

АКУСТИКА И МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

УДК 534.211.4

МЕТОД КОРРЕКТИРОВКИ АМПЛИТУДНЫХ И ФАЗОВЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПРИ РАБОТЕ МНОГОЭЛЕМЕНТНОГО ИНТЕНСИМЕТРА

О. А. Харин, С. В. Холодова

(кафедра акустики)

Предложен метод калибровки интенсиметра, позволяющий на стадии компьютерной обработки компенсировать амплитудные и фазовые погрешности рассогласования микрофонов. Приведены экспериментальные результаты, свидетельствующие об эффективности метода.

Принципиальная схема приемной системы была предложена в работе [1]. Приемная система состоит из четырех ненаправленных микрофонов, расположенных в вершинах тетраэдра, и позволяет определять все три комплексных компоненты вектора S , действительная часть которого характеризует плотность потока энергии. С помощью измерительного комплекса, включающего в себя приемную систему — многоэлементный интенсиметр, блок стандартной измерительной аппаратуры (цифровой вольтметр, частотометр и т. д.) и ЭВМ, регистрировались энергетические параметры акустических полей и определялись параметры источников (мультипольность источника, расстояние до источника, направление на источник, мощность его излучения).

Следует отметить, что при проведении интенсиметрических измерений к применяемой аппаратуре предъявляются чрезвычайно жесткие требования, поэтому существенное внимание уделяется именно калибровке. При калибровке трактов измерительного комплекса удалось добиться того, что амплитудные и фазовые характеристики каналов стали практически одинаковыми, и сразу выяснилась определяющая роль амплитудных и фазовых погрешностей микрофонов приемного устройства. Это привело к необходимости наиболее точного их согласования. Предварительная калибровка микрофонов (с точностью 5%) была проведена с помощью пистонфона фирмы Брюль и Кьер. Однако, как известно, разность фаз сигналов на микрофонах, которая содержит полезную информацию, может составлять только доли градуса. Следовательно, на амплитудное и фазовое согласование микрофонов необходимо наложить исключительно строгие требования.

В литературе обсуждается указанная проблема. Упомянем здесь два основных подхода, отличающихся от предложенного нами. Чанг [2, 3] предложил методику, основанную на переключении микрофонов в процессе измерений, для корректировки несовпадения фаз. Кришнаппа [4, 5] предложил калибровку каналов и микрофонов перед началом проведения измерений в акустическом интерферометре со стоячей волной.

Для компенсации ошибок, возникающих из-за рассогласования микрофонов, нами была подготовлена ЭВМ-программа для расчета амплитудных и фазовых поправок γ_n , вносимых в каждый микрофон на каждой частоте в рабочем диапазоне частот. Методика основана на том, что при вращении приемной системы — интенсиметра — вокруг одной из координатных осей (центр координат связан с центром сферы, описывающей тетраэдр) компоненты вектора S теоретически являются гармоническими функциями угла поворота φ , и есть возможность реально полученные значения компонент вектора S сравнить с идеальными.

Имея в виду, что в рассматриваемой системе четыре ненаправленных микрофона расположены в вершинах тетраэдра и результаты измерений приводятся к точке, которая находится в центре сферы, описывающей тетраэдр, соотношения между измеряемыми и искомыми величинами можно представить в виде (см. [1])

$$\begin{aligned} \hat{P}_m &= C_{mj} \hat{P}_{0j}, \quad \hat{P}_{0j} = C_{jm}^{-1} \hat{P}_m \\ \hat{P}_{0j}^T &= (P(r_0), \partial_x P(r_0), \partial_y P(r_0), \partial_z P(r_0)), \end{aligned} \tag{1}$$

где P_m — звуковое давление, измеряемое m -м микрофоном; C_{ij} — числовая матрица, задаваемая геометрией системы; \hat{P}_m — столбец, элементы которого — измерения с помощью приемной системы значения давления; индекс «Т» обозначает операцию

транспонирования; операторы ∂_x , ∂_y , ∂_z — соответственно дифференцирование по координатам x , y , z .

Отсюда можно получить соотношения, позволяющие вычислить интересные нас поправки. Величина γ_n является компенсирующей поправкой, вводимой в уравнение (1). Опуская детали расчета, приведем уравнения для вычисления γ_n :

$$C_{nm}^{-1} \langle \widehat{P}_{0m} \rangle = \langle \widehat{P}_n \rangle (1 + \gamma_n). \quad (2)$$

Здесь $\langle \widehat{P}_{0m} \rangle$ — столбец редуцированных значений искомых величин; \widehat{P}_n — столбец измеренных значений давлений; γ_n — ошибки, учитывающие амплитудное и фазовое рассогласование микрофонов; C_{nm}^{-1} — матрица, обратная матрице C_{ij} .

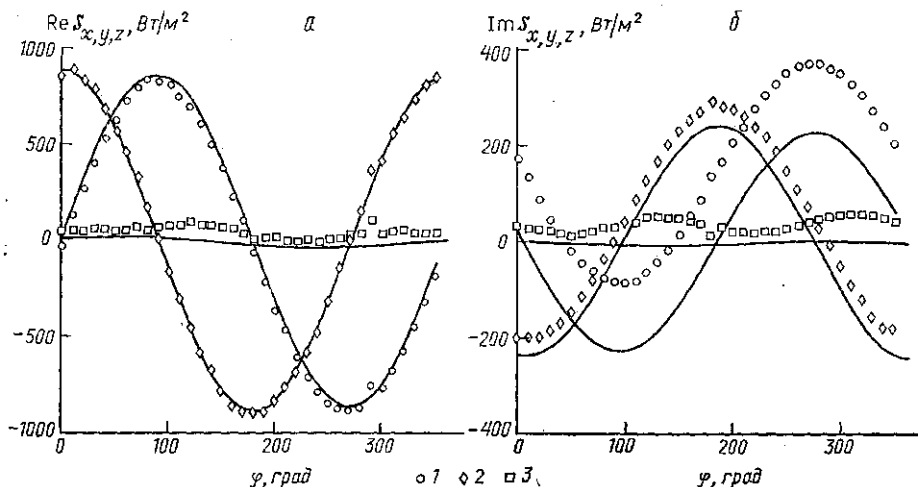


Рис. 1. Поведение реальной (а) и мнимой (б) компонент вектора S , полученных экспериментально при вращении интенсиметра вокруг оси z (1 — x -компонента, 2 — y -компонента, 3 — z -компонента). Сплошные линии — результат ЭВМ-обработки по предложенной программе методом наименьших квадратов с учетом вычисленных по (2) амплитудных и фазовых поправок

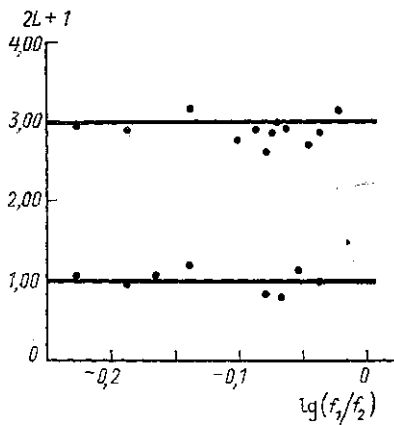


Рис. 2. Результаты определения типа мультипольности источников ($L=0$ — монополь, $L=1$ — диполь)

Зависимости действительной ($\text{Re } S$) и мнимой ($\text{Im } S$) частей компонент вектора S , полученных при вращении интенсиметра вокруг оси z , без учета амплитудных и фазовых поправок и с их учетом представлены на рис. 1.

Параметры источников, определяемые с помощью измерительного комплекса, сравнивались с заданными. Для примера на рис. 2 приведены результаты определения

типа мультипольности источников. Отметим здесь, что экспериментальное определение типа мультипольности источника не является простой задачей. В то же время надежное определение типа источника позволяет сделать вывод о физическом механизме шумообразования. Например, механизмы шумообразования холодной и горячей реактивными струями различны [6].

Предложенный метод компенсирования амплитудных и фазовых погрешностей является весьма надежным и дает возможность существенно увеличить точность определения параметров источника. Это позволяет сделать вывод о благоприятных перспективах использования данного метода калибровки измерительной системы.

В заключение отметим, что применение энергетического подхода, называемого также методом акустической интенсивности, при исследовании процессов генерации, распространения и поглощения звука и при решении практических задач, связанных с диагностикой природных источников шума и объектов техники, представляет собой весьма перспективное направление аэро- и гидроакустики (см., напр., [7—9]).

Авторы благодарны В. И. Павлову и А. Н. Иванникову за постоянное внимание к работе и плодотворные дискуссии.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Жуков А. Н., Иванников А. Н., Павлов В. И. // Акуст. журн. 1990. 36, № 3. С. 447. [2] Chung J. Y., Pore J. // Proc. INTER-NOISE 78, San Francisco, 8—10 May 1978. P. 893. [3] Chang J. Y. // J. Acoust. Soc. Am. 1978. 64, N 6. P. 1613. [4] Krishnappa G. // J. Acoust. Soc. Am. 1979. 66, N 1. P. 39. [5] Krishnappa G. // Ibid. 1981. 69, N 1. P. 307. [6] Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Гидродинамика. М., 1988. [7] Proc. 1 Intern. Congr. on Acoustic Intensity. CETIM. Senlis (France), 1981. [8] Proc. 2 Intern. Congr. on Acoustic Intensity. CETIM. Senlis (France), 1985. [9] Rasmussen G. // Proc. 13 Intern. Congr. on Acoust. Belgrade, 1989. V. 5. P. 3.

Поступила в редакцию
20.02.91