

УДК 534.2:62:61

Акустика в технике и медицине: методы и аппаратура. (Обзор). Ранаховски Е., Реймунд Ф.//Научное приборостроение. Формирование заряженных частиц. Л.: Наука, 1990.- С. 69-80.

Представлен обзор тематики исследований в области физической акустики, проводимых в ПНР, даны соответствующие методика и аппаратура, разработанные в стране. Лит. - 29 назв., ил. - 7.

Е.Ранаховски, Ф.Реймунд (Институт основных проблем техники Польской АН)

АКУСТИКА В ТЕХНИКЕ И МЕДИЦИНЕ: МЕТОДЫ И АППАРАТУРА. (ОБЗОР)

Одной из областей физики, широко развиваемой в Польше, является акустика.

Современная акустика охватывает кроме явлений в слышимом диапазоне проблемы, связанные с инфра-, ультра- и гиперзвуком. Это дает большие возможности получения информации о структуре материалов, биологических тканей, свойствах конструкционных материалов, горных пород. Методы исследования микро- и макроструктуры используют явление акустической эмиссии (АЭ), определение состояния внутренних напряжений, внутреннего трения, явления, связанные с распространением трещин в материалах и разрушения конструкций, а также деформации и передвижения горных пород. Ультразвуковые и акустические методы медицинской диагностики позволяют визуализировать внутренние органы живых организмов, потоки крови, а также используются для диагностики и лечения органов голоса и дефектов речи. Проводятся работы над диагностикой машин и технологических процессов, а также над методами борьбы с шумом. В диапазоне слышимых частот развивается кибернетическая акустика, акустика речи, психо- и физиоакустика, а также основы музыкальной акустики. В статье представлен обзор основных работ, проводимых в Польше в области измерений акустических сигналов и использования их информационного содержания в науке и технике.

Некоторые направления использования акустических сигналов

Исследования ультразвуковыми методами в общем случае сложны, так как касаются сложных структур пространственных сред, а также различных типов применяемых ультразвуковых волн. Для определения зависимости между параметрами акустического поля и свойствами материала необходимо овладеть взаимодополняющими акустическими и физико-химическими методами. Обуславливающим фактором исследуемого явления является отношение длины распространяющейся в среде волны с величиной исследуемых неоднородностей. Однако, когда используется длина волны порядка межатомного расстояния, методы классической акустики становятся непригодными и следует рассматривать явление с точки зрения квантовой теории. В исследованиях использовались три вида измерений: измерение скорости распространения волн, измерение поглощения и измерение АЭ.

Теоретические основы акустических исследований неоднородных сред представлены в пятидесятых годах проф.И.Малецки [1]. Он рассматривал двухфазовую среду, в которой одна из фаз представляет собой сферические включения, размещенные регулярно в основной среде. Такой подход оказался плодотворным и был подтвержден исследованиями в реальных материалах, например, в керамике [2], спеченных металлических порошках [3-5], в сталях с различной текстурой [6]. Измерения зависимости скорости распространения продольных волн от пористости фарфора подтвердили хорошую согласованность с теоретическими расчетами. Полученные результаты позво-

лили найти связь между постоянными упругости неоднородных сред и скоростью распространения ультразвуковых волн. Также было исследовано влияние формы включений, что позволило увеличить точность измерений этих зависимостей.

Скорость ультразвуковых волн в среде зависит от ее упругих свойств и плотности. Эта зависимость используется для определения постоянных упругости, а также внутренних и внешних напряжений среды. Для этого необходимо измерить скорость распространения ультразвуковых волн с точностью, не меньшей чем 10^{-4} м/с. Большинство доступных методов и приборов, обеспечивающих такую точность, основано на измерении времени прохождения ультразвуковых импульсов через определенное расстояние. Этот принцип использован в разработанном в Институте основных проблем техники (ИОПТ) [7] наносекундном измерителе времени и ультразвуковом измерителе напряжений. Влияние напряжения на скорость распространения волн изменяется с изменением направления их распространения относительно направления напряжений, а также с изменением ориентации плоскости поляризации волн. Зависимость между скоростью распространения и напряжением определяется на основе нелинейной теории упругости. Например, скорость поперечных волн, поляризованных в плоскости, перпендикулярной направлению напряжения, определяется по формуле

$$V^2 = (V_0)^2 - \frac{\sigma}{3\kappa_c \rho_0} \left[2\lambda - m + \frac{n}{2} + \frac{n}{\mu} \right],$$

где V_0 – скорость волн в естественном состоянии ($\sigma = 0$); ρ_0 – удельная масса в естественном состоянии; λ, μ – постоянные упругости Ляме; κ_c – модуль объемной упругости; σ – напряжение; m, n – постоянные упругости третьего порядка.

Для ряда материалов эксперименты показывают слабую нелинейность зависимости скорости от напряжения, и в измерительной практике для одноосевого состояния напряжений применяется определенная для данного материала зависимость

$$\frac{V_\sigma - V_0}{V_0} = \frac{t_0 - t_\sigma}{t_\sigma} = \beta \sigma,$$

где V_0 , t_0 – скорость и время прохождения в естественном состоянии; V_σ , t_σ – скорость и время прохождения в напряженном материале; β – эластоакустическая постоянная материала для данного направления распространения и поляризации волн относительно направления напряжений.

Изменения скорости под влиянием напряжений малы, например, для низкоуглеродистой стали прирост напряжения растяжения 10 МПа приводит к уменьшению скорости продольных волн, распространяющихся в направлении напряжения, приблизительно на 0,75 м/с, а поперечных, распространяющихся в том же направлении, только на 0,03 м/с.

Иной принцип лежит в основе способа измерения фазовой скорости в ультразвуковом рефрактометре. В процессе этих измерений определяется угловое распределение коэффициента отражения ультразвуковых волн на границе жидкость – исследуемое твердое тело. Опираясь на это распределение, можно определить фазовую скорость продольных, поперечных и поверхностных волн, а в случае среды, толщина которой сравнима с длиной волны, – скорость пластиночных волн. Измеряемыми величинами являются критические углы при экстремальных величинах коэффициента отражения. Величины критических углов позволяют определить скорости отдельных видов волн на основе закона отражения. Измерениям подвергается небольшой отрезок плоской поверхности исследуемого предмета диаметром, соответствующим диаметру падающего пучка, и толщиной, равной длине волны. Поэтому эти измерения являются квазиточечными,

пригодными, в особенности, для оценки локальных свойств верхнего слоя исследуемых материалов. При этом достигаемая точность измерения скорости распространения составляет приблизительно 10^{-5} м/с, что дает возможность расчета величины постоянных упругости второго порядка.

Ценную информацию о структуре среды дают спектроскопические акустические методы. Спектроскопия занимается исследованием воздействия на среду различного рода полей (электромагнитных, электрических и акустических) в функции частоты изменения поля.

В ИОПТ на протяжении нескольких лет развивается акустическая, гиперзвуковая и фотоакустическая спектроскопия, использующая поверхностные ультразвуковые волны и явление внутреннего трения.

В акустической и гиперзвуковой спектроскопии используются частоты от нескольких герц до сотен гигагерц. Источниками, генерирующими такие колебания, служат сверхпроводниковые туннельные переходы, термические генераторы или микроволновые полости [8-10]. Особенно пригоден в гиперзвуковой спектроскопии метод туннельных переходов. Эти переходы используются как для генерирования, так и для детекции гиперзвуковых колебаний. Используя эти переходы, можно получить спектры абсорбции в широкой полосе частот. Этот метод был применен для исследования некоторых кристаллов Al_2O_3 и $NbLiO_3$. Исследуемые кристаллы имели введенные искусственным образом примеси Cr^{+3} и V^{+2} . В чистых кристаллах измерялись динамические постоянные упругости, а также их температурные зависимости. Для кристаллов с примесями определена энергетическая структура введенных ионов в зависимости от места размещения примесей. Дополнением методов генерации гиперзвуковых колебаний для более низких частот является метод возбуждения колебаний в пьезоэлектрическом материале в микроволновом колодце. Такая аппаратура изготовлена в ИОПТ, рабочий диапазон частот составляет от 1 до 10 ГГц [11]. С помощью этой аппаратуры выполнены измерения температурной зависимости поглощения в кристаллах ниобата лития и висмута-германиевой окиси в диапазоне от 4,2 до 200 К (рис.1, 2). Метод

Рис.1. Распределение поглощения продольных акустических волн в ниобате лития $NbLiO_3$ для направления [001] на частоте 10 ГГц

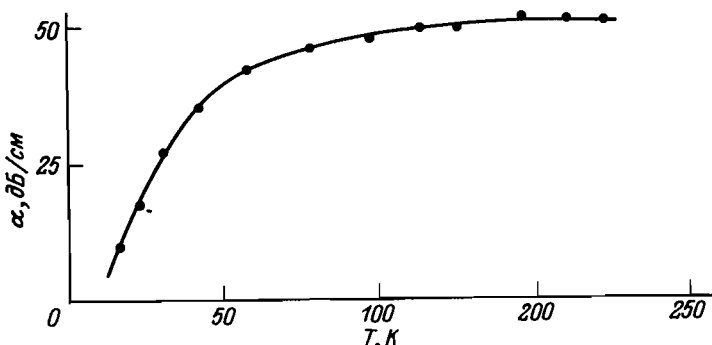
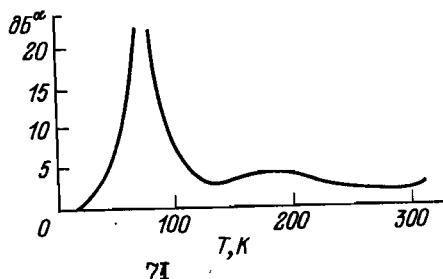


Рис.2. Распределение поглощения поперечных акустических волн в висмута-германиевой окиси $Bi_{12}GeO_{20}$ для направления [110] на частоте 10 ГГц



термических импульсов основан на возбуждении фононов в тонких металлических слоях короткими импульсами тока. С помощью изготовленной в ИОПТ аппаратуры произведены измерения трансмиссии фооновых импульсов через границу двух твердых тел. Отсюда определялась мгновенная температура возбужденных металлических слоев в зависимости от материала подложки.

Новым методом исследования жидкости и полимеров является метод фотоакустической спектроскопии. Он заключается в анализе акустической волны, генерируемой образцом исследуемого материала, помещенным в замкнутой измерительной камере, освещаемым импульсным монохроматическим светом. Интенсивность акустического сигнала пропорциональна количеству света, поглощенного образцом. В качестве приемного преобразователя используется специальный измерительный микрофон. Метод фотоакустической спектроскопии позволяет получить спектры абсорбции, схожие с оптическими, для веществ произвольного агрегатного состояния и вида, таких как порошки, желе, коллоиды и т.п. Особым достоинством этого метода является возможность регистрации спектров абсорбции веществ, имеющих очень большой коэффициент светопоглощения. В ИОПТ разработан прототип аппаратуры для регистрации фотоакустических сигналов, а также различные варианты конструкции фотоакустических камер для исследования жидкости [12] .

Для исследования свойств полимеров разработан метод, позволяющий исследовать образцы в виде тонких слоев порядка нескольких микрон. Во многих случаях этот метод является единственным для акустических исследований, когда нет возможности выполнения образца, размеры которого позволили бы измерить параметры распространения объемной волны. Метод заключается в измерении скорости распространения и поглощении поверхностной волны в системе кварц - исследуемый полимер. Для возбуждения поверхностной волны применены встречно-штыревые преобразователи, нанесенные на поверхность кварца при помощи литографической техники. Исследуемая система состоит из двух сред с различными характеристиками упругости. По мере увеличения частоты волны или толщины слоя скорость поверхностной волны изменяется начиная от скорости в материале подложки, стремясь к скорости в исследуемом полимерном материале. Этот метод применяется для исследования свойств органических полупроводников [13] .

Другим методом исследования твердых тел является измерение внутреннего трения. Он позволяет оценить с большой точностью концентрацию и подвижность точечных дефектов кристаллической решетки, примесей и дислокационных структур. Его основой является измерение отношения частоты резонансных колебаний двух очередных мод и скорости затухания свободных колебаний образца [14] . На рис.3 представлена схема стенда для измерения внутреннего трения и постоянных упругости, в зависимости от температуры: 1 - двигатель, 2 - источник постоянного напряжения, 3 - система управления двигателем, 4 - регулятор температуры, 5 - генератор ВЧ, 6 - усилитель высокого напряжения, 7 - цифровой вольтметр, 8 - дешифратор ВС, 9 - микрокомпьютер "Нептун", 10 - приемник, 11 - возбуждающий генератор, 12 - цифровой частотомер, 13 - дешифратор ВС, 14 - осциллоскоп, 15 - пиковый детектор, 16 - аналого-цифровой преобразователь и мультиплекс, 17 - регистратор X-Y, 18 - цифроаналоговый преобразователь, 19 - станция флоппи-дисков, 20 - монитор и клавиатура, 21 - печатающее устройство; а - образец; б - точечные подпоры; с - термопара; д - печь.

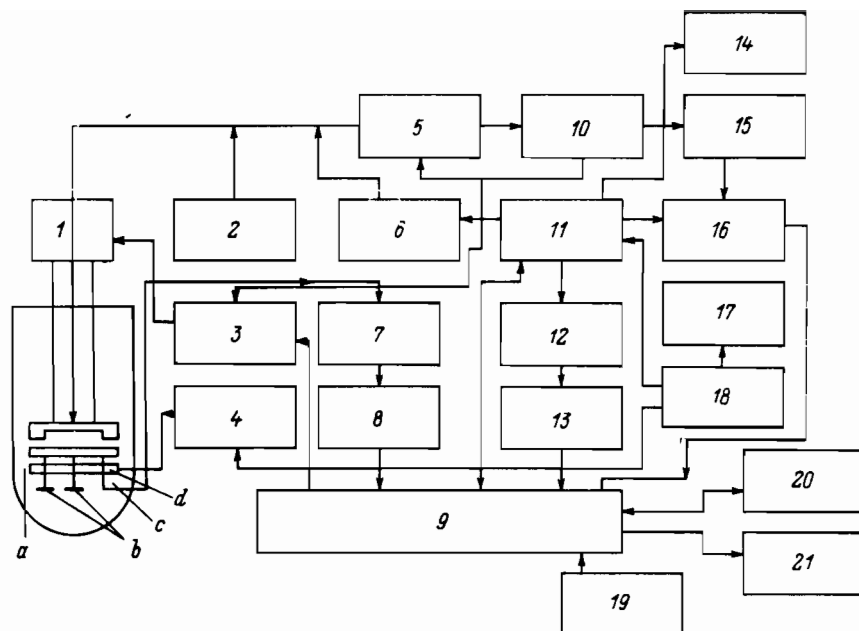


Рис.3. Блок-схема стенда для измерения внутреннего трения и постоянных упругости

В сороковых годах нашего столетия стало известно, что акустические эффекты сопутствуют большинству физико-химических явлений. Возникающие акустические эффекты получили название акустической эмиссии.

Впервые АЭ стала применяться в исследованиях прочности керамических материалов и оценке времени их работы до разрушения [15-17].

Процесс медленного роста микротрещин является причиной уменьшения механической прочности материала во времени. Скорость роста микротрещин для большинства керамических материалов можно определить зависимостью

$$V = AK_1^n, \quad (1)$$

где A , n - постоянные; K_1 - коэффициент интенсивности напряжения у вершины щели (микротрещины) при растяжении.

$$V = \frac{da}{dt},$$

где a - длина микротрещины.

Процесс роста поликристаллических трещин имеет скачкообразный характер и может активизироваться как химически, так и механически, с помощью напряжений. Процессы роста длины трещин сопровождаются освобождением упругой энергии, то есть АЭ. Ее интенсивность выражается зависимостью, аналогичной (1):

$$\frac{dN}{dt} = BK_1^{n'}, \quad (2)$$

где N - количество сигналов АЭ; B , n' - постоянные.

Функциональная схожесть зависимостей (1) и (2) свидетельствует о том, что ис-

точниками явления акустической эмиссии в хрупких материалах являются процессы роста микротрещин, например, связанные с очередными переходами трещин через зерна, границы или различные фазы в среде. Для оценки механической прочности пластмасс во времени особенно полезным оказался метод АЭ, позволяющий проследить процесс увеличения длины щели, а также получать основную зависимость (I) между скоростью роста длины щели V и коэффициентом интенсивности напряжений K . Зависимость (I) показывает изменения K , в функции скорости распространения микротрещины в подкритической зоне. Медленный рост микротрещины ведет к достижению критической длины. Время, необходимое для достижения микротрещиной критической длины, определяется как время "жизни материала".

В процессе исследования металлов явление АЭ используется для оценки стойкости к тресканию рельсовой стали, а также инициирования и распространения усталостных трещин. Исследования показали, что метод АЭ позволяет значительно раньше обнаружить начало усталостной трещины по сравнению с применяемыми до сих пор оптическими методами. Что касается стойкости к тресканию, установлено, что метод АЭ обнаруживает раннюю стадию развития критической трещины. Это наблюдается в виде перелома кривой зависимости плотности АЭ от коэффициента трескания [18]. Измерение параметров АЭ используется также при исследовании явления статической усталости вяжущих материалов на базе цемента. Исследования позволяют оценить уменьшение механической прочности бетона во времени. Используя метод АЭ, можно определить границы между отдельными стадиями процесса разрушения бетона, находящегося под сжимающей нагрузкой. Эти границы принято называть характеристическими критическими напряжениями σ_c и σ_n . Они отождествляются соответственно с так называемой усталостной и долговременной прочностью бетона в процессе осевого сжатия. После перехода в процессе нагрузки через критическое напряжение σ_n наступает нарушение структуры, неизбежно ведущее к разрушению материала.

Метод АЭ также применяется для оценки эффекта Кайсера в бетонах. Установлено появление эффекта Кайсера в случае одноосевого сжатия бетона при одновременной регистрации количества сигналов АЭ. Для исследования бетонных элементов использовано явление АЭ, симулированное извне. Противоположно классическим методам, в которых исследуемые образцы нагружаются или деформируются чаще всего в прочностных машинах и гидравлических прессах, вызывая процесс разрушения и связанный с ним процесс генерирования сигналов АЭ, в методе симулированной АЭ материалы не подвергаются ни нагрузке, ни деформации. Схема системы для исследования бетонных элементов методом симулированной АЭ представлена на рис.4: 1 – генератор

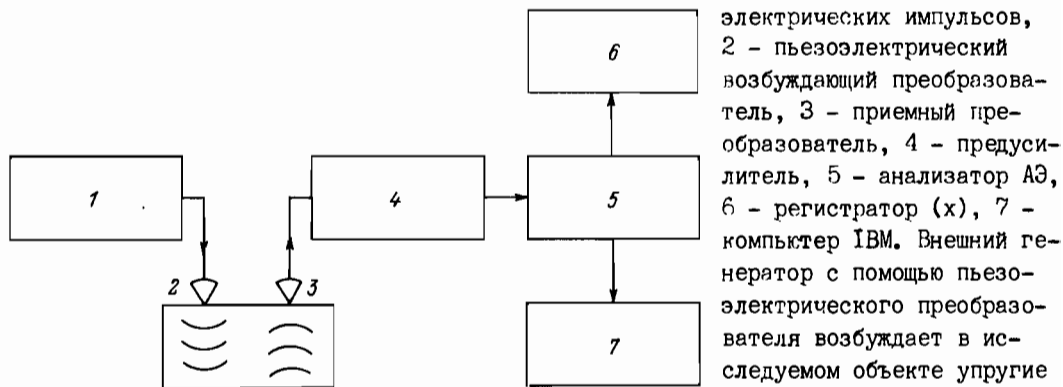


Рис.4. Схема системы исследования бетонных элементов методом АЭ

расстоянии от места введения упругая волна принимается типичным устройством для регистрации АЭ.

Основными источниками сигналов АЭ в физико-химических процессах являются фазовые переходы (выделение осадка, кристаллизация, растворение), выделение газа и теплоты реакции [19–25]. Измерения сигналов АЭ в жидкости более трудны по сравнению с твердыми телами. Энергия сигналов АЭ незначительно превышает уровень шумов измерительного устройства, кроме того эти сигналы сопровождаются дополнительными помехами, такими как колебания жидкости, выделение газа из раствора, шумы, вводимые при помешивании жидкости. Отсюда исследование жидкости методом АЭ требует использования более сложной измерительной аппаратуры и систем обработки сигналов. Разнообразный характер сигналов АЭ, возникающих в процессе химических реакций, требует измерения различных параметров АЭ. К наиболее часто регистрируемым параметрам АЭ в химических реакциях относятся плотность счислений амплитуд, плотность событий и эффективное напряжение сигнала АЭ.

Полученные экспериментальные результаты можно рассматривать в основном как качественную идентификацию физических эффектов, вызывающих освобождение упругой энергии в виде сигналов АЭ. Было исследовано около пятидесяти различных химических реакций. Среди них акустическую активность проявляют экзотермические и гетерогенные реакции, причем наиболее сильную активность проявляют реакции с выделением газа. Реакция концентрированной серной кислоты с водой или раствором гидрата окиси натрия характеризуется сильной АЭ в виде очень острых импульсов. Температура раствора резко возрастает во время добавления кислоты, однако зависимость между энергией сигнала АЭ и количеством выделенного тепла не наблюдается. Тем временем плотность счислений сигналов АЭ и их длительность зависят от концентрации добавляемой серной кислоты.

В семидесятых годах были открыты реакции, в которых система не стремится к стабильному равновесию, а циклически повторяет динамические стадии процесса (реакции Белоусова-Жаботинского). Эти реакции особенно податливы для исследования методом АЭ, который позволяет различать две стадии: местное нарушение теплового равновесия и выделение газа.

В исследованиях, проведенных в ИОПТ, регистрировалась плотность событий АЭ во время реакции Белоусова-Жаботинского, катализированной церием, а также во время реакции йодата с перекисью водорода, катализированной ионами марганца "йодные часы" (реакция Бригса-Рожера). Измерения производились с помощью устройства, схема которого представлена на рис.5: 1 – измерительный сосуд, 2 – пьезоэлектрический приемный преобразователь, 3 – измеритель температуры, 4 – цифровой вольтметр, 5 – предусилитель, 6 – анализатор АЭ, 7 – интерфейс, 8 – компьютер, 9 – печатное устройство.

Явление АЭ использовано при исследовании неполных разрядов в твердых, жидких и газовых диэлектриках. АЭ возникает вследствие превращения энергии электрического поля в энергию упругой деформации в виде микровзрывов, высту-

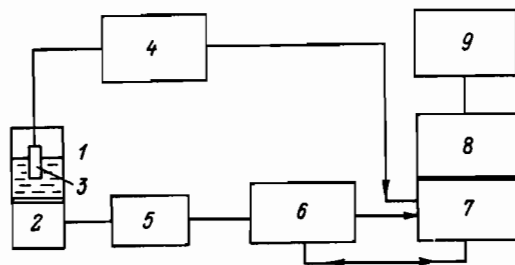


Рис.5. Блок-схема измерительной системы для регистрации АЭ в процессе химических реакций

пающих в газовых щелях твердых диэлектриков, в газовых пузырьках жидкостей или в виде местных разрядов в газах. Метод измерения АЭ нашел применение в процессе обнаружения неполных разрядов в высоковольтных трансформаторах, выключателях с газовой изоляцией, высоковольтных переключателях и др. [26].

Основным направлением использования АЭ в исследовании горных пород является обнаружение и постоянная регистрация изменений состояния напряжений горных пород. Установлено, что наиболее интенсивная АЭ появляется в момент релаксации напряжений и перемещений горной породы. Это может быть использовано для раннего обнаружения критических участков перед обвалами в шахтах. Работы находятся в начальной стадии и для практического их использования необходимы дальнейшие комплексные исследования, касающиеся следующих проблем: селектировки сигналов АЭ из эксплуатационных шумов шахты, локализации и определения протяженности источников АЭ, определении параметров сигнала АЭ, соответствующих возникновению напряжений и перемещений горной породы. Последняя проблема самая трудная и требует длительных исследований на местности. Параллельно проводятся лабораторные исследования поведения образцов горной породы и минерального сырья под влиянием гидростатического и осевого давлений, симулирующих естественные условия [27]. Исследования охватывают анализ параметров АЭ (плотность амплитуд, сумма амплитуд, плотность и сумма событий), а также регистрацию и анализ отдельных событий.

Для получения информации об эксплуатационном состоянии разного рода машин и механизмов проводится анализ шума и колебаний, происходящих в них. Этот метод называется виброакустической диагностикой (ВАД). ВАД находит все более широкое применение, однако требует усовершенствований для увеличения количества информации и точности. Исследовательские работы проводятся в ряде институтов, например, в ИОИТ Горно-металлургической академии в Кракове при сотрудничестве с многими промышленными предприятиями. Задачей ВАД является установление связи между виброакустическим сигналом и параметрами машины, а также между повреждениями или отклонениями в работе машины и изменениями виброакустического сигнала. Основными типами диагноза являются решение о включении или выключении объекта из эксплуатации, общая оценка состояния объекта и прогнозирование времени его эксплуатации. Большое значение в процессе диагностических исследований имеет возможность одновременного наблюдения и измерения изменений уровней виброакустических сигналов, вызываемых определенными изменениями эксплуатационных условий или технико-конструкционных параметров исследуемого устройства [28].

А к у с т и ч е с к а я а п п а р а т у р а

Акустическую аппаратуру можно разделить на следующие группы:

- а) аппаратура для измерения параметров акустического поля, созданного в исследуемой среде,
- б) аппаратура, создающая сильные акустические поля,
- в) аппаратура, принимающая акустические сигналы, информирующие о состоянии среды; системы или машины.

К группе а) следует отнести устройства для измерения скорости и поглощения акустических волн в твердых телах и жидкостях. Аппаратура этой группы является важным инструментом для исследования особенностей микроструктуры, физических и механических свойств конструкционных материалов и биологических тканей. Эта ап-

паратура сконструирована в ИОПТ в пятидесятых годах, а в настоящее время ее усовершенствованные варианты изготавливаются польскими производителями: УНИПАН, ИНКО, ТЕХПАН.

Для исследований в гигагерцевом диапазоне в ИОПТ разработан гиперзвуковой спектрометр (10 ГГц), для измерения скорости и поглощения в диапазоне температур от 4,2 до 300 К. Аппаратура состоит из передающей части, основанной на модифицированном радиолокационном передатчике, криогенной части, в состав которой входит криостат и микроволновой резонатор с исследуемым образцом, приемного устройства и регулировочной части. Блок-схема системы представлена на рис.6: 1 - микроволновой передатчик, 2, 7, 9, 17 - изоляторы, 3, 6, 15 - ослабители, 4, 16 - разветвители типа "Т"; 5, 18 - волноводные короткозамыкатели, 8 - клистрон, 10 - циркулятор, 11 - резонатор, 12 - криостат, 13 - детектор, 14 - усилитель, 19 - ограничитель амплитуды, 20 - приемник, 21 - регистратор, 22 - осциллограф. Система может применяться для измерения диэлектрических кристаллов и определения примесей в твердых телах. Для определения напряжения с точностью до 10 МПа необходимо измерить абсолютную величину скорости волн с точностью до десятой доли метра в секунду. Эти требования удовлетворяются в ультразвуковом измерителе напряжений "Дебро-20". С его помощью в исследуемом объекте измеряется время прохождения двух типов ультразвуковых волн, распространяющихся в направлении напряжения. Предусмотрена автоматическая компенсация влияния температуры, пористости поверхности объекта и местных изменений упругих свойств исследуемого материала.

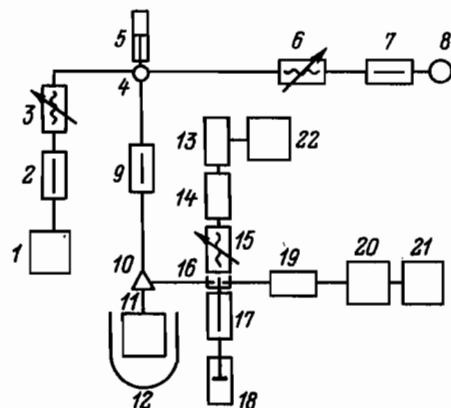


Рис.6. Схема устройства для измерения скорости и поглощения гиперзвука в диапазоне 10 ГГц

Ультразвуковой рефрактометр находит применение в тех случаях, когда необходима быстрая и неразрушающая оценка локальных свойств поверхностного слоя исследуемого предмета. Прибор дает возможность проведения фундаментальных исследований явлений отражения, проникновения и распространения волн в слоевой среде. В проводимых в настоящее время исследованиях с помощью ультразвукового рефрактометра наиболее широко применяются измерения критических углов поверхностных волн. Скорость распространения этих волн несет информацию об упругих свойствах поверхностного слоя. Эта техника нашла применение при обнаружении и оценке упругой анизотропии прокатанных материалов, а также для измерения толщины и свойств слоев.

В результате работ, проводимых в ИОПТ в течение последних лет, разработан сканирующий отражательный ультразвуковой микроскоп, работающий в диапазоне частот от 30 до 40 МГц. Микроскоп дает возможность визуализации поверхности образца с поперечной разрешающей способностью, равной 42 мкм. Применение этого устройства позволяет исследовать характеристики материала, усредняемые на поверхности, равной нескольким квадратным миллиметрам. В настоящее время проводятся работы над использованием микроскопа для исследований костной ткани, структуры сплавов и интегральных схем.

К аппаратуре группы а) относятся также ультразвусографы для визуализации и измерений характеристик внутренних органов тела и системы кровообращения. Изображение кровеносной системы с потоком крови получается при использовании доплеровского метода. В последний период изготовлены прототипы следующей аппаратуры:

уникальная модель ультразвуковой аппаратуры для одновременного измерения в реальном времени скорости потока крови и диаметра кровеносного сосуда. Разработанная измерительная система используется для исследования шейной артерии. Полученные результаты исследований подтверждают большое практическое значение разработанной аппаратуры для оценки проходимости сосудо-мозговой системы человека, степени доплывания крови до мозга, степени артериосклеротических изменений шейной артерии;

прототип специального ультразвукового доплеровского аппарата для регистрации скорости потока крови в сердце СОВАКАРД. Устройство позволяет неинвазивным способом определить градиенты давления крови в сердце.

В области аппаратуры для ультразвуковых исследований жидкостей и полимеров разработано устройство для точного измерения поглощения и скорости распространения методом Эггерса. Измерительный стенд автоматизирован и приспособлен для компьютерного управления, что создает возможность измерения на низких частотах, приблизительно от 0,2 МГц, для малых объемов жидкости. Схема устройства представлена на рис.7: 1 – генератор управляющего сигнала, 2 – измеритель частоты, 3 – усилитель передатчика, 4 – измерительная камера, 5 – усилитель приемника, 6 – индикатор выходного сигнала, 7 – термостат, 8 – измеритель температуры.

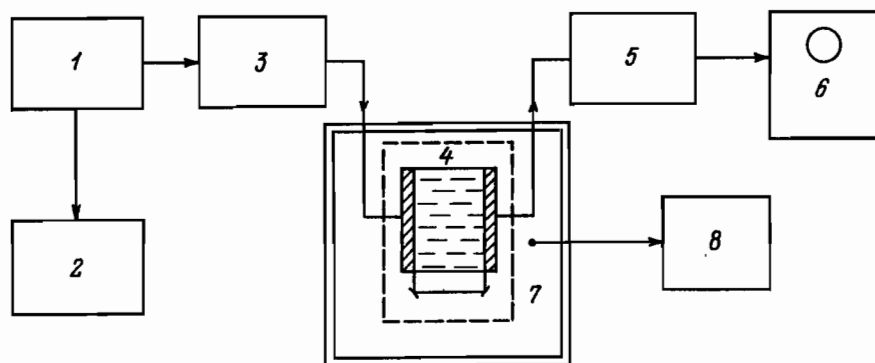


Рис.7. Схема устройства для исследования скорости распространения и поглощения ультразвука в жидкости методом Эггерса

Из аппаратуры группы б) в ИОПТ изготовлена экспериментальная модель ультразвукового хирургического ножа, работающего на частотах 20–25 кГц; на экспериментальном заводе изготовлено несколько акустических дезинтеграторов, предназначенных для исследований в химии и биологии.

Аппаратура группы в) для приема акустических сигналов из среды включает широкий круг методов и соответствующей аппаратуры, разработанной в ИОПТ. К ним относятся микрофоны и различного типа пьезоэлектрические преобразователи; измерители АЭ; аппарат для акустической диагностики машин с визуализацией спектра сиг-

нала; микрокомпьютерная система виброакустической диагностики машин; аппараты для диагностики деятельности гортани и восстановления речи у глухих пациентов (интонограф, интоноскоп).

Электрические сигналы, полученные на входе электроакустических преобразователей, сопряженных с исследуемой средой, являются носителями информации о состоянии напряжений, возникающих микротрещинах и соотношении между вынужденными напряжениями в объекте и напряжениями, при которых наступает разрушение. Анализаторы АЭ реализуют аналоговую функцию, основанную на усилении и частотной фильтрации, а также функцию цифровой обработки сигнала АЭ на основании цифрового измерения сигнала в функции времени и частоты. Интегральной частью анализатора является микропроцессорная система с программным управлением в области накопления данных и их обработки с целью определения актуального прогноза состояния прочности исследуемого объекта. Разработанная в ИОПТ аппаратура для измерения акустической эмиссии изготавливается в нескольких вариантах для исследования односторонне доступных бетонных элементов, стали, горных пород, неполных разрядов в трансформаторах и электроэнергетических устройствах, физико-химических процессов [29]. Модель анализатора 1988 года "ЕА Дема-20" приспособлена к работе с компьютером IBM PC/XT.

В результате работ, касающихся реализации системы технической диагностики машин с визуализацией спектра сигнала в реальном времени, выполнен прототип акустического анализатора, который кроме одновременного спектрального анализа в определенном количестве диагностических полос дает возможность непосредственно на экране монитора одновременно измерять составляющие спектра и сравнивать их с установленным эталоном. Исследуемый виброакустический сигнал после усиления и спектрального анализа в параллельных диагностических каналах подается на вход аналогового переключателя с памятью. После пробирования и запоминания его величины наступает кодирование амплитуды сигнала в системе преобразователя напряжение - время в блоке управления и индикации величины уровня спектра сигнала на экране телевизионного монитора. Создание полного сложного видеосигнала в блоке управления дает возможность подключения к анализатору нескольких контрольных мониторов или регистрацию протекания процессов при помощи видеоманитофона. Изготовленный прототип имеет 14 независимых каналов одновременного спектрального анализа, а также динамический диапазон системы визуализации, равный 50 дБ.

Интонографы, первые модели которых появились в конце семидесятых годов, предназначены для измерения и визуализации в действительном времени уровня акустического давления сигнала речи и частоты гортанного тона. Эти величины связаны с субъективно оцениваемым врачом восприятием громкости речи и высоты голоса. Использование в интонографах соответствующих методов измерения и обработки сигнала речи позволяет получить очень большую точность измерения обеих этих физических величин в широком диапазоне шкалы голоса. Оснащение интонографов аналоговыми регистраторами, цифровой системой визуализации на базе телевизионного монитора с памятью, а также микропроцессорной системой долговременной обработки данных расширяет круг их применения для восстановления речи, обучения интонации глухих и обучения правильного произношения в лабораториях иностранных языков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Малецки И.//Архив электротехники. - 1956. - 5, 4.
2. Ранаховски Е.//Ultrasonics. - 1975. - 13, 5, 203.
3. Радзишевски Л., Ранаховски Е.//Труды ИОПТ. - 1985. - 38.
4. Радзишевски Л., Ранаховски Е.//Труды ИОПТ. - 1986. - 34.
5. Radziszewsky Z., Ranakhovsky E. Influence of the technology and micro-structure on elastic properties of sintered copper determined by means of resonance method, Mat.Konf.Brittle Matrix Composites - 2, Cedzyna, Polska 1988, Elsevier Applied Science Publishers LTD.
6. Левандовски Е.//Труды ИОПТ. - 1987. - 16.
7. Deputat J., Borkowski A. Ultrasonics Measurements of Residual Stress in Rails, Proc.11 WCNDT. - Las Vegas: 1985. - V.1. - P. 592, Taylor Pub.Co.,Dallas 1985.
8. Aleksiejuk M.//Archives of Acoustic. - 1980. - 15, 3, 259-274.
9. Малецки И., Алексеюк М.//Электрические и акустические методы исследования материалов. - Яблонна: 1983. 7-13.
10. Aleksiejuk M. Proceeding of the III Scientific Technical Conf., Acoustoelectronics. - 1987. 87, 105-117.
11. Лежнев Н.//Труды ИОПТ. - 1987. 45.
12. Adamczyk E., Ranachowski J., Rzeszotarska J./Photoacoustic Spectrometer PAS 10//Scientific Instrumentation, 2, 2, 3-14, 1987.
13. Кшепняк З., Ранаховски Е., Жмотарска Я./Измерения скорости распространения волны Релея в полимерных слоях//Archiwum Akustyki. - 1987. - 22, 4, 363-370.
14. Pilecki S., Krolkowski J., Jemielniak R./Journal de Physique, Colloque C 10, supplement. 1985. 46, 12, s. 395.
15. Evans A.G., Linzer M., Russell L.R.//Materials Science Engineering, 1974. 15, N 2/3, 253-261.
16. Ранаховски Е., Реймунд Ф., Либрант З.//Архив науки о материалах. - 1985. 6, 4, 211-225.
17. Ranachowski J., Rejmund F., Mikiel W., Ranachowski Z., Ultrasonics International 87 Conf. Proc. - 1987. 751-756.
18. Пилецки Ш.//Архив акустики. - 1986. 21, 1, 109-134.
19. Sawada T., Gohshi Y., Abe C., Furuya K.//Anal.Chem. - 1985. 57, 1743.
20. Sawada T., Gohshi Y.//Anal.Chem. - 1985. 57, 366.
21. Betteridge D., Joslin M.T., Lilley T.//Anal.Chem. - 1981. 53, 1064.
22. Belchamber R.M., Betteridge D., Collins M.P., Lilley T., Marczewski C.Z., Wade A.P., Anal.Chem. - 1986. 58, 1973.
23. Смирнов А.Н., Дементьев А.Н.//ЖФХ. - 1972. 59.
24. Gurel O., Gurel D./Topics in Current Chemistry. - 1984. Berlin. V.118.
25. Sevcik V., Adamcikowa L.//J.Phys.Chem. - 1985. 8, 9, 5178.
26. Skubis J., Ranachowski J., Gronowski B.//Jour.Acoust.Emission. - 1986. 5, 1, 25.
27. Opilski A., Vitos F., Ranachowski J., Ranachowski Z.//Acoustics Letters. - 1985. 8, 7, 109-114.
28. Мотылевски Е.//Труды ИОПТ. - 1986. 29.
29. Ranachowski J., Rejmund F., Rzeszotarska J.//Scientific Instrumentation. - 1987. 2, 4, 51-68.