

УДК 550.834.01

ГЕОФИЗИКА

М. К. ПОЛШКОВ, А. В. НЕВИННЫЙ, П. Г. ГИЛЬБЕРШТЕИН

ОПТИМАЛЬНЫЕ СКОРОСТНЫЕ ФИЛЬТРЫ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ СИГНАЛОВ ИЗ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ ВОЛНОВЫХ ПОЛЕЙ

(Представлено академиком М. А. Садовским 24 III 1976)

Оценки параметров упругих сейсмоакустических или электромагнитных импульсных волн, интерферирующих с регулярными помехами произвольной интенсивности, получают с помощью смесителей ⁽¹⁻³⁾, синфазного суммирования амплитуд и энергий ⁽⁴⁻⁷⁾, скоростных фильтров ^(3, 6), регулируемого направленного приема ⁽⁸⁾. Перечисленные способы выделения сигналов имеют характеристики направленности с большими уровнями неравномерности в полосах пропускания и являются мало эффективными при приеме сигналов в широких диапазонах частот и кажущихся скоростей ⁽⁹⁾. Ниже описываются скоростные фильтры — неоднородные группы элементов с суммарной нулевой чувствительностью — обеспечивающие бесконечный выигрыш при приеме регулярных сигналов в необходимом динамическом диапазоне. Согласно ⁽⁹⁾, такие фильтры являются оптимальными.

Синтез оптимальных скоростных фильтров. В симметричных оптимальных группах веса чувствительностей элементов определяются формулами

$$h_0 = 2 \sum_{k=1}^m |h_k|, \quad (1)$$

$$h_k = - \sum_{q=k}^m (-1)^{m-q} \beta^{2q} \frac{2m(q-m-1)}{(q-k)!(q+k)!(m-q)!}, \quad (2)$$

где

$$m = (n-1)/2, \quad \beta = 0,5 [(\gamma + \sqrt{\gamma^2 - 1})^{1/2m} + (\gamma - \sqrt{\gamma^2 - 1})^{1/2m}], \quad \gamma = a/2\varepsilon;$$

a, b — максимальное и минимальное значения характеристики направленности в полосе пропускания; $\varepsilon = (a-b)/2$ — неравномерность характеристики; $n = 2k+1 \geq 5$ — число элементов в группе; $k=1, 2, 3, \dots$ — номера элементов относительно центрального; $q=k, k+1, k+2, \dots$; h_0, h_k — чувствительности центрального и нецентральных элементов группы ⁽¹⁾.

В несимметричных оптимальных группах веса чувствительностей получают по формулам

$$h_1 = \sum_{k=2}^{2m} |h_k|, \quad (3)$$

$$h_k = - \sum_{q=k}^{2m} (-1)^{2m-q} \beta^{2q} \frac{2m(q-n)!}{(q-k)!(q+k)!(2m-q)!}, \quad (4)$$

где $n \geq 3$ — число элементов в группе; $k=2, 3, \dots$ — номера элементов относительно первого; h_1, h_k — чувствительности первого и последующих элементов. Все другие обозначения в (4) такие же, как в (2).

Оптимальный скоростной фильтр $H(h_k, k\Delta t)$ представляет техническое устройство, содержащее оптимальную группу элементов h_k и линию задержек сигналов на времена $\tau_k = k\Delta t$ относительно элементов (1), (3), или процедуру обработки образцов волновых полей на аналоговых или вычислительных машинах ($\Delta t = \Delta x/v$ — время пробега волны с кажущейся скоростью v на базе Δx между соседними элементами).

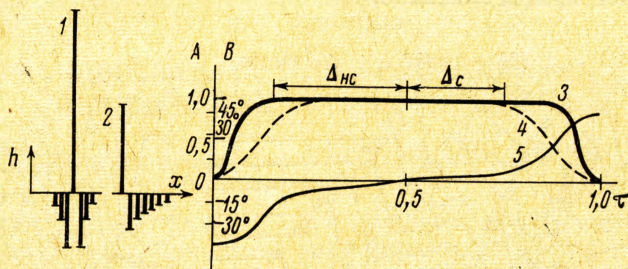


Рис. 1. Оптимальные скоростные фильтры, $n=7$: 1 — симметричный; 2 — несимметричный; 3, 4 — амплитудные характеристики; 5 — фазовая характеристика несимметричного фильтра

Характеристики направленности оптимальных скоростных фильтров имеют вид

$$\Phi(\tau) = \sum_{j=1}^n h_j \exp(-2\pi j k \tau), \quad j = \overline{1, n}, \quad (5)$$

где $\tau = \Delta T/T$ — обобщенный параметр; $\omega = 2\pi/T$ — круговая частота. Из (5) следует, что у симметричных групп фазовая характеристика направленности $B_c(\tau)$ равна нулю, а амплитудная

$$A_c(\tau) = h_0 + 2 \sum_{k=1}^m h_k \cos 2\pi k \tau \quad (6)$$

принимает нулевые значения для гармонических составляющих спектра волн $\omega = r\pi/\tau_k$, $r = \pm 1, \pm 2, \dots$, причем в диапазонах $\omega = (\pi/2 \pm \Delta_c)/\tau_k$, $\Delta_c = f(n, \epsilon)$ функция $A_c(\tau)$ имеет коэффициенты усиления с заданным уровнем неравномерности ϵ (2Δ — ширина полос надежного приема).

У несимметричных групп функции $A_{nc}(\tau)$, $B_{nc}(\tau)$ являются периодическими, причем $B_{nc}(\tau)$ нигде не превосходит 45° ; несимметричные группы сдвигают различные составляющие спектров на доли периодов, минимальные в полосах надежного приема. У групп с одинаковым числом элементов $\Delta_c < \Delta_{nc}$ (рис. 1).

Коэффициенты усиления в полосах надежного приема у всех оптимальных скоростных фильтров меньше, чем суммы модулей чувствительностей в группах. Так, если $n=5$, $A_c(\Delta) = A_{nc}(\Delta) = 1$, $\epsilon = 0,003$, то $h_c(k) = -0,07618, -0,24871, +0,64978, -0,24871, -0,07618$; $h_{nc}(k) = +0,78319, -0,38008, -0,25188, -0,11842, -0,03281$; $\sum |h_c(k)| = 1,29956$; $\sum |h_{nc}(k)| = 1,56638$. Разности $\sum |h_c(k)| - A_c(\Delta)$ и $\sum |h_{nc}(k)| - A_{nc}(\Delta)$ возрастают с увеличением n .

Воздействие оптимальных скоростных фильтров на все волновое поле удобно оценивать по картам рельефа $A(f, \tau)$ в пространстве «частота — градиент времени пробега волны между соседними элементами» ⁽¹⁰⁾, в котором изолинии одинакового усиления $A(\tau)$ являются равнобоковыми гиперболой, симметричными относительно луча $\tau = \Delta x/v_p$ (v_p — скорость помехи).

Если волновое поле $R_{si}(t)$ представлено суперпозицией регулярных волн $f_{si}(t \sim \Delta x \cdot i/v)$, то исключить помеху $v_{i=p}$ можно двумя видами сверт-

ки оптимального скоростного фильтра и волнового поля:

$$H(h_k, k\Delta t) * R_{si}(t) \vee H(h_k, k\Delta t=0) * R_{si}(t-\Delta x/v_p),$$

где i — номер датчика канала или трассы образца волнового поля. В первой свертке параметры выделенных сигналов не изменяются, а во второй в результате введения кинематических поправок в исходное волновое поле изменяются годографы сигналов.

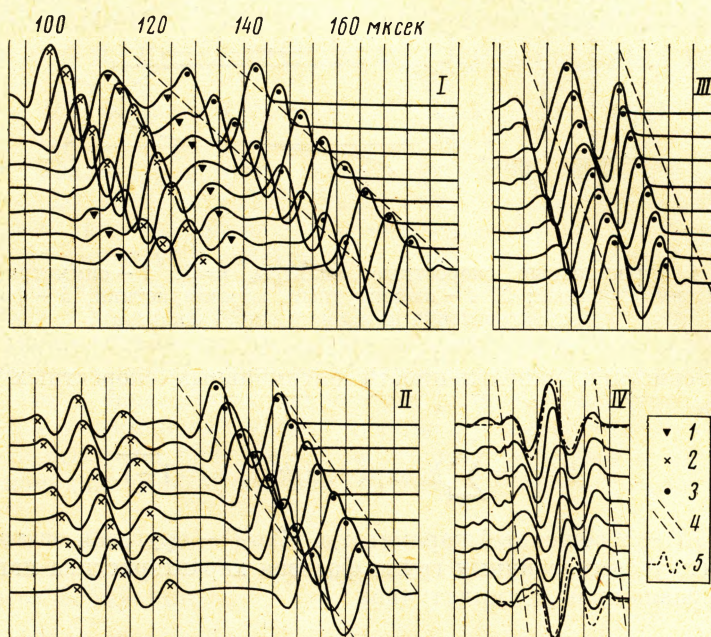


Рис. 2. Последовательное вычитание плоских волн несимметричными фильтрами с вводом кинематики по помехам: I — исходная сейсмограмма, представленная наложением четырех волн $v_1 : v_2 : v_3 : v_4 = 10 : 6 : 4,2 : 3,6$ км/сек с отношением амплитуд $6 : 10 : 15 : 1$; II, III — результаты последовательного вычитания первой и второй помех, $n=3$; IV — результат вычитания третьей помехи, $n=5$, и выделение сигнала v_4 (вертикальный масштаб увеличен в 12 раз). 1—3 — волны v_1, v_2, v_3 ; 4 — границы сигнала; 5 — заданная форма сигнала

Набор оптимальных фильтров с разным числом элементов и соответствующих им карт рельефа $A(f, \tau)$ позволяет определить фильтры для надежного приема либо пакета сигналов, либо, при последовательном вычитании волн, найти оценки параметров интерферирующих сигналов и помех. На рис. 2 приведен пример выделения слабого сигнала, интерферирующего с помехами, несимметричными оптимальными скоростными фильтрами.

Научно-исследовательский
институт морской геофизики
Краснодар

Поступило
30 III 1976

ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Ф. М. Гольцман, Основы теории интерференционного приема регулярных волн, М., 1964.
- ² М. К. Поликов, Теория аналоговой и цифровой сейсморазведочной аппаратуры, М., 1973.
- ³ А. И. Слуцковский, Сейсморазведочная аппаратура, М., 1970.
- ⁴ В. И. Мешбей, Сейсморазведка методом общей глубинной точки, М., 1973.
- ⁵ Ю. В. Тимошин, Основы дифракционного преобразования сейсмических записей, М., 1972.
- ⁶ Сейсмические волны в тонкослоистых средах, М., 1973.
- ⁷ Физические основы сейсмического метода отраженных волн в платформенных условиях, М., 1974.
- ⁸ Теория и практика сейсмического метода РНП, М., 1962.
- ⁹ Ф. М. Гольцман, Статистические модели интерпретации, М., 1971.
- ¹⁰ Цифровая обработка сейсмических данных, М., 1973.