

С. Д. ВИНОГРАДОВ, А. В. НИКОЛАЕВ, П. А. ТРОИЦКИЙ

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ СЕЙСМИЧЕСКАЯ ГОЛОГРАФИЯ

(Представлено академиком М. А. Садовским 18 III 1974)

Голографический принцип построения изображений может быть осуществлен не только на световых, но и на других волнах — радио, акустических, сейсмических. Практического опыта сейсмической голографии, насколько нам известно, пока еще нет, хотя ее основные принципы уже описаны и запатентованы (1, 2).

Главная особенность сейсмической голографии — это сложное строение реальной среды и существование двух типов волн. Основная трудность в применении голографии для изучения Земли состоит в том, что исследуемые объекты — резкие границы, порождающие вторичные волны, размещены в среде со сложным пространственным распределением скоростей, т. е. коэффициента преломления. В результате изображение, проектируемое сейсмическими лучами на поверхность наблюдения, оказывается сильно искаженным и требует исправления за неоднородность среды.

Вследствие того, что каждый источник дифракции излучает волны двух типов, одновременно регистрируемых на поверхности, процесс восстановления должен породить два изображения, не совпадающие между собой, так как при одинаковой частоте колебаний продольные и поперечные волны имеют разную длину. Эта двойственность может быть исправлена и использована при идентификации объектов, но, по-видимому, все равно останется одним из препятствий изучения строения среды.

С целью проверки принципиальной возможности сейсмического голографирования мы провели эксперимент на модели. Модель, показанная на рис. 1, представляет собой параллелепипед (100 мм×100 мм×200 мм) из парафина, скорость волн P в котором $\approx 1,6$ км/сек, скорость S волн $\approx 1,1$ км/сек. Неоднородностями служили два взаимно перпендикулярных полых цилиндра диаметром $d_1=7$ мм и $d_2=10$ мм. Применялась габоровская схема голографии в опорном пучке. Источником служил пьезокерамический элемент диаметром 35 мм, излучающий продольные гармонические колебания с плоским фронтом на частоте 0,8 Мгц. Положение источника и точек регистрации показано на рис. 1. Площадь регистрации голограммы, размером 25 мм×25 мм, находилась на расстоянии $L=40$ мм от неоднородностей, что соответствует области френелевой дифракции.

Результирующее интерференционное поле регистрировалось с шагом в 1 мм с помощью пьезоэлектрического датчика диаметром 3 мм. Амплитуды считывались на экране осциллографа. Из полученного поля амплитуд была составлена голограмма на семь уровней, которая освещалась когерентным светом лазера.

При восстановлении изображения по сейсмической голограмме с помощью оптических средств следует учитывать то, что длины волн восстанавливающего излучения и излучения, при котором получена голограмма, не одинаковы. Это приводит к изменению как масштаба изображения, так и расстояния от плоскости голограммы, на котором формируется изображение.

В нашем опыте голографирование и восстановление производилось в коллимированных пучках. В этом случае изменение поперечного масштаба восстановленного изображения равно изображению масштаба голограммы перед восстановлением. Мы уменьшили размер голограммы в 10 раз, поэтому коэффициент изменения масштаба голограммы равен $m=0,1$. Расстояние от голограммы до плоскости, на которой формируется действительное изображение, $z=m^2L\lambda_{\text{вз}}/\lambda_{\text{св}}\approx 1,7$ м, где $\lambda_{\text{вз}}=0,25$ см — длина волны P в модели, $\lambda_{\text{св}}=6\cdot 10^{-3}$ см — длина волны восстанавливающего источника, L — расстояние от плоскости голограммы до неоднородностей.

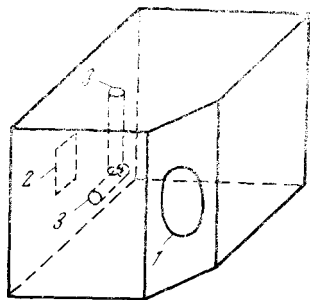


Рис. 1. Модель сейсмической среды (парафин), использованная в опыте по ультразвуковой сейсмической голографии: 1 — источник сейсмических волн, 2 — площадь регистрации голограммы, 3 — голографируемые объекты — два взаимно перпендикулярных цилиндра

приемником диаметром 3 мм, поэтому мы получили голограмму, сглаженную в трехмиллиметровом интервале. Для улучшения качества изображения необходимо улучшить детальность регистрации и увеличить апертуру голограммы.

2) Наш источник излучал главным образом P -волны, так как отношение его линейного размера к длине излучаемой волны значительно больше единицы (равно 14), тем не менее при дифракции на неоднородностях образуются обменные pS волны, которые искажают интерференционную картину P -волн. Изображение, соответствующее поперечным волнам, формируется на меньшем расстоянии от плоскости голограммы, чем изображение, определяемое продольными волнами. Возможно также, что эти изображения разнесены на некоторый угол, определяемый различным направлением подхода продольных и поперечных волн к плоскости регистрации голограммы. При восстановлении мы не обнаружили изображения, соответствующего поперечным волнам, но возможно, что присутствие S -волн сказалось на качестве полученного изображения.

3) Примененный способ голографирования с неразделенным опорным и предметным пучками связан с неудобствами визуализации изображения. В нашем случае плоскость голограммы попадает в зону дифракции Френеля, т. е. соответствует случаю, когда края тени, отбрасываемой неоднородностью, осложнены дифракционной картиной от границ неоднородно-

Восстановленное изображение показано на рис. 2. Квадратная рамка очерчивает границы восстановленного изображения (2 на рис. 1). Две темные полосы, идущие параллельно сторонам квадрата, — это изображение цилиндров — неоднородностей, темное пятно отмечает их пересечение (хотя сами цилиндры не пересекаются). Таким образом, восстановленное изображение правильно передает общий характер неоднородностей; отдельные черты оказались утерянными: не ощущается строгая цилиндричность формы и различие диаметров.

Итак, получен позитивный результат несмотря на ряд причин, которые мешали получению хорошего изображения. Рассмотрим эти причины.

1) Значения интерференционного поля в плоскости голограммы снимались с шагом 1 мм

плоскости голограммы снимались с шагом 1 мм

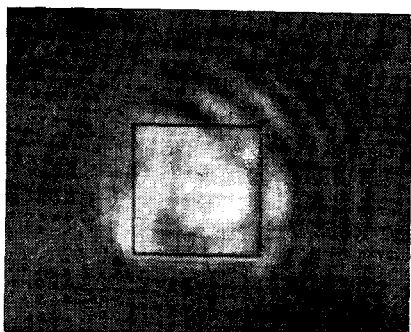


Рис. 2. Восстановленное изображение

сти, поэтому голографируемые объекты проявились в виде темных полос.

Исправление перечисленных недостатков позволит в дальнейшем перейти к изучению более сложных реальных сред.

Выбранная модель с характерной формой неоднородности соответствует таким реальным объектам исследования, как рудные тела, дайки, жилы, границы горных выработок. Такие неоднородности практически недоступны исследованиям методами традиционной сейсмологии.

Сейчас трудно себе представить картину земных недр, которая будет получена восстановлением сейсмической голограммы. Денис Габор в нобелевской лекции сказал, что природа в голографии выступает на стороне изобретателя. Надо надеяться, что это свойство природы простирается и на сейсмическую голографию.

Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта
Академии наук СССР
Москва

Поступило
26 XII 1973

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ *D. Silverman*, U.S. Pat. № 3 450 225; 3 400 363, 1969. ² *E. D. Riggs*, U.S. Pat. № 3 691 517, 1972.