

ТЕХНОЛОГИЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ЛОКАЦИИ. I. ОБНАРУЖЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ И ЛОКАЦИЯ ИХ МГНОВЕННЫХ ФАЗ

Е.В. Рабинович

д-р техн. наук, профессор, e-mail: rabinovich@corp.nstu.ru

Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Россия

Аннотация. В целях построения сейсмических изображений высокого разрешения и точности предлагается оригинальная технология сейсмической локации. Излагается первая часть технологии. Показано применение методов статистической радиотехники для решения задач оптимального приёма и обнаружения в условиях шумов и помех сейсмических импульсов и локации их мгновенных фаз. На основе полученных решений удаётся организовать обработку сейсмических данных с точностью, необходимой для построения сейсмических изображений высокого разрешения. Технология свободна от ряда процедур традиционной предварительной обработки сейсмограмм, вносящих искажения в полевые данные.

Ключевые слова: обнаружение, сейсмический импульс, мгновенная фаза, ось синфазности волны.

Введение

Актуальной задачей сейсморазведки является построение качественных детальных сейсмических изображений осадочной толщи – глубинных разрезов, кубов данных и пр. Такое построение должно опираться на информацию, содержащую точную оценку скоростных свойств слоев среды, конфигурации их границ, глубины залегания и расположения и др.

Источником требуемой информации являются обнаруженные на поверхности наблюдения данные о временном поле сейсмических волн, отражённых и/или преломлённых от глубинных границ. Это поле регистрируется сейсмоприёмниками в точках профиля наблюдения при неизменном положении искусственного источника возбуждения колебаний (взрыва или вибратора).

Само построение сейсмических изображений реализуется в рамках геометрической сеймики продольных отражённых волн, которая использует кинематические параметры временных полей сейсмических волн (форма лучей и изохрон отражения). Такой подход представляет собой предельный случай, когда в волновом уравнении длина волны стремится к нулю, что схематизирует процесс распространения волны, выделяя движение энергии сейсмического импульса (СИ) как целого [1].

Очевидно, что основным объектом исходного уровня обработки сейсмических данных является СИ. Качественная оценка его параметров предоставляет необходимую информацию для высокоточного построения сейсмических изображений.

К сожалению, в современной обработке сейсмической информации роль СИ сильно недооценена.

Кроме того, ряд процедур традиционной предварительной обработки полевых данных ограничивает качество построения сейсмических изображений. Эти процедуры обычно включают в себя подавление разнообразных волн-помех, различные виды пространственно-частотной фильтрации СИ, исключение из рассмотрения наиболее зашумлённых областей сейсмограммы (мьютинг). Такие действия не всегда достаточно эффективны. Кроме того, они искажают состав комплексного спектра принятых сигналов, включая СИ, а также сокращают объём исходных данных.

Таким образом, неполное использование информации, содержащейся в параметрах СИ, использование недостаточно корректных процедур предварительной обработки полевых данных негативно влияет на качество построения сейсмических изображений.

В цикле статей автора представлена разработка оригинальной технологии сейсмической локации, предназначенной для построения качественных детальных сейсмических изображений осадочной толщи. Особое внимание уделяется повышению точности вычерчивания элементов и разрешающей способности сейсмических изображений.

Технология предназначена для отображения параметров обнаруженных СИ сначала в изображение серии годографов отражённых волн, а затем в детальное изображение глубинного строения геологической среды.

Рассмотрение во всём цикле ведётся в рамках геометрической сейсмики монотипных продольных отражённых волн, используя базовую 2D глубинно-скоростную модель слоистой субоднородной среды. Такая модель предполагает, что волны от точечного источника искусственного возбуждения колебаний распространяются в виде СИ до приёмников базы наблюдения по лучам в форме прямых линий. Это означает, что скорости распространения СИ вдоль падающего и отражённого лучей постоянны. Но для разных пар пункт возбуждения – пункт приёма колебаний скорости СИ в слое могут различаться в зависимости от структурной формы отражающей границы. Параметры, связанные с динамикой возбуждения волн в работе, полагаются идеальными.

Для достижения высокого качества сейсмических изображений в разработке используется обращение к успешно развитым в теории и практике статистической радиотехники подходам. Эти подходы связаны с решением задач оптимального приёма и обнаружения сигналов различной природы в условиях шумов и помех. Используется также обращение к сверхразрешающим радиолокационным методам, основанным на применении цифровых антенных решёток. Название сейсмической технологии призвано отметить связь с радиолокацией.

Материал данной статьи – первой части предлагаемой локационной технологии – посвящён оптимальному приёму и обнаружению СИ, а также локации их мгновенных фаз.

Применение радиотехнических методов для обнаружения отражённых СИ позволило разработать оригинальную технологию обработки сейсмограмм, обеспечивающую точную локацию (измерение координат расположения) мгновенных фаз этих импульсов.

Корректная оценка параметров профиля волны и координат мгновенных фаз отражённых СИ обеспечивает высокую точность построения осей синфазности волн.

На сеймотрассах с малым отношением сигнал/шум радиотехнический подход позволяет с высокой точностью обнаруживать СИ, которые при другой обработке были бы пропущены. Увеличение числа СИ, обнаруженных на сеймотрассах, увеличивает число осей синфазности волн на сейсмограмме, что повышает разрешающую способность изображения серии годографов отражённых волн.

1. Теоретические результаты

Исходным сейсмическим изображением является набор сейсмических трасс, которые представляют записи искусственно возбуждённых упругих волн, зарегистрированных сейсмоприёмником на поверхности Земли при неизменном положении источника колебаний. Фактически, сейсмическая трасса является зависимостью амплитуды регистрируемых волн от времени. Набор трасс, сгруппированный по определённому признаку, называется сейсмограммой.

Сейсмограмму можно интерпретировать как кинематическую модель временного поля зарегистрированных волн. Однако для корректного исследования строения осадочной толщи необходимо точно разместить каждую из этих волн, имеющую индивидуальную скорость и другие динамические характеристики на истинной глубине и в истинном положении.

Метод отражённых волн (МОВ) играет в сейсморазведке основную роль, а построенные сейсмические изображения, согласно этому методу, имеют преимущество в точности и надёжности предоставляемой информации.

Сейсмический импульс в МОВ полагают решением эволюционного уравнения, описывающего напряжённо-деформированное состояние породы среды распространения в виде волнового пакета СИ – квазимонохроматического сигнала с узким частотным спектром. Обычно решения таких уравнений ищутся в виде нелинейных волн стационарного профиля (не изменяющих своей формы) $s(t - \frac{x}{v})$, в которых зависимость от времени и координаты определяется единой величиной $t - \frac{x}{v}$, где v – постоянная фазовая скорость волны, движущейся в направлении x . Из такой записи видно, что колебание в плоскости полностью воспроизводит колебание в плоскости $x = 0$, источником которого, согласно принципу Гюйгенса, является точка отражения, с опозданием на $\tau = \frac{x}{v}$ сек. Поэтому считается, что волна распространяется в сторону возрастающих (слева на право), если $\tau > 0$.

В большинстве горных пород [2] среда распространения СИ обладает необходимыми свойствами для того, что бы он мог пройти в среде достаточно большое расстояние, существенно не изменяя своего профиля. В этом случае нелинейные стационарные волны могут быть либо периодическими, либо уединёнными [3]. У уединённых волн, которые можно рассматривать как предельный случай периодических, скорость и амплитуда волны связаны между собой.

В [4] предложена модель сейсмической волны в виде двухпараметрического (скорость v и частота f) солитона, называемого солитоном огибающей [5]. Эта модель используется в статье в качестве образца для обнаружения СИ. Профиль волнового пакета СИ, или, короче, профиль СИ, представляет в каждой точке пространства модулированное по амплитуде гармоническое колебание с несущей частотой f , неслучайной фазой $2\pi f\tau$ и θ – случайной начальной фазой колебания. Его нормированная по амплитуде запись имеет вид:

$$s\left(t - \frac{x}{v}\right) = s(t - \tau) = \operatorname{sech}\left(\frac{t - \tau}{T_0}\right) \cos[2\pi f(t - \tau) + \theta], \quad (1)$$

где T_0 – длительность (область локализации) СИ, t – текущее время с поправкой τ на время его прихода на сейсмоприёмник, x – расстояние, пройденное импульсом между точкой отражения волны в плоскости $x = 0$ и пунктом его приёма.

Длительность образцового СИ задаётся числом m полупериодов несущей частоты $T_0 = \frac{m}{2f}$. Предполагаемая неизвестной случайная величина θ , представляющая начальный фазовый сдвиг волны, равномерно распределена на интервале $[-\pi, \pi]$.

Функция $S\left(\frac{t-\tau}{T_0}\right) = \operatorname{sech}\left(\frac{2\pi f(t-\tau)}{m}\right)$ является огибающей СИ и представляет собой колоколообразный нуль-фазовый импульс.

Большинство интерпретаторов данных сейсморазведки МОВ предпочитает нуль-фазовые импульсы [6]. В пользу этого выбора можно привести следующие доводы:

- 1) импульс является симметричным, и большая часть энергии сосредоточена в среднем лепестке (фазе колебания), а не в начале;
- 2) эта форма импульса минимизирует неоднозначность ассоциирования наблюдаемого импульса с границами раздела в разрезе;
- 3) траектория горизонта, построенная в центре импульса, совпадает во времени со временем пробега до границы раздела, обуславливающей отражение;
- 4) максимальная амплитуда расположена в центре импульса и, следовательно, совпадает с горизонтом на временном разрезе;
- 5) разрешающая способность лучше, чем для импульсов с тем же частотным составом.

Распространение волнового пакета в породе среды характеризуется движением импульса его огибающей – $S(t)$. Импульс огибающей (ИО) имеет одинаковый вид для различных начальных фазовых сдвигов сигнала, возбуждённого источником колебаний. Это позволяет рассматривать аргумент максимума амплитуды ИО в качестве робастной оценки особой мгновенной фазы СИ, характеризующей время пробега волны от точки отражения до сейсмоприёмника. Такая оценка совпадает с максимумом профиля СИ с нулевым начальным фазовым сдвигом. Использование этой оценки позволяет устранить неопределённость, связанную с трудностью выявления первых вступлений СИ в условиях помех и шумов микросейсмической обстановки при регистрации сейсмических сигналов.

Для решения многих радиотехнических задач (и нашей в том числе) исследуемый сигнал представляется в виде $s(t) = \operatorname{Re}[W] = S(t) \cos[2\pi ft + \varphi(t)]$, где $S(t)$ – огибающая сигнала, или мгновенная амплитуда, $\varphi(t)$ – его мгновенная фаза, f –

несущая частота. Производная от полной фазы сигнала $\omega(t) = 2\pi f + \frac{d\varphi}{dt}$ представляет мгновенную угловую частоту. Практический интерес имеет величина $\bar{\omega}(t)$ средневзвешенного по времени значения мгновенной частоты, где в качестве весовой функции служит мгновенная мощность огибающей $S^2(t)$.

Для исключения из спектра сигнала отрицательных частот и других процедур обработки сигналов используется функция $W = s(t) + i\hat{s}(t) = S(t)e^{i\varphi(t)}e^{i2\pi ft}$, которая называется аналитическим сигналом, а функция $S(t) = \dot{S}(t)e^{i2\pi ft}$ называется комплексной амплитудой, или комплексной огибающей сигнала. Мнимая составляющая W имеет вид $\hat{s}(t) = \text{Im}[W] = S(t) \sin[2\pi ft + \varphi(t)]$. Функции $s(t)$ и $\hat{s}(t)$, называемые квадратурами сигнала, связаны преобразованием Гильберта, а функции $S(t)$ и $\varphi(t)$ вычисляются по формулам:

$$S(t) = \sqrt{s^2(t) + \hat{s}^2(t)}, \varphi(t) = \arctan\left[\frac{\hat{s}(t)}{s(t)}\right] = \arccos\left[\frac{s(t)}{S(t)}\right]. \quad (2)$$

Последовательность $tr(t) = \sum_j s_j(t - \tau_j)$, состоящая из j волн стационарного профиля, пришедших за время наблюдения на один сейсмоприёмник, образует сейсмотрассу МОВ. Величина $\tau_j = \frac{x_j}{v_j}$ определяет время прихода максимума ИО $S_j(t)$. Набор сейсмотрасс составляет сейсмограмму МОВ, характеризующую волновое поле, созданное источником возбуждения колебаний.

Обычно в МОВ имеет место неопределённость при регистрации СИ, вызванная естественными и искусственными помехами, шумами микросейсмической обстановки, а также присутствием нецелевых волн.

Модель одной зарегистрированной отражённой волны $\xi(t)$ представляют в МОВ аддитивной смесью полезного сигнала $s(t - \tau)$ и помех, поступающих на сейсмоприёмник. К полезным (целевым) волнам относятся однократно-отражённые и дифрагированные волны.

Помеха рассматривается как суперпозиция кратнo-отражённых волн, низкоскоростных регулярных волн-помех от источника колебаний, случайных волн и микросейсм $n(t)$ [7].

Низкоскоростные регулярные помехи, представляющие собой колебания поверхности почвы, прямые и головные преломлённые волны, ограничены на сейсмограммах МОВ годографом линейной формы и легко выделяются.

Указанная неопределённость искажает информацию об истинном времени хода СИ от глубинного гипоцентра отражения (источника импульса) до сейсмоприёмника. Поэтому её уменьшение, способствующее повышению точности измерения координат местоположения СИ и его мгновенных фаз на сейсмотрассе, является одной из целей предложенной технологии.

Предполагается, что непосредственному наблюдению на конечном временном интервале $[0, T]$ сейсмотрассы доступно только входное колебание

$$\xi(t) = \alpha s(t - \tau) + n(t), 0 \leq t \leq T. \quad (3)$$

Случайная помеха $n(t)$ предполагается центрированным белым гауссовым шумом со спектральной плотностью мощности $N(\omega) = 0.5N_0$. Полезным сигналом

полагается импульс длительностью T_0 , который полностью укладывается на интервале $[0, T]$. Это означает, что

$$s(t - \tau) = \begin{cases} s(t - \tau), & 0 \leq \tau \leq t \leq \tau + T_0 \leq T \\ 0, & t < \tau, \tau + T_0 \leq t \end{cases} \quad (4)$$

Для того чтобы выделить полезные импульсы, зарегистрированные на сейсмотрассе $tr(t)$, необходимо обнаружить на ней колебания хотя бы минимально заметной амплитуды. Несмотря на простоту этого требования, задача обнаружения колебаний по заметной амплитуде, в условиях сейсмической записи, сильно затруднена.

Дело в том, что динамический диапазон регистрируемых волн в тысячи раз превышает динамический диапазон сейсмоприёмника, осуществляющего запись сигналов. Амплитуды колебаний на малых временах в сотни раз больше почти не наблюдаемых амплитуд в конце записи.

Поэтому необходима регулировка амплитуды колебаний трассы, которая обеспечивает возможность работы с колебаниями малой амплитуды. Данная процедура, хотя и является нелинейной, не изменяет локальный спектральный состав колебаний.

Преобразование Гильберта выровненной по амплитуде сейсмотрассы $tr(t)$ даёт возможность выделить огибающие присутствующих на ней импульсов. Кроме того, оно даёт возможность оценить несущую частоту f этих импульсов по средневзвешенному по времени значению мгновенной частоты $\bar{\omega}(t)$. Однако вопрос о природе этих импульсов остаётся открытым.

Задачу обнаружения СИ, возбуждённых именно источником колебаний, на сейсмотрассе $tr(t)$ решает широко применяемый в радиотехнике алгоритм квадратурного корреляционного приёма и обнаружения, названный в статье для краткости «D-алгоритм».

Реализация идеи радиолокационного обнаружения отражённых СИ основана на вероятностной процедуре проверки гипотезы о наличии полезного импульса на фоне шума и помех [8]. Она заключается в оценке значения случайной величины α в выражении 3, которая осуществляет выбор одного из двух возможных несовместных событий: $\alpha = 0$ – импульс отсутствует и $\alpha = 1$ – импульс присутствует.

Пусть неизвестен сам факт наличия или отсутствия полезного импульса $s(t - \tau)$ в колебании $\xi(t)$. Требуется по зарегистрированной на интервале $[0, T]$ реализации $\xi(t)$ решить присутствует ли или отсутствует в ней импульс $s(t - \tau)$.

Решение задачи обнаружения импульса $s(t - \tau)$ осуществляется в соответствии с критерием Байеса. При этом правило принятия решения обеспечивает минимальное значение среднего риска H . Оно зависит от вероятности правильного обнаружения импульса P_D и вероятности неправильного обнаружения импульса P_F : $H \rightarrow \min \iff P_D - \Lambda_0 P_F \rightarrow \max$, где Λ_0 – порог отношения правдоподобия.

Для принятия решения об обнаружении импульса следует вычислить отношение правдоподобия $\Lambda[\dot{\Xi}(t)]$ и сравнить его значение с Λ_0 . Здесь $\dot{\Xi}(t)$ – комплексная амплитуда входного импульса $\xi(t) = Re\dot{\Xi}(t)e^{i2\pi ft}$. Если $\Lambda[\dot{\Xi}(t)] > \Lambda_0$, то принимается решение об обнаружении импульса ($\alpha = 1$), иначе принимается решение, что он не обнаружен ($\alpha = 0$).

Наилучшее обнаружение на фоне помех отражённого импульса $s(t - \tau)$ с неизвестной случайной начальной фазой обеспечивает D-алгоритм.

Для принятия решения об обнаружении импульса в D-алгоритме вычисляется величина ρ по формулам:

$$R(\tau) = \int_0^T \dot{\Xi}(t) \dot{S}(t - \tau) dt = R_c \cos(\theta) + R_s \sin(\theta) = 0.5\rho \cos(\theta + \eta),$$

$$R_c = \int_0^T \dot{\Xi}(t) \dot{S}(t) \cos(2\pi ft) dt, R_s = \int_0^T \dot{\Xi}(t) \dot{S}(t) \sin(2\pi ft) dt,$$

$$\operatorname{tg}(\eta) = \frac{R_s}{R_c}, \rho = 2\sqrt{R_c^2 + R_s^2}.$$

Значение полученной величины ρ сравнивается в момент времени $t = T_0$ со значением порога обнаружения Λ_0 . Если порог превышен, то принимается решение об обнаружении отражённого импульса.

Полученные формулы, зависящие от комплексных амплитуд импульсов $\dot{\Xi}(t)$, $\dot{S}(t)$ и несущей частоты f , составляют основу D-алгоритма.

Из вышесказанного следует, что оптимальный приём на фоне помехи основан на применении алгоритма обнаружения отражённых СИ априорно известной или предполагаемой формы.

D-алгоритм оценивает взаимную корреляцию между образцовым импульсом, возбуждённым источником сейсмических колебаний, и импульсом, возможно содержащимся во входном сигнале, и принимает решение об обнаружении СИ.

В качестве образцового импульса в технологии используется импульс (1) с огибающей и несущей частотой f , оценёнными при помощи преобразования Гильберта выровненной по амплитуде сейсмотрассы $tr(t)$. В качестве входного импульса используется фрагмент сейсмотрассы $tr(t)$, ограниченный интервалом длительности огибающей образцового импульса.

Таким образом, применение D-алгоритма позволяет обеспечить наилучшую возможность обнаружения СИ в обстановке неопределённости его регистрации, вызванной естественными и искусственными помехами, шумами микросейсмической обстановки, а также присутствием нецелевых волн.

D-алгоритм обеспечивает максимальное отношение сигнал/шум на своём выходе, что равнозначно подавлению случайного шума во входном сигнале. При фиксированном уровне некоррелированного шума максимум взаимной корреляционной функции достигается при совпадении форм образцового СИ и импульса из входного сигнала. Чем сильнее отличаются формы этих импульсов, тем меньше вероятность принять ошибочное решение об обнаружении полезного импульса. Так корреляционный приём обеспечивает подавление не только случайного шума, но и регулярной помехи в виде импульсов во входном сигнале, отличающихся формой от образцового импульса.

Таким образом, D-алгоритм, основанный на квадратурном корреляционном приёме, входящий в состав предлагаемой технологии, кроме обнаружения СИ, выполняет фильтрацию, согласованную с формой образцового импульса. Поэтому применение предложенной технологии освобождает граф обработки полевых данных от

большой части предварительного пространственно-частотного подавления составляющих входного сигнала.

2. Результаты практической реализации

С целью обнаружения и точной локализации мгновенных фаз СИ для каждой сейсмотрассы производится преобразование Гильберта и согласно формуле (2) вычисляется её огибающая. На графике огибающей сейсмотрассы выполняется процедура поиска единичных колебаний, имеющих вид импульсов. Будем различать радиоимпульсы огибающей – колебания условно колоколообразной формы – и видеоимпульсы огибающей – колебания более сложной формы.

Вследствие наличия в сейсмических записях большого количества различных помех и шумов для найденного импульса выясняется возможность считать его ИО. Напомним, что энергия сейсмической волны, распространяющейся в породе среды в виде волнового пакета СИ (1), движется со скоростью движения ИО.

С целью выделения ИО задействован несложный алгоритм отбора претендентов. Для каждого выбранного претендента вычисляется величина средневзвешенного по времени значения мгновенной частоты. Она принимается за основную несущую частоту предполагаемого СИ, имеющего данную огибающую.

Для видеоимпульса огибающей обычно выделяются две такие величины, что характеризует суперпозицию (интерференцию) двух СИ.

Далее для каждой f производится квадратурная корреляция с тремя опорными импульсами, имеющими несущие частоты, равные $(2 - \phi) \times f$, f , $\phi \times f$, $0 < \phi < 1$; ϕ – подбираемый параметр, например, $\phi = 0,618$.

Максимум каждой корреляции ρ сравнивается с порогом. Если хотя бы для одной несущей частоты произошло обнаружение СИ и значение аргумента этого максимума находится на расстоянии меньше половины периода несущей частоты f от аргумента максимума амплитуды огибающей претендента, то претендент признается ИО.

Следующий этап обработки осуществляет локализацию мгновенных фаз обнаруженного СИ.

На сеймотрассе во временном интервале с длительностью, определяемой шириной ИО, располагаются основные мгновенные фазы СИ.

В этом интервале строится график линейно-ломанной функции мгновенной фазы $\varphi(t)$ (рис. 1). Аргументы минимумов и максимумов (фазовые реперы) этого графика представляют противоположные по знаку (положительные и отрицательные) фазы СИ, которые для радиоимпульсов огибающей характеризуют перегибы профиля СИ. Для видеоимпульсов огибающей мгновенные фазы суперпозиции СИ характеризуют только равные по абсолютной величине экстремумы их профилей, в то время как другие перегибы соответствуют интерференционному наложению профилей.

Наличие интерференции затрудняет построение всех мгновенных фаз взаимодействующих СИ, однако в некоторых случаях частичное выделение фаз и оценка параметров профиля волны возможны.

Мгновенные фазы строго привязаны к несущей частоте СИ и их точная локализация, в отсутствие интерференции, определяется положением максимума огибающей СИ.

Для оценки времени распространения импульса выбирается основной временной атрибут СИ. Это могут быть времена первого вступления импульса, его экстремума, максимума его огибающей (как в статье) и др. При известной длительности СИ все эти времена отличаются только временем фазовой задержки.

На рисунке СИ изображён линией зелёного цвета, фазовые реперы – треугольниками красного цвета для положительной фазы и синего цвета для отрицательной фазы. Чёрным цветом изображены огибающая СИ и аргумент её максимума (крестик). Мгновенная фаза СИ изображена цветом магента¹.

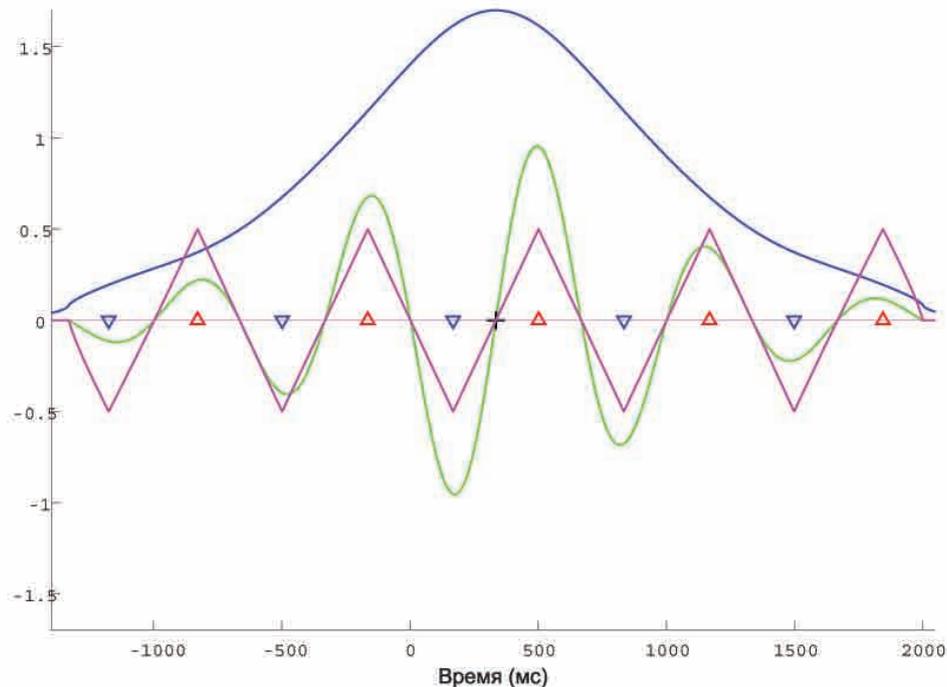


Рис. 1. Импульс, его огибающая и мгновенные фазы

Таким образом, на сеймотрассе $tr(t)$ и всей сейсмограмме МОВ в целом осуществляется обнаружение и точная локализация всех СИ и их мгновенных фаз в интервалах длительности их огибающих.

Точность измерения координат мгновенных фаз СИ важна для выявления на сейсмограмме с минимально возможной погрешностью формы и расположения осей синфазности, порождённых конкретным СИ. Высокоточное построение годографа отражённой волны на основе детально выявленных и прослеженных осей синфазности является важнейшим этапом качественного создания сейсмических изображений.

¹Цветные иллюстрации доступны на сайте журнала <http://msm.omsu.ru>

Этому посвящена следующая статья цикла.

3. Заключение

В статье показано, что адекватное применение методов статистической радиотехники подходит для решения сейсморазведочных задач.

В целях построения сейсмических изображений высокого разрешения предложена оригинальная технология обнаружения СИ и точной локации их мгновенных фаз, основанная на применении методов оптимального приёма и обнаружения сигналов в условиях шумов и помех.

В статье в качестве образца для обнаружения СИ используется модель сейсмической волны в виде двухпараметрического солитона, которая пригодна для обобщения моделей известных сейсмических импульсов.

Предложенная технология сейсмической локации позволяет на сейсмотрассах с малым отношением сигнал/шум обнаруживать СИ, которые при другой обработке были бы пропущены. Увеличение числа СИ, обнаруженных на сейсмотрассах, увеличивает число осей синфазности волн на сейсмограмме, что повышает разрешающую способность временного разреза.

Недостатки некоторых процедур стандартного технологического графа предварительной обработки полевых сейсмических данных могут быть исключены или скорректированы за счёт применения алгоритмов, входящих в состав предложенной технологии. Она использует алгоритм квадратурного корреляционного обнаружения для согласованной с формой образцового импульса фильтрации полевых сейсмических данных. Данная фильтрация не подавляет частотные составляющие входного сигнала.

Литература

1. Пузырев Н.Н. Интерпретация данных сейсморазведки методом отражённых волн. М. : Гостоптехиздат, 1959. 452 с.
2. Шерифф Р.Е., Гелдарт Л.П. Сейсморазведка. Том 1. М. : Мир, 1987. 448 с.
3. Карпман В.И. Нелинейные волны в диспергирующих средах. М. : Наука, 1973. 176 с.
4. Rabinovich E.V., Filipenko N.Y., Shefel G.S. Generalized model of seismic pulse // Proc. of International Conf. Information Technologies in Business and Industry 2018 IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1015. 2018. P. 052025.
5. Косевич А.М., Ковалев А.С. Введение в нелинейную физическую механику. Киев : Наукова думка, 1989. 304 с.
6. Brown A.R. Interpretation of Three-Dimensional Seismic Data. The American Association of Petroleum Geologists. Tulsa, Oklahoma, U.S.A. 1990. 514 p.
7. Гурвич И.И., Боганик Г.Н. Сейсморазведка : учебник для вузов. Тверь : АИС, 2006. 774 с.
8. Тихонов В.И. Оптимальный приём сигналов. М. : Радио и связь, 1983. 320 с.

**SEISMIC LOCATION TECHNOLOGY. THE DETECTION OF SEISMIC IMPULSES
AND LOCATION OF THEIR INSTANTANEOUS PHASES****E.V. Rabinovich**

Dr.Sc. (Techn.) , Professor, e-mail: rabinovich@corp.nstu.ru

Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

Abstract. An original technology for construction of seismic images of high-resolution and accuracy is proposed. In given article the first part of technology is stated. It shows the application of statistical radio-engineering methods to solve problems of optimal reception and detection in noise and interference conditions of seismic impulses and location of their instantaneous phases. Based on the solutions obtained, it is possible to organize the processing of seismic data with the accuracy necessary for the construction of high-resolution seismic images. The technology is free from a number of traditional seismogram pre-processing procedures that distort field data.

Keywords: detection, seismic impulse, instantaneous phase, wave lineup.

Дата поступления в редакцию: 17.05.2023