

РЕГУЛЬОВАНИЙ СКЕРОВАНИЙ АНАЛІЗ СЕЙСМОГРАМ ВІДБИТИХ ХВИЛЬ

В.І.Горбунов, С.О.Склярів

Науково-дослідний інститут нафтогазової промисловості ДП „Науканафтогаз”
НАК „Нафтогаз України”, 03035, м. Київ, вул. Урицького, 45. тел (044) 5850210, 5850209

Разработан и реализован способ по совершенствованию методики выделения сейсмического сигнала путем использования регулируемого направленного анализа сейсмограм отраженных волн.

Приведены результаты экспериментов по выделению сейсмического сигнала методом регулируемого направленного анализа.

Developed and realized method of perfection methods for separation seismic signal by the use regulated directed analysis of reflected waves seismograms.

The results of experiments are shown on the increase of separation seismic signal by the method of the regulated directed analysis

Розвиток обчислювальних засобів сейсмо-розвідки дає змогу принципово ускладнювати та вдосконалювати алгоритми аналізу хвильової картини. Зокрема це стосується інтерференційних перетворень сейсмозаписів як основного метода виділення регулярних сейсмічних хвиль на стадії обробки сейсмограм. Задача розкладення первинного поля по множині хвиль із сферичними фронтами (гіперболічними годографами) розглядалась як база для побудови динамічних зображень досліджуваного середовища [1, 2] із збереженням інформації про аномальні утворення, які генерують дзеркальні відбиття та різноманітні механізми розсіювання пружної енергії, включаючи дифракцію. Це набуває особливої актуальності в зв'язку з необхідністю постановки сейсмічних досліджень при пошуках родовищ нафти і газу у зонах тріщинуватості теригенних, карбонатних та вулканогенних порід.

На рівні сьогоденних можливостей інформаційних технологій є досяжним створення схеми інтерференційного аналізу (підсумування) сигналів, подібної до відомого регульованого скерованого прийому (РСП) [3], але з врахуванням параметру кривизни годографа (нелінійності функції запізнення) з придатним наближенням до реальної ситуації.

Як апроксимативну конструкцію закону вводу часових зсувів приймемо рівняння поля часу сферичної хвилі [4]

$$t(x_r, x_c) = \left\{ t^2(x_c) + 2 \cdot t(x_c) \cdot \tau(x_c) \cdot (x_r - x_c) + (x_r - x_c)^2 \cdot \Lambda^2 \right\}^{1/2}, \quad (1)$$

записаному в системі параметрів $x_r, x_c, t, \tau, \delta$, (див. рис. 1), де:

x_r – описує координату пункту прийому (в даному випадку на сейсмічному профілі);

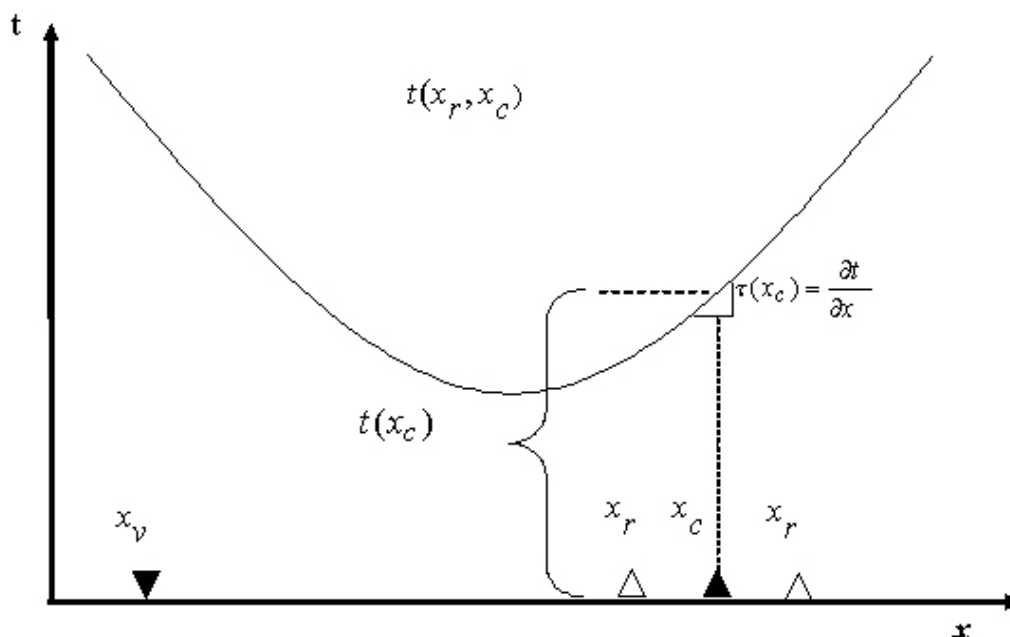


Рисунок 1 – Позначення параметрів поля часу (годографа) відбитої хвилі

x_c – описує координату центру бази аналізу (підсумовування), в точці x_c задані:

$t(x_c)$ – час реєстрації відбитої хвилі;

$\tau(x_c)$ – градієнт часу реєстрації;

$\delta(x_c)$ – кривизна (похідна $\frac{\partial \tau}{\partial x_c}$) годографа

у точці x_c .

$\Lambda = \sqrt{[t(x_c) \cdot \delta(x_c) - \tau^2(x_c)]}$ – визначає величину зворотну до швидкості розповсюдження хвилі.

Така форма дає змогу з високою точністю описати часові зсуви сигналу регулярної сейсмічної хвилі і, на основі загальновідомих критеріїв її інтерференційного виділення, побудувати алгоритм підсумовування сигналів із варіацією параметрів, що визначають такі зсуви.

У практиці перетворення даних сейсмозвідки використовуються лінійна або параболічні апроксимації функції запізнення, оскільки вони забезпечують сталість часового зсуву для всього інтервалу обробки траси (на відміну від «гіперболічної» кінематичної поправки, яка змінюється безперервно).

Зробимо спробу зберегти таку сталість, застосувавши гіперболічну апроксимацію годографа вигляду (1).

Інваріантність форми останнього в часі можна визначити умовою $\frac{\partial t_r}{\partial t} = 1$, де $t_r = t(x_r, x_c)$; $t = t(x_c)$ (надалі аргументи опущені):

$$\frac{t + \tau \cdot x + x^2 \Lambda \cdot \dot{\Lambda}}{\sqrt{[t^2 + 2 \cdot t \cdot \tau \cdot x + x^2 \cdot \Lambda^2]}} = 1, \quad (2)$$

де $\dot{\Lambda} = \frac{\partial \Lambda}{\partial t}$.

В даному випадку ми ввели фізичне протиріччя для вибору закону зміни швидкості у часі для якого форма годографа залишається незмінною. З точки зору формальної, такий підхід так само правомірний, як апроксимація параболою або прямою. З формули (2) отримаємо просте диференціальне рівняння

$$\Lambda^2 \cdot \Lambda^2 x^2 + 2 \cdot \Lambda \cdot (t \cdot \Lambda + \tau \cdot x \cdot \Lambda) - \Lambda^2 = 0. \quad (3)$$

Розв'язок цього рівняння досягається прийомом «інтегрування шляхом диференціювання» [5]. Рівняння (3) зводиться до вигляду

$$t = \frac{\Lambda^2 - (\tau + x \cdot \Lambda \cdot \dot{\Lambda})^2}{2 \cdot \Lambda \cdot \dot{\Lambda}},$$

рішенням якого є $\Lambda \cdot \dot{\Lambda} = C$, звідки випливає:

$$\Lambda = \sqrt{[(\tau + x \cdot C)^2 + 2 \cdot C \cdot t]}. \quad (4)$$

Параметр Λ , як видно з формули (4) виявляється залежним від часу, градієнта та координати пункту прийому на профілі. Останнє

визначає необхідність побудови наближеної моделі істинного годографа, який можна одержати для фіксованого значення x . Припустимо, що параметр $\Lambda = \Lambda_0$ відомий для довільної характерної точки t_0 часового інтервалу обробки (початку, центру). Величина C визначиться як:

$$C = \frac{\pm [t_0 + 2 \cdot t_0 \cdot \tau \cdot x + x^2 + \Lambda_0^2] - (t_0 + \tau \cdot x)}{x^2}. \quad (5)$$

Значення C має бути додатним, оскільки в протилежному випадку у виразі (4) виникає від'ємне число піднесене до степеня 1/2.

Зрозуміло, що значення ефективної швидкості МСГТ одержані за «істиною» гіперболічною формою годографа відбитої хвилі та з умовою виразу (2), тобто із збереженням функції запізнення в часі, мають бути близькими настільки, щоб їх відмінності не впливали на результат інтерференційного виділення хвилі в процесі підсумовування сигналів. Тому, при визначенні величини C з виразу (5) необхідно вибрати значення X_{gr} (у якому дійсний $t(\xi, x_c)|_{\Lambda=\lambda}$ та апроксимуючий $T(\xi, x_c)|_{\Lambda=\lambda_0}$ годографи співпадають) таким чином, щоб вказані відмінності були оптимальними, виходячи з умови виду:

$$\max_{\xi \in -X_{gr} \dots X_{gr}} \|R_1 + R_2\| < \Delta t, \quad (6)$$

де: $R_1 = T(\xi, x_c) - t(\xi, x_c)$; $R_2 = T(x_c) - t(x_c)$; Δt – певний допустимий зсув (розбіжність) між запізненнями в часі.

З постановки умови (6) випливає декілька конструктивних рішень, але за змістовністю вони збігаються до визначення рівня значень кривизни $\delta(x)$, поза яким параметр швидкості (або обернений до нього) не впливають на результат підсумовування сигналів (коли годограф СГТ наближається до своєї асимптотичної прямої). Таким чином, для кожного значення t_0 може бути обчислене $X_{gr} : \delta(X_{gr}) = k \cdot \delta(0)$, $k \leq 1$, за правилом:

$$X_{gr} = \frac{t_0 V}{2\sqrt[3]{k}} \cdot \sqrt{1 - k^{\frac{2}{3}}}. \quad (7)$$

На основі викладеного побудований алгоритм швидкісного експрес аналізу сейсмічних записів MBX СГТ, який можна представити схемою, зображеною на рис. 2.

В цій схемі на вхід алгоритму експрес-аналізу сейсмічних записів подаються сформовані сейсмограми СГТ, після виконання процедур попередньої обробки (фільтрування, деконволюція та ін.). Далі відліки сигналів сейсмограми СГТ підсумовуються із сталими в часі t_0 значеннями затримки, що визначаються кривизною годографа в межах бази аналізу, величина якої розраховується за формулою (7). В результаті формується сумарна траса $W(\delta, t_0)$. Наступний крок – аналіз сукупності сумарних трас з виділенням регулярних хвиль, визначенням

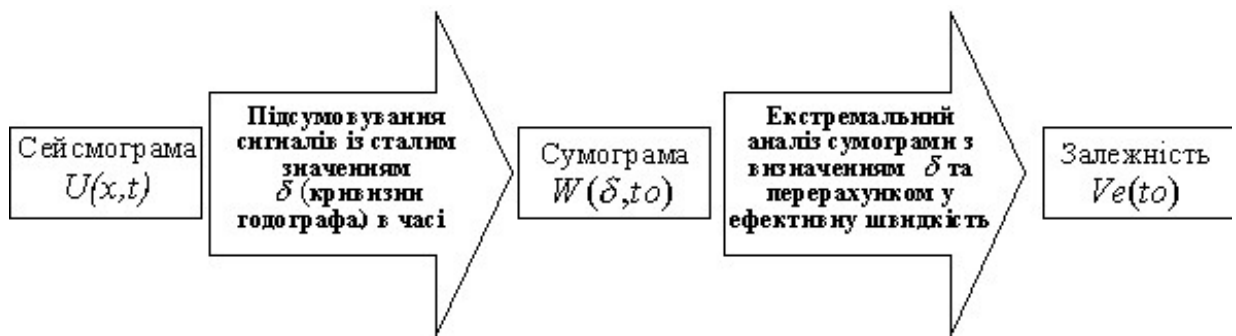


Рисунок 2 – Блок схема процесу інтерференційного аналізу сигналів із гіперболічною функцією затримки

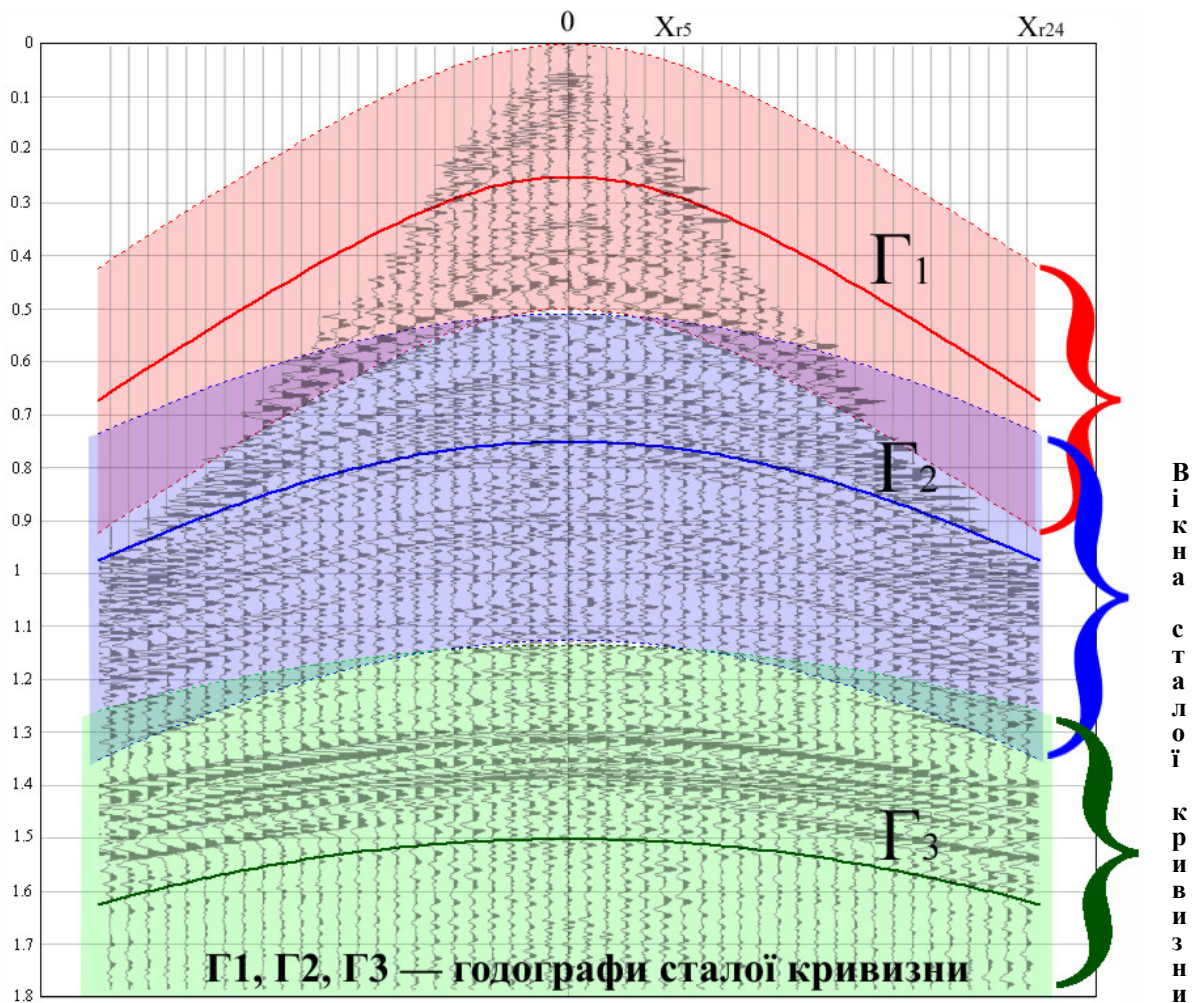


Рисунок 3 – До визначення функції запізнення алгоритму підсумовування у часі

зміни параметру кривизни у часі реєстрації та формування відповідної залежності ефективної швидкості $Ve(t_0)$.

Таким чином, ми приходимо до модифікованого алгоритму кінематичного аналізу поля регулярних сферичних хвиль, суть якого проілюстрована на рис. 3.

Вибір відлків з сейсмічних трас $U(x,t)$ реалізується за гіперболічним законом функції запізнення, яка лишається сталою для кожного часового вікна (вікна постійної кривизни) з урахуванням ефективної ширини апертури

(див. рис. 3). Отримана інформація розбивається на часові інтервали («біжуче» вікно розміром від 5 до 11 дискретних значень у часі). Сформована сукупність значень подається до процедури статистичної оцінки ймовірності існування регулярної компоненти поля за критерієм когерентності хвилі, яка описується заданими кінематичними характеристиками (аналог процедури визначення максимуму амплітуди на сумарних записах РСП).

В процесі обробки сейсмоскопів база інтерференційного аналізу (апертура) є змінною

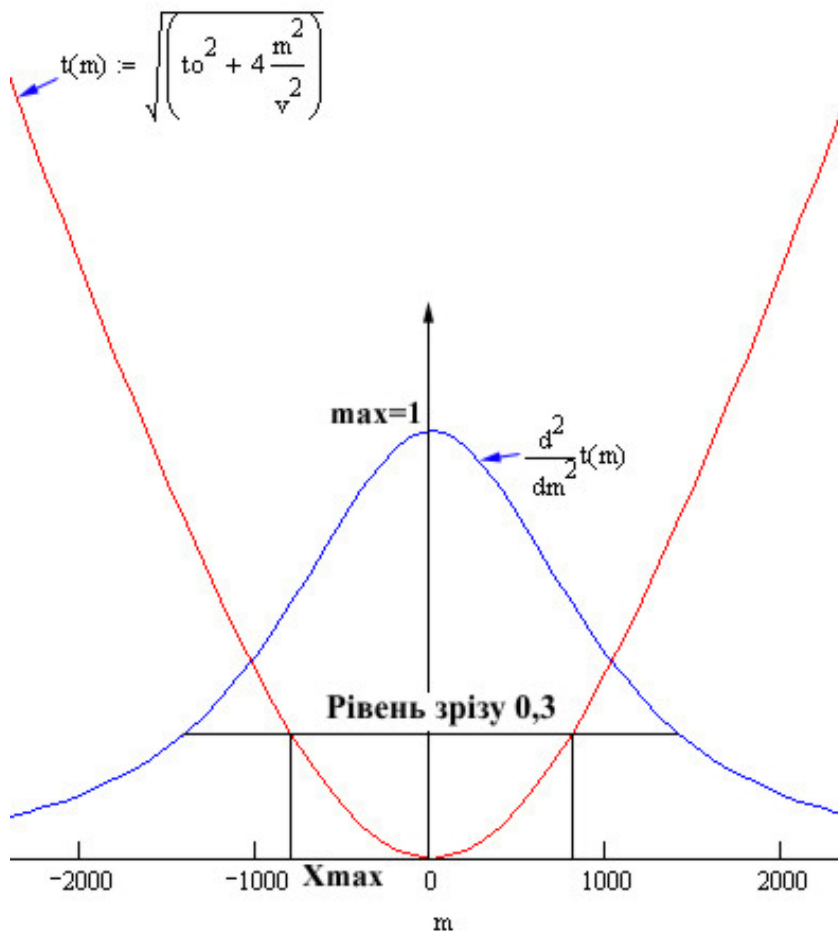


Рисунок 4 – До визначення ефективної апертури аналізу кривизни годографа

відповідно до прогнозованих (розрахункових) кінематичних характеристик регулярної хвилі (рис. 4). Розмір зазначеної бази регулюється автоматично з її обмеженням величиною X_{max} . Значення X_{max} контролюється умовою

$$\left. \frac{d^2 t(m)}{dm^2} \right|_{m=X_{max}} = 0.3 \cdot \left. \frac{d^2 t(m)}{dm^2} \right|_{m=0}$$

Оскільки в показаній схемі функція запізнення в межах вікна не змінюється, швидкодія перетворення суттєво збільшується порівняно із стандартним «перебором швидкостей» МСГТ. До того ж зникають відомі «розтяжки» сигналу, які проявляються в процесі ручного уводу (перебір швидкостей сумування) кінематичної поправки тим більше, чим більша кривизна годографа і, чим далі траса, що підсумовується, розташована від точки СГТ.

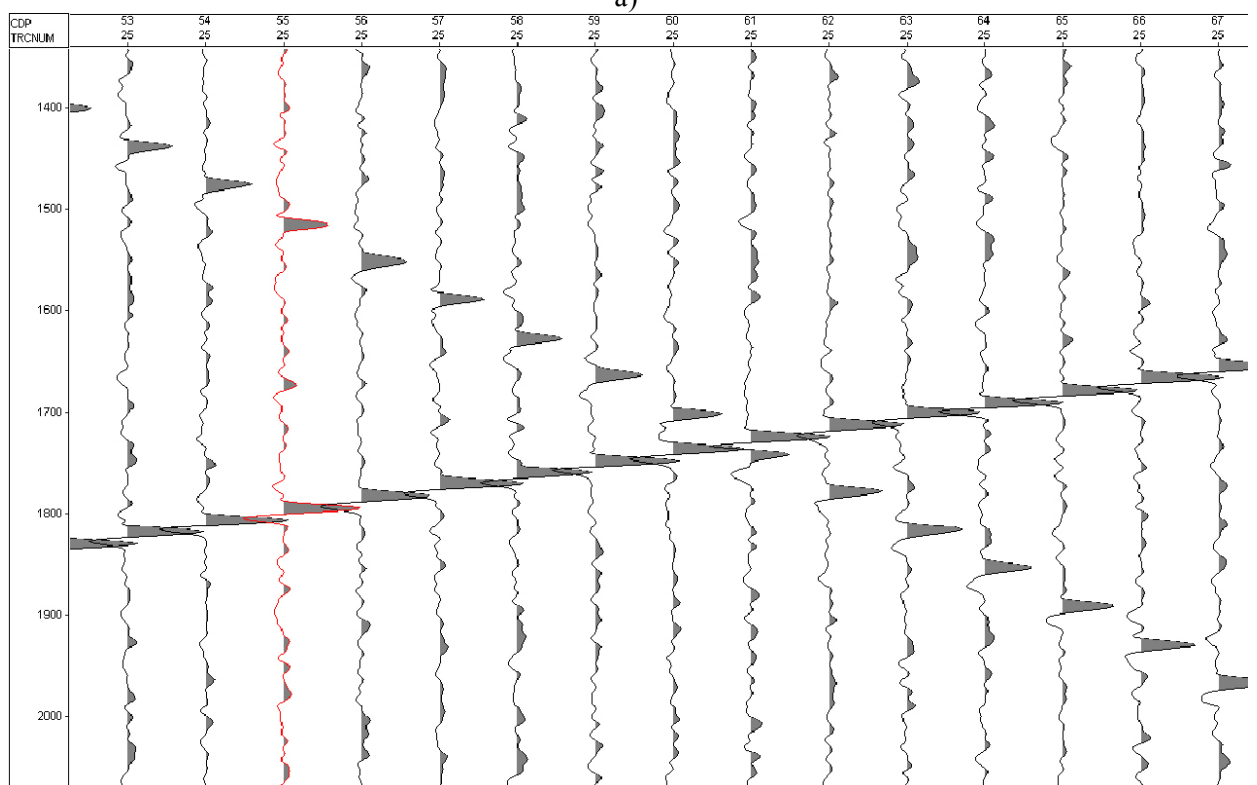
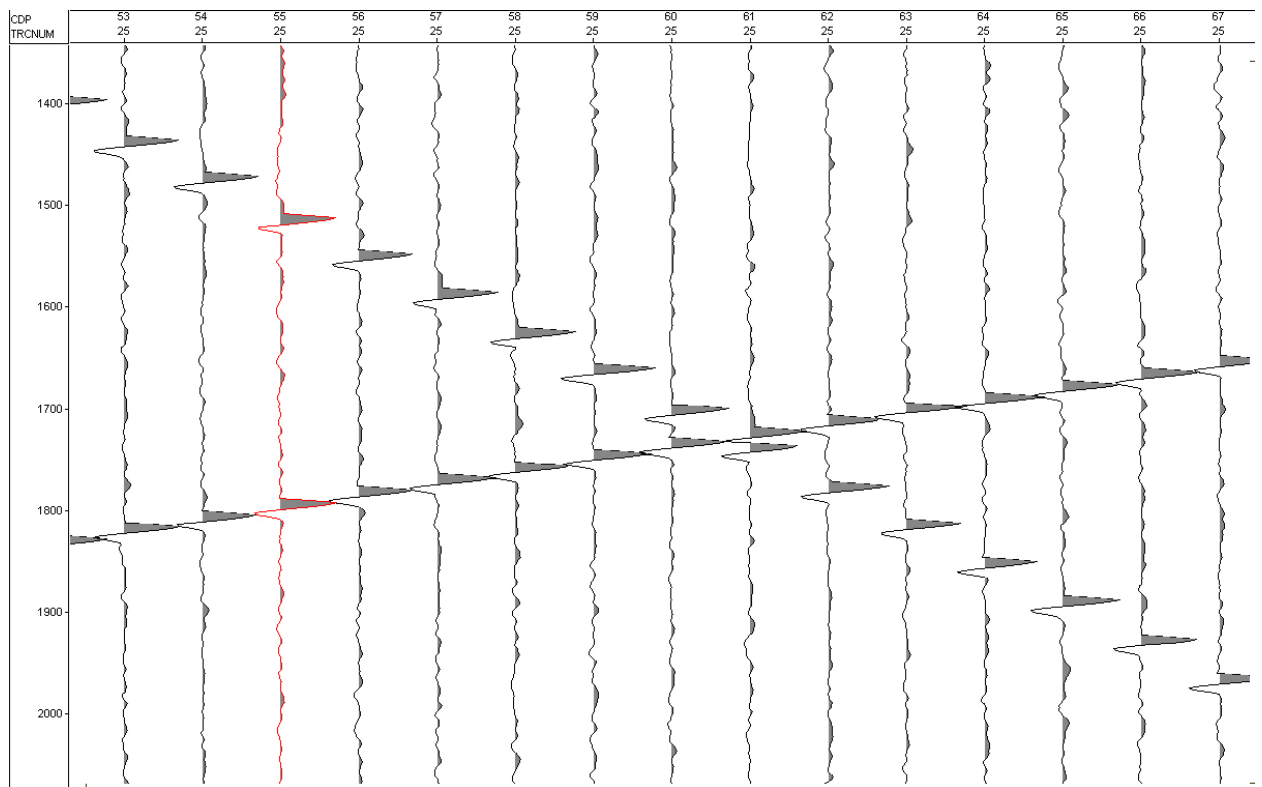
Знаючи для кожного часового вікна аналізу його t_0 і швидкість підсумовування з найбільшою ймовірністю, можна вирахувати ефективну швидкість СГТ для кожного дискретного відліку як:

$$V_{эф} = \frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^N \frac{|X_i|}{\sqrt{\left[\sqrt{t_0^2 + \frac{X_i^2}{V_0^2}} + t - t_0 \right]^2 - t^2}}, \quad (8)$$

де: N – кількість трас сейсмограм СГТ;
 X_i – відстань пункту прийому від пункту збудження;
 t_0 – початковий час визначення функції запізнення для конкретного часового вікна;
 V_0 – швидкість підсумовування СГТ, яка визначена за найбільшою ймовірністю оцінки;
 t – відлік часу на сейсмічній трасі.

На рисунку 5 наведені результати модельного експерименту застосування описаного алгоритму у технологічній обчислювальній схемі, підготовленій до масової обробки сейсмічних матеріалів, де передбачена побудова часових розрізів. Тестові сейсмограми формувалися «згортькою» еталонного сигналу з δ -імпульсними, які, в свою чергу, будувалися через вирішення прямої кінематичної задачі (розрахунок годографів МСГТ для ефективно-однорідного середовища) із врахуванням фактору геометричного розходження та накладанням випадкового «фарбованого» шуму.

Не важко бачити, що загострення характеристики скерованості застосованої інтерференційної системи (як це і передбачено у постановці задачі), призвело до суттєвого послаблення амплітуди завади порівняно з амплітудою корисних (регулярних) хвиль. Аналогічно тестувалися чутливість алгоритму до регулярності розподілу амплітуд вздовж осі синфазності (годографа) та фазових спотворень хвилі – ста-



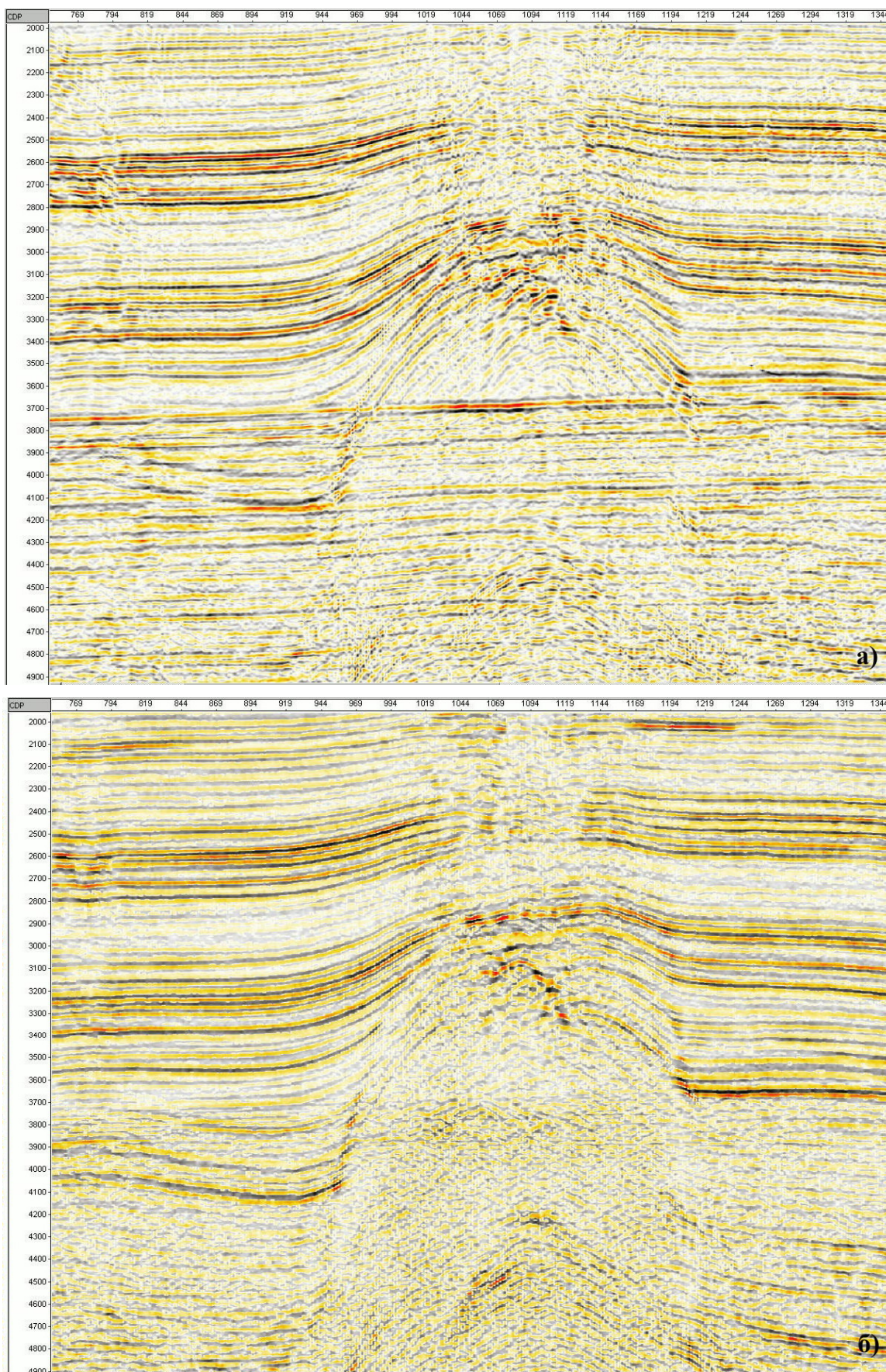
*а) послідовний (ручний) підбір швидкості підсумування із змінною функцією запізнення в часі;
 б) автоматичний підбір швидкості підсумування із сталою функцією запізнення в часі*

Рисунок 5 – Моделювання процесу накопичення сигналів МСГТ

тичних зсувів. Результати свідчать про придатність розроблених алгоритмів та обчислювальної схеми до практичного застосування.

На рисунку 6 наведені результати обробки реальних сейсмічних даних по профілю в межах

Української частини акваторії Чорного моря. В даному випадку виконувався автоматичний підбір ефективної швидкості СГТ з подальшим формуванням часового розрізу при визначенні закону зміни ефективної швидкості підсумову-



а – результат ручного перебора швидкостей;
б – результат автоматичного підбору швидкостей
Рисунок 6 – Фрагмент сейсмічного морського профілю

вання у часі для кожної спільної глибинної точки. На показаних матеріалах при взаємовідповідності загальних рис хвильової картини та адекватності динамічних зображень, за рахунок застосування запропонованих алгоритмів швидкісного аналізу спостерігається суттєве послаблення фону кратних хвиль. У даному випадку такий ефект найбільш виразно проявляється на час реєстрації 3600-3700 мілісекунд і нижче.

Можливості пригнічення випадкових та регулярних хвиль завад в процесі інтерференційних перетворень сейсмоскопів принципово сприяють підвищенню інформативності сейсмічних досліджень.

Співставлення поданих матеріалів свідчить про ефективність практичного використання регульованого скерованого аналізу сейсмічних записів з гіперболічною функцією запізнення сигналу для вирішення задач оперативної обробки сейсмоскопів та формування динамічних хвильових зображень. Застосування запропонованого алгоритму дає змогу покращити

як технологічні показники (витрати часу), так і змістовні характеристики процедур обробки, оскільки значення ефективної швидкості МСГТ визначається незалежно для кожного дискретного значення часу t_0 у кожній спільній глибинній точці системи спостережень.

Література

1 Клаербоут Дж.Ф. Теоретические основы обработки геофизической информации. – М.: Недра, 1981. – 304 с.

2 Тимошин Ю.В. Импульсная сейсмическая голография. – М.: Недра, 1978. – 286 с.

3 Рябкин Л.А. Теория упругих волн. Учебное пособие для вузов. – М.: Недра, 1980. – 182 с.

4 Гольдин С.В. К теории преобразования сейсмограмм в глубинные и временные разрезы // Методы расчёта и интерпретации сейсмических волновых полей. – Новосибирск: Наука, СО РАН, 1991. – С. 5-44.

УДК 622.276.1/7

ДО ПРОБЛЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ РОЗРОБКИ НАФТОВИХ ПОКЛАДІВ ШЛЯХОМ СТВОРЕННЯ ПОТОВОКІДХИЛЮВАЛЬНИХ БАР'ЄРІВ У МІЖСВЕРДЛОВИНИХ ЗОНАХ

В.С. Бойко¹, Р.В. Бойко², Р.В. Грибовський¹, Р.Ф. Лагуш¹, О.В. Семінський³

¹ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 994196, e-mail: public@nimg.edu.ua

²ГПУ „Львівгазвидобування” ДК „Укргазвидобування”, 79026, м. Львів, вул. І. Рубчака, 27, тел (0322) 233664, e-mail: R.Boiko@LGV.com.ua

³ЗАТ “Нафтогазвидобування”, 01023, м. Київ, вул. Еспланадна, 20

Обоснован наиболее рациональный подход к решению проблемы регулирования разработки нефтяных месторождений при заводнении относительно к трещинным и трещиновато-пористым коллекторам на основе применения управляемых дисперсных систем с учетом геометрического и концентрационного критериев, а не дисперсных систем вообще.

There have been grounded the most rational approach to the problem decision of regulation the elaborating oil fields during the flooding in relation to fissured and fissure-porous collectors on the basis of using the guided disperse systems with the account of geometric and concentration criteria, instead of in general disperse systems.

У розвинутих країнах світу домінантою в розвитку енергетики є ресурсозбереження, точніше, ресурсоощадність як на стадіях видобування енергоресурсів і виробництва енергії, так і споживання [1]. У нафтовидобувній галузі на сьогоднішній день найбільш ефективною технологією є заводнення нафтових родовищ, попри відомі його негативні наслідки [2], зокрема передчасне некерване обводнення свердловин через складність геологічної будови покладів (неоднорідність, тріщинуватість, розчленованість, переривчастість тощо), яке спричиняє безповоротне залишення нафти в покладі (у вигляді великооб'ємних „ціликів”), і призводить

до істотного зниження поточного видобутку (дебітів) нафти, великих енергетичних, ресурсних, економічних і екологічних втрат [3]. Досягнуте нафтовилучення при заводненні родовищ, колекторам яких притаманна тріщинуватість (а це більше половини світового видобутку нафти і близько 60% покладів вуглеводнів), є на 25-30% нижчим порівняно із пористими колекторами. Проблемі регулювання розробки нафтових покладів шляхом запомповування в привибійну зону чи в глибину пласта рідинних і до певної міри диспергованих тампонажних (водоізоляційних) матеріалів присвячена низка робіт, при цьому даний напрямок досліджень і