

УДК 620.179.16:691.328.1

Р.М. Гайсин, А.А. Ермолин, В.Л. Шкуратник

ВЫЯВЛЕНИЕ ОТРАЖАЮЩИХ ГРАНИЦ В МЕРТВОЙ ЗОНЕ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ЭХОЛОКАЦИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ПОДЗЕМНОГО ЗАЛОЖЕНИЯ

Изложен способ обработки отраженных эхо-сигналов при ультразвуковой локации. Использование вейвлет-анализа позволяет выделить отраженные сигналы от дефектов находящихся в мертвом зоне преобразователя. Рассмотрены случаи различных отражающих границ – плоской, цилиндрической..

Ключевые слова: ультразвуковой контроль, эхолокация, мертвая зона, разложение сигнала, вейвлет-анализ, вейвлет Добеши, уровень разложения, отражающая граница.

Семинар № 3

Ультразвуковая локация основана на излучении и приеме отраженных ультразвуковых колебаний (УЗК). Отражение УЗК происходит от границы раздела сред с различными волновыми сопротивлениями. Эти границы обычно привязывают к дефектным местам в контролируемом объекте. При этом одной из проблем является наличие «мертвой» зоны. Если дефект расположен слишком близко к поверхности, то сигнал от него приходит раньше, чем закончится зондирующий импульс, на фоне которого этот сигнал не будет замечен. Как следствие дефект не обнаруживается, что иллюстрирует схема на рис. 1.

Для уменьшения величины мертвой зоны увеличивают частоту зондирующих импульсов, а также применяют различные меры по уменьшению их длительности [1]. При эхолокации таких материалов, как горные породы, железобетон повышение частоты зондирующего импульса ограничено, так как сопровождается значительным возрастанием затухания. В частности, рабочая частота ультразвукового де-

фектоскопа «Монолит» при работе с преобразователем типа “фазированная решетка” составляет 55 кГц. При длительности излучения 1,5 периода протяженность излучаемого импульса в материале (бетон, скорость $c=2700$ м/с), определяющая величину приповерхностной мертвой зоны, составляет около 8 см.

Принятый эхо-сигнал содержит зондирующий импульс и отраженные сигналы. Таким образом, сигналы, отраженные от границ лежащих в мертвом зоне, будут находиться во временном интервале, который перекрывается зондирующим импульсом. Выделить эти отраженные сигналы при помощи фильтрации невозможно, так как и излученный и отраженный сигнал имеют одинаковый спектр. В последнее время получил распространение вейвлет-анализ. Если в традиционном Фурье-анализе разложение сигнала происходит по бесконечным гармоникам и при этом теряется информация о локализации особенностей сигнала (изменение частоты, изменение фазы), то в случае вейвлет-анализа особенности сигнала

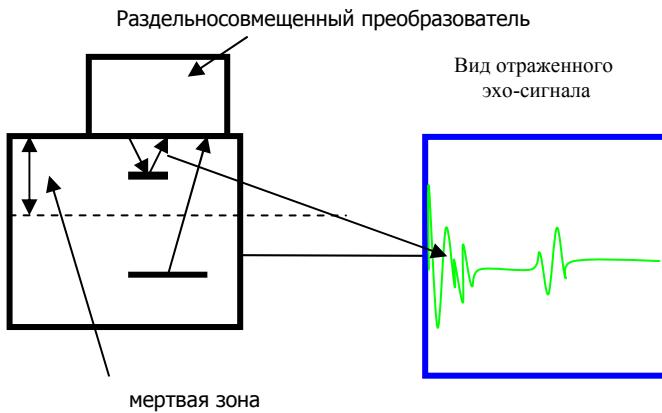


Рис. 1. Мертвая зона в объекте контроля

(«зазубрники») выделяются достаточно хорошо.

Суть вейвлет-разложения – это представление исходного сигнала как скалярного произведения масштабирующей функции $\varphi_{j,k}$ с исходным сигналом $f(1)$ плюс скалярное произведение вейвлет-функции $\psi_{j,k}$ (порожденной масштабирующей функцией) с исходным сигналом (2)

$$a_{j,k} = (f, \varphi_{j,k}) = \int_R f(x) \varphi_{j,k}(x) dx, \quad (1)$$

$$d_{j,k} = (f, \psi_{j,k}) = \int_R f(x) \psi_{j,k}(x) dx. \quad (2)$$

Если аппроксимирующие коэффициенты $a_{j,k} = (f, \varphi_{j,k})$ связаны с медленными изменениями сигнала, то детализирующие $d_{j,k} = (f, \psi_{j,k})$ несут информацию об изменениях сигнала в течение короткого промежутка времени, в частности об изменении фазы. Далее процедуру разложения можно применить к набору полученных аппроксимирующих коэффициентов и получить коэффициенты более высокого уровня разложения. Вейвлет-анализ сигнала заключается в изучении и обработке полученных ко-

эффициентов разных уровней. Его можно применить и к детализирующим коэффициентам.

Основным вопросом, который может быть решен лишь экспериментально, является выбор вейвлет-функции и уровня разложения. Рассмотрим вейвлет-анализ синтезированного сигнала. Смоделируем принятый эхо-сигнал при наличии отражающей границы, которая находится в мертвом зоне. Так как

отражающая граница находится на незначительном расстоянии от преобразователя, то энергия многократных отражений достаточно велика и принятый сигнал будет суммой сигналов. Это – зондирующий импульс (s) и смешанные по времени относительно зондирующего и друг друга многочленные отражения (ограничившимся $4 - s_1, s_2, s_3, s_4$). На рис. 2 приведена форма зондирующего импульса. Отраженные сигналы имеют такую же форму, но меньшую амплитуду. Амплитуда отраженных сигналов будет уменьшаться по экспоненте при увеличении номера сигнала (от s_1 к s_4). Сложим все сигналы, для удобства сдвигнем зондирующий сигнал от начала отсчета. Форма полученного сигнала приведена на рис. 3. Видно, что по форме сигнал с отражениями в мертвом зоне отличается от принятого сигнала без отражений (рис. 2). Но что-то конкретно сказать о наличии отражающих границ в мертвом зоне нельзя.

Проведем вейвлет-анализ смоделированного сигнала. В качестве вейвлет-функции возьмем вейвлет Добеши db5, разложение будем проводить до 2 уровня. Результаты декомпозиции сигнала приведены на рис. 4.

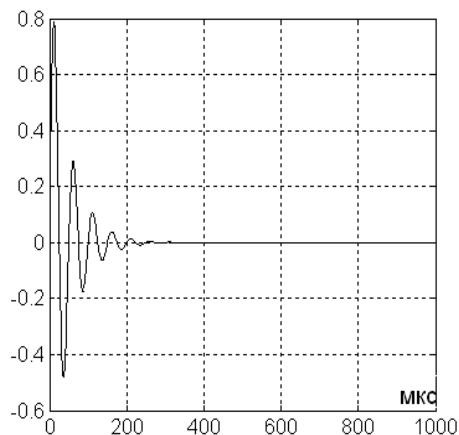


Рис. 2. Форма зондирующего импульса (s)

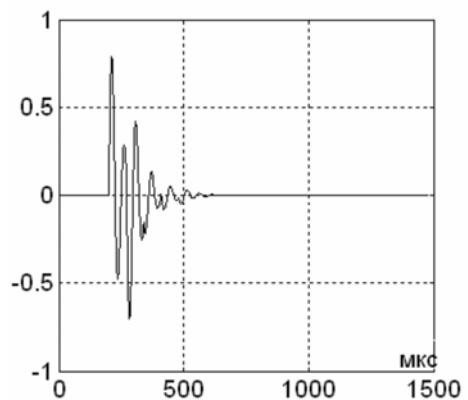


Рис. 3. Форма моделированного импульса ($\text{sum}=s+s_1+s_2+s_3+s_4$)

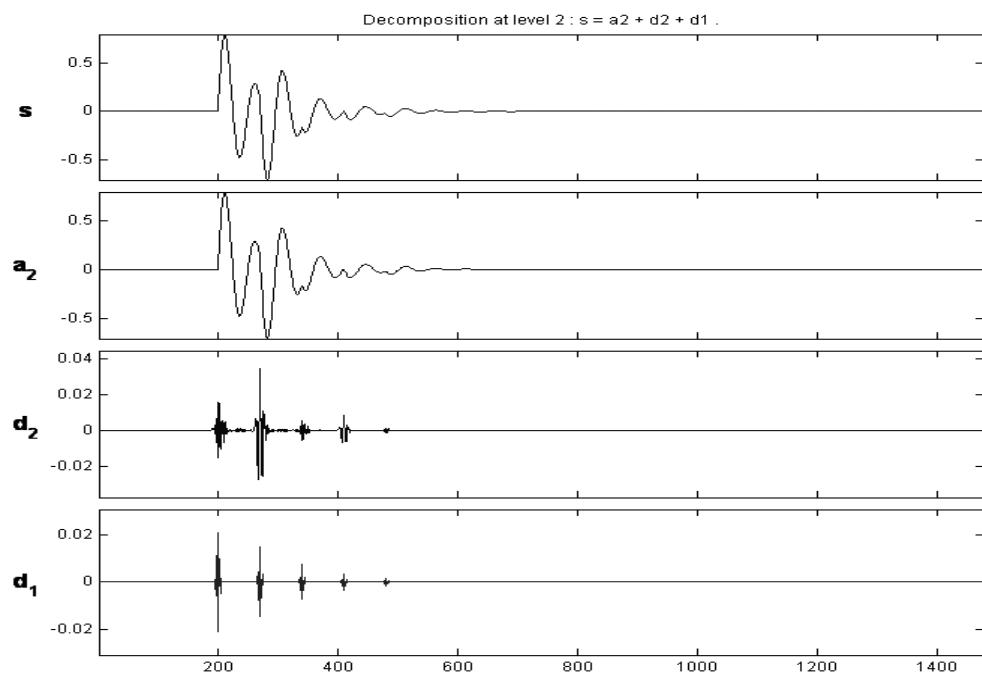


Рис. 4. Графическое представление коэффициентов вейвлет-разложения смоделированного сигнала: s – смоделированный сигнал, a_2 – аппроксимирующие коэффициенты второго уровня разложения, d_1 , d_2 – детализирующие коэффициенты 1 и 2 уровня разложения, ось абсцисс – время в мкс, ось ординат – относительная амплитуда

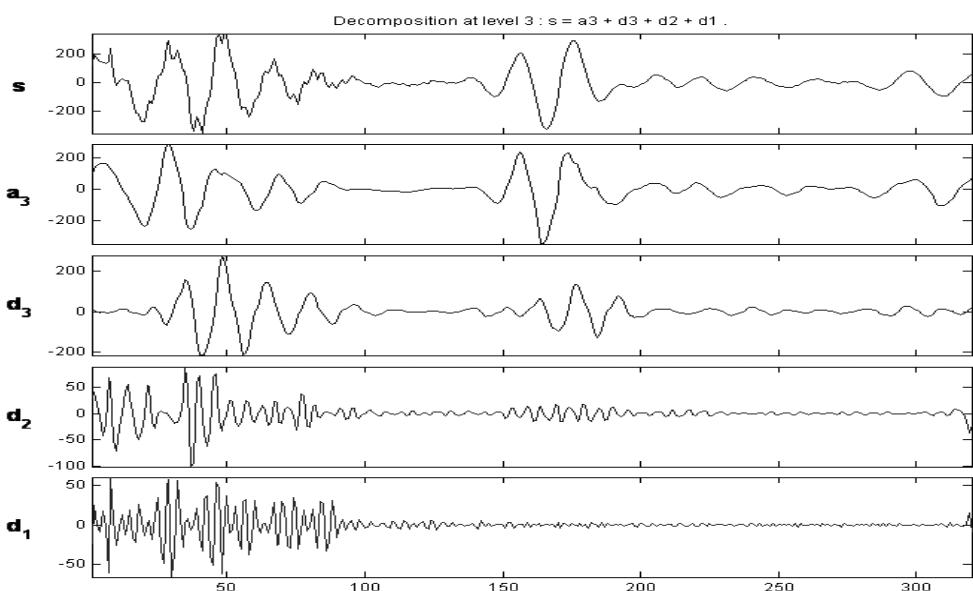


Рис. 5. Графическое представление коэффициентов вейвлет – разложения эхосигнала от полимерного анкера

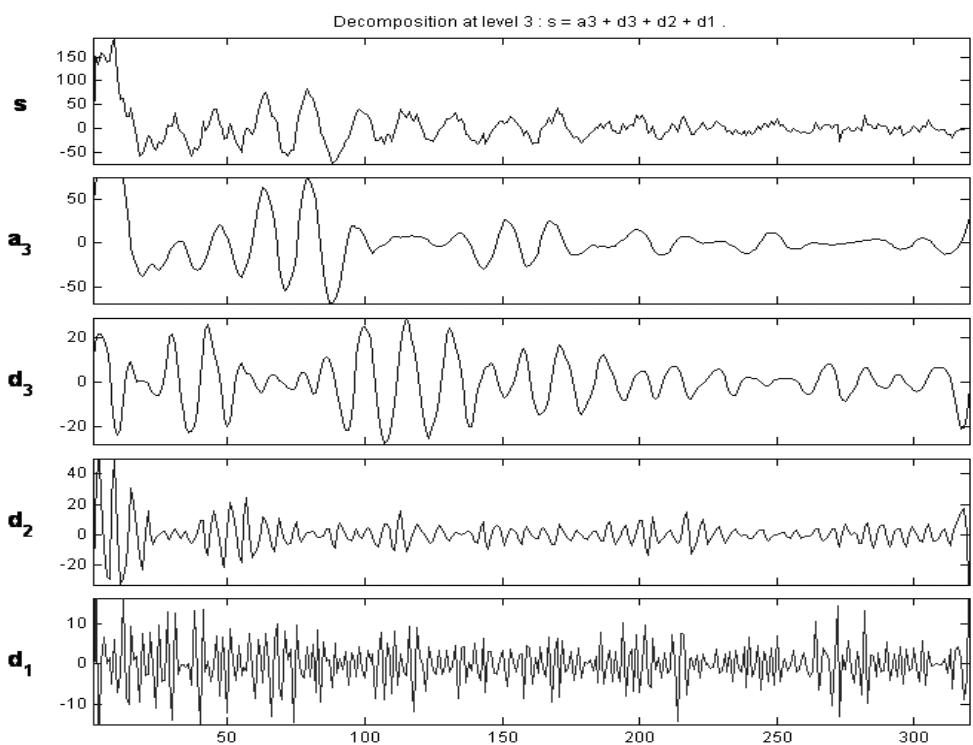


Рис. 6. Графическое представление коэффициентов вейвлет-разложения эхосигнала от технологического отверстия

Вейвлет-анализ смоделированного сигнала выявляет на графиках детализирующих коэффициентов «спрятанные» в исходном сигнале отражения. В данном случае достаточно использовать разложение второго уровня. По времени появление всплесков на графиках соответствует положению «отраженных» сигналов в исходном смоделированном. Выбор вейвлета Добеши был осуществлен экспериментально, результаты разложения сигнала различными вейвлет – функциями сравнивались между собой. Более достоверные результаты дал вейвлет Добеши db5.

Рассмотрим разложение реальных сигналов. При дефектоскопии бетонных блоков подземного коллектора в зоне контроля встречались полимерные анкера (глубина заложения 30-40 мм, ширина 30 мм, длина 1000мм), что меньше величины мертвых зон (80 мм). Результаты вейвлет-анализа отраженного сигнала от полимерного анкера приведены на рисунке 5.

Здесь разложение осуществлялось до 3 уровня, на графиках детализирующих коэффициентов 2 и 3 уровня наблюдаются всплески, соответствующие отражениям от полимерного анкера. На рисунке 6 показано разложение сигнала, полученного при про-звучивании бетонного блока с технологическим отверстием диаметром 60мм, залегающим на глубине 70 мм.

Для отверстия всплески на графиках детализирующих коэффициентов (2 и 3 уровня) смешены относительно друг друга по времени в отличие от сигнала отраженного от полимерного анкера. Это связано с тем, что анкер имеет плоскую отражающую границу, а отверстие – цилиндрическую. В связи с этим отраженный сигнал имеет более сложную форму.

Полученные результаты свидетельствуют, что применение вейвлет – анализа для обработки эхосигналов позволяет выделять отражения от дефектов находящихся в мертвых зонах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ермолов И.Н. Теория и практика ультразвукового контроля. М.: Машиностроение, 1981, 240 с.
2. Смоленцев Н.К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB. – М.:ДМК Пресс, 2005. – 304 с. ГИАБ

Коротко об авторах

Шкуратник В.Л. – доктор технических наук, заведующий кафедрой «Физико-технический контроль процессов горного производства», Email:ftkp@mail.ru
Ермолин А.А. – кандидат технических наук, старший научный сотрудник кафедры «Физико-технический контроль процессов горного производства», Email:ftkp@mail.ru
Гайсин Р.М. – кандидат технических наук, доцент кафедры «Физико-технический контроль процессов горного производства», Email:rmgaisin@mail.ru
Московский государственный горный университет,
Moscow State Mining University, Russia, ud@mstu.ru