

## Экспериментальная установка и методика для нелинейной акустической вибродиагностики

*Ненарокомов Кирилл Алексеевич*

*студент*

*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Физический*

*факультет, Москва, Россия*

*E-mail: kir-nenar@yandex.ru*

Многие нелинейные акустические эффекты обусловлены неоднородностью структуры твёрдых тел. Научный интерес представляет неразрушающее исследование нелинейных свойств твёрдых тел, потому что структурная нелинейность может на 2-4 порядка превышать другие виды нелинейности.

В работе рассматриваются свойства объектов при воздействии сильных возмущений. Поскольку эффекты нелинейной акустики амплитудно зависимы, для исследования свойств вещества мы будем использовать нелинейный параметр. Если на нелинейный слой толщиной  $d$  нормально к поверхности воздействуют две интенсивные плоские волны с частотами  $\omega_1$  и  $\omega_2$  (их амплитуды давления  $P(\omega_1)$  и  $P(\omega_2)$ ), то после прохождения слоя возникает сигнал комбинационной частоты:

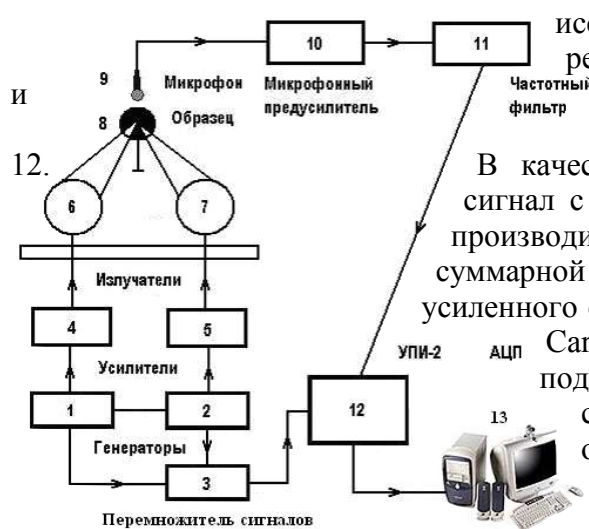
$$P(\omega_1 \pm \omega_2) = \frac{Nd}{4c^3 \rho} (\omega_1 \pm \omega_2) P(\omega_1) P(\omega_2),$$

где  $c$ ,  $\rho$  - известные скорость звука и плотность среды. Из этой формулы рассчитывается  $N$  по результатам измерений амплитуд  $P$  сигналов входных и комбинационной частот. При точечном сканировании образца возможно по изменению амплитуды сигнала комбинационных частот восстановить пространственное распределение структурных дефектов в исследуемом объекте.

Приводится описание автоматизированной экспериментальной установки и методика для бесконтактной диагностики нелинейных упругих свойств сред с дефектами методами нелинейной акустической вибродиагностики.

Двумя сфокусированными в одной точке ультразвуковыми пучками с частотами  $\omega_1 = 38,5$  кГц и  $\omega_2 = 39,5$  кГц и пиковым давлением в фокусе до 160 дБ сканируется исследуемый объект: металлическая плёночка толщиной 1 микрон растянутая на регулируемом расстоянии от гладкого металлического основания, на которое можно подавать постоянное напряжение для создания электростатического поля, что позволяет уменьшать колебания плёночки. При нелинейном взаимодействии на дефекте в материале возникают колебания с разностной:  $\omega_2 - \omega_1 = 1$  кГц и суммарной:  $\omega_2 + \omega_1 = 78$  кГц, частотами и амплитудой, зависящей от величины локальной нелинейности в области сканирования. Нелинейный отклик на суммарной и на разностной частотах в зависимости от координаты исследуемого объекта регистрируется микрофоном и заносится в компьютер.

Была собрана установка, состоящая из специального блока, включающего в себя генераторы высокочастотных сигналов 1 и 2. Сигналы с генератора усиливаются усилителями 4 и 5. Максимальное напряжение на выходе 40 В. Эти же сигналы с генераторов поступают на перемножитель частот, в результате чего получаются сигналы с суммарной и разностной частотами, которые выведены с амплитудой около 1 В, и подаются в качестве опорного сигнала на УПИ-2 (усилитель-преобразователь измерительный). После усиления сигналы подаются на излучатели (круглые параметрические антенны с фокусным расстоянием 25 см; фокусное расстояние и аксиальное расположения фокуса излучателей было определено при помощи лазерного виброметра; излучающими элементами являются ультразвуковые источники, используемые, например, в качестве парковочных датчиков. Излучатели расположены кругами с радиусами, соответствующими величине зон Френеля. Интенсивность сигнала 120 дБ при напряжении 20 В, подаваемом на излучатели) 6 и 7, которые представляют собой. Излучатели установлены рядом на скамье, что позволяет точно определить расположение фокуса обоих излучателей по максимуму сигнала и поместить туда



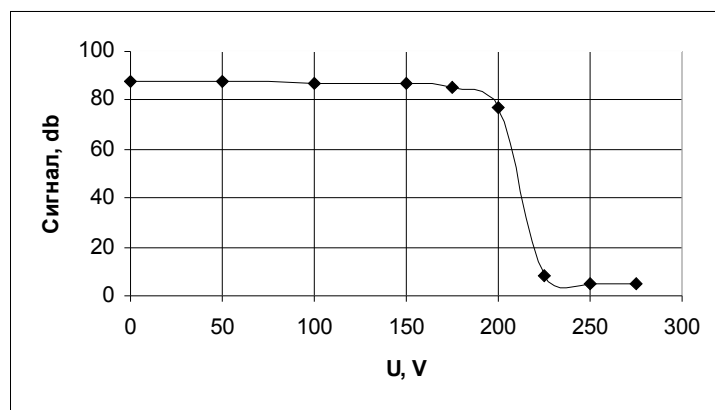
исследуемый образец. Этот сигнал регистрируется конденсаторным микрофоном 9 через микрофонный предусилитель 10 и частотный фильтр 11 подается на вход УПИ-2

В качестве опорного сигнала на УПИ-2 подается сигнал с перемножителя частот 3. Это позволяет нам производить измерения как на разностной, так и на суммарной частотах. Далее происходит обработка усиленного сигнала на ПК при помощи АЦП компании L-Card, L-305. На два подключенных входа АЦП

подаются сигналы с каналов А и В УПИ-2, соответствующие квадратурам сигнала с образца. На ПК данные обрабатываются при помощи программы PowerGraph 2.8. Такая процедура позволяет восстановить

пространственное распределение нелинейного параметра и найти координаты дефектов в исследуемом объекте.

В результате выполненного эксперимента была исследована зависимость амплитуды сигнала на разностной и суммарной частоте от амплитуды звукового давления при фиксированном напряжении смещения плёночки, определены пороговые значения возбуждения сигнала, получена зависимость амплитуды сигнала от напряжения смещения при фиксированном напряжении, подаваемом на излучатели.



Например при увеличении напряжения смещения была получена следующая зависимость сигнала суммарной частоты от напряжения смещения.

#### Литература.

1. Руденко О. В. «Нелинейные методы в акустической дефектоскопии». Журнал РАН «Дефектоскопия» №8 за 1993г.
2. Руденко О. В., Солуян С. Н. «Теоретические основы нелинейной акустики». – Наука 1975
3. Зарембо А. К., Красильников В. А. «Нелинейная акустика в проблеме диагностики прочности твердых тел – Проблемы прочности». 1989 г.
4. G. Mitri, James A Greenleaf, Mostama Fatemi “Comparison of continuous-wave and tone-burst excitation modes in vibro-acoustography: Application for non-destructive imaging of flaws”

Работа была выполнена в Центре коллективного пользования физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова по нелинейной акустической диагностике и неразрушающему контролю при поддержке гранта Президента Российской Федерации № НШ-4449.2006.2 и грантов РФФИ № 05-02-16327-а и 06-02-16658-а.