

## НИЗКОЧАСТОТНЫЙ АКУСТИЧЕСКИЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР

Ю. Е. ШАМАРИН, Л. Г. ГУЛЕГА, А. Г. ЛЕЙКО, Н. С. ЛЕЙКО, А. Ю. ШАМАРИН

*Киевский Государственный научно-исследовательский институт гидроприборов*

*г. Киев, ул. Сурикова, 3*

В последние годы в технической акустике большое внимание уделяется проблеме низкочастотного гашения звука, в том числе и пассивными методами. При создании структур материалов, способных эффективно гасить звук путем его поглощения, особый интерес вызывают экспериментальные методы их обработки. Это обусловлено как теоретической сложностью решаемых задач, так и широким разнообразием эксплуатационных условий, применительно к которым разрабатываются гасящие звук конструкции. Одним из инструментов, обеспечивающих возможность измерения акустических параметров образцов конструкций и материалов, является акустический интерферометр. Целью доклада является представление результатов разработки современного низкочастотного акустического интерферометра, обеспечивающего измерения амплитуды и фазы коэффициента отражения звука от образцов с точностью соответственно  $\pm (1 \div 2)$  дБ и  $1,5 \div 3^\circ$  в диапазоне частот от 200 до 4000 Гц при изменении условий измерений по температуре от 3 до  $50^\circ\text{C}$  и по гидростатическому давлению от 0,1 до 10,0 Мпа.

Как известно, в основе методов измерения коэффициента отражения звука в акустических измерительных трубах лежит теория распространения и отражения плоских звуковых волн, нормально падающих на плоскую границу раздела сред.

Анализ существующих классических методов измерений акустических параметров образцов материалов в гидроакустических трубах, таких, например, как импульсный эхо-метод и метод стоячих волн показал, что в случае создания интерферометра с рабочими частотами от 200 Гц такие методы являются неприемлемыми, поскольку для измерения с их использованием на таких частотах требуются измерительные длины более 20 м.

Одним из сравнительно новых методов, позволяющих измерить коэффициент отражения при существенно меньшей длине измерительной трубы, является метод измерения с использованием однонаправленной системы приема или 2-х гидрофонов.

Физическая суть этого метода простая. Поскольку коэффициент отражения оценивается как отношение давлений в отраженной и падающей волне, необходимо измерить эти давления, причем эти измерения осуществляются в поле стоячей волны. Этого можно достичь путем формирования с помощью двух гидрофонов и специального фазовращающего устройства кардиоидной диаграммы направленности. Если ее максимальное значение строго ориентировано на источник звука, а тыльное - на измеряемый образец, оцениваем уровень и фазу давления в прямой волне. Если кардиоидная диаграмма направленности ориентирована в противоположную сторону, оценивается давление в отраженной от образца волне.

Окончательное выражение для определения амплитуды и фазы коэффициента отражения звука имеет вид:

$$R = \frac{p(x_2) - p(x_1)e^{ikl}}{p(x_1) - p(x_2)e^{ikl}} e^{-ik[l+2(L_1-x_1)]},$$

где  $p(x_1)$ ,  $p(x_2)$ ,  $l$  и  $L_1$  соответственно, давления в точках расположения гидрофонов и расстояния между гидрофонами ( $l$ ) и между источником звука и измеряемым образцом ( $L_1$ ).

Поскольку приемные устройства, формирующие кардиоидные диаграммы направленности, относятся к умеренно сверхнаправленным антеннам, принципиальными условиями возможности практической реализации метода однонаправленного приема являются: высокая идентичность гидрофонов по амплитуде и фазе чувствительности; точное знание скорости распространения звука в воде; точное введение необходимой фазовой задержки; точное знание расстояний между источником и гидрофонами и между гидрофонами и измеряемым образцом. Именно реализация этих условий является компромиссной ценой за уменьшение измерительной длины гидроакустической трубы.

Низкочастотный гидроакустический интерферометр, реализующий метод однонаправленного приема и имеющий структурную схему построения, приведенную на рис.1, является автоматической измерительной информационной системой, обеспечивающей автоматическое получение количественной информации непосредственно от испытуемых образцов материалов в виде численных значений амплитуды и фазы коэффициента отражения звука и акустических параметров образцов, рассчитанных по коэффициенту отражения.

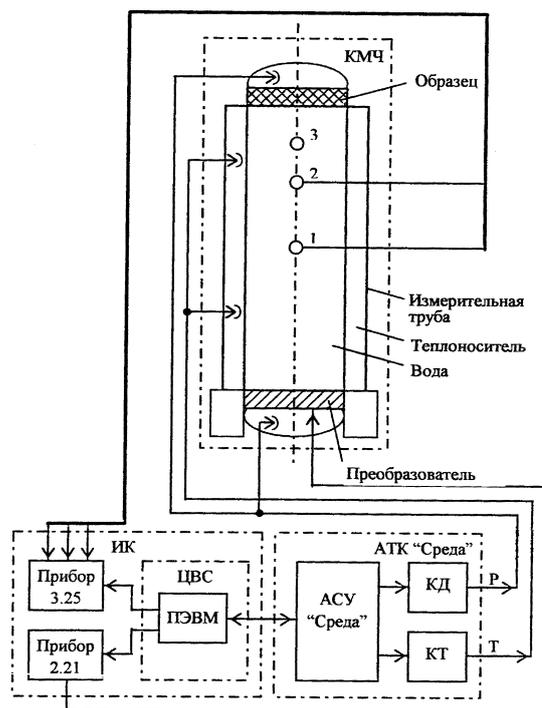


Рис. 1. Структурная схема построения низкочастотного интерферометра.

В состав интерферометра входят три функционально связанные подсистемы:  
 - корпусно-механическая часть (КМЧ);

- автоматизированный технологический комплекс термостатирования и поддержания избыточного давления в водной среде интерферометра (АТК «Среда»);  
- измерительный комплекс (ИК), осуществляющий автоматическое измерение коэффициента отражения звука и управление режимами работы интерферометра.

КМЧ представляет собой вертикально подвешенную с точностью  $\pm 1^{\circ}$  толстостенную металлическую трубу длиной 4150 мм с внешним и внутренним диаметрами 420 мм и 208 мм. Труба имеет верхний и нижний затворы, рубашку термостатирования и кожух термоизоляции, опорные фланцы и механизм управления затворами. Герметичность и термоизоляция внутренней полости трубы обеспечиваются при рабочих давлениях от 0 до 10 МПа и рабочих температурах от 3 до 50  $^{\circ}\text{C}$ . Труба имеет герметичные вводы-выводы для теплоносителя, циркулирующего внутри рубашки трубы под избыточным давлением 0,3 МПа и обеспечивающего температурный режим, и вводы-выводы для газа, создающего давление во внутренней полости трубы. В нижней части трубы устанавливается стержневой преобразователь-излучатель. В верхней части трубы располагаются испытуемый образец материала и три измерительных гидрофона с герметичными выводами для электрической связи с электронной аппаратурой.

АТК «Среда» состоит из комплекса термостатирования (КТ), комплекса обеспечения давления (КД) и автоматизированной системы управления (АСУ).

Комплекс термостатирования обеспечивает нагрев и охлаждение жидкого теплоносителя и его циркуляцию через рубашку акустической трубы. Точность поддержания заданной температуры внутри трубы в течение не менее 4 часов составляет  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  при времени установления очередной технологической точки с шагом  $\pm 5^{\circ}\text{C}$  не более 60 мин.

Комплекс обеспечения давления обеспечивает нагнетание и стравливание газа из верхней и нижней воздушных полостей трубы для установления и поддержания избыточного давления в водной среде трубы. Точность поддержания заданного давления в течение не менее чем 1 час составляет 0,05 МПа при времени установления очередной технологической точки с шагом  $\pm 1$  МПа не более 3 мин.

АСУ «Среда» осуществляет автоматизированное установление и поддержание значений технологических параметров (температуры и давления) водной среды акустической трубы в соответствии с заданной программой цикла акустических измерений, контроль текущих значений параметров водной среды и оборудования самого АТК. Структура АСУ содержит два иерархических уровня. Нижний уровень обеспечивает установление и поддержание параметров заданной технологической точки, верхний уровень – реализацию программы полного цикла измерений.

Измерительный комплекс состоит из акустической подсистемы, аналоговой аппаратуры и центральной вычислительной системы (ЦВС) обработки информации управления и отображения со специально разработанным алгоритмическим базисом.

Акустическую подсистему образуют стержневой преобразователь-излучатель и три преобразователя-приемника.

Аналоговая аппаратура включает устройство возбуждения излучателя (прибор 2.21) и устройство предварительной аналоговой обработки (прибор 3.25).

ЦВС имеет в своем составе управляющую ЭВМ и контроллер аналоговой аппаратуры. Алгоритмический базис обеспечивает работу измерительного комплекса под управлением ЦВС в режимах измерения коэффициента отражения звука от образцов и контроля состояния аппаратуры низкочастотного интерферометра.

Достижение высоких точностных характеристик измерения амплитуды и фазы коэффициента отражения звука с учетом особенностей построения интерферометра

осуществляется тем, что на любой частоте измерения отклонения амплитуд и фаз выходных сигналов всех каналов приемного тракта интерферометра не превышают по амплитуде – 1 %, по фазе -  $\pm 0,5^\circ$ . Обеспечивается такая высокая точность путем цифровой амплитудно-фазовой коррекции сигналов в режиме подготовки к измерениям благодаря введению в технологию работ с интерферометром в качестве обязательной процедуры настройку интерферометра по известному коэффициенту отражения звука на границе раздела сред «вода-воздух» при любых заданных температуре и давлении.

Сам процесс измерения коэффициента отражения звука от любого образца на одной частоте осуществляется автоматически в течение 15 секунд с усреднением при этом результатов по 4 реализациям.

В заключение отметим, что даже создатели столь уникального измерительного устройства, запустив его в эксплуатацию, были удивлены трудно осязаемой безграничностью его практических возможностей