

УДК 528.932.5; 681.883.2

КЕПСТРАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ ПРОФИЛЬНОЙ ГРУНТОВОЙ СЪЕМКИ ДОННОГО ГРУНТА

© Р.Д. Шилов, 2006

Научно-технический центр панорамных акустических систем НАН Украины, г. Запорожье

В роботі проведено порівняльний аналіз ефективності класичної методики вимірювання товщі шарів донного ґрунту та методики, основаної на попередній кепстральній обробці відбитих сигналів.

В работе проведен сравнительный анализ эффективности классической методики измерения толщины слоев донного грунта и методики, основанной на предварительной кепстральной обработке отраженных сигналов.

Comparative analysis of effectiveness of the classical procedure of thickness measurement of bottom soil layers and the procedure based on cepstral return signal preprocessing has been carried out in the paper.

При проведенні профільної ґрунтової з'їмки дна одної з основних задач являється вимірювання товщини шарів ґрунту. Товщина шарів ґрунту визначається або вимірюванням часових запоздувань між сигналами, відбитими від меж шарів [1], або визначенням імпульсної характеристики шару. В даній роботі розглянемо шар товщиною h , лежачий між полубесконечними водною і підстиляючою середовищами. В цьому випадку коефіцієнт відбиття від шару (якщо нехувати багаторазовими переотраженнями) можна записати в вигляді:

$$\dot{R}(\omega) = \dot{R}_b(\omega) + \dot{W}_b^{\text{пр}}(\omega) \dot{R}_h(\omega) \dot{W}_b^{\text{обр}}(\omega) e^{-2\alpha(\omega)h} e^{-j\omega 2h/v_\phi(\omega)}, \quad (1)$$

де $\dot{R}_b(\omega)$ – коефіцієнт відбиття від верхньої межі шару;

$\dot{W}_b^{\text{пр}}(\omega)$, $\dot{W}_b^{\text{обр}}(\omega)$ – коефіцієнти проходження верхньої межі шару в прямому і зворотному напрямках;

$\dot{R}_h(\omega)$ – коефіцієнт відбиття від нижньої межі шару;

$\alpha(\omega)$ – коефіцієнт затухання акустичної хвилі в шару;

$v_\phi(\omega)$ – фазова швидкість акустичної хвилі в шару.

Якщо $s(t)$ – зондувальний сигнал, а $\dot{S}_s(\omega)$ – його спектр; $x(t)$ – відбитий сигнал, а $\dot{S}_x(\omega)$ – його спектр, то:

$$\dot{R}(\omega) = \frac{\dot{S}_x(\omega)}{\dot{S}_s(\omega)}. \quad (2)$$

Множник $1/\dot{S}_s(\omega)$ виконує нормування спектра відбитого сигналу (інверсна фільтрація). Зворотне перетворення виразу (2) дає імпульсну характеристику шару, яка містить інформацію про товщину h . При цьому утворюються

сигналы $g_b(t)$ и $g_n(t-2h/v)$, близкие к импульсным характеристикам верхней и нижней (с учетом прохождения верхней границы) границ слоя. Недостатком такого метода обработки является необходимость знания зондирующего сигнала. Эту задачу можно решить с помощью кепстральной обработки [2].

Кепстром мощности называется обратное преобразование Фурье логарифма энергетического спектра [3]:

$$C[x(t)] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \ln[S_x^2(\omega)] e^{j\omega t} d\omega. \quad (3)$$

На рис. 1 показан пример синтезированного отраженного от однородного слоя сигнала $x(t)$ и его кепстра $C[x(t)]$ [2]. Применение нелинейной операции (логарифмирование) приводит к появлению дополнительных осцилляций кепстра с периодом $2h/v$.

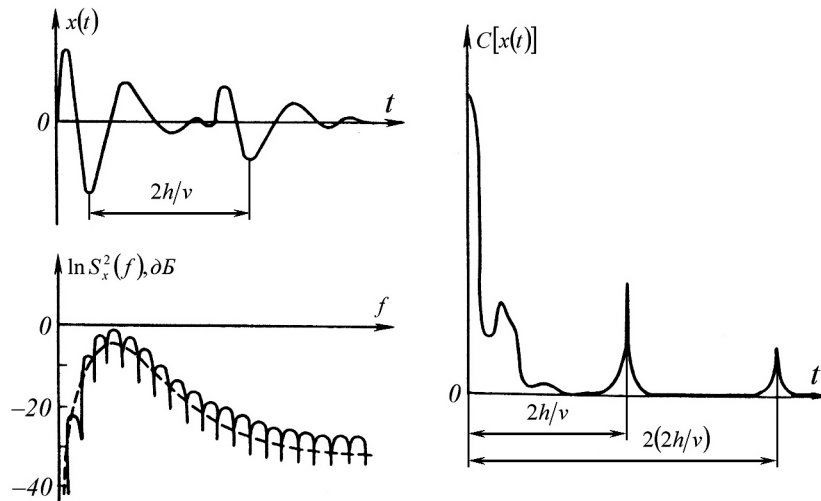


Рис. 1. Кепстральная обработка сигналов $x(t)$ – принимаемые сигналы; $C[x(t)]$ – их кепстр.

Проведем сравнительный анализ эффективности классической методики измерения временного сдвига между максимумами и при предварительной кепстральной обработке отраженных сигналов.

Для сравнительного анализа влияния шумов было проведено исследование точностных характеристик в зависимости от отношения сигнал/шум для различных значений отношений к амплитуд сигналов, отраженных от границ слоя, и для различных значений временного сдвига между импульсами. На вход схемы обработки подавался синтезированный отраженный от однородной однослойной среды сигнал $\dot{S}_x(t) = \dot{S}_s(t) * g(t)$.

Здесь $s(t) = (t^2/\tau^2) e^{-(t^2/\tau^2)}$ – импульс Максвелла (τ – длительность зондирующего импульса); $g(t) = g_b(t) + g_n(t-2h/v) = k_b \delta(t) + k_n \delta(t-2h/v)$ – импульсная характеристика слоя. К

отраженному сигналу добавлялся белый шум с нормальным законом распределения и нулевым средним. Вычислялось среднеквадратичное отклонение σ .

На рис. 2 представлены точностные характеристики классической (а) и кепстральной (б) обработки при $k_B=0,5$ и различных $k=k_H/k_B$.

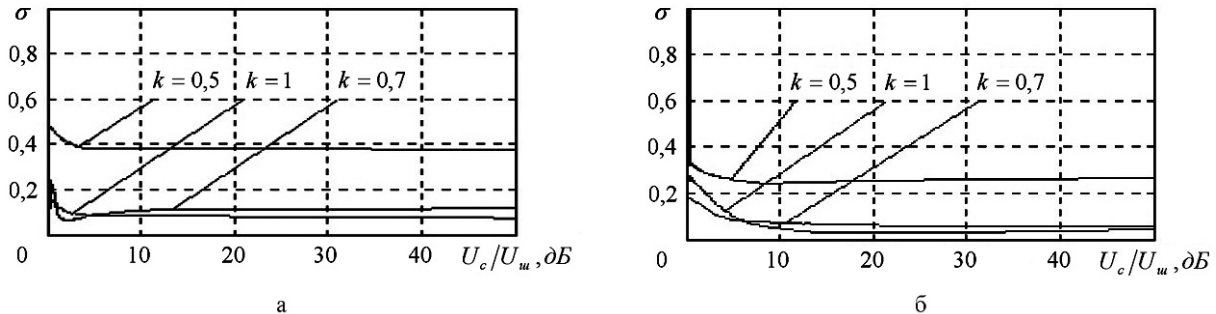


Рис. 2. Точностные характеристики классической (а) и кепстральной (б) обработки при различных значениях отношения $k = k_H/k_B$

На рис. 3 представлены аналогичные характеристики при $k=1$ и различных $z = \Delta t/\tau_{0,5}$ ($\tau_{0,5}$ – длительность зондирующего импульса по уровню 0,5 от максимума).

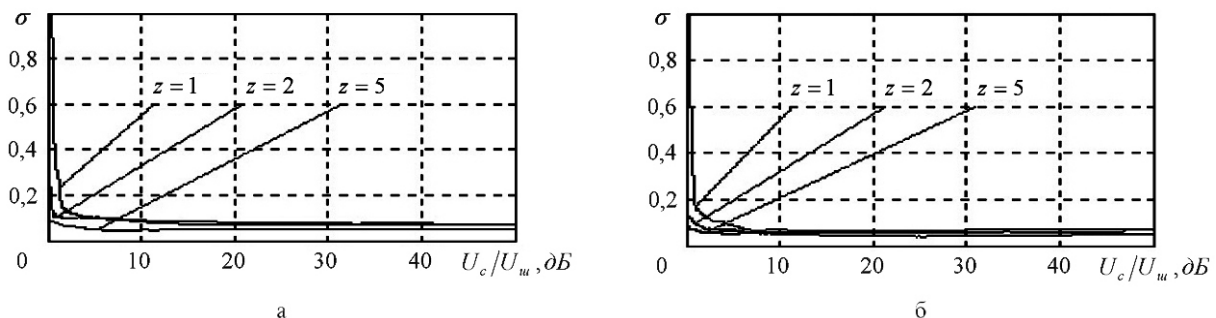


Рис. 3. Точностные характеристики классической (а) и кепстральной (б) обработки при различных значениях отношения $z = \Delta t/\tau_{0,5}$

Анализ полученных результатов показывает, что точность определения задержки растет с увеличением отношения сигнал/шум при уменьшении отношения уровней сигналов, отраженных от границ слоя, и при увеличении времени задержки. Зависимости на рис. 2 позволяют сделать вывод о том, что для повышения точности определения толщины слоя в приемном тракте необходимо использовать адаптивную ВАРУ, адаптированную таким образом, чтобы отношения значений уровней сигналов, отраженных от границ слоя, были как можно ближе к единице.

Литература

1. Ширман Я.Д., Манжос В.Н. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех. – М.: Радио и связь, 1981.– 416с.
2. Подповерхностная радиолокация / Под редакцией М.И.Финкельштейна. – М.: Радио и связь, 1994, 216 с.
3. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Радио и связь, 1986. – 512 с.