

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. Крамер. Математические методы статистики. М., ГТТИ, 1948.
2. В. И. Дунин-Барковский, Н. В. Смирнов. Теория вероятности и математическая статистика в технике. Общая часть. М., ГТТИ, 1955.
3. Д. И. Блохинцев. Акустика неоднородной движущейся среды. М.—Л., Гостехиздат, 1946.

Акустический институт АН СССР
Москва

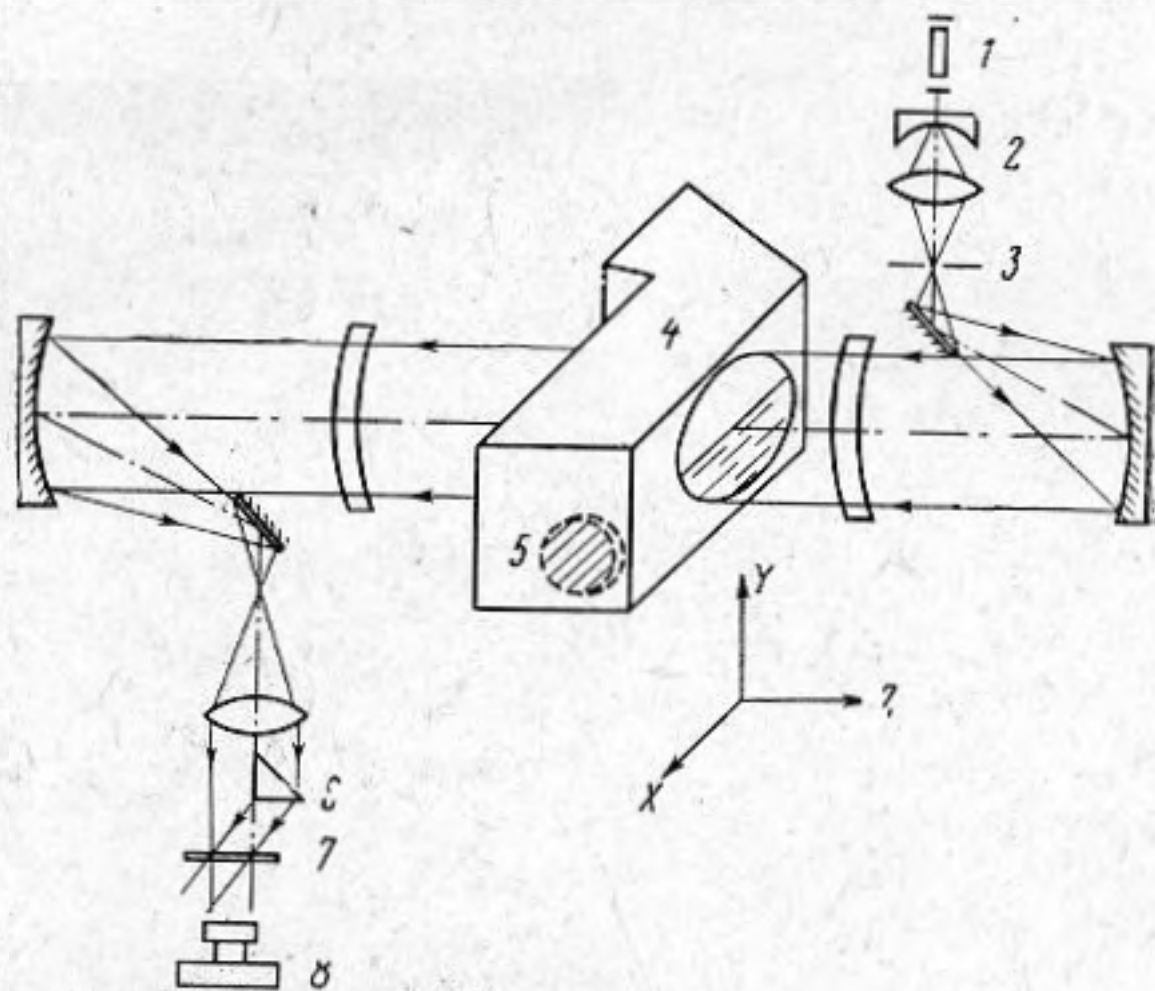
Поступило в редакцию
23 апреля 1970 г.

УДК 534.6

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗВУКОВЫХ ПОЛЕЙ ПРИ ПОМОЩИ ОПТИЧЕСКОЙ ГОЛОГРАФИИ

*Б. А. Белгородский, Е. П. Смирнов, Ю. Г. Туркевич,
Е. И. Хейфец*

В настоящем сообщении приведены результаты применения оптической голографии для исследования звуковых полей. Голографическая установка была собрана на основе теневого прибора ИАБ-451 (фиг. 1). Световой пучок от He—Ne лазера 1 при помощи оптики 2 фокусируется на входную щель 3 прибора. В кювете 4 часть плоской световой волны, выходящей из коллиматора, проходит через звуковое поле в воде, создаваемое излучателем 5, и является предметной волной E_1 , другая часть проходит через воздух и используется в качестве опорной волны E_0 . Так как предметная и опорная волны проходят почти один и тот же путь, отпадает необходимость в выравнивании оптических длин хода световых лучей. После выхода из приемной части прибора опорный пучок при помощи призмы 6 совмещается с предметным в плоскости голограммы 7. Голограммы регистрировались на фотопластинах типа «Микрат ВР» с разрешением 2000 линий/мм. При восстановлении изображения проявленная голограмма освещалась опорной волной E_0 , используемой при записи. Восстановленное изображение регистрировалось фотоаппаратом 8.



Фиг. 1

На фиг. 2 и 3 приведены восстановленные изображения звукового поля излучателя диаметром 12 см на частоте звука 84 кгц при разных напряжениях на излучателе.

В восстановленных изображениях видна система интерференционных полос, соответствующих линиям равных амплитуд звукового давления. При увеличении напряжения на излучателе в 1,6 раза (фиг. 3) (т. е. при увеличении звукового давления) число полос увеличивается.

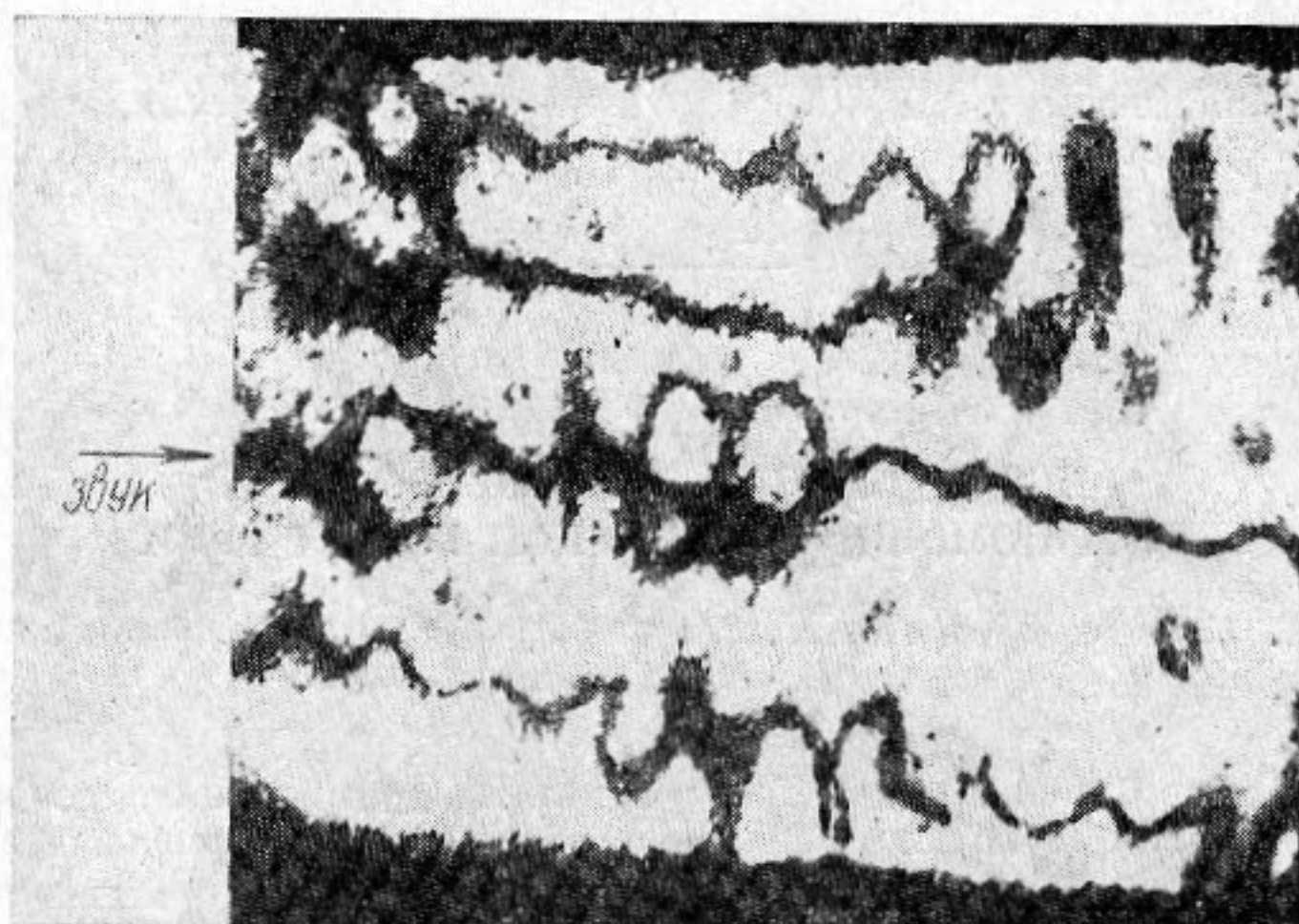
Для того, чтобы пояснить природу возникновения этих полос, рассмотрим интерференцию плоских световых волн, опорной и предметной, модулированной звуком. Амплитуда света в плоскости голограммы может быть представлена следующим выражением:

$$E = A_0 e^{i\varphi_0} + A_1 e^{i\varphi_1(x, y, t)}, \quad (1)$$

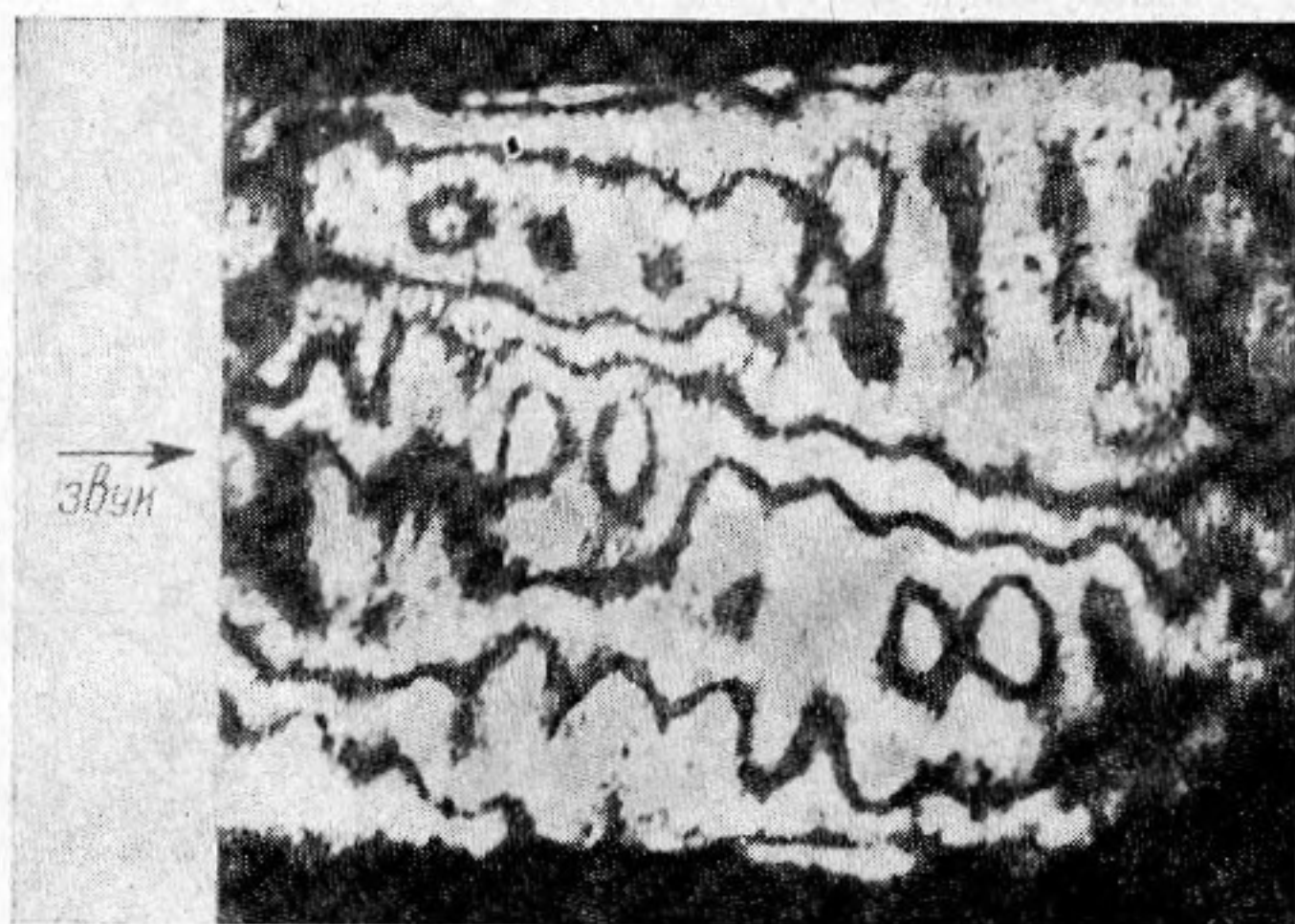
где A_0 , A_1 и φ_0 , φ_1 — амплитуды и фазы опорной E_0 и предметной E_1 волн соответственно; $\varphi_1(x, y, t) = v(x, y) \cos \omega t$; $v(x, y) = Kl\mu(x, y)$ — параметр Рамана — Нагата; $K = 2\pi/\Lambda$ — волновое число света в вакууме; l — глубина звукового поля;

$\mu(x, y) = \frac{dn}{dp} p(x, y)$ — изменение показателя преломления, вызванное звуковым давлением $p(x, y)$; dn/dp — коэффициент зависимости показателя преломления от давления; $\omega = 2\pi f$ — круговая частота звука. В выражении (1) учитывается только

фазовая модуляция света звуком, при которой изменяется лишь фаза предметной световой волны при неизменной ее амплитуде, т. е. используется известное приближение теории Рамана — Ната [1]: $\nu f^2 \ll n_0 c^2 / 2\pi \Lambda l$, где n_0 — показатель преломления среды, c — скорость звука. Если время экспозиции голограммы много больше периода звуковых колебаний, интерференционная картина в плоскости голограммы усред-



Фиг. 2



Фиг. 3

няется по времени. Можно показать, что в этом случае освещенность восстановленного с голограммы изображения I будет

$$I \sim J_0^2[\nu(x, y)], \quad (2)$$

где J_0 — функция Бесселя нулевого порядка первого рода. При достижении определенного давления в какой-либо области звукового поля интерференционная картина в плоскости голограммы, образованная предметной волной, прошедшей через эту область, и опорной волной, исчезает, что приводит к появлению темной полосы в данной области восстановленного изображения. Из выражения (2) следует, что полосы в восстановленном изображении будут наблюдаться при условии:

$$\begin{aligned} \mu l &= \frac{a_n}{\pi} \cdot \frac{\Lambda}{2} \text{ для темных полос,} \\ \mu l &= \frac{b_n}{\pi_1} \cdot \frac{\Lambda}{2} \text{ для светлых полос,} \end{aligned} \quad (3)$$

где a_n — аргументы функции Бесселя, соответствующие ее нулям, а b_n — ее максимумам.

Таким образом, указанный метод дает возможность проводить не только качественные исследования звукового поля, но и непосредственно фиксировать распределения амплитуд давления в виде темных изобар. Метод может быть применен для исследования низкочастотных звуковых полей в отличие, например, от традиционного теневого метода, так как единственным условием визуализации является наличие в исследуемом звуковом поле областей с давлением, соответствующим первому нулю J_0 . Например, при исследовании звуковых полей в воде $\left(\frac{dn}{dp} \approx 0,16 \cdot 10^{-9} \text{ М}^2/\text{Н}\right)$

это условие представляется в виде $p \gg 2,4 \cdot 10^9 \frac{\Lambda}{l} \left(\frac{H}{M^2}\right)$. Более подробные карты давления можно получить по нескольким изображениям звукового поля, снятым при последовательно увеличивающихся звуковых давлениях.

Возможность визуализации чисто стоячей волны методом оптической голографии была показана в работе [2]. Однако в этой работе не учитывается усреднение интерференционной картины по времени и ошибочно считается, что полосы в восстановленном изображении возникают при изменении оптической длины хода предметной световой волны на целое число полуволн света. Как показано выше, полосы будут наблюдаться при выполнении условия (3).

Авторы выражают глубокую благодарность Е. Л. Шендерову за руководство работой и обсуждение результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. C. V. Raman, N. S. Nagendra Nath. The diffraction of light by high frequency sound waves. Proc. Indian Acad. Sci., 1933, A(11), 4, 406.
2. R. F. Salant, W. J. Alwang, L. A. Cavanaugh, E. Samartino. Visualization of standing acoustic waves using time — average optical holographic interferometry. J. Acoust. Soc. America, 1968, 44, 6, 1732—1733.

Ленинград

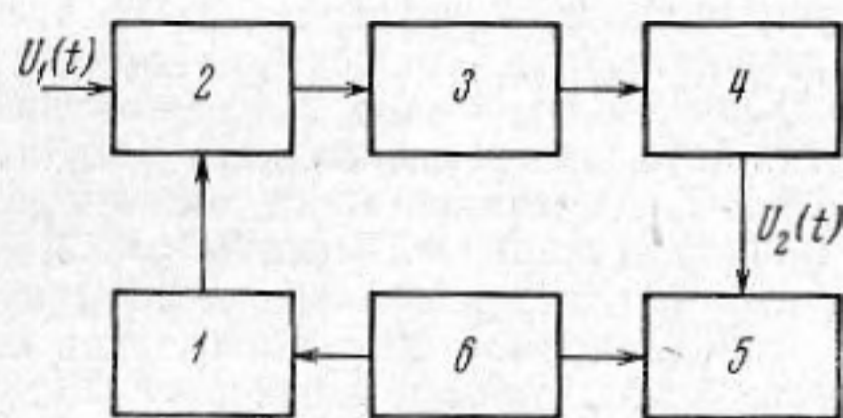
Поступило в редакцию
27 января 1971 г.

УДК 534.63

ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ СПЕКТРОВ В РЕАЛЬНОМ МАСШТАБЕ ВРЕМЕНИ С ПРИМЕНЕНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЛНОВОДА

Е. Я. Бершадский, Г. Б. Ульянов

Анализ спектров в реальном времени требует применения широкополосных устройств, одним из которых является линейный дисперсионный четырехполюсник, осуществляющий частотно-временное преобразование [1]. Дисперсионный анализатор спектра применяется для анализа спектров одиночных импульсов и выборок непрерывного сигнала. Структурная схема его показана на фиг. 1. Анализируемый сигнал $u_1(t) = U_1(t) \exp(j\omega t)$ и сигнал с внутриимпульсной линейной частотной модуляцией от местного гетеродина I смешиваются в смесителе 2. Скорость изменения частоты в сигнале гетеродина $\mu = \Delta\omega / \tau_0$, где $\Delta\omega$ — девиация частоты в импульсе за время его длительности τ_0 . После селекции одной из боковых полос фильтром 3, сигнал поступает на дисперсионный четырехполюсник 4, характеристика групповой задержки которого линейна и имеет крутизну $-1/\mu$. Запуск гетеродина и ждущей развертки осциллографа 5 производится синхронизатором 6. Огибающая амплитуд выходного сигнала является амплитудным спектром анализируемого сигнала, а тонкая структура содержит информацию о фазовом спектре [2]:



Фиг. 1

$$u_2(t) = (\mu/2\pi)^{1/2} \exp j(\omega_0 t - \mu t^2/2 + \pi/4) \int_{-\tau_0/2}^{\tau_0/2} U_1(\tau) \exp(j\mu t \tau) d\tau.$$