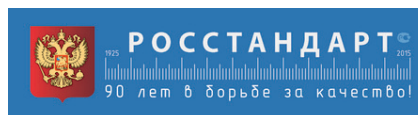


90-летию Росстандарта  
посвящается



**Владимир Александрович  
ЛУГОВОЙ,**  
д.ф.-м.н., начальник лабора-  
тории, Дальневосточный филиал  
Всероссийского научно-иссле-  
довательского института  
физико-технических и радио-  
технических измерений



**Петр Владимирович  
БАЗЫЛЕВ,**  
к.ф.-м.н., старший научный  
сотрудник, Дальневосточный  
филиал Всероссийского научно-  
исследовательского инсти-  
тута физико-технических и  
радиотехнических измерений



**Игорь Ярославович  
КРУМГОЛЬЦ,**  
инженер, Дальневосточный  
филиал Всероссийского научно-  
исследовательского инсти-  
тута физико-технических и  
радиотехнических измерений

## ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕРВИЧНЫЙ ЭТАЛОН ЕДИНИЦ СКОРОСТЕЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПРОДОЛЬНЫХ, СДВИГОВЫХ И ПОВЕРХНОСТНЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН В ТВЕРДЫХ СРЕДАХ

**Ключевые слова:** государственный первичный эталон, продольные волны, сдвиговые волны, поверхностные волны, измерение скоростей распространения ультразвуковых волн

*В статье представлены эталонные установки в составе государственного первичного эталона для измерения скоростей распространения продольных, сдвиговых и поверхностных ультразвуковых волн в твердых средах. Описан метод измерения скоростей и принцип работы установок. Даны метрологические характеристики эталонных установок. Приведены требования к эталонным мерам скорости, входящим в состав эталона.*

В соответствии с научно-технической программой «Эталоны России» и планом мероприятий по внедрению государственного первичного эталона единицы скорости распространения продольных ультразвуковых волн в твердых средах ГЭТ 189-2010 [1] в Дальневосточном филиале ВНИИФТРИ в 2010–2012 гг. проведены работы по совершенствованию эталона, 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 ГЭТ 189-2012, обеспечивает единство измерений скоростей распространения основных типов акустических волн в твердых средах. Эталон возглавляет государственную поверочную схему для средств измерений (СИ) скорости распространения ультразвуковых (УЗ) волн в твердых средах, устанавливающую порядок передачи воспроизводимых единиц рабочим эталонам и рабочим СИ.

Потребность в измерении параметров распространения УЗ-волн в твердых средах опре-

деляется задачами как фундаментальных, так и прикладных исследований. В фундаментальных исследованиях через параметры распространения УЗ-волн в твердых средах рассчитываются упругие постоянные и модули упругости — важнейшие характеристики твердого тела [2]. Параметры распространения УЗ-волн требуются также для нахождения физико-механических характеристик, прочностных свойств твердых сред и имеют важнейшее значение при создании новых материалов, отработке технологий их получения и внедрении их в технические разработки и производство. Однако, прежде всего, потребность измерения скорости распространения УЗ-волн связана с необходимостью обеспечения единства измерений в области неразрушающего контроля качества материалов и изделий с использованием акустических методов и средств.

В неразрушающем контроле качества материалов и изделий УЗ-неразрушающий контроль в настоящее время является одним из наиболее надежных, достоверных и информативных методов оценки их состояния. Ежегодная потребность в средствах неразрушающего контроля акустическими методами составляет до 1500 приборов только для контроля металлов. В России в эксплуатации находится порядка 150 тыс. приборов для УЗ-измерений и контроля: дефектоскопов, толщиномеров, структуроскопов, измерителей скорости и физико-механических характеристик твердых сред [3]. Необходимость метрологического надзора в области производства, закупок, эксплуатации УЗ-средств контроля определяет потребность в этом виде измерений.

Анализ отечественной и зарубежной литературы в данной области измерений показывает, что наиболее перспективным направлением разработки исходных эталонных СИ является применение бесконтактных методов генерации и приема УЗ-волн: оптического и емкостного [4-7].

### Методы измерения

В государственном первичном эталоне на основе бесконтактного дистанционного оптического метода генерации и приема УЗ-волн реализован эхо-импульсный способ измерения скорости распространения продольных и сдвиговых УЗ-волн, который включает:

- ♦ одновременное дистанционное бесконтактное термооптическое возбуждение коротких, длительностью не более 30 нс на полу-

высоте, акустических импульсов продольных УЗ-волн и длительностью порядка 100 нс акустических импульсов сдвиговых УЗ-волн в плоскопараллельных мерах известной толщины  $d$  с помощью моноимпульсного твердотельного лазера;

- ♦ дистанционную бесконтактную регистрацию последовательности переотраженных акустических сигналов двухлучевым лазерным интерферометром;

- ♦ измерение времени  $T_L$  пробега УЗ-импульсов продольных волн известной акустической базы, равной или кратной двойной толщине меры  $2d$ ;

- ♦ измерение времени  $t_S$  прихода сдвиговой компоненты УЗ-сигнала (с поправкой на собственные задержки установки) при известной акустической базе  $d$ .

Скорость распространения продольных УЗ-волн  $C_L$  определяется по формуле:

$$C_L = 2(N - 1)d / T_L,$$

где  $N$  — номер переотраженного стоп-импульса (второго или третьего).

Скорость распространения сдвиговых УЗ-волн  $C_S$  вычисляется по формуле:

$$C_S = d / t_S.$$

Для исключения влияния задержки сигнала в измерительном тракте временной интервал  $t_S$  определяется по формуле [6]:

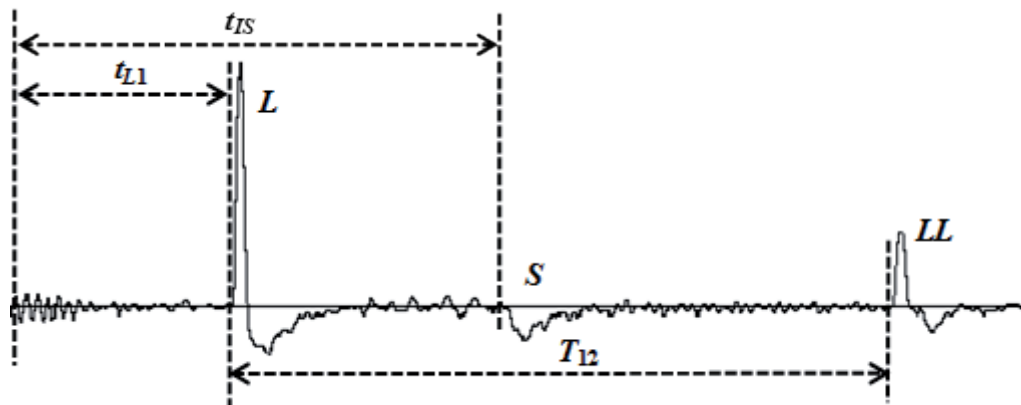
$$t_S = t_{IS} - t_{L1} + T_{12} / 2,$$

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 (рис 1).

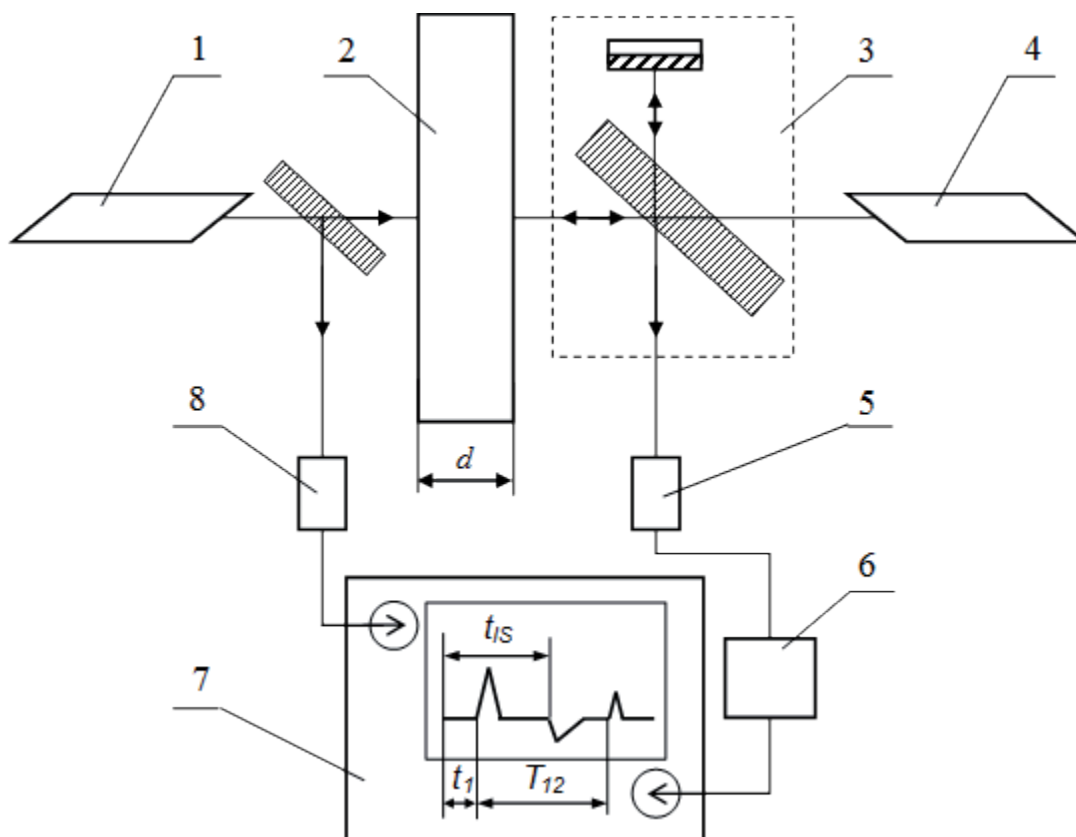
Метод измерения иллюстрируется рисунком 2. Оптический сигнал от моноимпульсного твердотельного лазера 1 формирует на поверхности исходной меры 2 термооптический источник акустических волн. При фокусировании импульсного лазерного излучения на поверхность меры в последней одновременно возбуждаются как продольные, так и сдвиговые УЗ-волны. Возникновение сдвигового импульса обусловлено ограниченностью диаметра лазерного луча и, соответственно, распределения температуры по поверхности в оптико-акустическом источ-

нике [6]. На противоположной стороне меры смещение в акустической волне регистрируется расположенным соосно лазерным интерферометром 3, состоящим из интерферометрической

головки и He–Ne лазера 4. Полоса воспроизведения частот УЗ-волн составляет 0,5 – 80 МГц. Оптический сигнал с лазерного интерферометра преобразуется фотоприемником 5 в электриче-



**Рис. 1.** Осциллограмма ультразвуковых импульсов. *L, LL* – первый пришедший и первый переотраженный продольные УЗ-импульсы; *S* – сдвиговый УЗ-импульс.



**Рис. 2.** Схема эталонной установки для измерения скорости распространения продольных и сдвиговых ультразвуковых волн. 1, 4 – моноимпульсный и He–Ne лазеры, соответственно; 2 – мера скорости; 3 – интерферометр; 5, 8 – фотоприемники; 6 – широкополосный усилитель; 7 – цифровой осциллограф.

ский и через широкополосный усилитель 6 подается на цифровой осциллограф 7, где записывается серия переотраженных акустических сигналов. Измеряется интервал времени  $T_L$  между первым и вторым или первым и третьим акустическими сигналами продольных УЗ-волн. Для измерения интервалов времени между продольными УЗ-импульсами используется метод совмещения сигналов на экране цифрового запоминающего осциллографа (ЦЗО) [1]. Величина временного сдвига в каждом канале относительно точки запуска определяется с дискретностью 0,1 нс. Для запуска осциллографа используется фотоприемник 8, на который стеклянной пластиной направляется часть излучения лазера 1.

Время прихода  $t_s$  сдвиговой компоненты УЗ-сигнала измеряется следующим образом. При отношении сигнал/шум, для сдвиговой компоненты сигнала, более 5, измерение параметров  $t_{IS}$  и  $t_{L1}$  (рис. 1) производится с использованием «временных» курсоров ЦЗО. Для этого на осциллограмме определяются точки «положения» сдвиговой компоненты сигнала и времени прихода переднего фронта первого пришедшего УЗ-импульса продольных волн. Далее в выбранные точки устанавливаются курсоры и производится считывание значений  $t_{IS}$  и  $t_{L1}$ . При измерении параметра  $T_{12}$  используется метод наложения копии сигнала на исходную осциллограмму. При отношении сигнал/шум, для сдвиговой компоненты сигнала, менее 5, для измерения параметров  $t_{IS}$  и  $t_{L1}$  используется разработанное программное обеспечение в пакете Excel, использующее специальные аппроксимирующие функции для импульсов продольных УЗ-волн и сдвиговой компоненты сигнала.

Толщину  $d$  меры скорости измеряют относительным методом при помощи контактного интерферометра типа ИКПВ с переменной ценой деления 0,05 – 0,2 мкм и набора концевых мер в 7 точках поверхности исходной меры скорости: в центре и на границе осесимметричной зоны диаметром 30 мм. Среднеквадратическое отклонение результата измерения толщины меры не более  $2 \cdot 10^{-4}$  мм.

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

- ♦ дистанционное бесконтактное термооптическое возбуждение коротких, длительностью порядка 70 нс, акустических импульсов поверхностных волн на поверхности плоскопараллельной меры;

- ♦ дистанционную бесконтактную регистрацию акустических сигналов, распространяющихся по поверхности меры, с помощью широкополосного лазерного интерферометрического приемника в двух точках поверхности меры, расположенных соосно с точкой возбуждения;

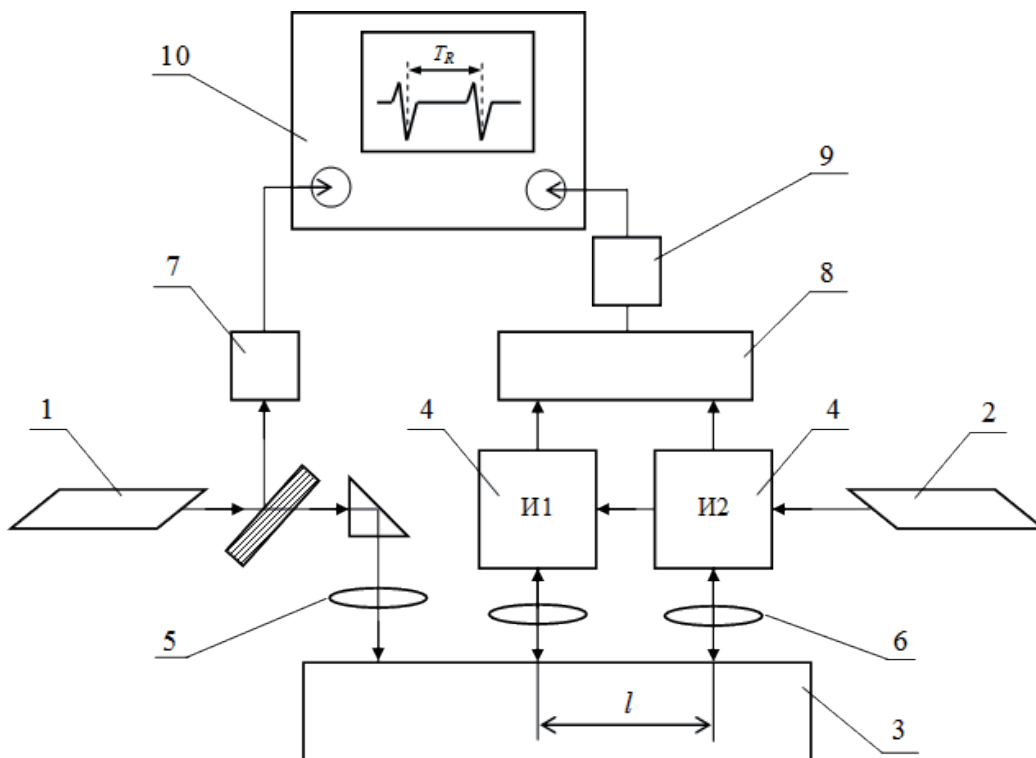
- ♦ измерение времени распространения  $T_R$  акустических импульсов на известной фиксированной акустической базе (расстояние между точками приема) длиной  $l$ .

Скорость распространения поверхностных УЗ-волн вычисляется по формуле:

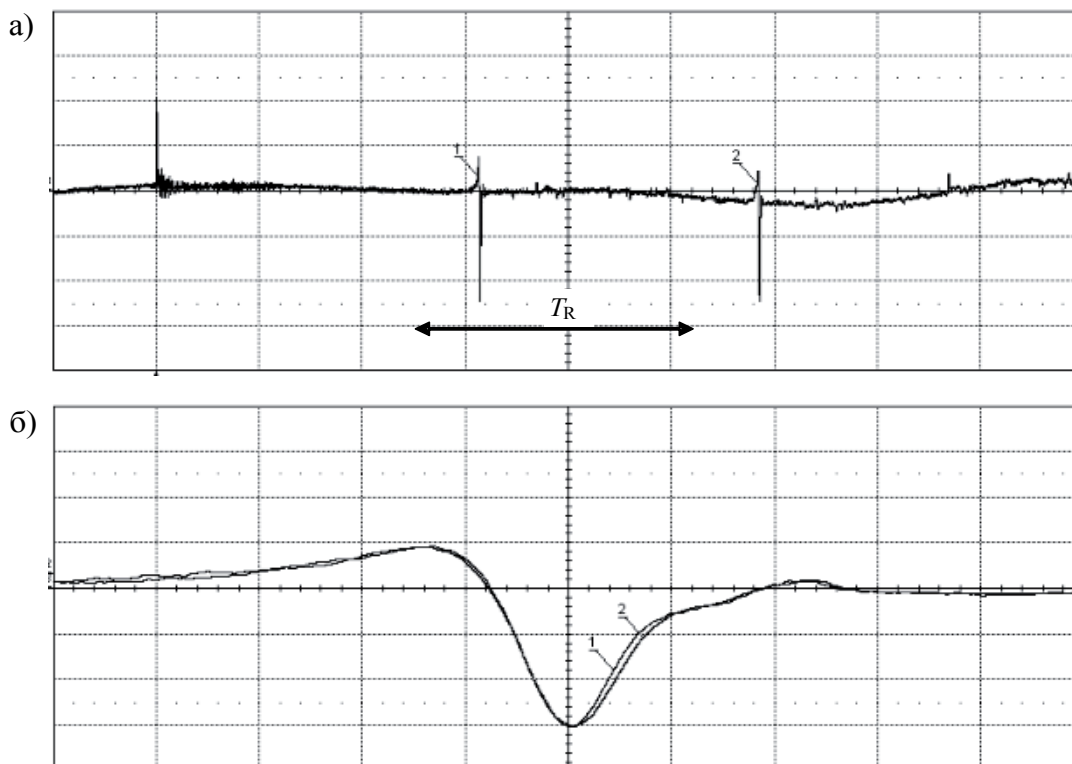
$$C_R = l/T_R.$$

Метод измерения иллюстрируется рисунком 3. Оптический сигнал от моноимпульсного твердотельного лазера 1 через короткофокусный объектив 5 формирует на поверхности исходной меры 3 термооптический источник поверхностных акустических волн. Импульс УЗ-волны распространяется вдоль поверхности меры со скоростью  $C_R$  и регистрируется в двух точках поверхности, расположенных на одной оси с точкой возбуждения, с помощью широкополосного оптического приемника, включающего два двухлучевых равноплечих лазерных интерферометра 4, освещаемых общим He–Ne лазером 2 [7]. Зеркально полированная поверхность меры служит одним из зеркал в каждом интерферометре. Принципиальной особенностью оптического приемника поверхностных УЗ-волн является минимизация размеров зоны приема за счет фокусировки лазерного излучения на поверхности меры линзами 6, размещенными непосредственно в рабочем плече интерферометров. Эффективный диаметр зон приема  $d = 30$  мкм, что обеспечивает полосу воспроизведения частот оптического приемника 0,3 – 50 МГц и снижает систематическую погрешность измерений [7]. Оптический сигнал с лазерных интерферометров преобразуется фотоприемником 8 в электрический и через широкополосный усилитель 9 подается на цифровой осциллограф 10, где записываются акустические сигналы. Для синхронизации системы регистрации предназначен фотоприемник 7.

Измерение интервала времени между парой УЗ-импульсов производится методом совмещения импульсов на экране ЦЗО [1,7]. Пример записи двух акустических импульсов и их совмещения на экране осциллографа показан на рисунке 4 а, б.



**Рис. 3.** Схема эталонной установки для измерения скорости распространения поверхностных ультразвуковых волн. 1, 2 – моноимпульсный и He–Ne лазеры, соответственно; 3 – мера скорости; 4 – интерферометры; 5, 6 – фокусирующие линзы; 7, 8 – фотоприемники; 9 – широкополосный усилитель; 10 – цифровой осциллограф.



**Рис. 4.** Акустические сигналы 1, 2 поверхностных ультразвуковых волн, регистрируемые 1-м и 2-м интерферометрами (а) и их совмещение на экране цифрового осциллографа (б). Мера – стекло К8. а) – 5 мкс/дел, 20 мВ/дел; б) – 50 нс/дел, 15 мВ/дел.

Измерения длины акустической базы  $l$  (расстояния между центрами зон приема интерферометров) производятся с помощью инструментального микроскопа типа БМИ-1Ц с электронно-оптическим преобразователем и цифровым пересчетным устройством, имеющего разрешение 0,001 мм.

### Состав эталона

Государственный первичный эталон (ГПЭ) состоит из эталонной установки для измерения скоростей распространения продольных и сдвиговых УЗ-волн в твердых средах; эталонной установки для измерений скорости распространения поверхностных УЗ-волн в твердых средах; трех комплектов исходных мер скорости (продольные, сдвиговые и поверхностные УЗ-волны); блока температурных измерений.

**Эталонные установки** включают: оптическую бесконтактную систему генерации УЗ-импульсов в твердых средах (мерах) на базе моноимпульсного твердотельного оптического квантового генератора; оптическую бесконтактную интерференционную систему приема УЗ-импульсов на базе двухлучевого лазерного интерферометра; оптический стенд для размещения и взаимной привязки систем генерации и приема УЗ-импульсов; контрольно-измерительную стойку с радиоэлектронной аппаратурой.

Конструктивно каждая из эталонных установок состоит из оптического измерительного стенда и контрольно-измерительной стойки. Оптический стенд служит для размещения и взаимной привязки лазеров, оптических элементов и систем юстировки, фотоприемников. В контрольно-измерительной стойке расположены серийная и специально разработанная радиоэлектронная аппаратура, входящая в состав установки.

Функционально установки состоят из пяти блоков: оптического возбуждения; оптической регистрации; измерения интервалов времени; синхронизации; контроля параметров акустических и оптических импульсов.

Блок оптического возбуждения содержит моноимпульсный твердотельный лазер, работающий в режиме модуляции добротности, и оптическую систему наведения и фокусировки лазерного излучения, формирующую на поверхности мер оптико-акустический источник с требуемыми параметрами.

Блок оптической регистрации обеспечивает бесконтактный прием акустических сигналов в

широкой полосе частот и состоит из двухлучевого лазерного интерферометра (для поверхностных УЗ-волн — из двух лазерных интерферометров); одномодового He—Ne-лазера, используемого в качестве источника когерентного монохроматического света в интерферометре; электронной системы стабилизации рабочей точки интерферометра; дифференциального фотоприемника; широкополосного усилителя.

Блок измерения временных интервалов предназначен для измерения времени распространения УЗ-импульсов на заданной акустической базе и включает в себя измеритель временных интервалов, в качестве которого выступает цифровой осциллограф LeCroy WaveSurfer 422.

Блок синхронизации обеспечивает временную синхронизацию момента запуска системы регистрации с моментом генерации светового импульса лазера и содержит оптическую систему, отводящую часть импульсного лазерного излучения на фотоприемник запуска; линию регулируемой временной задержки.

Блок контроля служит для визуального контроля и измерения амплитудно-временных параметров акустических импульсов при помощи ЦЗО и документирования сигналов на его жестком диске; контроля временных и энергетических параметров лазерных импульсов с использованием быстродействующего фотоприемника, цифрового осциллографа и измерителя энергии лазерного излучения.

**Эталонные меры скорости**, входящие в состав ГПЭ, должны удовлетворять следующим требованиям:

- диапазон скоростей, воспроизводимых комплектом мер:
  - продольные УЗ-волны.... 5000 — 6500 м/с
  - сдвиговые УЗ-волны..... 2000 — 4000 м/с
  - поверхностные УЗ-волны..... 2000 — 3500 м/с
- отклонение от параллельности рабочих поверхностей на диаметре 50 мм, не более 0,001 мм
- отклонение от плоскостности рабочих поверхностей на диаметре 50 мм, не более 0,0004 мм
- шероховатость рабочей поверхности со стороны регистрации акустических сигналов, не более 0,16 мкм
- шероховатость рабочей поверхности со стороны генерации акустических сигналов, не более 0,32 мкм

- коэффициент затухания УЗ-волн в мере, не более 150 дБ/м
- дисперсия скорости УЗ-волн в мере, не более 10<sup>-4</sup>

Меры скорости — специально отобранные, подготовленные и исследованные образцы материалов, обеспечивающие хранение единицы скорости распространения ультразвуковых волн и ее воспроизведение в контрольных точках диапазона измерений скорости при помощи эталонных установок. Выбор материалов мер обусловлен их акустическими свойствами и условием обеспечения требуемой точности измерений.

Эталонные меры скорости имели форму цилиндров. Соотношение между диаметром и толщиной мер выбирали из условия предотвращения появления «ложных» УЗ-импульсов, отраженных от боковой поверхности меры, внутри регистрируемого временного интервала. Для обеспечения этого условия необходимо соблюдать соотношения  $D/d \geq 3$  (для временного интервала до второго эхо-импульса продольных УЗ-волн);  $D/d \geq 5$  (для временного интервала до третьего эхо-импульса), где  $D, d$  — диаметр и толщина меры.

Исследования показали, что наиболее перспективным материалом для мер скорости является оптическое или кварцевое стекло. Преимущества стекол определяются, главным образом, их структурной однородностью, небольшим коэффициентом затухания и минимальной дисперсией скорости УЗ-волн, что обеспечивает распространение акустических сигналов в мере без искажений в рабочей полосе частот до 30 МГц.

### Метрологические характеристики эталона

ГПЭ воспроизводит единицу скорости распространения 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 независимых наблюдениях (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 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 наблюдениях. Относительная неисключенная систематическая погрешность  $\Theta_0(\tilde{C}_S) \leq 2,0 \cdot 10^{-3}$ .

ГПЭ воспроизводит единицу скорости распространения 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 наблюдениях. Относительная неисключенная систематическая погрешность  $\Theta_0(\tilde{C}_R) \leq 6,0 \cdot 10^{-5}$ .

Стандартная неопределенность измерений не превышает значений, приведенных в таблице 1. Основными источниками неопределенностей являются: для продольных и сдвиговых УЗ-волн — временная привязка УЗ-импульсов и дисперсия скорости в исходной мере скорости; для поверхностных УЗ-волн — временная привязка УЗ-импульсов и неточность определения акустической базы. Задачи снижения влияния этих источников будут решаться на этапах совершенствования эталона.

Стандартная неопределенность измерений не превышает значений, приведенных в таблице 1.

Основными источниками неопределенностей являются: для продольных и сдвиговых УЗ-волн — временная привязка УЗ-импульсов и дисперсия скорости в исходной мере скорости; для поверхностных УЗ-волн — временная привязка УЗ-импульсов и неточность определения акустической базы. Задачи снижения влияния этих источников будут решаться на этапах совершенствования эталона.

Таблица 1. Стандартная неопределенность измерений скорости УЗ-волн

Неопределенность	Продольные УЗ-волны	Сдвиговые УЗ-волны	Поверхностные УЗ-волны
$u_A$	$2,3 \cdot 10^{-5}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-5}$
$u_B$	$5,6 \cdot 10^{-5}$	$8,3 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$
$u_C$	$6,0 \cdot 10^{-5}$	$9,6 \cdot 10^{-4}$	$3,9 \cdot 10^{-5}$
$U_p$ при $k=2$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-3}$	$7,8 \cdot 10^{-5}$

Передача размера единицы скорости рабочим эталонам 1-го разряда осуществляется с помощью комплектов исходных мер скорости. С учетом возможной акустической неоднородности мер скорости интервалы времени для продольных и сдвиговых УЗ-волн измеряют в пяти точках поверхности меры. Четыре точки расположены через  $90^\circ$  на расстоянии  $10 \pm 0,5$  мм от оси цилиндра. Число измерений в каждой точке  $n = 11-18$ . Для поверхностных УЗ-волн измерения интервалов времени производятся на трех базовых осях на поверхности меры скорости: на оси, проходящей через центр меры и на двух осях, расположенных параллельно на расстоянии  $10 \pm 0,5$  мм от центральной оси. Число измерений интервалов времени на каждой оси  $n = 18$ .

В качестве действительного значения скорости распространения УЗ-волн в мере принимают среднее арифметическое по результатам измерений в отдельных точках (на осях) поверхности меры.

Дальнейшее совершенствование эталона предполагает выполнение следующих мероприятий:

- ◆ исследование и использование новых высокоточных методик измерений на базе корреляционного метода, с плавающим порогом и по центру тяжести импульса;
- ◆ применение современных лазеров и высокоточных средств измерения интервалов времени;
- ◆ разработка комплектов эталонных мер скорости для передачи размера единицы скорости распространения УЗ-волн в твердых средах;
- ◆ расширение частотного диапазона измерений для продольных УЗ-волн до 100 МГц.

С учетом результатов эксплуатации эталона планируется создать теоретическую и экспериментальную базу для измерений физико-механических характеристик твердых сред.

#### Литература

1. *Базылев П.В. и др.* Государственный первичный эталон единицы скорости распространения продольных ультразвуковых волн в твердых средах // Измерительная техника. – 2011. – №11. – С. 7-10; Bazylev P.V. et al. National primary standard for the unit of the propagation velocity of ultrasonic waves in solids // Measurement Techniques. – 2012. – V. 54. – № 11. – P. 1219-1224.
2. *Францевич И.Н., Воронов Ф.Ф., Бакута С.А.* Упругие постоянные и модули упругости металлов и неметаллов/под ред. акад. И.Н. Францевича. – Киев: Наукова Думка, 1982. – 286 с.
3. *Клюев В.В., Ковалев А.В., Самокрутов А.А.* Рынок средств УЗК – современное состояние // В мире неразрушающего контроля. – 2001. – №1 (11). – С. 40-45.
4. *Ланге Ю.В.* Ультразвуковая дефектоскопия вчера, сегодня, завтра // В мире неразрушающего контроля. – 2002. – №4 (18). – С. 14-19.
5. Неразрушающий контроль: справочник. В 7 т. Т.3. Ультразвуковой контроль/ И.Н. Ермолов, Ю.В. Ланге; под общ. ред. чл.-корр. РАН В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 2004. – 864 с.
6. *Бондаренко А.Н., Дробот Ю.Б., Кондратьев А.И.* Прецизионные акустические измерения оптическими и емкостными методами. – Владивосток: ДВО АН СССР, 1990. – 242 с.
7. *Луговой В.А., Базылев П.В.* Прецизионные методы и средства исследований параметров акустических сигналов различных типов волн в твердых средах. – Хабаровск. Изд-во ДВГУПС. – 2011. – 180 с.

© Луговой В. А., Базылев П. В.,  
Крумгольц И. Я.

V. A. LUGOVOY, Dr.Sc., VNIIFRI Far Eastern Branch  
P. V. BAZYLEV, Ph.D., VNIIFRI Far Eastern Branch  
I. Ya. KRUMGOLTS, engineer, VNIIFRI Far Eastern Branch

#### NATIONAL PRIMARY STANDARD FOR THE UNIT OF THE PROPAGATION VELOCITY OF LONGITUDINAL, SHEAR AND SURFACE ULTRASONIC WAVES IN SOLIDS

*The paper presents the reference installations as part of the national primary standard for measuring the velocity of propagation of longitudinal, shear and surface ultrasonic waves in solids. Describes a method of measurement of velocity and the principle of work of installations. Gives the metrological characteristics of reference installations. Provides the requirements to standard measures which is part of the reference installations.*

**Keywords:** national primary standard, longitudinal waves, shear waves, surface waves, velocity measurement of propagation of ultrasonic waves.