

На правах рукописи

Курков Александр Валентинович

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И СРЕДСТВ  
ПОВЫШЕНИЯ ИНФОРМАТИВНОСТИ  
УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ  
С ПОМОЩЬЮ ДЕФЕКТОСКОПОВ ОБЩЕГО  
НАЗНАЧЕНИЯ**

Специальность: 01.04.06 – Акустика

**АВТОРЕФЕРАТ**  
**диссертации на соискание ученой степени**  
**кандидата технических наук**

Санкт-Петербург - 2010

Работа выполнена на кафедре Электроакустики и ультразвуковой техники Санкт-Петербургского Государственного Электротехнического Университета СПбГЭТУ (ЛЭТИ).

Научный руководитель –  
доктор технических наук, профессор  
Аббакумов Константин Евгеньевич.

Официальные оппоненты:  
Доктор технических наук, профессор  
Цаплев Валерий Михайлович  
кандидат технических наук,  
Селезнев Игорь Александрович

Ведущая организация – ОАО «Радиоавионика», (г. Санкт-Петербург)

Защита состоится «\_24\_» февраля 2010 года в \_14\_ часов на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212.238.06 Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина) по адресу: 197376, г. Санкт-Петербург, ул. Проф. Попова 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан «\_\_\_\_\_» января 2010 года

Ученый секретарь совета  
к.т.н., доцент

Боронахин А.М.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Актуальность темы**

Действующий в настоящее время ГОСТ 5639-82 «Сталь. Методы выявления и определения величины зерна» разрешает измерять средний размер зерна ультразвуковым методом. Однако существующий относительный метод измерения среднего размера зерна, описанный в предыдущем варианте ГОСТ 5639, требует предварительной настройки по образцам, материал и размеры которых должны совпадать с материалом и размерами исследуемого объекта, а средний размер зерна известен. Это позволяет использовать относительный метод измерения среднего размера зерна только при очень большом количестве одинаковых изделий, подлежащих контролю зернистости, то есть в составе установок, работающих в потоке.

Основным методом определения величины зерна, применяемым в заводских лабораториях, было и остается металлографическое исследование структуры металла при визуальных оценках с помощью микроскопа. Недостатки металлографического исследования известны – его высокая стоимость, большие временные затраты, измерение размера зерна только на поверхности образца, а также то, что образец в процессе исследования разрушается.

В целом, актуальность темы настоящей диссертационной работы заключается в решении комплекса вопросов по разработке метода и оборудования для безэталонного метода измерения среднего размера зерна металла для экспресс-оценок, как составной части научной и прикладной проблемы повышения метрологических характеристик и информативности в системах технического контроля и управления качеством. Внедрение такого оборудования в заводских и лабораторных условиях позволит существенно снизить материальные и временные затраты, а также получать дополнительную информацию о внутренней структуре исследуемого образца, создавая предпосылки для осуществления экспресс-анализа физико-механических свойств материалов при ручных и автоматизированных операциях.

**Предметом** исследования в настоящей диссертационной работе являются физические процессы рассеяния ультразвуковых волн в материалах с кристаллической структурой.

**Объектом** исследования в настоящей диссертационной работе являются материалы металлургического производства с кристаллической структурой.

### **Цель диссертационной работы**

Целью диссертационной работы является физическое обоснование, разработка и экспериментальная проверка безэталонного метода измерения среднего размера зерна металла с помощью ультразвуковых колебаний, а также создание образцов оборудования для реализации этого метода. Разработанный алгоритм измерения среднего размера зерна рассчитан на внедрение его в состав программного обеспечения современных ультразвуковых дефектоскопов.

Для достижения указанной цели в работе были поставлены следующие **задачи**:

1. Разработка метода определения среднего размера зерен металлов на основе измерения и сравнения на кратных частотах степени ослабления упругих колебаний в мегагерцовом диапазоне частот.

2. Разработка электроакустического тракта измерительного стенда для определения относительного ослабления упругих колебаний в металлах в диапазоне ультразвуковых частот.

3. Экспериментальная оценка и сопоставление результатов измерения среднего размера зерен ультразвуковым методом с данными металлографического и других видов анализа.

4. Разработка рекомендаций по проектированию комплекса аппаратно-программных средств и создание опытных образцов структуромеров, предназначенных для мелкосерийного производства на базе ультразвукового дефектоскопа общего назначения.

### **Основные методы исследования.**

Результаты исследования базируются на основных положениях теории вероятностей, теории математической статистики, теории физики твердого тела, теории упругих колебаний волн, теории дифракции и измерений.

## **Научная новизна диссертационной работы**

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

1. предложено измерять средний размер зерна материала с помощью ультразвуковых колебаний в контактном варианте без применения специальных образцов для настройки при условии выбора специальной системы параметров измерений;

2. предложены рекомендации по выбору последовательности частот ультразвуковых колебаний, при которых целесообразно измерять средний размер зерна в образцах из различных сталей;

3. показано, что измерение среднего размера зерна с помощью ультразвуковых колебаний мегагерцового диапазона в контактном варианте в металлических изделиях без применения специальных образцов является реализуемым и эффективным методом структуроскопии, реализуемым на базе универсальной модернизированной дефектоскопической аппаратуры для целей экспресс-анализа;

4. разработан алгоритм, определяющий основу и принципы работы комплекса программно-аппаратных средств для реализации безэталонного метода измерения среднего размера зерна металла с помощью измерения амплитуд различных донных сигналов на различных частотах ультразвуковых колебаний.

## **Практическая ценность работы**

Практическая ценность диссертационной работы в целом заключается в том, что в ходе ее выполнения разработаны программно-аппаратные средства обеспечивающие возможность экспресс-анализа среднего размера зерна металлов, что создает предпосылки для снижения материальных и временных затрат на операции технического контроля в производственных и лабораторных условиях. В состав средств входят следующие объекты:

1. Метод и алгоритм реализации ультразвукового безэталонного метода измерения зерна металла. Величина максимальной погрешности измерений среднего размера зерна безэталонным методом составляет не более 1-2 баллов по шкале ГОСТ 5639-82.

2. Измерительная акустическая система на основе пьезоэлектрических преобразователей для измерения среднего размера зерна материала в различных сталях на кратных частотах.

3. Программное обеспечение, поддерживающее работу универсального дефектоскопа в режиме «Структуроскоп» Создан макет опытного образца подобного устройства.

Разработанные алгоритмы и устройства могут быть использованы и при создании автоматизированных систем контроля, реализующих иммерсионный и бесконтактный способы ввода ультразвука в контролируемые изделия.

### **Достоверность полученных результатов**

Достоверность полученных в диссертации результатов доказана на основании подтверждения сходимости теоретических положений с результатами проведенных экспериментов на базе представительной выборки образцов.

### **Реализация результатов диссертационной работы**

Результаты диссертационной работы использованы при разработке новой версии ультразвукового дефектоскопа "Пеленг" УДЗ-204 производства Научно-промышленной группы "Алтек". Новая версия дефектоскопа отличается от старой версии наличием специального режима "СТРУКТУРОСКОП" и дополнительным комплектом измерительных преобразователей. Техническое задание на специальный пьезоэлектрический преобразователь, необходимый для измерения среднего размера зерна безэталонным методом, согласовано с фирмой "Константа-УЗ".

### **Научные положения диссертационной работы, выносимые на защиту:**

1. При разработке безэталонных ультразвуковых методов оценки среднего размера зерен металлов с поликристаллическим строением в качестве источника измерительной информации могут служить данные относительных измерений степени ослабления упругих волн в образцах металлов в ультразвуковом диапазоне частот.

2. При определении количественных данных среднего размера зерна на основании ультразвуковых измерений безэталонным методом частные оценки должны проводиться на кратных гармониках в ультразвуковом диапазоне частот.

3. При разработке ультразвуковых структуроскопов в качестве базового варианта допустимо использование дефектоскопа общего назначения при работе в ультразвуковом диапазоне частот с

использованием специальной акустической системы, допускающей работу на кратных гармониках в режиме возбуждения и приема.

4. Экспериментально доказано необходимое для практики соответствие измерительных и расчетных данных среднего размера зерна материала в мегагерцовом диапазоне частот, что позволяет считать безэталонный метод ультразвуковых измерений на кратных гармониках эффективным средством при проведении анализа структуры металла.

### **Апробация**

Основные результаты, вошедшие в диссертационную работу докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

– II Международная научно-техническая конференция "Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов" (республика Беларусь, Могилёв, 2006 г.);

– XIX Петербургская конференция "Ультразвуковая дефектоскопия металлоконструкций УЗДМ–2007" (Санкт-Петербург, 2007 г.);

– Международная научно-техническая конференция "Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов" (республика Беларусь, Могилёв, 2004 г.);

– XIII ежегодная международная конференция "Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики" (Украина, Ялта, 2005 г.);

– VI Всероссийская научно-техническая конференция "Неразрушающий контроль качества и диагностика материалов, конструкций, промышленных изделий и окружающей среды" (Санкт-Петербург, 2005 г.).

### **Публикации**

По результатам исследований, проведенных в рамках темы диссертационной работы опубликовано 15 научных работ: 9 статей (из них 3 – в изданиях, рекомендуемых ВАК) и 5 тезисов докладов, получен 1 патент РФ.

### **Личный вклад автора**

Все результаты, составляющие основное содержание диссертационной работы, получены автором самостоятельно. Часть опубликованных работ, относящихся к 1, 2 и 3 главам диссертационной

работы, написана в соавторстве с д.т.н., проф. С.К. Павросом. Большинство опубликованных работ, относящихся к 4 главе, написаны в соавторстве с членами коллектива ЗАО "Алтек".

### **Структура и объём диссертации**

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и трех приложений. Содержание диссертации изложено на 151 странице и включает 41 рисунок, 15 таблиц и 93 наименования отечественной и зарубежной литературы.

### **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **введении** сформулирована проблема, обоснована её актуальность, определены цели работы и задачи исследований. Сформулированы основные научные результаты, выносимые на защиту, определена их научная новизна. Приведены сведения об апробации и внедрении, кратко изложено содержание диссертационной работы.

В **первом разделе** рассмотрены теории строения поликристаллических тел (металлов) и затухания ультразвуковых колебаний в них. Установлено, что для создания метода безэталонного измерения среднего размера зерна металла существующей теории строения металлов и затухания ультразвуковых волн в них достаточно.

Обоснована необходимость проведения экспериментального исследования для установления факта возможности применения соотношения для затухания ультразвуковых волн (определенного Л. Г. Меркуловым для чистых металлов) к образцам, выполненным из сплавов металлов (сталей).

Там же проведен обзор существующих методов определения структурных характеристик металлов с помощью ультразвуковых колебаний. Рассмотрены:

- относительный метод структурного анализа металлов, изобретенный в пятидесятых годах прошлого века Н.В.Химченко (НИИХИММАШ);
- метод контроля механических свойств чугунов с помощью измерения скорости звука, впервые описанный Н.В.Химченко.

Оба метода сравнивались по различным параметрам с металлографическим исследованием структуры металла.



Показано, что основным недостатком существующих методов структуроскопии металлов с помощью ультразвуковых волн является необходимость использования специальных эталонных образцов, что затрудняет использование этих методов в заводских лабораториях.

Результаты анализа, проведенного в первом разделе позволили определить направление исследований и сформулировать задачи, решение которых обусловило достижение цели данной диссертационной работы.

В качестве рабочей модели рассеяния ультразвука в поликристаллических телах избрана модель, основанная на теории Л.Г.Меркулова, на основании которой осуществлялся предварительный отбор образцов по величинам зерен, выбор частотного диапазона и ряда других параметров измерительной аппаратуры. Так, например, общее затухание для чистого железа с содержанием углерода менее 0,02% определяется в этом случае формулой :

$$\delta = Af + Bf^4 \quad (1)$$

где  $f$  – частота ультразвуковых колебаний, Гц;  $A, B$  – постоянные.

Для постоянной  $B$  в выражении (1) известна теоретическая оценка по формуле:

$$\delta_{PI} = \frac{8\pi^3 \mu^2 \bar{D}^3 f^4}{375 \rho^2 c_l^3} \left( \frac{2}{c_l^5} + \frac{3}{c_t^5} \right) \quad (2)$$

где:  $\mu$  - коэффициент Пуассона;  $\rho$  - плотность, кг/м<sup>3</sup>;  $c_l$  - скорость продольных волн, м/с;  $c_t$  - скорость поперечных волн, м/с;  $f$  - частота ультразвука, Гц;  $\bar{D}^3$  - средний размер зерна, м.

**Второй раздел** диссертационной работы посвящен разработке и исследованию безэталонного метода измерения среднего размера зерна материала. Описываемый в этом разделе безэталонный метод измерения среднего размера зерна ультразвуковым способом защищен патентом на изобретение №2334224. В разделе приведены теоретические расчеты, на их основе проведены численные оценки компонентов информационных сигналов, применявшихся для определения среднего размера зерна в образцах. Приведен краткий вывод аналитических соотношений составляющих общей формулы для оценки размера зерна:

- отношение разности амплитуд донных сигналов на разных частотах (определяется при измерении);
- потери в образце, не зависящие от затухания и граничных эффектов (определяются расчётным путем с помощью вложенного в дефектоскоп алгоритма расчёта АРД-диаграмм);
- коэффициенты отражения ультразвука от донной и контактной поверхностей (учитываются с помощью подбора условий измерения донных сигналов в образцах);
- коэффициент рассеивания (определяется в ходе эксперимента).

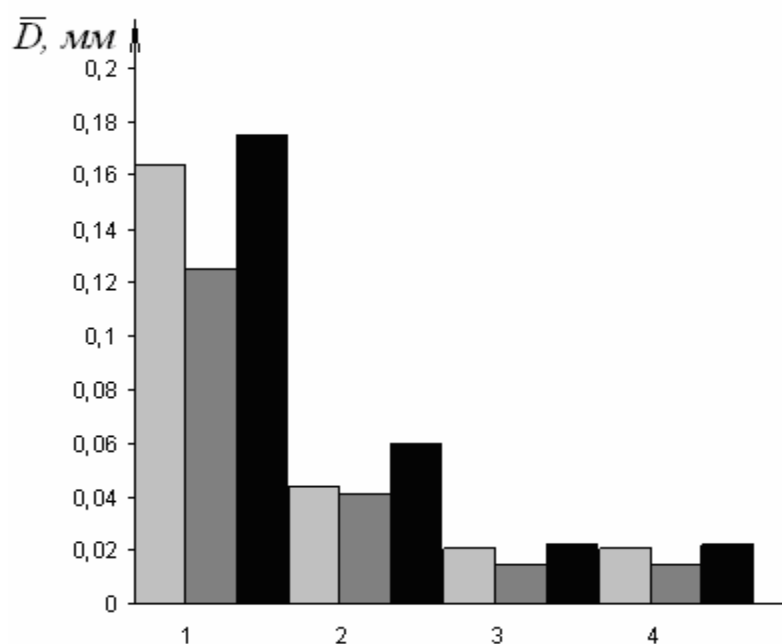
Аналитическое выражение для расчета среднего размера зерна для рекомендованной пары частот, например, 1,25 и 2.5 МГц, имеет вид:

$$\bar{D} = \sqrt[3]{\frac{\ln \left( \frac{U_1(2,5)}{U_3(2,5)} \right) / \frac{U_1(1,25)}{U_5(1,25)} + \ln \frac{F_1(1,25)}{F_5(1,25)} - \ln \frac{F_1(2,5)}{F_3(2,5)} + \ln \frac{R_1^2(2,5)R_2^2(2,5)}{R_1^4(1,25)R_2^4(1,25)}}{136,7 Bh}}$$

$F$  – функция, описывающая дифракционные потери в образце на частоте  $f$ ;  $R_1$  – коэффициент отражения от донной поверхности образца на частоте  $f$ ;  $R_2$  – коэффициент отражения от поверхности образца с преобразователем на частоте  $f$ ;  $h$  – толщина образца, м;  $B$  – амплитудный множитель коэффициента рассеивания из формул (1),(2);  $\bar{D}$  – средний размер зерна материала

В этой же главе изложено описание эксперимента, подтверждающего корректность разработанного метода. Приведено описание экспериментальной установки, измерительных операций и обсуждены источники возникающих при измерениях погрешностей. Для проведения этого эксперимента были изготовлены из подходящих марок сталей образцы одинакового размера с различной величиной зерна. Эксперимент заключался в измерении донных сигналов в каждом образце на разных частотах. Полученные значения по формулам, определенным в теоретической части главы, были пересчитаны в средний размер зерна в образце, а затем в шкалу баллов. Результаты эксперимента статистически обработаны (был рассчитан доверительный интервал при заданной надежности). Исследовалась выборка из тридцати образцов, В качестве примера в диссертации приведены наиболее характерные результаты для трех образцов.

Полученные в результате эксперимента значения размеров зерен сопоставлены с результатами металлографического исследования образцов. Металлографическое исследование образцов, отчет о котором представлен в приложении 1, представляет результат в виде интервала двух значений баллов, между которыми расположено предполагаемое среднее значение величины зерна (после пересчета). Результаты эксперимента показывают, что измеренные с помощью разрабатываемого метода значения среднего размера зерна для каждого образца находятся в диапазоне, определенном результатами металлографического исследования. Для иллюстрации на рисунке 2 представлены результаты такого сравнения: первый столбец в каждой группе – результат измерения среднего размера зерна образца с помощью разработанного безэталонного метода. Второй и третий столбец в каждой группе – результат измерения среднего размера зерна образца с помощью металлографического исследования.



1 – образец 1 (измерения на частотах 1,25 МГц и 2,5 МГц)

2 – образец 14 (измерения на частотах 1,25 МГц и 2,5 МГц)

3 – образец 27 (измерения на частотах 1,25 МГц и 2,5 МГц)

4 – образец 27 (измерения на частотах 2,5 МГц и 5,0 МГц)

□ – результат ультразвуковых измерений

■, ■ – результат металлографического исследования

Рисунок 2 Сопоставление результатов измерений и расчетов по предлагаемому методу и металлографического исследования

**В третьем разделе** проведен обзор производящихся в России, ближнем и дальнем зарубежье ультразвуковых дефектоскопов с позиций исследования вопроса их потенциальной применимости в качестве базового устройства, выполняющего функции структуроскопа.

На основании анализа результатов обзора путем применения метода экспертных оценок осуществлен выбор аппаратного средства, в наибольшей степени подходящего для создания ультразвукового структуроскопа. Экспертиза проводилась в два этапа: на первом этапе выбирались характеристики аппаратных средств, важные для целей ультразвуковой дефектоскопии. На втором этапе оцениваются сами аппаратные средства путем применения специально разработанной процедуры экспертных оценок по количественным критериям. Использовались методы исследования – метод рангов, метод непосредственного оценивания. Количество экспертов, принимавших участие в анализе – 10, количество оцениваемых аппаратных средств – 17.

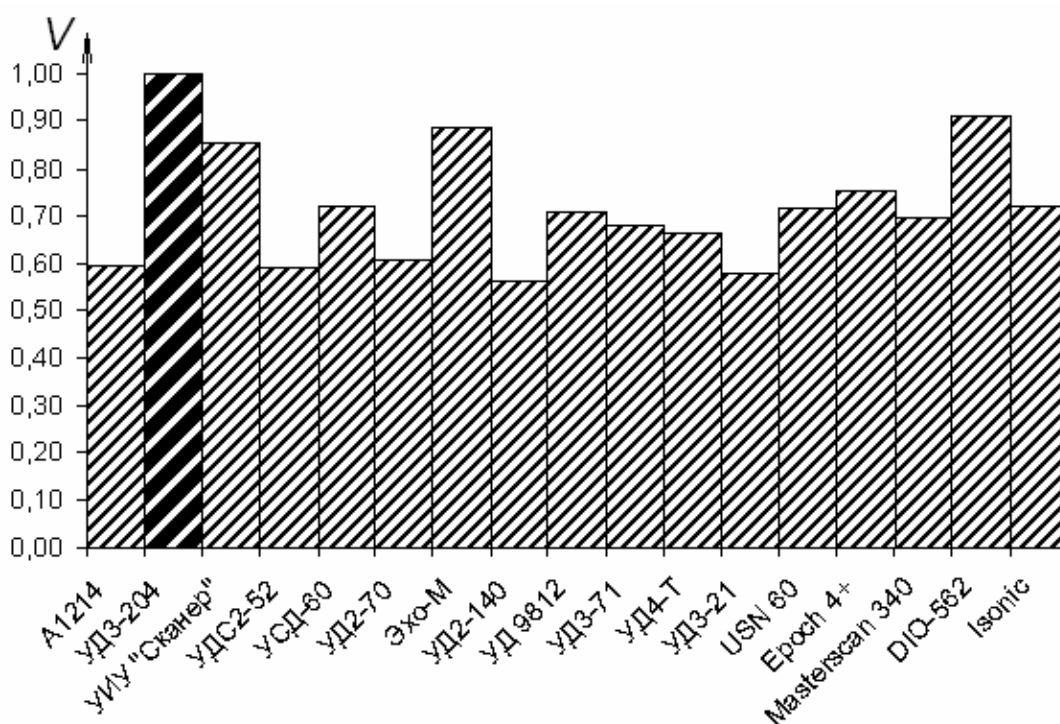


Рисунок 1 Результаты экспертизы аппаратных средств в графическом представлении

Результаты экспертизы оценивались с помощью коэффициента конкордации и по критерию Пирсона. В результате оценка экспертов была признана окончательно согласованной с вероятностью 0,995.

В первой части **четвертой главы** изложены подходы и принципы разработки конструкции измерительной акустической системы, содержащей пьезопреобразователи, конструкция которых отвечает требованиям, сформулированным к измерительным средствам для оценки величины ослабления ультразвука, изложенным в разделе 2.

Во второй части четвертой главы приведено описание алгоритма реализации разработанного метода оценки величины зерна, на основании которого формулировалось техническое задание на программирование ультразвукового дефектоскопа УДЗ-204 с целью обеспечения возможности его функционирования в режиме ультразвукового структуроскопа. Приведенное описание является адаптированной (упрощенной) для диссертационной работы основой версии технического задания, на основании которого создавалось необходимое программное обеспечение. Окончательным итогом диссертационной работы являлось изготовление макета структуроскопа на базе дефектоскопа УДЗ-204, и его лабораторные испытания что отражено в акте о внедрении (приложение 3).

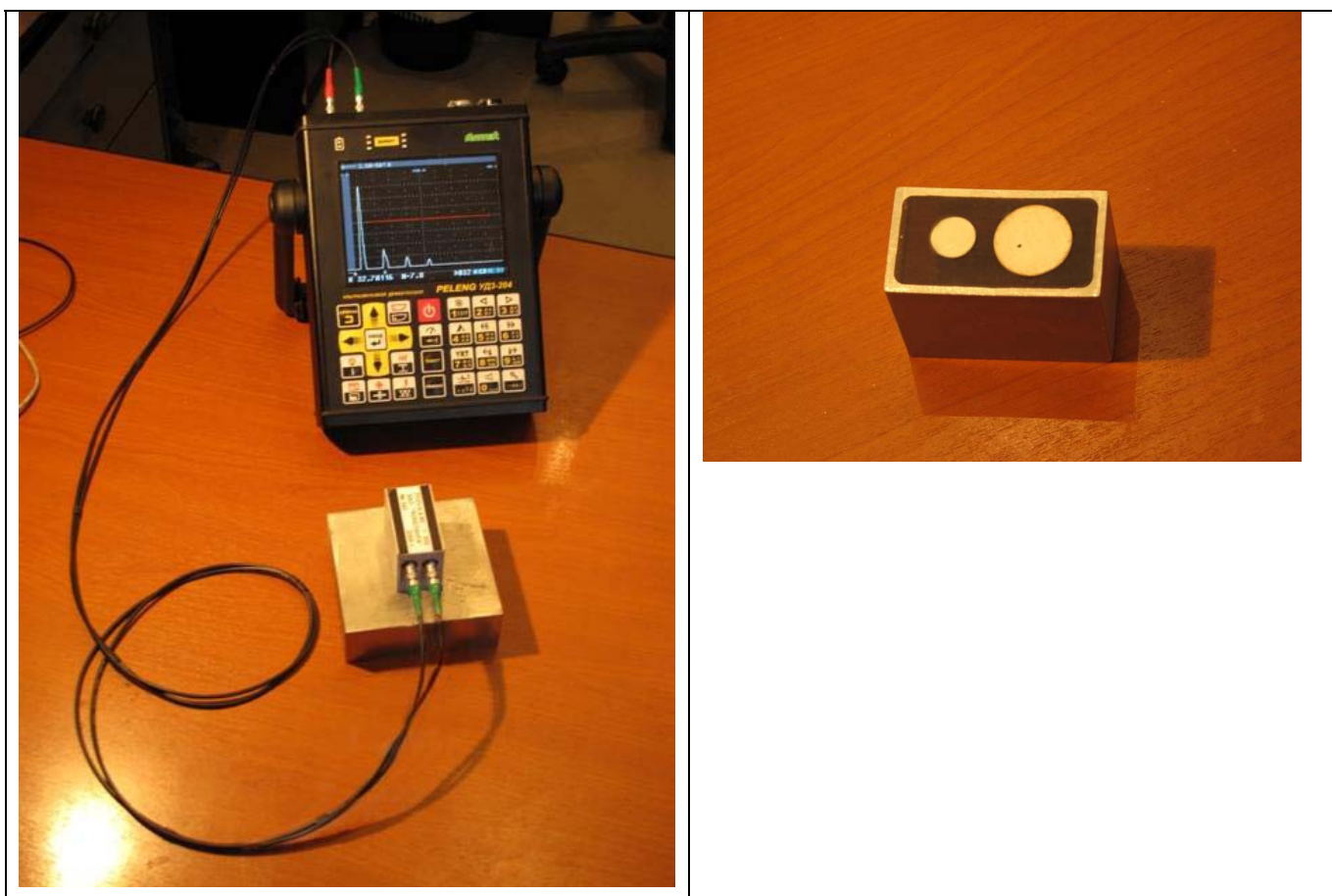


Рисунок 3 Макет структуроскопа на базе дефектоскопа УДЗ-204

В **заклучении** сформулированы основные результаты диссертационной работы с точки зрения достижения целей диссертационной работы и изложены основные направления научного развития данной области акустических измерений, контроля и диагностики.

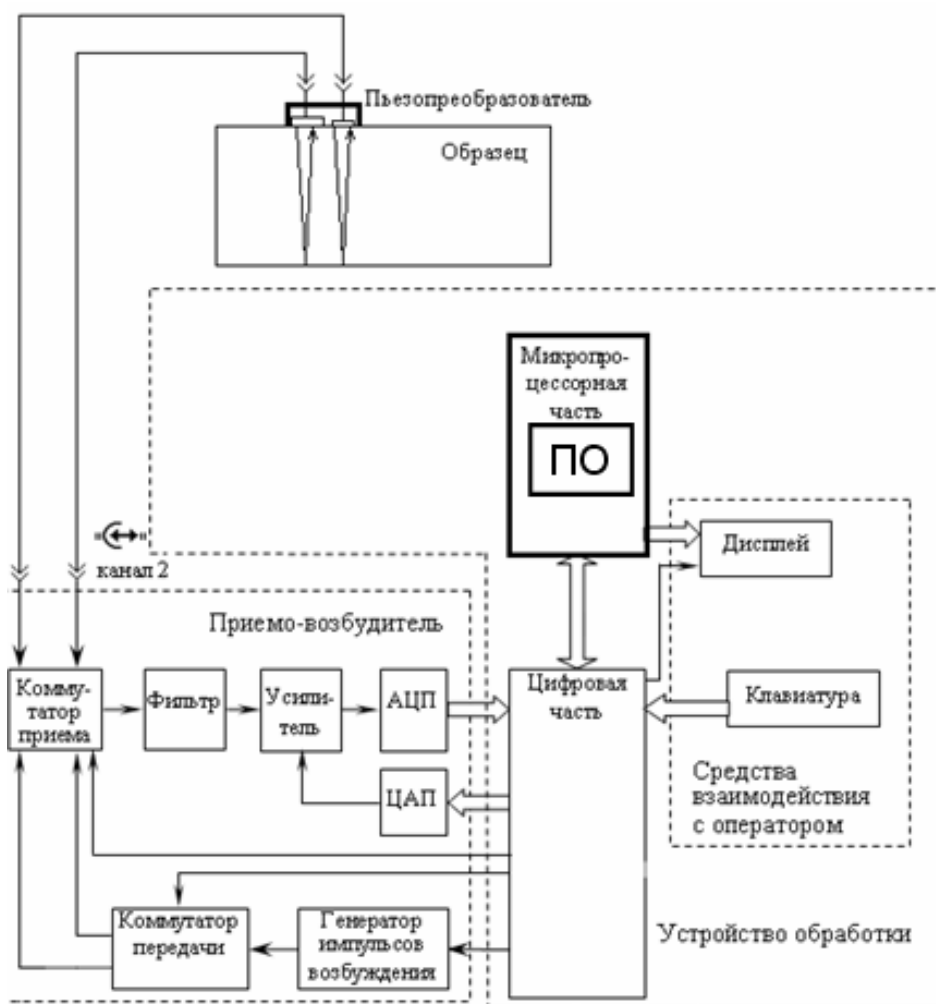


Рисунок 4 Структурная схема прибора для измерения среднего размера зерна металлического образца

В **приложениях** приведены следующие материалы:

- отчет о металлографическом исследовании использованных в работе образцов;
- материалы патента на изобретение №2334224 "СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ СРЕДНЕГО РАЗМЕРА ЗЕРНА МАТЕРИАЛА УЛЬТРАЗВУКОВЫМ МЕТОДОМ";

- акт о внедрении результатов диссертационной работы в ООО «Алтек-наука»;
- иллюстративный материал к разделу 3;

## **ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ**

1. При разработке безэталонного ультразвукового метода определения среднего размера зерен металлов (в условиях акустического тракта контактного варианта эхометода) сформулированы критерии выбора параметров и схемы измерений, обеспечивающих без применения специальных образцов для настройки значения погрешностей в пределах 1-2 баллов (по ГОСТ 5639-82), достаточных для практических целей экспресс-анализа;

2. При проектировании электроакустического тракта измерительной установки определены требования к параметрам и составу аппаратно-программных средств, обеспечивающих реализацию предложенной схемы измерений по специальному алгоритму, обеспечивающему получение измерительной информации в составе универсальной дефектоскопической аппаратуры общего назначения;

3. При экспериментальной оценке предложенного метода на базе представительной выборки контрольных образцов показана сходимость результатов измерения среднего размера зерна по данным ультразвуковых измерений с данными металлографического и других видов анализа;

4. Доказана возможность создания нового поколения средств акустических измерений с повышенной производительностью, экономичностью

и информативностью на базе универсальных дефектоскопов общего назначения при их целевой аппаратно-программной модернизации и оснащении акустической системой, эффективно работающей на рекомендуемых последовательностях рабочих частот по обоснованной схеме измерений.

Полученные результаты свидетельствуют об эффективности и перспективности применения безэталонного метода измерения среднего размера зерна материала при операциях экспресс-контроля ручными приборами и в перспективе в составе автоматизированных комплексов,

что позволяет считать достигнутой цель, поставленную для достижения в диссертационной работе.

### **СПИСОК РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

1. Курков, А.В. О возможности экспресс-контроля среднего размера зерна металлопроката [Текст] / А.В. Курков // Дефектоскопия. – 2008 г. – №1. – С. 51 – 56.
2. Курков, А.В. Исследование возможности ультразвукового контроля структурных характеристик материала проката [Текст] / Паврос С.К., Романович В.А., Курков А.В // Известия Государственного Электротехнического Университета. Приборостроение и информационные технологии. – Вып. 1. – 2006 г. – С. 53 – 59.
3. Курков, А.В. О погрешностях импульсного метода измерения затухания ультразвука в твердых телах [Текст] / Паврос С.К., Авдушев А.А., Перегудов А.Н., Курков А.В. // Известия Государственного Электротехнического Университета. Приборостроение и информационные технологии. – Вып. 1. – 2006 г. – С. 53 – 59.

#### **Другие издания:**

4. Способ измерения среднего размера зерна материала ультразвуковым методом [Текст]: пат. №2334224 Российская Федерация / Паврос С.К., Паврос К.С., Курков А.В.; патентообладатель Государственное образовательное учреждение Высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» – № 2007101562/28; заявл. 16.01.2007; опубл. 20.09.2008 Бюл. № 26. – 3 с.
5. Курков, А.В. О возможности ультразвукового контроля среднего размера зерна материала изделия эхо-методом [Текст] / А.В.Курков // Сборник докладов XIX Петербургской конференции "Ультразвуковая дефектоскопия металлоконструкций". – 2007 г. – С. 62 – 64.
6. Курков, А.В. Оценка структурных характеристик материала проката ультразвуком [Текст] / Паврос С.К., Романович В.А., Курков А.В. // Материалы II международной научно-технической конференции "Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов". – 2006 г. – С. 94 – 96.



7. Курков, А.В. Универсальный ультразвуковой дефектоскоп "Пеленг" УДЗ-204 [Текст]/ Лысов В.А., Буракевич А.С., Молотков С.Л., Прохоров С.О., Курков А.В, Краев А.Г. // Сборник докладов VI всероссийской научно-технической конференции "Неразрушающий контроль качества и диагностика материалов, конструкций, промышленных изделий и окружающей среды". – 2005 г. – С. 37 – 38.
8. Курков, А.В. Использование ультразвуковых дефектоскопов семейства "Пеленг" для контроля объектов железнодорожного транспорта [Текст]/ Бураков А.О., Лысов В.А., Молотков С.Л., Суббота С.Г., Курков А.В. // Материалы международной научно-технической конференции "Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов". – 2004 г. – С. 34 – 35.
9. Курков, А.В. Новый ультразвуковой дефектоскоп УДЗ-204 производства фирмы "Алтек" [Текст] / Лысов В.А., Бураков А.О., Буракевич А.С., Молотков С.Л., Прохоров С.О., Курков А.В., Краев А.Г. // Материалы XIII ежегодной международной конференции "Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики". – 2005 г. – С. 38 – 40.
10. Курков, А.В. "PELENG" УДЗ-204 – новый ультразвуковой дефектоскоп премиум-класса [Текст] / Молотков С.Л., Краев А.Г., Курков А.В., Прохоров С.О. // Индустрия – 2006 г. – №2. – С. 59 – 63.
11. Курков, А.В. Возможности современных ультразвуковых дефектоскопов [Текст] / Курков А.В, Молотков С.Л., Прохоров С.О., Румянцев А.Н. // Оборудование и инструмент для профессионалов. – 2006 г. – №4. – С 28 – 35.
12. Курков, А.В. Ультразвуковой дефектоскоп "PELENG" УДЗ-204: достоверность контроля и удобство измерений [Текст] / Молотков С.Л., Курков А.В., Прохоров С.О., Румянцев А.Н // Мир измерений. – 2006 г. – №11. – С. 69 – 76.
13. Курков, А.В. О средствах ручного ультразвукового контроля [Текст] / Молотков С.Л., Курков А.В., Краев А.Г., Румянцев А.Н // Путь и путевое хозяйство. – 2007 г. – №4. – С. 12 – 21.

14. Курков, А.В. Новинки от НПГ "Алтек": для удобства и достоверности УЗК [Текст] / Молотков С.Л., Курков А.В., Прохоров С.О. // В мире неразрушающего контроля. – 2006 г. – №3. – С. 43 – 47.
15. Курков, А.В. Новые модификации дефектоскопов "Пеленг" [Текст] / Лысов В.А., Молотков С.Л., Курков А.В., Краев А.Г. // Вагоны и вагонное хозяйство. – 2005 г. – №3. – С. 61 – 68.