск, 1992, с. 154-155.
3. Малицкий Д.В. Решение прямой двумерной задачи теории распространения волн на основе рекуррентного подхода. - В сб.: Геофизический журнал, ИГФ АН Украины, 1994, № 1.
4. Малицкий Д.В. Рекуррентный метод решения обратной динамической задачи сейсморазведки в вертикально-неоднородной среде.- В сб.: Геофизический журнал, ИГФ АН Украины, 1994, № 3.

Підписано до друку 30.06.94р. Формат 60х84/16.
Обсяг 1 друк.лист. Зам.338. Тир.120. Безплатно.

Львів. Личаківська,3.Друк.УПІ ім Ів.Федорова.