

ДИФРАКЦИОННЫЙ ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ СЕЙСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ.

*Б.Р. Завалишин¹, А.А. Шевченко².

¹РГУ Нефти и Газа им.И.М.Губкина

117296 г.Москва, Ленинский пр. 65

²ПетроАльянс Сервисис Компани Лимитед.

Diffraction approach to seismic imaging.

*B.R.Zavalishin¹, A.A. Shevchenko².

¹Russian State University of Oil and Gaz, 65 Leninsky prospekt, Moscow, 117296 Russian Federation.

²Petro Alliance Services Company Limited

Summary

Seismic imaging is carried out by backward extrapolation (migration) of the wavefield from the observation surface to the geologic media. The quality of images depends on the accuracy of the wavefield reconstruction at interior subsurface points. “True amplitude migration” algorithms pretend to be accurate but are computationally expensive. The increased expense is not always justified by improvement of the final image. An explanation can be seen in that a high level noise is produced by the migration algorithms themselves. One of the components of noise is diffraction caused by limitation of migration aperture. Reasonable choice of aperture shape and dimensions converts diffractions into useful information thus improving images.

Аннотация

Высокое качество сейсмических изображений и достоверность устанавливаемых свойств отражающих границ зависит от степени сходства восстановленного посредством миграции поля с полем, существовавшим в среде. За преобразованиями, претендующими на возможность асимптотически точного восстановления поля, закрепилось название “true amplitude migration”. Их известным недостатком является значительное увеличение объема вычислений, далеко не всегда приводящее к улучшению результатов, что можно объяснить высоким собственным шумом такого рода преобразований. Одной из составляющих собственного шума является дифракция, обусловленная ограниченностью апертуры миграции. При разумном выборе размеров и формы апертуры миграции дифракционный шум можно обратить в полезную информацию и таким образом улучшить качество изображений.

Построение сейсмических изображений основано на обращенном продолжении волнового поля (миграции) с поверхности наблюдений во внутренние точки геологической среды, на которых оно могло образоваться в результате отражения. Точность изображений и достоверность устанавливаемых свойств отражающих границ зависит от степени сходства восстановленного посредством миграции поля с полем, существовавшим в среде. За преобразованиями, претендующими на возможность асимптотически точного восстановления поля, закрепилось название “true amplitude migration”. Их широко обсуждаемым недостатком является значительное увеличение объема вычислений, далеко не всегда приводящее к улучшению результатов [1], что можно объяснить высоким собственным шумом такого рода преобразований.

Опираясь на привычные для сейсморазведки упрощающие представления о среде и регистрируемых волнах, для “точного” обращения волнового поля на практике обычно используется высокочастотное приближение

$$u \approx -\frac{1}{2\pi\nu} \iint_s \frac{\partial r}{\partial n} \left[\frac{\partial F}{\partial t} \right] \frac{ds}{r} \quad (1)$$

модифицированного [2] интеграла Релея-Зоммерфельда

$$u = -\frac{1}{2\pi} \iint_s \left\{ \frac{1}{vr} \frac{\partial r}{\partial n} \left[\frac{\partial F}{\partial t} \right] + \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{1}{r} \right) [F] \right\} ds. \quad (2)$$

В подавляющем большинстве интересных для практики случаев оценки (1) и (2) почти не различимы, но приводят к желаемому результату только при условии, что плоская поверхность наблюдений s бесконечна.

Неизбежное на практике ограничение поверхности интегрирования s согласно интегральной теореме Гельмгольца-Кирхгофа в общем случае исключает возможность точного (т.е. без каких-либо помех или искажений) восстановления поля, существовавшего в среде. Непосредственной физической причиной этого является появление в обрабатываемом поле дифрагированных волн, образующихся на кромке апертуры, ограничивающей s . Так как эти волны не обусловлены средой и отсутствуют в исходном волновом поле, обычно их считают помехой и стремятся ослабить [3], что делает алгоритмы “точной миграции” еще более громоздкими и дорогими. При этом в общем случае не может быть гарантий того, что дифракционные помехи ослабляются в достаточной мере, а полезный сигнал остается неискаженным. Мы рассмотрим альтернативную возможность использования краевой дифракции в качестве полезной информации. Идея заключается в создании таких условий конструктивной интерференции исходного и дифракционного полей, при которых неизбежное искажение обращенного поля приводит к его контролируемому усилению. Такой подход представляется более рациональным по сравнению с тем, который хотя и разделяется частью исследователей, все же ставит перед собой теоретически невыполнимую цель – точного восстановления волнового поля с ограниченной апертуры.

Доступные для относительно простого математического анализа дифракции на апертуре решения ограничиваются несколькими частными случаями. Воспользуемся одним из них и приведем точную аналитическую оценку интеграла (2) для случая обращенного продолжения поля с поверхности круглой апертуры в точки ее вертикальной оси, полученную аналогично [4]. Если поле $F = f(t - \rho/v)/\rho$ импульсного источника, расположенного в точке z_0 (рис. 1), зарегистрировано на плоской поверхности $z=0$, ограниченной кругом радиуса a , то его обращение в произвольную точку оси z приводит к следующему результату

$$u(t, 0, 0, z) = \frac{f\left(t - \frac{z_0 - z}{v}\right)}{z_0 - z} - \frac{f\left(t - \frac{\rho_a - r_a}{v}\right)}{(\rho_a - r_a)} \frac{z}{r_a}, \quad (3)$$

где $r_a = \sqrt{a^2 + z^2}$, $\rho_a = \sqrt{a^2 + z_0^2}$.

В высокочастотном приближении аналогичный результат можно получить, оценивая (1) методом стационарной фазы или численно, как это сделано в [3]. Поэтому, если точке z_0 придать смысл мнимого источника, (3) можно рассматривать и как результат обращенного продолжения поля по алгоритму (1), выполняемого в сейсморазведке с целью построения изображения границы на глубине $z=z_0/2$. Первое слагаемое в (3) точно описывает поле, существовавшее в среде, второе представляет дифрагированную волну-помеху, образовавшуюся на крае апертуры. Здесь уместно обратить внимание на два обстоятельства, заключающиеся в том, что восстанавливаемое исходное поле в (3) от размера апертуры не зависит, а форма дифрагированной волны совпадает с формой колебания исходного поля благодаря одновременному приходу дифракции от всех точек кромки в точки вертикальной оси (стационарного луча).

Наличие решения рассматриваемой дифракционной задачи продолжения поля в явном виде (3) оказывается удобным для анализа альтернативных возможностей, как ослабления, так и использования дифракции. Он, в частности, показывает [5], что при радиусе апертуры

$$a \approx 2\sqrt{vz\tau} = v\sqrt{2t_0\tau}, \quad (4)$$

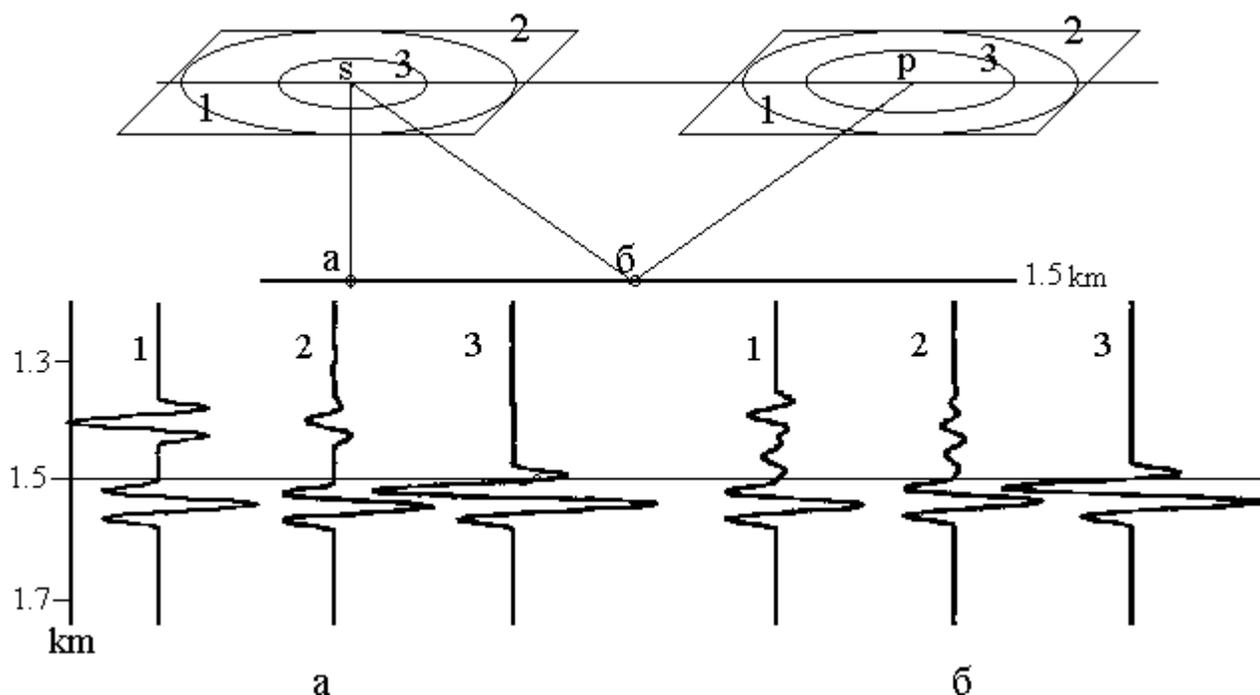


Рис. 3 Глубинная миграция волны, отраженной от горизонтальной границы. (а) - центр апертуры совпадает с источником ($SP=0$). (б) - $SP=1,5$ км. Форма и размер апертуры: 1 – круг радиуса 1 км; 2 – квадрат со стороной 2 км; 3 – первая зона Френеля, определяемая условием (5).

Ограничение апертуры миграции первой зоной Френеля обладает двумя очевидными достоинствами. Способствуя усилению полезного сигнала, краевая дифракция фактически перестает быть неконтролируемой помехой, что снижает собственный шум миграционных преобразований, одновременно заметно сокращается объем вычислений.

Для иллюстрации сказанного на рис.3 приведены результаты обращенного продолжения волны, отраженной от горизонтальной границы ($z=1,5$ км, $v=2$ км/с), полученные (А.К. Козлова) посредством численной оценки ($\Delta x=\Delta y=25$ м) интеграла (1). Использовались апертуры трех типов со смещением центра относительно источника (рис. 3,б) и без смещения (рис. 3,а). Эксперимент свидетельствует о зависимости поля краевой дифракции как от размера и формы апертуры, так и от направления распространения волн, что затрудняет возможность контроля при попытках ослабления дифракции посредством аподизации. Результаты миграции с предлагаемой апертурой (кривые 3) характеризуются увеличенной амплитудой и устойчивостью формы колебаний.

Авторы благодарны ОАО “Газпром” и СК “ПетроАльянс” за поддержку исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Dellinger J., Gray S.H., Murphy G.E.* // *Geophysics*. 2000. V. 65. No 3. P. 943-950.
2. *Васильев С.А.* // *Физика Земли*. 1973. № 3. С. 35-47.
3. *Sun J.* // *Geophysics*. 2000. V. 65. № 2. P. 584-595.
4. *Завалишин Б.Р.* // *ДАН СССР*. 1989. Т. 309. № 4. С. 835-837.
5. *Zavalishin B.R.* // *Geophysical Prospecting*. 2000. V. 48. № 4. P. 629-643.
6. *Зоммерфельд А.* *Оптика*. М. : Ил, 1953. 486 с.