

# Возможность изучения ВЧР на основе полноволнового численного моделирования

В.А. Рыжов (Казань, Россия)

vrizov@mail.ru

к.ф.-м.н., руководитель ИАЦ, ЗАО «Градиент»

Е.В. Бириальцев

igenbir@yandex.ru

к.ф.-м.н., зам.ген.директора по науке и новым технологиям, ЗАО «Градиент»

М.Р. Камилов

marselk@mail.ru

инженер

**Рассматривается возможность изучения сейсмомеханических характеристик зоны малых скоростей и верхней части разреза на основе полноволнового численного моделирования. Показана возможность восстановления свойств среды по динамическим характеристикам ее отклика, без выделения в нем определенных типов волн, а путем анализа волнового процесса таким, как он есть. Результаты показали принципиальную работоспособность предложенного подхода к изучению среды. Идея использовать отклик среды полностью без разделения его на типы волн кажется весьма перспективной с точки зрения детальности и информативности восстановления. Очевидно, что данный подход сопровождается ресурсоемкими вычислениями, которые, вероятно, сдерживали его развития ранее**

## Материалы и методы

Численное моделирование, корреляционный анализ

## Ключевые слова

полноволновое численное моделирование, ЗМС, ВЧР, скоростной разрез

## Введение

Результаты детального изучения сейсмомеханических характеристик зоны малых скоростей и верхней части разреза могут являться хорошей основой для сейсмических (ОГТ) и микросейсмических методов исследования (НСЗ) [1, 2], нацеленных на изучение более глубоких горизонтов, а также для инженерных целей.

Небольшие глубины исследования (до 100 м) обычно определяют выбор метода преломленных волн (МПВ) [3], как основного в инженерной сейсморазведке. Малая глубинность исследований диктует необходимость использовать высокочастотную модификацию метода, что дает возможность более детального расчленения разреза по упругим свойствам. В то же время значительная степень поглощения в верхней части геологического разреза энергии упругих волн определяет использование систем наблюдения, состоящих из коротких годографов.

При этом главная информация для решения инженерно-геологических задач сейсмическим методом получается путем определения кинематических характеристик — скоростей распространения сейсмических волн. Наряду с этим важную информацию несут динамические характеристики (амплитуды волн, затухание, частота и т.д.) они более тонко отражают изменение состояния среды, чем кинематические, но не учитываются при обработке, так как требуют более сложных методов обработки.

Другой модификацией сейсмических методов, применимых к изучению ЗМС и ВЧР, является метод MASW [4], основанный на восстановлении разреза поперечных скоростей по форме дисперсионной кривой поверхностной волны Релея.

Приведенные выше методы (МПВ, MASW) строятся на выделении определенного типа волн из общей волновой картины. Для этого используются профильные наблюдения группой сейсмоприемников, расположенных с некоторым шагом, что ведет к понижению разрешающей способности по горизонтали. Вторым ограничением методов является то, что невозможно разделить низкочастотное волновое поле по типам волн вблизи пункта возбуждения из-за их интерференции между собой. Низкочастотная составляющая важна при изучении градиентных сред, которыми зачастую являются ЗМС и ВЧР.

Таким образом, среди геофизических методов имеется незаполненная ниша. Неумение работать с полноценной формой отклика, такой, какой она есть, ведет к понижению разрешающей способности и информативности методов.

В данной работе изучается возможность восстановления свойств среды по динамическим характеристикам ее отклика

без выделения в нем определенных типов волн, а путем анализа волнового процесса, такого, как он есть. Для того чтобы использовать форму кривой отклика для восстановления свойств разреза, воспользуемся комплексом полноволнового численного моделирования [5].

**Методика.** Для решения обратной задачи — восстановления характеристик разреза по его отклику на импульсное воздействие, заранее было решено множество прямых задач в условиях плоскопараллельного залегания группы пластов, причем моделировались также и случаи, когда нижележащие пласты имели пониженные скорости относительно вышележащих в различных модификациях. Размеры каждой модели — 40х40 м, ячейки размером 1х1 м. Схема модели приведена на рис. 1. В центре модели на поверхности создавалось импульсное воздействие (черный перевернутый треугольник). Регистрация велась в трех пунктах (белые треугольники):

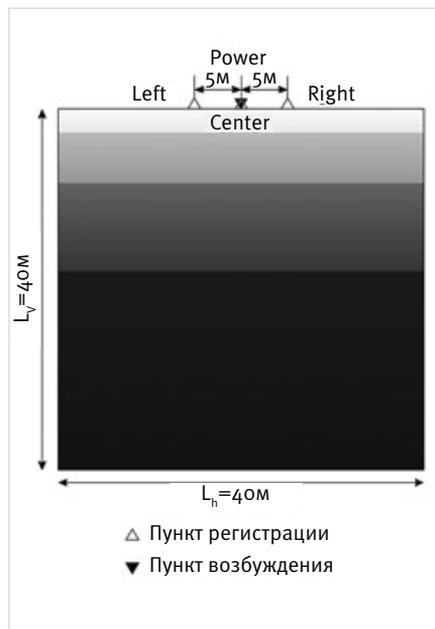


Рис. 1 — Схема модели

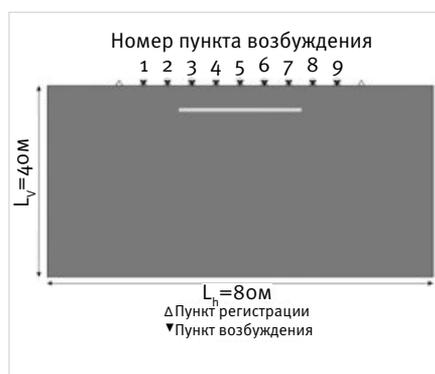


Рис. 2 — Схема модели тестовых разрезов

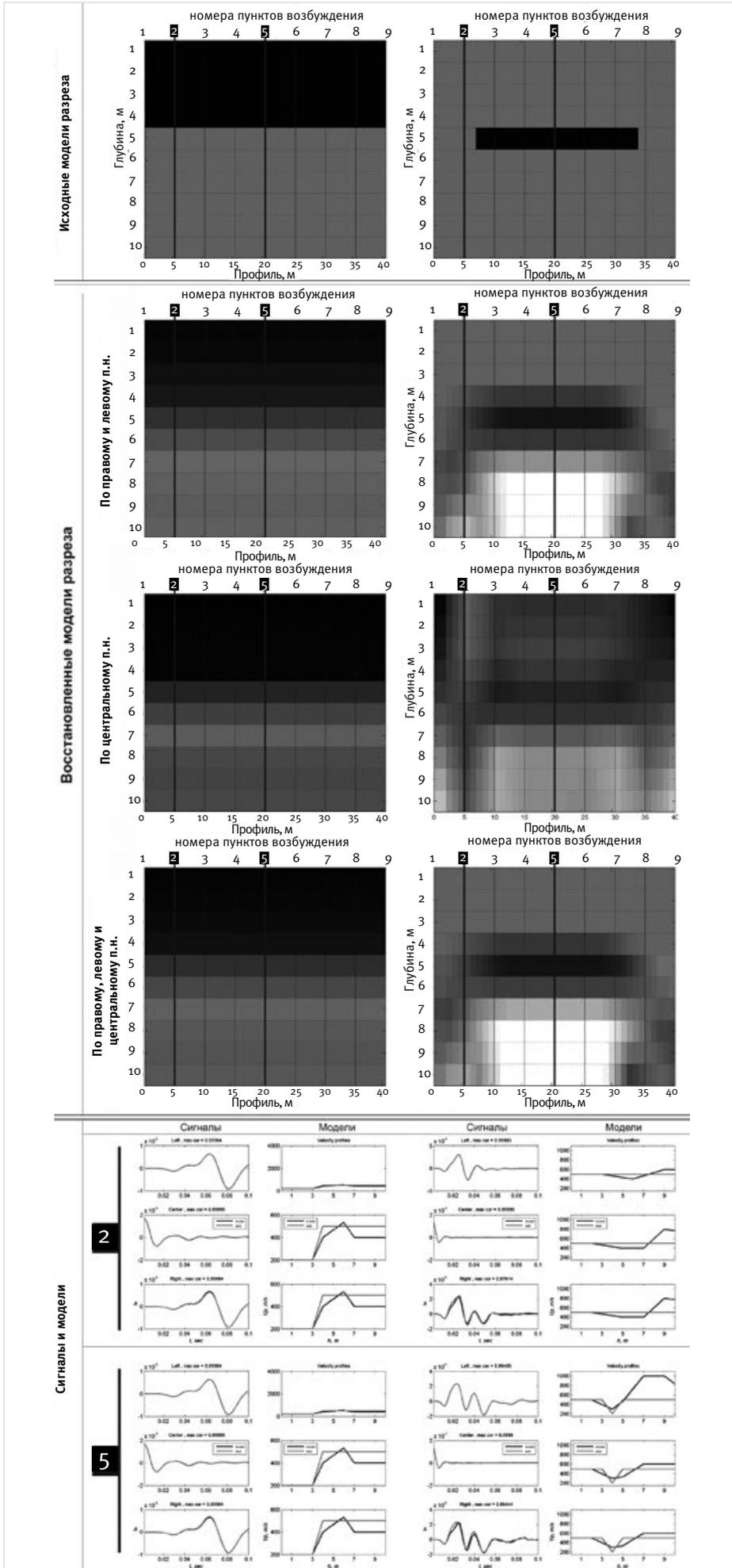


Рис. 3 — Примеры восстановления скоростного разреза

Opportunity to study the upper part of section based on full-wave numerical simulation

**Authors**

Vasily A. Rizhov (Kazan, Russia)

phD, head of analytic center, Gradient JSC

Eugeny V. Birialtsev

phD, deputy general director on science and innovative technologies

Marsel R. Kamilov

engineer

**Abstract**

The possibility of studying mechanical characteristics of low velocity zone and the upper part of section based on full-wave numerical simulations. We study the possibility of restoring properties of the medium by dynamic characteristics of its response without allocating it specific types of waves. We analyze the wave process, as it is. Results showed working capacity of the approach. In terms of detail restore the idea of using medium response without dividing it into types of waves seems to be very promising. Obviously, this approach is accompanied by intensive computations, which probably hindered its development earlier

**Materials and methods**

Numerical simulation, correlation analysis

**Results**

Despite a somewhat straightforward approach to solving the problem, the results of restoring sections in general agree well with the original model of velocity profiles. This shows the working capacity of the method. For some cases, there are sharp emissions on sections which absent in the original structure of the section. This may indicate some instability of the inverse problem. Probably, in this case it relates to a duration modeling (0.06 s), which limits the impact of the deeper properties of the medium to the shape of the simulated signal.

**Conclusions**

Results showed working capacity of the approach. In terms of detail restore the idea of using medium response without dividing it into types of waves seems to be very promising. The idea to use the response of the medium is completely without dividing it into types of waves appears to be very promising in terms of detail and informativeness of recovery. Obviously, this approach is accompanied by intensive computations, which are probably hindered its development earlier. Of course, a direct search of all possible variants is not the best way to develop such an approach. As a priori information can be used the results of already known methods. We assume that the further development of this approach will be in the direction of adaptive recovery characteristics of the medium model.

**Keywords**

full-wave numerical simulations, the zone of low velocities, the upper part of the section, the velocity model

**References**

1. Stepanov A.I. *Stepanov A.I. Effektivnost' primeneniya nizkochastotnogo seismicheskogo zondirovaniya na territorii Melekesskoy vpadiny. Tezisy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Uvelichenie nefteotdachi – prioritnoe napravlenie vosпроизводства запасов углеводородного сырья", posvyashchennoy 100-letiyu so dnya rozhdeniya vydayushchegosya geologa Trofimuka A.A. [Effektivnost' primeneniya nizkochastotnogo seismicheskogo zondirovaniya na territorii Melekesskoy vpadiny. Tezisy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Uvelichenie nefteotdachi – prioritnoe napravlenie vosпроизводства запасов углеводородного сырья", posvyashchennoy 100-letiyu so dnya rozhdeniya vydayushchegosya geologa Trofimuka A.A.] 2011.*
2. Birialtsev E.V., Plotnikova I.N., Khabibulin I.R., Shabalin N.Y. *The analysis of microseisms spectrum at prospecting of oil reservoir on Republic Tatarstan. EAGE Conference. Saint Petersburg, Russia, 2006.*
3. Gameurtsev G.A., Riznichenko Yu.V., Berzon I.S., Eshshat'eva A.M., Pasechnik I.P., Kosminskaya I.P., Karus E.V. *Korrelatsionnyy metod prelomlennykh voln. Rukovodstvo dlya inzhenerov-seysmorazvedchikov [Korrelatsionnyy metod prelomlennykh voln. Rukovodstvo dlya inzhenerov-seysmorazvedchikov] AKADEMIYA NAUK SSSR GEOFIZICHESKIY INSTITUT, IZDATEL'STVO AKADEMII NAUK SSSR, Moscow, 1952.*
4. Park C.B., Miller R.D., Xia J. *Multichannel analysis of surface waves. Geophysics, 1999 V. 64, pp. 800-808.*
5. Galimov M.R., Biryaltsev E.V. *Nekotorye tekhnologicheskie aspekty primeneniya vysokoproizvoditel'nykh vychisleniy na graficheskikh protsessorakh v prikladnykh programmykh sistemakh. Vychislitel'nye metody i programmirovaniye [Nekotorye tekhnologicheskie aspekty primeneniya vysokoproizvoditel'nykh vychisleniy na graficheskikh protsessorakh v prikladnykh programmykh sistemakh] Vychislitel'nye metody i programmirovaniye, 2010. T. 11, pp. 77-93.*

1) в пункте возбуждения; 2) справа и слева от пункта возбуждения на расстоянии 5 м. Время моделирования было меньше оценочного времени прохождения фронта волн от точки возбуждения до границы модели и обратно к ближайшему пункту регистрации сигнала.

Модели состояли из 6 пластов. Задавались следующие мощности и скорости пластов:

%мощность пластов

$h_1=[1\ 2\ 3\ 4\ 5\ 6]$ ;

$h_2=[1\ 2\ 3\ 4\ 5\ 8]$ ;

$h_3=[2\ 3\ 5\ 8\ 12]$ ;

$h_4=[3\ 6\ 10\ 16]$ ;

$h_5=[5\ 9\ 14\ 20]$ ;

%скорости продольных волн

$vr_1=[100\ 150\ 200\ 300\ 500]$ ;

$vr_2=[100\ 200\ 300\ 400\ 600\ 800]$ ;

$vr_3=[200\ 400\ 600\ 800\ 1000]$ ;

$vr_4=[300\ 500\ 900\ 1300]$ ;

$vr_5=[300\ 500\ 900\ 1200\ 1500]$ ;

$vr_6=[800]$ ;

Последний пласт №6 простирался до нижней границы модели. Скорость в нем не менялась (800 м/с), так как предполагалось, что изменения скорости в нем уже не скажутся на форме регистрируемых сигналов, так как пласт находится на достаточном удалении от поверхности. Дополнительно выполнялось условие, что сумма мощностей первых пяти слоев должна быть больше 30 м в противном случае разрез не моделировался. Значения скоростей модели разреза сглаживались катящимся средним в вертикальном направлении с длиной окна 3 м. Это делалось из предположения, что реальная среда в ЗМС имеет градиентный перепад скорости, а не контрастный. Всего были получены отклики примерно от 4 млн. различных вариантов мощностей и скоростей пластов в моделях.

Проверка принципиальной работоспособности метода производилась с использованием численного моделирования. Для этого было промоделировано несколько тестовых разрезов с различными видами неоднородностей в них. Моделирование проходило по следующей схеме (рис. 2). Последовательно, через каждые 5 м вдоль профиля по поверхности создавалось импульсное воздействие, и регистрировались отклики в пункте возбуждения, соседних с ним пунктах (справа и слева) на расстоянии 5 м от пункта возбуждения.

Восстановление скоростного разреза проводилось по следующему алгоритму. В каждом пункте возбуждения выполнялся поиск максимально схожей формы отклика от этого

воздействия с ранее промоделированными откликами в базе моделей. В качестве метрики схожести откликов был взят коэффициент корреляции Пирсона. На рис.3 приведены разрезы, восстановленные из скоростных моделей по максимальной схожести:

1) левых, правых откликов;

2) центральных откликов;

3) левых, правых и

центральных откликов.

Скоростной разрез максимально схожей модели вставлялся под пункт возбуждения. При восстановлении по двум или трем откликам их скоростные разрезы усреднялись. Таким образом, был восстановлен каждый тестовый разрез. Результаты восстановления представлены на рис. 3, где можно сравнить исходную форму тестовых разрезов с восстановленной. Также на рисунке приведены зарегистрированные отклики и их скоростные модели (сигналы и модели) для 2-ого и 5-ого пунктов возбуждения.

**Итоги**

Несмотря на несколько прямолинейный подход к решению задачи, результаты восстановления в целом хорошо сходятся с исходными моделями разрезов. Что, в первую очередь, говорит о принципиальной работоспособности метода. Для некоторых случаев в восстановленных разрезах наблюдаются резкие выбросы, не обоснованные структурой исходного разреза. Что может говорить о некоторой неустойчивости решения обратной задачи. Вероятно, в данном случае она связана со временем моделирования 0.06 с, что ограничивает влияние более глубоких свойств разреза на форму промоделированного сигнала.

**Выводы**

Результаты показали принципиальную работоспособность предложенного подхода изучения среды. Идея использовать отклик среды полностью без разделения его на типы волн кажется весьма перспективной с точки зрения детальности и информативности восстановления. Очевидно, что данный подход сопровождается ресурсоемкими вычислениями, которые, вероятно, сдерживали его развитие ранее. Безусловно, прямой перебор всех возможных вариантов это не оптимальный путь развития такого подхода. В качестве априорной информации могут быть использованы результаты уже известных методов. Предполагается, что дальнейшее развитие данного подхода будет происходить в направлении последовательного адаптивного восстановления характеристик модели среды.

**Список использованной литературы**

1. Степанов А.И. Эффективность применения изокчастотного сейсмического зондирования на территории Мелекесской впадины. Тезисы Международной научно-практической конференции «Увеличение нефтеотдачи – приоритетное направление воспроизводства запасов углеводородного сырья», посвященной 100-летию со дня рождения выдающегося геолога Трофимюка А.А., 2011.

2. Birialtsev E.V., Plotnikova I.N., Khabibulin I.R., Shabalin N.Y. *The analysis of microseisms spectrum at prospecting of oil reservoir on Republic Tatarstan. EAGE Conference. Saint Petersburg: 2006.*

3. Gameurtsev G.A., Riznichenko Yu.V., Berzon I.S., Eshshat'eva A.M., Pasechnik I.P., Kosminskaya I.P., Karus E.V. *Korrelatsionnyy metod prelomlennykh voln. Rukovodstvo dlya inzhenerov-seysmorazvedchikov // AKADEMIYA*

НАУК СССР ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ, ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР, Москва: 1952.

4. Park C.B., Miller R.D., Xia J. *Multichannel analysis of surface waves. Geophysics, 1999 V. 64. P. 800-808.*
5. Галимов М.Р., Биряльцев Е.В. *Некоторые технологические аспекты применения высокопроизводительных вычислений на графических процессорах в прикладных программных системах. Вычислительные методы и программирование. 2010. Т. 11, С. 77-93.*