Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
1984, т. 101

УДК 550.834.06

УПРАВЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИМ ДИАПАЗОНОМ РЕГИСТРАЦИИ В ЦИФРОВЫХ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

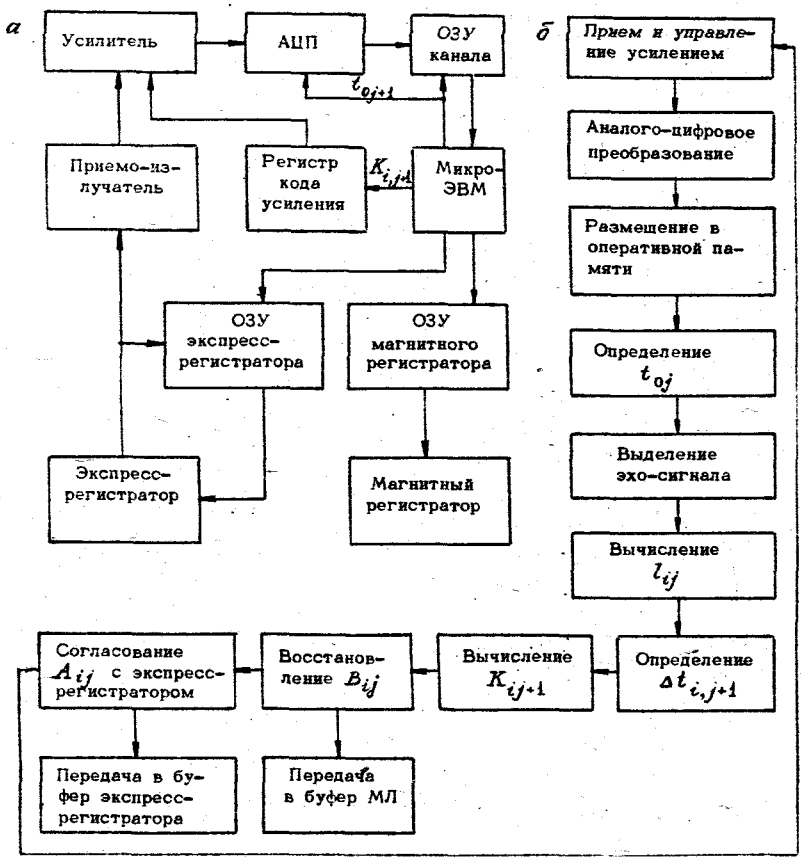
А.И.СВЕЧНИКОВ

При геофизических исследованиях на акватории, проводимых с целью изучения структуры и состава донных отложений, часто используют сейсмоакустические методы, причем на этапе интерпретации обычно анализируется информация, представляющая собой реакцию изучаемой среды на воздействие зондирующего акустического импульса. В результате воздействия зондирующего импульса на слоистую среду возникает вторичное акустическое поле, т.е. последовательность эхо-сигналов. Эта последовательность несет в себе информацию как о структуре (положение эхо-сигнала на временной оси), так и о физико-механических свойствах изучаемого разреза (изменение характеристик эхо-сигнала). При обработке регистрируемой информации учитывается как реальная динамика изменения амплитудных значений эхо-сигналов в регистрируемой последовательности, которая может достигать 100-120 дБ, так и характер изменения структурных характеристик эхо-сигнала, полученного от интересующей акустической границы в толще осадка.

Измерение необходимых характеристик эхо-сигнала в цифровых сейсмоакустических системах выполняется с помощью операции аналого-цифрового преобразования, при этом точность передачи и восстановления эхо-сигнала в первую очередь определяется степенью оптимальности использования динамического диапазона аналого-цифрового преобразователя.

В настоящее время в сейсмоакустических системах обычно применяется временная автоматическая регулировка усиления (ВАРУ), обеспечивающая изменение коэффициента усилителя в соответствии с затуханием акустической энергии при распространении зондирующего импульса в среде. Причем изменение коэффициента усиления выполняется либо по экспоненциальному закону, либо пропорционально квадрату времени распространения акустического импульса. Используемые способы ВАРУ не в состоянии учесть реальной динамики изменения амплитудных значений регистрируемой последовательности эхо-сигналов, которая носит весьма сложный характер.

Донные осадки, особенно в прибрежной зоне, характеризуются довольно частой сменой литологического состава как по площади, так и по разрезу, что приводит к резким изменениям импедансных характеристик. В связи с этим возникает необходимость использования оперативных способов управления динамическим диапазоном регистрации при сейсмоакустических работах по картированию донных осадков.



Реализация системы адаптивного управления динамическим диапазоном регистрации: а – структурная схема системы; б – обобщенный алгоритм выполнения процедуры адаптивного управления динамикой принимаемых эхо-сигналов

Внедрение в практику сейсмоакустических исследований цифровых сейсмоакустических регистраторов позволяет перейти к созданию активных, адаптивных систем управления усилением.

Использование микро-ЭВМ (см. рисунок) в составе сейсмоакустического цифрового измерительного комплекса для обработки регистрируемой информации в реальном масштабе времени обеспечивает возможность активного слежения за динамикой эхо-сигналов в соответствии с принятыми критериями управления. В этом случае управляющая информация поступает с цифрового выхода микро-ЭВМ в регистр кода усиления усилителя. Последовательность смены управляющей информации в регистре кода усиления определяется значениями коэффициентов усиления K_{ij}, вычисленными для i-го временного интервала. Величина временного интервала Δt_{ij}, в котором поддерживается значение K_{ij} определяется принятой методикой управления и может принимать либо фиксированные значения, либо вычисляться с учетом временного положения регистрируемых эхо-сигналов.

В первом случае время регистрации t_p в текущем цикле зондирования разбивается на I интервалов, причем длительность интервала Δt_{ij} обычно принимается равной длительности зондирующего импульса $t_и$. Во втором случае величина I зависит от числа выделяемых в разрезе акустических границ.

При реализации адаптивной системы управления динамическим диапазоном регистрации целесообразно использование режима активного отслеживания первых вступлений сейсмоакустической трассы, который позволяет определять значение времени появления первых вступлений первого эхо-сигнала t_{0j} для каждого j-го цикла зондирования. Функционирование адаптивной системы управления обеспечивается как аппаратурными средствами (рисунок, а), так и средствами программного обеспечения. Причем эффективность работы активной системы управления определяется в основном выбранной методикой и гибкостью алгоритмов выполнения процедуры адаптивного слежения за динамикой регистрируемых эхо-сигналов в каждом цикле зондирования.

Процедура адаптивного управления динамическим диапазоном регистрации (рисунок, б) состоит из последовательности операций, выполняемых цифровой сейсмоакустической системой. Операции автоматического управления коэффициентом усиления усилителя, аналого-цифрового преобразования и размещения цифровых представлений эхо-сигналов в оперативной памяти реализуются на аппаратурном уровне. Операции вычисления интервалов управления Δt_{ij}, определения времени начала регистрации t_{0j}, формирования коэффициентов усиления K_{ij} и восстановления амплитудных значений эхо-сигнала выполняются с помощью микро-ЭВМ на основании результатов обработки сейсмоакустической информации, поступающей в текущем цикле зондирования. Одной из основных операций при этом является операция определения времени прихода эхо-сигнала от акустической границы, которая включает в себя операции выделения эхо-сигнала, определения положения максимума его огибающей на временной оси и ликвидации эхо-сигналов, вызванных кратными отражениями.

Операция выделения эхо-сигнала на временной оси в качестве исходной информации использует цифровые выборки эхо-сигнала, объем которых N за один период зондирования составляет около двух-четырех тысяч выборок. Если учесть, что процедура адаптивного управления выполняется в реальном масштабе времени, то можно получить следующее соотношение для определения коэффициента сложности обработки γ при выполнении операции выделения эхо-сигнала на одну выборку: $\gamma = T\alpha/\beta N$, где T – период зондирования; α – коэффициент представительности операции в общем объеме обработки; β – среднее время выполнения одной команды микро-ЭВМ.

Использование в составе сейсмоакустического измерительного комплекса микро-ЭВМ «Электроника С5-21» позволяет получить значение $\gamma = 25 \div 50$ машинных команд на одну выборку при $T = 1$ с и $\alpha = 0{,}5$. Очевидно, что величина быстродействия используемой микро-ЭВМ определяет степень сложности используемых алгоритмов выполнения операции выделения эхо-сигнала.

Рассмотрим особенности выполнения операции порогового выделения эхо-сигнала на временной оси для случая представления регистрируемой информации в форме чисел с фиксированной запятой. Введем обозначения: M_1 – раз-

рядность аналого-цифрового преобразователя; M_2 - разрядность микропроцессорной системы. При $M_1 < M_2$ расширение динамического диапазона регистрируемых сигналов осуществляется за счет изменения коэффициента усиления усилителя K_m в пределах от I до M_2/M_1.

Значениям коэффициента усиления K_m могут быть поставлены в соответствие значения среднего уровня акустических шумов u_m, величина которых принимается в качестве порога при выполнении операции порогового выделения эхо-сигналов на временной оси.

В процессе сейсмоакустических измерений значение среднего уровня акустических шумов u_m для соответствующего диапазона регистрации не остается постоянной величиной, а изменяется в зависимости от рельефа дна, глубины акватории и характера донных отложений. Поэтому при реализации активной системы слежения за коэффициентом усиления время регистрации t_p включает в себя I-2 интервала Δt_{ij} из последовательности J интервалов, которые предшествуют интервалу, содержащему первые вступления первого эхо-сигнала. На этих интервалах в каждом цикле зондирования анализируется средний уровень шума, величина которого используется для коррекции значений u_m.

Режим адаптивного управления динамическим диапазоном регистрации устанавливается в процессе нескольких итеративных циклов. Начальное значение времени t_{01} поступает в микро-ЭВМ с пульта управления, а исходные значения коэффициентов принимаются следующими: $K_{i1} = K_m|_{m=1}$; $u_{i1} = u_m|_{m=1}$. После окончания приема информации в первом цикле зондирования микро-ЭВМ осуществляет поиск максимального значения цифровой выборки, превышающей порог u_{11}, на каждом интервале t_{i1}, при этом определяется ее положение на временной оси l_{ij} и выполняется анализ на возможность организации либо самостоятельного сигнала (по корреляции формы огибающей с формой зондирующего импульса), либо фрагмента эхо-сигнала, максимальное значение которого находится в соседнем интервале. Далее вычисляются величины максимальных значений огибающих эхо-сигналов A_{ij} в каждом временном интервале и выполняется операция уничтожения эхо-сигналов, возникающих в результате кратных отражений. Для выделенных эхо-сигналов $l_{ij} = t_{0j} + N_i \Delta t$, где Δt - шаг квантования; N_i - адрес ячейки оперативного запоминающего устройства, в котором выделено максимальное значение огибающей i-го эхо-сигнала. На основании полученных значений l_{ij} формируются временные интервалы для последующего $(j + 1)$-го цикла зондирования, в которых ожидается прием эхо-сигналов. Временная неопределенность δt появления эхо-сигналов в $(j + 1)$-м цикле зондирования определяется динамикой изменения геометрии изучаемого разреза и может быть вычислена по формуле

$$\delta t = v \operatorname{tg}\varphi T / 2c ,$$

где v - скорость движения судна; c - скорость звука в воде; φ - угол падения сопровождаемого слоя.

В реальных условиях δt равна нескольким миллисекундам. С учетом временной неопределенности δt интервалы появления эхо-сигнала в $(j+1)$-м цикле зондирования определяются выражениями $l_{ij}+\frac{t_и}{2}-\delta t$, $l_{ij}+\frac{t_и}{2}+\delta t$. Для полученных временных интервалов вычисляются коэффициенты усиления усилителя с учетом амплитудного значения огибающей эхо-сигнала A_{ij} и динамического диапазона аналого-цифрового преобразователя D:

для прогнозируемых временных интервалов, в которых ожидается прием эхо-сигналов в $(j+1)$-м цикле зондирования,

$$K_{i,j+1}=\alpha_1 DK_{ij}/A_{ij};$$

для временных интервалов, в которых не выделены эхо-сигналы

$$K_{i,j+1}=\alpha_2 DK_{ij}/u_{ij},$$

где u_{ij} – среднее значение уровня шума для интервалов времени Δt_{ij}, α_1 и α_2 – коэффициенты использования динамического диапазона аналого-цифрового преобразователя соответственно для полезных эхо-сигналов и шума.

Величина α_1 находится обычно в пределах 0,5–0,8, что при разбросе амплитудных значений огибающей эхо-сигнала от измерения к измерению в пределах 20 % позволяет использовать практически весь динамический диапазон аналого-цифрового преобразователя. Для шумовых сигналов величина α_2 выбирается обычно в пределах 0,3–0,4.

Восстановление реальной динамики развития амплитудных значений эхо-сигналов при использовании адаптивных цифровых систем управления динамическим диапазоном регистрации осуществляется с использованием следующего соотношения:

$$B_{ij}=A_{ij}/K_{ij}\beta_{ij},$$

где B_{ij} – абсолютное значение огибающей эхо-сигнала; β_{ij} – коэффициент, характеризующий уменьшение амплитуды зондирующего импульса от времени распространения.

Восстановление абсолютных значений эхо-сигнала с учетом коэффициента β_{ij} позволяет исключить влияние на характеристики отраженных эхо-сигналов затухания, обусловленного геометрическим расхождением энергии акустической волны в среде, и использовать восстановленные значения для вычисления характеристик затухания в исследуемом разрезе.

Использование адаптивных систем управления усилением в отличие от существующих пассивных обеспечивает возможность выделения и регистрации слабых отражений на фоне сильных, позволяет с одинаковой относительной погрешностью вычислять признаковые характеристики для любого эхо-сигнала из регистрируемой последовательности независимо от их динамики.