

## ЛИТЕРАТУРА

1. H. Helmholtz. Theorie der Luftschwingungen in Röhren mit offenen Enden. Grelle's J., 1860, 57, 1—70.
2. H. Helmholtz. Ueber die physikalische Bedeutung des Prinzips der kleinsten Wirkung. Grelle's J., 1886, 100, 137—166; 213—222.
3. H. Helmholtz. Vorlesungen über die mathematischen Prinzipien der Akustik. Leipzig, 1898, §§ 28, 54.
4. Рэлей. Теория звука. М.-Л., ГТТИ, т. 1, 174—180; т. 2, 145—149.
5. В. В. Фурдурев. Теоремы взаимности, М.-Л., ГТТИ, 1948.
6. Л. М. Лямшев. К вопросу о принципе взаимности. Докл. АН СССР, 1959, 125, 6, 1231—1234.

Акустический институт АН СССР  
Москва

Поступило в редакцию  
17 апреля 1970 г.

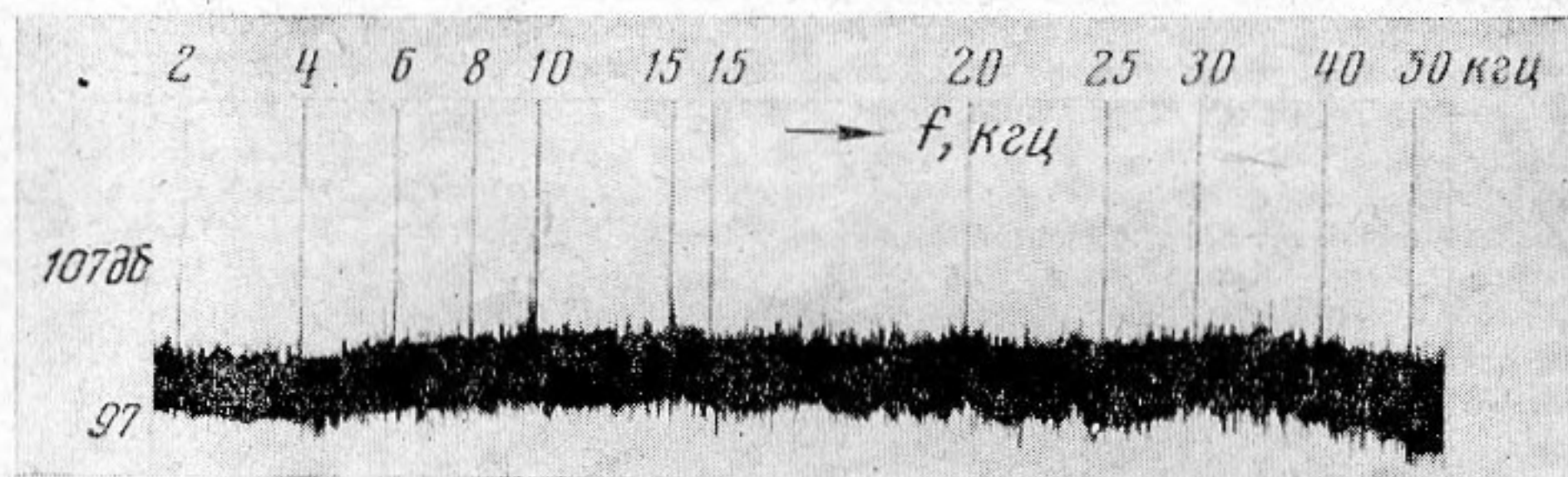
УДК 534.612.5

### К ВОПРОСУ О КАЛИБРОВКЕ МИКРОФОНОВ С ПОМОЩЬЮ СВЕРХЗВУКОВОЙ СТРУИ

*Ю. Я. Борисов, В. М. Мамин*

При калибровке микрофонов, предназначенных для работы на высоких звуковых и низких ультразвуковых частотах, возникают трудности, связанные с отсутствием источников звука, обладающих достаточной мощностью для проведения измерений в дальнем поле излучателя. В особенности это относится к пьезоэлектрическим датчикам, имеющим малую чувствительность. Поэтому обычно приходится довольствоваться калибровкой таких датчиков на нескольких фиксированных частотах, соответствующих резонансам излучателей, на которых удастся получить звуковые давления надлежащего для проведения калибровки уровня.

Однако применение таких тональных источников звука затрудняет процесс калибровки и не позволяет осуществлять его автоматизацию. Эти указанные трудности могут быть устранены при применении шумовых источников достаточной мощности.



Фиг. 1

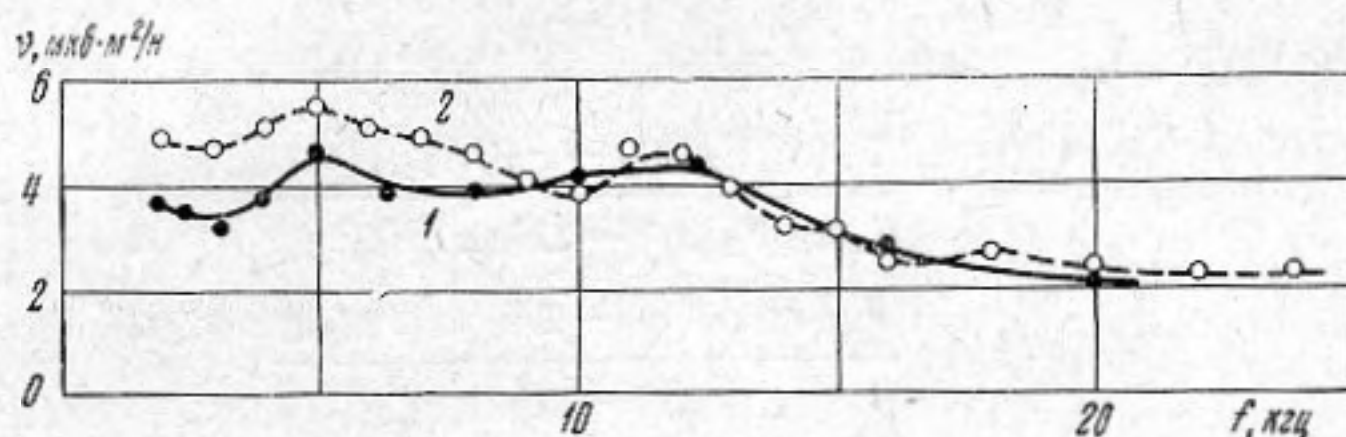
В процессе исследования акустических характеристик сверхзвуковых струй было обнаружено, что сопло Лавалья в расчетном режиме является весьма эффективным источником широкополосного шума [1]. Исходя из полученных данных, нами была предпринята попытка использовать указанную струю для калибровки пьезоэлектрических датчиков.

На фиг. 1 показана спектрограмма шума, создаваемого сверхзвуковым соплом, работающим в расчетном режиме при давлении  $p = 4,8 \text{ атм}$ , на расстоянии  $0,5 \text{ м}$  от сопла. Спектр был получен с помощью анализаторов С-5-2 и С-5-3 с полосой пропускания  $200 \text{ гц}$ . Сопло имело критический диаметр  $d_{кр} = 4,5 \text{ мм}$  и выходной диаметр  $d_{вых} = 5,8 \text{ мм}$ . Диаграмма направленности таких шумовых источников имеет максимум в направлении, составляющем около  $30^\circ$  к оси струи.

Как видно из фиг. 1, шум в диапазоне частот  $4\text{--}40 \text{ кгц}$  имеет весьма равномерный спектр. Неравномерность составляет, как правило, не более чем  $\pm 1,5 \text{ дб}$ , при среднем значении звукового давления около  $104 \text{ дб}$ . Интегральный уровень шума в исследованном диапазоне частот составлял около  $140 \text{ дб}$ .

Калибровка шарового пьезоэлектрического преобразователя диаметром  $10 \text{ мм}$  производилась нами методом сличения. В качестве эталонного использовался конденсаторный микрофон 4135 фирмы Брюль и Къяр (Дания). Сличение осуществля-

лось в условиях свободного поля при расположении микрофонов на расстояниях 0,5 и 1 м под углом  $30^\circ$  к оси струи. Для проверки указанного способа калибровки, шаровой пьезодатчик был вторично откалиброван в звукомерной камере ВНИИМ им. Менделеева. На фиг. 2 приведены характеристики чувствительности этого датчика, полученные при калибровке во ВНИИМе им. Менделеева (кривая 1) и при использовании шумового источника (кривая 2). Вторая кривая получена путем сравнения спектров калибруемого и эталонного микрофонов, располагаемых в заданной точке поля. Как видно из фиг. 2, максимальное расхождение в чувствительности наблюдается в области от 2 до 8 кгц, где имеет место некоторая неравномерность спектра, и составляет около 20% от среднего значения.



Фиг. 2

Если электрически скорректировать спадание спектральной кривой в области низких частот, процесс калибровки легко автоматизировать. Для этого необходимо записать с помощью частотного анализатора и самописца уровень спектра, получаемый с калибруемого датчика; полученная при этом кривая и представляет собой в относительных величинах частотную характеристику чувствительности. Для определения абсолютного значения чувствительности необходимо найти масштабную метку на любой из частот спектра. Это можно осуществить путем записи на ленте самописца уровня звука, принимаемого эталонным микрофоном с известной чувствительностью на частоте, на которой производится запись масштабной метки.

Следует отметить, что при использовавшихся размерах сопел, спектр на частотах выше 45 кгц имел тенденцию к довольно быстрому спаду (на частотах ниже 2 кгц спектр не исследовался). Однако получаемый с помощью сверхзвуковых сопел спектр шума можно изменять (скажем, в область более высоких или низких частот). Для этого необходимо использовать сопла с большим или меньшим диаметрами критического сечения по сравнению с приведенными ранее. При этом следует пропорционально изменить и все остальные линейные размеры сопла. Во избежание отрыва струи от стенок сопла и связанного с этим изменением спектра, угол раствора сверхзвуковой части сопла не должен превышать  $6^\circ$ .

Для удовлетворительного воспроизведения результатов необходимо располагать микрофоны в шумовом поле в пределах  $10^\circ$ , а отклонение давления воздуха, подаваемого в сопло, не должно превышать 0,1–0,2 атм от расчетного.

#### ЛИТЕРАТУРА

В. М. Мамин, А. В. Римский-Корсаков. Сверхзвуковая воздушная струя или источник звука. В сб. «Физика аэродинамических шумов». М., «Наука», 1967.

Акустический институт АН СССР  
Москва

Поступило в редакцию  
15 ноября 1969 г.

УДК 534.26

#### К ВОПРОСУ О РАССЕЙАНИИ ПЛОСКИХ ВОЛН ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПОЛОСТЬЮ В ИЗОТРОПНОЙ УПРУГОЙ СРЕДЕ

В. Е. Глазанов, Е. Л. Шендеров

В работах [1 и 2] рассматривалось рассеяние волн на цилиндрической полости в упругой среде. В настоящей работе анализируются результаты некоторых расчетов рассеянного поля и приводятся приближенные выражения для коэффициентов разложений при малых волновых размерах полостей, с учетом членов, включающих действительную часть коэффициентов.

Пусть на полость падает плоская волна

$$\varphi_0 = e^{-i(\omega t - kly)}. \quad (1)$$