

Развитие эталонной базы

УДК 006.91:53.082.4

**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕРВИЧНЫЙ ЭТАЛОН ЕДИНИЦ СКОРОСТЕЙ
РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПРОДОЛЬНЫХ, СДВИГОВЫХ И
ПОВЕРХНОСТНЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН
В ТВЕРДЫХ СРЕДАХ ГЭТ189-2012****П.В. Базылев, А.И. Кондратьев, И.Я. Крумголец, В.А. Луговой***Дальневосточный филиал, ФГУП «ВНИИФТРИ», Хабаровск**lugovoy@dst.khv.ru*

Приводятся результаты работы, выполненной Дальневосточным филиалом ФГУП «ВНИИФТРИ» по модернизации эталонной базы в области виброакустических измерений. Дается описание и приводятся краткие метрологические характеристики усовершенствованного Государственного первичного эталона единиц скоростей распространения продольных, сдвиговых и поверхностных ультразвуковых волн в твердых средах

Ключевые слова: виброакустические измерения, эталон, метрологические характеристики

Назначение

Обеспечение единства измерений в области акустических измерений в твердых средах и ультразвукового неразрушающего контроля.

В 2006–2010 гг. в Дальневосточном филиале ВНИИФТРИ в соответствии с научно-технической программой «Эталоны России» впервые был разработан и утвержден Государственный первичный эталон (ГПЭ) единицы скорости распространения продольных ультразвуковых волн в твердых средах ГЭТ189-2010. При этом использовались результаты научно-исследовательских работ по разработке бесконтактных широкополосных оптических (лазерных) методов возбуждения и регистрации ультразвуковых (УЗ) волн в твердых средах, созданию и эксплуатации установки высшей точности УВТ 39-А-86.

В период 2010–2012 гг. проведены работы по совершенствованию ГПЭ, заключающиеся в разработке и введении в его состав двух новых эталонных установок: для измерения скоростей

распространения сдвиговых и поверхностных ультразвуковых волн в твердых средах. Таким образом, государственный первичный эталон, получивший наименование ГЭТ189-2012, обеспечивает единство измерений скоростей распространения всех основных типов акустических волн в твердых средах.

В 2014 г. завершены работы по созданию новой эталонной установки в составе ГЭТ189 – для измерения коэффициента затухания продольных УЗ волн.

Потребность в измерении параметров распространения УЗ волн в твердых средах определяется задачами как фундаментальных, так и прикладных исследований ультразвукового неразрушающего контроля. В фундаментальных исследованиях по измерениям параметров распространения УЗ волн в твердых средах определяют упругие постоянные и модули упругости – важнейшие характеристики твердого тела. Параметры распространения УЗ волн используются также для нахождения

физико-механических характеристик, прочностных свойств твердых сред и имеют важнейшее значение при создании новых материалов, обработке технологий их получения и внедрении в технические разработки и производство. Однако, прежде всего, потребность в измерении скорости распространения и коэффициента затухания УЗ волн связана с необходимостью обеспечения единства измерений в области неразрушающего контроля качества материалов и изделий с использованием акустических методов и средств.

Эталон возглавляет государственную поверочную схему для средств измерений скорости распространения продольных ультразвуковых волн ГОСТ Р 8.756-2011 «ГСИ Государственная поверочная схема для средств измерений скорости распространения продольных ультразвуковых волн в твердых средах». Разработка нового национального стандарта ГОСТ Р 8.756-... «ГСИ. Государственная поверочная схема для средств измерений скоростей распространения продольных, сдвиговых и поверхностных ультразвуковых волн в твердых средах» закончена в 2014 г.

Метрологические характеристики

ГПЭ воспроизводит единицу скорости распространения C_L продольных УЗ волн в твердых средах в диапазоне значений (5000 – 6500) м/с в полосе частот (0,5 – 25) МГц (коэффициент затухания не более 150 дБ/м) с относительным средним квадратическим отклонением результата измерений $S_0(\tilde{C}_L) \leq 4,6 \cdot 10^{-7} / d$ при 11–18 независимых измерениях (где d – безразмерный параметр, численно равный толщине меры в

метрах). Относительная неисключенная систематическая погрешность $\Theta_0(\tilde{C}_L) \leq 1,4 \cdot 10^{-4}$.

ГПЭ воспроизводит единицу скорости распространения C_S сдвиговых УЗ волн в твердых средах в диапазоне значений (2000 – 4000) м/с в полосе частот (0,5 – 10) МГц (коэффициент затухания не более 150 дБ/м) с относительным средним квадратическим отклонением результата измерений $S_0(\tilde{C}_S) \leq 5,0 \cdot 10^{-4}$ при 11–18 независимых измерениях. Относительная неисключенная систематическая погрешность $\Theta_0(\tilde{C}_S) \leq 2,0 \cdot 10^{-3}$.

ГПЭ воспроизводит единицу скорости распространения C_R поверхностных УЗ волн в твердых средах в диапазоне значений (2000 – 3500) м/с в полосе частот (0,3 – 30) МГц (коэффициент затухания не более 150 дБ/м) с относительным средним квадратическим отклонением результата измерений $S_0(\tilde{C}_R) \leq 3,0 \cdot 10^{-5}$ при 18 независимых измерениях. Относительная неисключенная систематическая погрешность $\Theta_0(\tilde{C}_R) \leq 6,0 \cdot 10^{-5}$.

ГПЭ воспроизводит единицу коэффициента затухания α_L продольных УЗ волн в твердых средах в диапазоне значений (0,2 – 500) дБ/м в полосе частот (1 – 50) МГц с относительным средним квадратическим отклонением результата измерений $S_0(\tilde{\alpha}_L)$, не превышающим $0,047 / \alpha_L^{1/4}$ при 7–11 независимых измерениях (где α_L – безразмерный параметр, численно равный измененному значению α_L в дБ/м). Относительная неисключенная системати-

ческая погрешность $\Theta_0(\tilde{\alpha}_L)$, в зависимости от толщины меры и значения α_L , не превышает 0,01 – 0,07.

Относительная стандартная неопределенность измерений не превышает значений, приведенных в таблице.

Таблица

Стандартная неопределенность измерений

Неопределенность	Скорость распространения УЗ волн			Коэффициент затухания
	Продольные УЗ волны	Сдвиговые УЗ волны	Поверхностные УЗ волны	Продольные УЗ волны
u_A	$2,3 \cdot 10^{-5}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-5}$	0,01 – 0,07
u_B	$5,6 \cdot 10^{-5}$	$8,3 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$	0,004 – 0,029
u_C	$6,0 \cdot 10^{-5}$	$9,6 \cdot 10^{-4}$	$3,9 \cdot 10^{-5}$	0,010 – 0,076
U_p при $k=2$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-3}$	$7,8 \cdot 10^{-5}$	0,02 – 0,15

Состав первичного эталона

Государственный первичный эталон ГЭТ189-2012 состоит из комплекса следующих технических средств и вспомогательных устройств:

1. Эталонная установка для генерации, приема и измерений скоростей распространения продольных и сдвиговых ультразвуковых (УЗ) волн в твердых средах;

2. Эталонная установка для генерации, приема и измерений скорости распространения поверхностных УЗ волн в твердых средах;

3. Три набора исходных мер скоростей распространения продольных, сдвиговых и поверхностных УЗ волн;

4. Блок температурных измерений.

Описание первичного эталона

Эталонные установки для измерений скоростей распространения продольных, сдвиговых и поверхностных ультразвуковых волн в твердых средах представляют собой электронно-оптиче-

ские измерительные комплексы на базе бесконтактных оптических методов возбуждения и регистрации УЗ колебаний.

1. В эталоне реализован эхоимпульсный метод измерения скорости распространения продольных УЗ волн, который включает:

- дистанционное бесконтактное термооптическое возбуждение с помощью твердотельного оптического квантового генератора коротких, длительностью (30 – 40) нс на полувысоте, акустических импульсов продольных УЗ волн заданной амплитуды в плоскопараллельных мерах известной толщины d ;

- бесконтактную регистрацию широкополосным лазерным интерферометрическим приемником (полоса пропускания 0,5–70 МГц) последовательности переотраженных акустических сигналов продольных УЗ волн, прошедших меру;

- измерение времени пробега T_L ультразвуковых импульсов акустической базы, равной или кратной двойной

толщине меры $2(N-1)d$, где $N=2,3,4$ – целое число, характеризующее кратность переотраженного УЗ стоп-импульса.

Скорость распространения продольных УЗ волн C_L определяется по формуле:

$$C_L = 2(N-1)d / T.$$

2. В эталоне реализован импульсный метод измерения скорости распространения сдвиговых УЗ волн, который включает:

- дистанционное бесконтактное термооптическое возбуждение коротких, длительностью (30 – 40) нс на полувывоте акустических импульсов продольных УЗ волн и длительностью порядка 100 нс акустических импульсов сдвиговых УЗ волн, в плоскопараллельных мерах известной толщины d ;
- бесконтактную регистрацию акустических сигналов лазерным интерферометром;
- измерение времени прихода t_S сдвиговой компоненты ультразвукового УЗ сигнала (с поправкой на собственные задержки установки) при известной акустической базе.

Скорость распространения сдвиговых УЗ волн определяется по формуле:

$$C_S = d/t_S.$$

Для исключения влияния задержки сигнала в измерительном тракте значение t_S определяется по формуле

$$t_S = t_{IS} - t_{L1} + T_{12} / 2,$$

где t_{IS} - измеренное значение «положения» сдвиговой компоненты сигнала; t_{L1} - время прихода переднего фронта первого пришедшего УЗ импульса продольной волны; T_{12} - временной интервал между первым пришедшим и первым переотраженным продольными УЗ импульсами.

3. В эталоне реализован импульсный метод измерения скорости распространения поверхностных УЗ волн Рэлея, который включает:

- дистанционное бесконтактное термооптическое возбуждение коротких, длительностью 70 нс, акустических импульсов поверхностных волн заданной амплитуды на поверхности плоскопараллельной меры заданной толщины;
- бесконтактную регистрацию акустических сигналов, распространяющихся по поверхности меры, с помощью широкополосного лазерного интерферометрического приемника в двух точках поверхности меры, расположенных на одной оси с точкой возбуждения;
- измерение времени распространения T_R акустических импульсов на известной фиксированной акустической базе (расстояние между точками приема) длиной l .

Скорость распространения поверхностных УЗ волн Рэлея вычисляется по формуле

$$C_R = l/T_R$$

Внешний вид эталона показан на рис. 1 и 2.

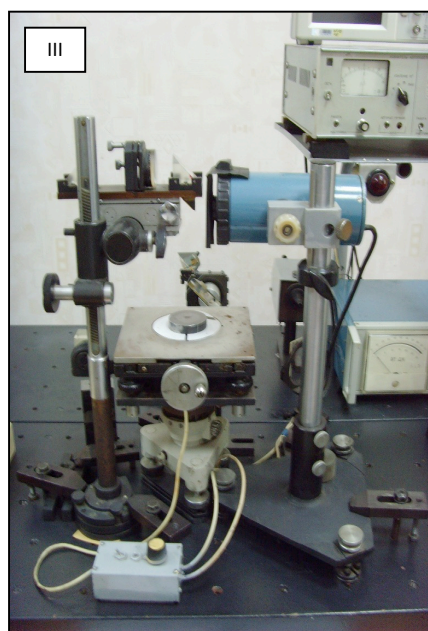


Рис. 1. Внешний вид эталонной установки для воспроизведения единиц скоростей распространения продольных и сдвиговых ультразвуковых волн.

I - оптический стенд;

II - контрольно-измерительная стойка;

III - устройство настройки интерферометра и перемещения мер скорости.

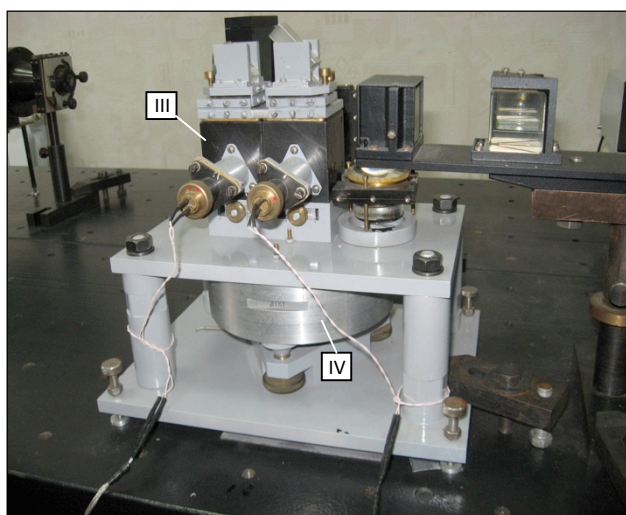


Рис. 2. Внешний вид эталонной установки для измерения скорости распространения ультразвуковых рэлеевских волн. I - оптический стенд; II - контрольно-измерительная стойка; III - оптический стол с блоком интерферометров и устройством размещения меры скорости; IV - мера скорости.