СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гликман Б.Ф., Лосенков А.С.* Периодическое течение капельной жидкости в разветвленной трубопроводной системе // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт, 1987. № 2. С. 143–148.
2. *Гликман Б.Ф., Лосенков А.С.* Акустические характеристики газового потока в трактах с поворотами // Акуст. журн. 1989. Т. 35. № 2. С. 245–248.
3. *Лебединский Е.В., Натанзон М.С., Никифоров М.В.* Экспериментальный метод определения динамических свойств газовых потоков // Акуст. журн. 1982. Т. 28. № 5. С. 660–664.
4. *Лебединский Е.В., Мосолов С.В., Никифоров М.В.* Экспериментальное исследование динамических свойств потока в тракте периодической структуры // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт, 1989. № 3. С. 126–134.
5. Неустойчивость горения в ЖРД / Под ред. Д.Т. Харрье, Ф.Г. Рирдона. М.: Мир, 1975. 872 с.
6. *Бажанов В.В., Столяров В.Н.* Анализатор передаточных функций: А.С. 355603 СССР // Б.И. Открытия. Изобретения. Промышленные образцы. Товарные знаки. 1972. № 31.
7. *Идельчик И.Е.* Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М.: Машиностроение, 1975. 410 с.

Научно-исследовательский институт тепловых процессов

Поступило в редакцию 16.03.90

УДК 534.6:550.34

© 1992 г. **С.В. Меркушин, А.Б. Шемякин**

ГЕОАКУСТИЧЕСКИЕ ШУМЫ БЫСТРОХОДНОГО СУДНА НА ВОДОХРАНИЛИЩЕ

В последнее время появился ряд работ [1–4], посвященных изучению геоакустических фазовых шумов и сигналов от различных источников, в том числе и от транспортных средств. Цель наших исследований – изучение геоакустических шумов быстроходного судна, движущегося по водохранилищу, с помощью береговых сейсмоприемников. Изучались шумы быстроходных пассажирских судов на подводных крыльях (СПК) типа "Метеор" и "Ракета".

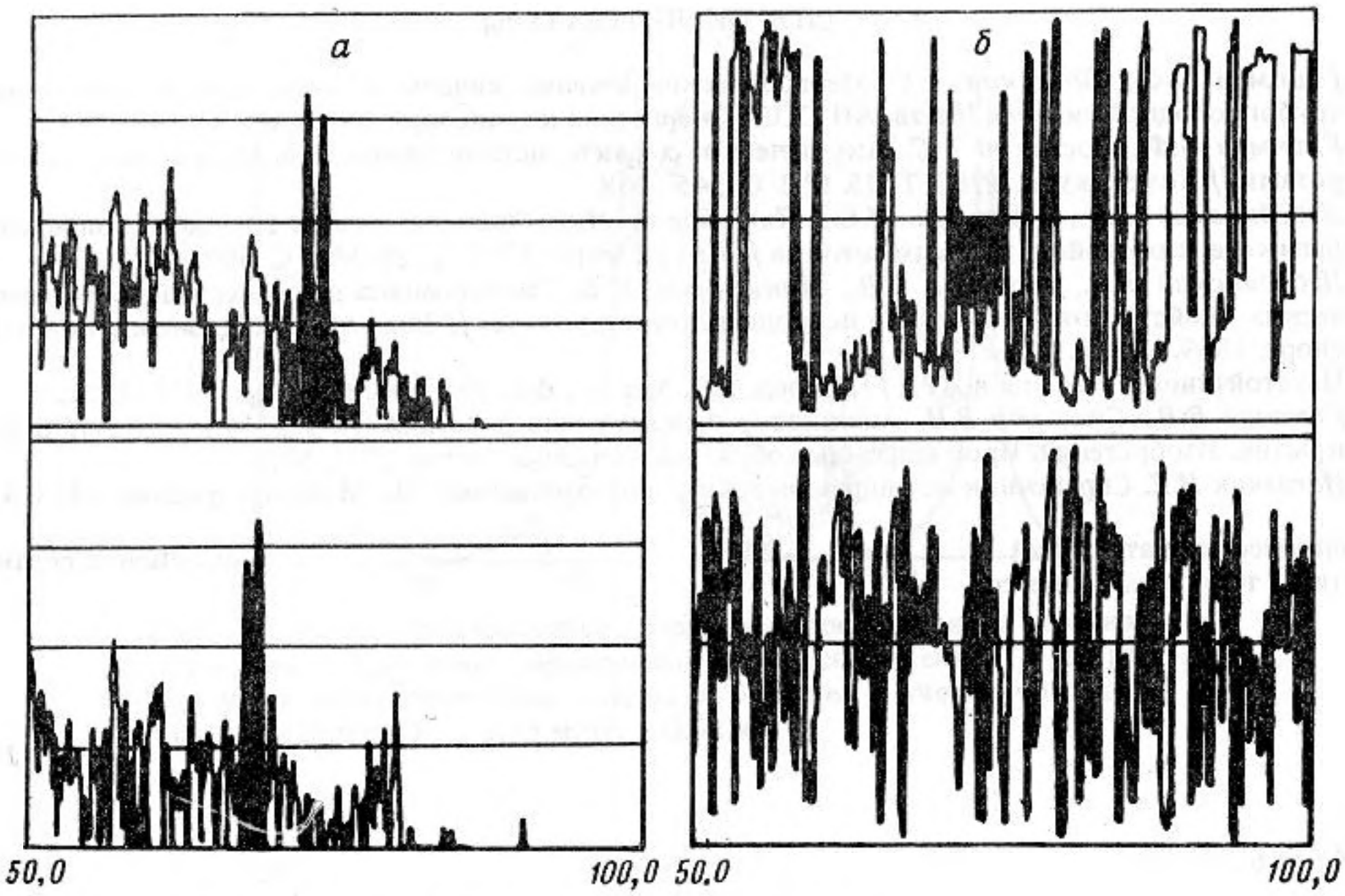
Прием геоакустических волн осуществлялся с помощью серийного трехкомпонентного сейсмоприемника "Черепаха-М" (три взаимно ортогональных велосиметра – два горизонтальных и один вертикальный), установленного на берегу с заглублением в грунт на 0,5 м, в 200 м от оси судового хода. Ось максимальной чувствительности одного из горизонтальных сейсмоприемников (ось X) была ориентирована параллельно оси судового хода.

Спектральный экспресс-анализ геоакустических шумов, проводившийся на спектроанализаторе СК4-72 при неоднократном прохождении СПК вблизи сейсмоприемника, показал, что в спектрах появляются характерные дискретные составляющие в диапазонах частот 65–75, 130–150 Гц и выше. Более подробный спектральный анализ записей геоакустических шумов проводился на двухканальном анализаторе сигналов модели 2034 (фирма Брюль и Къер) в диапазоне частот 50–100 Гц, где максимальное превышение над шумом появляющихся дискретных составляющих достигало 30 дБ, а сами дискретные составляющие были заметны при удалении СПК до нескольких километров. Было отмечено, что при прохождении СПК вблизи сейсмоприемника происходило плавное понижение на 4–5 Гц частот дискретных составляющих, то есть проявлялся эффект Доплера.

На рисунке представлены взаимные спектры (модуля и фазы) геоакустических шумов горизонтального (X) и вертикального (Z) сейсмоприемников в диапазоне частот 50 ÷ 100 Гц. Масштаб оси частот – линейный. Масштаб по вертикальной оси для модуля – логарифмический, диапазон – 40 дБ, градуировка шкалы в единицах спектральной плотности мощности, верхней границе соответствует значение $4 \cdot 10^{-13}$ (м/с)^2/Гц. Масштаб по вертикальной оси для фазы – линейный, градуировка шкалы – в градусах, диапазон – $\pm 200°$. Спектры получены в результате экспоненциального усреднения двух реализаций с перекрытием 75%. Два верхних спектра соответствуют приближению СПК к сейсмоприемнику, два нижних – удалению.

Дискретные составляющие шумов СПК на рисунке выделены темным цветом. Отчетливо просматриваются две составляющие, обусловленные наличием двух гребных валов с несколько различающимися частотами вращения. Значения функции когерентности на этих частотах приближаются к единице (0,863 и 0,841), а угол фазового сдвига φ_{xz} между горизонтальной (X) и вертикальной (Z) компонентами составляет около 90°, что характерно для поверхностных геоакустических волн. На спектрах фазы хорошо видно, как при прохождении СПК мимо сейсмоприемника знак φ_{xz} меняется на противоположный вследствие косинусоидальной характеристики направленности сейсмоприемника. Также видно, что абсолютная величина φ_{xz} несколько уменьшается.

По известной скорости движения СПК и величине доплеровского сдвига 70-герцовых дискрет-



Геоакустические шумы быстроходного судна на водохранилище.

Взаимные спектры модуля (*а*) и фазы (*б*) геоакустических шумов горизонтального и вертикального сейсмоприемников: верхние спектры – приближение источника, нижние – удаление

а

CROSS SPEC (X/Z)
Y: 400E – 15 $(m/s)^2$ /Hz PSD
X: 50.000 Hz + 50 Hz LIN
#A: 2 (EXP)

б

CROSS SPEC PHASE
Y: – 200 TO 200 DEG
X: 50.000 Hz + 50 Hz LIN
#A: 2 (EXP)

ных составляющих можно оценить скорость распространения геоакустических волн:

$$C = V_{\text{и}} \frac{F_{\text{в}} \cos \alpha_{\text{в}} - F_{\text{н}} \cos \alpha_{\text{н}}}{F_{\text{в}} - F_{\text{н}}},$$

где C – скорость упругих волн; $V_{\text{и}}$ – скорость движения источника; $F_{\text{в}}$ и $F_{\text{н}}$ – зарегистрированные частоты дискретных составляющих; $\alpha_{\text{в}}$ и $\alpha_{\text{н}}$ – углы, под которыми виден источник относительно оси горизонтального сейсмоприемника X, соответственно для высшей и низшей частот в пределах проявления эффекта Доплера.

Расчет скорости распространения волн проведем в предположении их независимости от частоты, хотя в общем случае скорость распространения геоакустических поверхностных волн зависит от частоты колебаний [4]. Подставляя значения $V_{\text{и}} = 16{,}6$ м/с (60 км/ч), $\alpha_{\text{в}} = 25°$ и $\alpha_{\text{н}} = 150°$, а также средние частоты $F_{\text{в}} = 73$ Гц и $F_{\text{н}} = 67$ Гц, получим усредненное значение $C = 395$ м/с и $\lambda = 5{,}6$ м. Более пдробный анализ результатов наших измерений выявил уменьшение скорости C с ростом частоты F, что согласуется с известными данными [4].

Таким образом показано, что геоакустические шумы быстроходного судна, движущегося по водохранилищу, регистрируются береговыми сейсмоприемниками. Геоакустические колебания, создаваемые судном, представляют собой поверхностные волны, распространяющиеся со средней скоростью 395 м/с при частоте колебаний около 70 Гц.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Шмальфельд Б., Раух Д.* Низкочастотные окружающие шумы и шумы, производимые судном в мелкой воде // Акустика дна океана / Под ред. Купермана У., Енсена Ф. М.: Мир, 1984. С. 227–239.
2. *Rauch D.* On the role of bottom interface waves in ocean seismoacoustics // Ocean seismo-acoustics. Proc. Symp. on OSA. June 10–14. 1985. Italy. P. 623–641.

3. *Карлтон П.Н., Фидлер Р.У.* Определение положения источника сейсмических колебаний методом пассивного эксперимента // Анализ и выделение сейсмических сигналов / Под ред. Чжаня Ч. М.: Мир, 1986. С. 158–175.
4. *Ewing M., Jardetzky W., Press F.* Elastic waves in layered media. N.Y.: Mc Graw-Hill, 1957.

Акустический институт
им. Н.Н. Андреева
Российской Академии наук

Поступило в редакцию
30.07.90
После исправления
19.04.91

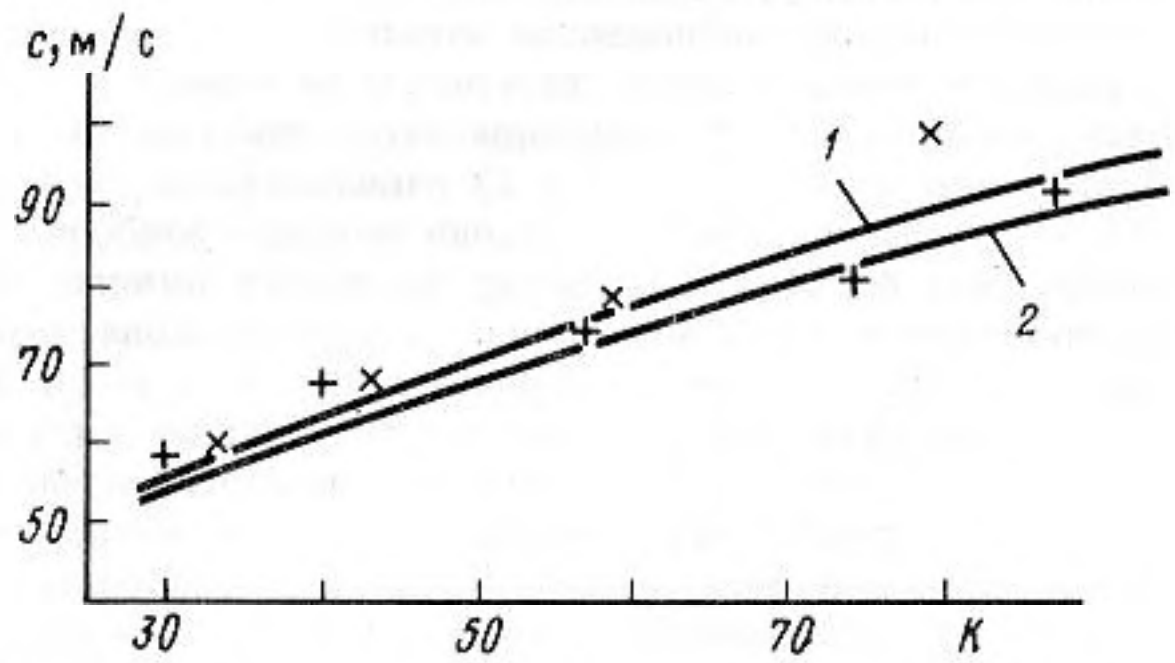
УДК 532.529:534.19:541.182.45

© 1992 г. З.М. Оренбах, Г.А. Шушков

СКОРОСТЬ И ДИССИПАЦИЯ ЗВУКА В ГАЗОЖИДКОСТНЫХ ПЕНАХ

Диссипация звуковой энергии в газожидкостных смесях пузырьковой структуры, как известно, зависит от температуропроводности газа. Этот факт, зафиксированный экспериментально в средах с низким объемным газосодержанием [1], объясняется тепловым механизмом диссипации; при сжатии температура газа повышается, что приводит к нагреву окружающей пузырек жидкости, и, следовательно, энергия волны давления расходуется на нагрев смеси.

В работе [2] показано, что при преобладании теплового механизма диссипации зависимость коэффициента затухания (δ) от температуропроводности газа (a) определяется критерием Пекле $\mathrm{Pe} = \omega R^2/a$, где ω – круговая частота, R – начальный радиус пузырька. При $\mathrm{Pe} \ll 1$ – $\delta \sim 1/a$, при $\mathrm{Pe} \gg 1$ – $\delta \sim \sqrt{a}$.



Зависимость скорости звука в газожидкостной пене от кратности: +, × – экспериментальные значения скорости звука соответственно в водовоздушной и водогелиевой пенах. Кривые *1, 2* – теоретические зависимости, построенные по дисперсионному уравнению из [2] соответственно для водогелиевой и водовоздушной пен

Эксперименты работы [1] показывают, что высокочастотные возмущения ($\mathrm{Pe} \gg 1$) в водогелиевой смеси затухают значительно сильнее, чем в водовоздушной.

Авторами настоящего сообщения проведены эксперименты на установке типа "ударная труба", которые показали, что колокообразные возмущения давления длительностью ~2 мс в водогелиевой пене затухают слабее, чем в водовоздушной с теми же параметрами.

Ниже приводятся значения коэффициентов затухания для водогелиевой (δ_1) и водовоздушной (δ_2) пен со средним радиусом пузырьков, примерно равным $0{,}2 \cdot 10^{-3}$ м.

K	33	44	58	79
δ_1, м$^{-1}$	2,68	2,57	2,69	2,58
δ_2, м$^{-1}$	3,75	3,7	3,18	3,08

В качестве параметра, определяющего соотношение фаз в пене, используется кратность (K), связанная с объемным газосодержанием (φ) формулой $K = 1\,(1 - \varphi)$.

Для условий эксперимента число Pe, рассчитанное по основным энергонесущим гармоникам, меньше единицы, поэтому ожидалось, что коэффициенты затухания в пенах, заполненных гелием