

Аспирант кафедры «Геофизических и геохимических методов поисков и разведки полезных ископаемых»

Санкт-Петербургский Горный университет

Россия, Санкт-Петербург

ИЗУЧЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОГЛОЩЕНИЯ УПРУГИХ ВОЛН МЕТОДОМ ИЗМЕНЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТОТЫ СПЕКТРА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Статья посвящена изучению неупругих эффектов при распространении акустической волны. Рассматривается способ оценки поглощения на основе изменения центральной частоты спектра сигнала. Подробно описана методика работ. Приведены результаты обработки данных физического моделирования.

Ключевые слова: сейсморазведка, поглощение, спектр

The article is dedicated to inelastic effects study of acoustic wave propagation. An estimation method of acoustic wave absorption based on the central frequency downshift is considered. There is given detailed information about laboratory plant scheme. The results of physical modeling are presented.

Key words: seismic, absorption, spectrum

Введение

В общем виде изменение амплитуд проходящих сейсмических волн в однородных средах определяется следующим выражением:

$$A(R,t) = \frac{A_0 \cdot f\left(t - \frac{R}{V}\right)}{R} e^{-\frac{(\alpha_0 + \beta)f \cdot R}{V}} \quad (1)$$

где R – расстояние от источника, множитель $1/R$ определяет геометрическое расхождение - уменьшение амплитуд объемных волн с

расстоянием, V – скорость распространения волн, α_0 и β - коэффициенты поглощения и рассеяния энергии соответственно, обычно их объединяют в один коэффициент, f - преобладающая частота.

1. Поглощение сейсмических волн является не упругим свойством горных пород и зависит от их состава, неоднородности, трещиноватости, вязкости и т.п. Поглощение происходит за счет трения при колебательном процессе распространения упругих волн.

2. Знание коэффициента поглощения позволяет прогнозировать не упругие свойства пород, важные для прогнозирования их геологических свойств.

3. В работе на основе физического и математического моделирования изучается поглощение и рассеивание сейсмических волн в среде при прохождении через образцы. В связи с тем, что эти параметры трудно разделить, они изучаются совместно. Для их оценки используется изменение спектра исходного сигнала при прохождении его через образец пористого, неоднородного бетона цилиндрической формы.

Работы, по определению коэффициента поглощения на основании сдвига центральной частоты спектра сигнала уже проводились. Например, в работе [3] улавливаются, что среда обладает частотно-зависимым поглощением с линейной зависимостью и для разных форм спектров сигнала выводятся формулы по определению коэффициента поглощения. В статье [2] приводятся зависимости коэффициента поглощения для среды с нелинейным частотным поглощением в зависимости от частоты исходного сигнала.

Уникальность данной работы заключается в том, что определяется коэффициент поглощения методом сопоставления экспериментальных и теоретических кривых центральной частоты в зависимости от удаления источник-приемник. Поглощение может быть как линейно зависимым от

частоты, так и нелинейно. Коэффициент поглощения, определяемый в настоящей работе, не абсолютный, а условный, т.е. зависит от спектра сигнала.

Теоретическое обоснование

Основные факторы, которые влияют на изменение (затухание) амплитуд упругих волн при их распространении в геологической среде это: геометрическое расхождение энергии, рассеяние на неоднородностях среды (дифракция) и поглощение. При определении коэффициента поглощения в неоднородной среде, как правило, определяют сумму коэффициентов поглощения и рассеяния. В представленной работе образцы сильнопористые, неоднородные по составу, средний размер неоднородностей сопоставим с длиной волны (первые миллиметры), поэтому роль дифракции достаточно велика в данном конкретном случае (Рис. 1.).



Рис. 1. Образцы бетона, исследуемые в ходе эксперимента.

Геометрическое расхождение энергии при распространении сейсмических волн не зависит от частоты и определяется уменьшением плотности энергии с расстоянием от источника.

При поглощении и рассеивании сейсмической энергии высокочастотные гармоники спектра ультразвукового сигнала затухают быстрее, т.е. происходит изменение спектра сейсмического импульса. В то же время, влияние геометрического расхождения, коэффициента прохождения/отражения на границе двух сред не влияет на форму спектра. На этом явлении основано определение коэффициента поглощения в данной работе.

Методика проведения эксперимента

Для проведения эксперимента, использовался ультразвуковой импульс с преобладающими частотами 1,2 МГц и 2 МГц. Для регистрации исходного спектра $S(f)$, сигнал записывался при совмещенных источник-приемник. Далее между источником и приемником помещались образцы бетона. После проведения замера к уже имеющемуся образцу добавлялся новый, который мог отличаться от первого по длине на не более чем 5 мм. Так продолжалось до тех пор, пока амплитуда полезного сигнала была с достаточной степенью различима на фоне помех. Соответственно для частоты 2 МГц максимальное регистрируемое расстояние было меньше, чем для 1,2 МГц. Частота дискретизации регистрирующего устройства 10 МГц. Схема установки приведена на Рис. 2.

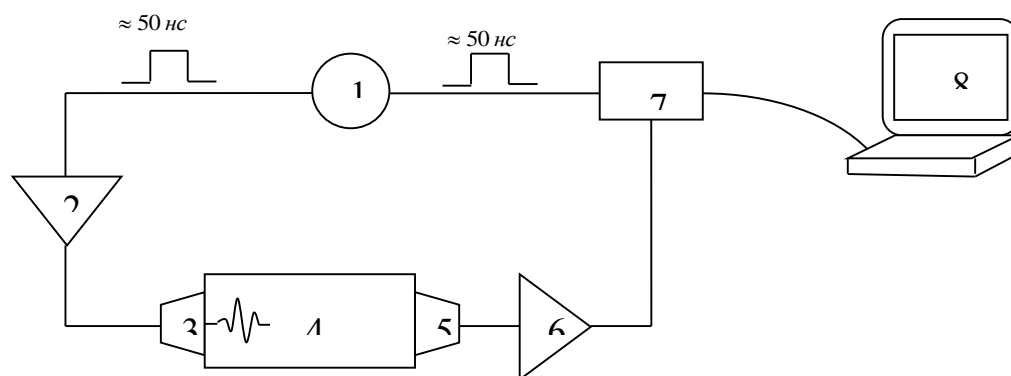


Рис. 2. Схема лабораторной установки.

1-генератор видеоимпульсов (длительность импульса около 50 нс, 10 В); 2-усилитель по напряжению (50 В, 400 В); 3,5-пьезодатчики (источник и

приемник); 4-испытуемый образец; 6-усилитель выходного напряжения; 7-аналого-цифровой преобразователь (АЦП, частота дискретизации 10 МГц); 8-регистрирующее устройство.

Результаты эксперимента

В результате проведения эксперимента получены цифровые сейсмические записи в формате SEG-Y.

Для наглядности на рис. 3 приведены исходные сигналы 1.2 МГц и 2 МГц (от источника) и сейсмические записи после прохождения через образец бетона.

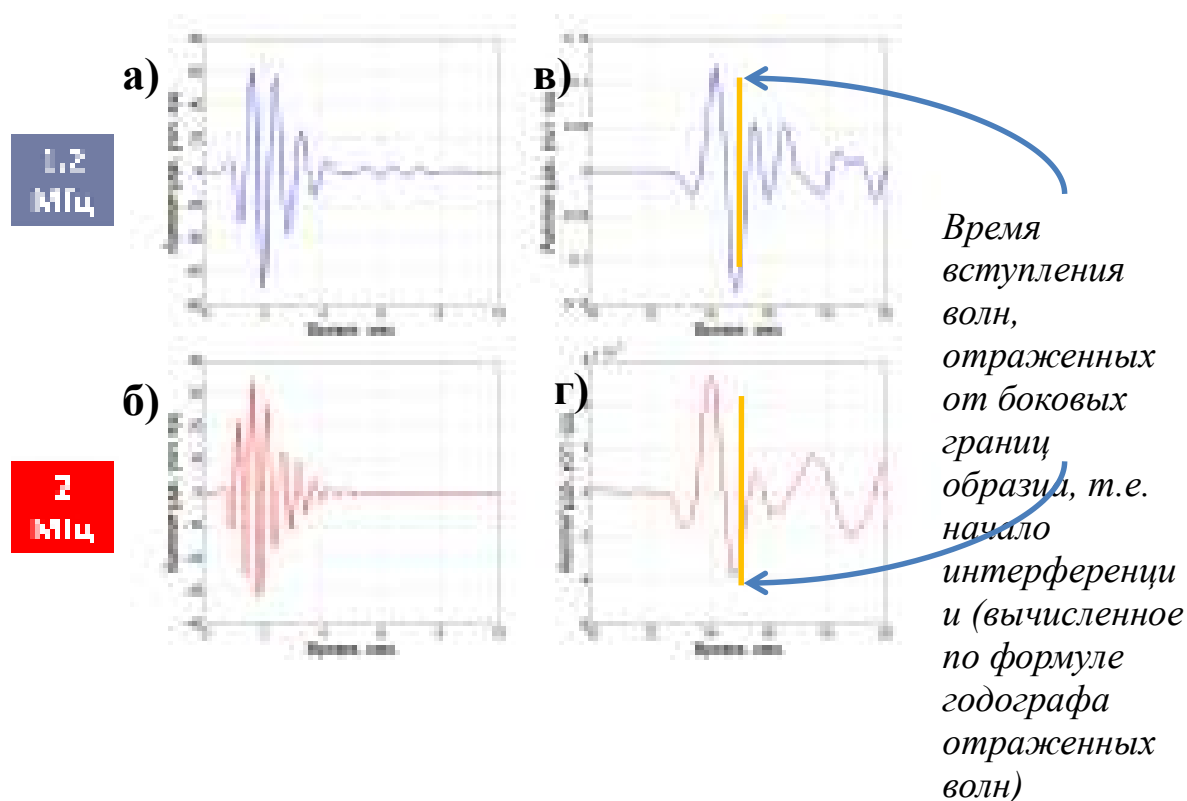


Рис. 3. а, б – исходные сигналы 1.2 и 2 МГц соответственно; в, г – после прохождения через образец длиной 27 мм 1.2 и 2 МГц соответственно.

Масштабы соблюдены (по оси времени).

Обработка экспериментальных данных.

Цифровые сейсмические записи экспортировались в формат MS Excel и далее обрабатывались с помощью программы AutoSignal v1.6: выбирался начальный, малоискаженный дифракцией и отражениями внутри

образца участок сигнала и раскладывался в ряд Фурье без применения сглаживающих окон.

Спектральный метод

Пусть спектр исходного сигнала будет задан $S(f)$, а $R(f, L)$ - этот же спектр после прохождения в породе расстояния L , тогда:

$$R(f, L) = S(f) \cdot H(f, L) \cdot G \quad (2)$$

Где: $H(f, L)$ - функция, определяющая поглощающие свойства среды; G - включает в себя геометрическое расхождение, группирование источников/приемников, диаграмму направленности, коэффициенты отражения/прохождения.

$H(f, L)$ задается уравнением:

$$H(f) = e^{-\alpha \cdot f^y \cdot L} \quad (3)$$

Где: y - положительное число (как правило, первые единицы); α - коэффициент поглощения, зависящий от формы спектра исходного сигнала и свойств среды.

Основываясь на выражении о центре масс тела при постоянной плотности, центральную частоту спектра можно определить следующим образом:

$$fc = \frac{\int_0^{\infty} f \cdot S(f) df}{\int_0^{\infty} S(f) df} \quad (4)$$

Где: fc - центральная частота исходного спектра $S(f)$

Для сигнала, прошедшего через породу, центральная частота, согласно выражениям (2) и (4), примет следующий вид:

$$fc = \frac{\int_0^{\infty} f \cdot S(f) \cdot H(f, L) \cdot Gdf}{\int_0^{\infty} S(f) \cdot H(f, L) \cdot Gdf} \quad (5)$$

Принимая во внимание тот факт, что параметр G не зависит от частоты гармоники и, подставив вместо $H(f, L)$ выражение (3), получим центральную частоту сигнала, прошедшего через породу:

$$fc = \frac{\int_0^{\infty} f \cdot S(f) \cdot e^{-\alpha \cdot f^y \cdot L} df}{\int_0^{\infty} S(f) \cdot e^{-\alpha \cdot f^y \cdot L} df} \quad (6)$$

В данной работе, для расчета теоретического спектра принятого сигнала, пределы для разных расстояний источник-приемник интегрирования были выставлены по ширине спектра исходного сигнала $S(f)$.

Разложение сигнала по методу Фурье

Для Фурье анализа, выбирался неискаженный интерференцией участок сигнала и раскладывался в спектр без применения сглаживающего окна. На рис. 4 и 5 показаны Фурье спектры сигналов 1.2 и 2 МГц для разных удалений источник-приемник.

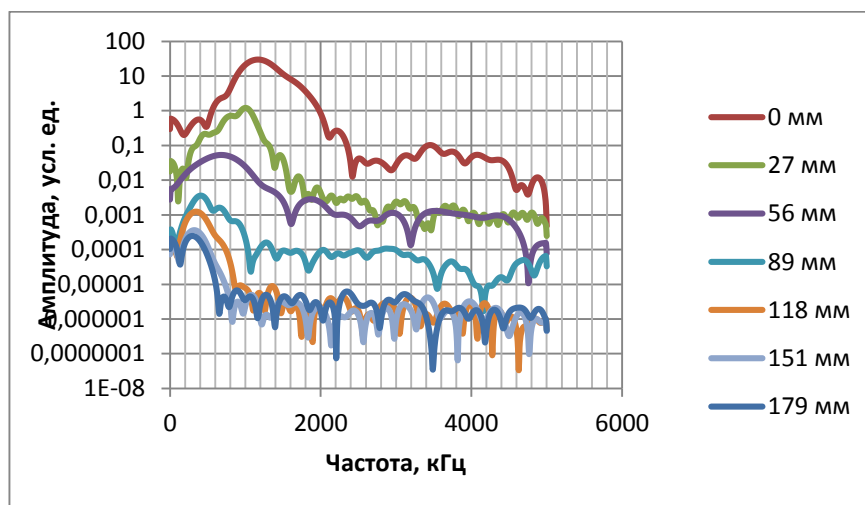


Рис. 4. Изменение спектра 1.2 МГц сигнала с увеличением длины образца
(Вертикальная шкала логарифмическая).

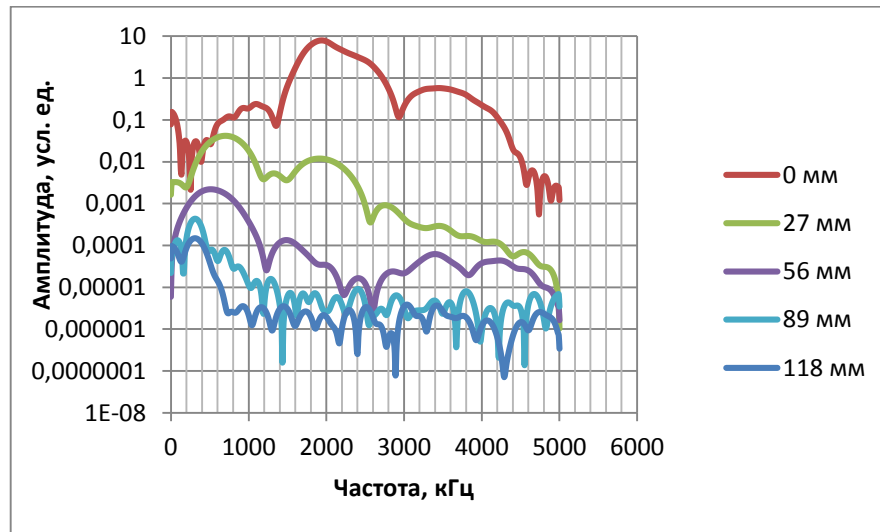


Рис. 5. Изменение спектра 2 МГц сигнала с увеличением длины образца
(Вертикальная шкала логарифмическая).

Далее рассмотрим полученные из выражения (4) центральные частоты f_c спектров, принимая за $S(f)$ реальный спектр сигналов для разных удалений:

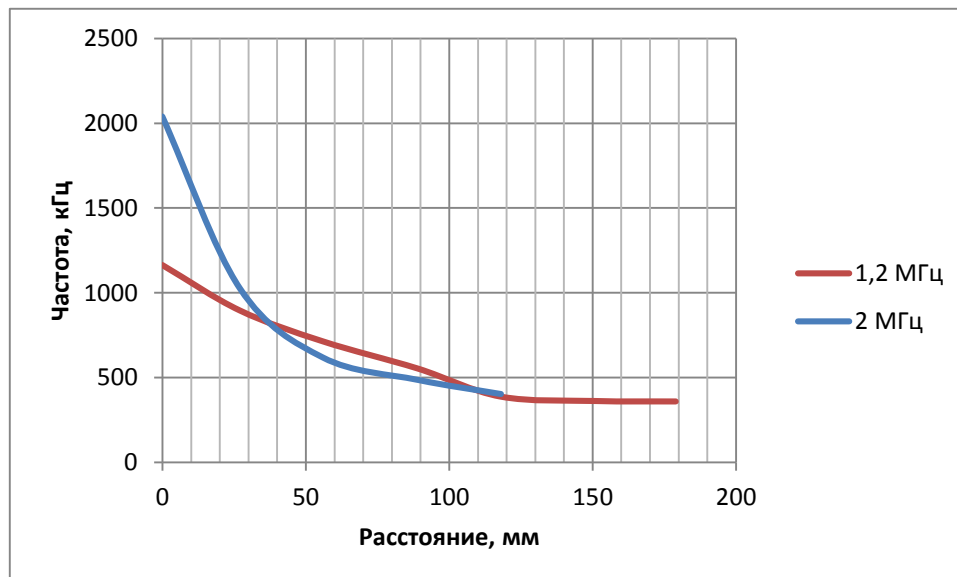


Рис. 6. Изменение центральной частоты спектров сигналов с расстоянием для источников 1.2 и 2 МГц.

Изменяя параметры α и y добиваемся наибольшего совпадения теоретической кривой с реальной. Эти параметры в данном случае равны следующим значениям:

Для 1.2 МГц $\alpha = 5,3 \cdot 10^{-17}$, $y = 3$

Для 2 МГц $\alpha = 2,7 \cdot 10^{-17}$, $y = 3$

Согласно формуле (8) теоретически рассчитанные центральные частоты f_c для разных удалений для 1,2 МГц сигнала и 2 МГц:

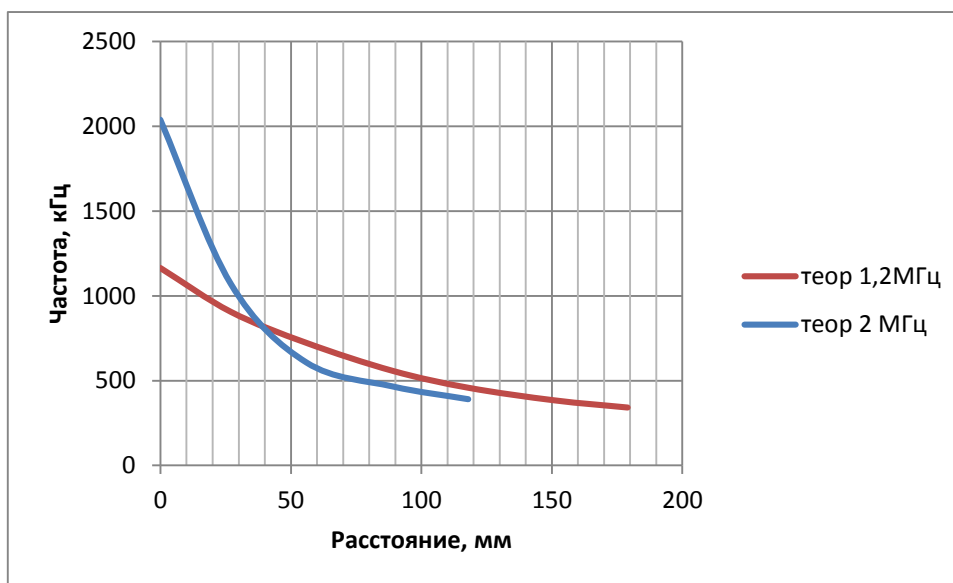


Рис. 7. Теоретически рассчитанное изменение центральной частоты спектра исходного сигнала с расстоянием для источников 1.2 и 2 МГц.

Ниже приведен график, на котором сопоставляются теоретически рассчитанные центральные частоты с экспериментальными:

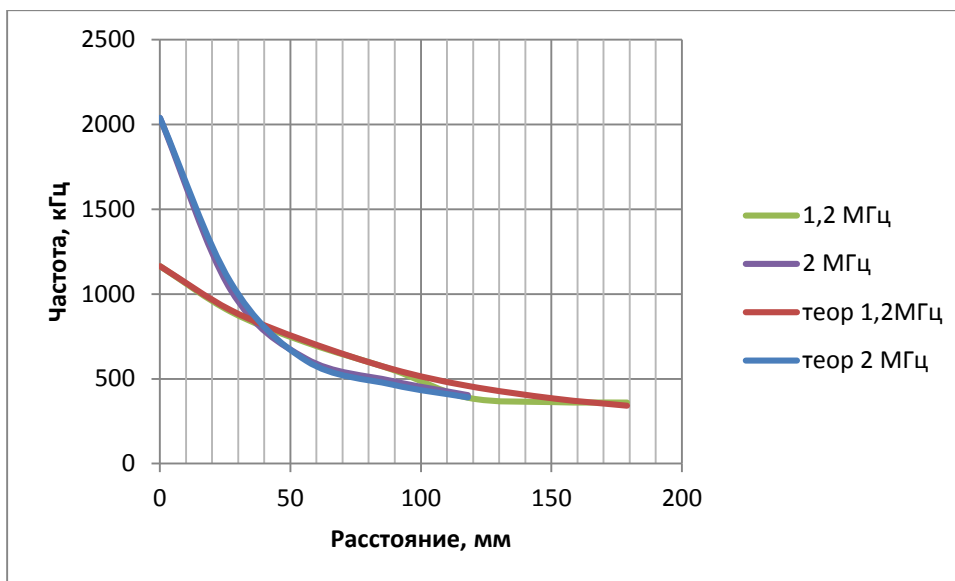


Рис. 8. Теоретически рассчитанное и практически полученное изменение центральной частоты спектра исходного сигнала с расстоянием для источников 1.2 и 2 МГц.

Выводы

В данной работе рассматривается альтернативный метод определения поглощающих свойств среды. Данный метод имеет как преимущества так и недостатки в сравнении с амплитудными методами. К преимуществам можно отнести его независимость от геометрического расхождения фронта волны, уменьшения амплитуды сигнала в связи с отражениями от границ раздела сред с разными акустическими жесткостями. К недостаткам в большей степени относится сильная зависимость метода от начальной частоты сигнала в реальных средах. Для высоких частот (мегагерцы) для наблюдения изменения центральной частоты спектра сигнала зачастую достаточно первых сантиметров свободного распространения волны в среде. В то же время для частот порядка десятков и сотен герц необходимы километры свободного распространения волны в среде, чтобы зарегистрировать изменение центральной частоты спектра. В связи с этим, применение данного метода ограничено частотными характеристиками источников сигналов.

Список использованной литературы

- 1 Md. Waheduzzaman Talukder, VSP P-wave attenuation model study in elastic earth: spectral ratio method vs centroid frequency shift method, GeoConvention 2013
- 2 Narayana, P. A., and Ophir, J., 1983, A closed form for the measurement of attenuation in nonlinearly dispersive media: Ultrasonic Imaging, 5, 17–21.
- 3 Youli Quan and Jerry M. Harris, 1997, Seismic attenuation tomography using the frequency shift method, Geophysics, 3, 895-905.

Информация об авторе