

значимость (вес) каждого из этих признаков в модели обобщенной оценки качества звучания.

На следующем этапе осуществляется процедура установления соответствия каждого основного компонента определенному признаку качества. Результаты интерпретации представлены в таблице 2. Также указаны весовые множители  $W$  для каждого признака качества, показывающие их значимость при обобщенной оценке звучания квалифицированными экспертами и обычными слушателями.

Таблица 2. Компоненты (основные признаки качества) стереофонического звучания

Компонента стереофонического эффекта	Значимость $W$	
	Эксперты	Слушатели
Пространственное впечатление, объёмность звучания	0.25	0.32
Прозрачность звучания	0.2	0.03
Естественность тембров	0.48	0.39
Чистота звучания	0.9	0.07
Разборчивость звучания	0.56	0.44

Важным фактором при стереовоспроизведении звуковых сигналов является возможность воздействия на слушателя направленностью прихода звуков, что позволяет выявить конфликтность различных звуковых образов, их объединение или противопоставление.

Проведенные исследования показали, что качество стереовоспроизведения настолько велико, что оно является предпочтительным для экспертов и большинства слушателей, и с большой точностью (более чем в 80% случаев) распознается ими.

Стереофоническое звучание предпочитается монофоническому даже при худших объективных параметрах качества каналов стереопары. Установлено, что свыше 85% слушателей предпочитают стереофоническое звучание с полосой

частот 50...10000 Гц монофоническому звучанию с полосой частот 20...18000 Гц. Предпочтительность выбора стереовоспроизведения сохраняется даже при сокращении полосы частот монофонического источника звука до 100...7000 Гц. Стереофоническое звучание при коэффициенте гармоник до 20% предпочитается неискаженному монофоническому звучанию, несмотря на то, что такие искажения уверенно заметны на слух. Порог заметности помех при стереовоспроизведении составляет около -60 дБ, однако при соотношении сигнал-шум 35...40 дБ стереофонический режим работы источника звука предпочитается монофоническому, несмотря на заметность искажений на слух.

При использовании данного метода контроля качества звуковоспроизводящей аппаратуры на получаемую при измерениях оценку влияет не только вид и величина искажений, но и целый ряд субъективных факторов, например степень подготовленности эксперта, его музыкальные пристрастия, образование, психологическое состояние в момент проведения экспертизы. Для того чтобы исключить или уменьшить влияние перечисленных факторов, проводят серию прослушиваний для большого количества экспертов (более 10) с последующим усреднением результатов. Также на результаты проведения экспертизы влияют внешние условия прослушивания, поэтому регламентируются технические характеристики помещения и оборудования, используемых для проведения испытаний [2].

1. Попов О.Б. «Цифровая обработка сигналов в трактах звукового вещания» / О.Б. Попов, С.Г. Рихтер. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007. – С. 261–267.
2. Бобрикович А.А., Гусев О.К. Соотношение результатов объективного и субъективного контроля качества аудиосигналов / Приборостроение: материалы 8-й Международной научно-технической конференции: в 2 т. / БНТУ; редкол.: О. К. Гусев (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2015. – Т1. – С.54–55.

УДК 620.179.16-534.1

## ТРАНСФОРМАЦИЯ ВОЛН РЭЛЕЯ И СТОУНЛИ ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Баев А.Р.<sup>1</sup>, Пантелеенко Ф.И.<sup>2</sup>, Захаренко В.В.<sup>2</sup>, Асадчая М.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ГНУ «Институт прикладной физики Национальной академии наук Беларуси»

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Одно из направлений повышения надежности и работоспособности объектов различного функционального назначения, находящихся в условиях воздействия сложного комплекса факторов (повышенные контактные напряжения, температура и т. д), состоит в модификации поверхности металлоизделий путем цементирования поверхности, ТВЧ закалки, наклепа, наплавки и других

технологий. Одним из базовых методов неразрушающего контроля указанных выше объектов является ультразвуковой, позволяющий выявлять поверхностные дефекты, определять качество поверхностного упрочнения, а также соединения материалов в процессе сварки, пайки, их склеивания по данным скорости поверхностной ультразвуковой (УЗ) волны, ее амплитудным,

амплитудно-частотным и др. характеристикам [1]. При этом большое значение придается повышению чувствительности и надежности ультразвуковых измерений при контроле объектов, имеющих малые габариты, сложный рельеф поверхности и зоны с наиболее опасными дефектами в труднодоступных местах. В частности, для этих целей необходимо создание надежного опорного УЗ сигнала. Для этих целей нами впервые было предложено использовать отражатели поверхностных волн (ОПВ), конструкции которых поясняются рисунками 1, 5. Они представляют собой компактную акустическую нагрузку, выполненную из металла оптимальной формы и контактирующую с объектом контроля через «скользящую» границу. Прохождение поверхностных волн (ПАВ) через такую границу сопровождается трансформацией волны Рэлея в слабозатухающую волну Стоунли, имеющей высокий коэффициент отражения от оппозитной грани ОПВ. Как известно [1], волна Стоунли распространяется на границе контакта двух материалов при условии  $\frac{C_2}{C_1} \geq 1, \frac{\rho_1}{\rho_2} \leq 1$  или  $\frac{C_2}{C_1} \leq 1, \frac{\rho_1}{\rho_2} \geq 1$ , где  $C_i$  и  $\rho_i$  – скорости УЗ волны и плотности материала ОПВ ( $i=1$ ) и объекта ( $i=2$ ) соответственно. Волновые уравнения, описывающие распространения волны Стоунли через скалярный  $\varphi_i$  и векторный  $\psi_i$  потенциалы имеют вид

$$\Delta\varphi_i + (k_{li})^2\varphi_i = 0, \Delta\psi_i + (k_{ti})^2\psi_{ti} = 0,$$

где  $k_{li}, k_{ti}$  – волновые числа продольной и поперечной волны соответственно.

В работе впервые экспериментально изучены закономерности трансформации и распространения ПАВ через «скользящую» границу контакта стальной подложки с ОПВ имеющей форму призмы, в зависимости от (рис.1): а) угла наклона его боковой грани ( $-60^\circ \geq \alpha \geq 60^\circ$ ) и ее направления к источнику ПАВ ( $O_x \uparrow \downarrow k_{ПАВ} \parallel O_x$ ); б) материала ОПВ (сталь, латунь, дюралюминий); в) угла поворота  $\theta$  призмы ОПВ в горизонтальной плоскости.

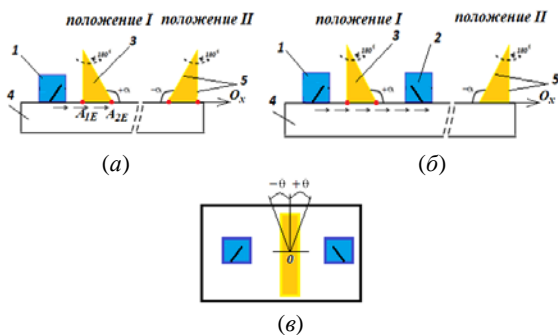
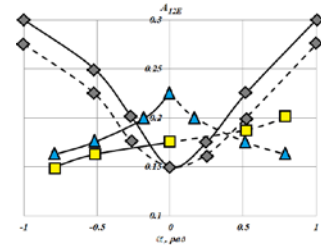
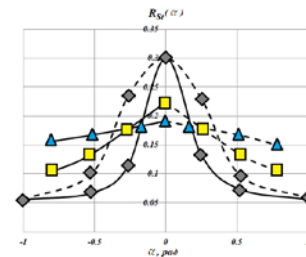


Рисунок 1 – Экспериментальная схема исследования прохождения и трансформации ПАВ при наличии ОПВ в режиме эхо (а) и теновом (б, в) режимах: 1, 2 – ПЭП; 3 – ОПВ; 4 – подложка объекта; 5 – боковые грани;  $\alpha$  – угол наклона боковых граней;  $\theta$  – угла поворота призмы ОПВ в горизонтальной плоскости



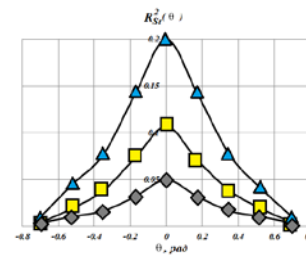
◆ сталь ■ латунь ▲ дюралюминий

Рисунок 2 – Влияние угла наклона боковой грани призмы ОПВ на отношение амплитуд  $A_{12,E}$  при двух положениях призмы - как на рисунке 1: положение I (--) и II (-)



◆ сталь ■ латунь ▲ дюралюминий

Рисунок 3 – Зависимость коэффициентов отражения волны Стоунли  $R_S(\alpha)$  от угла наклона боковой грани призмы ОПВ: положение I (--) и II (-)



◆ сталь ■ латунь ▲ дюралюминий

Рисунок 4 – Влияние угла  $\theta$  поворота призмы ОПВ в горизонтальной плоскости на величину  $(R_S)^2$

Ниже в таблице приведены данные по соотношению продольных  $l_i$  и поперечных  $t_i$  скоростей и плотностей  $\rho_i$  контактирующих материалов ОПВ и подложки.

Свойства материалов ОПВ и стальной подложки

Материал ОПВ	$\rho_1/\rho_2$	$C_{12}/C_{11}$	$C_{12}^2/C_{11}$
Сталь	1	1	1
Латунь	1,03	1,34	1,53
Дюралюминий	0,34	0,94	1,04

В работе проводится качественный анализ акустического тракта и впервые экспериментально исследуется ряд параметров акустического тракта ультразвуковой измерительной системы с ОПВ. Во-первых, определяется (в режиме эхо) отношение  $A_{12,E} = A_{1E} / A_{2E}$  амплитуд отраженных ПАВ от передней ( $A_{1E}$ ) и задней ( $A_{2E}$ ) граней ОПВ в зависимости от угла наклона  $\alpha$  одной из них (рис. 2). Эта величина характеризует важный для практики параметр – соотношение

сигнал-шум при использовании ОПВ в качестве опорного сигнала при измерении скорости и амплитудных параметров зондирующей объект ПАВ. Во-вторых, впервые выявлены зависимости (в теневом режиме) коэффициенты отражения волны Стоунли  $R_{St}$  от угла наклона призмы ОПВ  $\alpha$  (рис. 3) и ее угла поворота  $\theta$ . Для этого вначале определяем величину  $R_{St0}$ , из соотношения  $R_{St0}=(A_0/A_1)^{0.5}$ , измеренного при использовании в качестве ОПВ прямоугольной призмы ( $\alpha=0$ ), а затем находим искомое значение из формулы

$$R_{St}(\alpha)=A_0(A_1R_{St0})^{-1}, \quad (1)$$

где  $A_0$  – амплитуда прошедшая через границу контакта ОПВ с подложкой ПАВ без переотражения,  $A_1$  – с переотражением волны Стоунли от задней и передней грани ОПВ. Зависимость же  $R_{St}^2(\theta)$  (рис. 4) получена в случае, когда ОПВ имеет вид прямоугольной призмы ( $\alpha=0$ ), причем ее величину находим из формулы, подобной (1).

Как следует из результатов исследования предложенные конструкции ОПВ, выполненные для разных материалов (сталь, латунь дюралюминий) обеспечивающих трансформацию и распространение волн Стоунли на границе стальная подложка-ОПВ являются высоко эффективными отражателями ПАВ. Причем максимальная их эффективность, характеризуемая соотношением сигнал-шум при использовании ОПВ в качестве опорного сигнала для измерения скорости и амплитудных параметров зондирующей объект ПАВ достигается при оптимальном угле наклона боковой грани ОПВ  $\alpha$ , его угла поворота  $\theta(0, \pi)$  и зависит от материала отражателя.

Также впервые определены коэффициенты отражения волны Стоунли  $R_{St}$  в зависимости от указанных выше параметров ОПВ – углов  $\alpha$  и  $\theta$ , и материала. Причем эти зависимости имеют сложный вид, изменяясь по величине на порядок.

УДК 681.2.08

## АНАЛИЗ КАРТ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА И ПОВЕРХНОСТНОЙ ФОТОЭДС НАНОКОМПОЗИТНЫХ ПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ ПЭВД

Пантелеев К.В.<sup>1</sup>, Тявловский А.К.<sup>1</sup>, Кравцевич А.В.<sup>2</sup>, Жарин А.Л.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет

<sup>2</sup>Гродненский филиал «Научно-исследовательский центр проблем ресурсосбережения» ГНУ «Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси», Минск, Республика Беларусь

В работе представлены результаты исследований и разработаны принципы контроля однородности свойств нанокompозитных полимеров на основе полиэтилена высокого давления (ПЭВД) по пространственному распределению электростатического потенциала и поверхностной фотоЭДС. В качестве средств измерения использован модифицированный сканирующий зонд Кельвина, дополнительно оснащенный источником оптического излучения.

Учитывая полученные данные, проведен расчет и предложена оптимальная конструкция ОПВ, существенно нивелирующая (~35 дБ и более) влияние шумового фона, на ультразвуковые измерения свойств поверхности. На рисунке 5 приведена одна из предложенных конструкций ультразвукового устройства с ОПВ, где граница контакта передней грани призмы с подложкой выполнена в виде двух ветвей параболы.

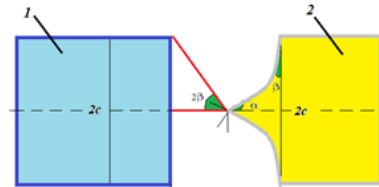


Рисунок 5 – Конструкция ультразвукового устройства с ОПВ, граница контакта передней грани призмы которого с подложкой выполнена в виде двух ветвей параболы:  
1 – излучающий ПЭП; 2 – ОПВ

Использование таких устройств с ОПВ позволяет: а) практически в два раза сократить акустическую базу при измерениях скорости ПАВ, а также концентрировать акустические пучки путем выполнения границы контакта задней грани призмы с подложкой в виде фокусатора; б) обеспечить высокостабильный опорный сигнал как на плоских, так и криволинейных поверхностях (радиусом до 15 мм). Полученные результаты исследований также представляют интерес для контроля качества сцепления разнородных материалов, пар трения и др.

Работа выполнена при поддержке БРФФИ, проект T17-159.

1. Неразрушающий контроль: справочник: в 7 т. / под общ. ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 2003. – Т. 3. – 864 с.

**Введение.** Сканирующие зонды Кельвина традиционно применяют для анализа и контроля однородности свойств прецизионных поверхностей металлов, полупроводниковых материалов и объектов по параметрам пространственного распределения работы выхода электрона, определяемой по контактной разности потенциалов (КРП) относительно зондового образца [1].

Анализ литературных данных, например, [2] и проведенные ранее исследования [3] показывают,