

**ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАДАНИЯ ИСТОЧНИКА  
ПРИ КОНЕЧНО-РАЗНОСТНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ  
С ПЕРЕМЕННЫМ ШАГОМ**

Д.Г. Туйков\*, А.А. Табаков\*\*, А.В. Баев\*\*\*  
\* ООО «ГЕОВЕРС», Москва, \*\* ОАО «ЦГЭ», Москва,  
\*\*\* МГУ, г. Москва

**OPTIMIZATION OF SOURCE DEFINITION FOR  
FINITE-DIFFERENCE MODELING  
WITH IRREGULAR GRID**

D.G.Touikov\*, A.A. Tabakov\*\*, A.V. Baev\*\*\*  
\* *GEOVERS Ltd., Moscow*, \*\* *CGE JSC, Moscow*, \*\*\**Moscow State University*

**Аннотация.** Рассматривается проблема задания начальных условий при конечно-разностном моделировании волновых полей. При этом одной из задач является выбор приближения начального возмущения физически адекватного и достаточно точного для того, чтобы дальнейший расчет не содержал значительных ошибок из погрешности начальных условий. Предложены способы снижения начальной погрешности и их анализ с точки зрения точности расчетов и вычислительных затрат.

**Abstract.** This paper is dealing with problem of initial conditions presetting for finite-difference wavefield modeling. Besides, one of the goals is choosing such initial estimate that physically sufficient and quite accurate for further calculation without considerable errors relating to initial condition errors. The way for decreasing of initial errors and analysis of such methods from the point of view of calculation accuracy and computing resources are proposed.

**Введение**

Одним из способов решения прямой задачи сейсморазведки является применение конечно-разностного моделирования для решения системы дифференциальных уравнений упругих колебаний.

При этом возникает необходимость задания начальных условий для получения единственного решения дифференциального уравнения, удовлетворяющего требуемым условиям, таким как положение источника, тип импульса и его частота.

При моделировании волновых полей естественным способом является задание начальных условий на сфере (окружности) в силу свойств

фундаментального решения системы уравнений Ламэ. В работе использован лучевой метод задания начальных условий.

Использование лучевого метода в данном случае оправдано лишь при условии, что начальное возмущение целиком содержится в пределах однородного слоя. В противном случае было бы необходимо вести расчет как волны, преодолевшей однородный слой и попавшей в соседний, так и волны, отразившейся от границы раздела сред, что значительно усложняет решаемую задачу. При таких ограничениях существует ряд трудностей при задании начальных условий. Наиболее важным является вопрос о сведении к минимуму эффекта ступенчатости фронта волны, вызванного расчетом на сетке, имеющей определенные размеры ячеек.

Для решения этой проблемы предложено два пути.

Иллюстрации начального возмущения (импульс Риккера с частотой 40 Гц), полученного лучевым методом на окружности радиусом 100 м и волнового поля на расстоянии 300 м от источника, представлено на рис. 1, 2.

## **1. Использование регулярной сетки**

### **1.1 Увеличение первоначального радиуса**

Данный способ устранения искажений при задании начальных условий является наиболее простым и очевидным. Увеличив радиус первоначального возмущения при сохранении необходимого шага сетки, удастся добиться более точного представления фронта волны на сетке, причем с ростом радиуса эффект ступенчатости начального фронта будет все менее и менее заметен.

Тем не менее, данный способ является весьма ограниченным из-за конечных размеров пластов, что делает невозможным большое увеличение радиуса первоначального возмущения.

### **1.2 Уменьшение шага сетки**

Другой альтернативой для улучшения качества первоначального возмущения и, как следствие, дальнейшей волновой картины в целом является уменьшение шага сетки, позволяющее сделать начальное возмущение на сетке более точным. К тому же в ходе дальнейшего расчета данные накапливают меньшие ошибки, благодаря меньшему шагу сетки.

Данный способ решает еще одну проблему, которая заключается в возможности выхода за пределы однородного слоя с ростом радиуса сферы, так как в данном случае нет необходимости вести его расширения (корректировка идет путем уменьшения размеров ячеек сетки).

Однако данный способ влечет за собой значительное увеличение времени расчета волнового поля вследствие увеличения числа узлов сетки.

## **2. Использование нерегулярной сетки**

Модификацией предыдущего способа является использование нерегулярной сетки с областью сгущения в пределах первоначального возмущения, что позволяет избежать недостатков, свойственных предыдущим способам – достигается улучшение задания начального возмущения, нет роста размеров сферы и, как следствие, возможности выхода за пределы однородного пласта, не происходит значительного увеличения размерности сетки, влекущего рост времени расчета.

### **Методика сопоставления**

Сравнение предложенных способов снижения начальной погрешности проводится путем анализа волновых полей с точки зрения коэффициента корреляции между ними. Расчет проводился в однородной среде размером 1600 на 3200 м со скоростью продольной волны 2000 м/с. Шаг конечно-разностной схемы во временной области – 0,1 мс. В качестве основы для сравнения выбрано волновое поле, рассчитанное на сетке с размерами ячейки 2 на 2 м, радиус первоначального возмущения – 100 м. Этим самым достигается высокая точность задания как начального импульса благодаря большому радиусу зоны первоначального возмущения и сравнительно малому шагу по пространству, так и дальнейшего расчета.

Сравнение будем проводить с четырьмя волновыми полями. Причем первое волновое поле было рассчитано с наиболее грубым заданием первоначального импульса. Это было достигнуто использованием комбинации как большого шага сетки по пространству - 4 на 4 м, так и достаточно маленьким радиусом задания первоначального возмущения – 50 м. Остальные три модельных поля используют выше предложенные пути достижения большей точности задания первоначального источника.

Характеристики модельных полей для сравнения:

1. Регулярная сетка 4 на 4 метра, радиус первоначального возмущения 50 м.
2. Регулярная сетка 4 на 4 метра, радиус первоначального возмущения 100 м.
3. Регулярная сетка 2 на 2 метра, радиус первоначального возмущения 50 м.
4. Нерегулярная сетка с областью сгущения, перекрывающей первоначальное возмущение на 50 м в каждом направлении с размером 2 на 2 метра, остальная область рассчитывается на сетке с шагом 4 на 4 м, радиус первоначального возмущения 50 м.

Результаты экспериментов приведены в таблице 1.

№	Коэффициент корреляции (300 м от источника)	Время расчета первых 5000 мс (мин: сек)
1	0,9104	127: 16
2	0,9417	126: 01
3	0,9966	756: 06
4	0,9848	268: 33

Табл. 1. Сравнительный анализ методов повышения точности задания начального возмущения.

### **Анализ результатов**

Проводя анализ данных табл. 1 видно, что наиболее действенным с точки зрения точности задания начального импульса является использование мелкого шага сетки по пространству, при этом радиус начального возмущения можно уменьшить вплоть до минимально возможного, чтобы целиком уместить в себе первоначальный импульс. Но при использовании данного способа резко возрастает время расчета волнового поля в целом. Так при падении точности задания начального возмущения менее одного процента по сравнению с модельным полем, время расчета составило более двенадцати часов. Метод увеличения первоначального радиуса оказывается вполне адекватным с точки зрения расчетного времени, которое сократилось почти в шесть раз, при падении точности чуть более пяти процентов, но несет в себе ограничение, связанное с невозможностью большого увеличения радиуса задания импульса. В это же время использование нерегулярной сетки оказывается вполне оправданным как с точки зрения точности задания первоначального импульса (потери в точности волнового поля составили чуть более одного процента) так и с точки зрения расчетного времени волнового поля в целом, которое меньше времени модельного поля почти в три раза. При неоптимальном выборе, как размера ячейки сетки, так и радиуса задания импульса, как и ожидалось, были получены наиболее неточные результаты. Так падение точности составило почти девять процентов, при сокращении расчетного времени в шесть раз.

### **Выводы**

1. Сокращение радиуса сферы (окружности), на которой задается возмущение в методе конечных разностей, приводит к появлению паразитных эффектов, связанных с неточной дискретизации сферы (окружности) при большом шаге сетки.

2. Сокращение шага сетки во всей области ведет к значительному уменьшению паразитных эффектов дискретизации сферы, но ведет к существенному увеличению расчетного времени.
3. Использование сетки со сгущением в области начального возмущения позволяет резко сократить паразитные эффекты при существенно меньшем увеличении затрат времени.

#### **Список литературы.**

1. Ivo Oprsal and Jiri Zahradnik, Elastic finite-difference method for irregular grids: Geophysics, vol. 64, p. 240-250.

#### **Список рисунков.**

1. Начальное возмущение, сгенерированное лучевым методом в однородном пласте со скоростью Р-волны 2000 м/с. Используется импульс Риккера с частотой 40 Гц. Радиус задания импульса – 100 м.
2. Снимок волнового поля на расстоянии 300 м от источника, рассчитанного в однородной области методом конечных разностей с пространственными шагами 2 м и шагом во временной области 0,1 мс.