

# ФЛЮКТУАЦИИ ЗВУКА ПРИ ДВУКРАТНОМ ОТРАЖЕНИИ ОТ ВОЛНУЮЩЕЙСЯ ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

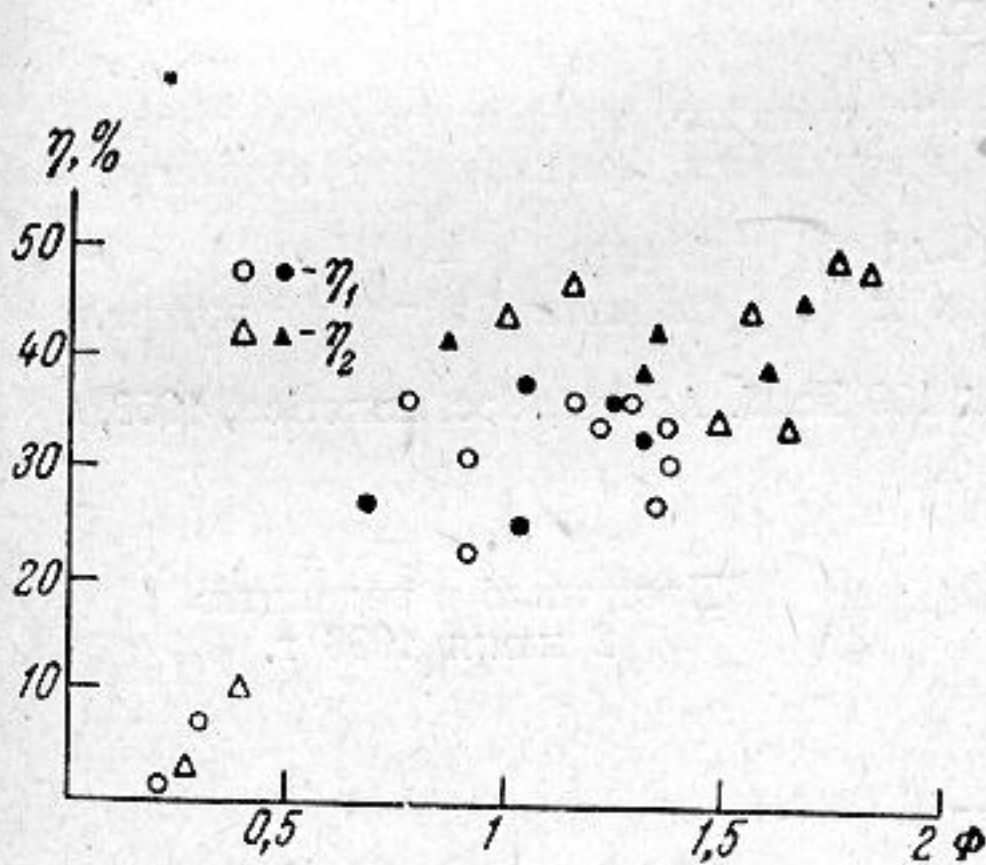
О. С. Тонаканов

В ранее опубликованной работе [1] были рассмотрены флюктуации звука при однократном отражении от водной поверхности водоема. Данное сообщение дополняет ранее полученные результаты рядом новых эффектов, которые наблюдались экспериментально для сигналов, двукратно отраженных от водной поверхности.

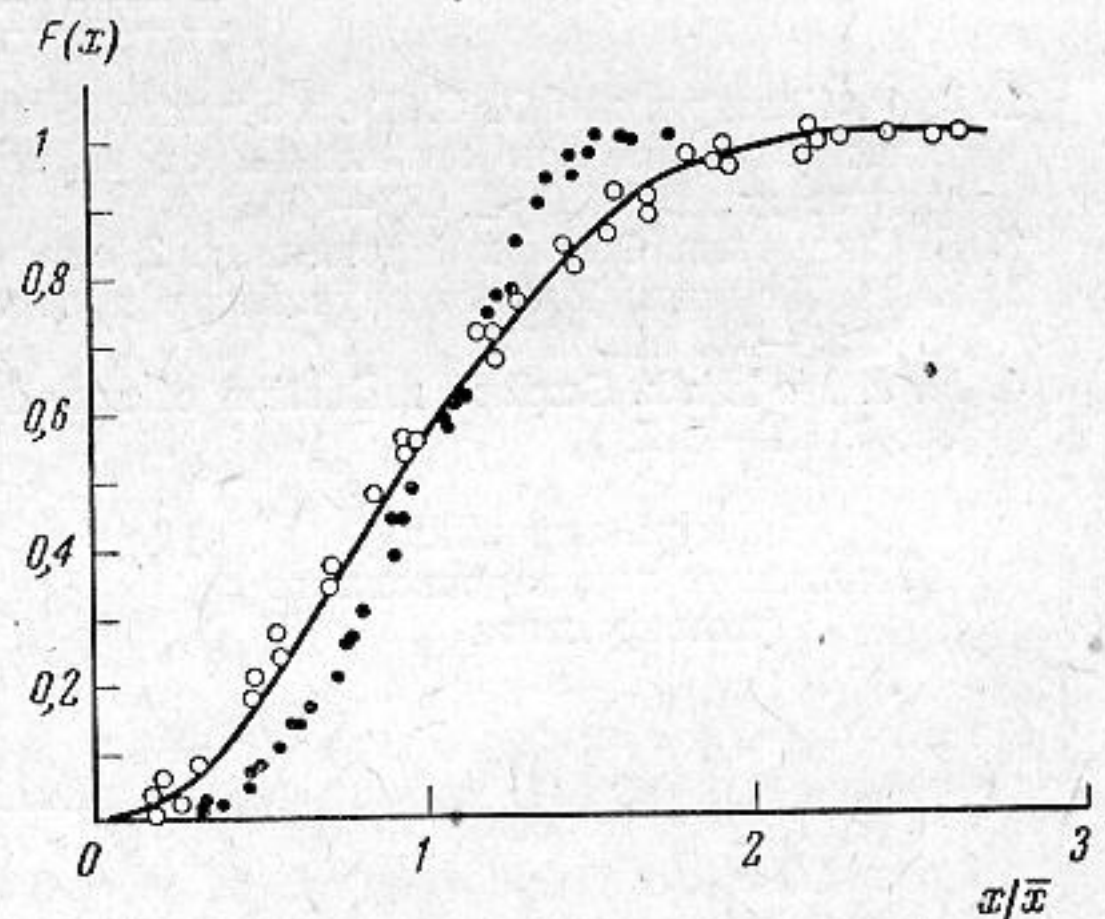
Эксперимент проводился в плоском восьмиметровом слое воды с акустически мягким грунтом. Длительность гидроакустических импульсов (4 мсек) позволила получить четкое разделение однократных и многократных отражений от поверхности воды. Двукратное отражение от поверхности получалось при однократном отражении от дна водоема.

Место проведения работ, общая схема измерений и аппаратура почти не отличались от описанных в работе [1]. Единственное изменение заключалось в том, что регистрация отраженных импульсов осуществлялась путем съемки с экрана катодного осциллоскопа киносъёмочной камерой, на которой был установлен прерыватель, синхронно запускавший импульсный генератор и ждущую развертку осциллографа таким образом, что во время экспонирования кадра на экране осциллографа наблюдались отраженные импульсы. Частота следования импульсов была равна примерно 5 гц.

Статистическая обработка кинолент сводилась к вычислению коэффициентов вариации амплитуды отраженных импульсов в течение каждого цикла измерений, который продолжался около двух минут. Точность обработки однократного отражения составляла 2%, двукратного — 3%. Одновременно с помощью волнографа запи-



Фиг. 1



Фиг. 2

сывалось состояние поверхности акватории. По этим записям в дальнейшем определялось среднее значение амплитуды поверхностной волны.

Зависимость величины коэффициентов вариации  $\eta_1$  (однократное отражение) и  $\eta_2$  (двукратное отражение) от безразмерного параметра, характеризующего степень шероховатости поверхности  $\Phi = 8\bar{H} \sin \alpha / \lambda$ , где  $\bar{H}$  — среднеквадратичная амплитуда поверхностной волны,  $\alpha$  — угол скольжения и  $\lambda$  — длина волны звука [1, 2], показаны на фиг. 1, где кружки относятся к однократному, треугольники — к двукратному отражениям. Контурные обозначения соответствуют частоте заполнения звуковых импульсов 8 кГц, сплошные — 7 кГц. На фиг. 1 видны две области: при  $\Phi < 1$  — область нарастания флюктуаций, при  $\Phi \geq 1$  нарастания флюктуаций не наблюдается, т. е. имеется как бы область «насыщения» флюктуаций. Следует отметить характерную деталь: если средний уровень «насыщения» для однократного отражения ( $\eta_1$ ) составляет примерно 35%, что находится в полном соответствии с ранее полученными результатами работы [1], то для двукратного отражения уровень насыщения оказывается выше и составляет величину 40—50%.

Объяснение этого нового факта следует искать в статистических законах распределения флюктуаций амплитуды отраженных сигналов и корреляционной связи



между флюктуациями, которые вызываются отражениями от разных участков свободной водной поверхности. В условиях данного эксперимента, так же как и в работе [1] флюктуации однократно отраженных импульсов при  $\Phi \geq 1$  были распределены по нормальному закону. Для двукратного отражения должно выполняться совместное распределение двух случайных процессов. Если случайные величины независимы и распределены по нормальному закону, то закон распределения будет рэлеевским [3]. Для рэлеевского закона распределения [3, 4] величина коэффициента вариации сигнала при  $\Phi \geq 1$  составляет 52%. Эксперимент дает несколько меньший коэффициент вариации, что объясняется наличием некоторой остаточной корреляции на расстоянии, отделяющем эффективные центры 1-го и 2-го отражений от поверхности. Геометрические центры этих областей отстояли при данных экспериментах на расстоянии около 8 м.

На фиг. 2 представлено интегральное распределение флюктуаций для двукратного отражения (контурные обозначения) при  $\Phi \geq 1$ . Сплошной кривой показан рэлеевский закон распределения  $F(x) = 1 - e^{-x^2/\sigma^2}$ , где  $\sigma$  связано со средним значением амплитуды  $\bar{x} = \sqrt{\pi}/2\sigma$  [3]. Экспериментально полученное распределение для двукратного отражения, как видно на фиг. 2, чрезвычайно близко к рэлеевскому. Для сравнения при тех же условиях ( $\Phi \geq 1$ ) на фигуре сплошными знаками показано интегральное распределение флюктуаций при однократном отражении, которое дает нормальный (гауссов) закон распределения. При малой волне на поверхности водоема (малое значение параметра  $\Phi$ ) рэлеевского закона распределения для двукратного отражения не наблюдалось, и отражение в значительной мере отличалось от диффузного.

Одновременная регистрация однократного и двукратного отражений от поверхности позволила сопоставить значения коэффициентов вариации  $\eta_1$  и  $\eta_2$  при  $\Phi \geq 1$ . В среднем по всем измерениям коэффициент вариации для двукратного отражения больше коэффициента вариации для однократного отражения в отношении  $1,4 \pm 0,2$  (т. е. примерно в  $\sqrt{2}$ ).

Автор приносит благодарность С. Н. Ржевкину, под руководством которого выполнена настоящая работа.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Г. Е. Смирнов, О. С. Тонаканов. Флюктуации импульсных гидроакустических сигналов при отражении от водной поверхности при наличии волнения. Акуст. ж., 1960, 6, 4, 482—490.
2. Е. Скучик. Основы акустики, т. 2, стр. 47—49. М., ИЛ, 1959.
3. Б. Р. Левин. Теория случайных процессов и ее применение в радиотехнике, стр. 57—70. М., 1957.
4. M. J. Pollak. Surface reflection of sound at 100 kc. J. Acoust. Soc. America, 1958, 30, 4, 343—347.

Кафедра акустики  
Московского государственного  
университета

Поступило в редакцию  
2 июня 1963 г.