

ВОЗМОЖНОСТИ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ СИГНАЛОВ

М.Д. Малыхин

Самарский государственный технический университет
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

В статье рассмотрены возможности сейсморазведки высокого разрешения при изучении геологического строения выявленных ловушек углеводородов.

Ключевые слова: *сейсморазведка, вибросейс, коэффициенты отражения и преломления, динамический диапазон, слоистость разреза.*

Сейсмической разведкой успешно решаются задачи поисков ловушек углеводородов (УВ) различного типа. Однако дальнейшее ее развитие видится в возможности детально расчленять геологический разрез и выявлять в нем пласты-коллекторы.

Современный уровень развития средств вычислительной техники и программного обеспечения в сейсморазведке позволяет при среднечастотном диапазоне сейсмических зондирующих сигналов (10-70 Гц) выявлять и прослеживать пласты-коллекторы толщиной 20÷40 м в отложениях мезо-кайнозойского возраста и 40÷80 м в отложениях палеозоя. К сожалению, пласты-коллекторы УВ указанных толщин в настоящее время встречаются редко.

Перспективы развития сейсморазведки связываются с необходимостью выявления пластов-коллекторов УВ толщиной 10÷20 м; в этой связи следует возбуждать и регистрировать сигналы в частотном диапазоне 5÷250 Гц. К постановке такой задачи и поиску ее решения побуждают данные вертикального сейсмического профилирования (ВСП), регистрируемые в глубоких скважинах. При работах ВСП возбуждаются и регистрируются сигналы с «видимыми» частотами от $f_0 = 50$ Гц (в диапазоне частот $\Delta f = 0 \div 100$ Гц) до $f_0 = 100$ Гц (в диапазоне частот $\Delta f = 0 \div 200$ Гц), то есть в частотном диапазоне $\Delta f = 0 \div 200$ Гц, что позволяет изучать пласты толщиной 10÷20 м.

Возможность решения поставленной задачи подтверждается работами американских геофизиков [5], которые, используя источник колебаний с частотным диапазоном 40÷150 Гц, обеспечили выявление объектов по вертикали мощностью 7 м. Кроме того, следует изменить методику оценки разрешенности сигналов.

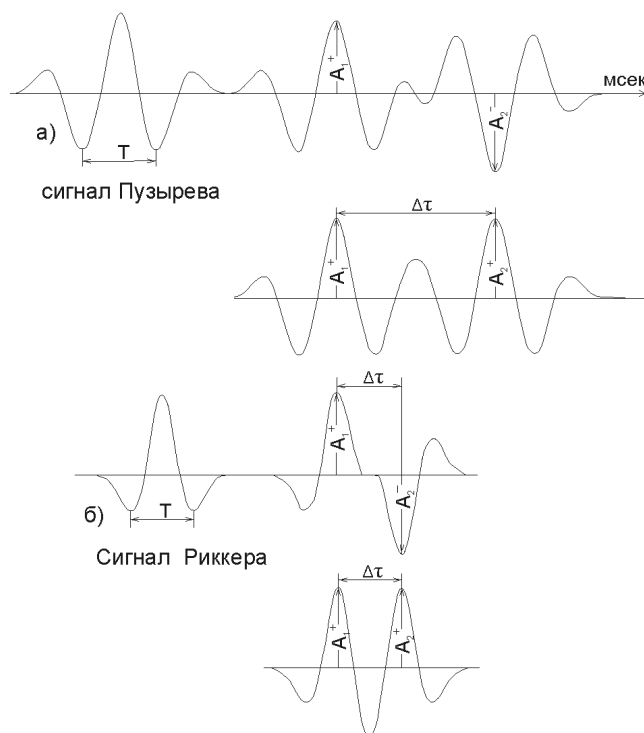
В настоящее время для оценки разрешенности сигналов используется сигнал Н. Пузырева [1], который, к сожалению, не удовлетворяет современным представлениям о форме сигнала.

Применение в качестве источников колебаний вибраторов и развитого программного обеспечения для обработки сейсмических данных позволяет считать, что для оценки разрешенности сигналов целесообразно использовать сигнал Н. Риккера [1] (рис. 1).

Рассмотрим возможности источников колебаний, способных генерировать сейсмические сигналы в диапазоне частот 0÷250 Гц.

1. Заряд бризантного вещества. Известно, что ширина спектра возбуждаемых взрывом сигналов зависит от условий возбуждения: упругих свойств среды, в кото-

рую помещается заряд, и качества взрывчатого вещества (ВВ). Так, при возбуждении колебаний зарядом, помещенным в пластичные горные породы, спектр находится в пределах 5-80 Гц, а при размещении заряда в плотных, консолидированных породах спектр превышает указанный диапазон частот. К сожалению, в полевых условиях при наземных наблюдениях отыскать подобные условия возбуждения практически невозможно.



Р и с . 1. Пример критерия Релея временной разрешенности однополярных и разнополярных сигналов Пузырева (а) и Риккера (б):
 A_1^+ , A_1^- – коэффициенты отражений на границах пласта;
 T – период сигнала; $\Delta\tau$ – разрешенность сигнала

2. Вибрационный источник. Широко используется при полевых сейсмических исследованиях благодаря созданию вибраторов со спектром генерируемых колебаний, достигающим 250 Гц (Normad).

В этом случае при корректном проведении сейсмических исследований [2] и обработке полученных данных с сохранением (расширением) [3] зарегистрированного диапазона частот предоставляется возможность достичь временной разрешенности сигналов (см. рис. 1, б), равной 6-7 м·сек, что при скоростях распространения волн 2000÷4000 м/с составит 6 м, 7÷12 м, 14 м.

Возникает вопрос: в какой степени возбужденный вибратором сигнал в диапазоне 5÷250 Гц сохраняет свои спектральные составляющие на дневной поверхности после зондирования геологической среды?

С целью ответа на него рассчитываем спектральные характеристики сигналов с видимыми (резонансными) частотами $f_0 = 50$ Гц, 100 Гц, 200 Гц.

Для расчета спектров использовалась формула Н. Риккера [1]

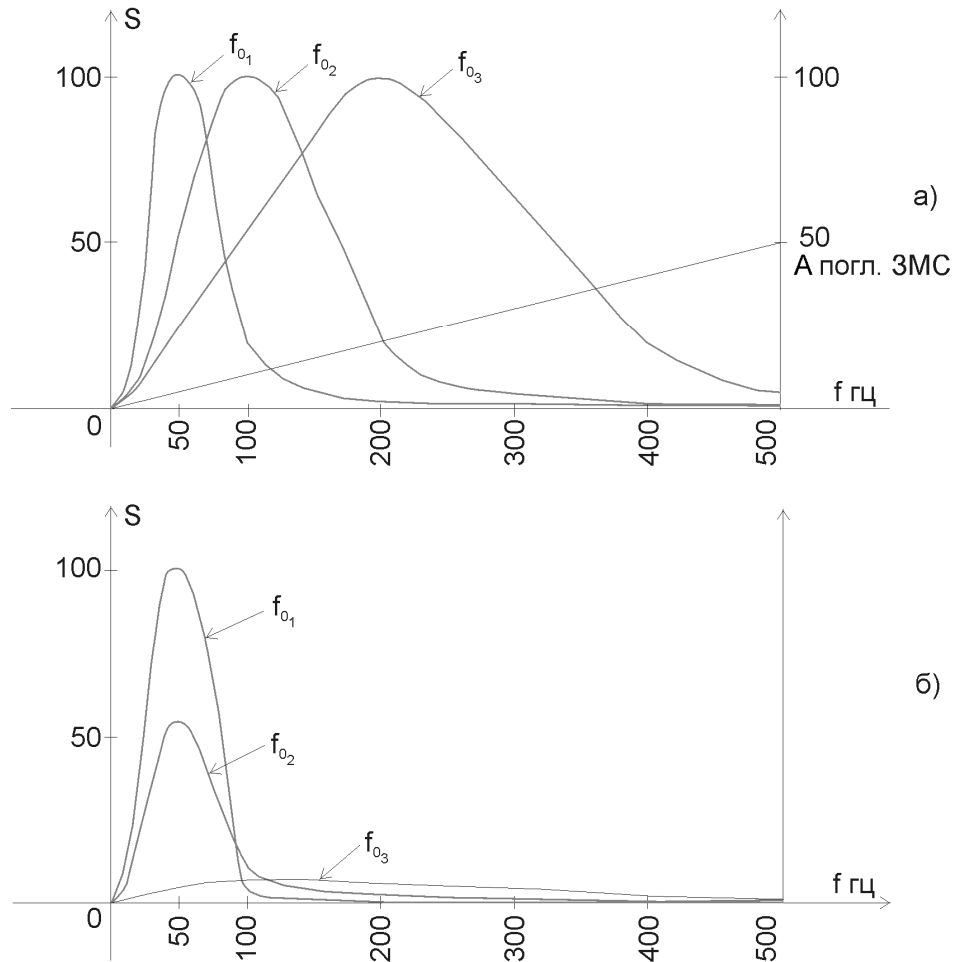
$$S(f) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{f}{f_0}\right)^2 \cdot e^{-\left(\frac{f}{f_0}\right)^2},$$

где f_0 – видимая (заданная) частота, Гц;

f – определяемые (искомые) частоты, составляющие спектр сигнала, Гц.

Выбор этой формулы обоснован тем, что сигнал, возбужденный вибратором и обработанный программными средствами, представляет корреляционную функцию, форма которой совпадает с сигналом Н. Риккера.

Как видно из рис. 2, а, спектры сигналов с $f_0 = 50$ Гц, $f_0 = 100$ Гц, $f_0 = 200$ Гц без учета поглощающих свойств зоны малых скоростей (ЗМС) имеют резонансный вид (максимальные значения спектров наблюдаются на частотах 50 Гц, 100 Гц, 200 Гц), а диапазон частот сигналов (Δf) соответствует удвоенным резонансным частотам $f_0 = 50$ Гц ($\Delta f = 0 \div 100$ Гц), $f_0 = 100$ Гц ($\Delta f = 0 \div 200$ Гц), $f_0 = 200$ Гц ($\Delta f = 0 \div 400$ Гц). Здесь же представлен график коэффициентов поглощения энергии зоной малых скоростей – $A_{\text{погл. ЗМС}}$.



Р и с . 2. Спектры сейсмических сигналов с «видимыми» частотами: $f_{01}=50$ Гц, $f_{02}=100$ Гц, $f_{03}=200$ Гц:
а) без учета поглощения энергии зоной малых скоростей;
б) с учетом поглощения энергии зоной малых скоростей

При анализе спектров сигналов с учетом поглощения энергии зоной малых скоростей [4] (рис. 2, б) отмечается, что частотные составляющие спектров сигналов с $f_0 = 50$ Гц, 100 Гц пропускаются толщей ЗМС в диапазоне $0 \div 150$ Гц и участвуют в обработке сигналов, остальные спектральные составляющие в диапазоне частот $150 \div 500$ Гц отфильтровываются геологическим разрезом и теряются безвозвратно. Сигнал с $f_0 = 200$ Гц обладает спектром в диапазоне $0 \div 500$ Гц, амплитуды спектральных составляющих примерно одинаковы и незначительны по величине, что свидетельствует о малой величине амплитуд отраженных сигналов и, вполне вероятно, о невозможности их регистрации.

Очевидно, разрешенность сейсмических сигналов, обладающих спектром частот в диапазоне $0 \div 150$ Гц, может быть повышена посредством применения деконволюции. Стандартная предсказывающая деконволюция приводит к устойчивым результатам при различных распределениях последовательностей коэффициентов отражений. Деконволюция сжатия может дать хороший результат в комплексе с полосовой фильтрацией. Значительное повышение разрешения сигналов может быть достигнуто при использовании программ максимально-энтропийной деконволюции типа ФИЛМЕМ [3].

Помимо использования различных типов обратной фильтрации (деконволюции) возможно применение альтернативного подхода к решению задач расчленения разреза на основе сейсмомоделирования [1, 5]. Для этой цели необходимы априорные знания о геологическом разрезе и параметрах зондирующего сейсмического сигнала.

С использованием априорных данных (двумерная геологическая модель разреза, сейсмический сигнал) строится синтетический временной разрез (СВР), который сопоставляется с реальным временным разрезом; в случае их различия последовательно уточняются параметры геологического разреза, сигнала, и эта операция повторяется до тех пор, пока не будет получено полное сходство синтетического и реального временных разрезов. Затем геологический разрез усложняется, то есть в него вносятся дополнительные границы в соответствии с данными бурения (ГИС), и снова строится синтетический временной разрез с ранее используемым сигналом и сигналом с расширенным спектром частот, оценивается их сходство/различие, и процесс продолжается до получения конкретного результата. На этом построения СВР заканчиваются, и считается, что поставленная задача расчленения разреза решена.

Рассмотрим особенности волнового поля, свойственные тонкослоистому разрезу, на примере рис. 3, заимствованному из [5].

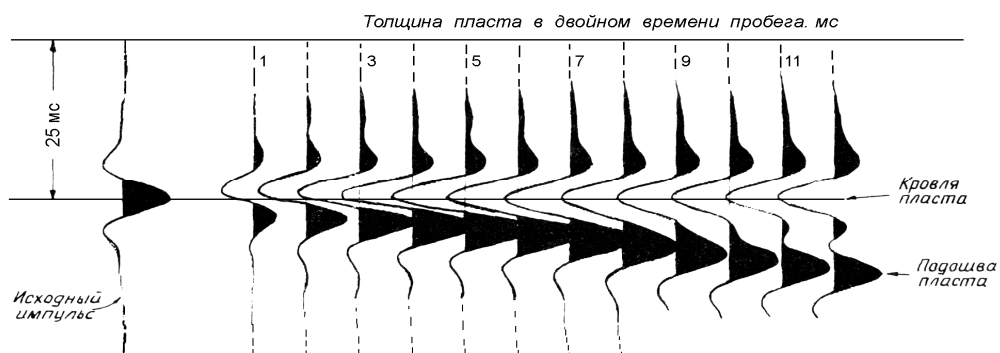


Рис. 3. Сейсмические отраженные сигналы от пласта переменной толщины, увеличивающейся слева направо

Так, при отношении временной толщины слоя (Δt_h) к периоду сигнала (T), равном $\frac{\Delta t_h}{T} = 0.1$, амплитуда отраженного от слоя сигнала минимальна (трасса 1). Далее при отношении $\frac{\Delta t_h}{T} = 0.2 \div 0.7$ сигнал асимметричен, амплитуда суммарного отраженного от слоя сигнала увеличивается, также растет и временной интервал между отрицательным и положительным экстремумами сигнала (трассы 2÷7). При дальнейшем увеличении отношения $\frac{\Delta t_h}{T} = 0.8$ сигнал, обусловленный подошвой пласта, отделяется от сигнала, приуроченного к кровле пласта. Амплитуды каждого обособленного сигнала уменьшаются и становятся равными при условии равенства коэффициентов отражений на границах пласта. Отмеченные особенности волнового поля типичны для тонкослоистых разрезов.

Таким образом, при корректном проведении полевых сейсморазведочных работ [2], тщательной обработке сейсмических данных, нацеленных на расширение и выравнивание спектров сигналов [3], применении геосейсмического моделирования [1] и использовании для оценки разрешенности сигнала Н. Риккера [1, 5] представляется возможным достаточно детально расчленять геологический разрез посредством сейсморазведки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Корягин В.В.* Геосейсмические модели и волновые поля. – Самара, 2000. – 348 с.
2. *Корягин В.В.* Проблемы структурной сейсморазведки. – Самара, 2006. – 302 с.
3. *Шнеерсон М.Б., Потапов О.А. и др.* Вибрационная сейсморазведка. – М.: Недра, 1990. – 153 с.
4. Справочник геофизика. Т. IV. – М., 1966. – 650 с.
5. *Пейтон Ч. и др.* Сейсмическая стратиграфия. Т.2. – М.: Мир, 1982. – 400 с.

Статья поступила в редакцию 27 апреля 2011 г.

UDC 553.98

HIGH RESOLUTION SERISMICS CAPABILITIES

M.D. Malykhin

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

This article refers to information about high resolution serismics capabilities.

Keywords: *seismic prospecting, vibroseis, coefficient of reflection and refraction, dynamic range, stratum section.*

M.D. Malykhin – Candidate of Geological Science.