АКУСТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ, 1996, том 42, № 2, с. 264 - 266

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 534.21

АНАЛИЗ МОДОВОГО СОСТАВА ЗВУКОВОГО ПОЛЯ В СЛАБОНЕРЕГУЛЯРНЫХ ВОЛНОВОДАХ

© 1996 г. А. И. Белов, А. Г. Комаров

Северный филиал Акустического института им. Н.Н. Андреева РАН
184600 Североморск Мурманской области, ул. Почтовая, 3

Поступила в редакцию 09.03.95 г.

Для исследования характеристик отдельных мод, формирующих звуковое поле в мелком море, широко используется метод синтезированной апертуры или доплеровской фильтрации. Этот метод заключается в спектральном анализе комплексной огибающей сигнала $S(t)$, принятого от движущегося с постоянной скоростью V в радиальном направлении относительно точки приема тонального излучателя [1]. Основанием для такой обработки является то, что в слоистом волноводе различным модам соответствует свой доплеровский сдвиг частоты $\Omega_n = \kappa_n V$, где κ_n – продольное волновое число моды с номером n [2].

Однако реальные волноводы лишь с большой степенью условности можно считать слоистыми. Даже в слабонерегулярных волноводах, когда эффекты межмодового взаимодействия пренебрежимо малы, продольные волновые числа мод меняются вдоль трассы распространения. В частности, для клиновидного волновода легко показать, что в первом приближении каждая мода представляет собой сигнал с линейной частотной модуляцией, причем девиация частоты прямо пропорциональна квадрату номера моды. В этих условиях, даже если и удается разрешить отдельные моды, спектральный анализ не позволяет в полной мере исследовать динамику изменения модового спектра, поскольку он дает лишь некоторые средние значения κ_n на интервале анализа, оценка которых к тому же ухудшается вследствие уширения модовых спектральных линий.

Вместе с тем для оценки мгновенной частоты существуют значительно более эффективные алгоритмы, основанные на частотно-временном представлении сигналов. Одним из таких алгоритмов является преобразование Вигнера [3], для которого фундаментальным сигналом является не только гармонический сигнал, как для преобразования Фурье, но и сигнал с линейной частотной модуляцией. В частности, в работе [4] показано, что преобразование Вигнера позволяет разрешить моды даже в случае значительно неравномерного движения излучателя.

В настоящей работе на примере экспериментального сигнала частотой 17 Гц, зарегистрированного на глубинах 60 , 100 , 140 и 189 м в процессе буксировки излучателя на глубине 30 м со скоростью 1.64 м/с, сравниваются результаты селекции мод методом скользящего спектрального анализа и с использованием преобразования Вигнера. Протяженность измерительной трассы равнялась 16.5 км, вдоль которой глубина места уменьшалась с 200 до 155 м.

Обработка сигналов заключалась в следующем. Сначала сигналы на всех глубинах приема были нормированы на зависимость изменения среднего уровня звукового поля от дистанции до точки приема. Затем был выполнен скользящий спектральный анализ нормированных сигналов для всех глубин приема. При этом длина пространственного интервала спектрального анализа составляла 4.14 км. На рис. 1 показан результат усреднения спектров для всех глубин приема. Такое усреднение было выполнено для того, чтобы на одном рисунке показать все моды, формирующие звуковое поле. Цифрами обозначены номера мод. На рисунке по оси абсцисс отложено расстояние от точки приема, а по оси ординат – доплеровская частота, которая может быть легко пересчитана в продольные волновые числа κ.

Несмотря на то, что спектральный анализ в целом правильно передает динамику изменения модового спектра, обусловленную сужением канала распространения, оценка мгновенной частоты мод затруднена вследствие уширения спектральных линий.

На рис. 2 показан результат использования преобразования Вигнера зарегистрированных сигналов. Методика обработки была такой же как и при спектральном анализе за исключением того, что с помощью преобразования Вигнера обрабатываются не скользящие участки реализации сигнала, а вся реализация целиком. Как можно видеть, качество разрешения мод заметно возросло. Таким образом, преобразование Вигнера является более эффективным инструментом для анализа модового состава звукового поля в слабонерегулярных волноводах по сравнению с преобразованием Фурье.

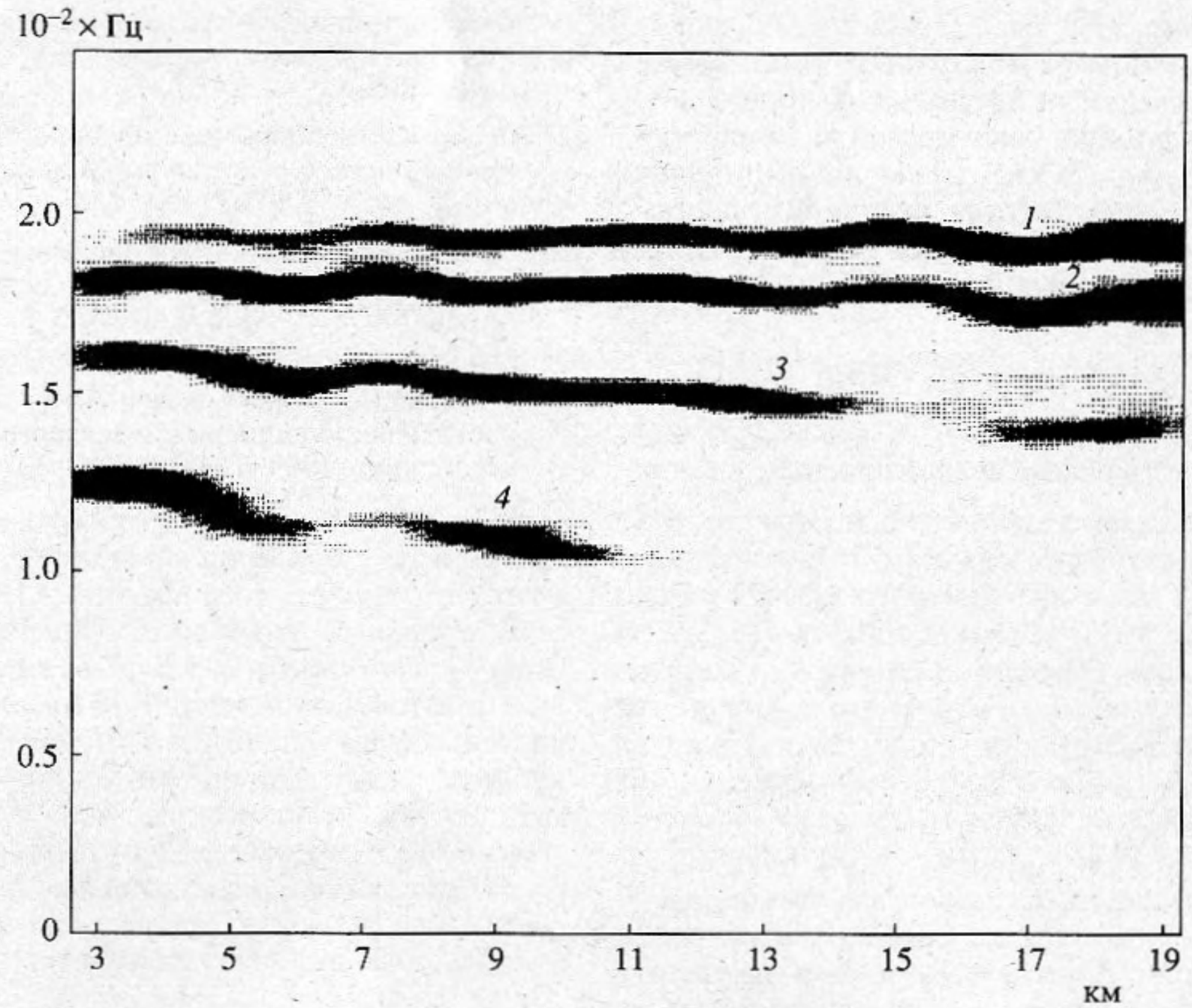

Рис. 1. Результат спектрального анализа.

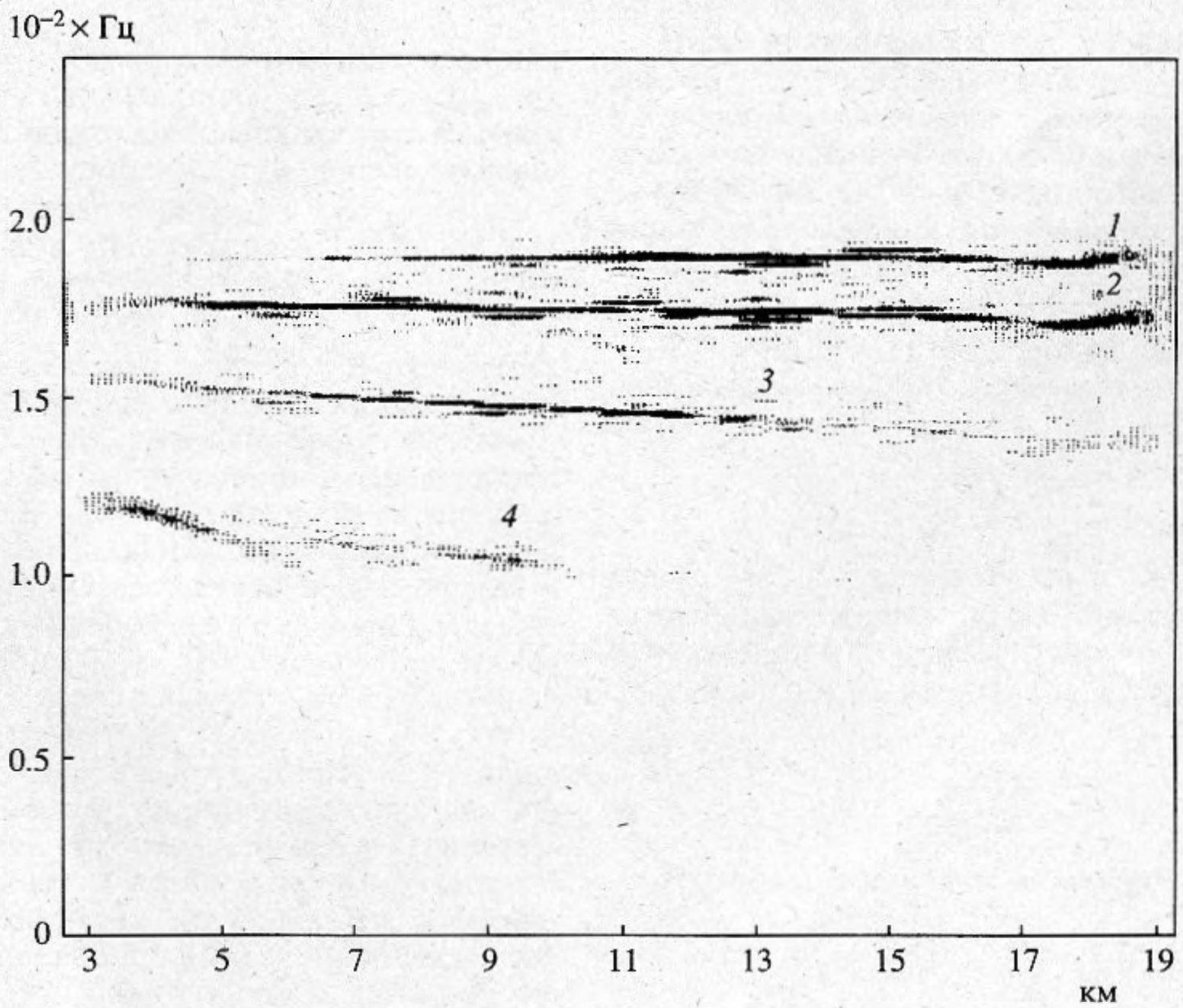

Рис. 2. Результат использования преобразования Вигнера.

В заключение заметим, что селекция мод в клиновидном волноводе может быть использована для оценки скорости продольных волн в дне. В частности, в данном эксперименте доплеровская частота отсечки четвертой моды составляет 0.0102 Гц, что соответствует фазовой скорости 2733 м/с. Эта величина и является оценкой значения скорости продольных волн.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Горская Н.В., Николаев Г.Н., Рычова Т.А., Салин Б.М.* Спектральный анализ при исследовании полей гармонических источников в акустических волноводах // Акуст. журн. 1981. Т. 17. Вып. 2. С. 202 - 205.
2. *Hawker K.E.* A normal mode theory of acoustic Doppler effects in oceanic waveguide // J. Acoust. Soc. Amer. 1979. V. 65. № 3. P. 675 - 681.
3. *Poletti M.A.* Lineary swept frequence measurements, time-delay spectrometry and the Wigner distribution // J. Audio Enj. Soc. 1988. V. 36. № 6. P. 457 - 468.
4. *Белов А.И., Комаров А.Г.* Об использовании преобразования Вигнера в задачах акустической диагностики нестационарных и диспергирующих сред // Акуст. журн. 1994. Т. 40. № 2. С. 327 - 328.