

УДК 550.834:622.12

АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ ЗАСТОСУВАННЯ РЕГУЛЬОВАНОГО СПРЯМОВАНОГО ПРИЙОМУ ПРИ СЕЙСМІЧНІЙ ЛОКАЦІЇ ПОПЕРЕД ВИБОЮ

Педченко М. О., Сухинина Е. В., Бородин Д. С.,
Тіркель І. М.

(УкрНДМІ НАНУ, м. Донецьк, Україна)

Проанализированы принципы использования регулируемого направленного приёма (РНП) при сейсмической локации впереди забоя. Рассмотрены основы использования РНП на практике и обоснована базовая методика РНП, разработанная в УкрНИИМИ НАН Украины для проведения сейсмических наблюдений и обработки результатов.

Principles of employing controlled directional reception (CDR) in seismic detection and ranging ahead of the operating face are analyzed. Practical use of CDR is considered and its basic technique developed in the UkrNDMI NAS of Ukraine for surveying and data processing is substantiated.

Суть методу регульованого спрямованого прийому (МРСП) зводиться до спрямованого прийому пружних коливань завдяки введенню в записі штучних часових зсувів (або різночасного підсумовування коливань). При підсумовуванні сигналів сусідніх трас сейсмограми із зміщеннями в часі вдається розчленувати складну інтерференційну картину, що спостерігається на звичайній сейсмограмі, на простішу. Змінюючи час зрушення, можна виділити відображену (або дифраговану) хвилю, що прийшла під певним кутом до поверхні спостережень.

Основи використання методу регульованого спрямованого прийому

У основі методу РСП лежить різночасне підсумовування сейсмосписів, смугова фільтрація і наступне зображення результатів на площині глибинного розрізу. Оскільки підсумовування виконується на малих базах одночасно з оптимальною фільтрацією, це дозволяє виділяти на сумолентах МРСП неідеально регулярні хвилі, тобто хвилі з подібною (в межах близьких до прямолінійних ділянок їх фронтів) формою коливань (квазікогерентні). Це дозволяє використовувати лінійний закон зміни лінії профілю підсумовування.

Процедура різночасного підсумовування полягає у тому, що для компенсації запізнювання хвилі в точках прийому потрібно ввести тимчасові зрушення:

$$\tau_m = m\Delta\tau, \quad (1)$$

де m – номер сейсмоприймача на профілі;

$\Delta\tau$ – приріст між сусідніми трасами, яке називають тимчасовим зрушенням підсумовування.

Введення тимчасових зрушень приводить до підсумовування в неоднакові для різних трас моменти часу, розташовані по лінії підсумовування – прямої, що проходить на середній трасі через поточну точку t і з'єднуючої підсумовуванні точки на всіх трасах. Її рівняння має вигляд:

$$Q_m = t + m\Delta\tau. \quad (2)$$

В результаті виконання підсумовування кожній групі трас відповідає одна сумарна траса. Послідовно зміщуючи базу підсумовування при $\Delta\tau = const$, одержимо запис, який називають груполентою. Інформативні хвильові пакети на сумоленті простежуються шляхом фазового дослідження. Заміна простого підсумовування різночасним дозволяє налаштуватися на виділення хвиль з довільними приростами часу.

У випадку, якщо априорі відомий допустимий діапазон значень $\Delta\tau$, для пошуку інформативних хвиль потрібно послідовно перебрати тимчасові зрушення $\Delta\tau$ з достатньо малим кроком зміни $\Delta\tau_0$ (кроком підсумовування):

$$\Delta\tau = n\Delta\tau_0, \quad (3)$$

де $n = -N, \dots, -2; -1; 0; 2, \dots, N$.

У результаті одержуємо для кожного значення n відповідну йому сумарну трасу. Сукупність $2N+1$ трас, одержаних при постійній базі підсумовування, утворюють сумоленту. Її траси відрізняються тільки величиною тимчасового зрушення.

При розрахунку сумоленти приросту часу, а отже і спрямованість, поступово змінюються, в межах діапазону напрямів приходу інформативних хвильових пакетів. На різночасному підсумовуванні в сукупності з заглушенням низькочастотних стоячих хвиль заснований розвідувальний метод РСП.

При переборі зрушень хоча б одне із значень Δt виявиться практично співпадаючим з приростом часу хвилі. Амплітуда сумарного сигналу максимальна на відповідній цьому зрушенню трасі сумоленти і поступово убуває в обидві сторони від цієї траси відповідно до характеристики спрямованості. На декількох трасах сумоленти, в межах головного максимуму характеристики спрямованості, амплітуди ще досить великі: тут утворюється розростання амплітуд сумарних записів. З подальшою зміною Δt амплітуда сумарних коливань падає (смуга заглушення характеристики спрямованості). Побічні максимуми в даному випадку не потрапляли в діапазон зсуву підсумовування. На трасі з максимальною амплітудою сумарного сигналу коливання за формою і часом приходу співпадають з хвильовим імпульсом на середній з підсумовуваних трас $s_o(t)$, оскільки частотна характеристика підсумовування практично рівномірна.

На решті трас відбувається переважне ослаблення високочастотних складових; проте на трасах з достатньо інтенсивним записом цей ефект ще мало помітний, для області розростання амплітуд характерна практична синхронність коливань.

Якщо запис містить декілька хвиль, то на сумоленті кожній з них відповідає своє розростання амплітуд, положення якого визначається часом приходу хвилі в центрі бази і приростом часу. Сумолента РСП є по суті результатом аналізу хвильового поля, розкладання його на прості хвилі, що відрізняє МРСП від інших видів обробки сейсмічних записів, що здійснюють фільтрацію хвильового поля (переважне пропускання одних хвиль і заглушення інших). Для розділення хвиль на сумоленті достатньо, щоб

не перекривалися області відповідних їм розростань амплітуд. При однаковому часі приходу можливість розділення хвиль визначається розрізняльною здатністю по $\Delta\tau$, рівній ширині головного максимуму характеристики спрямованості.

Якщо запис містить інтенсивні низькошвидкісні хвилі, прирости часу яких знаходяться за межами поля сумоленти, то остання може бути засмічена перешкодами, пов'язаними з фільтрацією цих хвиль через побічні максимуми частотної характеристики підсумовування. Ця небезпека повністю відсутня лише при виборі відстані між точками прийому відповідно до теореми Котельникова, яке означає, що прирости часу $\Delta\tau$ реєстрованих хвиль не повинні перевищувати половини періоду найбільш високочастотних складових.

Важливою і широко використовуваною в системах автоматичної обробки записів особливістю сумолент є можливість вимірювання параметра хвилі $\Delta\tau$ за положенням центру розростання амплітуд [1, 2, 3, 4]. Вибір кроку підсумовування $\Delta\tau_0$ пов'язан з дискретизацією характеристики спрямованості. Оскільки на сумоленті виділяється тільки розростання амплітуд, розглянемо дискретизацію головного максимуму. Апроксимуємо його напівперіодом косинусоїди:

$$D(\Delta\eta) = c \cos \frac{\pi\Delta\eta}{\nabla} \quad (4)$$

де $-\frac{\nabla}{2} < \Delta\eta < \frac{\nabla}{2}$ - ширина максимуму.

Спектр такої функції дорівнює $\frac{c\nabla \cos(\pi\nu\nabla)}{2\pi(0,25 - \nu^2\nabla^2)}$. Його можна обмежити частотою другого переходу через нуль $\nu_{\max} = 2,5/\nabla$, після якого спектральна щільність не перевищує 3 % від максимального значення.

Звідси знайдемо по теоремі Котельникова крок підсумовування (5):

$$\Delta\tau_0 = \frac{1}{2\nu_{\max}} = \frac{\nabla}{5}, \quad (5)$$

який повинен бути в 5 разів менше ширини головного максимуму.

Визначаючи межі головного максимуму за першим переходом через нуль, знайдемо:

$$\Delta = 2\Delta\eta_{zp} = \frac{4\pi}{N\omega_o} = \frac{2T_o}{N}, \quad \Delta\tau_o = \frac{\nabla}{5} = \frac{0,4T_o}{N}. \quad (6)$$

У методі регульованого спрямованого прийому крок підсумовування часто вимірюють не між сусідніми, а між крайніми трасами:

$$\delta\tau_o = (N-1)\Delta\tau_o \approx 0,4T_o. \quad (7)$$

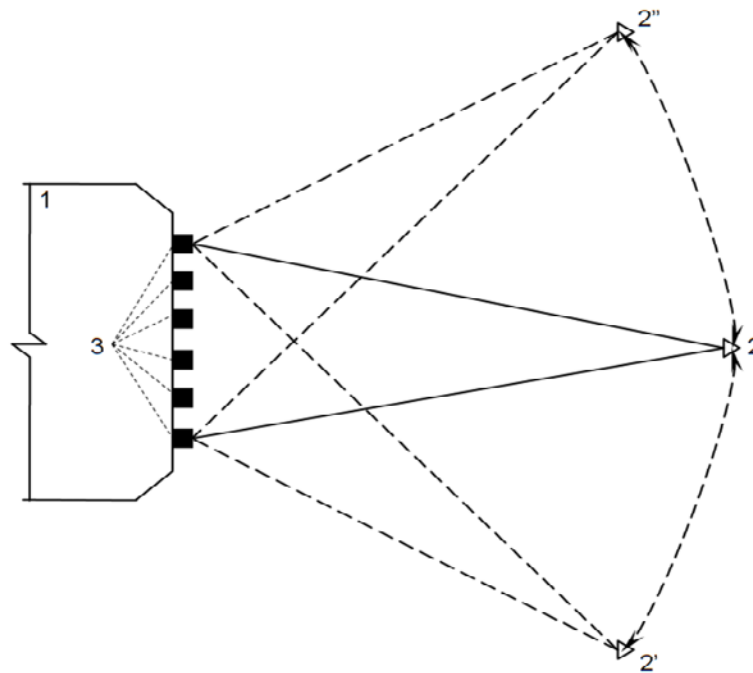
Різночасне підсумовування є лише одним з базових аспектів методу. Своєю високою ефективністю метод зобов'язаний також застосуванню відповідних систем спостережень, широкому варіюванню частотної фільтрації і принципу порівняння хвиль на площині глибинного сейсмічного розрізу.

Базова методика УкрНДМІ НАН України для обробки матеріалів спостережень МСЛ

Основними процедурами, застосованими при обробці даних МСЛ, є поляризаційний аналіз і отримання сумолент РСП (рис. 1).

Процес поляризаційного аналізу даних МСЛ зводиться до розрахунку кута між напрямом сейсмічного променя і переважним напрямом руху частинок середовища в точці спостереження, а також розрахунку функції прямолінійності, що визначає ступінь поляризованих коливань: чим ближче це значення до одиниці, тим вище ступінь поляризованості хвиль.

Прямолінійність і функція кута містять в цифровій формі всю інформацію, яка представлена на графіках руху частинок. Проте, ці функції не показують однозначно, чи є когерентна і значна сейсмічна енергія чи ні; низький шумовий рівень з високим ступенем поляризації може сформувати явні максимуми у функції лінійності і порівняльно постійну функцію кута - ознаки, які звичайно є характеристиками сейсмічних вступів.



- 1 – виробка
- 2, 2', 2'' – положення мнмих джерел
- 3 – сеймоприймачі

Рис. 1. Принцип різночасного підсумовування

В цьому випадку в інтерпретацію включають записані траси. Тому для повного аналізу необхідні три графіки для кожної позиції геофона:

– дві траси;

– функція лінійності $P = 1 - \sqrt[4]{\frac{I_x}{I_y}}$, де I_x і I_y - моменти інерції

системи точок, що входять в двоконпонентну поляризаційну діаграму;

– функція $Y = \frac{1}{2} \arctg \frac{-I_{xy}}{I_x - I_y}$, де I_{xy} - центральний момент

інерції.

В деяких випадках можуть бути необхідні також графіки рухів частинок.

Цей тип аналізу, з використанням графіка руху частинок і поляризаційного аналізу для отримання інформації про тип і напрям сейсмічних сигналів, можна успішно застосувати до будь-якого дво- або трьохкомпонентного запису, особливо в тих випадках, коли напрям, з якого можна чекати сейсмічні сигнали, заздалегідь невідомий, і коли необхідно розділити різні типи хвиль, що приходять.

Ознаками сейсмічних вступів на початкових сейсмозаписах є явний максимум у функції прямолінійності. Наявність вступів, які не можна ідентифікувати як вступу подовжніх і поперечних прямих хвиль, свідчить про наявність відображених хвиль.

Отримання сумолент МРСП. Кожна елементарна хвиля на сумоленті МРСП характеризується деякою сукупністю сумарних записів із збільшеними видимими амплітудами. Число сумарних записів сумоленти, що характеризують елементарну хвилю, залежить від числа підсумовуваних каналів, величини тимчасового зрушення (кроку) підсумовування, частотного складу коливань і деяких інших параметрів. При підсумовуванні 6 - 12 шахтних сейсмозаписів з кроком підсумовування між сусідніми трасами, рівним одному дискрету сейсмозаписів між сусідніми трасами елементарна хвиля буде представлена локальними розростаннями амплітуд сумарних записів не більше ніж на 3 - 5 трасах (рис. 2). Ознакою виявлення елементарної хвилі на сумоленті МРСП є симетричне зменшення сумарних записів по обидві сторони від сумарного запису з максимальною амплітудою. Однакові фази сумарних записів розташовані на одному і тому ж часі, що дозволяє використовувати третю ознаку - сукупності сумарних записів, формуючі елементарну хвилю, мають вертикальні осі синфазності.

На кожній хвилі на сумоленті МРСП вимірюють 3 параметри: видиму амплітуду - A_0 , час приходу хвилі до центру бази підсумовування, за яку приймають взаємну точку t , різниця часів приходу хвилі до крайніх сейсмоприймачів бази - δt :

$$\delta t = t_N - t_1 = k\Delta\tau, \quad (8)$$

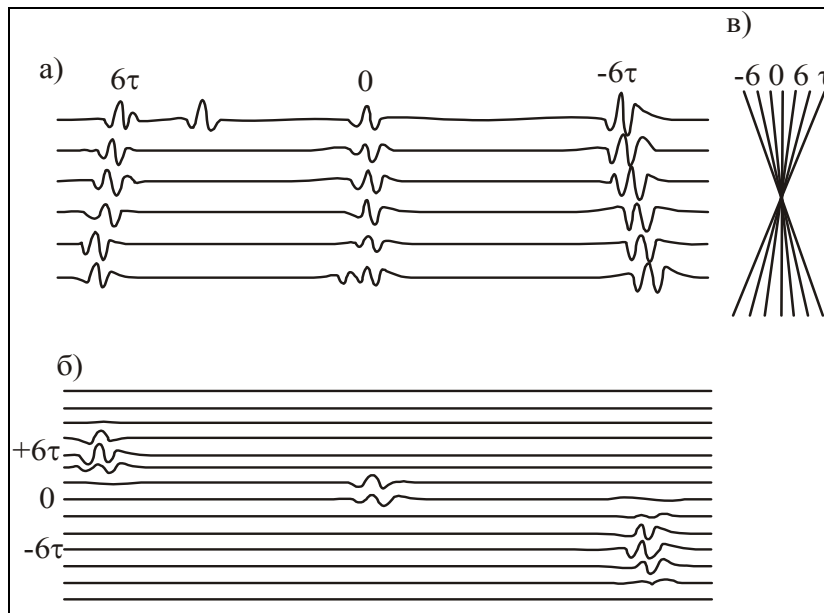
де N - номер сумарного запису сумоленти МРСП;
 $\Delta\tau$ - крок підсумовування.

Тимчасові зрушення δt можуть бути як позитивними ($t_N > t_l$), так і негативними ($t_N < t_l$) і залежать від напрямку приходу хвилі.

Для визначення ефективної швидкості (v_{ef}) при кутах нахилу межі, що відображає, і лінії забою менших $10 - 15^\circ$ використовують формулу:

$$v_{эф} = \sqrt{\frac{Y \cdot \delta y}{t \cdot \delta t}}, \quad (9)$$

де Y – відстань від джерела до центру бази підсумовування;
 t – час приходу хвилі до центру бази підсумовування;
 δy – довжина бази підсумовування $\delta y = (n-1) \cdot \Delta x$.



- а) – штучна сейсмоленга;
- б) – сумоленга МРСП;
- в) – лінії підсумовування.

Рис. 2. Принципи підсумовування по МРСП

Для побудови глибинного розрізу у випадку, якщо $v_{ef} = const$, а параметри t і δt відносяться до баз підсумовування, центри яких суміщені з джерелами збудження сейсмічних хвиль, тобто до центральних баз:

$$\sin \alpha_Y = \frac{v_{\text{эф}}}{v_Y} = \frac{v_{\text{эф}} \cdot \delta t}{\delta y} \quad (10)$$

де α_Y – кут нахилу напряму монотипної відображеної плоскої хвилі до бази підсумовування;

δ_y – величини бази підсумовування;

t – час реєстрації хвилі в центрі бази підсумовування;

v_Y – уявна швидкість;

$v_{\text{эф}}$ – ефективна швидкість.

$$y = r \cdot \sin \alpha = \frac{v_a^2 \cdot t}{2} \cdot \frac{\delta t}{\delta y};$$

$$x = r \cdot \cos \alpha = \frac{v_{\text{гТМ}^2} t}{2} \cdot \sqrt{\frac{1}{v_{\text{гТМ}^2}} - \left(\frac{\delta t}{\delta y}\right)^2}.$$

Довжина площадки, що відбиває, приймається рівній половині довжини бази підсумовування, що справедливе (без великих погрешностей) для досить значних кутів залягання меж, що відбивають (до $30^\circ - 40^\circ$). Глибинний розріз можна представити у вигляді сукупностей елементарних майданчиків.

Критерії визначення основних типів геологічних порушень вугільних пластів аналогічні критеріям інтерпретації матеріалів спостережень МВХ.

Необхідно сказати декілька слів про розрізняльну здатність РСП.

Розрізняльною здатністю методу називають його здатність порізно виділяти записи одиночних хвиль, що розрізняються по уявних швидкостях, що накладалися. Що стосується розрізняльної здатності в значенні дозволу двох хвиль за часом їх приходу, то в методі РСП даний аспект не основний. Дане питання детально розглянуте Рябінкиним в роботі [5, 6].

Припустимо, на базу прийому падають дві плоскі гармонійні хвилі, записи яких можна виразити таким чином:

$$A_1 e^{j\omega_1 \left(t - \frac{x \sin i_{01}}{v_1} \right)}, A_2 e^{j\omega_2 \left(t - \frac{x \sin i_{02}}{v_2} \right)}. \quad (11)$$

Припустимо, що початкова фаза запису першої хвилі середнім сейсмоприймачем рівна нулю, а початкова фаза запису другої хвилі $\omega_2 t'$. Прирости часів на базі x для цих хвиль відповідно рівні:

$$\delta t_1 = \frac{\delta x \sin i_{01}}{v_1}; \quad \delta t_2 = \frac{\delta x \sin i_{02}}{v_2}. \quad (12)$$

Вводячи відносні часові зсуви кожної з хвиль:

$$\delta \mathcal{G}_1 = \delta t_1 - k \delta \tau; \quad \delta \mathcal{G}_2 = \delta t_2 - k \delta \tau; \quad (13)$$

де $k=1, 2, 3$ і т.д., одержимо записи двох хвиль m -мі сейсмоприймачами, рахуючи від середнього, при k -м зсуві підсумовувальних трас:

$$A_1 e^{j\omega_1 \left(t \pm \frac{m}{n-1} \delta \mathcal{G}_1 \right)} + A_2 e^{j\omega_2 \left(t+t' \pm \frac{m}{n-1} \delta \mathcal{G}_2 \right)}. \quad (14)$$

Виконуючи підсумовування подібних записів для всіх сейсмоприймачів, одержимо сумарний запис при k -м зсуві:

$$\sum_{(k)} = P_1 A_1 e^{j\omega_1 t} + P_2 A_2 e^{j\omega_2 (t+t')}, \quad (15)$$

де

$$P_1 = \frac{\sin \frac{n}{2(n-1)} \omega_1 \delta \mathcal{G}_1}{\sin \frac{1}{2(n-1)} \omega_1 \delta \mathcal{G}_1} \quad \text{та} \quad P_2 = \frac{\sin \frac{n}{2(n-1)} \omega_2 \delta \mathcal{G}_2}{\sin \frac{1}{2(n-1)} \omega_2 \delta \mathcal{G}_2}$$

характеристики спрямованості підсумовування кожної з хвиль окремо.

З вираженню (15) виходить важливе положення теорії розрізняльної здатності методу РСП для рівномірного розташування непарного числа сейсмоприймачів, записи яких підсумовуються: Кожен сумарний запис є сумою хвиль, що наклалися, із зміненними відповідно до значень характеристик спрямованості підсумовування кожної з хвиль амплітудами і із стрибкоподібно змінними початковими фазами, рівними або протилежними по-

чатковим фазам записів цих хвиль середнім сейсмоприймачем бази прийому.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Рапопорт М. Б. Автоматическая обработка записей колебаний в сейсморазведке [Текст] / М. Б. Рапопорт. — М. : Недра, 1973. — 184 с.
2. Рапопорт М. Б. Применение вычислительной техники в полевой геофизике [Текст] / М. Б. Рапопорт. — М. : МИНХИГП, 1981. — 198 с.
3. Рапопорт М. Б. Измерительно-вычислительные комплексы для геофизических исследований [Текст] / М. Б. Рапопорт. — М. : Недра, 1981. — 116 с.
4. Рапопорт М. Б. Вычислительная техника в полевой геофизике [Текст] / М. Б. Рапопорт. — М. : Недра, 1985. — 98 с.
5. Рябинкин Л. А. Теория и практика сейсмического метода РНП / Л. А. Рябинкин // Труды МИНХиГП им. Губкина. — 1962. — № 39. — С. 56—62.
6. Рябинкин, Л. А. Результаты и перспективы применения метода РНП / Л. А. Рябинкин // Труды МИНХиГП им. И. М. Губкина. — 1960. — № 31. — С. 88—90.