

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ АМПЛИТУДНОГО ДВИЖЕНИЯ ГЕОАКУСТИЧЕСКОЙ ВОЛНЫ С ПОМОЩЬЮ НЕСКОЛЬКИХ СЕЙСМОПРИЕМНИКОВ

к.ф.-м.н., доц. Шемякин А.Б.

Московская гуманитарно-техническая академия

Геоакустическая информация, содержащая сведения о состоянии и динамике геологических сред, вызванных природными и техногенными явлениями и факторами, поступает к нам с разных направлений в виде геоакустических упругих волн. Нашей задачей является регистрация этих волн, проявляющихся как колебания геологической среды. Хорошо известно, что в геологических средах возбуждаются и распространяются различные типы упругих волн: волны растяжения-сжатия, сдвиговые волны, крутильные волны, упругие волны на границах твердых слоев и сред [1, 2]. Распространяющиеся упругие волны при этом создают деформации среды и перемещения точек среды [3], регистрация которых и является нашей задачей.

Среди известных методов приема и регистрации информации, поступающей к нам в виде различных волновых процессов (электромагнитных радиоволн, акустических волн в атмосфере и гидросфере, сейсмических и геоакустических волн) основное место занимают фазово-разностные методы построения приемных устройств - антенн, размеры которых значительно превышают пространственные длины волн регистрируемых волновых процессов [4]. Также известны так называемые векторно-фазовые методы регистрации направления на источник геоакустической информации, осуществляемые с помощью приемных устройств, размеры которых меньше пространственных длин волн регистрируемых волновых процессов [5].

Наиболее распространенными приборами, используемыми для регистрации геоакустической информации, являются индукционные сейсмоприемники, принцип действия которых основан на явлениях инерции (для измерения механических колебаний) и электромагнитной индукции (для преобразования энергии колебаний в электрический сигнал). В корпус такого приемника, являющегося постоянным магнитом, с помощью пружинки прикрепляется индукционная катушка, способная совершать инерционные возвратно-поступательные движения относительно корпуса [6]. Вследствие конструктивных особенностей сейсмоприемника, колебательная система которого способна совершать только возвратно-поступательное движение, электрический сигнал на выходе индукционного сейсмоприемника будет максимален при совпадении направления движения геологической среды и направления возможного движения маятника, а в общем случае будет пропорционален проекции вектора перемещения геологической среды на ось максимальной чувствительности.

В случае регистрации амплитудной составляющей геоакустического сигнала (без учета фазовых соотношений) амплитуда электрического сигнала с сейсмоприемника будет составлять

$$U = S \cdot A \cdot \cos(\varphi - \varphi_0), \quad (1)$$

где S - амплитудное значение геоакустического сигнала,

A - коэффициент механо-электрического преобразования,

φ - направление оси максимальной чувствительности сейсмоприемника относительно некоторого опорного направления в диапазоне от $-\pi/2$ до $+\pi/2$,

φ_0 - направление амплитуды колебательного движения точки геологической среды.

Например, при ориентации приемника в направлении $\varphi = 0$, колебания в направлении $\varphi_0 = 0$ вызовут отклик приемника амплитудой $U = S \cdot A$, а колебания в направлении $\varphi_0 = \pi/2$ вызовут отклик приемника амплитудой, близкой к $U = 0$.

Из выражения (1) видно, что однозначное определение направления колебаний φ_0 по амплитуде отклика U одиночного приемника при известных A и φ не представляется возможным, вследствие изначальной неизвестности значения S и косинусоидальной зависимости амплитудной чувствительности приемника в рассматриваемом диапазоне углов, симметричной относительно разности $(\varphi - \varphi_0)$.

Возможность совместного применения двух приемников для определения направления колебаний геологической среды рассмотрим, приняв за прототип принцип моноимпульсной радиолокации с помощью двух разнонаправленных антенн [6]. Основным элементом этого устройства является блок сравнения амплитуд двух сигналов с двух приемников. При определении одной угловой координаты таким методом сравнения амплитуд для приёма сигналов используются два идентичных приёмных канала и антенна с двумя облучателями, смещёнными из её фокуса, вследствие чего направления максимумов их диаграмм направленности образуют некоторый угол. С приёмников детектированные в них сигналы подаются на устройство сравнения амплитуд. По отношению амплитуд на его выходе определяется значение и знак смещения направления на объект относительно равносигнального направления (так называемый сигнал ошибки), который часто используется для автоматического поворота антенны в направлении на объект.

По аналогии, рассмотрим совместное применения двух разнонаправленных приемников для определения направления колебаний геологической среды. Пусть ось максимальной чувствительности приемника U_1 составляет угол φ_1 с некоторым опорным (нулевым) направлением, а ось максимальной чувствительности приемника U_2 составляет угол φ_2 с этим же направлением. Тогда отношение амплитуд электрических сигналов с приемников при регистрации амплитуды геоакустических колебаний S направления φ_0 с учетом формулы (1) будет определяться отношением:

$$R_{12} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{S \cdot A \cdot \cos(\varphi_1 - \varphi_0)}{S \cdot A \cdot \cos(\varphi_2 - \varphi_0)} = \frac{\cos(\varphi_1 - \varphi_0)}{\cos(\varphi_2 - \varphi_0)} \quad (2)$$

Например, для типичной сейсмоустановки с взаимно-ортогонально расположенными сейсμοприемниками и выбранным направлением $\varphi_1 = 0$, при котором $\varphi_2 = \pi/2$, R_{12} после некоторых преобразований определится отношением $R_{12} = |\operatorname{ctg} \varphi_0|$. Приведенный пример проиллюстрирован рис. 1, на котором представлены зависимости U_1 , U_2 и R_{12} . Из графиков на рис. 3 ясно видно, что по отношению амплитуд R_{12} невозможно однозначно определить направление геоакустических колебаний, так как зарегистрированному отношению амплитуд R_{12} могут соответствовать два разных направления φ_0 .

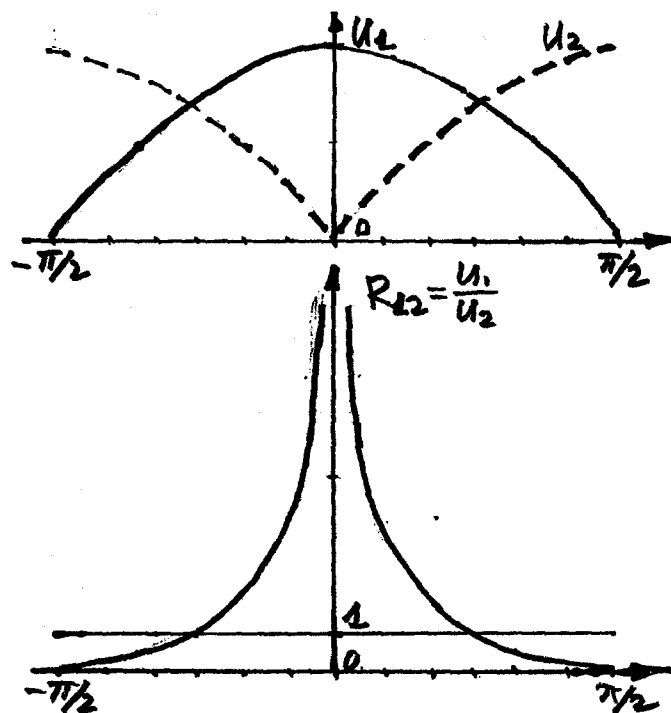


Рис. 1. Возможные отклики двух взаимно ортогональных приемников на геоакустический сигнал и отношение R_{12} этих двух регистрируемых амплитуд.

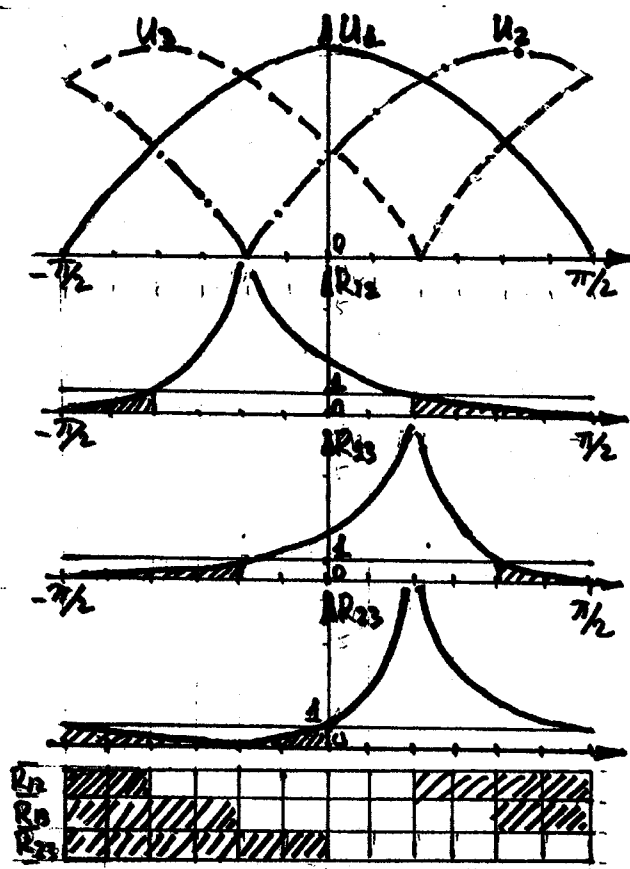


Рис. 2. Возможные отклики трех приемников на геоакустический сигнал и отношения R этих регистрируемых амплитуд, вместе с возможным разделением на области однозначного определения направления амплитуд геоакустических колебаний.

Покажем, что при использовании системы из трех приемников, оси максимальной чувствительности которых лежат в одной плоскости, можно однозначно определить направление геоакустических колебаний в этой плоскости. Положим, что оси максимальной чувствительности двух приемников составляют углы $\pm \pi/3$ с осью основного приемника U_1 , угловая направленность оси которого $\varphi_1=0$. Примем, что для приемника U_2 угол $\varphi_2= \pi/3$, а для приемника U_3 угол $\varphi_3= - \pi/3$. Составляя отношения амплитуд сигналов с трех приемников R_{12} , R_{13} и R_{23} , можно определить диапазоны углов, в пределах которых возможно однозначное определение направлений геоакустических колебаний по отношению амплитуд R . Приведенный пример проиллюстрирован рис. 2, на котором представлены зависимости U_1 , U_2 и U_3 вместе с R_{12} , R_{13} и R_{23} . Заштрихованы области, в которых значения R меньше единицы, и при определенном выборе соотношения которых возможно однозначное определение направлений геоакустических колебаний, например, по следующему вычислительному алгоритму для выбранной ориентации приемников, представленному в таблице.

Таблица 1. Алгоритм определения направления геоакустических колебаний по отношению R амплитуд U сигналов, регистрируемых тремя сейсμοприемниками.

Этап 1	Этап 2	Этап 3	Этап 4	Этап 5	Выбор диапазона углов	Определение направления колебаний по R
U_1	R_{12}	$R_{12}>1$	$R_{13}>1$	$R_{23}>1$	$0 \div \pi/6$	$R_{23}>1$
			$R_{13}<1$	$R_{23}<1$	$-\pi/6 \div 0$	$R_{23}<1$
			$R_{13}>1$	$R_{23}<1$	$-\pi/3 \div -\pi/6$	$R_{12}>1$
			$R_{13}<1$	$R_{23}>1$	$\pi/6 \div \pi/3$	$R_{13}>1$
U_2	R_{13}	$R_{12}<1$	$R_{13}>1$	$R_{23}>1$	$\pi/3 \div \pi/2$	$R_{13}<1$
			$R_{13}<1$	$R_{23}<1$	$-\pi/2 \div -\pi/3$	$R_{12}<1$

На этапе 1 регистрируются амплитуды сигналов с трех сейсмоприемников, соответствующих амплитудам движения геологической среды. На этапе 2 составляются и рассчитываются попарные отношения амплитуд с трех приемников. На 3 - 5 этапах осуществляется последовательный выбор диапазона углов, соответствующий определенным сочетаниям отношений амплитуд, и затем в выбранном диапазоне углов однозначно определяется направление амплитуды геоакустических колебаний.

Для рассмотренного примера ориентации трех приемников покажем, как работает описанный алгоритм при движении геологической среды в направлении $\varphi_0 = \pi/12$ (15°) с учетом $\varphi_1 = 0$, $\varphi_2 = \pi/3$, $\varphi_3 = -\pi/3$:

$$U_1 = \cos(-\pi/12) = \cos 15^\circ = 0,9659$$

$$U_2 = \cos(\pi/3 - \pi/12) = \cos(\pi/4) = \cos 45^\circ = 0,7071$$

$$U_3 = \cos(-\pi/3 - \pi/12) = \cos(5\pi/12) = \cos 75^\circ = 0,2588$$

$$R_{12} = 0,9659 : 0,7071 = 1,3660 > 1$$

$$R_{13} = 0,9659 : 0,2588 = 3,7322 > 1$$

$$R_{23} = 0,7071 : 0,2588 = 2,7322 > 1$$

Диапазон углов $0 \div \pi/6$

$$R_{23} = \frac{U_2}{U_3} = \frac{\cos(\pi/3 - \varphi_0)}{\cos(\pi/3 + \varphi_0)}$$

После некоторых преобразований получим для такой расстановки приемников аналитическое выражение для угла, характеризующего направление движения среды φ_0 :

$$\operatorname{tg} \varphi_0 = \frac{R_{23} - 1}{R_{23} + 1} \cdot \operatorname{ctg} \pi/3 = \frac{1,7322}{3,7322} \cdot 0,5774 = 0,2679$$

откуда находим, что $\varphi_0 = \operatorname{arctg} 0,2679 = 15^\circ$.

Предлагаемый подход к приему геоакустической информации с помощью нескольких сейсмоприемников может послужить одним из возможных способов изучения угловой анизотропии окружающих шумов и сигналов, а также может послужить некоторой альтернативой протяженным геоакустическим антеннам.

Литература

1. Ewing M., Jardetzky W., Press F. Elastic waves in layered media. N.Y.: McGraw-Hill, 1957.
2. Исаакович М.А. Общая акустика. М.: Наука, 1973. - 496 с.
3. Шемякин А.Б. Многокомпонентный прием волн в точке безграничной твердой среды. Доклад на совещании по морской сейсмологии и сейсмометрии в г. Ленинакане 10-13 февраля 1987г. // Известия Академии наук СССР, Серия Физика Земли, 1988, №4, стр. 110-112.
4. Александров С.И. Поляризационный анализ сейсмических волн. М.: ОИФЗ РАН, 1999. - 142 с.
5. Разнатов В.Н. Фазо-векторный анализ сейсмических волн. Гальперинские чтения - 2007. <http://www.geovers.ru/>.
6. Аппаратура и методика сейсмометрических наблюдений в СССР. М.: Наука, 1974.
7. Леонов А.И., Фомичев К.И. Моноимпульсная радиолокация. М.: 1984. - 312 с

DETERMINING THE DIRECTION OF MOVEMENT AMPLITUDE GEOACOUSTIC WAVES WITH A FEW SEISMOMETERS

Shemyakin Andrei Borisovich Candidate of Physical and Mathematical Sciences Associate Professor

Nongovernmental Institution of Higher Education "Moscow Academy of Humanities and Technology"

The report sets out a clear method of determining the direction of movement amplitude geoacoustic waves with a few seismometers. The proposed method can be used to study the angular anisotropy of geoacoustic noise and signals.

УДК 621.391:004(082)

ББК 32.511

Ц75

15-я Международная конференция «Цифровая обработка сигналов и ее применение – DSPA-2013», Москва, Россия, доклады.

УДК 621.391:004(082)

ББК 32.511

Ц75

Рецензенты:

проф. Бартенев В.Г., проф. Брюханов Ю.А., проф. Витязев В.В.,
проф. Галушкин А.И., проф. Дворкович В.П., д.т.н. Джиган В.И.,
член-корр. РАН Зубарев Ю.Б., проф. Прохоров Ю.Н.,
проф. Скачко Ю.В., проф. Чобану М.К., проф. Шинаков Ю.С.

ISSBN 978-5-905278-01-3

© Авторы докладов

© РНТОРЭС имени А.С. Попова

15-я Международная Конференция

DSPA-2013

Доклады

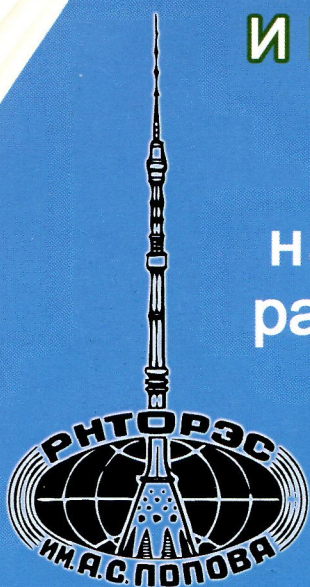
Том - 2



СЕРИЯ:

ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ
И ЕЁ ПРИМЕНЕНИЕ (выпуск: XV-2)

Российское
научно-техническое общество
радиотехники, электроники и связи
имени А.С. Попова



Москва - 2013