

## О ЗАВИСИМОСТИ УРОВНЯ ПОДВОДНОГО ШУМА ОКЕАНА ОТ СКОРОСТИ ВЕТРА

В. И. Бардышев, А. М. Великанов, С. Г. Гершман,  
В. И. Крышний

Подводные шумы океана измерялись нами в районе с глубинами 100—130 м, удаленном на 20 км от береговой черты. Один гидрофон удерживался с помощью притопленного буя на глубине 60 м и практически не был защищен от гидродинамических помех при воздействии на него подводных течений. Вторым гидрофон был укреплен на высоте 1,5 м от дна и защищен обтекателем, существенно снижавшим, как показали дополнительные исследования, уровень гидродинамических помех на частотах ниже 100 гц. Уровни подводных шумов океана измерялись в третьоктавных, полуоктавных и 4-герцевой полосах частот при времени усреднения в несколько секунд, приводились к ширине полосы 1 гц и выражались в децибелах, отсчитываемых от уровня  $2 \cdot 10^{-5} \text{ нм}^{-2} \cdot \text{гц}^{-1/2}$ . Измерения проводились в среднем дважды в сутки в течение полугодия. Скорость ветра измерялась регулярно через каждые 3 час. Для выявления стохастической зависимости уровня подводного шума  $p$  от скорости ветра  $v$  применялся критерий средней квадратичной связанности Пирсона. На тех частотах, где такая зависимость обнаруживалась, проводилось ее дальнейшее исследование, в частности, выяснялось, является ли она корреляционной, т. е. такой, при которой связаны условные математические ожидания исследуемых процессов. Для этой цели вычислялось корреляционное отношение  $\eta$ , являющееся мерой корреляционной связи любого типа, как линейной, так и нелинейной [1]. Далее устанавливалась степень линейности корреляционной зависимости  $p$  от  $v$ , для чего вычислялся коэффициент корреляции  $R$ , и сравнивался с соответствующим значением  $\eta$ ; при  $\eta = R$  зависимость линейна, при  $\eta > R$  — нелинейна. Для установления доверительной вероятности утверждения  $\eta > R$  применялся метод доверительных интервалов, а также  $F$  — распределение [2]. Линии регрессии, отражающие вид корреляционной зависимости  $p$  от  $v$ , подбирались методом наименьших квадратов. Вычисления проводились на ЦВМ.

гц	1,0	4,2	8,3	66,7	140	6600	9600
$R$	0,15	0,18	0,26	0,41	0,54	0,38	0,39
$\eta$	0,30	0,28	0,36	0,49	0,59	0,44	0,48

Было установлено, что зависимость  $p$  от  $v$  наиболее существенна на частотах 100 — 200 гц, несколько ослабевая с повышением частоты выше 200 гц и более существенно убывая при понижении частоты ниже 100 гц. По данным измерений первым гидрофоном стохастическая зависимость  $p$  от  $v$  практически исчезает на частотах ниже 10 гц (доверительная вероятность наличия зависимости на частоте 10 гц не превышает 50%, а на частоте 5 гц — 10%). По данным измерений вторым гидрофоном, зависимость  $p$  от  $v$  прослеживается во всем частотном интервале измерений, т. е. вплоть до частоты 1 гц, причем является корреляционной. В таблице указаны значения  $\eta$  и  $R$  для нескольких частот по данным измерений вторым гидрофоном. На всех частотах доверительная вероятность того, что  $\eta > 0$ , не менее 99,9%. Доверительная вероятность утверждения  $R > 0$  на частоте 2,1 гц не менее 98%, а на частотах 8,3 гц и выше — более 99,9%. Доверительная вероятность того, что  $\eta > R$ , оказалась около 98% на частоте 2,1 гц и 80% на частотах 8,3 гц и выше. По-видимому, зависимость  $p$  от  $v$  можно считать нелинейной. Это подтверждается еще и тем, что амплитудные законы распределения значений  $p$  и  $v$  существенно отличаются от гауссова. Линейное уравнение регрессии можно использовать лишь в качестве первого приближения.

Различие в корреляционной связи значений  $p$  и  $v$  на низких частотах по данным первого и второго гидрофонов, по-видимому, вызвано тем обстоятельством, что на частотах ниже 10 гц среди шумов, принимаемых первым гидрофоном, преобладали гидродинамические пульсации давления, обусловленные турбулентностью подводного течения (следуя терминологии Блохинцева [3], этот эффект следует назвать «псевдозвуком»). В районе измерений преобладали подводные течения, не зависящие от ветра (приливно-отливные и постоянные). На втором гидрофоне указанные гидродинамические помехи существенно снижены обтеканием, и шумы, связанные с ветром, более заметны. Действительно, спектральные уровни шумов, по данным второго гидрофона, на частотах менее 100 гц ниже по сравнению с измеренными первым гидрофоном, причем на частотах 6 гц и ниже разница достигает 20—26 дб. Спектральные уровни шумов, по данным первого гидрофона, на частотах ниже 10—20 гц возрастают на 10—12 дб при понижении частоты на октаву, а по данным второго гидрофона — всего на 3,5—5 дб.

## 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

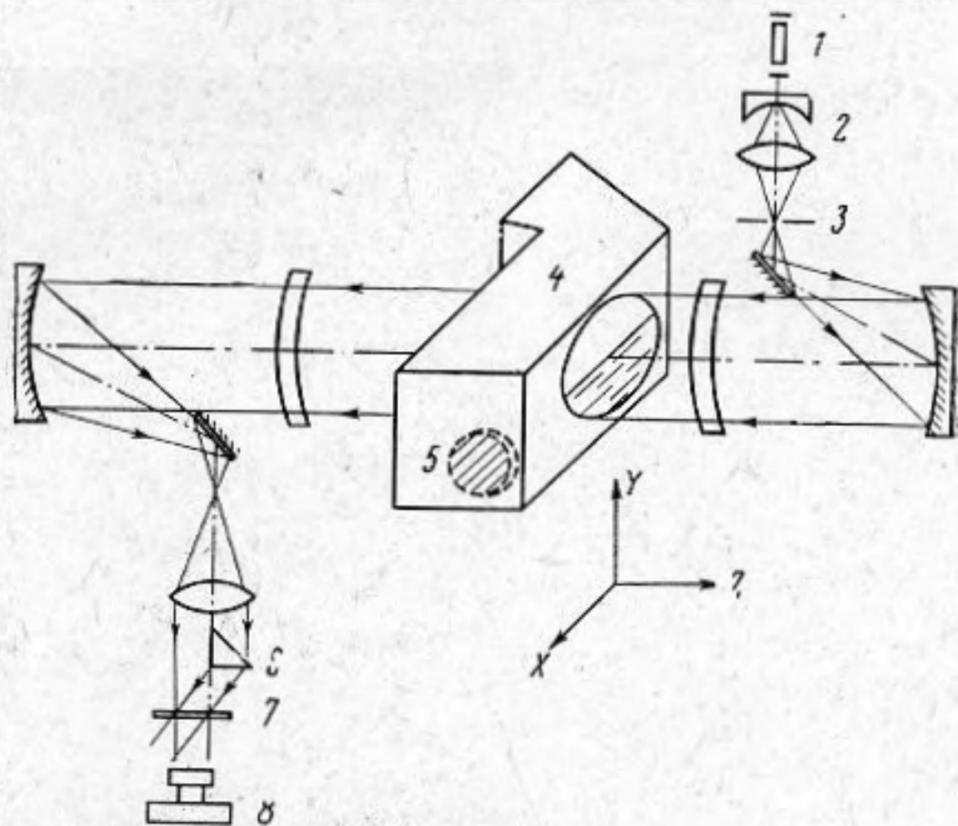
Поступило в редакцию  
23 апреля 1970 г.

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  $\varphi_0$ ,  $\varphi_1$  — 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