



Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

В. А. Ассман, Ф. В. Бункин, Е. А. Виноградов, В. И. Голованов, Г. А. Ляхов, Н. В. Суязов, К. Ф. Шипилов, Распределенное отражение электромагнитного излучения от бегущей акустической решетки в двухслойной среде, *Письма в ЖТФ*, 1991, том 17, выпуск 5, 72–76

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 18.97.14.80

6 февраля 2025 г., 23:03:40



С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Z i e g l e r J.F., B i e r s a c k J.P., L i t t m a r k U. The stopping and range of ions in solids. New York, Pergamon Press, 1985. P. 321.
- [2] Б у р е н к о в А.Ф. et al. // Phys. Stat. sol. (a). 1989. V. 115. P. 427-435.
- [3] L a F e r l a A. et. al. // Mat. Sci. and Eng. 1989. V. B2. P. 69-73.
- [4] Б у р е н к о в А.Ф., К о м а р о в Ф.Ф., К у м а х о в М.А., Т е м к и н М.М. Пространственные распределения энергии, выделенной в каскаде атомных столкновений в твердых телах. М.: Энергоатомиздат, 1985. 248 с.
- [5] Б у р е н к о в А.Ф., К о м а р о в Ф.Ф., Ф е д о т о в С.А. Тез. докл. XX Всес. сов. по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами, М.: МГУ, 1990. 120 с.
- [6] В e t z H.-D. // Rev. Mod. Phys. 1972. V. 44. P. 465-539.
- [7] Б о р Н. Прохождение атомных частиц через вещество. М.: ИЛ, 1950. 149 с.
- [8] З а й к о в В.П., К р а л ь к и н а Е.А., Н и к о л а е в В.С. Формирование равновесного зарядового распределения в пучках быстрых многозарядных ионов при прохождении их через газовые и твердые мишени. М., Деп. ВИНТИ, № 600-В87, 1987. 75 с.

Поступило в Редакцию
11 декабря 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 17, вып. 5

12 марта 1991 г.

08; 09

© 1991

РАСПРЕДЕЛЕННОЕ ОТРАЖЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ ОТ БЕГУЩЕЙ АКУСТИЧЕСКОЙ РЕШЕТКИ
В ДВУХСЛОЙНОЙ СРЕДЕ

В.А. А с с м а н, Ф.В. Б у н к и н,
Е.А. В и н о г р а д о в, В.И. Г о л о в а н о в,
Г.А. Л я х о в, Н.В. С у я з о в,
К.Ф. Ш и п и л о в

Задача регистрации локальных возмущений той или иной природы через границу раздела сред с существенно различными свойствами имеет приложения от микро- (движения дефектов кристалли-

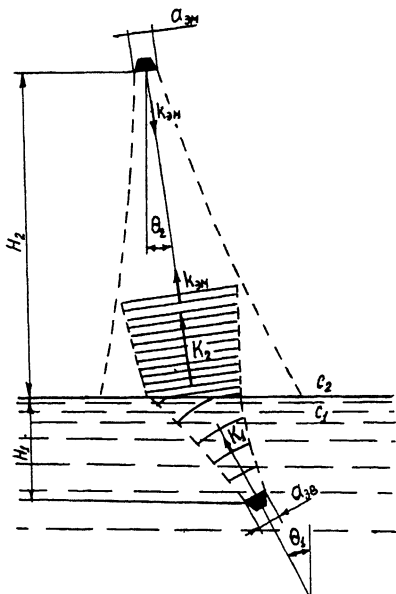


Рис. 1. Геометрия эксперимента: a_{3B} и a_{2M} – апертуры ультразвукового источника и приемно-передающей СВЧ-системы.

ческой решетки, например) до геофизических (сдвиги слоев океанского дна, подводные извержения вулканов). Решающую роль здесь играет выбор физического механизма, наиболее эффективно передающего возмущение через границу; для распространенной комбинации „плотная проводящая среда (металлы, жидкие электролиты) – разреженный диэлектрический газ (воздушная атмосфера в средних условиях)” оптимальными носителями представляются, соответственно, звук и электромагнитное излучение. Оценке подлежит также эффективность преобразования энергии между модами разной природы при переходе границы; эта оценка определяет выбор схемы регистрации.

В исследованной нами лабораторной модели акустический сигнал от источника в воде регистрировался в воздухе с помощью электромагнитного пучка. Считывание сигнала непосредственно с колеблющейся поверхности жидкости (см., например, [1]), наталкивается на понятные трудности в натуральных экспериментах, связанные в указанных примерах с нерегулярной шероховатостью кристаллического среза, волнением морской поверхности. Альтернативу со-

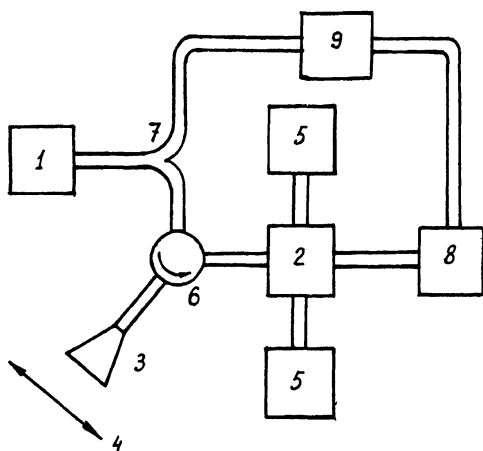


Рис. 2. Балансная СВЧ схема регистрации: 1 - генератор, 2 - двойной Т-мост, 3 - рупор, 4 - диэлектрическая линза, 5 - детекторы, 6 - циркулятор, 7 - делитель, 8 - фазовращатель, 9 - волноводная скрутка.

ставляет механизм регистрации, основанный на резонансном отражении электромагнитной волны на протяженной бегущей звуковой решетке в воздухе. Малость коэффициента передачи звука в воздух $T_0 = 5 \cdot 10^{-4}$ по давлению компенсирует здесь когерентное накопление отраженного сигнала по высоте наведенной решетки, реализующееся на длине $\sim \delta_2^{-1}$ при фазовом согласовании акустической и электромагнитной волн:

$$|\lambda_{ЭМ} - 2c_2 f_{ЗВ}^{-1}| \ll \lambda_{ЭМ}^2 \cdot \max \{ \delta_2 (4\pi)^{-1}, (4H_2)^{-1} \}, \quad (1)$$

где $\lambda_{ЭМ}$ - длина электромагнитной волны, $f_{ЗВ}$ - частота звуковой волны, c_2 и δ_2 - скорость и коэффициент затухания звука в воздухе. Расчет по схеме рис. 1 (детали расчета, и учет волнения поверхности раздела приведены в [2]) отношения μ мощности радиоволны, принимаемой антенной на смещенной частоте $f_{ЭМ} + f_{ЗВ}$ к мощности, излучаемой на частоте $f_{ЭМ}$, дает

$$\mu \approx \left[\frac{\pi(\epsilon - 1) S_{ЭМ} S_{ЗВ} P T_0 \cos \theta_1}{2 \lambda_{ЭМ}^3 \delta_2 H_2 (H_2 + H_1 c_1 c_2^{-1}) P_a} \right]^2. \quad (2)$$

Здесь ϵ - диэлектрическая проницаемость воздуха, P - амплитуда давления на апертуре источника, P_a - атмосферное давление, $S = \frac{\pi}{4} a^2$ - площади апертур.

В эксперименте (детали см. в [2]) использован акустический генератор с $f_{3B} \approx 87$ кГц и СВЧ комплекс с $\lambda_{ЭМ} \approx 8$ мм в соответствии с (1). Для акустической мощности ≈ 80 Вт и близким к оптимальным значениям $H_2 = 2,5$ м, $S_{3B} S_{ЭМ} \approx 250$ см² расчет дает $M \approx -90$ дБ. При этом коэффициент модуляции m — отношение принимаемых мощностей на смещенной и несмещенной (зеркальное отражение) частотах — составляет ≈ -80 дБ (в наклонной геометрии, при $\theta_1 = 50^\circ$, $\theta_2 = 10^\circ$ величина m возрастает до -40 дБ). Именно эта величина характеризует требуемую частотную селективность приемной системы. Расчет смещенной компоненты отражения от поверхности (это тоже полезный сигнал) показывает, что вклад резонансного механизма преобладает над ней как раз при $f_{3B} \approx 80-100$ кГц ($\lambda_{ЭМ} \approx 8$ мм).

В качестве генератора ВЧ сигналов использован ГЧ-141 ($\lambda_{ЭМ} = 5,6-8$ мм, мощность ~ 30 мВт) с набором элементов, канализирующих излучение. Рупор с сечением 4 см² формировал электромагнитный пучок с помощью диэлектрической линзы (из тефлона, $F = 15$ см, $\alpha_{ЭМ} = 9$ см или полистирола, $F = 60$ см, $\alpha_{ЭМ} = 25$ см) Приемником — смесителем электромагнитного излучения служил кристаллический диод (Д404), который включен в плечо двойного Т-моста, являющегося комбинацией Е- и Н-тройников [3]. Выделение сигнала на смещенной частоте обеспечивал нановольтметр типа 237 в комплексе *UNIPAN* с селективностью на октаву (ступенями) 0-25-40 дБ.

Трехспойный ультразвуковой преобразователь ($a_{3B} = 7$ см) диапазона 80-90 кГц на пьезокерамике ЦТС-19 располагался в акустически заглушенной ювете 80x50x40 см³ с водой на глубине ≥ 4 см. Он создавал поле давления до 30-50 Па прямо над поверхностью воды. При использовании в целях уменьшения расходимости УЗ и СВЧ излучения тонкостенной металлической трубы диаметром 15 см и длиной 1,5 м был обнаружен резонансный сигнал (в 2-3 раза выше уровня шума), соответствующий рассеянию на УЗ пучке.

Для устранения влияния кавитации и детального исследования эффекта рассеяния на ультразвуке, генерируемом под водой, моделировалось с помощью излучателя, размещенного в воздухе (а соответствующие колебания границы раздела адекватно моделируются колебаниями поверхности излучателя). При этом использовался сконструированный мозаичный УЗ излучатель с большой апертурой $a_{3B} = 19$ см (и малой расходимостью пучка), создающий поле давления ≈ 6 Па вблизи себя и $\approx 1,5$ Па на расстоянии 2,5 м (у СВЧ линзы). Кроме того, для снижения уровня шумов в схему регистрации были внесены дополнительный детектор 5 (балансная схема смесителя), циркулятор 6, делитель излучения пополам 7, фазовращатель 8 и волноводная скрутка 9 (рис. 2). Была также введена модуляция УЗ волны частотой 3 Гц (от генератора ГЗ-118), регистрируемая синхронным детектором типа 232 В на выходе нановольтметра.

Результатирующая чувствительность разработанной методики была достаточной для регистрации колебаний поверхности излучателя с амплитудой $\geq 10 \text{ \AA}$ (при времени накопления сигнала $\tau = 10 \text{ с}$)

Эффект рассеяния СВЧ излучения на ультразвуковой волне зарегистрирован при $f_{ЗВ} = 86.9 \text{ кГц}$ и $f_{ЭМ} = 37.47 \text{ ГГц}$. Критерий регистрации – резонансный характер эффекта и зависимость от длины взаимодействия. Частота СВЧ излучения изменялась с шагом 10 МГц , и ширина резонанса составила $\Delta f_{ЭМ} \approx 0.05 \text{ ГГц}$, то есть $\Delta f_{ЭМ} f_{ЭМ}^{-1} \sim 10^{-3}$, что согласуется с оценкой (1). При перекрытии (тонким диэлектрическим экраном) ультразвукового пучка около излучателя (объемного взаимодействия нет) показания детектора уменьшались примерно вдвое; при перекрытии около СВЧ линзы (длина взаимодействия сохранялась) показания не менялись. Следовательно, резонансный эффект для $\lambda_{ЭМ} = 8 \text{ мм}$ имеет (в согласии с расчетом) на расстоянии $2.5 \text{ м} \approx \lambda_{ЭМ}^{-1}$ величину того же порядка, что и нерезонансный эффект от колебаний поверхности излучателя, при этом он существенно выше уровня шума ($\tau = 10 \text{ с}$).

Таким образом, использование объемного резонансного взаимодействия повышает эффективность дистанционной регистрации акустических колебаний с помощью СВЧ излучения. Связанный с резонансным эффектом выигрыш растет вместе с длиной зондирующей радиоволны, что позволяет перейти к постановке эксперимента с соответствующим увеличением масштабов (в натуральных условиях).

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Е с и п о в И.Б., Н а у г о л ь н ы х К.А. В сб.: Методы гидрофизических исследований. Горький, ИПФ АН СССР, 1984. С. 229–245.
- [2] А с с м а н В.А., Б у н к и н Ф.В., В и н о г р а - д о в Е.А., Г о л о в а н о в В.И., Л я х о в Г.А., С у я з о в Н.В., Ш и п и л о в К.Ф. Препринт Института общей физики АН СССР, 1990.
- [3] Х а р в е й А. Техника сверхвысоких частот. М.: Советское радио, 1965.

Институт общей физики АН СССР,
Москва

Поступило в Редакцию
12 ноября 1990 г.