

УДК 534.838.4

**АКУСТИЧЕСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ
НЬЮТОНОВСКИХ ЖИДКОСТЕЙ**

Д.А. Костюк¹, Ю.А. Кузавко²

¹Брестский государственный технический университет
Брест, Беларусь

²Институт радиотехники и электроники РАН
Москва, РФ

В твердом кристаллическом теле поглощение акустических волн вплоть до частот 1 ГГц весьма мало и им можно пренебречь, но во многих веществах (эпоксидная смола, полимеры, резина, почва, песок, глина) поглощение существенно и акустические колебания даже через сравнительно тонкий их слой дальше не проникают. По всей видимости, вследствие этого на протяжении многих десятков лет та-

кие объекты не привлекали интерес экспериментаторов и теоретиков. Все внимание уделялось поиску кристаллов с рекордно малым поглощением. Но никто не задавался вопросом, что такое состояние указанных веществ, называемых нами в дальнейшем сильно диссипативными средами (СДС), может существенно повлиять на отражение акустического сигнала от границы твердотельного звукопровода с СДС. Для количественного осмысления отражения волны необходимо в тензоре механических напряжений $\sigma = cu + b \cdot du/dt$ (c – модуль упругости, u – относительная деформация, b – параметр диссипативных потерь, t – время) помимо упругой компоненты (первое слагаемое) учитывать и диссипативную компоненту (второе слагаемое), обусловленную вязкостью (внутренним трением) и теплопроводностью СДС, т.е. теми факторами, которые обеспечивают поглощение акустических колебаний. Вещества с указанной зависимостью принято называть ньютоновскими жидкостями. Такой моделью удовлетворительно описываются продольные и поперечные волны в твердых телах и продольные волны в аморфных веществах и жидкостях.

Занимаясь акустикой СДС, нам удалось обнаружить явление аномального отражения акустического импульсного сигнала от границы твердого тела с СДС, которое не объяснялось классическими формулами Френеля, а требовало более глубокого теоретического осмысления [1–3], т.е. привлечения модели ньютоновской жидкости. Так было экспериментально зафиксировано рекордное 14-кратное изменение коэффициента отражения акустического импульса с частотой основной гармоники 3.5 МГц от границы оргстекла с компаундом эпоксидной смолы при отвердевании последнего, приготовленного в соотношении 2:1 смолы и отвердителя, с одновременным сокращением длительности отраженного импульса с 3 мкс до 1.5 мкс. Помимо этого исследовались и другие вещества: парафин при отвердевании, водный раствор сахарозы различной концентрации, почва и песок с различным содержанием влаги, молоко и сметана различной жирности. Во всех случаях возникали подобные указанным выше зависимости спектроскопических характеристик отраженного сигнала, но выраженные более слабо. При измерениях использовался ультразвуковой пьезокерамический преобразователь, запитываемый от генератора прямоугольным импульсом, а излученные и отраженные сигналы регистрировались осциллографом. Несмотря на то, что описанная экспериментальная установка обладает малой точностью, для перечисленных ситуаций удалось зафиксировать измене-

ния амплитуды и фазы отраженного сигнала относительно излученного. Отметим, что современные АЦП способны производить квантование амплитудного сигнала 2^{12} , а фазовые измерения обладают точностью 10^{-2} , и следовательно применение осциллографических приставок к персональному компьютеру обеспечивает запоминание и последующую обработку сигналов, и позволяет диагностировать не только СДС но и ДС. Более того, компьютерная автоматизация экспериментов позволит исследовать очень быстрые процессы (взрывы, горение и т.д.) так как для цифровых кинокамер уже достигнута возможность съемки до 1 миллиона кадров в секунду.

Помимо теоретического и экспериментального изучения отражения и прохождения непрерывных (1–10 МГц) и импульсных (с частотой основной гармоники 3.5, 5, 7.5 МГц) продольных акустических сигналов через границу твердого тела с СДС исследовались тонкие слои СДС, находящиеся между двумя твердотельными полупространствами (для всех четырех возможных соотношений акустических импедансов Z_1, Z_0, Z_2 , составляющих компонент такой структуры), а также пленочные покрытия на массивных подложках. Во всех этих случаях коэффициенты отражения и прохождения имели комплексный вид, т.е. их фазы оказались тоже весьма чувствительны к состоянию СДС и их фазовой толщине (в двух последних случаях). Нам думается, нет прямой необходимости пояснять, в каких практических приложениях встречаются такие объекты, их достаточно много.

Более того, проводимые измерения позволяют с использованием решения обратной задачи программными средствами, рассчитывать вязкость СДС, которая предшествующими методами и аппаратурой определяется достаточно грубо, для ограниченной группы веществ, связана с механическими перемещениями жидкости. Данный способ измерения в отличие от традиционно используемых пригоден также для слабвязких жидкостей, аморфных и твердых тел.

Важным параметром, входящим в рассмотренную акустику СДС, является характерная частота $f_c = c/b$, на которой сигналы претерпевают максимальные изменения. Так для плавленого кварца вязкости ~ 1 Пз, т.е. близкой к стационарной вязкости глицерина, $f_c \sim 10$ МГц. К СДС можно отнести многие объекты, входящие в состав изделий машиностроительного и электронного производства, так как в результате технологических процессов в них возникают области, претерпевающие сильный нагрев, агрегатные, фазовые и химические превращения. В сельском хозяйстве и пищевой промыш-

ленности также имеется множество подобных объектов, диагностика которых позволит установить их пригодность и степень приготовления:

ЛИТЕРАТУРА

1. Костюк Д.А., Кузавко Ю.А. Аномалии граничного отражения ультразвука от диссипативной среды. // Письма в ЖТФ, 2001, том 27, вып.23 № с. 31–40.
2. Костюк Д. А., Кузавко Ю. А. Особенности отражения акустических продольных волн от границы с диссипативной средой // «Веснік Брэсцкага ўніверсітэта», №4, 2000. с. 56–69.
3. Костюк Д.А., Кузавко Ю.А. Акустические фазочастотные методы измерения вязкости // Наука и техника на рубеже XXI века: Материалы Международной научно-технической конференции. Мн., 2000, с. 284–290.