

Использование теории сферического излучателя с целью уточнения параметров взрывного скважинного источника

- Кострыгин Ю.П., ООО «Новоросморгео», г. Новороссийск
- Хасан Р.Е., ООО «Новоросморгео», г. Новороссийск

Значительные перспективы при поиске нефти газа в мезозойских отложениях связаны с рядом площадей Терско - Каспийского краевого прогиба. К таким площадям, в частности, относится и Карабудахкентская площадь Республики Дагестан, в пределах которой в течение 2016 – 2017 г.г. были проведены вибросейсмические работы МОГТ-2D повышенной плотности. Шаг между пунктами приёма составлял 3 м, а между пунктами возбуждения 9 м. Колебания возбуждались четырьмя вибраторами СВ-27/150К. Использовалась ЛЧМ-развёртка с частотным диапазоном 6 – 70 Гц длительностью 20 с.

Следует отметить, что в условиях исследуемой площади доминирующие поверхностные волны характеризуются аномально высокой амплитудой и чрезвычайно широким конусом регистрации на исходных коррелограммах, вуалирующим большую часть целевых отражений. Именно поэтому заказчиком работ АО «Дагнефтегаз» было принято решение использовать при проведении вибросейсмических исследований повышенную плотность наблюдений, что позволило сформировать на стадии обработки более эффективный пространственный фильтр и таким образом существенно снизить влияние низкочастотных помех. Однако, в пределах площади Карабудахкент, так же, как и на других площадях горной части Дагестана, амплитудно-частотная характеристика геологической среды, покрывающей мезозойские отложения, отличается повышенной глубиной подавления не только для высокочастотных, но и для среднечастотных гармоник. Поэтому даже на окончательных разрезах спектр мезо-

зойских отражений, как правило, ограничен справа гармониками 30-40 Гц.

Для примера, на рис. 1 приведены типичные корреляционные импульсы верхнемеловых отражений зарегистрированные на исходных коррелограммах, в пределах Карабудахкентской площади, и соответствующий им осреднённый спектр. Очевидно, что при такой динамике целевых отражений сложно рассчитывать на высокую эффективность исследований. В этой связи руководство АО «Дагнефтегаз» приняло решение провести в 2019 г. дополнительные работы на Карабудахкентской площади с использованием взрывного скважинного источника.

При выборе технологии возбуждения колебаний с применением взрывного излучателя учитывалось, что на основании обширной практики качественные сейсмические материалы представляется, как правило, возможным получать при взрыве в скважине, в точках расположенных в верхней части коренных пород. Однако, в конкретной ситуации в связи с повышенными углами наклона дневной поверхности и значительным поглощением бурового раствора, возможности применения буровых установок типа УРБ были весьма ограниченными. Поэтому основной объём наблюдений было решено выполнить с использованием малогабаритных буровых установок УБШМ 1-13 путём заложения зарядов в группе мелких скважинах, в точках расположенных в ЗМС. При этом логично было выбрать такие параметры источника при взрыве в ЗМС, при которых динамика регистрируемых колебаний была бы не хуже, чем для эталонного

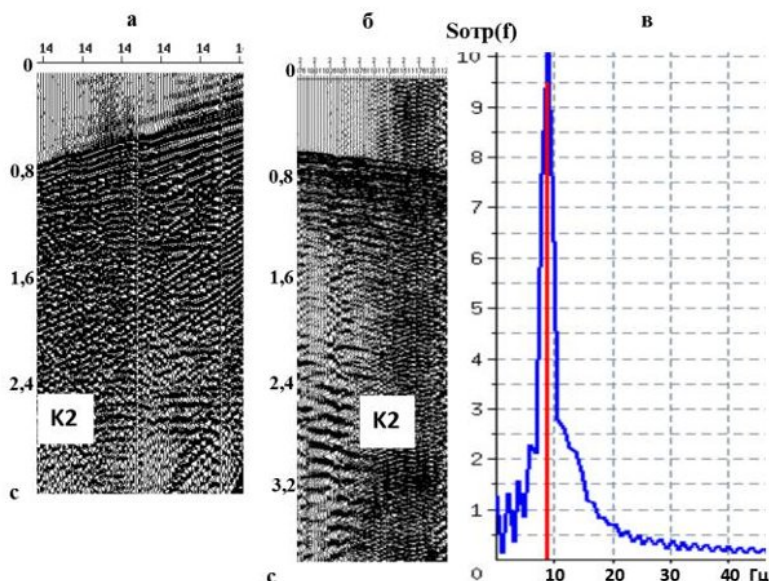


Рис. 1. Примеры корреляционных импульсов верхнемеловых отражений на первичных корелограммах, зарегистрированных при вибросейсмических исследованиях на Карабудахкентской площади (а, б), и соответствующий им осреднённый спектр $Somp(f)$ (в)

источника, т.е. для скважинного источника при взрыве в коренных породах.

Оценки оптимальных параметров излучателя при взрыве в ЗМС были выполнены с использованием теории сферического излучателя [2]. На основании теории сферического излучателя установлена аналогия взрывного скважинного источника с резонансным фильтром, частотная характеристика которого $H_{взр}(f)$ для скорости смещения определяется уравнением:

$$H_{взр}(f) = C \cdot (f / f_0)^2 / \sqrt{[1 - (f^2 / f_0^2)]^2 + 4(f^2 / f_0^2)(v_s^2 / v_p^2)} \quad \text{при } r \gg v_p / f, \quad (1)$$

где v_s и v_p – скорости распространения поперечных и продольных волн соответственно; f_0 – собственная частота источника; r – удаление от источника; C – константа.

При этом собственная частота скважинного излучателя f_0 определяется следующим образом:

$$f_0 = v_s / \pi R_{пл} = v_s / \pi (K \cdot \sqrt[3]{Q}) \quad (2)$$

где Q – масса заряда тротила, кг; $R_{пл}$ – радиус зоны пластической деформации при взрыве в скважине; K – константа.

Согласно формулам (1) и (2) для расчёта теоретических амплитудно-частотных

характеристик (АЧХ) очага взрыва необходимо задание параметров v_s и v_p , т.е. необходимо представление о скоростной модели верхней части разреза. Учитывая это обстоятельство, проектные объёмы МСК были выполнены до проведения опытно-методических работ.

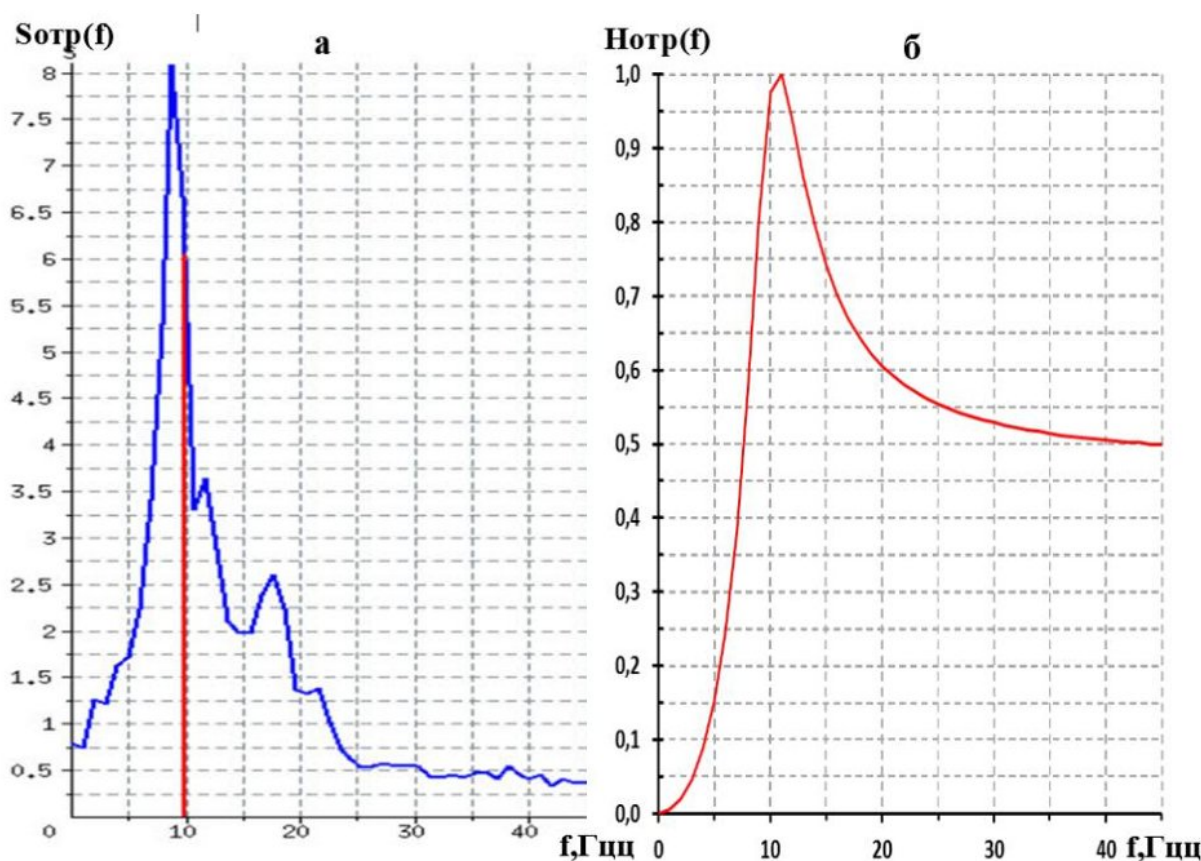
Помимо параметров v_s и v_p при расчёте графиков амплитудно-частотных характеристик очага излучателя необходимо, как показано выше, знание коэффициента K , определяющего радиус зоны пластических деформаций в области взрыва. С целью определения коэффициента K было выполнено сейсмическое наблюдение при взрыве заряда ВВ массой 1,5 кг в скважине, на глубине 12 м, в верхней части коренных пород, сложенных песчано-глинистыми отложениями. Амплитудный спектр зарегистрированных при этом верхнемеловых отражений приведён на рис. 2,а. Из рисунка можно видеть, что спектр целевых отражений характеризуется в данном случае весьма острым резонансом в области ≈ 10 Гц. При этом, как было показано в работе [1], аномально высокими резонансными свойствами очаг взрыва характеризуется в условиях пониженных значений отношения v_s/v_p , приближающихся к 0,2. На

участке проведения эксперимента отношение скоростей v_s/v_p равнялось $\approx 0,24$. В этой связи логично предположить, что столь острый резонанс спектра отражённых волн формировался не только в связи с особенностями частотной характеристики геологической среды, но и в значительной степени под влиянием резонансных свойств очага взрыва. Поэтому ориентировочно, с точностью достаточной для уточнения необходимых параметров скважинных излучателей, резонансную частоту взрыва при заложении заряда массой 1,5 кг на глубину 12 м можно принять равной ≈ 10 Гц.

При этом из формулы (2) следует достаточно простая связь между собственной частотой очага взрыва f_0 и коэффициентом K , позволяющая при

задании скорости поперечных колебаний v_s , равной в данном случае 480 м/с, рассчитывать значения K . Расчёты, проведённые с использованием указанной формулы показали, что в конкретных условиях для песчано-глинистого разреза коэффициент $K \approx 13$.

Амплитудно-частотная характеристика очага взрыва $H_{взр}(f)$ при заложении заряда ВВ массой 1,5 кг на глубине 12 м, рассчитанная с использованием формулы (1), приведена на рис. 2, б. Для расчётов были приняты следующие значения параметров, соответствующие условиям эксперимента и влияющие на форму графика АЧХ: $K \approx 13$, $V_p \approx 1960$ м/с, $V_s \approx 480$ м/с, $Q = 1,5$ кг. Из рис. 2, б можно видеть, что при возбуждении колебаний в кровле коренных пород, сложенных песчано-



▲ Рис. 2. Спектр мезозойских отражений (а), а также теоретический график АЧХ очага взрыва (б) при возбуждении колебаний в условиях Карабудахкентской площади, в скважине, в верхней части коренных пород, сложенных песчано-глинистыми отложениями, на глубине 12 м ($Q=1,5$ кг, $V_p \approx 1960$ м/с, $V_s \approx 480$ м/с)

глинистыми отложениями, АЧХ очага взрыва отличается достаточно резонансным характером.

Далее для выбора оптимальных параметров взрывного скважного источника при возбуждении колебаний в ЗМС, также сложенной песчано-глинистыми отложениями, были рассчитаны частотные характеристики очага взрыва при установке заряда ВВ на глубине 4 м ($V_p \approx 600$ м/с, $V_s \approx 360$ м/с), 3 м ($V_p \approx 535$ м/с, $V_s \approx 310$ м/с,) и 2 м ($V_p \approx 415$ м/с, $V_s \approx 240$ м/с). Для каждой из указанных глубин рассчитывались графики при массе заряда ВВ: $Q_1=0,3$ кг, $Q_2=0,6$ кг и $Q_3=0,9$ кг. Коэффициент K для всех глубин в связи с близкой по составу литологией принимался равным 13.

Рассчитанные для указанных параметров взрывного скважного источника частотные характеристики очага взрыва приведены на рис. 3.

Из представленного рисунка можно видеть, что амплитудно-частотные характеристики очага взрыва при установке зарядов ВВ в ЗМС существенно отличаются от аналогичного графика, рассчитанного для заряда, погруженного в область коренных пород (см. рис. 2, б и рис.3, график 1). Действительно, при возбуждении сейсмических колебаний в ЗМС амплитудно-частотные характеристики очага взрыва приобретают в значительной степени, менее резонансный характер. И такие особенности взрывного скважного источника ранее уже обсуждались в работе [1], где авторы на основании проведенных исследований отмечали, что по мере увеличения отношения v_s/v_p амплитудно-частотные характеристики очага взрыва становятся менее резонансными в окрестностях собственной частоты и по форме, в основном, соответствуют амплитудно-частотным характеристикам фильтра высоких частот.

Приведённое на рис. 3 семейство характеристик очага взрыва само по себе является вполне достаточным для определения оптимальных параметров скважинного излучателя при взрыве в ЗМС. Действительно, поставленная методическая задача формулируется в данном случае достаточно просто и заключается в выборе параметров взрывного скважинного источника, позволяющего повысить для меловых отражений вес гармонических составляющих, расположенных правее 10 Гц. На основании сопоставления графиков, показанных на рис. 3, очевидно, что в большей степени относительный вес указанных гармоник представляется возможным повысить при установке заряда массой 0,3 кг на глубине 3 - 4 м.

Аналогичные выводы можно также сделать и на основании сравнительного анализа спектров целевых отражений, рассчитанных при различных параметрах взрывных скважинных излучателей, и определяемых равенством:

$$S_{отр}(f) = H_{взр}(f) H_{ср}(f) Sp(f), \quad (3)$$

где $H_{взр}(f)$ - частотная характеристика очага взрыва;

$H_{ср}(f)$ – частотная характеристика геологической среды, покрывающей меловые отложения;

$Sp(f)$ - спектр функции давления в источнике.

В соответствие же с результатами исследований, приведёнными в работе [3], временной закон изменения давления в очаге взрыва приближается к импульсной функции Дирака, что позволяет исключить $Sp(f)$ из равенства (3). Т.е. спектр отражений с точностью до постоянного множителя, в основном, зависит от произведения частотных характеристик геологической среды и очага взрыва.

$$\text{Сотр}(f) = \text{Нвзр}(f) \text{ Нср}(f). \quad (4)$$

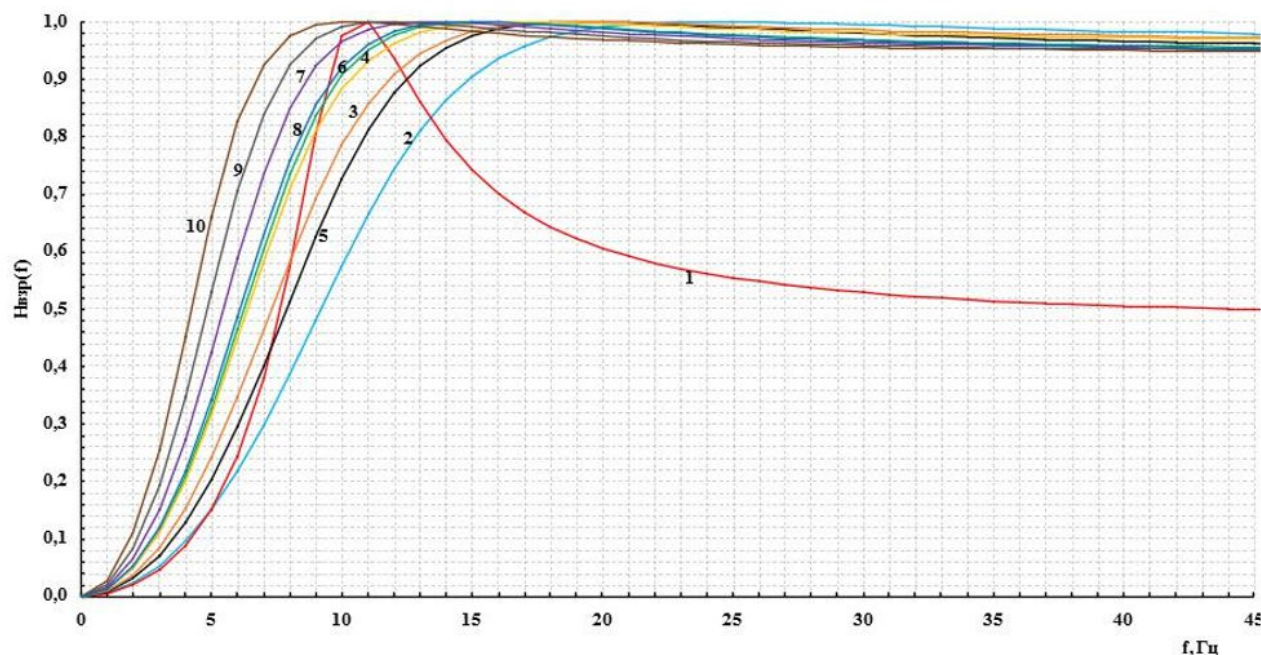
На основании равенства (4) частотная характеристика геологической среды, покрывающей целевые отложения, при проведении данных исследований определялась путём деления спектра верхнемеловых отражений, представленного на рис. 2,а, на АЧХ очага взрыва, приведённую на рис. 2,б.

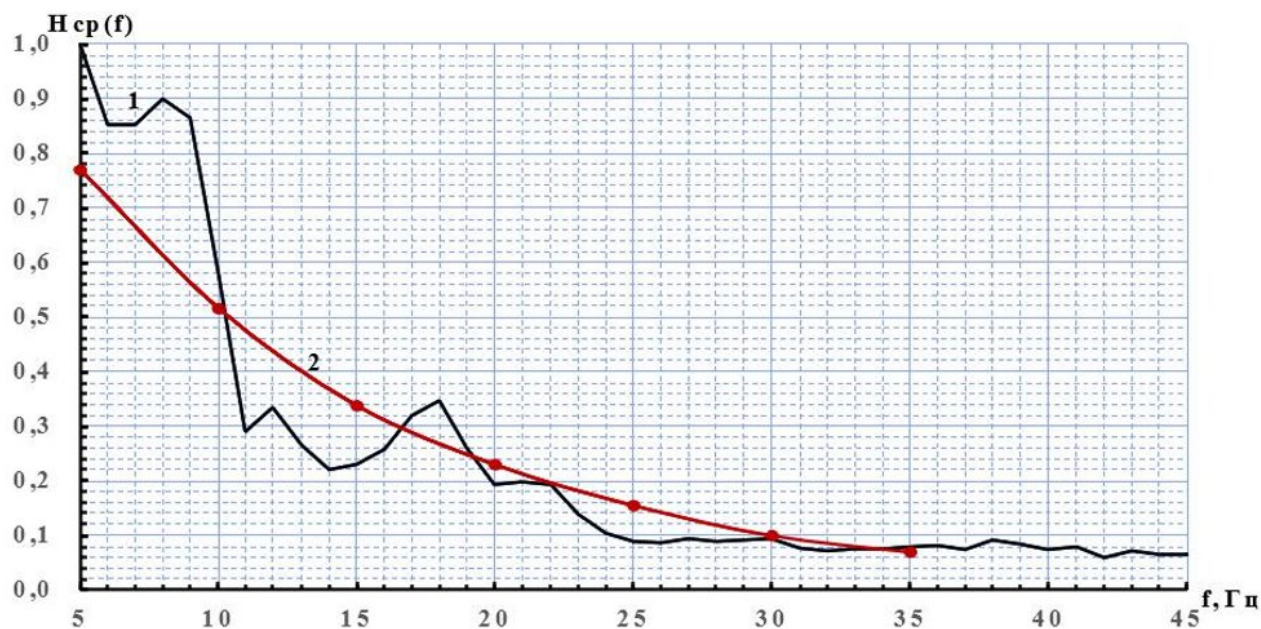
Амплитудно-частотная характеристика геологической среды, рассчитанная рассмотренным выше способом, представлена на рис. 4 (кривая 1). Точность определения данной амплитудно-частотной характеристики, безусловно, недостаточна для решения интерпретационных задач, однако вполне приемлема при решении методических вопросов. Так, в работе [4] на основании скважинных наблюдений показано, что для водонасыщенных осадочных пород при скоростях распространения продольных колебаний 2000-3000 м/с, среднестатистический

декремент поглощения продольных волн составляет около 0,04. С учётом приведённого значения декремента была рассчитана частотная характеристика геологической среды при условии, что общая длина траектории движения продольной волны составила 4000 м. График АЧХ геологической среды, рассчитанный таким образом, показан на рис. 4 (кривая 2). Из рисунка 4 можно видеть, что АЧХ геологической среды, рассчитанная с использованием данных, приведённых в справочной геофизической литературе, весьма качественно осредняет АЧХ среды, рассчитанной путём деления спектра меловых отражений на АЧХ очага взрыва заряда массой 1,5 кг, установленного в верхней части коренных пород. При этом график 2 не учитывает слоистость геологического разреза и поэтому в отличие от графика 1 он гладкий и строго соответствует экспоненциальной функции.

Прогнозируемые графики амплитудных спектров меловых отражений, рассчитанные путём перемножения

▼ Рис. 3. Теоретические АЧХ взрывного скважинного источника: 1 – коренные породы, $h_{\text{взр}} = 12$ м; $\vartheta = 1,5$ кг; 2 - $h_{\text{взр}} = 4$ м, $\vartheta = 0,3$ кг; 3 - $h_{\text{взр}} = 4$ м, $\vartheta = 0,6$ кг; 4 - $h_{\text{взр}} = 4$ м, $\vartheta = 0,9$ кг; 5 - $h_{\text{взр}} = 3$ м, $\vartheta = 0,3$ кг; 6 - $h_{\text{взр}} = 3$ м, $\vartheta = 0,6$ кг; 7 - $h_{\text{взр}} = 3$ м, $\vartheta = 0,9$ кг; 8 - $h_{\text{взр}} = 2$ м, $\vartheta = 0,3$ кг; 9 - $h_{\text{взр}} = 2$ м, $\vartheta = 0,6$ кг; 10 - $h_{\text{взр}} = 2$ м, $\vartheta = 0,9$ кг.





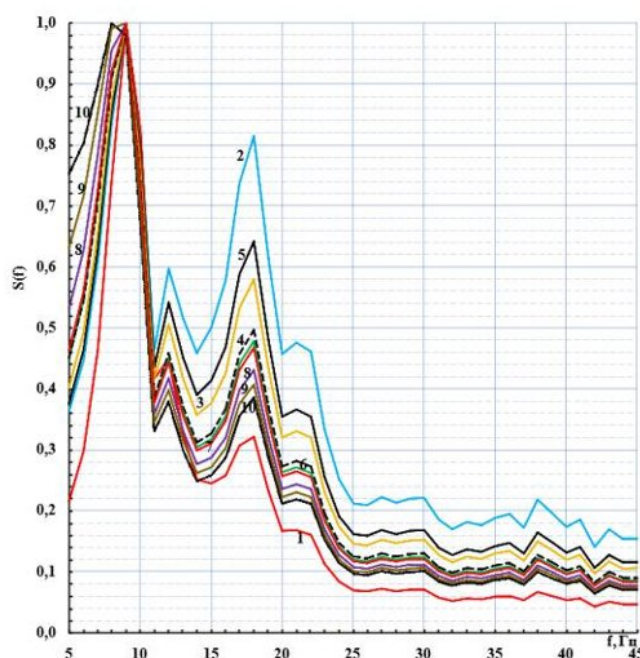
▲ Рис. 4. АЧХ геологической среды, покрывающей верхнемеловые отложения: 1 – график рассчитан путём деления спектра зарегистрированных меловых отражений на АЧХ очага взрыва ($h_{взр} = 12$ м; $\vartheta = 1,5$ кг); 2 – использовался декремент поглощения, приведённый в справочной литературе.

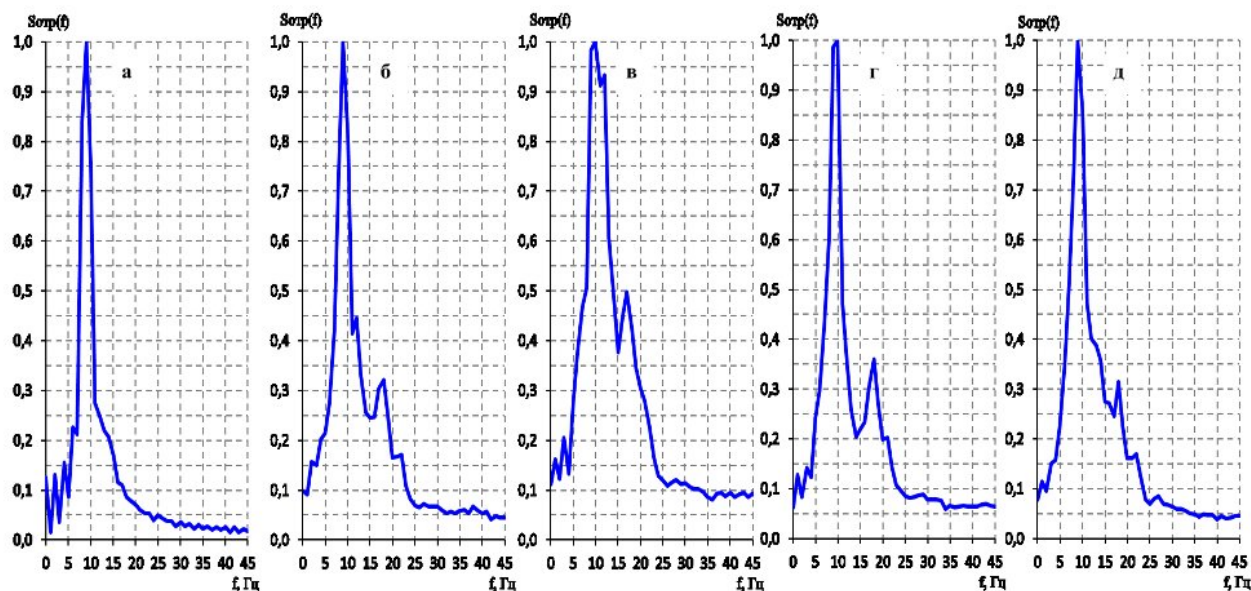
частотных характеристик очага взрыва $H_{взр}(f)$ при различных параметрах взрывного источника (см. рис. 3) и частотной характеристики геологического разреза $H_{ср}(f)$ (см. рис. 4, график 1) приведены на рис. 5.

На основании сравнительного анализа прогнозируемых спектров целевых отражений очевиден вывод аналогич-

ный выводу, который был сделан при рассмотрении графиков частотных характеристик очага взрыва. Т.е. наиболее значимое повышение веса гармоник, расположенных правее 10 Гц, можно обеспечить для верхнеюрских отражений в условиях Карабудахкентской площади путём установки заряда массой 0,3 кг на глубине 3–4 м.

► Рис. 5. Прогнозируемые графики амплитудных спектров меловых отражений: 1 – коренные породы, $h_{взр} = 12$ м; $\vartheta = 1,5$ кг; 2 – $h_{взр} = 4$ м, $\vartheta = 0,3$ кг; 3 – $h_{взр} = 4$ м, $\vartheta = 0,6$ кг; 4 – $h_{взр} = 4$ м, $\vartheta = 0,9$ кг; 5 – $h_{взр} = 3$ м, $\vartheta = 0,3$ кг; 6 – $h_{взр} = 3$ м, $\vartheta = 0,6$ кг; 7 – $h_{взр} = 3$ м, $\vartheta = 0,9$ кг; 8 – $h_{взр} = 2$ м, $\vartheta = 0,3$ кг; 9 – $h_{взр} = 2$ м, $\vartheta = 0,6$ кг; 10 – $h_{взр} = 2$ м, $\vartheta = 0,9$ кг.





▲ Рис. 6. Примеры амплитудных спектров импульсов верхнемеловых отражений, зарегистрированных на исходных сейсмограммах в условиях Карабудахкентской площади: а – вибро-сейсмический метод, $\Delta F = 6-70$ Гц, $T = 20$ с; б, в, г, д – взрывной скважинный источник; б - $h_{взр} = 12$ м, $Q = 1,5$ кг; в - $h_{взр} = 3$ м, $Q = 0,3$ кг; г - $h_{взр} = 3$ м, $Q = 0,6$ кг; д - $h_{взр} = 4$ м, $Q = 0,6$ кг

Для подтверждения достоверности теоретических оценок при выборе параметров взрывного скважинного источника были проведены дополнительные сейсмические наблюдения. Возбуждение колебаний осуществлялось на глубине 3 м с использованием зарядов ВВ 0,3 кг и 0,6 кг, а также на глубине 4 м с использованием заряда 0,6 кг. Для обеспечения необходимой глубинности исследования осуществлялось 4-х элементное группирование взрывных скважин. При этом в каждой скважине устанавливался заряд с указанной массой. Полученные при этом экспериментальные материалы подтверждают целесообразность использования теории сферического излучателя при выборе параметров взрывных скважинных излучателей. Так, из рисунка 6 можно видеть, что при взрыве заряда ВВ массой 1,5 кг в верхней части коренных пород динамика меловых отражений характеризуется заметно более высоким качеством по сравнению с динамикой вибро-сейсмических записей. Вместе с тем при взрыве заряда ВВ массой 0,3 кг на глуби-

не 3 м относительный вес гармонических составляющих, соответствующих диапазону 15 – 45 Гц, возрастает по сравнению с относительным весом аналогичных гармоник при взрыве заряда массой 1,5 кг в коренных породах на 55 – 100%, что практически совпадает с результатами теоретических оценок, приведёнными на рис. 5. При этом увеличение массы заряда, устанавливаемого на глубине 3 – 4 м, до 0,6 кг приводит, как это видно из рисунков 6, г и 6, д, к снижению качества динамики регистрируемых меловых отражений, что также соответствует результатам теоретических расчётов, приведённым на рис. 5.

Таким образом, выполненные исследования указывают на целесообразность использования теории сферического излучателя при выборе параметров взрывных скважинных источников, что позволяет более осмысленно подходить к выбору параметров взрывного излучателя и при необходимости существенно сокращать объёмы опытно-методических работ.

Литература

1. Боганик Г.Н., Гурвич И.И., 2006, Сейсморазведка: Учебник для вузов. Тверь: Издательство АИС, 744 с.

2. Гурвич И.И., 1965, К теории сферического излучателя сейсмических волн. – «Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли», №10.

3. Гурвич И.И., 1966, Функция возбуждения взрывного сферического излучателя продольных волн. – «Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли», №4.

4. Сейсморазведка: Справочник геофизика. В двух книгах / Под ред. В.П.Номоконова. Книга первая.- 2- изд.,- М.: Недра, 1990. – 336 с.

Подробнее об авторах



Кострыгин
Юрий Петрович

доктор технических наук,
профессор Кубанского
государственного
университета,
директор
ООО «Новоросморгео».



Хасан
Ресуль Енес

магистр геологии,
геофизик
ООО «Новоросморгео»