

## МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОЙ ПЛОЩАДИ РАССЕЯНИЯ СТАТИСТИЧЕСКИ ШЕРОХОВАТОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Л. Д. Буцимин, Л. В. Хомякова, Е. А. Штатер

В настоящее время получили широкую известность теоретические методы определения средней величины удельной эффективной площади рассеяния ( $\bar{\sigma}_0$ ) статистически шероховатой поверхности [1-5]. Указанные методы пригодны для приближенных расчетов  $\bar{\sigma}_0$  почти при любых взаимных положениях приемной и передающей антенны с определенными ограничениями для характеристик шероховатостей. Однако экспериментальная проверка этих расчетов возможна лишь с точностью до  $5 \div 7 \text{ дБ}$  [6-8]. В работе предлагается метод измерений  $\bar{\sigma}_0$  в зеркальном направлении относительно падающего поля, обладающий погрешностью не хуже 30%. В связи с тем, что наибольшее прикладное значение имеют величины  $\bar{\sigma}_0$ , измеренные в обратном направлении, предлагаемый метод предназначается в основном для сопоставления теоретических результатов с экспериментальными при углах наблюдения, близких к зеркальному.

В основе предлагаемого метода лежит использование пересотражающего экрана, стороны которого значительно превосходят длину волны поля. Экран устанавливается перпендикулярно к плоскости средних значений шероховатостей (рис. 1). Совмещенная приемно-передающая антенна располагается в дальней зоне относительно экрана. В силу больших электрических размеров экрана возможно рассмотрение полей в лучевом приближении. Падающее поле (луч 1), отражаясь от экрана в зеркальном направлении, попадает на шероховатую поверхность и рассеивается в широком секторе углов.

В приемную антенну попадают лучи, отраженные лишь в зеркальном направлении от шероховатой поверхности.

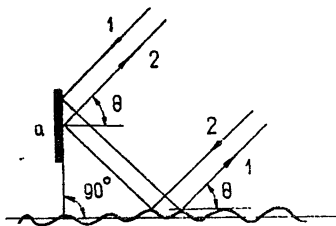


Рис. 1. Переотражение энергии между шероховатой поверхностью и вертикальным экраном.

Возможен и другой ход лучей (луч 2), путь которой совпадает с путем луча 1. В силу этих обстоятельств и на основе простых геометрических построений средняя эффективная площадь рассеяния шероховатой поверхности, взаимодействующая с экраном, оказывается равной

$$\bar{\sigma} = 4\bar{\sigma}_0 ab \operatorname{ctg} \theta. \quad (1)$$

Из (1) по измеренной величине  $\bar{\sigma}$  и известным  $a$ ,  $b$  и  $\theta$  определяется искомая средняя величина удельной эффективной площади рассеяния шероховатой поверхности.

Измерения по предлагаемому методу осуществлялись в бассейне на длине волны ультразвукового поля в воде  $\lambda = 0,5 \text{ мм}$ . В качестве экрана использовалась свинцовая пластина с размерами  $a = 20 \text{ мм}$ ,  $b = 30 \text{ мм}$  и толщиной 20 мм. Шероховатой поверхностью служила возмущенная ветровым потоком поверхность воды бассейна. В любой точке поверхности распределение ее ординат имело гауссову форму и временной интервал корреляции порядка 0,24 сек. Стационарность волнения по среднеквадратичному ( $\sqrt{D}$ ) отклонению волновых ординат от среднего уровня сохранялась в пределах  $S = ab \operatorname{ctg} \theta$ , если  $\theta \geq 5^\circ$ . В этом случае  $\sqrt{D} = 1,5 \text{ мм}$ . При  $\theta < 5^\circ$  стационарность нарушалась, и на противоположных концах  $S$  величина  $\sqrt{D}$  была соответственно равной 1,5 и 1,2 мм.

Процесс измерений средней эффективной площади рассеяния участка  $S$  осуществлялся в следующей последовательности. Первоначально горизонтальный срез пластины совмещался с уровнем спокойной воды, затем пластину углубляли так, чтобы ее верхняя кромка была на 3,5 см ниже поверхности воды. Последняя операция исключала раскачку пластины из-за волнения верхнего слоя воды. Вращением пластины по азимуту находилось такое положение, в котором отраженный сигнал достигал своего максимального значения. Это положение пластины фиксировалось, после чего включались источник ветрового волнения. Продолжительность одного цикла измерений составляла

3 минуты. При каждом угле наблюдения  $\theta$  проводилось последовательно 7 циклов, в каждом из которых повторялась вся процедура установки пластины.

Результаты измерений представлены на рис. 2, на котором пунктирные кривые ограничивают доверительный интервал значений  $\sigma_0$  с вероятностью 95%. Существенно, что относительная погрешность измерений средней величины удельной эффективной площади рассеяния шероховатой поверхности оказалась не превосходящей 30%. Как следует из рис. 2, величина  $\bar{\sigma}_0$  на участке  $25^\circ < \theta < 40^\circ$  практически не изменялась, что согласуется с теоретическим ходом зависимости  $\sigma_0 = f(\theta)$ , если  $\theta > 30^\circ$  [1-5]. При  $\theta < 25^\circ$  начинали действовать два фактора, оказывающие противоположное воздействие на  $\bar{\sigma}_0$ . С одной стороны, при уменьшении  $\theta$  увеличивается когерентная составляющая отраженного поля, которая приводит к сужению диаграммы отражения и, как следствие этого, к росту  $\bar{\sigma}_0$ . С другой стороны, по мере уменьшения  $\theta$  усиливаются эффекты затенения участков шероховатой поверхности. Это приводит к снижению величины  $\bar{\sigma}_0$ . Как видно из графика (рис. 2), последний фактор при малых углах  $\theta$  оказался доминантным.

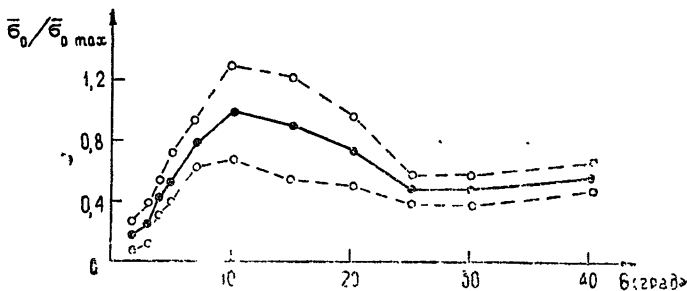


Рис. 2. Экспериментальная зависимость от угла места средней удельной эффективной площади рассеяния статистически шероховатой поверхности в зеркальном направлении;  
—○— границы доверительного интервала.

«Помехоустойчивость» рассматриваемого метода зависела, во-первых, от величины отношения средних интенсивностей отраженного сигнала в отсутствие экрана и в ходе измерений величины  $\bar{\sigma}$ . При измерениях это отношение не превышало  $10^{-2}$ . Во-вторых, на помехоустойчивость также влияло отношение эффективной площади рассеяния самого экрана к величине  $\bar{\sigma}$ . В худшем случае указанное отношение составляло не более  $10^{-3}$ . Таким образом, суммарная помехоустойчивость предлагаемого метода измерений в лабораторных условиях не превосходила одного процента.

В заключение авторы благодарны И. Е. Островскому, А. И. Калмыкову, А. Д. Розенбергу и Е. В. Чаевскому за обсуждение работы, а также А. И. Вознесенскому за критические замечания.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. М. А. Исакович, ЖЭТФ, 23, вып. 3, 305 (1952).
2. Ф. Г. Басс, Изв. высш. уч. зав. — Радиопизика, 4, № 3, 476 (1961).
3. Е. Л. Фейнберг, Распространение радиоволн вдоль земной поверхности, изд. АН СССР, М., 1961.
4. Е. В. Чаевский, Изв. высш. уч. зав. — Радиопизика, 8, № 6, 1128 (1965).
5. П. Бекмен, Труды ТИИЭР, 53, № 8, 1158 (1965).
6. R. N. Clarke, Proc. IEE, 110, № 11, 1921 (1963).
7. C. I. Beard, IRE Trans. Antenn. Propagat., AP-9, № 5, 460 (1961).
8. В. П. Акуличева, Э. П. Гулин, Тр. Акуст. ин-та, № 2, 83 (1967).

Поступила в редакцию  
13 марта 1970 г.,  
после доработки  
3 марта 1971 г.