

08;09  
©1994

## ДИСТАНЦИОННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА С ПОМОЩЬЮ РЕЗОНАНСНОГО ОБЪЕМНОГО РАССЕЯНИЯ СВЧ ИЗЛУЧЕНИЯ ТРЕХСАНТИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

*Г.А.Лятов, Н.В.Суязов, И.Е.Ушаков, И.Ф.Шижкин*

Регистрация локальных возмущений в плотных проводящих средах (например, в металлах, электролитах, морской воде) часто связана с приемом сигнала аппаратурой, которая находится в среде, существенно отличающейся от исследуемой по физическим свойствам (как правило, в воздухе), и располагается на значительном удалении от границы раздела сред. Одним из оптимальных носителей информации в плотной проводящей среде служит звук, но акустическая волна плохо проникает в воздушную среду и сравнительно быстро затухает там, поэтому непосредственная регистрация ее на больших расстояниях от поверхности раздела невозможна. Дистанционное считывание акустического сигнала можно производить электромагнитным излучением СВЧ диапазона, используя резонансное объемное рассеяние на акустической волне в воздухе вблизи границы раздела сред [1]. Возможности и преимущества такого метода (в сравнении, например, с регистрацией акустических колебаний границы раздела [2,3]) подробно рассмотрены в [4] для случая подводного акустического источника, в том числе в условиях волнения раздела (ветрового волнения морской поверхности).

Экспериментальное исследование регистрации подводного акустического сигнала с помощью рассеяния на акустической решетке в воздухе было проведено [1,4,5] для электромагнитного излучения миллиметрового диапазона ( $\lambda_e = 8$  мм и частота звука  $f_a = 87$  кГц). В результате возможность реализации предложенного метода дистанционной регистрации, в том числе в условиях волнения поверхности, была продемонстрирована экспериментально и подтверждена острорезонансная (для считывания сигнала с акустической решетки) зависимость от  $\lambda_e$  (либо от  $f_a$ ) с максимумом при

$$\lambda_e = 2c_a f_a^{-1}, \quad (1)$$

(здесь  $c_a$  — скорость звука в воздухе).

Выбор миллиметрового диапазона в [1,4,5] определялся масштабами лабораторного моделирования. Для дистанционной регистрации предложенным методом гидроакустических сигналов в натуральных условиях предпочтительнее сантиметровый диапазон  $\lambda_e$ . Это обусловлено следующими причинами [4]. Декремент затухания звука в воздухе  $\delta_a$  падает с уменьшением частоты  $f_a$  (либо с увеличением связанной с ней соотношением (1) длины волны  $\lambda_e$ ) быстрее, чем по линейному закону,  $\delta_a \sim f_a^{1.5-2} \sim \lambda_e^{(-1.5-2)}$ , а следовательно, при увеличении  $\lambda_e$  возрастает коэффициент отражения на акустической решетке

$$\mu_0 = \left\{ \frac{\pi T_0 (\varepsilon - 1) P_a}{2 \delta_a \lambda_e P_{atm}} \right\}^2 \sim \lambda_e^{(1-2)}, \quad (2)$$

где  $\mu_0$  — коэффициент отражения СВЧ излучения по мощности (со сдвигом частоты вверх на  $f_a$ ) без учета расходимости волновых пучков (с учетом расходимости, а также волнения поверхности раздела [4]  $\mu_0$  входит в окончательные выражения для эффективности считывания как множитель),  $T_0$  — коэффициент передачи звука в воздух (для воды  $T_0 = 5 \cdot 10^{-4}$ ),  $P_a$  — амплитуда давления в воде вблизи границы раздела,  $P_{atm}$  — атмосферное давление,  $\varepsilon$  — диэлектрическая проницаемость воздуха; например, с переходом от  $\lambda_e = 8$  мм к  $\lambda_e = 3$  см  $\mu_0$  — возрастает в 4 раза. Таким образом, в сантиметровом диапазоне эффективность резонансного механизма считывания акустического сигнала возрастает (при прочих равных условиях — мощности излучателей и КНД антенн). В сантиметровом диапазоне, кроме того, можно использовать более мощные (в том числе серийные) СВЧ излучатели и акустические источники с большей мощностью и апертурой. Так как с уменьшением  $f_a$  быстро падает поглощение звука в воде, значительно возрастают (до сотен метров) допустимые для источников акустического излучения глубины.

Экспериментальное исследование дистанционной регистрации гидроакустического сигнала с помощью рассеяния СВЧ излучения 3-сантиметрового диапазона на акустической волне проведено в бассейне НПО "ВНИИМ им. Д.И. Менделеева" (схема установки на рис. 1). В бассейне с помощью механического волнопродуктора могло создаваться нерегулярное волнение (средняя высота волн составляла 10 см).

В качестве источника считывающего СВЧ излучения использован передатчик от самолетной навигационной системы "Трасса" с мощностью непрерывного излучения 5 Вт

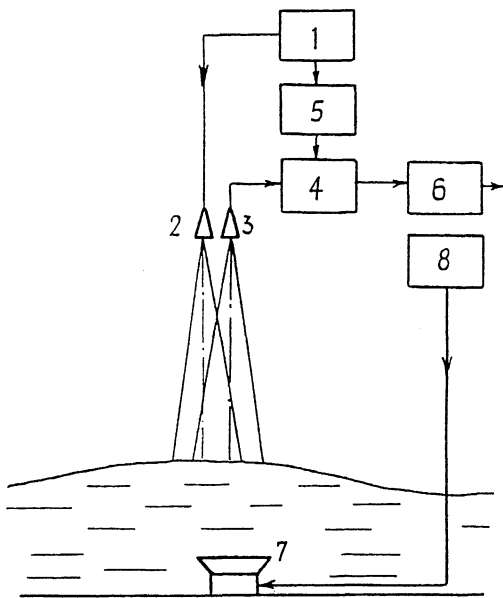


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

1 — генератор СВЧ, 2 — передающая антенна, 3 — приемная антенна, 4 — балансный фазовый детектор, 5 — регулируемый фазовращатель, 6 — селективный усилитель, 7 — гидроакустический излучатель, 8 — звуковой генератор.

на частоте  $f_e = 9.1$  ГГц ( $\lambda_e = 3.3$  см). Передающая антенна имела ширину диаграммы направленности в основных плоскостях  $\approx 10$  град; приемная — 20 град. Полезный сигнал (на смещенной частоте  $f_e + f_a$ ) выделялся балансным фазовым детектором и избирательным усилителем (селективным микровольтметром В6-9) и регистрировался на измерительном приборе последнего. В качестве акустического источника использован дисковый излучатель диаметром 155 мм (с резонансной частотой 12.5 кГц), который был установлен на дно бассейна. Над ним размещалась СВЧ установка, расстояние от антенн до поверхности воды составляло  $H = 3$  м, глубина погружения акустического излучателя  $h = 0.2$  м.

Для идентификации сигнала, сформированного за счет резонансного рассеяния на звуковой волне, частота акустических колебаний изменялась с шагом 0.2 кГц (рис. 2). Зависимости выходного сигнала от частоты акустических колебаний имеют явно выраженный резонансный характер с максимумом, соответствующим условию резонанса (1) для использованного в эксперименте СВЧ излучения ( $\lambda_e = 3.3$  см). Относительная ширина ( $\Delta f_a / f_a$ ) резонансной кривой на уровне 0.5 приблизительно равна  $3 \cdot 10^{-2}$ . Тео-

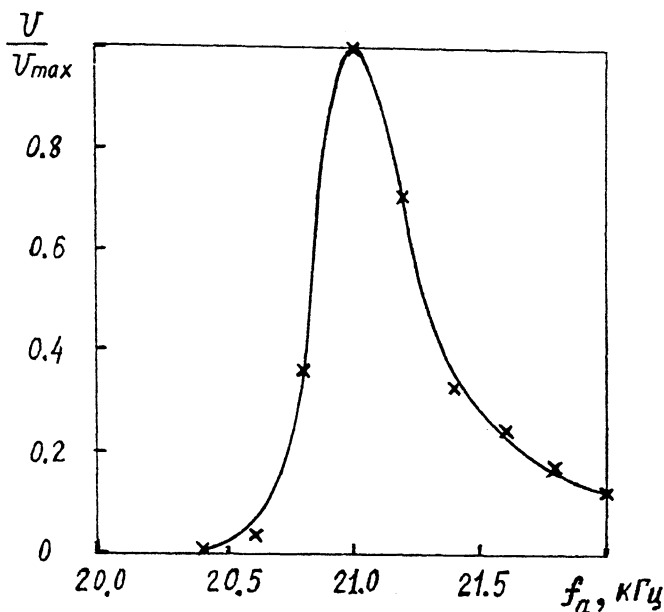


Рис. 2. Зависимость выходного сигнала  $U$  от частоты  $f_a$  для погруженного под воду акустического излучателя (в отсутствие волнения).

ретиическая оценка [1] в идеальном случае нерасходящихся монохроматических волновых пучков при  $H\delta_a \ll 1$  дает величину  $\Delta f_a/f_a \approx 0.6 \cdot \lambda_a/H \approx 7 \cdot 10^{-3}$  (для амплитуды сигнала). Уширение экспериментальной резонансной кривой связано, очевидно, с конечной шириной спектра (в том числе пространственного [6]) волновых пучков (немонохроматичностью акустического источника, кривизной фазовых фронтов и частичной пространственной когерентностью). Наличие ярко выраженного резонансного характера зависимости позволяет сделать вывод, что сигнал в измерительной системе формируется за счет рассеяния именно на акустической дифракционной решетке в воздухе.

При волнении водной поверхности, создаваемом механическим волнопродуктором, выходной сигнал системы флуктуирует. Максимум выходного сигнала при этом приблизительно соответствует максимуму выходного сигнала для спокойной поверхности воды. Следовательно, и в случае волнения поверхности сигналы гидроакустического источника надежно обнаруживаются в радиолокационных отражениях.

В условиях закрытого бассейна для  $\lambda_a = 3.3$  см высота подъема считывающей СВЧ системы над поверхностью

воды  $H \ll \delta_a^{-1} \approx 24$  м, поэтому используется лишь малая часть акустической решетки (коэффициент  $\mu_0$  уменьшается в  $(H\delta_a)^{-2} \sim 100$  раз по сравнению с идеальной оценкой (1)). Несмотря на это, гидроакустический сигнал надежно регистрировался на уровне, значительно превосходящем уровень шумов, в том числе и при волнении поверхности. С ростом  $H$  падение эффективности за счет расходимости пучков будет сопровождаться ростом коэффициента отражения на решетке  $\mu_0$ . Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о реальной возможности дистанционной регистрации сигналов гидроакустического источника с помощью предложенного резонансного механизма считывания в натуральных условиях.

### Список литературы

- [1] Ассман В.А., Бункин Ф.В., Виноградов Е.А., Голованов В.И., Ляхов Г.А., Суязов Н.В., Шипилов К.Ф. // Письма в ЖТФ. 1991. Т. 17. В. 5. С. 72-76.
- [2] Есипов И.Б., Наугольных К.А. В сб.: Методы гидрофизических исследований. Горький, 1984. С. 229-245.
- [3] Ушаков И.Е., Шишкин И.Ф. // Изв. Таганрогского педагогического инст. 1980. 4. С. 55-62.
- [4] Ассман В.А., Бункин Ф.В., Виноградов Е.А., Голованов В.И., Ляхов Г.А., Суязов Н.В., Шипилов К.Ф. Резонансное отражение электромагнитного излучения от бегущей решетки в двухслойной среде // Препринт ИОФ АН СССР № 113. Москва, 1990. 29 с.
- [5] Бункин Ф.В., Виноградов Е.А., Голованов В.И., Ляхов Г.А., Шипилов К.Ф. // ЖТФ. 1994. (В печати).
- [6] Ляхов Г.А. // Квантовая электроника. 1976. Т. 3. В. 4. С. 838-839.

Институт общей физики  
Москва

Поступило в Редакцию  
1 апреля 1994 г.