

Л и т е р а т у р а

1. Бечмен К.Ж. Некоторые последние достижения в технике измерений радиолокационного поперечного сечения. ТИИЭР, 1965, т. 53, № 8.

Е.И.Поминов, Н.А.Малыгин, В.В.Фадеев, М.Н.Кудряшова

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАССЕЯНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ НА ВОЛНИСТОЙ И ВОЛНУЮЩЕЙСЯ ПОВЕРХНОСТЯХ

В данной статье излагаются результаты экспериментального изучения рассеяния узкополосных /монохроматических/ и широкополосных импульсных сигналов в широком диапазоне параметров рассеивающей поверхности, выходящих за рамки допущений существующих теорий [1] - [8]. В качестве широкополосных сигналов использовались сигналы с линейной частотной модуляцией /ЛЧМ-сигналы/.

Эксперименты по исследованию рассеяния ультразвуковых импульсов на волнистой и волнующейся поверхностях проводились в гидроакустическом бассейне КуАИ /5 x 2 x 2 м/, заполненном дистиллированной водой. В экспериментах было использовано следующее оборудование:

две кинематические установки, обеспечивающие изменение и фиксацию взаимного положения модели рассеивающей поверхности, приемника и излучателя ультразвука;

набор моделей;

комплекс электронной аппаратуры;

приемники и передатчики ультразвука;

устройство для создания поверхностных волн в бассейне.

Конструкция установки с расположением рассеивающей поверхности в вертикальной плоскости поясняется на рис. 1. На вертикальной штанге 1 одной из кареток бассейна устанавливался приемный ультразвуковой датчик 2, на штанге 3 - модель 4 волнистой поверхности и излучатель 5.

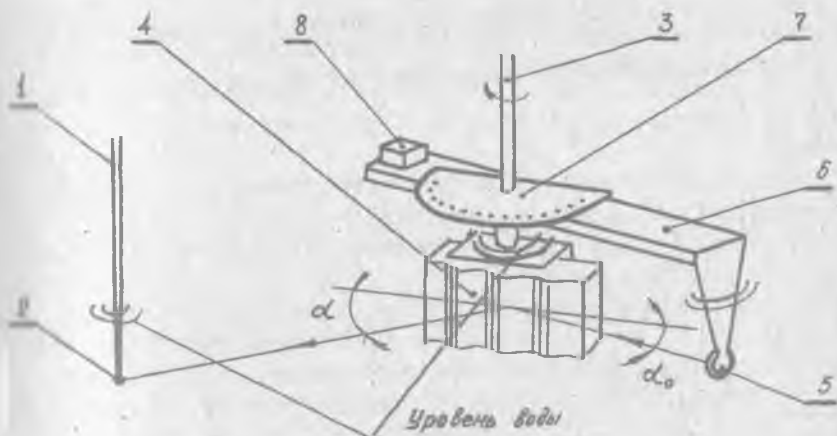


Рис. 1. установка с расположением рассеивающей поверхности в вертикальной плоскости: 1 - штанга; 2 - приемный датчик; 3 - штанга; 4 - модель; 5 - излучатель; 6 - балка; 7 - угломер; 8 - противовес

Излучатель закреплялся на горизонтальной балке 6 таким образом, что ось диаграммы направленности была расположена горизонтально и пересекала ось штанги 3. С этой штангой жестко связано угломерное устройство 7. Балка уравнивалась противовесом 8.

Модель волнистой поверхности крепилась к угломеру так, что ось штанги 3 лежала в плоскости волнистой поверхности модели. При установке модели эта плоскость совмещалась с отметкой 0° угломера. Балка с излучателем может поворачиваться вокруг оси штанги. При этом по угломерному устройству отсчитывается угол между плоскостью волнистой поверхности модели и направлением оси диаграммы направленности /угол скольжения падающей волны ультразвука/. При подготовке опыта выставлялся необходимый угол скольжения α_0 , после чего балка с излучателем жестко фиксировалась относительно штанги и угломера.

Приемный датчик устанавливался на одной глубине с излучателем и в процессе проведения опытов оставался неподвижным. Изменение угла α между плоскостью волнистой поверхности и направлением на приемный датчик осуществлялось вращением штанги вокруг ее оси. Штанга приводилась во вращение электромеханиче -

ским приводом. Угол поворота регистрировался с помощью фото - электрического датчика. Схема установки с горизонтальным расположением рассеивающей поверхности показана на рис. 2.

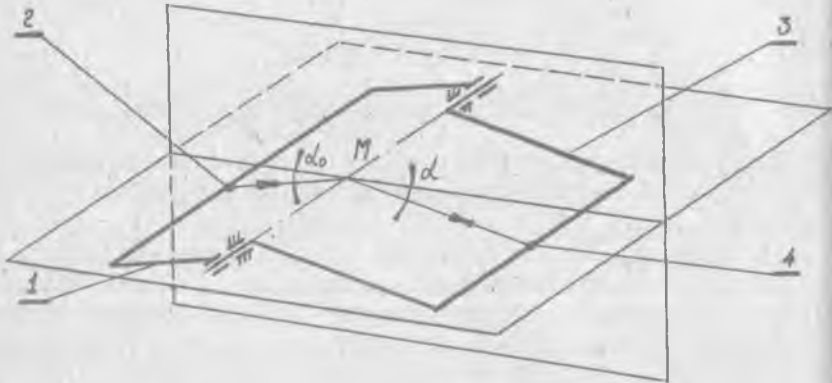


Рис. 2. Установка с расположением рассеивающей поверхности в горизонтальной плоскости: 1 - стрела; 2 - излучатель; 3 - стрела; 4 - приемный датчик

Излучатель 2 и приемник ультразвука 4 были установлены соответственно на поворотных стрелах 1 и 3, имеющих общую ось вращения в плоскости водной поверхности. Оси диаграмм направленности излучателя и приемника располагались в одной вертикальной плоскости, нормальной к оси вращения стрел 1 и 3, и пересекались в точке М оси.

Поворотом стрелы 1 можно менять угол скольжения падающего звука α_0 / между поверхностью воды и направлением распространения ультразвука, создаваемого излучателем 1/.

Сканирование по углам наблюдения осуществлялось плавным поворотом стрелы 3 с приемным датчиком 4.

Для создания волнующейся поверхности использовались системы вентиляторов и генераторы периодических волн.

Периодические волны формировались колебательным движением погруженной в воду линейки, приводимой в движение с помощью вращающегося эксцентрика, к которому она прижималась пружиной.

Механизм эксцентрика через редуктор подсоединялся к двигателю постоянного тока. Изменяя число оборотов двигателя, можно менять длину генерируемых волн. Амплитуда волнения регулировалась изменением глубины погружения линейки в воду и размахом колебаний линейки.

Система вентиляторов подвешивалась над поверхностью бассейна. Изменяя расположение точек подвеса и направления воздушных потоков, можно в широких пределах изменять режим волнения водной поверхности.

Контроль амплитуды и формы поверхностных волн производился путем регистрации изменения сопротивления участка воды между двумя электродами, частично погруженными в воду. Модели волнистой поверхности были выполнены из пенопласта ПС-4 и имели трехлобный профиль. После обработки мелкие шероховатости рассеивающей поверхности /размером 180 x 300 мм/ заполнялись стеарином. Во всех моделях период волнистости λ был принят равным 30. Высоты неровностей определяются из условия изменения параметра Рейля от 0,6 до 6 при изменении угла скольжения от 10 до 30°. Было изготовлено три модели с высотами $H = 2; 4; 6$ мм.

Кроме описанных моделей, для калибровки была изготовлена модель с гладкой рассеивающей поверхностью.

В излучателе ультразвука использовалась пластина из пьезокерамики ЦТС диаметром 35 мм. Необходимая широкополосность излучателя обеспечивалась тем, что собственная резонансная частота пластинки /2,5 МГц/ значительно превышает рабочие частоты /500 ± 100 кГц/.

На средней частоте излучателя экспериментально определенная ширина диаграммы направленности по уровню 0,7 составила около 6°.

В качестве приемников ультразвука применялись сверхминиатюрный датчик, разработанный в АКИН, и датчик на основе круглой пьезокерамической пластины ЦТС диаметром 12 мм /собственная частота 1,7 МГц/.

В состав электронной аппаратуры входило:

приемно-передающий комплекс, позволяющий формировать, излучать и принимать узко- и широкополосные сигналы;

блок обработки, предназначенный для определения функции распределения амплитуд рассеянных сигналов;

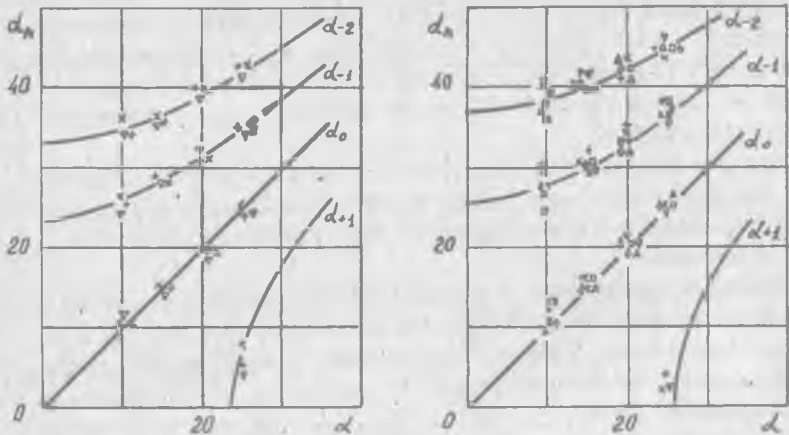


Рис. 3. Угловое положение дифракционных максимумов при рассеянии на моделях: а/ монохроматические сигналы; б/ ЛЧМ-сигналы. Сплошными линиями показаны теоретические значения: а/ $f_0 = 600$ кГц, $L = 30$ мм; б/ $f_0 = 500$ кГц, $L = 30$ мм

устройство для измерения параметров поверхностной волны.

В качестве узкополосных сигналов использовались импульсные послыки длительностью 130 мксек с монохроматическим заполнением 600 кГц, для широкополосных - импульсы той же длительности с линейной частотой модуляции /600-400 кГц/. Формирование ЛЧМ-сигналов осуществлялось с помощью частотного преобразования и временной селекции импульсов, получаемых с помощью дисперсионной ультразвуковой линии задержки /ДУЛЗ/ со средней частотой 2,3 МГц. Оптимальная обработка принятых ЛЧМ-сигналов осуществлялась после частотного преобразования и инверсии спектра с помощью ДУЛЗ. Сжатие ЛЧМ-сигналов равнялось 22 при уровне боковых лепестков менее 25%.

Результаты исследования и сравнение их с известными экспериментами и теориями [9], [10] отражены на графиках.

На рис.3 и 4 показана зависимость углового положения дифракционных максимумов от углов скольжения падающего звука при рассеянии на моделях и регулярной волнующейся поверхности соответственно.

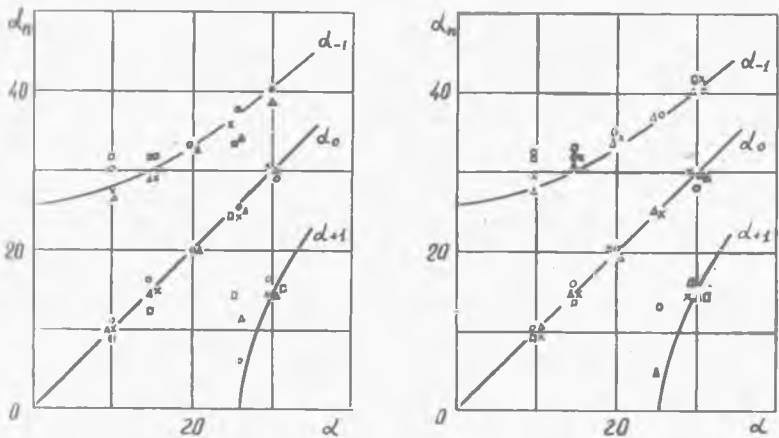


Рис. 4. Угловое положение дифракционных максимумов при рассеянии на регулярной волнующейся поверхности: а/ монохроматические сигналы, б/ ЛЧМ-сигналы. Линии соответствуют теоретическим значениям, рассчитанным для $f_0 = 500$ кГц и $L = 30$ мм

Хорошее совпадение теоретических результатов с экспериментальными говорит о корректности поставленных экспериментов. Положения дифракционных максимумов при рассеянии на регулярном волнении хуже, чем для случая рассеяния на моделях, совпадают с теоретическими. Это обстоятельство объясняется тем, что период λ волнения, от которого существенно зависит положение дифракционных спектров, при исследовании рассеяния на водной поверхности меняется в некоторых пределах, определяемых стабильностью генератора волнения. При рассеянии на моделях период $L = const$. Более точно совпадают экспериментальные и теоретические амплитуды дифракционных спектров.

На рис. 5 и 6 показаны зависимости амплитуд спектров нулевого и первого порядков при рассеянии на регулярной волнующейся поверхности, где это совпадение лучше, чем при рассеянии на моделях. Расхождение между теоретическими и экспериментальными результатами объясняется тем, что при выбранных значениях $\frac{L}{\lambda}$ эксперимент проводился на границе и даже за границей применимости теорий. В области применимости расхождение расчетных и экспериментальных результатов не превышает 10%.

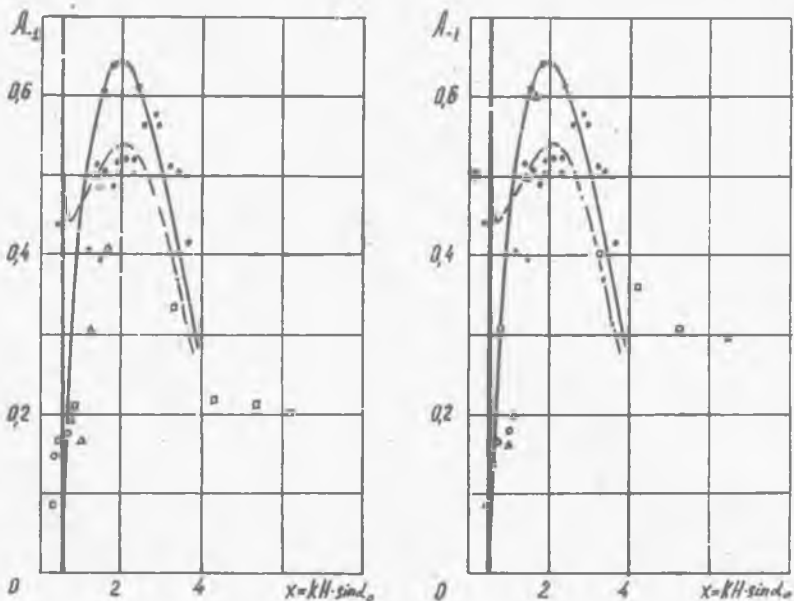


Рис. 5. Амплитуда A_{-1} спектра $m = -1$ при рассеянии на регулярной волнующейся поверхности: а/ монохроматические сигналы; б/ ЛЧМ-сигналы. Сплошная линия соответствует теории Бреховских, пунктирная - теории Экарта, точки - экспериментам [10]

Угловое положение дифракционных спектров рассеяния ЛЧМ-сигналов приблизительно соответствует положению их для случая монохроматического сигнала с частотой заполнения f_0 , равной средней частоте ЛЧМ-сигнала. Однако по сравнению с монохроматическим сигналом угловая ширина максимумов при рассеянии ЛЧМ-сигнала оказывается больше, и в первом приближении границы ее определяются положением спектров монохроматического сигнала с частотами, равными наибольшей и наименьшей частотам ЛЧМ-сигнала.

При рассеянии на моделях и на волнующейся поверхности относительная амплитуда дифракционных максимумов для ЛЧМ-сигналов в подавляющем большинстве случаев превосходит в тех же условиях амплитуду монохроматического сигнала.

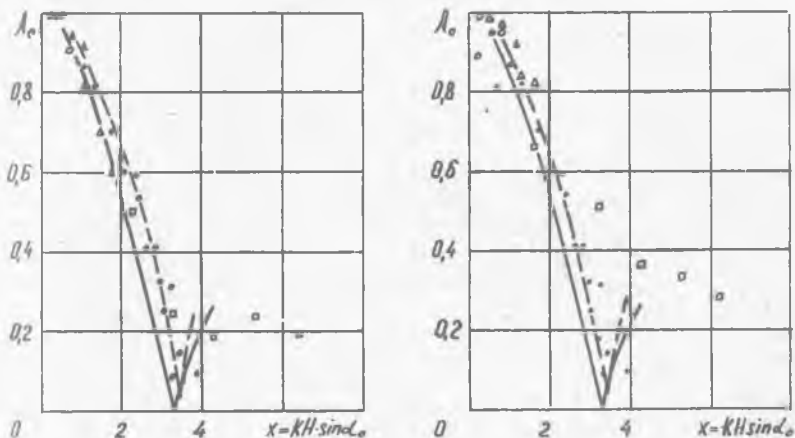


Рис. 6. Амплитуда A_0 спектра зеркального отражения при рассеянии на регулярной волнующейся поверхности: а/ монохроматические сигналы, б/ ЛЧМ-сигналы. Сплошная линия соответствует теориям Бреховских и Эккарта, пунктирная - теории Узетского, черные точки - экспериментам [10].

даже в направлениях максимумов дифракционных спектров ЛЧМ-сигналы испытывают некоторые искажения по сравнению с сигналом амплитудной модуляции. Искажения возрастают по мере увеличения порядка спектра и отстройки от направлений максимумов.

При использовании направленного приемного датчика отношение сигнал - шум повышается и уменьшается изрезанность форм импульса.

Стабильность амплитуды принятых сигналов оказывается наиболее высокой в направлении угла зеркального отражения. С увеличением угла наблюдения /при переходе к первому дифракционному максимуму/ при увеличении амплитуды регулярной поверхностной волны дисперсия амплитуд принятых сигналов существенно возрастает. При тех же средних амплитудах неровностей, но нерегулярном характере волнения, флуктуации принятых сигналов значительно больше. Отметим, что для ЛЧМ-сигналов стабильность амплитуд отраженных сигналов в целом выше, чем для монохроматических.

Л и т е р а т у р а

1. Рэлей. Теория звука., т. II, Гос. изд-во технико-теоретической литературы, 1955.
2. Лысанов Ю.П. Об одном приближении решения задачи о рассеянии звуковых волн на неровной поверхности. Акустический ж., 1956, 2, вып. 2, с. 182-187.
3. Сталкевич А.Н. Акустика моря. Л., "Судостроение", 1966.
4. Исакович М.А. Рассеяние волн от статически шероховатой поверхности. ЖЭТФ, 1952, 23, 305-314.
5. Eckart C. *The Scattering of sound from the sea surface.* JASA. 1953. 25, 566-670.
6. Mazsh H W and Kneal S L *Scattering of underwater sound by the sea surface.* JASA, 1961, vol 33, №3.
7. Лепорский А.Н. О рассеянии звуковых волн на синусоидальных и пилообразных поверхностях. Акустический ж., 1956, вып. 2, с.177-181.
8. Толстой И., Клей К.С. Акустика океана. М., "Мир", 1969.
9. Fogelin. *Survey of literature on reflection and Scattering of Sound waves at the sea surface.* JASA, 1970, 47, №5, p.2, 1209-1228.
10. E.O. La Casce, J.R.P. Tamarkin. *Underwater Sound Reflection from a Cogugated Surface.* J of Applied Physics, 1956, 27, №2.

А.А.Подольский

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ЗАРЯДКИ АЭРОЗОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ В ПЕРЕМЕННОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Зарядка аэрозольных частиц в электрическом поле при наличии униполярного пространственного заряда получила широкое распространение как в промышленных процессах /электрофильтрация аэрозолей, электроокраска и т.п./, так и в технике физического эксперимента. Это обусловило проведение большого числа теоретиче-