

В простейшем случае монополюсного излучателя порядок уравнения по сравнению с уравнением гармонического осциллятора повысился на единицу, что аналогично ситуации в электродинамике для излучения осциллирующих заряженных частиц. Выражением (7) можно пользоваться для анализа поведения излучателей монополюсного типа с различными видами нелинейностей, изучения переходных процессов, при этом за  $R$  принимается характерный размер излучателя.

Естественно, что при рассмотрении гармонического воздействия и постоянных коэффициентов уравнения (7)–(9) сводятся к линейным дифференциальным, описывающим гармонический осциллятор с эквивалентными сосредоточенными параметрами активного сопротивления и присоединенной массы среды.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ржевкин С. Н. Курс лекций по теории звука. М.: Изд-во МГУ, 1960.
2. Римский-Корсаков А. В., Ямщиков В. С., Жулин В. И., Рехтман В. И. Акустические подводные низкочастотные излучатели. Л.: Судостроение, 1984.
3. Скучик Е. Основы акустики. Т. 2. М.: Мир, 1976.

Институт прикладной физики  
Академии наук СССР

Поступило в редакцию  
9.IX.1985

УДК 534.44

### О ВОЗДЕЙСТВИИ ДЛИННОПЕРИОДНЫХ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗМУЩЕНИЙ НА ФЛУКТУАЦИИ АКУСТИЧЕСКОГО ШУМОВОГО ПОЛЯ В ОКЕАНЕ

*Кравцов Ю. А., Любченко А. Ю., Петников В. Г.*

Как известно, разномасштабные гидродинамические возмущения в океане, внутренние волны, вихри, приливные течения, существенно влияют на распространение тональных низкочастотных акустических сигналов [1–6]. Можно думать, что влияние этих факторов проявляется и на длиннопериодных флуктуациях интенсивности подводных звуковых шумов. В данной работе приведены результаты сравнительных измерений спектра флуктуаций амплитуды тонального сигнала и спектра огибающей, близкой к нему по частоте составляющей шумового поля.

Цель сопоставления заключается в том, чтобы выяснить, в какой мере крупномасштабные гидродинамические возмущения отражаются на флуктуациях огибающей подводных звуковых шумов.

Измерения спектров флуктуаций проводились на стационарной акустической трассе в мелком море. Методика организации трассы в основном совпадала с методикой, описанной в работе [6].

Отличие заключалось в длине используемой цепочки гидрофонов ( $l \sim 29\lambda$  вместо  $20\lambda$ ) и в использованной частоте, которая была примерно втрое меньше, чем в [6]. Профиль скорости звука характеризовался сильным отрицательным градиентом, что приводило к придонному распространению звука. Сигналы, поступающие с отдельных гидрофонов, были сфазированы с помощью специального многоканального устройства коррекции фазовых искажений (МУКФИ) [6]. Это позволило сформировать диаграмму направленности стационарной приемной цепочки с осью, ориентированной на источник сигналов, т. е. на излучатель звука, неподвижно стоящий на морском дне. Ширина диаграммы направленности составляла величину  $\approx 2^\circ$ . Коэффициент усиления такой линейной приемной антенны составлял величину  $\approx 17$  дБ.

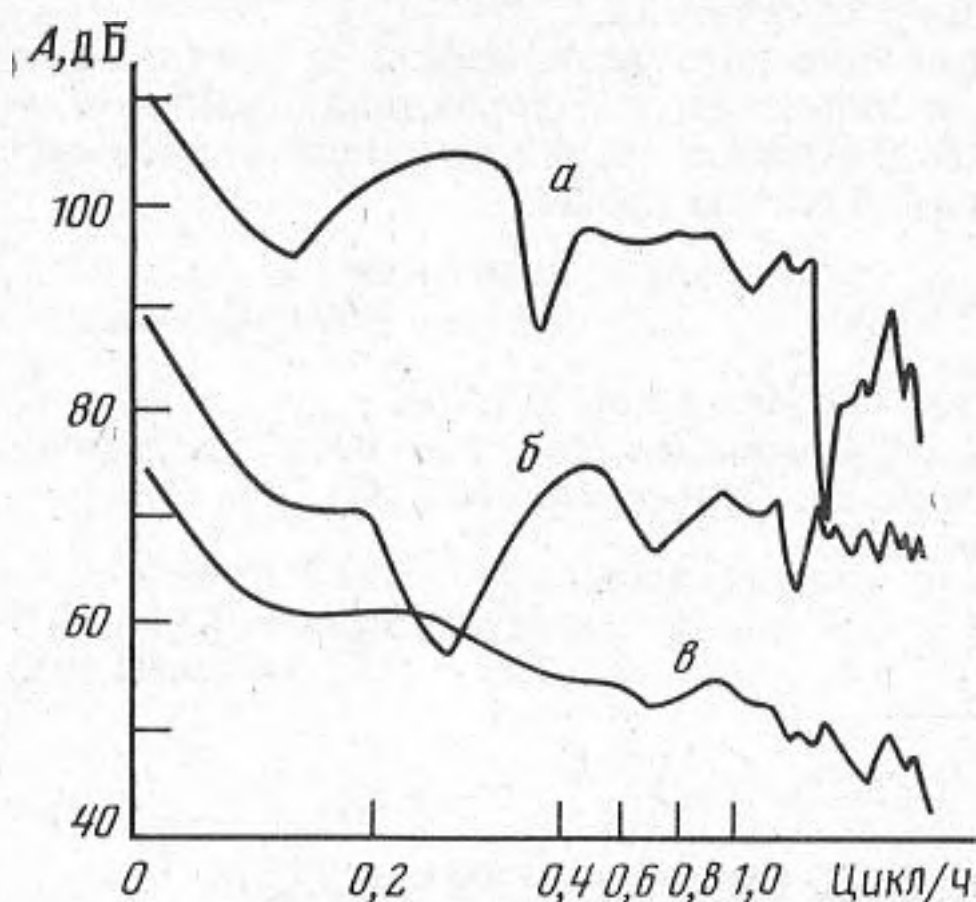
Шумовое волновое поле, принимаемое сфазированной цепочкой из 48 гидрофонов одновременно с полем зондирующего сигнала, отвечало источникам шума, расположенным вдоль стационарной трассы, поскольку она была ограничена с двух сторон береговой линией. Протяженность стационарной трассы была равна  $\approx 70$  км. В работе использовался сигнал с частотой в несколько десятков герц, стабильностью частоты  $\Delta f/f = 2 \cdot 10^{-8}$  за сутки.

Регистрация тональных и шумовых сигналов проводилась непрерывно в течение 14 ч при относительно неизменной скорости ветра 5–7 м/с и высоте волнения 1–1,5 м. Шумы отдельных кораблей, пересекающих стационарную трассу на расстоянии не менее 35–55 км от приемной цепочки гидрофонов, не приводили к заметному увеличению уровня шума, из-за сильного поглощения [6], так что анализу подвергались в основном динамические шумы океана.

Принимаемые акустические сигналы регистрировались на ленту аналогового магнитофона одновременно с сигналом опорного генератора и при той же самой относительной нестабильности частоты  $\Delta f/f \approx 2 \cdot 10^{-8}$  за сутки. Частота опорного сигнала отличалась на 0,1 Гц от частоты зондирующего тонального сигнала. Для обработки использовалась многоканальная измерительная система, описанная в работе [7], сопряженная с анализатором спектра фирмы Брюль и Кьер 2033.

Обработка зарегистрированного сигнала заключалась в гетеродинировании вниз на частоту  $\approx 3$  Гц и последующем спектральном анализе. Для увеличения частотного разрешения скорость воспроизведения магнитных записей увеличивалась в 24 раза, что позволило довести частотное разрешение до  $1 \cdot 10^{-4}$  Гц. Обработка показала, что ширина спектра сигнала не превышала  $1 \cdot 10^{-4}$  Гц.

Это позволяет сделать вывод, что в условиях описываемого эксперимента при выбранной длине волны зондирующих сигналов более 10 м на распространение звуковых волн влияли только крупномасштабные гидродинамические возмущения, имеющие характерные периоды измерений более 1 ч.



Спектры флуктуаций амплитуды сигнала на стационарной трассе: *a* — тонального сигнала, записанного при помощи МУКФИ с частотой  $f$ , *б* — шумового сигнала, записанного при помощи МУКФИ с частотой  $f+0,04$  Гц, *в* — шумового сигнала с одиночного приемника

того на одиночный гидрофон, при той же самой методике выделения огибающей сигнала и на той же самой центральной частоте, что и для шумового сигнала, принятого на сфазированную цепочку.

Спектры амплитудных флуктуаций сигнала и шума (кривая *a* и *б*) сравнивались для частот менее 2 циклов/ч, где за флуктуации ответственны преимущественно гидродинамические возмущения в океане.

Для выбранного диапазона частот спектры аппроксимировались, как это сделано в работе [8], в виде степенной зависимости  $S(\Omega) \sim \Omega^{-\gamma}$ . Величина  $\gamma$ , тангенс угла наклона спектров амплитудных флуктуаций оценивались из графиков на фиг., *a–в* по методу наименьших квадратов и составила величину:  $\gamma_a = 0,19 \pm 0,05$ ,  $\gamma_b = 0,20 \pm 0,05$ ,  $\gamma_v = 0,30 \pm 0,05$ . Из полученных значений  $\gamma$  можно сделать вывод о практически одинаковой степенной зависимости спектров амплитудных флуктуаций сигнала и шума, принимаемых на сфазированную линейную антенну и их различие со степенной зависимостью спектра амплитудных флуктуаций шума, принимаемого на одиночный датчик.

Полученные экспериментальные данные позволяют предположить, что длиннопериодные флуктуации огибающей динамических шумов в мелком море на частотах в несколько десятков герц в основном обусловлены крупномасштабными гидродинамическими возмущениями.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Распространение звука во флуктуирующем океане/Под ред. Флатте С. Н. М.: Мир, 1982.
2. Акустика океана/Под ред. Санто Дж. М.: Мир, 1982.
3. Essen H. H., Schirmer F., Sieber J.— Propagation of acoustic continuous wave (cw) propagation in the fladeuground area of the North Sea.— *Acoustica*, 1980, v. 47, № 1, p. 10–15.
4. Essen H. H., Scirmer F., Schmlfeldt B.— Dufluence of Tides an acoustic continuous wave (cw) propagation in shallow water.— *Acoustica*, 1981, v. 48, № 5, p. 285–292.
5. Essen H. H., Scirmer F., Sinrker S.— Acoustic remote sensing of internal waves in shallow water.— *dut. J. Remote sensing*,— 1983, v. 4, № 1, p. 33–47.
6. Бункин Ф. В., Вавилин А. В., Кравцов Ю. А. и др. Предварительные результаты исследования пространственно-временной изменчивости мелкого моря на стационарной акустической трассе.— *Акуст. журн.*, 1984, т. 30, № 5, с. 594–598.
7. Быстров В. П., Вавилин А. В. Многоканальная система для акустического зондирования океана.— *ПТЭ*, 1983, № 5, с. 151–155.
8. Porter R. P., Spindel R. F., Gattee R. G.— *J. Acoust. Soc. Amer.*, 1974, v. 56, p. 1426–1436.

Институт общей физики  
Академии наук СССР

Поступило в редакцию  
8.VII.1985.