Верхняя граница критического числа Рейнольдса при поперечном обтекании цилиндра однонаправленным потоком ограничивается несколькими десятками единиц [5]. Для цилиндра же, находящегося в осциллирующем потоке жидкости, переход ламинарного потока к турбулентному, по-видимому, значительно более облегчен.

Таким образом, турбулизация пограничного слоя колеблющегося цилиндра имеет место на тех частях его боковой поверхности, которые располагаются по обе стороны от плоскости колебаний. Поэтому для вибрационной турбулизации пограничного слоя при ускорении гетерогенных процессов [6] выгоднее применять не нормальные, а тангенциальные к поверхности реакции колебания щелевых насадок.

Экспериментальная часть настоящей работы выполнена в Акустическом институте АН СССР.

ЛИТЕРАТУРА

1. J. M. Andres, U. Ingard. Acoustic streaming at high Reynolds number. J. Acoust. Soc. America, 1953, 25, 5, 928—932.
2. W. P. Raney, J. C. Corelli, P. J. Westervelt. Acoustical streaming in the vicinity of a cilinder. J. Acoust. Soc. America, 1954, 26, 6, 1006—1014.
3. Д. Р. Лоури. Глицерин и гликоли. Л., Гостехимиздат, 1933.
4. А. Н. Патрашев. Гидромеханика. М., Военно-морское изд-во, 1953.
5. Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. Механика сплошных сред. М., ГТТИ, 1954.
6. М. Е. Архангельский, В. В. Капитонов, С. А. Недужий. Некоторые особенности способа акустической турбулизации пограничного слоя. Усп. научной фотогр., 1968, 13, 266—268.

Государственная центральная
художественная научно-реставрационная
мастерская им. И. Э. Грабаря
Москва

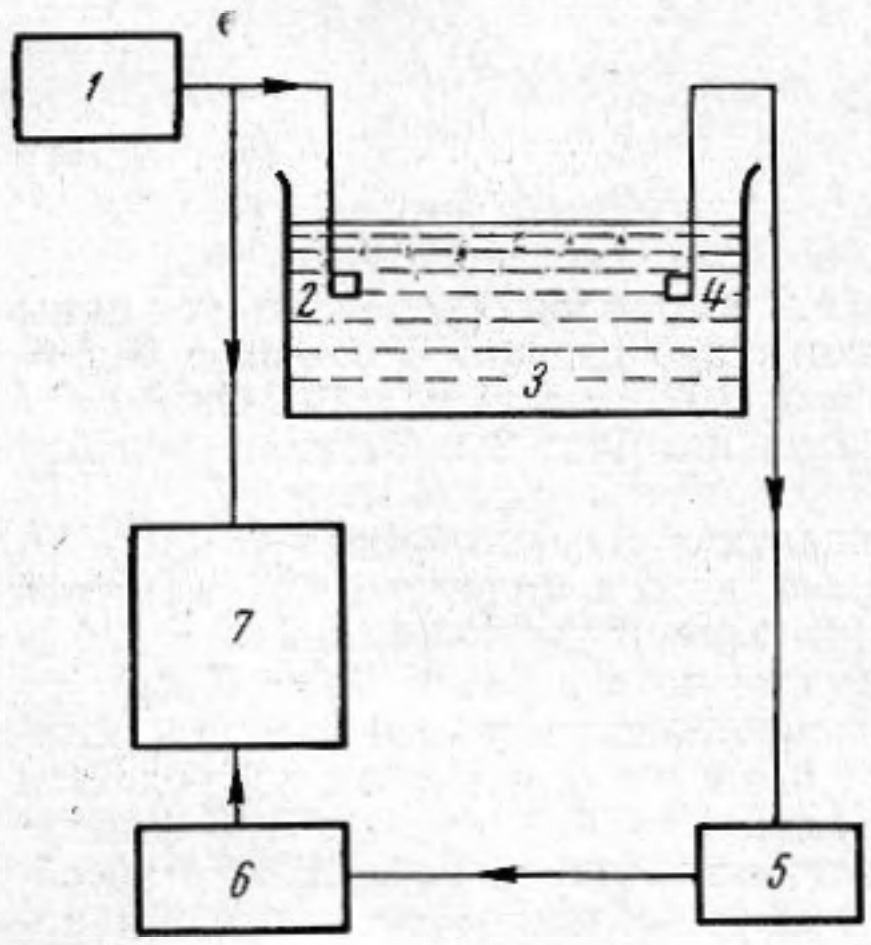
Поступила в редакцию
6 октября 1967 г.

УДК 534.222

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИПОВЕРХНОСТНОГО ЗВУКОВОГО КАНАЛА КАК КАНАЛА СВЯЗИ В МОДЕЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

А. Н. Бархатов, И. И. Шмелев

При использовании звукового канала в море для целей связи представляет интерес его оценка с точки зрения передачи информации. Параметрами канала являются число лучей, затухание звука на отдельных лучах и запаздывание сигналов, приходящих в данную точку по различным лучам, относительно друг друга. В случае медленного временного изменения параметров канала его можно рассматривать как линейную систему с постоянными параметрами [1] и применять для анализа его пропускной способности статистическую теорию связи [2].



Фиг. 1

Согласно работе [3], изменение энтропии сигнала выражается через частотную характеристику канала связи $I(f)$ следующим образом:

$$\Delta H = H' - H = \frac{1}{w}\int_0^w \lg_2 |I(f)|\, df, \qquad (1)$$

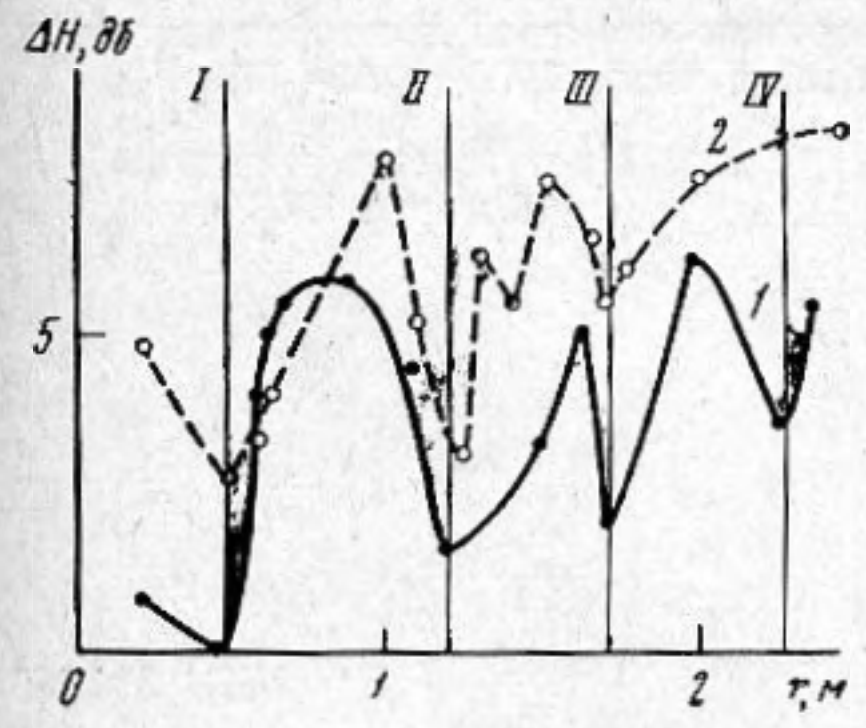
где H и H' — соответственно энтропия передаваемого и принятого сигналов, w — полоса частот сигнала. Следовательно, оценка качества передачи информации может производиться путем определения частотных характеристик в различных точках канала.

Нами проведено указанным методом исследование приповерхностного звукового канала в модельных условиях. Моделирование среды и определение характерных областей канала (каустик и зон слабой освещенности)

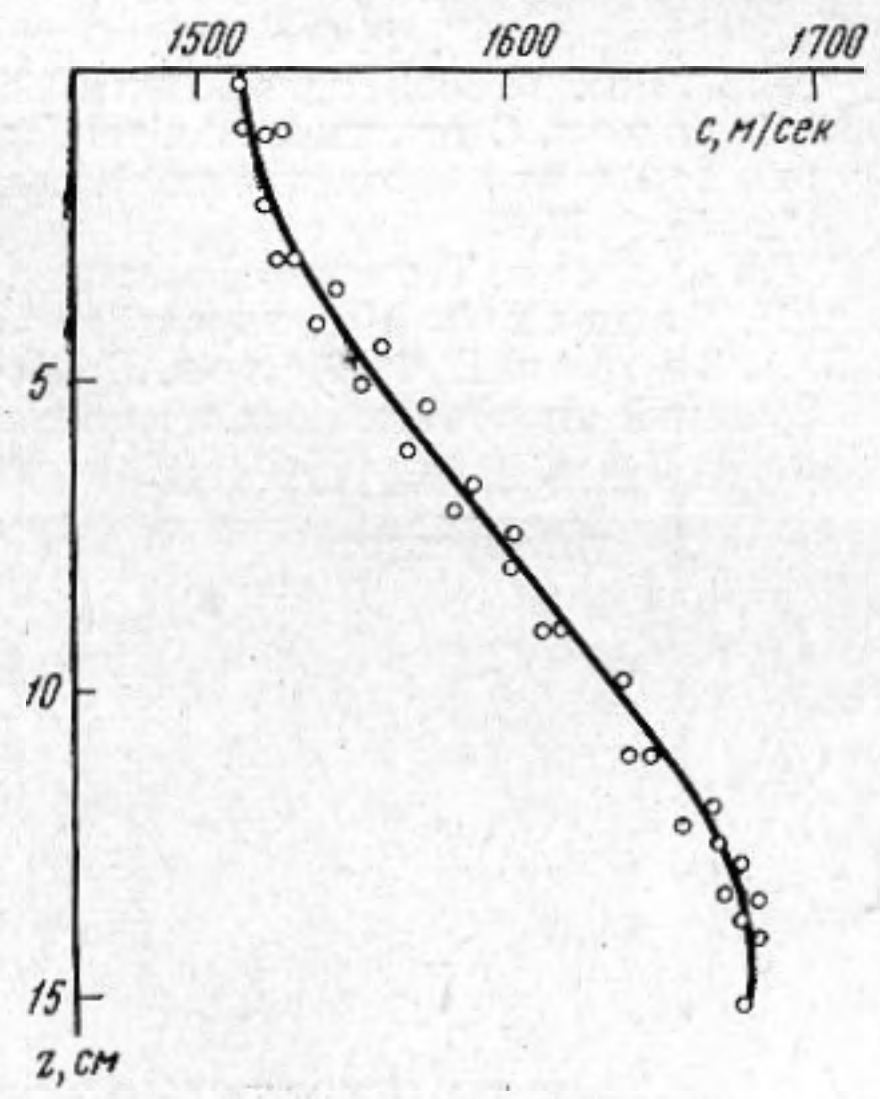
проводилось по методике, обычно применяемой нами [4]. На фиг. 1 приведена блок-схема установки для снятия частотных характеристик: *1* — импульсный генератор высокой частоты, *2* — гидроакустический излучатель, *3* — среда, *4* — гидрофон, *5* — усилитель высокой частоты, *6* — детектор, *7* — измеритель частотной характеристики. С генератора высокой частоты на вход акустического излучателя подается с некоторой частотой повторения напряжение, высокая частота которого изменяется линейно в пределах исследуемого интервала частотной характеристики, т. е. изменяется в зависимости от времени t по закону

$$f = f_0 + \frac{\Delta f}{\tau} t, \qquad 0 \leqslant t \leqslant \tau,$$

где Δf — исследуемый участок частотной характеристики, f_0 — исходная частота, τ — период модуляции, который должен быть много больше обусловленного многолучевого максимального времени запаздывания сигнала на расстоянии, определяемом в модельных условиях длиной ванны. Напряжение, снятое с гидрофона, усиливается, детектируется и подводится к вертикально-отклоняющим пластинам лучевой трубки измерителя частотной характеристики. На горизонтально-отклоняющие пластины трубки подается



Фиг. 2



Фиг. 3

напряжение, по форме, фазе и амплитуде совпадающее с напряжением модуляции. На экране трубки при этом получается кривая — огибающая выходного сигнала, которая представляет частотную характеристику исследуемой системы.

Анализ частотных характеристик, снятых в различных точках канала, показывает, что на каустиках они являются относительно плавными, но в других точках пространства оказываются сильно изрезанными.

На фиг. 2 представлены экспериментальные кривые изменения энтропии вдоль канала, построенные по формуле (1) с помощью частотных характеристик, измеренных в различных точках канала. Кривая *1* отвечает плоской границе вода — воздух, кривая *2* — периодической граничной поверхности трохоидального профиля (пространственный период неровностей 20 *мм*, максимальная высота неровностей 2 *мм*). Соответственный профиль скорости звука в исследуемом канале изображен на фиг. 3. Измерения производились при частоте повторения 25 *гц*, при основной частоте $f_0 = 900$ *кгц* и девиации частоты $\Delta f = 350$ *кгц*. На фиг. 2 вертикальные прямые *I—IV* обозначают местоположения соответственно первой и последующих каустик. Изменение энтропии показано в децибелах по отношению к его значению на первой каустике в случае плоской границы вода — воздух.

Наблюдаемая на опыте зависимость формы частотной характеристики от структуры поля в канале объясняется неодинаковым искажением сигнала, принятого в различных точках канала. Пренебрегая различием в затухании звука вдоль различных лучей, можно считать, что основной причиной искажения сигнала в канале является многолучевость. На каустику сигналы, распространяющиеся в среде по разным путям, приходят почти в одинаковой фазе и поэтому искажаются слабо; напротив, в области между каустиками сигналы сильно искажаются вследствие многолучевости распространения. В результате этого наименьшее изменение энтропии имеет место в области каустик, что делает эти области наиболее благоприятными для приема информации (кривая *1* фиг. 2).

Рассеяние звука на неровностях поверхности, приводящее к нарушению типичной для канала структуры поля и к распаду каустик, также может быть обнаружено по форме частотной характеристики. Вследствие рассеяния звука на неровностях

поверхности изменение энтропии, начиная с некоторого расстояния от излучателя, в среднем растет (кривая *2* фиг. 2).

Описанный выше метод исследования звукового канала связи будет справедлив и при достаточно медленных флюктуациях параметров канала. На качество и, следовательно, скорость передачи информации через канал влияют в этом случае временные изменения коэффициента передачи.

В заключение отметим, что яркостная запись частотных характеристик на фотопленке делает возможной обработку экспериментального материала на низкочастотном коррелометре [5] с целью нахождения функции корреляции частотных характеристик при наличии флюктуаций параметров канала.

Таким образом, данная работа показывает на модели возможность применения методов теории информации для анализа пропускной способности звукового канала в море.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Зверев, Е. Ф. Орлов. О пропускной способности многолучевых каналов связи. Изв. ВУЗов, Радиофизика, 1961, 4, 2, 282—292.
2. К. Шеннон. Статистическая теория передачи электрических сигналов. Сб. «Теория передачи электрических сигналов при наличии помех», под ред. Железнова. М., ИЛ, 1953.
3. С. Гольдман. Теория информации. М., ИЛ, 1957.
4. А. Н. Бархатов. Моделирование в гидроакустике. Изд-во ГГУ, 1964.
5. В. А. Зверев, Е. Ф. Орлов. Прибор для измерения спектров и корреляционных функций низкочастотных процессов. Приб. и техн. эксп., 1960, 1, 50—57.

Горьковский государственный университет

Поступило в редакцию 18 марта 1968 г.

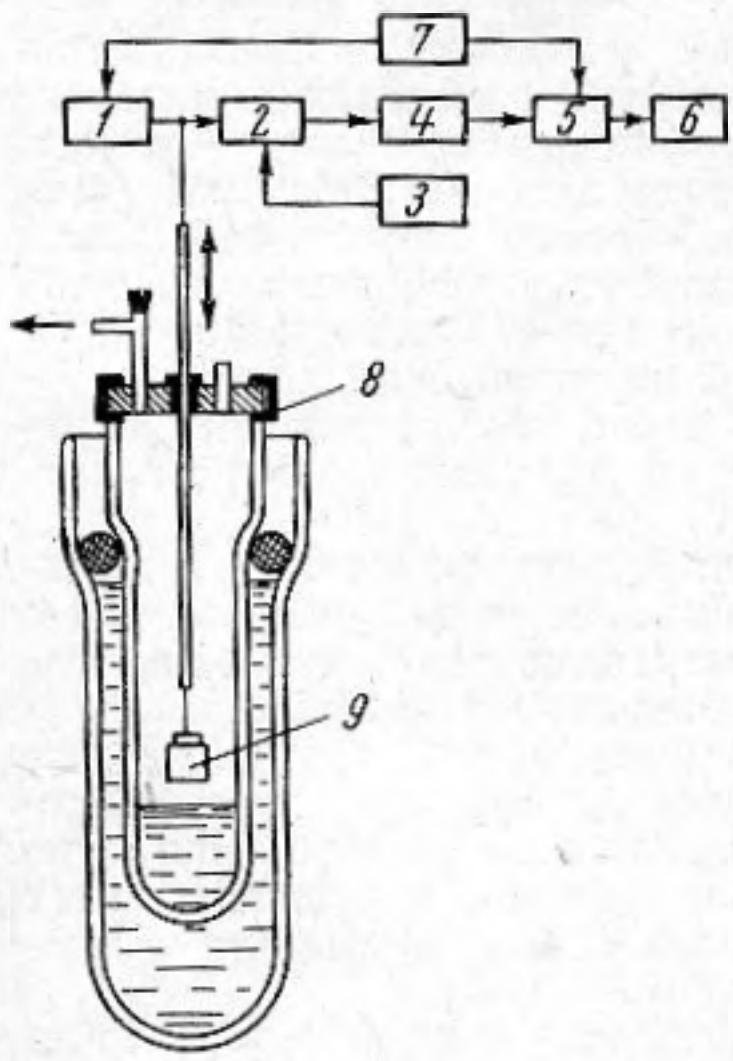
УДК 534.286

К ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ПОГЛОЩЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН В СОЕДИНЕНИЯХ $A^{III}B^{V}$

Б. А. Бобылев, А. Ф. Кравченко

При измерении температурной зависимости поглощения ультразвуковых волн в соединениях $A^{III}B^{V}$ была обнаружена аномалия поглощения в области 50—60° К.

Измерение поглощения проводилось импульсным методом, описанным ранее [1], но с использованием импульсного селектора с импульсным вольтметром *5* с выходом на самописец *6*, и низкотемпературного криостата, позволяющего изменять температуру образца, меняя положение держателя над хладоагентом. На фиг. 1 показана схема установки, где *1* — генератор радиоимпульсов, *2*, *3*, *4* — измерительный приемник, *7* — синхронизирующий генератор, *8* — криостат, *9* — образец. Использованная схема позволяла непрерывно следить за изменением поглощения в зависимости от температуры по изменению амплитуды выбранного импульса. Средняя чувствительность к изменению поглощения составляла 1%. Изменение температуры производилось естественным нагреванием держателя. Конструкция криостата позволяла изменять скорость нагревания в достаточно широких пределах. Температура измерялась угольным сопротивлением.



Фиг. 1

Измерения были выполнены на образцах *n*-InSb, *p*-GaSb, *n*-InAs и GaAs *n* и *p*-типа на частоте 90 *Мгц*.

На фиг. 2, *а* приведены типичные температурные зависимости поглощения продольных волн, распространяющихся в направлении ⟨110⟩ в образцах GaSb (*1*) и GaAs (*2*). На фиг. 2, *б* представлены зависимости поглощения сдвиговых волн с поляризацией ⟨1$\bar{1}$0⟩, распространяющихся в направлении