

**ПРИМЕНЕНИЕ НОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ К ЧИСЛЕННОМУ  
РЕШЕНИЮ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ ИЗЛУЧЕНИЯ ЗВУКА В ОКЕАНИЧЕСКИХ ВОЛНОВОДАХ**

**Алексеев Г.В., Омельченко Т.В., Сидоров Д.В.**

*Институт прикладной математики*

*Дальневосточного отделения Российской Академии наук*

*ул. Радио, 7, Владивосток, 690041, Россия, E-mail: alekseev@ipm.marine.su*

Решение обратных задач излучения звука в регулярных океанических волноводах связано с рядом трудностей. Основная трудность касается океанических волноводов, имеющих большую безразмерную глубину  $kH$ , где  $k$  - волновое число, а  $H$  - глубина волновода. Она связана с тем, что для указанных волноводов акустическое поле по своей структуре содержит от сотен до нескольких тысяч и более распространяющихся мод. Указанные моды необходимо учитывать, чтобы получить адекватную картину распространения звука в океане. Другая трудность вызывается спецификой решения именно обратных задач, связанной с неустойчивостью их решений по отношению к малым возмущениям исходных данных. Роль последних играют, например, затухающие моды, число которых бесконечно. При исследовании звукового поля в океане указанные моды обычно отбрасывают. В то же время пренебрежение ими при решении обратных задач может приводить к большим ошибкам соответствующих решений обратных задач.

С учетом вышесказанного целью настоящей работы является изучение возможностей, представляемых новыми информационными технологиями, для решения обратных задач активной минимизации звуковых полей в глубоком океане. В случае мелкого океана указанные задачи были исследованы в работах первого автора и его учеников (см., например, [1, 2]). Из [1], в частности, вытекает, что алгоритм решения обратной задачи минимизации звукового поля в двумерном волноводе  $D$  состоит из следующих этапов:

1. Численное решение спектральной задачи

$$\rho(z) \frac{d}{dz} \left[ \frac{1}{\rho(z)} \frac{d\varphi}{dz} \right] + [k^2(z) - \xi_n^2] \varphi_n(z) = 0 \quad \text{в } (0, H), \quad \varphi(0) = 0, \quad \varphi'(H) = 0, \quad n = 1, 2, \dots, M,$$

где  $M$  - число распространяющихся мод,  $\rho(z)$  - плотность среды.

2. Вычисление сингулярных чисел и сингулярных векторов  $M \times N$  - матрицы  $A = \left( (a_{n,j}) \right)$ . Здесь  $a_{n,j} = \varphi_n(z_j) \exp(i\xi_n x_j)$ , где  $(x_j, z_j)$ ,  $j = 1, 2, \dots, N$  - узлы вторичной решетки.

3. Перебор на некоторой сетке возможных расположений источников дискретной антенны при решении нелинейной задачи.

Анализ первого этапа будет сделан в отдельной работе. Здесь же ограничимся обсуждением второго этапа. Прежде всего отметим, что при нахождении сингулярной системы матрицы  $A$  в операционной системе MS DOS (с использованием, соответственно, 16-разрядных сред программирования) можно было вычислять все сингулярные числа и вектора матрицы  $A$  лишь при условии, что ее размерность не превосходит 50–100, поскольку не удавалось объявлять соответствующие массивы необходимого размера. Это ограничение было связано с

организацией exe-программ в ОС MS DOS и MS Windows 3.11 и механизмом выделения им памяти под данные.

В то же время для глубокого океана число распространяющихся мод может иметь порядок  $10^3 - 10^4$ . Это диктует необходимость перехода на 32-разрядную среду при компьютерной реализации соответствующих алгоритмов. С учетом этого в качестве указанной среды была выбрана 32-разрядная операционная среда Win32 (лежащая в основе ОС Windows 95 и Windows NT). Использование языков программирования, совместимых с Win 32 API, позволило преодолеть указанное выше ограничение, поскольку в среде Win 32 память под данные программы выделяется из общего (виртуального) адресного пространства, размерность которого может достигать 2-4Gb. Дополнительно отметим, что использование 32-разрядного представления чисел с плавающей точкой позволило значительно уменьшить машинную погрешность вычислений. В частности, было показано, что при использовании данных типа "Double" (оперирующего числами в диапазоне 5.0E-324..1.7E308) вместо типа "Real" (диапазон – 2.9E-39..1.7E38), машинной погрешностью в оценке точности решений рассматриваемых обратных задач можно пренебречь.

Интересно отметить, что при работе на процессоре Pentium переход на 32-разрядное представление чисел с плавающей точкой не только не приводит к ожидаемому замедлению обработки данных, но и даже повышает скорость. Так, использование типа Double вместо Real уменьшило время прохождения цикла в 1.2-1.5 раза. (Предположительно это происходит из-за соответствия типа Double арифметике чисел с плавающей точкой процессора Pentium).

На базе объектной модели Object Pascal, лежащей в основе Borland Delphi 2.0, были разработаны такие структуры данных, как динамические массивы. Применение этих структур позволило как максимально экономно использовать машинную память, так и повысить скорость ряда операций над массивами данных, таких как сортировка. Вообще говоря, скорость обращения к таким массивам примерно в 1.2 раза ниже, чем к обычным. Однако для рассматриваемого класса задач применение динамических массивов и построенных на их основе структур данных, наоборот, позволило повысить скорость вычислений примерно в 2.5 раза.

На этапе 3 ставится вопрос об оптимизации работы циклов по скорости. Использование оптимизирующего компилятора фирмы Borland, входящего в состав пакета Borland Delphi Developer 2.0. позволило увеличить скорость прохождения по циклам в 10-15 раз по сравнению с программами, разработанными в системах Borland Pascal 7, Turbo Pascal, C++ (компаний Zortech и Watcom). Путем дальнейшей регистровой оптимизации циклов, с отказом от вывода промежуточных результатов на экран (как от более медленных операций) удалось повысить скорость прохождения вычислительных циклов еще в 2 раза.

Аналізу результатов вычислительных экспериментов для глубокого океана авторы собираются посвятить отдельную работу.

### **Литература**

1. Алексеев Г.В. Нелинейные задачи активного гашения звука в двумерных слоисто-неоднородных волноводах // *Акуст. журн.* 1997, Т. 43. N 6. С. 737-743.
2. Алексеев Г.В., Комаров Е.Г. Нелинейные обратные задачи активного управления акустическими полями в двумерных волноводах // *Докл. РАН.* 1998, Т.358. N 1. С.27-31.